



UNIVERSITÉ D'ARTOIS

Unité de Recherche Pluridisciplinaire, Sport, Santé, Société (URePSSS)

EA 7369

DOCTORAT

SCIENCES et TECHNIQUES des ACTIVITES

PHYSIQUES et SPORTIVES

Patrick DUBRULLE

LE NIVEAU D'EXPERTISE EN EQUITATION INFLUENCE – T – IL LA CINEMATIQUE RACHIDIENNE DU CAVALIER ?

Thèse dirigée par M. Gilles BUI-XUAN

Soutenue le 16 Décembre 2015 à LILLE devant le Jury, composé de :

M. Gilles BUI-XUAN	Professeur Emérite, Université d'Artois	Directeur
M. Pierre HARDOUIN	PU-PH, Université du Littoral Côte Opale	Examineur
M. Jacques MIKULOVIC	Professeur, Directeur de l'ESPE d'Aquitaine	Rapporteur
M. Julien MORLIER	MCF- HDR, Directeur UFR STAPS de Bordeaux.	Rapporteur
M. Christian ROQUET	Chef Escadrons Ecoles Militaires de St Cyr Coëtquidan Ecuyer du Cadre Noir de Saumur	Invité

Je dédie principalement cette thèse à mon épouse Laurence,
qui a su si bien me soutenir dans les moments difficiles
et qui, avec une incroyable abnégation, a accepté de mettre en parenthèse
la vie familiale au profit de ce projet fou

et
à mes enfants Baptiste, Pierre et Margaux
qui ont toujours cru en la réussite de ce défi.

A mon père, qui de là-haut, doit être fier de ce travail accompli
et qui m'a toujours enseigné que : « *le travail finit toujours par être récompensé* ».

A ma mère qui m'a toujours témoigné son affection
et son soutien dans tous mes rêves fous.

« L'ignorant affirme, le savant doute, le sage réfléchit »

Aristote (384-322 av JC)

REMERCIEMENTS

Même s'il me revient le privilège de présenter ce travail aujourd'hui, tout cela n'aurait pas été possible sans un formidable soutien, permanent et indéfectible depuis le début de ce parcours de bon nombre de personnes, autour de moi.

En première intention, je dois remercier M. Gilles BUI-XUAN, mon Directeur de Thèse qui, a su percevoir dès le début, dans cette étude, une inspiration novatrice. Je tiens à lui renouveler ma gratitude pour l'écoute et la disponibilité dont il a fait preuve tout au long de ces quatre années durant lesquelles, à intervalles réguliers, nous nous rencontrâmes pour affiner cette étude doctorale. Enfin, je veux une fois encore le remercier pour sa totale compréhension vis-à-vis de l'esprit « clinique » de cette thèse, thème qui me tenait particulièrement à cœur puisque, kinésithérapeute de formation, il m'importait dans travailler en mettant en exergue ce regard clinicien, tant important quotidiennement.

Puis, je me dois d'adresser mes remerciements à :

- M. le Directeur de l'Ecole Doctorale SESAM de LILLE qui, au regard de l'originalité du projet, a de suite accepté ma participation à ce cursus doctoral.

- M. le Président de l'Université d'Artois et M. le Directeur du laboratoire EA 7369 de l'Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport, Santé, Société (URePSSS), de m'avoir donné la possibilité d'accomplir cette étude en parallèle de mes activités libérales et qui ont su me témoigner d'une confiance complète dans l'organisation de mes recherches.

Je dois également insister sur le fait que ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien franc et massif d'un bon nombre de personnes autour de moi, parmi lesquelles je souhaiterais sincèrement remercier :

- M. Julien GOUZ, Directeur Général de Kinestésia™ pour la mise à disposition du cheval mécanique et de sa formidable bibliothèque équestre, durant toute l'étude ;

- M. Christian ROQUET, Ecuyer au Cadre Noir de Saumur et Mme Hélène PERSYN, Professeur Agrégée d'EPS, pour leur implication totale dans cette étude et pour leur écoute, leur disponibilité de tous les instants. Sans eux, il m'aurait été très difficile de naviguer dans les méandres du monde équestre. Leurs connaissances ainsi que leur savoir ont été un atout primordial pour mener à bien ce travail.

- Mme le Dr Sophie BIAU, Responsable de la recherche à l'ENE-Cadre Noir de Saumur, qui a dès le début cru au potentiel scientifique de ce travail et a perçu de suite le caractère novateur de la démarche à travers la primauté des moyens utilisés.

- Mme le Dr Marie GERONIMI, qui a su me motiver dans les moments difficiles pour faire en sorte que BioVal®, dont elle assure le développement, puisse me permettre de présenter cette première étude avec ce type de capteurs sur le rachis du cavalier.

- M le Dr Bruno LEPORCQ, Président de Kinestésia™ qui m'a permis d'avoir un regard plus scientifique sur ce travail et avec lequel j'ai beaucoup appris durant nos différentes rencontres.

- Et aussi et surtout mesdames et messieurs les cavaliers qui ont accepté de participer à cette étude et sans qui, aucun travail n'aurait été possible. L'intérêt qu'ils ont manifesté durant toutes les séances, a été, une source supplémentaire de motivation dans ma folle entreprise et je leur en serai à tout jamais reconnaissant.

Enfin, je tiens à adresser un témoignage de sympathie et de gratitude à MM. Pierre et Romain FOUCAULT, Président et Directeur Général de RM Ingénierie, qui de suite se sont montrés enthousiastes à l'idée de voir une étude doctorale réalisée avec l'une de leurs créations, en l'occurrence BioVal® et qui a permis à Mme le Dr GERONIMI de me consacrer du temps pour parfaire cette étude.

Et à tous ceux qui, autour de moi, assistante collaboratrice, amis kinésithérapeutes experts et ceux du monde équestre, m'ont encouragé pour parvenir à ce résultat et ont su me donner la motivation nécessaire dans les périodes de doute.

TABLE des MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	16
CHAPITRE PREMIER : EQUITATION & POSITION du CAVALIER	25
1.1-L'EQUITATION dans L'HISTOIRE	25
1.1.1 - Le Cheval dans l'Antiquité	25
1.1.2 - Evolution de L'Equitation à travers les âges	26
1.1.3 - Equitation = Art Equestre et Equitation Académique	28
1.1.4 - Les Ecoles d'Equitation	29
1.1.4.1 – Ecole italienne	29
1.1.4.2 – Ecole allemande	29
1.1.4.3 – Ecole française	30
1.1.5 - Equitation et Sports Equestres aujourd'hui	31
1.1.6 - Organisation des activités équestres sportives en France.	34
1.2 – NOTIONS d'EQUITATION	37
1.2.1 - COMPORTEMENT DU CAVALIER PAR RAPPORT AUX ALLURES NATURELLES DU CHEVAL	37
1.2.1.1 - Le pas	38
1.2.1.2 - Le trot	39
1.2.1.3 - Le galop	41
1.2.1.3 - L'arrêt	44
1.2.2 - POSITION DU CAVALIER	44
1.2.2.1 - Description de la position dite classique ou académique*.	44
1.2.2.2 - La position du cavalier à travers les âges	46
1.2.2.3 - Qu'est ce qu'une bonne position ?	48
1.2.2.4 - Pourquoi acquérir cette position ?	50
1.3 - NOTIONS DE BIOMECHANIQUE APPLIQUEE A L'EQUITATION	50
1.3.1 - ANALYSE BIOMECHANIQUE DE LA POSITION DU CAVALIER	50
1.3.1.1 - La lordose lombaire	51
1.3.1.2 - La pression intra discale	53
1.3.1.3 - La position assise sur ballon type « Klein Vogelbach »	55
1.3.1.4 - Le rôle de l'articulation coxo-fémorale	56
1.3.2 - ASSIETTE DU CAVALIER	59
1.3.2.1 - Définition	59
1.3.2.2 - Assiette / Outil de communication	59
1.3.2.3 - Assiette et poids du corps	60

1.4 - PHYSIO PATHOLOGIE DU CAVALIER	64
1.4.1 - PATHOLOGIES CHRONIQUES RACHIDIENNES	65
1.4.2 - PATHOLOGIES TRAUMATIQUES OU ACCIDENTOLOGIE.	67
1.5 - CONCLUSION	71
CHAPITRE 2 - RAPPELS ANATOMIQUES, BIOMECANIQUES ET PATHOLOGIQUES	72
2 .1 - LA POSITION ASSISE	72
2.1.1 - EVALUATION DE LA BIOMECANIQUE DE LA POSITION ASSISE « STANDARD »	73
2.1.1.1 - Au niveau de la lordose lombaire	73
2.1.1.3 - Influence de la flexion lombaire sur la pression intra discale	76
2.1.2 - EVALUATION DE LA BIOMECANIQUE DE LA POSITION ASSISE SUR BALLON	77
2.2 - RAPPELS ANATOMIQUES	78
2.2.1 - RAPPEL DES AXES ET PLANS POUR L'ETUDE DES MOUVEMENTS RACHIDIENS	78
2.2.2 - RAPPEL ANATOMIQUES RACHIS + CEINTURE PELVIENNE	79
2.2.2.1 - La colonne vertébrale ou rachis	79
2.2.2.1.1 - Surfaces articulaires en présence : les vertèbres	82
2.2.2.1.2 - Moyens d'union du système vertébral	84
2.2.2.2 - La ceinture pelvienne	89
2.2.2.2.1 - Surfaces Articulaires en Présence	90
2.2.2.2.1.1 - Le bassin	90
2.2.2.2.1.2 - La hanche	91
2.2.2.2.2 - Les Moyens d'Union	92
2.2.2.2.2.1 - Articulation sacro-iliaque	92
2.2.2.2.2.2 - Symphyse pubienne	93
2.2.2.2.2.3 - Articulation sacro-coccygienne	94
2.2.2.2.2.4 - La hanche	94
2.2 - RAPPELS BIOMECANIQUES	97
2.3.1 - RAPPEL DE BIOMECANIQUE FONCTIONNELLE STATIQUE	97
2.3.1.1 - La colonne vertébrale ou rachis	97
2.3.1.1.1 - Stabilité rachidienne	98
2.3.1.1.2 - Stabilité de la charnière lombo-sacrée	100
2.3.1.1.3 - Stabilité de la charnière sacro-iliaque	101
2.3.1.1.4 - Stabilité de la jonction sacro coccygienne	102
2.3.1.2 - La hanche	102
2.3.2 - BIOMECANIQUE FONCTIONNELLE DYNAMIQUE	102
2.3.2.1 - La colonne vertébrale ou rachis	102
2.3.2.1.1 - Mobilité rachidienne globale	102

2.3.2.1.2 - <i>Au niveau du rachis lombair</i>	103
2.3.2.2 - L'articulation sacro-iliaque	108
2.3.2.3 - La hanche ou coxo-fémorale.	110
2.3.2.3.1 – <i>La flexion - extension</i>	110
2.3.2.3.2 - <i>L'abduction et l'adduction</i>	111
2.3.2.3.3 - <i>Les rotations</i>	111
2.4 - PRINCIPES D'ÉVALUATION FONCTIONNELLE DU RACHIS	112
2.4.1 - BILAN STATIQUE	112
2.4.1.1 - Examen clinique.	112
2.4.1.2 - Examen dans le plan frontal	112
2.4.1.3 - Examen dans le plan sagittal	113
2.4.1.4 - Examen dans le plan horizontal	114
2.4.2 - BILAN DYNAMIQUE	114
2.4.2.1 - La flexion	114
2.4.2.2 - L'extension.	115
2.4.2.3 - Les inclinaisons latérales.	116
2.4.2.4 - Les rotations.	116
2.5 - RAPPELS DE PHYSIOPATHOLOGIE	116
2.5 - PATHOLOGIES MECANIQUES	116
2.5.1.1– La lombalgie sciatique.	116
2.5.1.2 - La lombalgie d'effort.	117
2.5.1.3 - Le lumbago.	117
2.5.1.4 - La sciatique par conflit disco radiculaire.	117
2.6.1 - PATHOLOGIES DEGENERATIVES	118
2.6.1.1 - Arthrose articulaire	118
2.6.1.2 - Instabilité inter vertébrale	119
2.6.1.3 - Hernie Discale	120
2.6.1.4 - Spondylolisthésis	121
CHAPITRE 3 - ANALYSES et ENREGISTREMENTS du MOUVEMENT	125
3.1- INTRODUCTION à la BIOMECANIQUE	125
3.1.1 - GENERALITES	125
3.1.2 - HISTOIRE ET DEVELOPPEMENT DE LA BIOMECANIQUE.	126
3.1.3 - NOTIONS FONDAMENTALES	131
3.1.3.1 - Considérations mécaniques générales	131
3.1.3.1.1 - <i>Le solide</i>	131
3.1.3.1.2 - <i>La force</i>	131
3.1.3.1.3 - <i>Les différents bras de levier et les conditions d'équilibre</i>	134
3.1.3.1.4 - <i>Considérations mathématiques des différents types de leviers</i>	136

3.2 - LES SYSTEMES de MESURE du MOUVEMENT	137
3.2.1 - LES SYSTEMES DE MESURE CINEMATIQUE 3D	137
3.2.1.1 - Les techniques à base de capteurs.	138
3.2.1.1.1 - <i>Les goniomètres</i>	138
3.2.1.1.2 - <i>Les accéléromètres</i>	139
3.2.1.1.3 - <i>Les capteurs de positions magnétiques</i>	140
3.2.1.2 - Les systèmes optoélectroniques	140
3.2.1.2.1 - <i>Les systèmes à marqueurs actifs.</i>	141
3.2.1.2.2 - <i>Les systèmes à marqueurs passifs</i>	141
3.3 - MATERIEL et METHODE	142
3.3.1 - LE SYSTEME BIOVAL®	142
3.3.1.1 - Présentation du matériel	142
3.3.1.1.1 - <i>Motion Capture</i>	142
3.3.1.1.2 - <i>Capteur de mouvement MotionPod™</i>	143
3.3.1.2 - Les capteurs inertiels	144
3.3.1.2.1 - <i>Les accéléromètres</i>	145
3.3.1.2.2 - <i>Les gyromètres / gyroscopes</i>	145
3.3.1.2.3 - <i>Les magnétomètres</i>	146
3.3.1.3 - Capacité d'enregistrement	146
3.3.1.3.1 - <i>Description du système BioVal®</i>	146
3.3.1.3.2 - <i>Présentation des capteurs</i>	150
3.3.1.3.3 - <i>Principe de fonctionnement des capteurs.</i>	152
3.3.1.3.4 - <i>Phase de calibrage et paramétrage</i>	152
CHAPITRE 4 - PROBLEMATIQUE et HYPOTHESE de cette RECHERCHE	154
4.1 - PROTOCOLE EXPERIMENTAL	154
4.1.1 - INTRODUCTION	154
4.1.2 - CHOIX DE L'OUTIL	154
4.1.3 – VALIDATION DE L'OUTIL	154
4.1.4 - DESCRIPTION DU MATERIEL UTILISE	155
4.1.3.1 - Le système BioVal®	155
4.1.3.2 - Le cheval mécanique	155
4.1.2.3.1 - <i>Description technique</i>	155
4.1.2.3.2 - <i>Principe fonctionnel</i>	155
4.1.2.3.3 - <i>Description des phases</i>	156
4.1.3.3 - Logitech HD Webcam C270	156
4.1.5 - CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION ETUDIEE	156
4.2 - PROTOCOLE D'ENREGISTREMENT	157

4.2.1 - POSITIONNEMENT DES CAPTEURS	157
4.2.2 - POSITIONS POUR L'ENREGISTREMENT	158
4.2.3 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL	159
4.2.3.1 - Les capteurs	159
4.2.3.2 - Le récepteur	160
4.2.4 - DEROULEMENT D'UNE SEANCE	161
4.2.5 - ERREURS ET EFFETS PARASITES	162
4.3 - HYPOTHESES de TRAVAIL	163
4.3.1 - PISTES DE REFLEXION ENVISAGEES PAR RAPPORT AU CAVALIER.	163
4.3.2 - SITUATIONS ETUDIEES	167
4.3.2.1 - Durant la marche	167
4.3.2.2 - Sur le cheval mécanique au repos	167
4.3.2.3 - Sur le cheval mécanique en position basse	167
4.3.2.4 - Sur le cheval mécanique en position haute	168
4.3.3 - PARAMETRES MIS EN EVIDENCE	168
4.3.3.1 - Positionnement des pièces vertébrales	168
4.3.3.2 - Valeurs angulaires	169
4.3.3.2.1 - Valeur moyenne globale	169
4.3.3.2.2 - Valeurs rachidiennes moyennes étagées	170
4.3.3.2.3 - Zones d'inversion d'angulation vertébrale.	170
4.3.3.2.4 - Etude des différents angles	170
4.3.3.2.5 - Etude des couples T12/L3	173
4.3.3.2.6 - Etude des couples L5/S1.	174
4.3.3.3 - Etude différentielle Homme/Femme.	174
4.4 - RECUEIL DES DONNEES.	174
4.4.1 - INTRODUCTION	174
4.4.2 - ANALYSE INTRA-GROUPES	180
4.4.2.1 - Groupe A – « NOVICES »	180
4.4.2.1.1 - Positionnement vertébral par variation angulaire régionale	181
4.4.2.1.2 - Variation des Angles Radiologiques	188
4.4.2.1.3 - Conclusions pour ce groupe A « NOVICES »	192
4.4.2.2 - GROUPE B – « CONFIRMES »	193
4.4.2.2.1 - Positionnement vertébral par variation angulaire régionale	194
4.4.2.2.2 - Variation des angles radiologiques	201
4.4.2.2.3 - Conclusions de l'analyse du GROUPE B « CONFIRMES »	205
4.4.2.3 - GROUPE C – « EXPERTS »	206
4.4.2.3.1 – Positionnement vertébral par variation angulaire régionale	209
4.4.2.3.2 - Variations angulaires et valeurs moyennes	215
4.4.2.3.3 - Variation des angles radiologiques	216

4.4.2.3.4 - Conclusions du GROUPE C « EXPERTS » :	220
4.4.3 - Analyse Inter Groupes : NOVICES – CONFIRMES – EXPERTS	220
4.4.3.1 - Positionnement Vertébral Par Variation Angulaire	221
4.4.3.2 - Variation Des Angles Radiologiques	237
4.4.3.3 - Variations Angulaires Et Valeurs Moyennes	238
4.5 - INTERPRETATION des RESULTATS	239
4.6 - CONCLUSION	243
CHAPITRE 5 – CONSEQUENCES et APPLICATIONS	245
5.1 - ASPECT PEDAGOGIQUE ou APPLICATIONS sur l'ENSEIGNEMENT de L'EQUITATION	245
5.1.1 - INTRODUCTION	245
5.1.2 - SYSTEME SENSORIEL et l'INTEGRATION d'INFORMATIONS	245
5.1.2.1 - Postulat de départ de l'équitation	245
5.1.2.2 - Les capacités intégratrices et le système sensoriel.	245
5.1.3 - APPROCHE CONATIVE DE L'EQUITATION	248
5.1.4 - APPRENDRE L'EQUITATION, C'EST S'ENTRAINER A MIEUX PERCEVOIR.	253
5.1.4.1 - Apprentissage et perception.	253
5.1.4.2 - Enseignement mais aussi entraînement et méthodes	254
5.2 - ASPECT SPORTIF avec OPTIMISATION GESTUELLE	255
5.2.1 - INTRODUCTION	255
5.2.2 - LES NOVICES	256
5.2.3 - LES CONFIRMES	259
5.2.4 - LES EXPERTS	261
5.3 - ASPECT COMPORTEMENTAL EQUIN	264
5.4 - ASPECT MEDICAL ou APPLICATIONS sur le SUIVI du CAVALIER	265
5.4.1 - INTEGRATION DES ZONES A RISQUES EN FONCTION DES CAVALIERS	266
5.4.1.1 - Mise en évidence de contraintes osseuses	267
5.2.1.2 - Mise en évidence des zones de tensions musculaires	268
5.4.1.3 - Mise en évidence d'éventuelles perturbations ventilatoires	269
5.4.1.4 - Mise en évidence de contraintes ligamentaires	270
5.4.1.5 - Mise en évidence de contraintes discales	271
5.4.2 - AU NIVEAU DU SUIVI MEDICAL DU CAVALIER	271
5.4.3 - SUIVI PHYSIOTHERAPIQUE DU CAVALIER	273
5.4.3.1 - Importance des caissons thoracique et abdominal.	273
5.4.3.2 - Prophylaxie de l'appareil locomoteur.	275
5.4.3.2.1 - Aspect Orthopédique	275

5.4.3.2.1.1 - Mobilisation des structures ostéo-articulaires vertébrales	276
5.4.3.2.1.2 - Prise en charge des douleurs et TMS du tronc.	276
5.4.3.2.1.3 - Techniques d'énergie musculaires et d'étirements ciblés.	277
5.4.3.2.1.4 - Assouplissement des chaînes musculaires postérieures du tronc.	281
5.4.3.2.1.5 - Posture de mise en tension de la chaîne postérieure du tronc.	282
<i>5.4.3.2.2 - De la perception à l'utilisation du Corps.</i>	<i>283</i>
5.4.3.2.2.1 - Prise de conscience du corps immobile	283
5.4.3.2.2.2 - Prise de conscience du corps en mouvement	284
5.4.3.2.2.3 - Reprogrammation neuro motrice	285
5.4.3.2.2.4 - Ré intégration neuro moteur posturale et dynamique.	287
5.4.3.2.2.5 - Mise en évidence de l'implication clinique de cette étude	287
5.4.3.3 - PRISE en CHARGE VENTILATOIRE.	288
5.4.3.4 - PRISE en CHARGE PSYCHOLOGIQUE	290
5.4.3.5 - GESTION des RISQUES.	290
CHAPITRE VI : DISCUSSION, PERSPECTIVES et CONCLUSION	293
6.1 - DISCUSSION de la METHODE d'ENREGISTREMENT	293
6.1.1 - PERTINENCE DU CHOIX DE LA METHODOLOGIE	293
6.1.1.1 – Aspects positifs de la méthodologie	295
6.1.1.2 – Aspects perfectibles de la méthodologie	296
6.1.2 - CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE	297
6.2 - DISCUSSION des RESULTATS et de leur UTILISATION	298
6.2.1 - PERTINENCE DES RESULTATS	298
6.2.2 - CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE	299
6.3 - PERSPECTIVES	300
6.4 - CONCLUSION GENERALE	301
GLOSSAIRE EQUESTRE.	305
TABLE DES MATIERES DES ILLUSTRATIONS	334
BIBLIOGRAPHIE	345
ANNEXES	369

INTRODUCTION GENERALE

A l'instar de ce qu'annonçait HEBRARD* (1986) au sujet de l'EPS¹, nous pourrions dire que « *l'Équitation semble être une activité physique à part entière mais aussi entièrement à part* ».

Tel pourrait être le fondement de notre réflexion puisque bon nombre d'individus, peinent à concevoir que l'équitation puisse être, non seulement, un sport, mais qu'en plus, les personnes qui la pratiquent puissent être considérées comme athlètes de haut niveau.

Pour l'homme *lambda* interrogé dans la rue, c'est le cheval qui fait l'effort, le cavalier se contentant de rester dans la selle et de diriger les opérations ; mais lorsque l'on questionne les gens de « l'Art Equestre », il en est tout autrement puisque, très vite, il apparaît que l'on est en présence d'un véritable binôme « homme/cheval » avec tout ce que cela implique d'interactivité. Déjà dans l'antiquité, XENOPHON (1)*, attribuait au cheval des bénéfices en matière de santé et d'éducation « *le cheval est un bon maître non seulement pour le corps, mais aussi pour l'esprit et le cœur* ».

Dès lors, en considérant cet état de fait, il est plus aisé de comprendre que les mouvements de l'un auront fort logiquement des conséquences sur le comportement de l'autre.

C'est seulement à ce moment là qu'il est aisé de considérer que la pratique équestre implique une maîtrise plus ou moins élaborée du cheval par le cavalier. Ce dernier, pour communiquer, est donc capable de manière simultanée et intuitive de se contrôler, mais aussi et surtout de se connaître pour optimiser l'utilisation de son cheval ; c'est d'ailleurs dans cette recherche absolue de cette « communication incessante » que l'équitation puise les fondements mêmes de sa pratique.

Cette maîtrise du cheval par le cavalier se veut la plus fixe, la moins perceptible possible pour le regard extérieur ; en aucun cas, il ne s'agit de contraindre l'équidé mais plutôt de le persuader... et ce grâce à l'utilisation des « aides dites naturelles (2)* » : mains, jambes, voix et poids du corps.

C'est ce dernier qui fera l'objet de ce travail : le poids du corps du cavalier et donc la position qui en découle sur le cheval ; c'est l'élément fondamental de la pratique équestre.

« *Il n'y a pas UNE position, il y en a une infinité, à chaque allure, à chaque mouvement correspond une série d'attitudes. Mais c'est l'aptitude à passer instantanément d'une attitude à l'autre qui constitue la véritable correction* » Général DECARPENTRY*, (1953).

Cette fameuse position idéale tant vantée par les uns, tant décriée par les autres, qu'est-elle ? Comment s'obtient-elle ? Que produit-elle à la fois sur le cheval et chez le cavalier ?

Tant de questions qui nous ont amené à considérer la position du cavalier avec un regard clinicien ; en effet, kinésithérapeute de formation, combien de fois ai-je pu entendre dans mon cabinet des

¹ Hébrard, A. (1986). *Education Physique et Sportive – Réflexions et perspectives*. Paris : co-éd. Revue EPS / AFRAPS.

Les termes et personnages du monde équestre sont annotés avec un numéro et * et sont listés dans un glossaire spécifique à la fin de la thèse.

mamans s'inquiéter des conséquences de la pratique de l'équitation sur la « colonne vertébrale » de leur progéniture, sport pour lequel les enfants vouaient une passion dévorante !!! Compte tenu de l'importance prise par les sports équestres, le kinésithérapeute sera donc un jour amené à prendre en charge ou à conseiller des patients pratiquant l'équitation, c'est une des raisons qui est à l'origine de cette thèse.

Tout comme combien de fois a-t-on entendu dans les centres équestres lors des reprises en manège l'enseignant tancer les jeunes élèves : « Redresses toi, places tes épaules en arrière (3) ». C'est à partir de ces réflexions que j'ai exprimé maintes fois le désir d'approfondir une problématique de taille pour l'équitation : celle de savoir comment se comporte le rachis du cavalier lorsqu'il est en position équestre.

Hors de nous, l'idée de confirmer ou d'infirmier telle ou telle vision de l'enseignement de l'équitation mais simplement de poser un regard de modeste kinésithérapeute sur le fonctionnement de la mécanique articulaire de la colonne vertébrale du cavalier en action, d'en déterminer ses particularismes mais aussi ses points faibles afin d'envisager ensuite des applications pédagogiques, sportives, médicales et équestres.

Dès lors, se posait à moi la question de l'enregistrement et de l'analyse des mouvements rachidiens et c'est tout naturellement que je me suis tourné vers le système que j'utilise au quotidien dans mon cabinet, à savoir des capteurs inertiels sans fil mis au point par la société RM Ingénierie² basée à RO-DEZ. Ce système d'exploitation dénommé BIOVAL[®] répondait donc à ce souhait et c'est avec une grande satisfaction que j'acceptais l'assistance pour cette thèse du Dr Marie GERONIMI* (1998), responsable de l'ingénierie du concept BIOVAL[®].

Compte tenu de l'évolution de notre société de loisirs de plus en plus sédentaire, comme en témoigne l'essor des jeux vidéo interactifs à domicile, il était logique de se tourner vers ce que la technologie actuelle peut proposer de mieux pour envisager cette étude.

La révolution des années 2000 a été colossale avec l'arrivée des consoles utilisant des capteurs de mouvements comme la Wii (Nintendo), la PS Move (Sony) ou la Kinect (Microsoft), ce que témoigne le cap des 500 000 unités vendues de ces capteurs de mouvements intégrés à des consoles. Tout le monde est concerné, tous les âges, toutes les couches sociales, hommes comme femmes puisqu'en 2010, ces dernières représentaient 50% des joueurs.

Dans la plupart des cas, les capteurs se sont limités à l'aspect ludique mais des industriels ont eu l'idée de concevoir des « outils intelligents », comme Babolat³ avec sa raquette inter active. De même, des projets européens comme SKILL⁴ ont eu recours à ce type de technologie pour mesurer, codifier et entraîner des compétences motrices dans différents domaines.

² RM Ingénierie : Société ingénierie informatique créatrice du système BioVal[®]

³ Société qui fabrique du matériel de tennis.

⁴ Projet européen d'initiative UE sur l'évolution vers le numérique et le multimédia.

Sur le plan scientifique, ces différents concepts posent toutefois le souci de l'exploitation des données issues des capteurs de mouvements pour reconnaître l'action effectuée par l'utilisateur et quantifier ainsi sa performance.

Dans le domaine des STAPS qui nous concerne, l'utilisation de mesures 3D pour l'analyse et l'enregistrement devient de plus en plus courante ; elle consiste généralement à analyser des trajectoires de mouvements et à les comparer entre des populations avec des niveaux d'expertise différents.

Cette thèse aura donc pour vocation de mettre en évidence et d'appréhender, via ces capteurs inertiels sans fil, des situations comportementales différentes, le tout en essayant de limiter au maximum les éventuelles variabilités d'origine intrinsèques par rapport aux actions elles mêmes, ou liées à l'utilisateur lui-même. Toutefois, cette étude doctorale se veut différente par l'approche de ces enregistrements ; c'est-à-dire que nous avons décidé d'opter pour une approche clinique, basée sur l'observation des comportements rachidiens de différents cavaliers car en tant que praticien, je m'appuie au quotidien sur l'aspect fonctionnel des patients pour élaborer ensuite un protocole thérapeutique. C'est, au final, un travail basé sur la comptabilité d'observations qui est présenté ; ceci donnera la possibilité de définir des tendances globales pour chaque individu puis pour chaque groupe de cavaliers. Celles-ci permettront de définir un profil-type de cavalier ou de groupe de cavaliers, lequel sera donc intégré pour une action future. C'est donc l'observation d'abord, qui amènera à l'évaluation, qui elle-même, permettra d'aboutir à notre intervention, car ce n'est pas le calcul statistique qui nous importe mais plutôt le nombre d'observations, de tendances qui va nous donner la possibilité de dresser le profil du cavalier et de son groupe. Ce dernier, une fois établi, va nous conduire à élaborer un protocole d'intervention sur le plan clinique, le plus adapté possible au cavalier concerné.

Dans ces conditions, il nous importe également de répondre à un impératif : celui de la reproductibilité des tests, quels que soient les circonstances, les cavaliers et leur niveau de compétence ; c'est pourquoi, il nous est apparu primordial d'éliminer d'emblai les possibilités de variabilités liées au cheval lui-même (animal, conditions de forme, de météo, configuration du terrain, etc....) en optant pour la solution du simulateur équestre. Notre choix s'était, en première intention, porté sur le simulateur de l'Ecole Nationale d'Equitation (4)* de SAUMUR, PERSIVAL⁵ mais son indisponibilité a dû réorienter notre choix vers le cheval mécanique de conception Pétéris KLAVINS⁶. Issu de la réflexion d'un confrère kinésithérapeute, cavalier de surcroît, ce mécanisme permet de mettre un individu en situation de pratiquer l'équitation même si le rythme rotatoire ne répond pas totalement à ce que l'on souhaiterait voir dans un simulateur, comme l'est PERSIVAL à l'ENE.

Celui-ci adopte un fonctionnement proche du galop (il n'y a pas de phase de suspension eu égard au poids de l'appareil, 250kg, qui empêche l'utilisateur de le décoller du sol). C'est donc l'étude du cavalier dans le « galop assis (5)* » qui est donc envisagée ici.

Le but de cet outil est de :

⁵ PERSIVAL : Simulateur équestre utilisé à l'ENE de SAUMUR.

⁶ Pétéris KLAVINS : MKDE créateur du préparateur physique équestre

- confronter le cavalier à sa posture, son fonctionnement, dès lors qu'il subit, ou pas, les différentes cadences de déplacements d'un cheval.
- de lui faire prendre conscience de sa gestion de l'équilibre et donc également de ses stratégies posturales et fonctionnelles face aux déséquilibres.
- d'identifier les faiblesses des différents fonctionnements, les dissymétries posturales.
- de proposer au cavalier la mise en œuvre de postures et fonctionnement optimisés. Il est question d'isoler les déficiences fonctionnelles et posturales du cavalier, celles qui lui sont propres, qui vont interférer sur celle du cheval et compromettre la qualité des aides sans que le cavalier n'en ait forcément conscience et sur lesquelles il pourra, alors, individuellement travailler, avec une concentration absolue sur lui-même.

Deux positions se dégagent de son utilisation :

- Position dite « basse », qui correspond à la 1^{ère} phase du galop où (pour un galop à droite) le membre postérieur gauche du cheval va s'engager sous la masse
- Position dite « haute », qui correspond à la 3^{ème} phase du galop où (pour un galop à gauche toujours) le membre antérieur droit du cheval vient entrer en contact avec le sol.

L'ambition primaire de ce travail est donc d'appréhender, de façon la plus naturelle possible, le comportement de chaque individu en situation équestre. Le choix de la selle, du réglage de la longueur des étrivières (6)* a été laissé libre pour ne pas interférer dans l'attitude équestre qui devait être la plus usuelle possible, non génératrice d'actions compensatrices parasites.

Dès lors, le chemin était tracé, comprendre les mécanismes induits par la position du cavalier sur sa selle en ayant à l'esprit : les conséquences subies par le rachis donc par la même, les pathologies potentiellement induites par cette posture.

Pour ce faire, nous nous sommes attachés à envisager une étude comparative, c'est-à-dire que nous avons bénéficié d'une population de 47 cavaliers, d'âge compris entre 18 et 60 ans, avec 22 hommes et 25 femmes, répartie en 3 groupes selon leur niveau d'équitation :

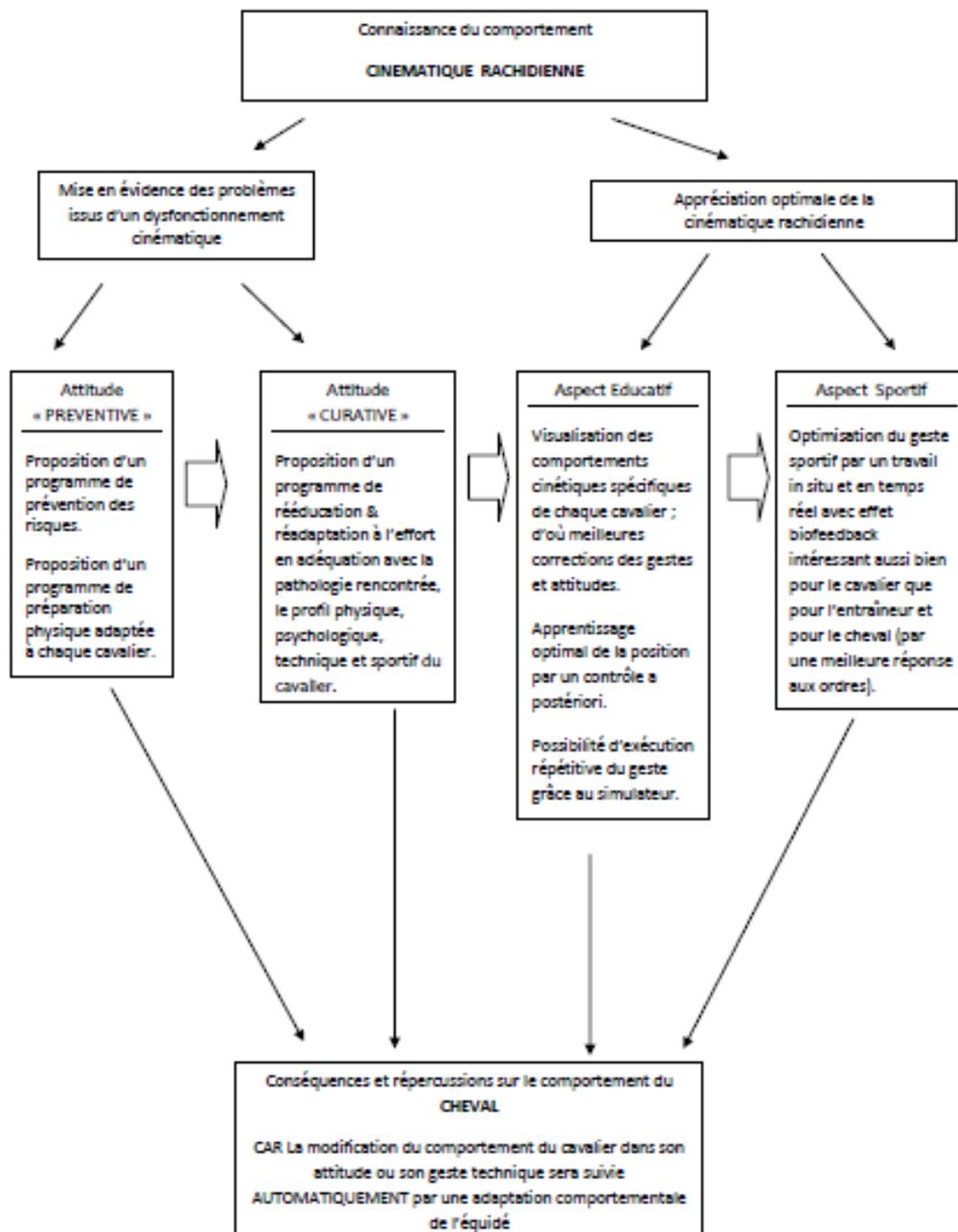
- Groupe A : 15 cavaliers « NOVICES » n'ayant qu'une très faible expérience de l'équitation, voire en ignorant tout – Galop 0/1⁷
- Groupe B : 15 cavaliers « CONFIRMES » ayant un niveau suffisant pour évoluer seul avec une pratique régulière 1 à 2 fois / semaine – Galop 4/5.
- Groupe C : 17 cavaliers « EXPERTS » qui montent plusieurs chevaux par jour, ayant une réelle compétence équestre et titulaires d'un Galop 7 minimum. Ces sujets sont pour la plupart des cavaliers du saumurois qui pratiquent soit le dressage, soit le saut d'obstacles (7)*.

L'aspect hétérogène à l'intérieur même des groupes a conduit à envisager l'étude de la moyenne.

⁷ Galops 0/1 etc., : Appellation des brevets fédéraux équestres de la Fédération Française Equitation.

Ces 3 groupes ont été testés dans 4 situations : la marche (la plus naturelle possible) - sur cheval mécanique au repos - sur cheval mécanique en position basse - sur cheval mécanique en position haute. La question qui pilotera ce travail de recherche sera de savoir si le fonctionnement rachidien diffère selon les groupes et si oui, dans quelle condition cela s'opère-t-il ? Et quelles sont les conséquences induites par cette éventuelle différence ?

Les résultats issus de ces enregistrements permettront, via la visualisation 3D, d'établir un profil « technique » personnalisé de chaque cavalier. Grâce à ceci la thèse aura donc un débouché dans 4 directions, comme l'indique le schéma ci-dessous :



Il en résulte donc que cette thèse se veut un juste compromis entre la recherche à travers la comptabilisation de différentes observations, définissant ainsi des tendances globales, et l'application

quotidienne à la fois chez l'humain mais aussi chez l'équin, puisque de par la variabilité fonctionnelle de l'homme découlera une adaptation comportementale de l'équidé. La perspective peut s'envisager là encore dans 4 axes :

PEDAGOGIQUE : Un enseignement plus précis de son positionnement sur le cheval par rapport aux objectifs recherchés.

SPORTIF : Optimisation du geste technique du sportif et la conséquence sur l'équidé.

MEDICAL : Un protocole prophylactique à travers une préparation physique adaptée à chaque cavalier mais aussi curatif, en envisageant le cas échéant, en fonction des pathologies rencontrées, les grands axes de rééducation du cavalier ayant subi des dommages rachidiens lors de sa pratique quotidienne.

EQUESTRE : Objectiver le comportement du cheval et l'optimiser à travers sa soumission par rapport à la variabilité de la position du cavalier.

Ce point semble donc pouvoir être mis en application pour le compétiteur mais aussi pour l'élève enseignant car ce dernier aura besoin de connaître les conséquences pour le cheval de toutes modifications de sa station assise. De même qu'il lui sera impératif d'objectiver la problématique du cavalier à travers la modification de la cinématique humaine.

Selon le Dr Eric FAVORY* (2011), monter à cheval c'est :

- S'adapter à un support animé de mouvements dans les trois dimensions et en déplacement dans l'espace ;
- Garder la maîtrise des aides (qui donnent les indications au cheval) : mains, assiette (siège), jambes, en les maintenant en place au contact du cheval, sans prise de force sur ces appuis pour se maintenir ;
- Rester en prise d'information pour s'orienter dans l'espace et maintenir son équilibre.

Pour ce faire, il convient d'avoir à l'esprit un élément primordial dans l'équitation (comme dans tous les sports) c'est le degré de compétence du cavalier. Pourquoi ? Cela peut simplement s'expliquer par la dangerosité de l'activité. En effet, quoi de plus dangereux qu'un cavalier immature qui s'aventure sur le dos d'un cheval délicat !!! Ne dit-on pas qu'il est judicieux de confier un cheval expérimenté à un jeune cavalier (l'inverse est de mise).

L'humilité doit être l'âme maîtresse de l'homme, accompagnée en cela par sa compétence dans l'Art Equestre, ce qui passe avant tout par l'acquisition d'une **assiette (8)*** parfaite. Le mot est lâché, il désigne à la fois la position du cavalier sur le cheval mais aussi et surtout l'équilibre qui en résulte. Ce dernier, non naturel est donc créé et résulte de l'utilisation du poids du corps de l'homme. Cet équilibre sera quant à lui fonction de l'équilibre propre du cheval, de son allure et de sa vitesse.

La gestion de celui-ci s'opérera en tentant de superposer son centre de gravité au dessus de celui du cheval par la « position assise » mettant alors en jeu l'assiette ou une position en équilibre sur les étriers (le poids du cavalier est alors descendu dans les talons).

La qualité de cette assiette s'avère être la base de toute équitation et dans le monde sportif comme ailleurs, les bases sont nécessaires, obligatoires... primordiales et se travaillent sans cesse : « les bases sont à retravailler, nos cavaliers ont besoin de répéter leurs gammes » JM.BONNEAU⁸.

Quand Nelson PESSOA⁹ affirme « qu'un bon cavalier s'adapte à tous les chevaux et n'adapte pas ses chevaux à lui », cela implique d'emblai que sa position assise, et donc son assiette, sera fonction du cheval qu'il aura à monter, ce qui aura pour conséquence un fonctionnement rachidien « malléable » c'est-à-dire facilement adaptable au type de cheval à travailler, tout en conservant un fil conducteur commun à tous.

Tout cela découle avant tout d'une posture la plus correcte. Une posture se définit comme « *la position relative des pièces du squelette qui se disposent suivant une attitude d'ensemble* » (BOUISSET et MATON, 1999/2000). Elle a pour rôle de stabiliser l'individu dans un état d'équilibre mais également d'orienter les différents segments du corps en vue de la réalisation d'une action.

La littérature est prolifique dans le domaine de l'équitation et la question de la position du cavalier n'échappe pas à la règle, chaque école, chaque maître a sa conception et nombreuses ont été les querelles d'école comme l'histoire à maintes fois démontré.

Au cours de l'histoire chaque école d'équitation a mis en avant sa théorie sur l'art de monter à cheval mais au fil des siècles, l'approche de la position du cavalier s'est faite plus précise ; c'est ainsi que Monsieur DE PLUVINEL (9)* estime qu'il convient d'être « Bel homme de cheval » en faisant donc un lien tangible entre l'esthétique et la technique de la position du cavalier. Longtemps le débat fit rage entre les « anciens » défenseurs de l'élégance de la position et les « modernes » adeptes du geste efficace. Au final, beauté du geste et technicité trouveront base commune dans l'équitation moderne.

C'est à partir du XVIIIème siècle, que se sont développées les premières recherches expérimentales à propos de la posture du cavalier. L'obligation de l'union de ces deux corps a un unique but : permettre au cheval d'exprimer la totalité de son potentiel avec un maximum d'efficacité mais avec une moindre dépense énergétique. Le débat se poursuivra durant le XIXème siècle où le Général LHOTE (10)* favorisera une position dite « à l'anglaise » (11)*, le trot enlevé (12)* qui rompait totalement avec les fondamentaux de l'équitation à la française.

Cette évolution naquit du besoin d'un surcroît d'efficacité au combat pour la cavalerie. L'assiette, capacité qu'a le cavalier de rester en équilibre sur le dos du cheval quelles que soient les circonstances, prenait là toute son importance dans l'art de monter à cheval...

Cet épisode de l'histoire de l'équitation témoigne de la passion qu'ont toujours suscitée les discussions autour de la position du cavalier.

« **Tiens-toi droit !!!** » Certes, cela est bon pour le dos, plaisant au regard mais aussi considéré comme une marque de bienséance et confirme en soi le parallélisme entre PRATIQUE et ESTHETIQUE.

⁸ Entraîneur de l'Equipe de France de Saut d'Obstacles en 2005.

⁹ Cavalier brésilien multi médaillés mondiaux et olympiques de renom des années 1970/1980

Il faut revenir aux fondamentaux, mais cela est loin d'être évident car des études récentes ont montré que la position assise « angle droit » du buste n'est pas et de loin la meilleure pour le dos. Une étude américaine de la RNSA¹⁰ 2006 a d'ailleurs mis en évidence qu'une posture avec une flexion de coxo fémorale à 90° nécessitait une plus grande activité musculaire qu'avec une angulation de 135°. Dès lors il est logique d'envisager un prolongement de cette étude à l'équitation ; cette dernière supposant une parfaite maîtrise de la position assise.

Pour y parvenir, la première partie de cette thèse, dresse un « état des lieux » des connaissances actuelles, tant sur le plan de l'Art Equestre que sur celui de l'anatomo-physio-pathologie du cavalier. Le deuxième chapitre, met en évidence la problématique de recherche, et la méthodologie utilisée. La troisième partie, permet de mettre en avant l'analyse du mouvement et son application à l'étude de la position du cavalier, tandis que le chapitre quatre, s'attache à définir les hypothèses de cette recherche. C'est à ce niveau que sont présentés les résultats, qui se présentent sous la forme d'une comptabilisation d'observations ; puis vient le cinquième chapitre qui nous propose d'envisager les conséquences, c'est-à-dire les tendances qui peuvent se dégager de suite et surtout les applications qui en découlent. Nous poursuivons par une sixième partie dans laquelle est discuté de la pertinence, de la contribution scientifique de la méthodologie et des résultats ; Enfin, avant de conclure définitivement, nous terminons, par détailler les perspectives, qui viendront prolonger ce travail.

Pour conclure, il convient de mettre l'accent sur le fait que jusqu'à présent, l'équitation était enseignée oralement, voire basée sur des expériences axées sur le ressenti du cavalier. Cette étude présente un caractère novateur puisque, pour une des premières fois, nous avons la possibilité d'observer le comportement rachidien à travers sa cinématique et son adaptation, de comptabiliser ces observations, de façon à définir une tendance fonctionnelle, qui elle-même nous servira à dégager un profil-type du cavalier en fonction de son niveau de compétences, ce qui ensuite nous permettra d'envisager une intervention la plus appropriée possible en fonction de son particularisme fonctionnel. Car, ce n'est pas le calcul statistique qui nous intéresse, mais le nombre d'observations qui définit les profils du cavalier. Cette étude doctorale a donc une orientation particulière, avec ce regard et cette approche clinique où le maître mot est : l'observation. Mais au-delà du cadre de cette thèse, un travail plus statistique est envisagé ensuite pour parvenir à :

- une différenciation plus précise dans chaque groupe de cavaliers;
- une différenciation entre les cavaliers ;
- une différenciation chez un même cavalier, du fonctionnement spécifique de chaque niveau rachidien.

Cela constituera donc un prolongement « naturel » à cette étude puisqu'après avoir pu bénéficier des tendances globales observées dans chaque groupe et entre les groupes, l'analyse statistique nous donnera la possibilité d'affiner tout cela ; mais pour le moment, notre choix est tout autre en donnant la priorité à la clinique. Nous avons donc délibérément orienté cette thèse sur le chemin de la différence puisqu'en dehors du côté novateur (en effet, avec l'utilisation de capteurs inertiels sans fil, il s'agit d'une première dans le domaine de la recherche sur le rachis du cavalier), le choix clinique apporte un regard particulier sur ce parcours doctoral. Ce choix est d'ailleurs dicté par notre pratique quotidienne ; en effet, notre activité kinésithérapique libérale nous amène à suivre des sportifs

¹⁰ Agence américaine d'étude des gestes professionnels et de la santé.

équestres de tous les niveaux pour lesquels, il est impératif de déterminer une typicité fonctionnelle qui ne peut être acquise qu'avec l'observation des tendances cinématiques rachidienne de chaque individu ; c'est pourquoi, il était naturel pour cette étude de privilégier cet aspect particulier. C'est sous cet angle spécifique, qu'une présentation synthétique a été faite lors de la « Journée des doctorants » à l'occasion des Journées de Recherche Equine qui se sont tenues à l'INRA à Paris le 17 mars dernier.

CHAPITRE PREMIER : EQUITATION & POSITION du CAVALIER

1.1-L'EQUITATION dans L'HISTOIRE

1.1.1 - Le Cheval dans l'Antiquité

Le cheval est apparu sur terre il y a environ 50 millions d'années et c'est au début du quaternaire (ère glaciaire), vers 250 000 ans qu'est fait mention de l'EQUUS, l'ancêtre de notre cheval actuel. Domesticé en Asie centrale (actuel Kazakhstan), il fut d'abord utilisé dans les travaux agraires avant d'être considéré comme « arme de guerre ». Comme le détaille BOUGROS*, à partir du 18^{ème} siècle av. JC, les Hyksos (13)*, envahissent la péninsule arabique et pénètrent en Egypte avec des chevaux arabes. (cf. Georges historique du char). Il semble toutefois que Les Sumériens (14)* assureront la 1^{ère} trace guerrière de l'utilisation du cheval vers 3000 av. JC (y compris les charriots à roues) avec un doute d'antériorité pour la Chine à travers des céramiques sur lesquelles figurent des hommes à cheval (ou sur des attelages)



Figure 1.1 - *Equus Silvaticus*



Figure 1.2 - Cavalier Sumérien – 1800 av JC

XVI^{ème} siècle av. JC : c'est aussi d'Asie Centrale que viendra le 1^{er} traité d'équitation. Il est l'apanage de KIKKULI¹¹ qui écrit vers 1490 avant J.-C « *L'art de soigner et d'entraîner les chevaux utilisés à la traction des chars de combat* », considéré comme « le plus ancien traité d'équitation du monde », et qui concerne essentiellement le cheval d'attelage guerrier.

XV^{ème} siècle av. J.C : En Egypte, le cheval est utilisé en attelage, mais il semble qu'il n'y ait eu aucune cavalerie avant l'époque des Ptolémées (15)*

VIII^{ème} siècle av. J.C : Des colons grecs avec de grandes compétences équestres, les Hippobotes (16)*, qu'Hérodote (17)* décrivait comme étant en mesure de « nourrir leurs chevaux » & les Etrusques (18)* débarquent en Campanie. Ils deviendront les « cavaliers campaniens » qui au moyen-âge seront à l'origine de l'Ecole Napolitaine (19)*.

¹¹ Maître Ecuyer du Mitanni, tribu aryenne d'Asie centrale composante Hittite

VI^{ème} siècle av. J.C : L'armée Perse excelle toujours avec sa cavalerie. Les Parthes montent à cru et jouent même à l'ancêtre du polo.

V^{ème} siècle av. JC : Les Chinois qui dès le Vème siècle av JC se heurtent régulièrement aux fameux cavaliers Hiung Nu (20)*, envisagent de créer eux aussi une cavalerie digne de ce nom.

IV^{ème} siècle av. J.C : Fondation de la dynastie Macédonienne des Ptolémée qui va régner sur l'Égypte jusqu'à l'époque Romaine. C'est à cette date qu'apparaît la cavalerie dans l'armée égyptienne alors que la roue et le char étaient en vigueur depuis plus de 1000 ans. La Mésopotamie voit elle la naissance du mors alors que les grecs utilisent les hipposandales (21)* en cuir. Vers 424 av. J.C. SIMON D'ATHENES (22)* est l'auteur quasi inconnu d'un des plus anciens traités connus d'équitation « *Sur l'extérieur et le choix des chevaux* », dont il ne reste à ce jour qu'un fragment de chapitre où sont mentionnés des exploits guerriers. Un hipparque grec, XENOPHON*, auteur du plus célèbre des traités d'équitation antiques « *l'Art Equestre* », n'a pas, contrairement à ce que l'on a coutume de croire, inventé l'équitation, ni de guerre ni de cour, mais l'ayant apprise des Perses, il l'a simplement codifiée et magistralement analysée... De nos jours encore, tous les auteurs modernes reconnaissent la valeur de base et la validité de la formulation grecque. Les Grecs et plus tard, les Romains utilisent non seulement le cheval dans un but guerrier mais également comme principal élément de leurs jeux (en 680 av JC à l'occasion de la 25^{ème} olympiade (23)* apparaît la course de chevaux). Les techniques équestres de l'Antiquité sont peu connues ; les allures (24)* les plus prisées, communes à tous les peuples de l'Antiquité occidentale jusqu'à l'invention de la selle et des étriers étaient le *tripudium* (25)* des romains, l'*ambulatoria* (26)* et le *canterius* (27)*, allures de voyage les moins fatigantes pour le cavalier... Les peuples sédentaires comme les Chinois se mettent à intégrer le cheval dans leur civilisation.

A la suite, l'histoire équestre traverse une longue période où les peuples se sédentarisent reléguant l'équitation au second plan ; celle ci ne fera pas de progrès, et sera même en régression dans le monde romain. Cette société ne nous donnera aucun traité sur la question.

1.1.2 - Evolution de L'Équitation à travers les âges

V^{ème} siècle après JC : L'empire Romain d'Occident s'écroule. C'est l'Empire Romain d'Orient, Byzance, qui découvre la selle, les étriers, la ferrure à clous. Ces inventions ne sont pas étrangères au fait que les Byzantins, durant le siècle suivant, reconquièrent une partie des provinces perdues. Ils les repèreront progressivement, mais se maintiendront jusqu'au 12^{ème} siècle en Campanie. Le cavalier peut alors utiliser toutes les ressources du cheval dans ses déplacements, ses chasses et ses combats.

VII^{ème} siècle après JC : En 732 Charles Martel bat les Arabes à Poitiers, qui se retirent en laissant une grande partie de leurs chevaux. Ces cavaliers arabes, apportent à l'Occident l'équitation orientale, élaborée dans le Proche et le Moyen-Orient. Depuis les conquêtes d'Alexandre, dans la plupart de ces régions, en contact avec les steppes des cavaliers, les hommes avaient fait progresser considérablement les techniques hippiques (invention de la selle avec étriers, invention de la ferrure, sélection des races de selle). Les cavaliers de l'Islam assimilèrent très vite ces techniques. A la cour des califes

de Bagdad, l'art équestre, atteint un degré inconnu jusqu'alors. Il en fut de même dans les cours de Cordoue, de Fez, de Kairouan, du Caire, après la décadence du califat qui fit perdre à l'Islam son unité politique. C'est de cette époque faste de l'équitation que datent les premiers traités véritablement exhaustifs sur l'art équestre, et son environnement .
Le traité le plus abouti est certainement *le Nacéri* (28)* intitulé : « *la Perfection des deux arts* »*, l'art de l'écuyer et l'art de l'homme de cheval ! Chez les arabes, la connaissance du cheval, l'emploi auquel on le destine et la mise en condition ne sont jamais dissociables. A notre époque, nous sommes loin du compte sur ce plan-là, et nos maîtres ont trop souvent sous-estimé cette considération comme si le cheval ne se résumait qu'à l'utilisation que l'on en faisait (cheval de selle ou de trait) en tous points identiques aux objets.

C'est sur ce postulat de départ que l'Europe de la Renaissance fondera son équitation. C'est donc une dualité qui assurera la transmission :

- l'Italie du Sud où, dans le royaume de Sicile, les contacts culturels furent constants entre la chrétienté et l'Islam. Et ça n'est pas par hasard si le premier traité européen d'équitation et d'hippiatrique (29)* a été écrit à la cour du « sultan chrétien », FREDERIC II DE HOHENSTAUFEN (30)* qui consacra sa vie, à essayer de tisser un lien profond entre les deux civilisations.
- l'Espagne et Portugal où, dans les combats de la reconquête, durant des siècles, les chevaliers espagnols s'adaptèrent aux techniques équestres de leurs adversaires maghrébins... Et non plus, ce n'est pas anodin si l'un des tous premiers livres imprimés sur l'équitation, soit un traité de monte à la genette (31)*, 18 ans avant celui de FEDERICO GRISONE (32) ! Et un Traité d'Equitation Portugais par le roi DOM DUARTE (33)* en 1434 qui s'affaire à codifier une « équitation comportementaliste » pour le cavalier (par rapport à son émotivité à cheval) en opposition avec « l'équitation biomécanique » qui ne s'occupe que de la locomotion du cheval, qui dès lors ne se résume « qu'à un outil ».

Lors de la conquête du royaume de Naples par les Espagnols, ces deux courants ont convergé et engendré l'équitation de Basse et Haute École (34)*. (1550 « *Gli ordinidi cavalcare* » de FEDERICO GRISONE*.)

XII^{ème} siècle : le Moyen Age voit les chevaliers monter des chevaux lourds, puissants pour guerroyer et plus légers, rapides pour la chasse, les tournois. Dès lors les chevaux ne seront plus référencés par race mais par usage à savoir DESTRIER¹² ou PALEFROI¹³ (pour les tournois et les parades). Leur équitation est relativement primitive et brutale, le cheval n'étant qu'un instrument à dominer. Vers 1130 environ, dans le sud de l'Italie, un groupe d'écuyers Byzantins (35)*, nourris de la culture équestre des cavaliers campaniens issus des colonisations grecques du 8^{ème} siècle avant J.C., crée une Académie d'Equitation : *L'École Napolitaine*. Les cavaliers disposent alors de la ferrure à clous, de la selle et de l'étrier, du double mors (bride et filet), des éperons (36)*.

¹² Cheval utilisé pour la guerre

¹³ Cheval utilisé pour les tournois et les parades

1.1.3 - Equitation = Art Equestre et Equitation Académique

XVI^{ème} siècle : C'est la naissance des Académies et des Ecoles d'Equitation durant la Renaissance Italienne. L'Italien FEDERICO GRISONNE* relance l'Académie de Naples (Ecole Napolitaine), et rédige le premier réel écrit traitant de l'équitation depuis..... Xénophon* : « *Glie ordini di cavacare* » (1550). L'Italien CESARE FIASCHI (37)* fonde sa propre académie en 1534. Il est l'auteur du premier Traité des embouchures. L'Italien GIAN BATTISTA PIGNATELLI (38)* forme deux élèves qui deviendront deux illustres écuyers français : SALOMON DE LA BROUE (39)*, auteur de « *Le cavalier Français* » et ANTOINE DE PLUVINEL (40)*. C'est alors le règne des châtiments et récompenses qui caractérise l'équitation de l'époque. MONSIEUR DE PLUVINEL* (1556-1605), invente le travail entre deux piliers (41)* et même s'il recommande l'usage de la chambrière, il préconise la douceur. Il inventorie les airs relevés (42)* et travaille la pesade, ruade, courbette, ballottade, cabriole (43)*. C'est à partir de MONSIEUR DE PLUVINEL, que s'établissent les fondements d'une véritable esthétique. Il énonce cette vérité première : le cheval doit être en avant.

XVII^{ème} siècle : L'histoire de la haute équitation est alors étroitement liée à celle des monarques et des cours, elle contribue au prestige de l'Etat, enrichit l'art militaire, sert le plaisir des princes et des nobles... FRANÇOIS ROBICHON DE LA GUERINIERE (44)*, " le père de l'équitation française ", est écuyer du Roi en 1715, s'installe à Paris où il dirige le manège de la rue Vaugirard. Il est nommé Ecuyer Ordinaire de la Grande Ecurie du Roi au Manège des Tuileries en 1730. Il publie entre 1729 et 1731 « *L'Ecole de Cavalerie* », qui reste encore un texte de référence en matière d'art équestre. Puis en 1740 dans « *Les éléments de cavalerie* », ouvrage abrégé du précédent, il rend hommage à ses mentors MONSIEUR DU PLESSIS (45)* et MONSIEUR DE LA VALLEE (46)*, et deux autres auteurs : MONSIEUR DE LA BROUE *, élève de PIGNATELLI* et MONSIEUR LE DUC DE NEWCASTLE (49)* (anglais).

L'ambition première de LA GUERINIERE* est la clarification de ces deux auteurs : " *leurs ouvrages sont des trésors infructueux... par le peu d'ordre qui y règne* ". Dans cette référence équestre, il codifie et clarifie les principes de ses prédécesseurs, pose les bases d'une nouvelle école plus simple, plus naturelle et adaptée à l'usage habituel du cheval.

Il est le premier à exposer que tous les chevaux ne sont pas capables du même travail, et que les exigences doivent être adaptées aux capacités du cheval. On lui attribue la paternité de l'épaule en dedans (50)* et de la descente de main (51)*. Il innovera également en matière de position du cavalier (auparavant buste raide, jambe et jarret tendus) en étrivant moins long et en asseyant davantage dans la selle.

XIX^{ème} siècle : 1814 c'est l'essor de l'Ecole de SAUMUR (52)*, cette dernière devenant le théâtre d'un affrontement entre les élèves indirects de Versailles et les disciples de la nouvelle doctrine enseignée par D'AUVERGNE (53)* à l'Ecole Militaire : ce sera le siècle de l'affrontement de deux grands maîtres, LE CONTE D'AURE (54) et BAUCHER (55). Vers 1834, FRANÇOIS BAUCHER* vient s'installer à Paris. En rupture totale avec l'héritage de l'équitation classique, il bannit les oppositions d'aides et pêche

la légèreté. Il s'élève en rival du COMTE D'AURE*. Il découle de cette période deux grandes traditions équestres en Europe :

- l'Ecole de Versailles et l'œuvre de LA GUERINIERE* (dite " Tables de la Loi "), dont s'inspirèrent largement des Allemands comme le BARON DE SIND (56)* et GUSTAVE STEINBRECHT (57)*, des Autrichiens comme MAXIMILIEN WEYROTHER (58)* et ses successeurs à l'Ecole Espagnole de Vienne (59)* (*SpanishHofreitschule*)
- L'école Bauchériste, dont se recommandent encore quelques cavaliers.

Après avoir été longtemps, « arme de guerre », « outil agricole » voire signe extérieur de richesse, le cheval s'est progressivement transformé en compagnon de l'homme et progressivement est devenu son compagnon de loisirs y compris sportif. Mais c'est du domaine militaire que sont apparues les 1ères manifestations sportives (raid d'endurance) puis l'équitation s'étant extériorisée, le franchissement des haies devenait incontournable et devait donner naissance aux 1ères compétitions nommées Championnat du cheval de selle puis Military.

Alors que la position d'alors était issue de la Haute Ecole, bien assis fièrement, l'Italien FREDERICO CAPRILLI (60)* lance une théorie sur la position en suspension, ou équilibre, déjà adoptée par les anglais pour la chasse après avoir remarqué que le cheval sautait en se réceptionnant sur les antérieurs après avoir effectué une bascule d'avant en arrière.

1.1.4 - Les Ecoles d'Equitation

Semblable à la peinture l'Equitation a possédé et possède encore des écoles de l'art équestre. Ce qui est ici appelée « une Ecole » correspond à un enseignement spécifique calqué sur une conception spécifique de l'art équestre. Encore aujourd'hui, il existe une équitation des écoles traditionnelles & historiques comme l'école italienne, allemande ou française.

1.1.4.1 – Ecole italienne

Considérée par les puristes comme une des plus anciennes, elle naquit en Campanie, dans la région de Ferrare puis à Naples, d'aucuns affirment même qu'elle serait la descendance des « cavaliers campaniens ». C'est vers 1534, que FEDERICO GRISONE* crée l'Académie d'Equitation de Naples (61)*

1.1.4.2 – Ecole allemande

Issue de l'Ecole Espagnole de Vienne* et de Hanovre*, elle a étendue son influence sur l'Europe centrale et la Scandinavie. Basée sur la soumission totale du cheval, elle confère parfois au cavalier une impression de pénibilité et d'effort. Toutefois, il n'en demeure pas moins qu'elle a prouvée à maintes reprises, l'excellence de ses résultats notamment lors des compétitions internationales de dressage où l'équitation des pays « du nord » a souvent prévalu même si elle se confronte de plus en plus à la légèreté des autres nations.



Figures 1.3 et 1.4 - Photos des reprises publiques de l'Ecole Espagnole de VIENNE en Autriche (collection privée).

1.1.4.3 – Ecole française

Expression totale de la légèreté et de la grâce, elle est l'émanation à ses débuts de l'équitation italienne puis a été codifiée et organisée par LA GUERINIERE* qui prône grâce, assise souple, assiette liante, jambes relâchées pour la position du cavalier et on lui attribue la paternité de L'EPAULE EN DEDANS* qui assouplit, rend adroit et obéissant. Elle tournoya au firmament de l'art équestre du 17^{ème} jusqu'au 19^{ème} siècle, grâce aux maîtres de Manège de Versailles (62) *.

Perpétuée depuis par de fantastiques écuyers : D'AURE*, BAUCHER*, le Général LHOTTE*, l'Equitation à la Française est indissociable de l'enseignement dispensé à SAUMUR. Ce dernier a été au tournant de l'opposition de style D'AURE/BAUCHER en ayant imposé l'équitation de D'AURE (« simple, pratique, facilement transmissible, mais ses horizons sont bornés ») à SAUMUR tout en autorisant le Bauchérisme avec les chevaux privés et le dressage des jeunes chevaux.

Cette attitude consensuelle se perpétuera ainsi à SAUMUR avec le Général DECARPENTRY*(63), les Capitaines BEUDANT (64)* (que le Général DECARPENTRY qualifiait « d'Ecuyer mirobolant ») et SAINT PHALLE (65)* et le Colonel DANLOUX (66)*. De nos jours, le CADRE NOIR (67)* s'avère être encore « Le Gardien du Temple »... ce qui lui valut ces dernières années de se voir inscrite au Patrimoine Immatériel de l'Humanité de l'UNESCO.

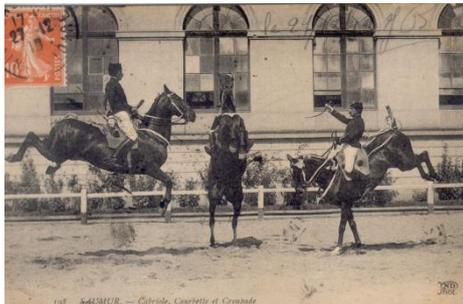


Figure 1.5 et 1.6 - Le CADRE NOIR de SAUMUR d'hier (collection privée).



Figures 1.7 et 1.8 – Le CADRE NOIR de SAUMUR aujourd’hui (collection privée).

1.1.5 - Equitation et Sports Equestres aujourd’hui

Au début du XX^{ème} siècle, adeptes des équitations classiques et sportives s'affrontent dans leur façon de monter... A l’époque, les cavaliers se penchaient en arrière au point le plus haut de l'obstacle tout en tirant sur la bouche du cheval, dans l'objectif de forcer le cheval à retomber sur ses quatre pieds voire sur ses postérieurs uniquement (que l'on pensait plus résistant aux chocs). Cette attitude, douloureuse pour les chevaux, les empêchait de sauter naturellement, les rendaient souvent entièrement réfractaires au saut.

Le Colonel DANLOUX*, Ecuyer en chef du manège de SAUMUR de 1929 à 1933, s'inspire de la théorie de CAPRILLI* concernant la position en suspension pour perfectionner la monte à l'obstacle, en insistant en autre chose, sur la tenue par les mollets au dessus du diamètre du cheval, ce qui est nommé le genou « liant » (68)* et non genou « fixe » (69)* comme chez CAPRILLI; en effet, le capitaine CAPRILLI, avait observé que les chevaux qui sautaient en liberté, se réceptionnaient uniquement sur leurs antérieurs et avec un mouvement de bascule, imagina une position pour le cavalier, qui lui permettrait d'avoir un mouvement naturel. Cette position en équilibre permet au cheval d'allonger sa foulée avant l'obstacle, à son cavalier d'accompagner le centre de gravité du cheval au cours du saut et d'être léger dans sa main en accompagnant le mouvement naturel de l'encolure (qui fait balancier et s'allonge nécessairement vers l'avant et le bas pendant le saut). Tout ceci rend le saut sans douleur pour le cheval et autorise dès lors le franchissement de tous les types d'obstacles, gués, droits, oxers (70)*.



Figures 1.9 et 1.10 – « Anciens sauts en AR » (collection privée).



Figure 1.11 - sauts modernes selon CAPRILLI et DANLOUX (collection privée).

L'Équitation via le dressage et le CSO¹⁴ deviennent disciplines Olympiques* lors des Jeux de la 2^{ème} Olympiades à PARIS en 1900. Réservées au départ, aux officiers militaires, ces épreuves seront ouvertes à tous les cavaliers en 1952. Le premier Concours Complet international¹⁵ a lieu à Badminton en 1949. L'influence militaire dans l'enseignement équestre est très forte jusque dans les années 1970-1980. C'est notamment le cas par exemple, du Commandant LICART* y fait une description des plus fines en 1952, dans son ouvrage « Equitation Raisonnée »



Figure 1.12 - Cavaliers du CADRE NOIR de SAUMUR devant Ecole de Cavalerie (collection privée).

Comme le rappelait, Michel HENRIQUET (71)*, on ne peut passer sous silence l'importance de l'Équitation Portugaise même si celle-ci, n'a pas de structuration en tant que telle, car elle a « produit » Maître NUNO OLIVEIRA (72)*, reconnu comme le meilleur cavalier/dresseur de la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Il appréhendait l'équitation et le dressage des chevaux ibériques et fut reconnu comme LE maître vis-à-vis de ces chevaux. D'aucuns atténueront les performances, non pas en équitation pure, mais par rapport au fait que les chevaux ibériques ont des attitudes et des allures qui mettent en valeur naturellement le travail du cavalier, ce qui n'enlève en rien les facultés exceptionnelles de ce maître lusitanien.

A cette époque apparaissent les Clubs et Centres Equestres, avec la démocratisation de l'Équitation sportive et de loisirs, et l'apparition de nouvelles disciplines et l'amélioration de la pédagogie.

¹⁴ Concours de Saut d'Obstacles

¹⁵ Concours Complet International d'Équitation.

L'équitation contemporaine, va au début du XXème siècle, voir une révolution équestre avec l'apparition de l'équitation sportive et de loisirs en ouvrant la voie à l'équitation moderne d'extérieur. De nouvelles disciplines voient le jour: Point to point, steeple, cross, raids, concours de saut d'obstacles.

Entre les deux guerres mondiales, les cavaliers militaires français étaient parmi les plus brillants du monde : DE LAISSARDIERE (73)*, BIZARD (74)*, CLAVE (75)*, mais ces cavaliers ne sont paradoxalement pas issus du CADRE NOIR de SAUMUR, car la méthode de monte à l'obstacle qui y est alors officialisée et enseignée par l'écuyer en chef de l'époque, le Colonel DANLOUX*, nuit à la solidité et l'efficacité...

"Seuls ceux qui ont appliqué le principe contraire à la doctrine DANLOUX, ont réussi." (GUDIN DE VALLERIN (76)*)

Après la guerre 39-45, la motorisation, les différents conflits (Indochine, Algérie) et certains errements techniques font que l'école militaire est en régression, hormis quelques exceptions hors CADRE NOIR. Ce sont les civils qui prennent alors le relais avec D'ORGEIX (77)*, D'ORIOLO (78)*, puis ROZIER (79)*, ROCHE (80)*, ROGUET (81)*, PAROT (82)*, NAVET (83)*, D'ESME (84) * en dressage, , LE GOUPIL (85)* en CCE: l'équitation sportive de haut niveau devient de plus en plus civile.

A partir des années 1950 et surtout des années 1970 survient une véritable démocratisation de l'équitation, avec:

- le développement des centres équestres, l'apparition des poneys clubs et le développement de l'équitation sur poneys venue de Grande Bretagne. Cette équitation qui accorde peu de place à la locomotion du cheval, ni à la technique, est génératrice de traumatismes à la fois pour les chevaux mais aussi pour les cavaliers. Ceci se traduira à partir des années 1980 par l'apparition des soins de kinésithérapie à destination des équins mais aussi des humains comme l'a mis en évidence le Pr JM DENOIX (86)* mais aussi des centres de rééducation fonctionnelle et autres thalassothérapie équins.
- le développement du tourisme équestre, de la randonnée.
- le retour à la mode d'un certain nombre de disciplines de loisirs comme les jeux (horse ball, polo, pony games), la voltige, l'attelage(87)*, les raids d'endurance (88)*.

Cette équitation moderne peut schématiquement se définir en 3 axes de monte différents: Allemand, Américain et Français

- Allemand : Monte avec une recherche du recul du centre de gravité du cavalier pour influencer le recul du centre de gravité du cheval et le mettre de facto dans une attitude de travail.
- Américains : Mettre le cavalier au dessus du centre de gravité du cheval de façon à faciliter la locomotion de ce dernier avant de chercher à l'influencer.

- Français : Basé sur l'attitude du milieu, sur la recherche d'un emplacement et un positionnement cavalier/cheval pour rendre les choses les plus faciles possibles, choix de la synergie selon SIMONET.

Pour conclure ce rappel historique, il convient de préciser que la vision du passé équestre, n'est pas immuable et n'est pas reconnue de tous et par tous ; j'en veux pour preuve que la vision du regretté Michel HENRIQUET* diverge assez largement du rappel historique que fait Patrice FRANCHET D'ESPEREY (89)* dans sa thèse.

1.1.6 - Organisation des activités équestres sportives en France.

Il est possible d'envisager une codification schématique des activités sportives équestres telles qu'elles sont proposées aujourd'hui en France, à travers ce tableau synoptique. Le schéma conceptuel des activités sportives proposées par la FFE¹⁶ est basé sur des niveaux d'acquisition de connaissances et de compétences. Il va de paire pour la FN¹⁷ que la théorie est indissociable de la pratique même si, au final, l'histoire a montré que bien souvent la seconde primait...

Cette approche de ces activités pourrait prendre la forme suivante en tenant compte des exigences à obtenir du cheval, de l'axe directeur des techniques équestres, des étapes sportives, du type d'épreuves et du niveau d'équitation.

En essayant d'établir une corrélation avec les connaissances exigées pour les niveaux de compétence en équitation, « les GALOPS (90)* », il serait envisageable de proposer une disposition de ce type pour l'organisation des sports équestres. Il en est tout autrement dans la pratique quotidienne puisque depuis la réforme des « GALOPS » du 1^{er} septembre 2012, il n'existe plus de GALOP 8 et 9 d'une part et d'autre part sont autorisés à concourir en compétition AMATEUR (91)*, les cavaliers titulaires d'une licence AM ou PRO qui ne peut être délivrée qu'avec le GALOP 7.

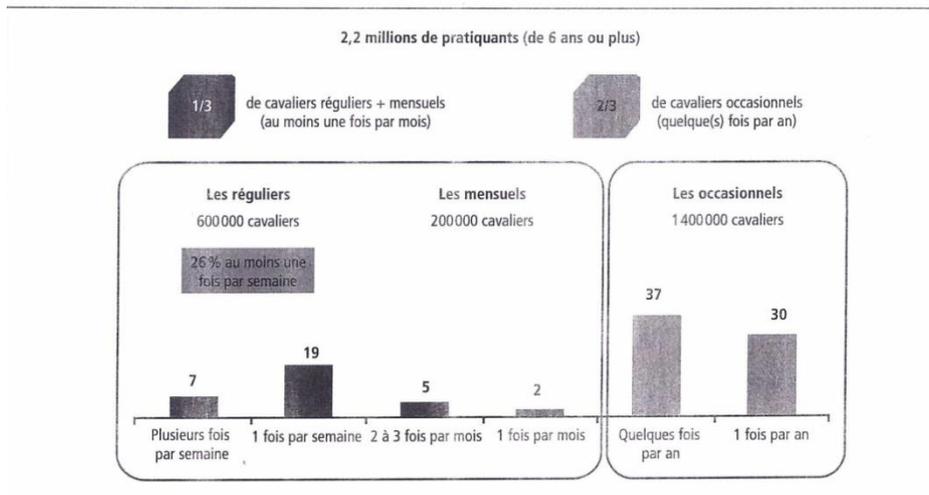
Une étude TNS Sofres de 11/2007, nous éclaire sur la pratique de l'équitation en France et sur ses pratiquants. C'est une population de 2.2 millions de pratiquants de 6 ans et plus qui pratique l'équitation dans l'hexagone. Seul 1/3 de ces cavaliers peut être qualifié de réguliers (au moins 1x/mois) et 2/3 sont des « occasionnels » (quelques fois/an).

Dans ces conditions, l'aspect purement réglementaire n'est pas à prendre en considération dans la schématisation hypothétique des activités équestres par rapport au niveau théorique de compétences.

¹⁶ Fédération Française d'Equitation

¹⁷ Fédération Nationale

Les pratiquants d'équitation en France



Source : TNS Sofres – Les pratiques équestres – 34JC41 – 11/2007.

Schéma 1.1 – Les pratiques équestres, (d'après enquête de TNS Sofres.11/2007.

Dès lors la description ci-dessous a pour unique vocation d'essayer d'établir un parallèle entre le niveau de pratique du cavalier et le niveau de « dressage » du cheval, le tout appliqué aux épreuves sportives et à leurs exigences.

Il serait envisageable de proposer une schématisation tripartite en fonction du niveau requis du cheval.

- **1^{er} Niveau** : Les BASES (Exigences à obtenir du cheval), à l'intérieur des quelles on peut aisément dissocier
 - ✓ 1- **La Correction des allures** comme idée principale à acquérir pour le dressage du cheval, c'est-à-dire être capable à la demande de passer du pas au trot, du trot au galop (92)* et inversement. Cela pourrait s'apparenter à une 1^{ère} étape sportive dite « **Emotionnelle** » où l'objectif principal est centré sur la manifestation de l'émotion, généralement à travers le jeu.
 - ✓ 2- **La Souplesse et la Décontraction (93)***, pourraient être les 2 priorités de ce deuxième stade, la place de l'émotion cédant le pas sur la fonctionnalité, c'est-à-dire qu'à ce moment là de son parcours équestre le cavalier doit être en mesure de mettre en œuvre un début de « **stratégie d'activation** » basée sur les gestes techniques acquis précédemment ; l'émotion a mis l'accent sur des bases gestuelles, qui lui seront nécessaires et utiles à la réalisation d'un geste sportif dans lequel le cavalier trouvera avantage (justement grâce à ces acquisitions). Dès lors il sera capable de mener sa monture avec un zeste de délicatesse recherchant sans cesse la décontraction du cheval utilisant en cela la légèreté de ses aides. Cette étape sportive « **Fonctionnelle** » sera définie comme étant la capacité pour le cavalier d'exécuter un geste sportif en adéquation avec le but recherché pour le cheval.

- 2^{ème} Niveau : il pourrait correspondre à deux stades très imbriqués l'un dans l'autre
- ✓ 3- **DEVELOPPEMENT de la PROPULSION** (94)* du cheval : là l'objectif pour le cavalier est de parvenir progressivement à mettre son cheval en avant c'est-à-dire en favorisant l'activation de l'arrière main (95)* qui provoquera donc la propulsion de l'équidé et donc son envie de se porter en avant donc l'IMPULSION (96)*. Progressivement, le cavalier va avoir en tête un souci d'efficacité c'est-à-dire que le fonctionnel de la 2^{ème} étape va évoluer vers le besoin de réussite, ce dernier venant concrétiser l'accomplissement d'un contrat respecté. Ce stade est celui du « **CONTACT** (97)* » : pour le cheval, il correspond à une tension « juste, ni trop, ni trop peu » du mors dans la bouche. L'intérêt de ce CONTACT est de pouvoir contrôler le comportement du cheval avec un minimum d'actions et un maximum d'efficacité. Il s'agit d'une étape considérée comme « **TECHNIQUE** », où la qualité du geste technique prime, le tout au service de l'efficacité. Titulaire d'un **GALOP 5**, le cavalier est alors habilité à sortir sur le circuit **Amateur**.
 - ✓ 4- Ce stade sportif est synonyme de performance puisque là le cavalier n'aura cessé de rechercher et de travailler la **PROPULSION et l'ENGAGEMENT** (98)* et la **RECTITUDE** (99)*, de son cheval, cherchant à mettre en pratique les commandements du Général LHOTTE* « *calme, droit et en avant* ». Dans un environnement qui lui permet de réaliser ses objectifs (qualité du concours à travers : les terrains, le matériel, les juges, commissaires, stewards, tracé des parcours, etc...), c'est dans ce contexte particulier que s'exprime le **SAVOIR-FAIRE** équestre. Ceci signifie qu'au-delà des critères imposés, le compétiteur aura à cœur de mettre en valeur une « touche personnelle » qui ira au-delà du contrat imposé. Là c'est le **GALOP 7** qui sera obligatoire et la qualité de concours sera celle retrouvée dans les épreuves **Amateur 1** (100)* et **PRO** (101)*.
- 3^{ème} Niveau : il s'agit du stade ultime, la quête du « Graal », à savoir le **DEVELOPPEMENT de l'EQUILIBRE** (102)* du cheval ; souvenons nous de l'image du cheval représenté comme une balance avec ses deux fléaux : avant main et arrière main. Dans ces conditions, l'unique objectif est de faire en sorte, quelques soient les circonstances ou les événements, de conserver un équilibre parfait permettant à chacun (cheval et cavalier) de s'exprimer dans des conditions optimales d'efficacité et de performance. Sur le plan équestre, le geste technique se nomme **RASSEMBLER** (103), véritable expression d'un cheval en équilibre ; dans ces conditions, le déplacement équin est générateur d'une mutation d'une impulsion longitudinale (postéro antérieure) en une force ascensionnelle, le tout avec une réduction d'amplitude mais en gardant une cadence intacte. Cette étape d'**EXPERTISE** requiert une capacité d'innovation et surtout de création de la part du cavalier, il ne s'agit plus d'exécuter un protocole défini mais bien plus de présenter une véritable création personnelle dans l'évolution du cheval sur l'aire de compétition. L'exigence sportive ne se limitera pas au simple déroulé d'un tracé ou de réalisation « basique » de figures de dressage, mais bien au contraire, seule sera prise en compte le « brillant (104)*, l'excellence » du geste. C'est ce qui est demandé au niveau national **PRO ELITE** et **INTERNATIONAL** (105)* et qui dès lors mériterait que le cavalier soit titulaire d'un **GALOP 8 et 9**.

1.2 – NOTIONS d'EQUITATION

Définition des allures du cheval : Comme le rappelle le *Manuel d'Équitation de la Fédération Française des Sports Equestres* dans les années 1960/70, on désigne par allures les différentes façons que le cheval a de se déplacer. Il existe des allures naturelles qu'utilise le cheval en liberté, et des allures artificielles qui sont le fruit d'un apprentissage avec l'homme, via le dressage.

1.2.1 - COMPORTEMENT DU CAVALIER PAR RAPPORT AUX ALLURES NATURELLES DU CHEVAL

Selon FAVORY (2011)*, monter à cheval c'est « *s'adapter à un support animé de mouvements dans les trois dimensions et en déplacement dans l'espace* ».

« *Pour que le cheval fonctionne au mieux, il est nécessaire que son cavalier fonctionne JUSTE, c'est-à-dire symétrique, en équilibre et décontracté* » c'est ce que recommande, Nicolas TOUZAIN (106) *

Adaptation du cavalier aux allures : lorsque le cheval est en mouvement, le cavalier va devoir absorber un ensemble de forces que l'équidé lui transmet s'il veut s'adapter harmonieusement au déplacement de sa monture. C'est entre autres, par le jeu de son bassin que se fera l'absorption de ces contraintes.

A toutes les allures, le cheval produit 3 forces impulsives*:

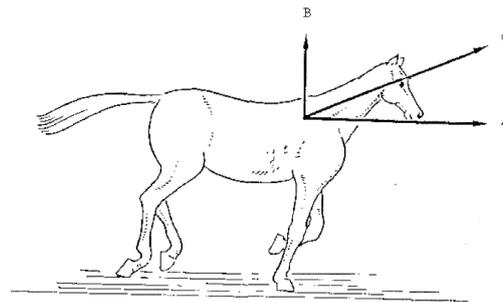
- une force horizontale de propulsion (axe transversal x) autour duquel s'effectuera le *tangage* ;
- une force verticale de sustentation (axe longitudinal z) autour duquel s'effectueront les mouvements de *lacets* ou de *virages* ;
- une force transversale (axe antéro postérieur y) autour duquel s'effectuera le *roulis*.

La résultante de ces trois composantes sera, en fonction de l'allure, variable périodiquement en direction et en intensité. Ces forces impulsives sont transmises au cavalier par l'intermédiaire de la selle de façon discontinue, répétitive et rythmée par les foulées de la monture. Il conviendra également de considérer une force verticale liée à l'effet de la pesanteur.

Elle est située dans le plan sagittal de gravité du cavalier, verticale et dirigée vers le bas. Elle a une valeur égale au poids de la portion du corps sus-jacente à son point d'application.

Maintenir l'équilibre sur le cheval au repos, pour le cavalier, paraît aisé mais il en est tout autrement lorsque l'équidé est en action. En effet, dans ce cas, l'on assiste à la mobilisation d'un sujet animé (le cavalier) sur un support animé dans les trois plans de l'espace (le cheval), ce qui génère en permanence un déséquilibre constant. Chaque allure sera créatrice de mouvements, de déséquilibre et donc de phénomènes d'adaptation de la part du cavalier à travers la selle sur le cheval.

B : force de sustentation (axe vertical z).



C : résultante.

A : force de propulsion (axe sagittal x).

NB : la force transversale n'est pas représentée.

Schéma 1.2 – Forces exercées chez le cheval en déplacement (d'après Cazaubon).

1.2.1.1 - Le pas

Il s'agit d'une allure marchée, c'est-à-dire qu'en permanence, le cheval garde contact au sol avec un membre. C'est symétrique puisque le déplacement de chacun des membres droits est suivi par celui des membres gauches. Elle est dite balancée puisque le cheval se balance d'avant en arrière puis d'arrière en avant. Enfin, c'est une allure à 4 temps égaux : le temps étant la durée qui sépare deux battues successives et la battue correspond au bruit produit par le poser sur le sol d'un pied ou de deux simultanément.

Le cheval décolle et pose alternativement ses quatre membres, c'est ainsi qu'il lève son membre postérieur gauche puis son membre antérieur gauche, son membre postérieur droit et enfin son membre antérieur droit et ainsi de suite. Le contact au sol se fait dans le même ordre que les levers.

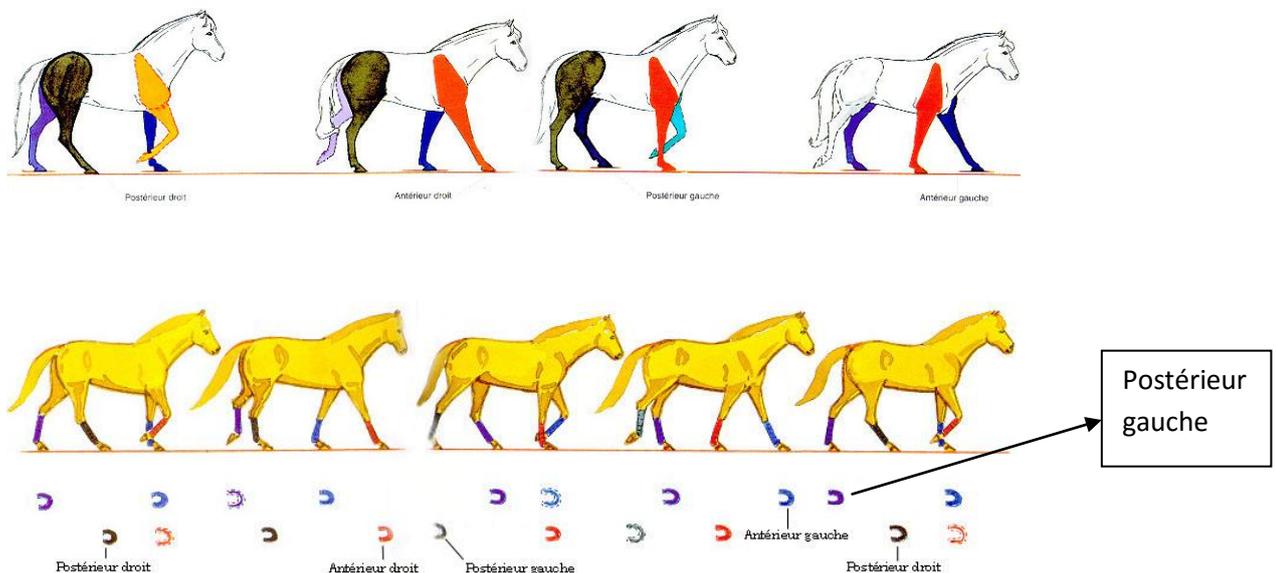


Schéma 1.3 - Schématisation du cycle du pas (manuel du Galop de 1 à 4 – FFE éditions Lavauzelle)

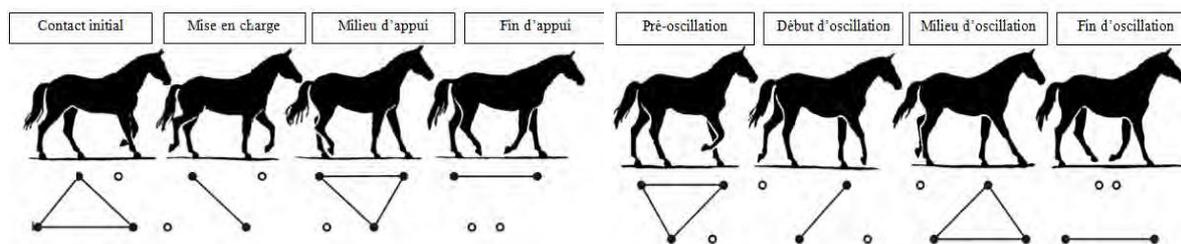


Schéma 1.4 - Cycle de marche, référencé sur le postérieur gauche, et base de sustentation du cheval au pas (Malen* et al, 1994).

Le pas est une allure lente (environ 7km/h), symétrique, qui présente peu de souci pour le cavalier car les contraintes de propulsion sont faibles mais fréquentes (4 par foulées). La force de sustentation est quasiment inexistante car il s'agit d'une allure marchée et non sautée. Dès lors, le système d'amortissement rachidien n'est pratiquement pas activé. Comme l'ont mis en évidence GALLOUX et al (1995)* et BYSTRÖM et al (2010)*, le dos du cheval est source de mouvements (translation et rotation) dans les trois plans de l'espace à travers la selle du cavalier.

Considérant qu'entre le support tripodal postérieurs-antérieur droit et le support tripodal suivant (antérieurs - postérieur gauche), le bassin du cavalier va subir, selon HUMBERT (2000)* dans :

- Le plan frontal : le mouvement de tangage (bascule latérale du cheval) entraîne une inclinaison latérale du bassin avec compensation controlatérale du rachis lombaire, le cavalier doit rester figé (mais souple), le tronc demeure en rectitude au dessus du cheval.
- Le plan sagittal : le mouvement de roulis crée une rétroversion du bassin avec une diminution, voire un effacement de la lordose lombaire
- Le plan transversal : le mouvement de lacet est générateur d'une légère rotation thoraco lombaire.

Il faut toutefois garder à l'esprit, comme le souligne MATSUURA et al (2008)* que la conformation du cheval a une grande influence sur ces mouvements « tri-plans ».

Nul équilibre correct sans avoir, au préalable, acquis un relâchement musculaire correct ; tel est ce qu'enseignent bon nombre de manuels d'équitation. Il s'agit en fait, de la capacité pour le cavalier de s'adapter aux mouvements de sa monture avec une activité musculaire cohérente et surtout sans force excessive. Il n'existe que très peu d'études sur cette activité musculaire, mais comme le note TERADA (2000)* la stabilisation du tronc s'effectue par une action conjointe des spinaux (superficiels responsables de l'extension du tronc) et des abdominaux. A noter que chez les cavaliers débutants, seuls les spinaux sont sollicités, tout comme les muscles adducteurs des cuisses, ce qui n'est pas le cas chez le cavalier expert où une action musculaire conjointe est mise en évidence.

1.2.1.2 - Le trot

Le trot est une allure sautée, symétrique à deux temps égaux par bipèdes diagonaux séparés par un temps de suspension (107)*. Les membres sont associés en bipèdes diagonaux (antérieur droit et postérieur gauche, antérieur gauche et postérieur droit) qui se posent alterna-

tivement au sol après un temps de projection durant lequel le cheval n'a plus de contact avec le sol.

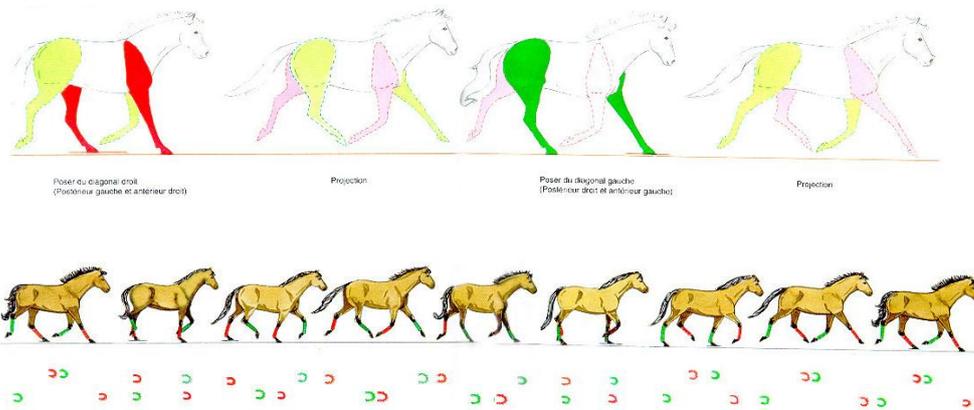


Schéma 1.5 - Schématisation du trot (Manuel des Galop de 1 à 4 – FFE – Editions Lavauzelle)

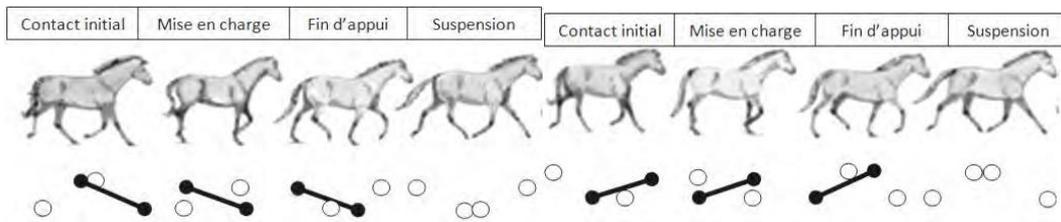


Schéma 1.6 - Cycle de marche et base de sustentation du cheval au trot (Malen et al., 1994).

C'est l'allure la plus utilisée pour le dressage des jeunes chevaux (108) et pour l'apprentissage des jeunes cavaliers. Il s'agit également de l'allure la plus traumatisante à la fois pour le cheval mais aussi pour le cavalier, pour qui l'essentiel consiste à garder un contact permanent avec la selle.

Il est décrit un trot assis, enlevé ou en suspension (109)*. Pour notre étude, nous allons considérer le trot assis. Au cours de cette allure, le cavalier se trouve confronté à des forces impulsives dans les trois dimensions, latéralement, horizontalement et verticalement. D'après GALLOUX et al. (1995) et de BYSTRÖM et al. (2009), il est observé deux phases de mouvement par bipède diagonal, soit un total de quatre phases par foulée. De même, ce sont les accélérations verticales qui sont le plus ressenties par le cavalier et qui au final font que le trot est l'allure la plus inconfortable et difficile pour le jeune cavalier

- Latéralement : ces forces sont dirigées tantôt à droite tantôt à gauche. Compte tenu de la symétrie de cette allure, le cavalier parvient relativement aisément à compenser ces composantes.
- Horizontalement : là encore, du fait de la symétrie de l'allure, le cavalier aura la possibilité de compenser les accélérations dues à la détente du bipède diagonal qui est au sol et les décélérations qui font suite à la reprise de contact au sol de l'autre bipède diagonal.
- Verticalement : la problématique du trot résulte dans la succession des forces verticales opposées associée à la variabilité importante et rapide de la force de sustentation : le dos du

cheval se trouve en son point haut lors de la phase de projection et en son point le plus bas lors des phases d'appui. Selon HUMBERT (2000)*, considérant qu'un cheval fait entre 80 et 120 foulées de trot par minute, le cavalier recevra de 3 à 4 impulsions verticales par seconde (car il y a 2 battues par foulée).

A chaque détente diagonale, le cavalier va donc recevoir une projection ascensionnelle ; à cause de son inertie, faible par rapport à celle du cheval (donc existence d'un « retard ») le mouvement ascensionnel se continuera alors que le cheval commence à redescendre pour prendre appui sur le bipède controlatéral diagonal. Dès lors, lors de l'ascension suivante du cheval, le cavalier retombe en retard : c'est ce que l'on nomme le « tape cul (110)* ». Ce choc amorti par le rachis, est générateur de contraintes discales importantes, voire en cisaillement s'il existe une divergence vertébrale (lésions fibreuses annulaires du disque intervertébral).

La problématique est alors la faculté d'adaptation du cavalier face à ces successions d'oscillations verticales ; la seule solution est d'ajuster son assiette à la baisse lors de la descente du dos du cheval après avoir amorti l'ascension. C'est ainsi que l'on note une rapide alternance de rétroversion du bassin avec flexion lombaire de la colonne lombaire et d'antéversion avec extension lombaire. Ce phénomène se répète donc à chaque battue, donc deux fois par foulée. MÜSELER (1972)* disait « qu'en voussant (111)* le rein, le cavalier se lie aux mouvements du cheval », tout comme en 1984 FORT-PAILLARD (112)* énonça que « les oscillations verticales du dos du cheval sont absorbées par le jeu du rein (113)* ».

Comme pour le pas, TERADA et al. (2004)* mettront en évidence que la stabilité sera assurée par un ajustement des adducteurs pour le cavalier débutant alors que l'expert pourra compter sur la contraction synergique égale des para vertébraux et des abdominaux.

1.2.1.3 - Le galop

C.MALEN* et al (1994) définissent le galop comme étant une allure sautée, puisqu'à un moment les membres du cheval ne sont plus en contact avec le sol, asymétrique avec la dissociation des posés et basculée avec un temps de suspension. Le déroulement du galop se fait comme suit : pour un galop à droite, le cheval pose initialement le membre postérieur gauche puis la bipède diagonale (postérieur droit / antérieur gauche) puis pour terminer le membre antérieur droit (ce dernier est dit piochant et détermine aux yeux des observateurs la latéralisation du galop). Plusieurs types de galop (114)* sont décrits : galop assis, en suspension, juste, à faux, rassemblé, etc..... Seul le galop assis sera ici étudié dans cette thèse puisqu'il correspond à ce que rencontrent les sujets lors des enregistrements sur le cheval mécanique.

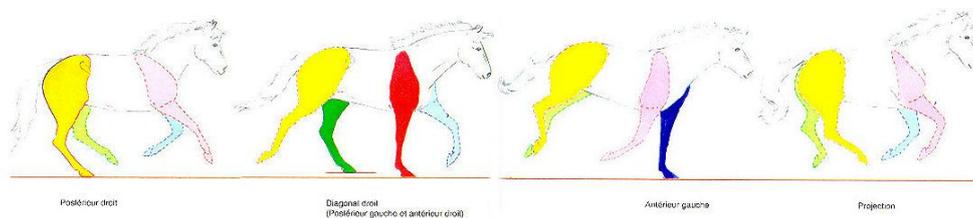


Schéma 1.7 - Schématisation du galop à droite – Manuel Galop 1 à 4 – FFE – Editions Lavauzelle).

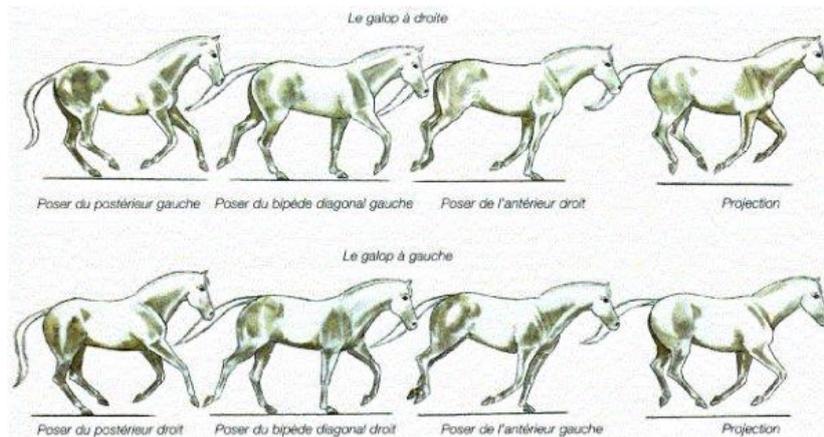


Schéma 1.8 – Cycle du galop à droite (haut) et à gauche (bas) d'après Malen et al. (1994).

Les forces exercées latéralement tendent à être contenues par les chaînes musculaires latérales du cavalier. L'adaptation du cavalier au galop est facilitée grâce à l'horizontalisation de la force résultante issue de la prévalence de la propulsion, conséquence des accélérations et décélérations selon l'axe longitudinal x , par rapport à la sustentation (axe vertical z). Toutefois, la vitesse de cette allure (quelque fois nettement supérieure à 30km/h) génère chez le cavalier débutant un sentiment de peur qui crée des attitudes voire des actions musculaires compensatrices, néfastes à sa qualité d'adaptation. C'est à travers la mobilité antéropostérieure du bassin (de plus de rétroversion à moins de rétroversion, voire à une légère antéversion) que s'effectue l'amortissement de ces variations de la force de propulsion et donc par une réduction ou une accentuation de la lordose lombaire. Pour Suzanne Von Dietze (2002)*, l'important pour le cavalier est de « sentir » le cheval déplacer son bassin lors du départ du galop et pas de voir son bassin effectuer la foulée de galop. Au contraire, Sally Swift (2002)* utilise la schématisation de la *balançoire* pour « sentir » le galop : imaginer la position à califourchon sur l'axe central de la balançoire ; lorsque l'extrémité face au sujet s'élève, celui ci descend, dos droit et les hanches se fléchissent (angle thoraco-fémoral se ferme). A l'inverse, lorsque l'extrémité postérieure se lève, l'individu remonte, l'angle tronc fémur augmente donc les hanches partent en extension. Dans la même optique, CHAMBRY* met en avant l'aspect « soudé » du bassin par rapport au dos du cheval, c'est lui qui accompagne le mouvement de bascule, le « branle » du galop.

Ceci met l'accent sur l'importance de la rectitude du tronc qui permet ainsi aux hanches libres du cavalier de mieux encaisser les oscillations et ainsi de rester fixe dans la selle.

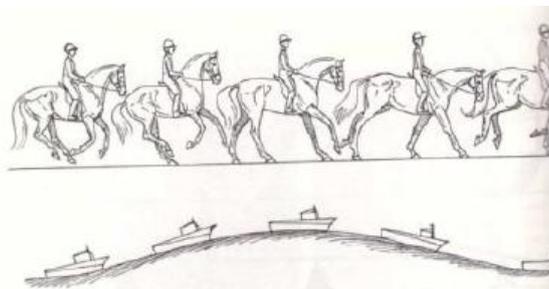


Schéma 1.9 - Le cavalier doit « Prendre la vague » au galop selon S.SWIFT (2002).

De la même façon, si l'on considère le cavalier à l'identique d'un surf ou d'un bateau qui prend la vague, il sera intéressant de constater que les 3 articulations (hanche, genou, cheville) doivent être en parfaite coordination pour appréhender au mieux les variations d'amplitude verticale du cheval (ici la vague) : la hanche se fléchira plus ou moins pour permettre au tronc de garder une rectitude.

Il convient également pour HUMBERT (2000)* de prendre en compte les phénomènes d'inertie qui s'exercent selon l'axe longitudinal x du cheval : en effet, lors des accélérations, le bassin recule et reprend sa position lors des décélérations.

Au 1^{er} temps du galop, lorsque le membre postérieur s'engage sous la masse du cheval, l'accélération longitudinale débute, combinée à la force de sustentation générée par l'abaissement de l'arrière main* en appui sur son membre postérieur. Le bassin effectue une rétroversion qui entraîne la colonne lombaire en flexion. Ceci est cependant limité par la tendance à la projection postérieure du tronc, issue de l'accélération longitudinale.

Au 2^{ème} temps du galop, le cheval vient poser le bipède diagonal, l'accélération augmente jusqu'à être maximale au 3^{ème} temps du galop où l'équidé vient poser le membre antérieur qui détermine la latéralisation du galop ; ces variations de l'accélération associées à une descente de l'avant main* ce qui a pour conséquence d'entraîner le bassin en antéversion et d'accroître la lordose lombaire (elle-même augmentée par l'inertie du tronc due à l'accélération)

Pendant le temps de suspension, la décélération longitudinale permet de facto à l'accélération verticale (descendante) d'atteindre son maximum ; le dos du cheval tend à s'horizontaliser et le cavalier pour lutter contre la force verticale descendante particulièrement sensible, débute une bascule pelvienne postérieure qui diminue la lordose lombaire. L'adaptation à cette poussée verticale est moins délicate puisque de survenue plus espacée qu'au trot (quasiment 1 temps sur 4 si l'on « ose considérer le temps de suspension comme un 4^{ème} temps »).

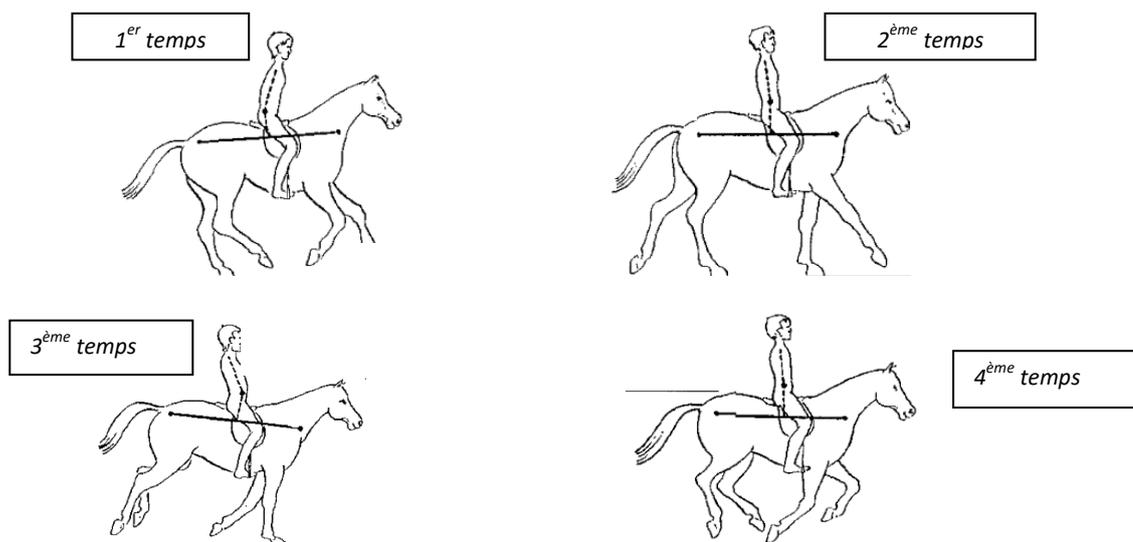
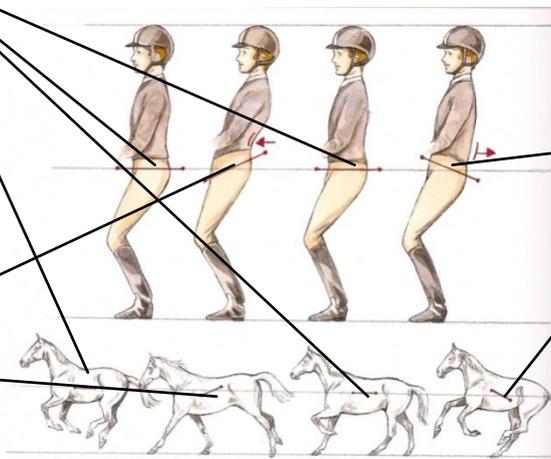


Schéma 1.10 – Le galop assis selon Weber – HUMBERT (2000).

Il convient de garder à l'esprit un élément important dans la biomécanique du cavalier au galop assis, le transfert de poids du cavalier en diagonal (vers l'avant et l'intérieur) de l'ischion externe vers

l'interne, qui s'effectue de façon simultanée à celui du cheval. C'est ce que demande aux élèves, bon nombre d'enseignants lorsqu'ils les invitent à « cirer la selle avec les fesses (115)* ».

Lors du 2^{ème} temps et de la phase de suspension, le cheval s'horizontalise, ce qui entraîne le bassin du cavalier dans une attitude neutre



1^{er} Temps : L'obliquité postérieure du bassin est similaire à l'axe du mouvement du cheval qui place ce dernier sur les hanches par un engagement sous la masse des membres postérieurs

3^{ème} temps : lors de la réception sur le dernier antérieur, le cheval passe sur les épaules donc en déséquilibre antérieur et de façon concomitante, le bassin du cavalier adopte une obliquité antérieure

Schéma 1.11 - « Fonctionnement du rein au galop » - G.HENRY (2011).

1.2.1.3 - L'arrêt

Il est peut être non conventionnel de décrire l'arrêt comme « attitude » du cheval mais il est important d'avoir à l'esprit que c'est un cas particulier « d'équilibre postural » qui sert de schéma classiquement lors des descriptions de la position du cavalier. De plus, il s'agit du seul équilibre statique car dans les autres allures, ce sont des équilibres dynamiques. Georges MORRIS (116)*, se plaît à dire que dans l'équitation américaine, il est dit que la position du cavalier doit changer à chaque allure, y compris l'arrêt ; en effet, celle-ci est aux USA, différente de celle adoptée au pas.

1.2.2 - POSITION DU CAVALIER

1.2.2.1 - Description de la position dite classique ou académique*.

Selon le Général DECARPENTRY*(1953), « Il n'y a pas une position, il y en a une infinité, à chaque allure, à chaque mouvement correspond une série d'attitudes. C'est l'aptitude à passer instantanément, en souplesse, d'une attitude à l'autre qui constitue la véritable correction ».

Toutefois, il est usuel de considérer une position de base communément décrite dans les manuels, qui est enseignée à tout jeune cavalier. S'inspirant des préceptes de Bouddha* « Je vous montre le chemin mais c'est à vous de le parcourir », les essais de codification de LA position équestre ont pour but de faire réfléchir chaque cavalier pour qu'il soit en mesure ensuite de l'adapter à sa propre biomécanique, le tout en fonction des attitudes et actions du cheval.

La position idéale dite « académique » a été validée par des siècles de travail et par l'expérience des grands maîtres (assiette et position). Elle est liée à une équitation de haut niveau, idéal vers lequel il faut tendre mais où à chaque étape, elle évolue mais où aussi le cavalier se doit de résoudre les diffi-

cultés techniques qui lui sont liées. Cette progression se fait par l'apprentissage, lui-même se mesurant par le changement du point de vue des performances.

Tenant compte de l'importance de la position du cavalier, son adaptation qui conditionne la qualité du geste technique voire sportif, aura une implication directe sur les mouvements pelvi-rachidiens. L'influence de la mobilité du bassin et des courbures sagittales est bien connue sur la répartition des contraintes mécaniques notamment verticales ; en effet, ces dernières peuvent être à l'origine d'algies vertébrales mécaniques voire de micro lésions de types dégénératifs nettement visibles à la radio.

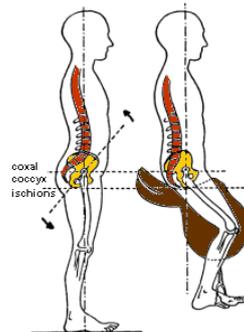


Schéma 1.12 - Position du cavalier (équipéda.info).

G.HENRY* (2011) se plaît à rappeler que l'homme est un piéton qui conserve les mêmes « habitudes » archaïques : saisir les objets avec les mains et les ramener à soi – bloquer le bassin pour qu'il puisse y prendre appui – remonter les épaules et les bloquer dans un souci de protection comme le boxeur – fermeture du corps par un enroulement des épaules en cas de danger, type position fœtale. La problématique du positionnement du cavalier à cheval est en partie liée à ses propres peurs. Notamment celle de tomber, d'être déséquilibré. Cette appréhension, parfois même inconsciente, verrouille certains axes articulaires en particulier l'articulation coxo-fémorale ce qui dès lors a pour conséquence d'accentuer l'activité rachidienne au détriment de celle de la hanche.

Le Manuel d'Équitation de la Fédération Française des Sports Equestres (1967), définit une position qui correspond aux conditions les plus favorable d'équilibre et de possibilité d'emploi des aides* - « Le cavalier doit être assis d'aplomb, les fesses portant également sur la selle et le plus en avant possible » (ceci est valable pour une selle mixte ; pour le dressage, il conviendrait de se positionner de façon centrale et bien en arrière dans l'équitation allemande).

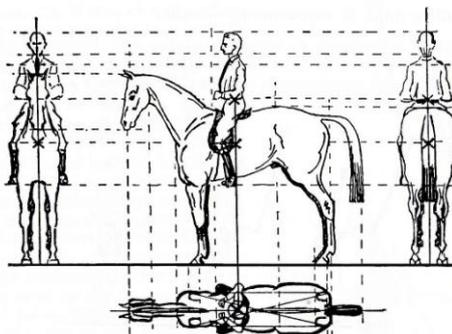


Schéma 1.13- Les « position d'équilibre » selon MÜSELER (1962)

- Les cuisses tournées sans effort sur leur plat, ne s'allongeant que par leur propre poids et celui des jambes.
- Le pli du genou liant*, les jambes libres et tombant naturellement, les mollets en contact avec le cheval sans les serrer, la pointe des pieds tombant lorsque le cavalier est sans étrier.
- Le rein* et les hanches souples.
- Le haut du corps aisé, libre et droit.
- Les épaules effacées et également tombantes.
- Les bras libres, à demi déployés, les coudes tombant naturellement.
- Le poignet à hauteur du coude et dans le prolongement de l'avant bras, le pouce en dessus.
- La tête droite aisée et dégagée des épaules, le regard haut.

Essentiel à retenir

- . Buste proche de la verticale
- . Angle cuisse / tronc ouvert, pratiquement plat
- . Pli du genou / élément récent puisque mis en évidence au XXème siècle, qui est à la base de la logique posturale supérieure dans l'équitation à la française, c'est-à-dire par rapport à un principe d'auto portance au sens architectural comme le soulignait le commandant LICART* (1952). La notion de « liant » correspond à la terminologie « qui relie » via la fermeture du genou sans appui contre la selle pour permettre l'enveloppe des flancs du cheval. Et c'est la seule façon de pouvoir avoir la jambe au contact sans effort.
- . Epaules / Ischions / talons sur la même ligne

Cette position peut être considérée comme étant une posture de « moindre effort musculaire » et peut être conservée longtemps et sans trop de fatigue. Elle s'est affinée depuis mais les principes restent les mêmes.

Cependant, il est important de garder à l'esprit qu'elle n'est pas immuable, qu'elle doit s'adapter à l'allure et à l'action du cheval, doit toujours être souple, libre sans raideur articulaire ; tout ceci doit permettre une harmonie totale avec le cheval et d'en contrôler au mieux son équilibre.

1.2.2.2 - La position du cavalier à travers les âges

A travers l'Antiquité, la priorité des populations n'était pas de monter les chevaux puisqu'ils étaient essentiellement destinés dans un premier temps à la guerre via l'attelage de chars de combat comme en témoigne KIKKULI (1500 av JC) puis ce sont les travaux agraires qui ont monopolisé l'essentiel de l'utilisation des équidés. Ce n'est que tardivement que le cheval a été monté.

Toutefois, HOMERE (117)* montre dans *L'Iliade* que les Grecs anciens (Achéens) montaient les chevaux, comme en témoigne l'enlèvement de Rhésus par Diomède et Ulysse (118)*.

Comme le relate L.de SAVY* (1922), l'admiration des premiers hommes pour la force physique, résultante des anciennes luttes des peuples chasseurs a survécu des siècles durant et c'est tout aussi logiquement que les 1ers cavaliers n'ont eu cesse dès lors qu'ils ont eu l'idée de monter les chevaux, d'établir une codification de lutte dont ils devaient sortir vainqueurs pour dompter leurs montures.

Ainsi, les premières traces « d'équitation montée » nous montrent-elles pourquoi, la position assise permettant « l'enfourchure » de l'équidé, le cavalier avait alors tout le loisir d'affirmer sa puissance

par la vigueur de ses membres inférieurs. De même, il agissait sur la vitesse en utilisant des mors (119)* très puissants. Bref, l'équitation se résumait à une lutte entre l'homme et le cheval. Les traces des positions utilisées dans l'Antiquité, montrent un cavalier à cru quasiment debout pour agir au mieux avec ses jambes pour canaliser le cheval comme le souligne XENOPHON* (IV^{ème} siècle av JC).



Figure 1.13 - Frise du Parthénon à Athènes par PHIDIAS (450-400 av JC)

Il en sera de même dans la Rome Antique où les auteurs comme CATON (120)* et PLINE l'ANCIEN (121)* considéraient l'équitation comme source de noblesse. Le cavalier se trouvait donc avec les membres inférieurs « pendants », donc avec une articulation coxo-fémorale en quasi rectitude, entraînant donc un bassin en antéversion.

Cette position sera en vigueur au fil des siècles, les chevaliers du Moyen Age « guerroyaient » pratiquement debout, assis en totale bascule antérieure pelvienne en équilibre sur la symphyse pubienne. La Renaissance viendra codifier les choses, ce que Monsieur DE PLUVINEL*, décrira au XVI^{ème} siècle l'intérêt de sa position en selle « *sur l'enfourchure et non sur les fesses ... son estomac avancé avec un petit creux au dos près de la ceinture* ».

Cette situation perdurera jusqu'à ce LA GUERINIERE* (XVIII^{ème} siècle) se rende compte de l'intérêt de prendre en compte « *dans l'art équestre l'étude de la nature et de la mécanique* ». Il est le premier à faire assoir le cavalier sur les fesses, faisant ainsi reposer le poids du corps sur les ischiens et non plus en appui sur les étriers. « *Les cuisses seront relâchées avec un certain degré d'obliquité* ».

Dès lors la conduite en force du cheval laisse la place à la légèreté et la finesse agrémentées en cela par l'apparition de « la selle à la française (122)* ». Cette innovation sera toutefois contrecarrée puisqu'il fait « *cambrier les reins afin de mettre la ceinture le plus près possible du pommeau* ». Cette position a été considérée à tort comme nonchalante et source de mollesse mais il faut reconnaître en LA GUERINIERE* le maître de l'Equitation moderne, encore en vigueur au XX^{ème} siècle. PATY de CALM n'aura cessé de chercher au cœur de la science à travers la géométrie, l'anatomie et la mécanique en expliquant que pour trouver l'équilibre, le cavalier devra placer son centre de gravité sur la même ligne verticale que celui du cheval, pour y parvenir « *il glissera ses fesses sous ses reins... de façon à sentir le coccyx sous lui* ».

Au fil du siècle, la position du cavalier se rapproche de plus en plus de ce qui sera en vigueur à l'ère de l'Equitation moderne. Les témoins majeurs en sont les règlements de cavalerie qui apparaissent peu de temps après la mort de LA GUERINIERE.

L'ordonnance de 1788 met en évidence la division en 3 parties du corps, 2 mobiles (le haut du corps et les jambes) et 1 immobile (bas du rein – hanches jusqu'aux genoux) – C'est l'adhérence parfaite de cette partie immobile avec le cheval qui assure l'assiette du cavalier. Ceci sera ensuite oublié pour réapparaître à partir de 1876. Cette conception met l'accent sur ce qui sera bien des années plus

tard, un sujet de discussions et controverse, à savoir, l'articulation coxo-fémorale comme centre du mouvement et non pas le rachis lombaire.

Pour BAUCHER* en 1833, l'extension du buste est à privilégier de façon à ce que chaque partie du corps repose de façon la plus stable possible sur celle sous jacente : « *Redresser le haut du corps, les flexions des reins qui portent la ceinture en avant* »

Pour d'AURE* en 1834, « *les fesses doivent porter sur la selle et le plus en avant possible la base la plus large possible, les reins soutenus sans raideur afin de faciliter les déplacements en avant et arrière du corps* ».

A partir de 1876, l'on revient à une structuration corporelle tripartite où l'accent est mis sur une fixité des cuisses.

Les règlements de 1899 et 1904 insistent sur la position assise, « *fesses dans la selle avec un contact accru* », avec un cavalier qui a les jambes le plus près du cheval et qui conserve les mains basses.

Le manuel de 1912 ne diffère en rien de ses prédécesseurs si ce n'est la mention qui est faite pour adopter « *le rein sans raideur et jamais creusé* ».

Jusqu'au début du XXème siècle, l'évolution du cavalier va se faire à tous les niveaux puisque :

- Les épaules libres du début laisseront la place à une certaine fixité avec « *une poitrine sail-lante* »
- Les reins précédemment droits et fermes vont devenir souples et jamais creusés.

Mais surtout d'élégante et précieuse, la position du cavalier évoluera en fonction des situations équestres, des disciplines et bien sûr des cavaliers eux-mêmes. En effet, le XXème siècle verra l'équitation passer d'une activité guerrière, puis agricole à une activité de loisirs et sportive, ce qui incitera les cavaliers à s'adapter à ces différentes situations.

1.2.2.3 - Qu'est ce qu'une bonne position ?

La bonne position en équitation assise dite de dressage devrait être élégante, harmonieuse et posée selon S.VON DIECKE (2011). Il convient de se souvenir que déjà dans l'Antiquité, XENOPHON décrivait dans son « *Traité d'Equitation* », la position à cheval comme n'ayant rien à voir avec la position assise mais plutôt comparable à une position debout jambes écartées.

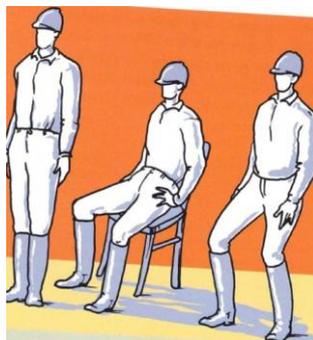


Figure 1.14 – Equilibre dans le mouvement selon S.VON DIECKE (2011).

Comme il sera vu plus loin, une position neutre se dégage ; dès lors au niveau du bassin, les épines iliaques antéro-supérieures sont à la verticale du pubis. C'est donc dans cette position dite « neutre » que l'assise du cavalier peut prendre un contact maximum avec la selle, de plus avec souplesse et

décontraction, elle permet d'amortir au mieux les forces verticales ascendantes représentées par réaction au sol.

Y-a-t-il une bonne position ou une position idéale ? Difficile de répondre totalement par l'affirmative puisque rien n'est figée, et la position n'est en aucun point statique mais elle se transforme, évolue à chaque foulée et dépend de 3 éléments selon G.HENRY* (2011) :

- L'attitude : qui est la façon de tenir son corps certes, mais aussi l'esprit, car les deux sont indissociables.
- Le fonctionnement : correspond à la manière dont le corps du cavalier s'associe à celui du cheval, en s'adaptant à chaque ondulation lors de chaque foulée.
- Le comportement : désigne l'ensemble des réactions du cavalier à travers l'emploi des aides et des techniques équestres.

La position est donc la combinaison de l'attitude et du fonctionnement mais tout ceci reste indissociable du comportement.

Avant tout la « bonne attitude » :

- Détermine la stabilité de l'ensemble cavalier/cheval.
- Toute modification est un signe fort pour le cheval, ce qui implique, qu'elle doit être voulue, contrôlée et maîtrisée. La présence du cavalier sur le cheval modifie le comportement de celui-ci. MATSUURA (2003) a ainsi décrit une cadence plus lente, une longueur de foulée plus importante lorsque le cheval est monté.
- Assure également un confort mental et psychique pour le cheval, ce qui le place en équilibre et lui assure la possibilité d'être dans l'impulsion avec un minimum d'intervention de la part du cavalier.

La VERTICALITE du buste est semblable à une balance en équilibre avec ses deux fléaux AVANT MAIN et ARRIERE MAIN. Dès lors toute variation du buste aura des répercussions sur le comportement du cheval via son avant ou arrière main. L'effet du cavalier sur la locomotion du cheval s'effectue au niveau des membres antérieurs pour SCHAMHART et al. (1991) qui voient la force verticale des antérieurs diminuées alors que la force horizontale est augmentée à la fin de l'appui.

Cette position assise est source de découvertes de sensations à travers les ischions et les mains.

L'équilibre horizontal est assuré par les mains qui agissent sur la bouche du cheval, toute crispation des mains exercera donc une traction (mouvement d'avant vers arrière) vers le cavalier et donc une modification de sa posture. Les travaux de PEHAM (2004) le confirment en mesurant une différence entre un cheval pris en mains et monté, de deux paramètres (vitesse + accélération longitudinale) au niveau de L4 et du sabot antérieur.

L'équilibre vertical s'effectue par le positionnement du buste et son équilibre va induire une « légèreté (123)* » des mains comme a pu le montrer A.DELGADO (1993) lors d'une étude de la tension des rênes des élèves lad jockeys et GALLOUX (1997) lors d'une analyse comportementale du cavalier sur simulateur.

L'acquisition de cette position « dite idéale » revêt un caractère primordial pour tout cavalier car la finalité est de pouvoir placer, à tous moments, quelles que soient les attitudes ou allures du cheval, son centre de gravité à la verticale de celui du cheval. G.STEINBRECHT (1963) estime que « *c'est alors seulement qu'il est en parfaite harmonie avec sa monture, ne faisant pour ainsi dire qu'un avec elle* ». V.FRANCONI (1991) rajoute même que « *l'équilibre est la condition de tout corps oscillant sur sa base* » tout comme il rajoute qu'à ses yeux « *la position est à l'équitation ce que la grammaire est à l'art de parler ou d'écrire* ».

1.2.2.4 - Pourquoi acquérir cette position ?

L'équitation n'est pas le fait « d'encaisser » les mouvements du dos du cheval mais plutôt de les accompagner, de se lier totalement à eux, pour « in fine » ne faire qu'un avec le cheval ; c'est seulement à cette condition que le cavalier parviendra à utiliser ses aides en toute souplesse et légèreté sans perturber le moins du monde la locomotion du cheval.

C'est pourquoi l'acquisition d'une position correcte est :

- Synonyme de stabilité et de sécurité ;
- Indispensable pour une mise en action optimale des aides ;
- L'adjuvant indispensable pour agir sur l'équilibre du cheval grâce au poids du corps par l'intermédiaire de l'*assiette*.

Pour y parvenir, il convient de faire en sorte d'acquérir un équilibre stable et constant quelle que soit la dynamique équine. Pour faire que le tronc se lie de façon « intime » avec le cheval, il faut absolument que, selon G.HENRY* (2011) :

- La base soit en contact avec le cheval et surtout qu'il le reste ; si cela n'est pas le cas, point d'équilibre possible ;
- Que le reste du corps (tronc, épaules, tête) reste lui aussi en équilibre au dessus de la base sans esquiver le moindre mouvement et que le tronc ne pèse pas sur cette base ;
- Enfin, tout cela n'est possible que si ces deux entités, sont, elles aussi en équilibre sur le cheval c'est-à-dire qu'il y ait en PERMANENCE (quels que soient l'allure ou le mouvement) une superposition des centres de gravité homme/cheval.

Inutile de dire qu'il n'y a point de place pour la moindre forme de raideur : souplesse et décontraction doivent être les maîtres mots pour faire en sorte que le cheval le soit tout autant.

Pour terminer, il serait judicieux de relever un point qui n'a cessé de prendre de l'importance au cours de la fin du XXème siècle, à savoir la capacité de ne pas tomber. L'état d'esprit sociétal de la fin du siècle dernier (et du début de celui-ci) étant de diminuer les risques au maximum, l'accidentologie de la pratique équestre a suivi la tendance du moment.

L'acquisition d'un liant est un élément fondamental mais l'agencement corporel l'est tout autant ; et la position moderne prend cela en compte d'autant plus que les selles modernes sont relativement « plates » par rapport aux selles à piquets.

Certains donnent à cette solidité la définition « d'assiette », mais il convient d'être prudent tant les avis divergent sur la question, qualité équestre pour les uns, surface de contact pour les autres en sachant que chacun ignore les considérations de l'autre.

1.3 - NOTIONS DE BIOMECHANIQUE APPLIQUEE A L'EQUITATION

1.3.1 - ANALYSE BIOMECHANIQUE DE LA POSITION DU CAVALIER

On estime que la *Biomécanique* est l'ensemble des réactions du corps humain nécessaires à la réalisation d'une action mécanique externe. La position assise que nous analyserons plus en détail au CHAPITRE 2 présente des caractéristiques particulières qui seront ajustées ensuite au cas par cas par

le cavalier. Pour aborder la biomécanique de la position du cavalier, il convient de se rapprocher des études menées sur la station assise. Par contre, les positions assises utilisées usuellement nécessitent une flexion de hanche et des genoux à 90°. Cela a été décrit en 1884 par STAFFEL* (et CUVELIER* en 2006). Il n'en demeure pas moins que des phénomènes sont communs avec l'équitation puisqu'il faut tenir compte de l'importance de :

1.3.1.1 - La lordose lombaire

Nuno OLIVEIRA* avait coutume de dire que « *c'est avec le rein que le cavalier domine son cheval* ». Il est en effet, inconcevable, de s'intéresser à la position assise sans faire référence aux déplacements du bassin et du rachis. Il est fondamental d'avoir à l'esprit que lorsqu'un sujet est assis, il y a de suite une adaptation de l'angle fémoro-rachidien par rapport aux 90° de la chaise de STAFFEL*. De plus, dans cette situation, la flexion du tronc provoque une divergence postérieure, réduit donc la pression sur les facettes articulaires apophysaires ainsi que l'activité des érecteurs du rachis selon ADAMS et HUTTON* (1985). Toutefois, il faut noter que 60° (de ces 90°) sont pris en charge par la hanche et les 30° restant par le rachis lombaire ; ceci permet de mettre en évidence la prévalence de l'articulation de la hanche. Dans une étude menée sur le comportement de la colonne lombaire par rapport à la position assise, KEEGAN* (1953) a pu déterminer, grâce aux clichés radiographiques les mouvements lombosacrés générés par différentes positions assises.

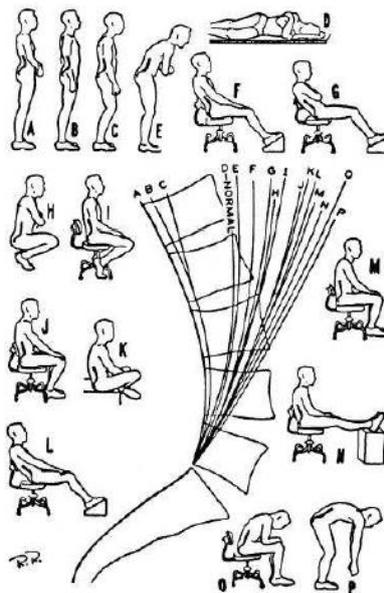


Schéma 1.14 – Influence des positions du sujet sur la cambrure lombaire, selon Keegan (1953).

Cette schématisation montre que seules les positions debout (A-B-C) amènent la colonne lombaire en hyper extension. Toutefois, il est possible de faire un parallèle entre la position debout C et celle du cavalier. De manière générale, toutes les positions assises entraînent une délordose lombaire.

KEEGAN* a ensuite mis l'accent sur un phénomène primordial chez le cavalier. Il a remarqué les variations de l'angle fémoro rachidien, chez les sujets en décubitus latéral. En effet, si l'on passe de 200° à 50° de flexion, le bassin se postériorise et la lordose lombaire tend à s'effacer ; dans ce cas, les muscles postérieurs semblent donc avoir une action importante dans ce phénomène.

LAVILLONNIERE* et PLAS* (2007) confirment que les ischio jambiers agissent directement sur le bassin et indirectement sur le rachis lombaire en induisant donc une rétroversion et une délordose ; cette tension est atténuée par la flexion du segment jambier. Il est à noter que la raideur passive des ischio jambiers, est génératrice de souffrances rachidiennes comme l'a mis en évidence MAITLAND, par le « Slump Test »

Lors d'une flexion de hanche à 135°, les ischio jambiers sont en position dite « neutre », ils entraînent alors une bascule postérieure du bassin et donc une flexion lombaire. A noter que les positions où les pieds sont en avant des genoux accentuent ce phénomène dû à l'étirement musculaire majeur. Cette position de 135° est selon KEEGAN* (1953) un juste équilibre entre fléchisseurs et extenseurs de hanche. Lors de cette flexion de hanche, le droit antérieur (rectus fémoris) antéverseur du bassin, est alors relâché et ne fixe plus ce dernier, qui peut alors effacer la lordose lombaire. Cette dernière engendre alors une action musculaire des érecteurs du rachis qui est nulle. Ceci procure de fait une stabilité majeure de la partie inférieure du corps, ce qui facilite la précision des membres supérieurs et de l'extrémité céphalique selon KROEMER* (1971), et COUTURE* (1986) a mis en valeur que cela aussi, permet des changements rapides des postures de travail et de celle de repos.

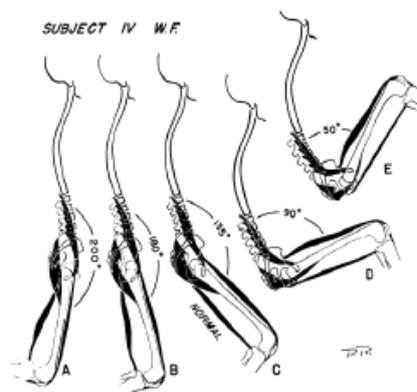


Schéma 1.15 – Position de la hanche et son impact sur la colonne lombaire, selon KEEGAN (1953).

A l'inverse, lors des situations où l'angle fémoro rachidien est le plus grand (rectitude de hanche, voire extension de hanche où angle fémoro rachidien $> 180^\circ$), le psoas, muscle essentiel dans la biomécanique pelvienne, a alors une action lordosante sur la colonne lombaire.

En position assise, lui qui est fléchisseur de hanche voit ses insertions se rapprocher et donc un pseudo relâchement se produire ; son rôle sur le rachis n'est actif que si une demande de rectitude (voire d'extension) est faite. Les travaux de SWEARING ET Coll* (1962) ont évalué qu'en position assise seulement, 18,4% du poids du corps est alors pris en charge par les pieds. De même, MORINI et Coll *(2008) affirment que la position assise est plus à même que la station debout pour limiter la surcharge fonctionnelle au niveau de la colonne lombaire.

Les groupes musculaires ne sont pas les seuls à travailler au maintien de la posture rachidienne puisqu'à côté de cette stabilité active, il y a aussi l'équivalent « passif » avec le système ligamentaire. Ceux-ci sont constitués de tissus conjonctif dense, vaste mélange de collagène, d'élastine et de subs-

trats protéinés ce qui leurs assurent une grande résistance à la traction. Ce phénomène est aussi à prendre en considération pour aborder la problématique fonctionnelle du cavalier. En délordose, les ligaments postérieurs du rachis (ligaments jaune, inter-épineux, sur-épineux et commun vertébral postérieur) sont mis en tension. Ils sont alors, de part leur structure, soumis à 2 propriétés :

- Lorsque l'on impose une longueur à un ligament, sa tension diminue au fur et à mesure que le temps augmente, ceci est décrit comme RELAXATION ;
- De même, si la tension est maintenue trop longtemps, la longueur du ligament s'accroît et ce de façon irréversible ; c'est ce que l'on appelle le FLUAGE.

Cette position assise du cavalier impose donc une flexion du rachis et soumet donc une mise en tension ligamentaire constante, génératrice elle-même de contraintes majorées au niveau ostéo-articulaire. Il faut toutefois concevoir que dans le cas de situations forcées prolongées, des microlésions peuvent survenir. Malgré cela, une étude majeure conduite par HARTVIGSEN(2002) réfute le concept populaire qui veut qu'être assis au travail est synonyme de douleurs lombaires.*

En fait, c'est la combinaison de la posture assise avec d'autres facteurs (ou autres activités) qui est source de traumatismes de l'appareil locomoteur (par ex : maintien de cette posture au long cours, la présence de vibrations sur tout le corps, adoption de postures inconfortables), et peut dès lors accroître le risque de douleurs dans le segment rachidien lombaire (LIS et coll., 2007). Tout ceci doit être pris en compte dans notre travail de recherche, car l'équitation ne se résume pas uniquement à la position assise mais combine, certes, la qualité de ce maintien (ce que l'on définit comme étant l'ASSIETTE) sur le dos du cheval, mais aussi de pouvoir assurer l'activité des membres supérieurs, inférieurs, mais aussi de l'extrémité céphalique.

1.3.1.2 - La pression intra discale

Indépendamment de la souffrance éventuelle lombaire due à la mise en tension des muscles érecteurs du rachis, des ligaments, des contraintes articulaires, des modifications au niveau de la structure du disque inter vertébral sont enregistrées. Dès 1970, ANDERSON et NACHEMSON ont cherché à mettre en évidence les variations imposées au disque intervertébral (DIV)¹⁸, d'abord *in vitro* puis ensuite *in vivo*. C'est l'étage L3L4 qui a été étudié sur 17 sujets et cela a abouti à estimer à 100% la charge, pour une position debout, mais ils ont noté que cela est doublé pour la station assise, confirmé en cela par les travaux de HARRISON et al* (1999).

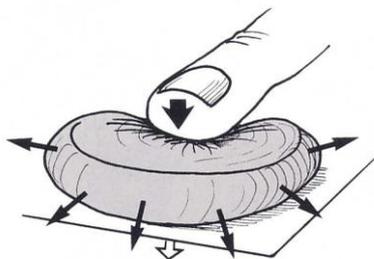


Schéma 1.16 – Variations verticales et horizontales du Disque Inter Vertébral lors de la pression, selon DUFOUR et PILU (2002).

¹⁸ Disque InterVertébral.

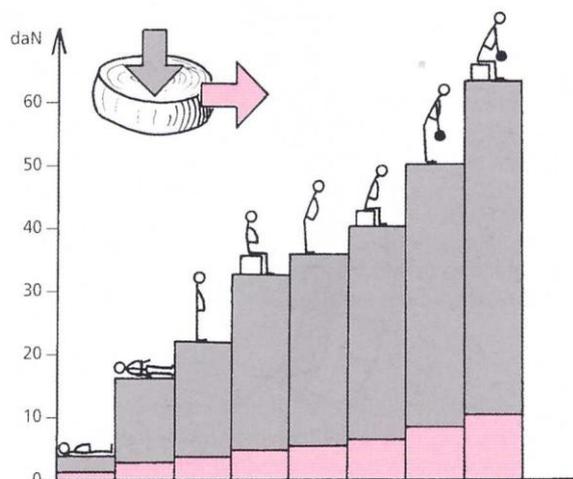


Tableau 1.1 - Variations des composantes verticales (en gris) et tangentielles (en rouge) en L3/L4 dans différentes positions d'après NACHEMSON (1970).

DREVET et al* (1991) ont confirmé les études précédentes et ont pu ajouter que l'augmentation de pression sur le DIV dans les différentes positions assises sont aussi fonction de la présence ou non de dossier. Elle est alors comprise entre 180% et 200% du poids du corps. Toutefois, notons que la position assise droite sans dossier induit une pression intra discale au niveau lombaire moindre par rapport à la station debout « relâchée ».

Tous les auteurs s'accordent à dire que la pression intra discale augmente dans les situations où le bassin est postériorisé donc issu de la flexion lombaire, ce qui est ici le cas dans l'attitude du cavalier sur son cheval.

Mécaniquement, cela s'explique par les variations de positionnement des surfaces articulaires au niveau vertébral. Dans le cas d'extension rachidienne, ADAMS, HUTTON et al* (1980/1985), les AAP¹⁹ vont s'impacter les unes par rapport aux autres, entraînant ainsi ce que l'on appelle CONVERGENCE. Dans cette extension rachidienne source de lordose lombaire, ces AAP vont résister aux forces de cisaillement qui tendent à « désharmoniser²⁰ » les articulations vertébrales tout en supportant des contraintes verticales grâce au contact interosseux. Ces auteurs, évaluent à 18% le soutien apporté au DIV²¹ par ces AAP et à 70% en cas de dégénérescence discale. La contre partie sera bien sûr l'apparition progressive de phénomènes arthrosiques.

A contrario, dans le cas de flexion lombaire, la divergence des apophyses articulaires postérieures qui *de facto*, à l'image de la « pince à linge », augmente l'espace inter vertébral postérieur, ce qui ne permet pas la prise en charge compensatrice des AAP et DUFOUR et PILLU* (2010) estiment à 50% la diminution de cette prise en charge.

¹⁹ Apophyses Articulaires Postérieures

²⁰ Qui tend à écarter les surfaces articulaires les unes par rapport aux autres, on parle également de divergence.

²¹ Disque inter Vertébral

La dégénérescence discale causée par le surcroît de pression, combinée aux distensions ligamentaire, contribuent à une instabilité lombaire concrétisée par des algies chroniques. Ceci tend à expliquer, la complexité de la situation du rachis lombaire du cavalier qui monte des chevaux des heures durant ; car il s'agit de moduler notre réflexion vis-à-vis de cela comme l'a relaté le Dr FAVORY lorsqu'il note que tout dépend du contexte (nombre de chevaux, nombre d'heures de pratique équestre, etc....)

1.3.1.3 - La position assise sur ballon type « Klein Vogelbach »

Certains auteurs tels MAC GILLIS* (2006) se sont posés la question de savoir l'intérêt qu'il y avait à travailler sur un ballon type « Klein Vogelbach²² ». Il y a une similitude entre la station assise sur ballon et la position du cavalier puisque, dans les deux cas, le sujet doit être capable de s'équilibrer par rapport à une situation « instable ». Même si les chiffres sont modestes, les résultats montrent une petite accentuation de l'activité musculaire, de la stabilité vertébrale et des compressions en L4L5. Les valeurs d'activations musculaires sont en effet mineures pour les abdominaux et plus marquées pour les spinaux profonds (muscles intrinsèques érecteurs du rachis). Il est alors logique d'envisager un parallèle entre l'activité musculaire des érecteurs rachidiens (muscles intrinsèques ou spinaux profonds) d'un sujet assis sur un ballon et sur un cheval ; en effet considérant l'instabilité des deux éléments, il est fort à parier que cette dernière est la clef de l'activité d'auto grandissement. Ceci, on le verra un peu plus loin, sera un élément très utile dans un profil prophylactique chez le cavalier

Les enregistrements réalisés au cours de ce travail de recherche, sur un sujet assis sur un ballon (ENE²³ de SAUMUR 2013) ont eux aussi mis en évidence une recrudescence des muscles érecteurs du rachis, c'est-à-dire que le passage en position assise sur le ballon entraîne un auto grandissement quasi « automatique ».

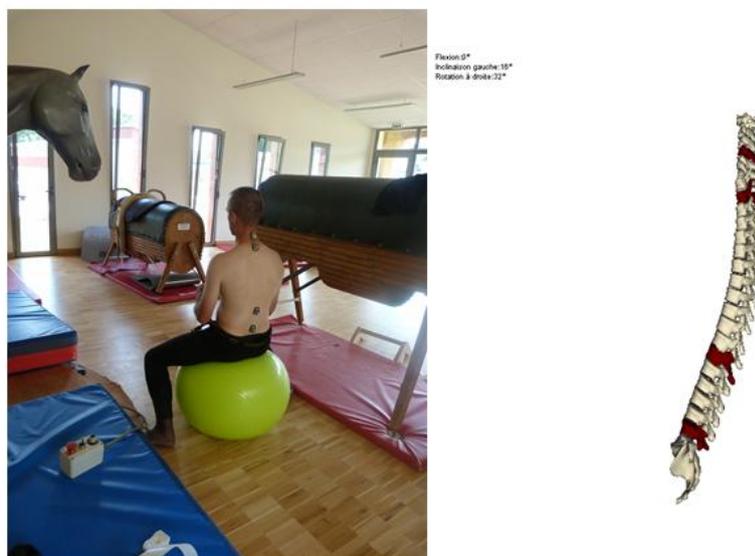


Figure 1.15 – Comparatif situation réelle et modélisation virtuelle 3D.

²² Ballon souple de diamètre variable utilisé en rééducation

²³ Ecole Nationale d'Équitation

1.3.1.4 - Le rôle de l'articulation coxo-fémorale

Impossible de parler de la biomécanique de la position du cavalier sans évoquer le rôle de l'articulation de la hanche ici dans le plan sagittal. Pour le Général LHOTTE* (1870), « la belle assiette à la française se caractérise par l'engagement des fesses sous soi, uni à la descente des cuisses ». Toutefois, il y a antagonisme entre l'exigence décrite par l'illustre général et la mécanique humaine car le fait de descendre les cuisses va s'opposer à la bascule postérieure pelvienne.

L'interconnexion entre les hanches et le bassin, comme le souligne LAZENNEC et SAILLANT* (2004), est aussi la résultante de l'adaptabilité de la version pelvienne, des paramètres rachidiens (angle de bascule du sacrum, lordose lombaire, cyphose thoracique) qui permet de positionner le plus précisément possible le centre de gravité corporel supporté par les têtes fémorales.

Ceci souligne l'importance pour le cavalier de considérer le fonctionnement d'un complexe articulaire nommé « Ceinture Pelvienne » comprenant :

- Le bassin ;
- Le sacrum ;
- Le rachis Lombaire ;
- L'articulation coxo-fémorale.

La mobilisation d'une des composantes de cette structure a *de facto* une répercussion sur les autres. C'est pourquoi, considérant cet état de fait, il nous apparaît essentiel d'évoquer les travaux de KEEGAN* (1953) qui sont encore aujourd'hui une référence en la matière. Il a travaillé plus spécifiquement sur l'angle « fémoro rachidien ou FR »

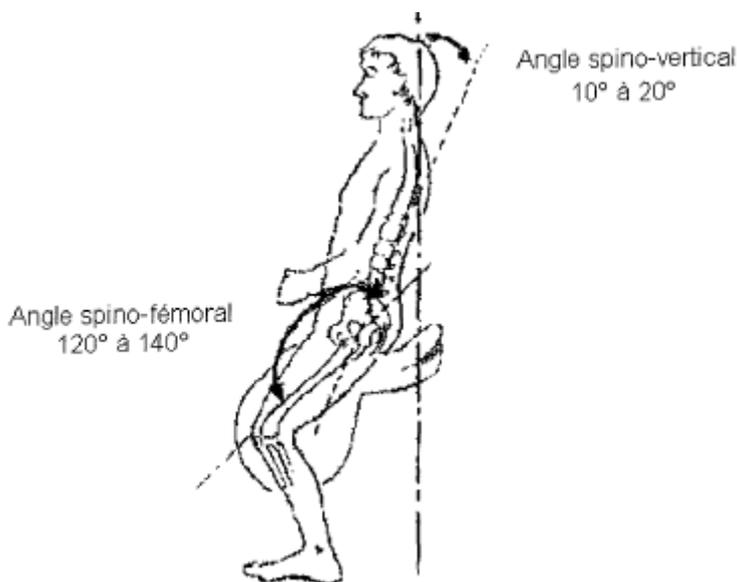


Schéma 1.17 - Visualisation de l'angle « spino fémoral » selon KEEGAN (que nous appellerons « fémoro rachidien ou FR ») d'après CAZAUBON(1972).

HUMBERT* (2000) dans sa thèse, met en évidence que cet angle FR est soumis à l'action de deux groupes musculaires antagonistes :

- Les **fléchisseurs de hanche**, qui ont une action d'antéversion pelvienne : l'Ilio Psoas, le Tenseur du Facia Lata, et à un degré moindre, le Droit Antérieur et le Sartorius (Le Couturier) ;

- Les **extenseurs de hanche** et responsables de la rétroversion du bassin : Grand Glutéal (Grand Fessier) et les Ischio Jambiers (Biceps fémoral, ½ Membraneux et ½ Tendineux). Ces muscles seront étudiés plus en détail dans les rappels anatomiques du CHAPITRE II.

L'auteur définit trois situations dans la variation de cet angle FR et de son implication vis-à-vis des groupes musculaires

- Lorsque l'angle FR* est de 135° : un équilibre de tension entre ces deux groupes musculaires antagonistes apparaît et le bassin est alors en équilibre sur les têtes fémorales >>> tendance à l'effacement de la lordose lombaire.

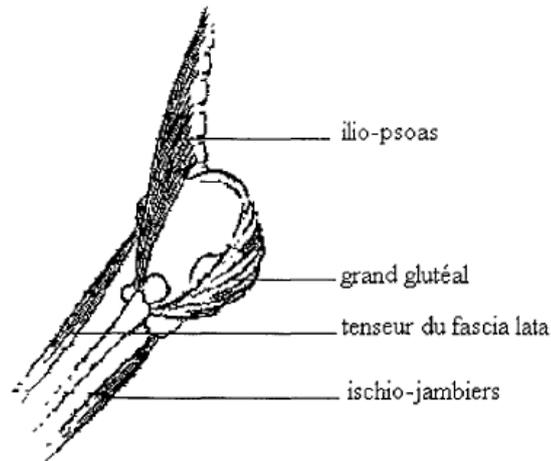


Schéma 1.18 - Situation de la hanche avec un angle FR = 135° d'après KEEGAN (1953).

- Lorsque l'angle FR* est inférieur à 135° (fermeture de cet angle) c'est-à-dire que la hanche a tendance à évoluer vers la flexion, il y a mise en tension passive des groupes extenseurs de la hanche ce qui va induire une tendance à la rétroversion du bassin >>> effacement voire inversion de la lordose lombaire (on parle alors de délordose).

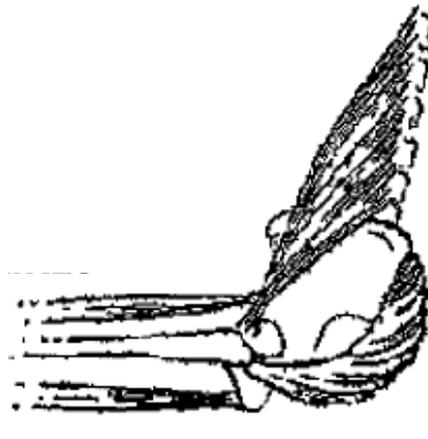


Schéma 1.19 - Situation de la hanche avec un angle FR < 135° d'après KEEGAN (1953).

- Lorsque l'angle FR* est supérieur à 135° (ouverture de cet angle) c'est-à-dire que la hanche aura tendance à se positionner en extension, il y aura mise en tension passive des groupes fléchisseurs, ce qui va induire dans ce cas une tendance à l'antéversion du bassin qui

entraîne une augmentation de la lordose lombaire, ce qui produit de façon automatique un déport du buste du cavalier vers arrière.



Schéma 1.20. Situation de la hanche avec un angle FR > 135° d'après KEEGAN (1953)

Pour KEEGAN, il convient donc de veiller particulièrement à une parfaite adaptation musculaire dans la position d'équilibre où l'angle FR* est de 135° (flexion de hache de 45°). Ceci se traduit, selon l'auteur par une pratique régulière d'étirements doux, lents et progressifs, des fléchisseurs (psoas – droit antérieur) et des extenseurs (fessiers et ischio-jambiers) de hanche.

Toutefois, même si les travaux de KEEGAN ont ensuite servi de support à de nombreux autres, ceci est très théorique dans le monde équestre puisque dans les années 1970, AUVINET*, venait infirmer l'incompatibilité entre « voussure des reins et descente des cuisses ».

En 1991, TEYSSANDIER* réalise une étude sur 4 cavaliers volontaires et détermine ainsi la faculté d'adaptation du complexe lombo-pelvien sous réserve d'avoir une articulation coxo-fémorale biomécaniquement intègre et cela avec une variante : la longueur des étrivières*. Cette étude aura une incidence notoire sur l'Assiette du cavalier.

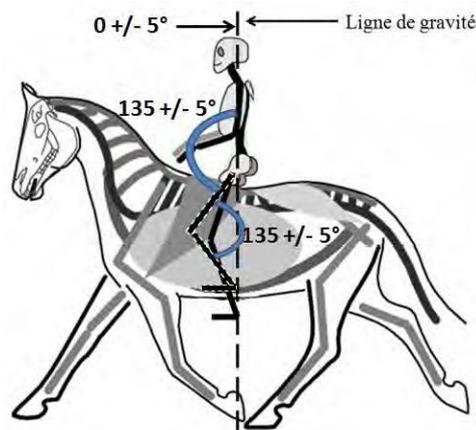


Schéma 1.21 - Valeurs angulaires segmentaires de référence chez le cavalier corrigé d'après les travaux de KEEGAN, selon NICHOLSON (2006)

1.3.2 - ASSIETTE DU CAVALIER

1.3.2.1 - Définition

Le mot est lâché, ASSIETTE !!! L'Alpha et l'Oméga de l'équitation !!! Redouté par beaucoup, encensé par d'autres, ce terme désigne tellement de choses que chacun a sa propre définition :

§- Aisance et équilibre du cavalier qui lui permet d'accompagner les mouvements du cheval.

§- Est la qualité qui permet au cavalier de demeurer maître de son équilibre, en toute circonstance, quelles que soient les réactions du cheval.

§- Manière dont le cavalier assure son équilibre durant la marche du cheval.

§- Manière dont le cavalier est assis sur son cheval et y adhère.

§- Manière dont le cavalier se tient à cheval, c'est être capable de rester en selle malgré les mouvements de sa monture.

§- Façon de s'asseoir et de répartir son poids dans la selle afin d'amortir, d'accompagner et de contrôler le mouvement du cheval.

§- Qualité du cavalier de rester en selle, maître de son équilibre.

Etc.

1.3.2.2 - Assiette / Outil de communication

Quelle que soit la définition que l'on en donne, l'assiette est l'élément qui devrait être enseigné en premier à l'image de ce que fait l'ECOLE ESPAGNOLE DE VIENNE* où 1 an durant, les futurs écuyers travaillent leur assiette juchés sur leur monture, sans étrier et en longe... car la finalité suprême serait de voir le cavalier demander une action au cheval et surtout l'obtenir, uniquement à travers son assiette, tendant ainsi à approcher le mythe du Centaure (124)*.

L'Assiette parfaite, capacité à « ne faire qu'un avec son cheval » est la finalité à travailler et à rechercher en équitation. La fixité des mains ne sera obtenue que par l'acquisition de hanches souples. Ceci n'est possible que grâce à nos perceptions à cheval. Comme le signalent BRANSTEIN* et PEPIN* : « *le corps est non seulement un agglomérat d'éléments organiques mais aussi l'expression de notre identité sociale et culturelle* ».

Véritable outil de communication, la position avec plus spécifiquement les gestes qui lui sont nécessaires, sont considérés comme des signaux qui trahissent notre état psychologique, ceux-ci sont également perçus par le cheval.

Alors que tout un chacun, doté d'une once d'équilibre est capable de tenir assis sur le cheval, il ne sera pas pour autant doté d'une assiette correcte.

L'assiette issue d'une position correcte du cavalier (la belle position selon M. DE PLUVINEL*), nécessite l'activation des éléments anatomiques précédemment décrits :

- Le bassin
- Le sacrum
- La colonne lombaire
- Les articulations coxo-fémorales

Acquérir une bonne assiette est un travail de longue haleine qui nécessite de nombreuses heures à cheval pour y parvenir; mais pas seulement car pour ce faire, il convient d'avoir une parfaite maîtrise corporelle. Or ce qui pose problème, c'est de pouvoir « libérer » le bassin pour parvenir à une fluidité compatible avec une assiette correcte où le cavalier va affiner sa relation avec le cheval.

Cette fluidité ne sera obtenue qu'après levée des tensions musculaires issues du rôle primordial du bassin dans la station debout d'une part et de la marche d'autre part. Le pelvis est alors considéré comme « clef de voûte » d'un système architectural où le poids du tronc et de la tête vient se répartir de façon égale sur chaque membre inférieur. Cette nécessaire rigidité pelvienne aura pour conséquence de figer muscles et tendons et de procéder à leur raccourcissement. Dès lors le bassin devient une structure monolithique. Pour contrecarrer cet état de fait il convient d'avoir des articulations coxo-fémorales particulièrement souples donc mobiles ; c'est à cette unique condition que le cavalier obtiendra le relâchement indispensable à une souplesse de l'assiette, ce qui au passage lui permettra « d'oublier ses jambes ». Il est à noter que bon nombre de cavaliers ont trouvé dans les positions de yoga, une aide précieuse pour parvenir à ce relâchement à la fois psychologique et musculaire (positions du « *chien tête en bas* », du « *chameau* » ou de « *l'arc* »). Compte tenu de l'importance de l'état de rétraction de ces muscles, il conviendra de procéder de façon douce, lente et progressive en maintenant les positions *in fine* toujours en infra douloureux.

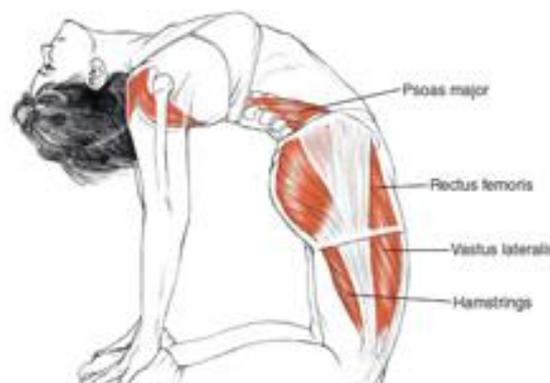


Figure 1.16 - Posture du « chameau » qui aura l'avantage de mettre en tension le plan musculaire antérieur, fléchisseur de la hanche (Schéma Yoga Place – Liège).

1.3.2.3 - Assiette et poids du corps

Ces considérations musculaires nous permettront d'aborder de manière plus cohérente la mécanique de cette assiette. Pour ce faire, nous retiendrons la définition de l'assiette faite par la

Fédération Française d'Équitation* (1967) : « qualité qui permet au cavalier de rester maître de son équilibre en toute circonstance, quelles que soient les réactions du cheval ». C'est ce qui assure le liant du cavalier aux mouvements de son cheval. Afin d'acquiescer ce synchronisme avec les mouvements de sa monture, le cavalier devra parvenir à être suffisamment décontracté afin de permettre à son bassin *via* sa position, de jouer un rôle primordial. En effet, l'orientation dans le plan sagittal du bassin, et ses effets sur la lordose lombaire, est un élément fondamental dans l'acquisition de l'assiette.

Pour cela, il est nécessaire de faire mention des travaux de MÜSELER* (1963) et de AUVINET *(1970) qui, encore de nos jours, font référence, repris en 2000 par HUMBERT. Tous décrivent des modes d'adaptation du bassin différents énonçant ainsi des catégories d'assiettes spécifiques. AUVINET* a, quant à lui, étudié à l'aide de radiographies du bassin et du rachis lombaire prises dans un plan sagittal chez un cavalier en selle sur un cheval d'arçon, l'attitude adoptée par le rachis lombaire en fonction des différentes positions du bassin chez le cavalier

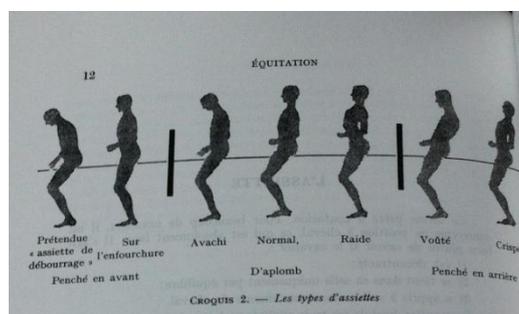
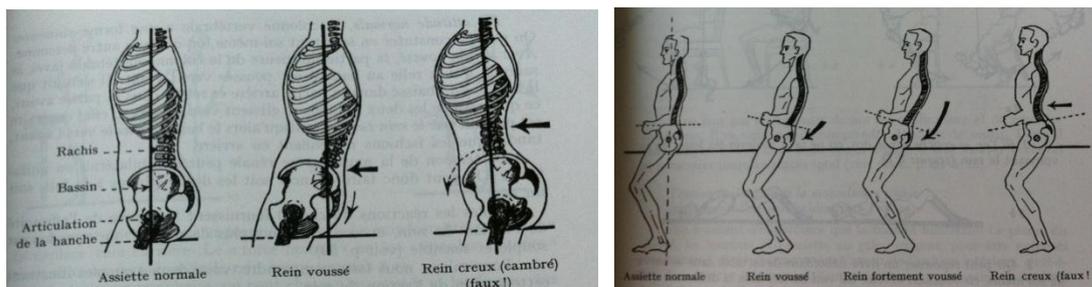


Figure 1.17 – Les types d'assiette selon MÜSELER (1963).

Ainsi, il est défini 3 modes différents d'adaptation pelvienne du cavalier avec à chaque fois des conséquences sur la colonne lombaire. Selon MÜSELER* « le bassin est l'élément moteur d'une bonne adaptation du cavalier. Le mouvement actif se fait dans le sens de la rétroversion »



Figures 1.18 et 1.19 – Les différents types d'assiette selon MÜSELER (1963)

- Assiette Normale : selon MÜSELER* « le cavalier est assis sur les ischions (voire en arrière de ceux-ci), sur le gras des fesses ; le bassin est en rétroversion par rapport à son inclinaison normale en position debout ». Le centre de gravité est alors au dessus de l'assiette selon Aloïs PODHAJSKY (125)*, qui situe cela sur un triptyque formé des deux ischions et périnée. L'assiette est dite profonde car elle permet la descente des jambes. AUVINET* a constaté que, radiologiquement :

. Le bassin est effectivement en rétroversion ;

- . La courbure lombaire est en position dite d'effacement de la lordose lombaire ;
- . Il existe un parallélisme des dièdres discaux lombaires (L1L2 – L2L3 – L3L4 – L4L5 et L5S1) ce qui assure une répartition équilibrée des contraintes au niveau des DIV.

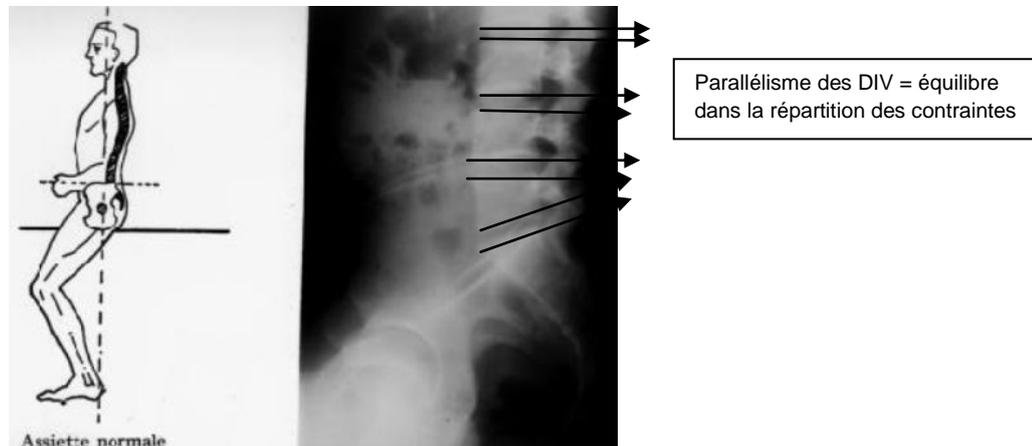


Schéma 1.22 - Assiette dite normale avec vue radiologique selon AUVINET (1999)

- Rein Voussé : situation de déséquilibre postérieur où les ischions s'étant avancés, la rétroversion du bassin s'est accentuée, le cavalier a dès lors un engagement accru des fesses sous lui, les jambes ont tendance à se déplacer vers l'avant, ce qui est dans l'équitation classique, primordial pour l'utilisation optimale du cheval. Radiologiquement, on note :
 - . Une rétroversion majorée ;
 - . Dans ce cas extrême, la courbure lombaire s'inverse de façon modérée au niveau des DIV L1L2 et L2L3 ;
 - . Les dièdres discaux L3L4 – L4L5 – L5S1 restent sensiblement parallèles.

Pour MÜSELER, le voussément du rein revêt une importance capitale, avec la possibilité de mobiliser en unilatéral ou bilatéral le bassin par contraction musculaire uni ou bilatérale. *Via* l'image de la balançoire, il met en évidence la rétroversion du bassin lors de la prise d'élan vers l'avant et le relâchement (voire l'antéversion relative) du bassin vers l'arrière.

De même, si l'on prend l'exemple d'un sujet assis à califourchon sur un escabeau, il lui est possible de le faire basculer en « voussant le rein » (rétroversion du bassin) mais en ayant pris soin de positionner les membres inférieurs de part et d'autre du centre de gravité.

Ainsi la possibilité d'agir en unilatéral est-elle essentielle pour le placer du cheval, les « tourner » où il convient de déplacer vers l'avant l'ischion intérieur.

Ne nous trompons pas, la mobilisation pelvienne (« actions du rein ») est la condition « *sine qua non* » des départs et des arrêts corrects. Pour l'arrêt en particulier, sans mouvement pelvien, il y a impossibilité de réussite car dès lors le geste ne sera réalisé que par la traction des bras (flexion des coudes avec le geste de ramener vers soi). Il en va de même pour la stabilité qui n'est pas concevable sans bascule du bassin ce qui deviendra un handicap si le cavalier doit faire face à un cheval « délicat ».

Enfin, pour résumer, toujours MÜSELER précise que la capacité à basculer le bassin est indissociable de la qualité du « liant ».

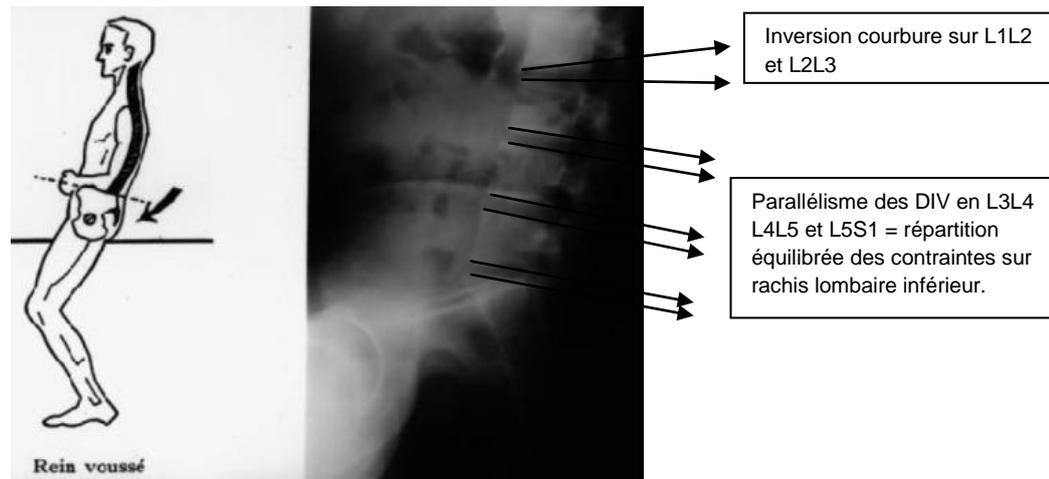


Schéma 1.23 - Assiette « Reins Voussés » - AUVINET (1999)

- Rein Creux : il y a un déséquilibre antérieur, le bassin est alors en antéversion, le cavalier est dit « assis sur le pubis », cette position est fortement déconseillée dans la pratique de l'équitation classique car le centre de gravité et le poids du bassin partent en avant >> les épaules partent en avant, entraînant un risque de compensation massive du tronc par une « extension dorsale », le cavalier s'accroche alors avec les jambes. Radiologiquement, on note :

- . Le bassin est totalement basculé en antéversion ;
- . L'hyperlordose lombaire est maximale, tous les disques lombaires sont donc comprimés en arrière ;
- . Les DIV sont alors en compression maximale au niveau postérieur, ce qui à moyen terme aura pour conséquence d'engendrer des lésions au niveau de la structure annulaire du disque ; de même cette position aura pour effet de placer les AAP en convergence²⁴, créant de futures lésions arthrosiques.

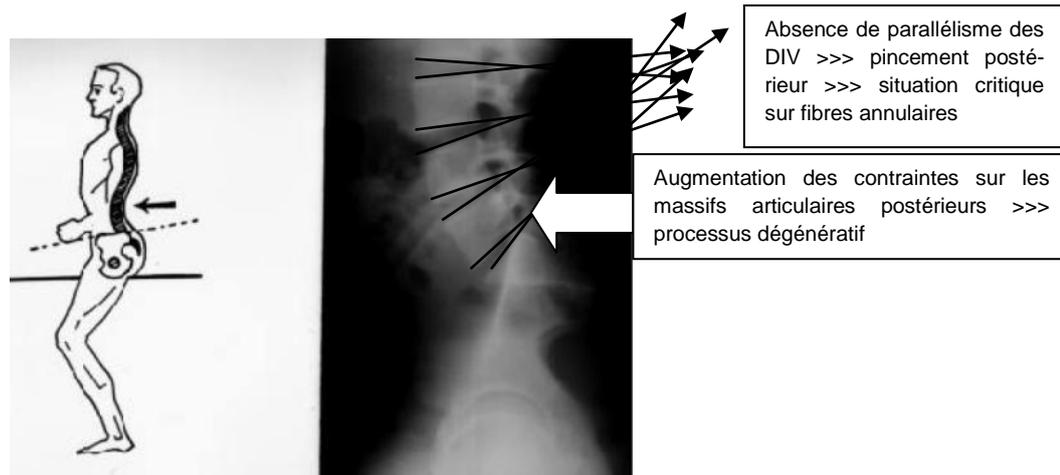


Schéma 1.24 - Assiette « Reins creux » - AUVINET (1999)

²⁴ Les surfaces articulaires viennent s'impacter les unes par rapport aux autres d'où augmentation des contraintes avec risque de douleur majorée.

Dans le Rein Voussé et l'Assiette normale, le bassin est rétroversé et la lordose préservée ou minimisée mais il n'en demeure pas moins que l'équilibre du point de vue contrainte est assuré, avec une répartition homogène au niveau des DIV, ce qui est considéré comme une situation où le fonctionnement peut être qualifié de correct avec une minimisation des actions stabilisatrices pelviennes. Il faut avoir à l'esprit l'analyse de J. SAINT FORT PAILLARD* qui nous rappelle que l'acquisition du « liant » s'effectue grâce à l'action adaptatrice du bassin, ce qui est confirmé par CHAMBRY*(1990) en sachant que la rétroversion sera maximale pour amortir les mouvements ascensionnels du dos du cheval.

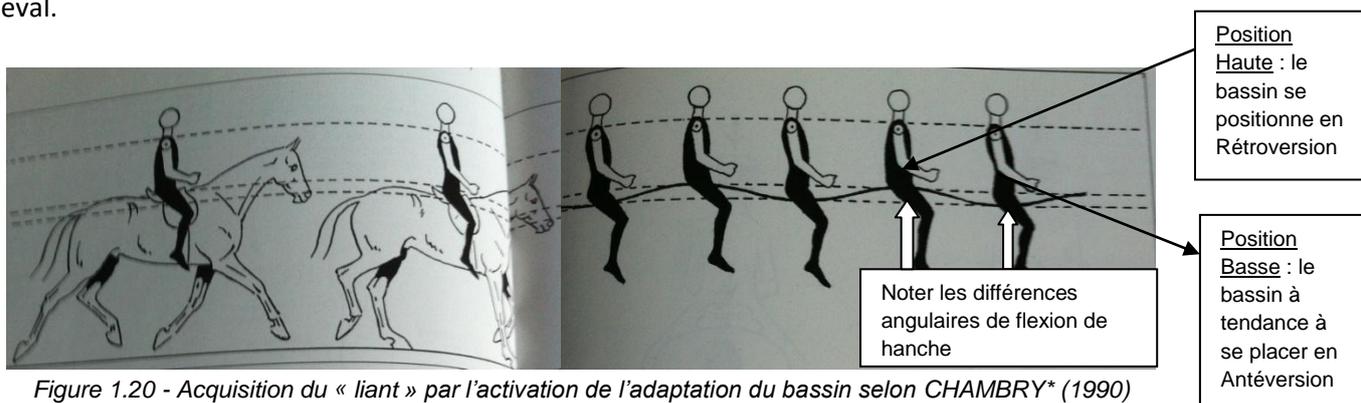


Figure 1.20 - Acquisition du « liant » par l'activation de l'adaptation du bassin selon CHAMBRY* (1990)

1.4 - PHYSIO PATHOLOGIE DU CAVALIER

Comme le souligne LABALUE* (2010), l'équitation est loin d'être le sport le plus spectaculaire du point de vue médical. En effet, à ce titre la littérature est pauvre. Longtemps, seul le cheval a été considéré comme athlète mais depuis les années 2000, le concept « couple cheval/cavalier » a été développé notamment à travers les dernières dispositions réglementaires de la FEI²⁵.

A *contrario* de la pensée populaire, il n'y a pas une équitation mais des équitations, avec une très grande diversité de disciplines, qui offrent un panel de technicités très varié avec un investissement personnel plus ou moins accentué. On peut y déterminer 3 niveaux, avec des exigences très différentes :

- Loisir : avec un but de jeux, de détente.
- Amateur : investi avec une recherche constante de l'amélioration des gestes techniques pour une satisfaction globale issue du comportement concomitant du cavalier et du cheval.
- Professionnel : avec des objectifs sportifs précis ; dans ce cas, il a été décrit 4 catégories
 - . *Cavaliers maison* / employés par des cavaliers professionnels pour travailler leurs chevaux en leur absence, pour présenter les chevaux aux clients ;
 - . *Cavaliers « jeunes chevaux »* dont la mission est de valoriser les jeunes produits, cela nécessite la maîtrise parfaite des fondamentaux de l'équitation pour tourner ensuite sur les circuits SHF²⁶ « Cycles Classiques » ;

²⁵ Fédération Equestre Internationale

²⁶ Société Hippique française qui gère les circuits de compétition réservés aux jeunes chevaux de 4 à 7 ans.

. *Cavaliers enseignants*, d'abord des professionnels, de compétition et qui ajoutent à leurs compétences du coaching en emmenant par exemple des élèves en concours avec comme élément majeur, la formation ;

. *Cavaliers de haut niveau*, de PRO 1 à International, les chevaux leur sont confiés par des éleveurs ou des propriétaires. Ils ont leur propre structure au sein de laquelle travaillent des cavaliers maison et jeunes chevaux.

Pour ce faire, FAVORY* (2011) liste la nécessité d'un système récepteur des informations sensorielles et un ensemble d'organes effecteurs, responsable de la réponse qui sera apportée.

RECEPTEUR :

Œil : responsable de l'orientation via le flux visuel ;

Oreille Interne : équilibration et accélération ;

Proprioception : positionnement, déplacement relatif des différentes parties du corps.

EFFECTEUR : appareil locomoteur qui doit prendre en considération

- Horizontalité du regard ;
- Absorption énergie verticale ;
- Assis sur les ischions ;
- Cavalier « en suspension » avec accentuation de la lordose cervicale pour maintenir l'horizontalité du regard ;
- Rôle important des membres supérieurs ;
- Limitation du jeu cervico-dorsal et restriction de la ventilation ;
- Rôle des caissons thoracique et abdominal.

Ceci met donc à mal une idée populaire qui dit que « *le cavalier est un passager inactif* » car outre l'appareil locomoteur, le système cardio-vasculaire est également sollicité mais en règle générale, l'acquisition d'une bonne technique de base permet au cavalier de ne pas trop solliciter son métabolisme anaérobie.

Mais ce qui crée la majeure partie des problèmes rencontrés par le pratiquant, ce sont les micro-traumatismes car l'équitation a toujours l'image d'une discipline à hauts risques de ce point de vue. Cela se traduit par différentes aspects pathologiques.

1.4.1 - PATHOLOGIES CHRONIQUES RACHIDIENNES

Combien de fois n'a-t-on entendu que « *l'équitation faisait mal au dos* » !!! L'ensemble des études sur le sujet notamment COSTE* et DESPROGES-GOTTERON* ont toutes conclu que la fréquence des rachialgies chez le cavalier n'était pas plus importante (entre 45 et 63%) que dans l'ensemble de la population (60/80%). De plus CUCHE* (1984) dans sa thèse de médecine n'a pas trouvé d'analogie entre la fréquence des rachialgies et le nombre d'années de pratique.

Alors que les étages cervicaux et dorsaux sont peu touchés lors de l'activité équestre, le niveau lombaire quant à lui est source de souffrance surtout chez les cavaliers professionnels comme l'avait mis en avant le AUVINET* (1991) estimant que cela était aussi proportionnel à la fréquence et à l'intensité horaire de la pratique. La problématique se pose différemment selon qu'il s'agisse de cavaliers professionnels qui montent plusieurs heures durant et l'amateur qui sort 1 à 2 fois/semaine. Tous s'accordent à déterminer 5 facteurs favorisant la survenue de rachialgies chroniques ou non) :

- . Intensité de la pratique quotidienne ;
- . Exercices équestres violents comme par exemple les Sauts d'Ecole (126)* à SAUMUR ;
- . Attitude clinique en hyper lordose lombaire ;
- . Discopathie dégénérative sous jacente ;
- . Traumatismes répétés.

HUMBERT* (2000) décrit 4 formes de lombalgies chez le cavalier :

- Les *lombalgies statiques* sont les plus fréquentes. Elles sont généralement la conséquence de postures prolongées mettant à mal la musculature concernée. Elles cessent avec l'arrêt de l'activité et ne présentent pas de caractère gravissime au long terme. TEYSSANDIER* (2003) estime que cela concerne 80/90% des cas. HORDEGEN* (1981) avait mis en évidence que sur une population de 115 cavaliers de 20 à 79 ans qui se plaignaient de lombalgies, 54% du groupe des professionnels qui montaient 8/9 h par jour étaient lombalgiques, 45% chez ceux qui pratiquaient 1 à 3h par jour et 35% dans le groupe de sujets qui montaient 1h par semaine. Rappelons pour cela l'étude d'AUVINET à l'ENE sur 42 cavaliers jeunes, de 32 ans de moyenne, qui montaient 3 à 5h/jour depuis plus de 13 ans en moyenne avec pour certains l'exécution récurrente des « sauts d'école – courbette, croupade, cabriole ». Dans plus de 72%, on notait une hyperlordose lombaire et à 38% ceci était associé à une hypercyphose et la résultante était de voir 28 sujets sur 42 porteurs de lombalgies.
- Les *lombalgies d'effort* : il s'agit d'une douleur lombaire dite « basse », décrite siégeant comme une ceinture, en transversal, qui apparaît à la fin de la journée corrélativement avec l'accumulation de la fatigue, souvent après des séances prolongées et intensives à cheval. La douleur est calmée par le décubitus, mais ce type de rachialgie nécessitera un programme gymnique matinal que l'on pourra qualifier de déverrouillage mécanique. Le retour à la station assise cheval ne génère pas de gêne douloureuse, bien au contraire puisque le cavalier ressent même un certain bien-être.
- Plus rares mais noté tout de même, *le lumbago* qui correspond à un blocage lombaire aigu, immobilisant totalement le sujet, ce dernier étant alors dans l'impossibilité de réaliser le moindre mouvement. La douleur est fulgurante, exacerbée par le moindre geste, par la toux, etc.... Ce phénomène est généralement consécutif à une chute, à un faux mouvement (asynchronisme du couple cheval-cavalier lors d'un saut ou d'une ruade).
- Rares sont aussi, *les sciatiques*, émanations d'un *conflit disco radiculaire*, consécutif d'une chute ou d'une mauvaise réception après un saut ou une ruade du cheval. La fréquence est toutefois faible et la survenue justifie outre la mise au repos, la nécessité d'un bilan complet d'une part et d'une rééducation des plus adaptées d'autre part ; TEYSSANDIER* estime cela à 10/20%. Dans ce cas de figure, il s'agit d'une irritation d'un trajet sciatique (L5 ou S1) qui survient le plus souvent après plusieurs épisodes de lumbagos, ces derniers venant fragiliser les fibres annulaires du disque intervertébral. Nous reverrons dans le CHAPITRE 2, la configuration anatomo physiologique du disque intervertébral.

Un mot sur les *Dystrophies Rachidiennes de Croissance*²⁷ chez l'enfant & l'adolescent pour qui il ne semble pas y avoir un lien favorisant de l'équitation pour ce type de problématique mais il convient d'être prudent (sauf en phase évolutive douloureuse où cela devient une contre indication formelle). Appelées maladie de Scheuermann, ostéochondrose vertébrale de croissance, ou épiphysite de croissance, ou épiphysite douloureuse des adolescents, il s'agit d'une affection vertébrale de l'adolescent, dont l'étiologie est jusqu'à présent inconnue. Les altérations dégénératives de la plaque cartilagineuse (zone de croissance ostéochondrale des corps vertébraux), et du listel cartilagineux antérolatéral, lieux d'apparition à l'âge de 8 ans, d'un point d'ossification secondaire sont les principales caractéristiques cliniques de ces affections.

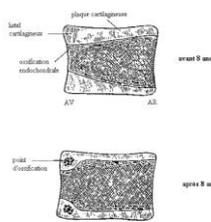


Schéma 1.25 – Croissance du corps vertébral d'après RAMPON*(1982).



Schéma 1.26 - Lésions radiologiques de la Maladie de Scheuerman (collection privée).

Toutefois, un jeune sujet porteur, pourrait se voir limiter la pratique équestre du point de vue intensité, niveaux d'épreuves ou nombre de chevaux à monter. Il est évident, dans ce cas, qu'il serait dès lors, inconcevable selon TEYSSANDIER* (2003) d'envisager un parcours dit « professionnel » à savoir plus de 2h/jour maximum. Une étude de LECOQC* (1998) montre une proportion importante de séquelles radiologiques de dystrophie de croissance au niveau dorsal chez le cavalier, expliqué selon REVEL* (1995) par une pratique intensive dès l'adolescence.

A noter, toujours selon tous les auteurs que les séquelles graves de DRC, les *spondylolisthésis de la charnière lombo sacrée* et les *affections rachidiennes inflammatoires* chez l'adulte représentent une contre indication formelle.

1.4.2 - PATHOLOGIES TRAUMATIQUES OU ACCIDENTOLOGIE.

La spécificité de l'équitation résulte de l'union de 2 mobiles (homme & cheval) aux différences multiples qui lors d'épisodes spécifiques ont l'obligation de fonctionner en parfaite harmonie. Les études réalisées sont issues de cas cliniques émanant des services d'urgence. Le taux de mortalité varie en 7,8 et 10/100 000 cavaliers. La fréquence de survenue est en corrélation avec le niveau de compétence puisque THOLOT*, BIAU*, BRUNET* et ROQUELAURE* (2012) relatent une étude américaine de MAYBERREY* (2007) qui recensait dans 3 états des USA, les lésions en fonction de l'ancienneté de pratique et du nombre d'heure / jour a montré que les cavaliers professionnels étaient moins sujet aux traumatismes que les amateurs.

Par contre AUVINET* (1991) avait noté que LIE* et LUTCH* (1977) avaient montré que 40% des accidents survenaient chez des cavaliers ayant plus de 3 ans de pratique et que pour STEINBRUCK* (1980) 78% sont des cavaliers expérimentés ; en fin pour LEIBER (1985) 67% des cavaliers victimes

²⁷ Dystrophie Rachidienne de croissance

d'accidents étaient titulaires du niveau « Eperon d'Argent ». Tout ceci s'explique par le fait que les professionnels (notamment en concours) prennent plus de risques que les cavaliers amateurs ou de loisir.

La survenue des accidents : selon WALLER* (2000) la plupart des accidents surviennent :

- Après avoir été éjecté du cheval dans 44% des cas, par projection « en fléau » à cause de la différence de masse entre le cheval et le cavalier.
- Après écrasement du cheval (chute du couple cheval/homme) dans 10% des cas, mais qui représente 21% des séquelles.
- Traumatismes provoqués directement par le cheval, en dehors des chutes, responsable par exemple d'écrasements dans 11 à 14% des cas.
- Lors des soins au cheval (décrits comme étant à côté du cheval) dans 30 à 40% des cas.

De plus, toutes les études tendent à prouver une accidentologie majorée chez la cavalière. Par contre, selon les dossiers des compagnies d'assurances, la fréquence de survenue des accidents en équitation par rapport à l'ensemble des sports a été évaluée par STEINBRUCK* (1980) à 135/5504 soit 2,45% et par GAUBERT* (1985) à 263/5546 soit 4,74%.

L'âge du pratiquant est un facteur important à ne pas sous estimer car le manque de souplesse et d'activité physique chez le sujet de plus de 40 ans accentue ces risques à *contrario* de l'adolescent, chez qui les accidents surviennent le plus souvent lors des soins.

La répartition topographique des traumatismes : elle privilégie 3 régions principalement comme le met en avant le tableau ci-dessous : les membres supérieurs, tête/cou et enfin les membres inférieurs. Ceci s'explique car lors des chutes, le cavalier cherche à se protéger avec ses membres supérieurs mais la région céphalique entre alors en contact avec le sol tandis que les membres inférieurs subissent les conséquences accidentogènes (pieds qui restent dans les étriers par exemple)

Lésions	AUVINET / SALVIA (1976)	LEIBER (1985)	SORLI (2000)
Membre supérieur	32%	33%	22 à 39%
Rachis	12%	2%	8 à 13%
Tête et Cou	24%	28%	19 à 25%
Membre inférieur	19%	24%	17 à 20%
Thorax	9%	9%	8 à 13%
Pelvis	2%	2%	2 à 8%
Organes internes	2%	2%	1 à 5%

Tableau 1.2 - Localisation de la traumatologie dans les sports équestres selon les différents auteurs.

La nature des lésions : Selon AUVINET* (1991) ;

- Les fractures représentent 41 à 54% des blessures expliquées en cela lors des chutes par la vitesse acquise. La localisation est proche des descriptions topographiques générales.

Membres Supérieurs, Membres Inférieurs, Région Céphalique avec surtout des fractures du nez consécutives au « coup de tête ou d'encolure du cheval » ou à un coup de visière du casque.

- Les contusions sous estimées qui laissent peu de séquelles.
- Les plaies surtout présentes sur la tête, avec atteinte de la face, du cuir chevelu et des lèvres.
- Les entorses essentiellement à la cheville dans 50% des cas, puis au poignet et aux doigts.
- Les luxations d'épaule, du coude et de l'acromio-claviculaire.
- Les lésions d'organes internes plus rares voire exceptionnelles font suite à la chute du couple cheval/cavalier.
- Les commotions cérébrales avec perte de connaissance surviennent dans 6 à 14% et témoignent (en 1991) de l'inefficacité des protections céphaliques, ce qui a entraîné la modification de la réglementation en matière de protection du cavalier.

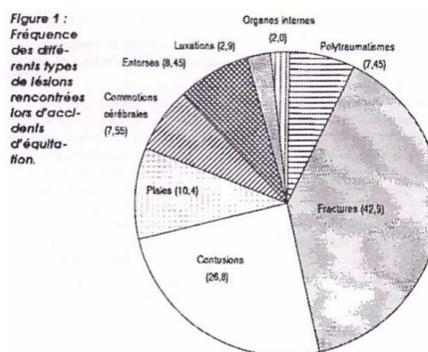


Tableau 1.3 - Localisation des lésions selon AUVINET (1991)

Prophylaxie ou comment réduire ces risques accidentogènes ?

Tout comme FAVORY* (2011), on peut légitimement décrire :

. Une **prévention primaire** qui réside dans l'acquisition parfaite de la culture équestre avec une assimilation totale d'abord à pied puis ensuite à cheval ; c'est seulement à ce prix que le cavalier pourra minorer les risques d'accidents. Cette prévention sera « partagée » par ceux qu'HUMBERT* (2000) nomme le pédagogue (enseignant ou coach) et le cavalier élève ou compétiteur.

A pied, il est important que le cavalier prévienne le cheval de ses mouvements autour de lui par exemple lors du pansage et des soins. L'art de monter à cheval commence par l'acquisition d'une bonne relation entre l'homme et l'équidé car cela restera sa grande caractéristique, celle d'avoir comme complice un être vivant.

Il faut de plus, rajouter, qu'il convient en priorité de bien veiller à ce que la monture soit adaptée au cavalier ; ne dit-on pas « jeune cavalier – vieux cheval et vieux cavalier – jeune cheval » ?

Dans cette optique, il conviendra d'éviter les activités équestres à haut risque tels que le débouillage de jeunes chevaux ou chez le sujet mal préparé ou de condition musculaire insuffisante, la pratique du saut d'obstacles.

De même il paraît souhaitable que l'enseignant (ou le coach) prenne conscience des attitudes problématiques du cavalier (l'âme même de cette thèse, ceci sera détaillé plus en détail dans CONCLUSION et PERSPECTIVES) pour éviter toute sollicitation excessive en lordose lombaire en adaptant le travail aux capacités physiologiques de l'individu et ne pas engendrer, ainsi, un surmenage tant sur le plan articulaire, musculaire et même ligamentaire. Pour ce faire, il conviendra de :

- Limiter en temps et en intensité les séances de trot assis ;

- Répartir au mieux en fractionnant les sessions de trot assis et de suspension ;
- Raccourcir si possible les étrivières, de façon à moins solliciter la colonne lombaire en lordose ;
- Choisir le « niveau » du cheval en fonction des compétences équestres du cavalier ;
- D'adapter les activités en fonction de l'âge car il est évident qu'il est difficilement concevable de confier par exemple un cheval de dressage au dos puissant dans les mains d'un jeune cavalier adolescent dont la musculature sera en inadéquation avec les contraintes subies.

. Une **prévention secondaire** qui peut se décomposer en prévention passive qui regroupe les casques, gilets de protection, bottes, etc.... et en prévention active qui englobe le comportement du cavalier à cheval et surtout la gestion des risques (vitesse, etc....).

Ensuite la prophylaxie ciblera les points de faiblesse potentiels du cavalier, à savoir :

. Une **prévention des rachialgies**, pour lesquels certains sont tentés de comparer l'équitation à un sport de glisse où l'élément majeur réside dans le travail d'adaptation en régulation fine. Importance de surveiller entre autres la sollicitation au quotidien des groupes musculaires tels que les fixateurs d'omoplate en évitant les activités trop intenses qui viennent amplifier le phénomène. Notons enfin que 64% des cavaliers souffrent de rachialgies, ce qui n'est guère supérieur à la moyenne de la population (60 à 80% de rachialgiques).

- L'élément majeur est la surveillance du poids car la surcharge pondérale combinée aux contraintes issues de la pratique équestre aura tendance à accroître les rachialgies mais également les événements disco radiculaires.
- La prévention s'axe essentiellement sur un travail de préparation musculaire orienté sur le caisson abdominal et les érecteurs du rachis. Cela sera précédé d'une phase d'étirements, doux, lents et progressifs et ceci avant et aussi après le travail équestre. Il conviendra aussi de ne pas oublier la récupération active qui aura la faculté de faciliter l'élimination des lactates.
- Il convient de ne pas écarter la prévention « autour du cheval » c'est-à-dire dans toutes les activités dites à pied qui s'effectue avant et après le travail monté à savoir, les soins de grooming, le travail des boxes, etc.... A ce titre, c'est ce que mentionnent les Drs BIAU*, FAVORY* et coll dans l'étude menée pour la MSA du Maine et Loire* par l'Equipe Recherche de l'ENE.

. Une **prévention des pathologies des Apophyses Articulaires Postérieures**

Sollicitées dans 76/87% des cas selon AUVINET* (1999) dans les situations d'hyperlordose lombaire dans la discipline du dressage, cette sensibilité particulière est la conséquence d'une hypotonie de la musculature du caisson abdominal ; dans ce cas, il n'y a pas de possibilité d'obtenir la « poutre composite » décrite par KAPANDJI* (1986) qui permet au rachis lombaire de se voir protégé par une structure rigide antérieure. Cette faiblesse musculaire est à l'origine de cette idée populaire qui veut que l'équitation « fasse mal au dos ».

Pour mener à bien cette prévention « articulaire », il sera souhaitable d'envisager un travail de préparation musculaire parallèle des érecteurs rachidiens (muscles intrinsèques ou spinaux profonds) et des muscles du caisson abdominal (grand droit, petits et grands obliques, transverses mais aussi le diaphragme, véritable voûte de ce caisson et le plancher périnéal). Toutefois, le programme sera toujours sur mesure, adapté en dosant le travail, en le préparant et en prévoyant la phase de récupération active après.

. Une **prévention des pathologies musculo-tendineuses**

Cela permettra d'éviter les pathologies fonctionnelles non lésionnelles : les crampes, les contractures et lésionnelles :

- Courbatures avec microlésions pour lesquelles il faudra attendre 48h avant de les solliciter de nouveau.
- Lésions musculaires, lésions de désinsertions tendineuses, où il sera nécessaire de patienter 45jours minimum avant la reprise, le tout combiné avec une rééducation appropriée.
- Lésions de la jonction myotendineuse, myoaponévrotique.
- Lésions du corps musculaire de fréquentes survenues surtout lors du travail excentrique.

A noter que la zone des adducteurs, surtout au niveau de leur insertion pubienne, commune avec les abdominaux est une localisation délicate chez le cavalier.

Pour ce faire, des exercices d'assouplissement des hanches, du bassin, du rachis sont primordiaux ; REDON* estime que ce type de programme réalisé 2 fois par semaine à raison de 45mn par séance serait idéale pour prévenir ces lésions.

. Une **prévention spécifique chez l'enfant et l'adolescent**

La règle majeure réside dans le dosage du travail en évitant les longues séquences de travail et en adaptant les exercices à la physiologie de l'adolescence ; ceci est d'autant plus délicat que de nos jours, la spécificité de la compétition « Haut Niveau » poney impose un rythme, une cadence et une amplitude horaire et physique importante pour les jeunes, ce qui n'est pas sans causer à plus ou loin long terme des soucis, si d'aventure aucun suivi médical n'est prévu. Il faut donc être particulièrement attentif aux rythmes supérieurs à 3 fois par semaine chez l'enfant de moins de 12ans et de 4 à 5 fois par semaine en fin de croissance.

1.5 - CONCLUSION

La lecture de ces différentes études laisse apparaître que des éléments majeurs sont à prendre en considération les éléments suivants avec notamment :

- Importance du bassin et de la colonne lombaire ;
- Intérêt de la différenciation entre position assise (posture) et assiette ;
- Evolution de la position qui passe « jambes tendues » avec sollicitation maximale lombaire >>> jambes fléchies où le bassin contrôle le mouvement ;
- Ne pas négliger la hanche avec les deux pistes de réflexion >>> accentuation de la lordose ou travail avec la mobilité de hanche ;
- Importance de la prophylaxie rachidienne mais aussi et surtout notion de préparation « musculaire ».

CHAPITRE 2 - RAPPELS ANATOMIQUES, BIOMECANIQUES ET PATHOLOGIQUES

2 .1 - LA POSITION ASSISE

Position préférentielle de l'espèce humaine depuis la fin du XXème siècle, la position assise a, au fil des décennies, montré les limites de tolérance pour l'homme et les conséquences à long terme d'une trop grande utilisation. L'homme moderne passe de plus en plus de temps en position assise : en voiture, au bureau, devant l'ordinateur, la télévision voire en fin de vie « au fauteuil ». Dès lors il est indéniable de considérer son évolution car la station assise à cheval n'a rien à voir avec celle utilisée devant un bureau.

Si nous observons un homme s'asseoir, toutes les situations seront alors rencontrées, avec plus ou moins de délicatesse, ce qui se traduira par de sans cesse changements d'attitude pour essayer de trouver la position idéale.

Y-a-t-il une position idéale ? PAILLEX et PLAIX* (1996) affirment à ce sujet qu'aucune position fut-elle bonne, ne peut être maintenue longtemps ; dès lors, cela implique des changements de postures d'autant plus nombreux que le maintien sera long. Toutefois, certaines positions sont meilleures que d'autres, le tout étant de les appréhender au mieux comme l'avait souligné BO* (2001).

A cela il convient d'ajouter qu'au-delà de la qualité de la position assise, nous nous devons de considérer, comme nous l'ont montré CARR et coll* (2002), les transferts debout-assis-couché et les paramètres qui viennent les modifier, tels que la vitesse de déplacement, le type de mouvement à réaliser.

Il est malgré tout un dénominateur commun dans l'installation dans ces positions assises, quelles qu'elles soient, c'est le respect du maintien des courbures physiologiques, que nous nommons volontiers rectitude ou axialité ; ceci permet une meilleure gestion et répartition des contraintes.

Il est classiquement décrit trois cas de figures pour la position assise :

- positions assises hautes avec appui postérieur (utilisation d'un dossier) ou antérieur (utilisation d'un appui sur plan de travail par exemple) ;
- positions assises hautes sans appui ;
- positions basses, assises à terre.

Considérant la position assise à cheval, nous nous attarderons sur la catégorie la plus proche bio mécaniquement parlant, à savoir, la position assise haute sans appui. Le sujet est alors assis uniquement sur son séant, le rachis vertical en équilibre sur le seul pelvis tel que cela a été décrit par SCANNELL et MCGILL* (2003). Cela nous amène à aborder quatre points fondamentaux :

- le respect de la verticale stricte : c'est que nous pourrions appeler « position du pharaon », rectitude stricte comme peut l'être le garde à vous pour la station debout ; c'est une situation hiératique et figée qui ne peut être maintenue très longtemps.

- le phénomène de la roue ischiatique : c'est la capacité de basculer le bassin vers l'arrière (rétroversion) qui entraîne un appui majeur sur la face postérieure des ischions, qui est suivi d'une bascule antérieure (antéversion). Dès lors, LE FLOCH* (1980) a mis en évidence le rôle mécanique important de la bourse synoviale ischiatique dans les variations positionnelles sur support. Le maintien rachidien est alors assuré de manière passive par une voussure rachidienne globale qui ne peut être maintenue longtemps, compte tenu de la mise en tension excessive du plan postérieur et de la compression du plan antérieur. Ceci oblige l'individu à changer de position en effectuant une antéversion du bassin, plaçant ses branches ischio-pubiennes en appui sur le siège.

- le maintien légèrement incliné : c'est la situation rencontrée par la secrétaire devant son ordinateur, elle ne peut que s'incliner légèrement vers l'avant car elle ne possède pas d'appui sur les coudes, le bassin étant antéversé, le rachis rectiligne et les pieds sont placés sous le bureau.

- le maintien actif (qui nous concerne au premier chef) : il est différent du maintien vertical strict puisque le maintien est axial et rarement vertical ; de cette position, naît une activité dynamique nécessaire à sa réalisation ; le tout est fonction de différentes variantes musculaires qui permettent le maintien de cette position en limitant sa fatigabilité et en la rendant donc plus tolérable. Le sujet met alors en jeu son maintien et non celui du cheval.

Dans la vie quotidienne, nous avons coutume d'utiliser des positions assises nécessitant une angulation tronc-cuisse de 90° environ et une flexion de genoux de 90°. Ceci avait été décrit en 1884 par STAFFEL* et repris par CUVELIER *(2006). La problématique actuelle réside donc dans l'adaptation de l'environnement à l'homme en prenant soin de prendre en considération bon nombre de paramètres dont par exemple sa taille qui n'a cessé de croître au siècle dernier.

2.1.1 - EVALUATION DE LA BIOMECHANIQUE DE LA POSITION ASSISE « STANDARD »

2.1.1.1 - Au niveau de la lordose lombaire

C'est au niveau des déplacements du couple bassin/rachis que porteront nos premières remarques. En effet, si l'homme s'adapte volontiers d'une flexion de hanches de 90° pour être en phase avec le mobilier ambiant, seuls les 60 premiers degrés seront pris en charge directement par le bassin, les 30° suivants sont issus du rachis lombaire. MANDAL* (1984) a même mis l'accent sur la nécessité de cyphoser la colonne lombaire lors de flexions antérieures du tronc dans les situations de travail sur un plan horizontal. De même SCHOBERT*(1962) avait mis en avant que le passage à la position assise entraînait une flexion lombaire de 30,4° avec localisation élective au niveau de L3L4 et L4L5, confirmé par MANDAL*(1984). KEEGAN*(1953) avait lui, sur quatre sujets, travaillé sur l'influence de cette station assise sur la colonne lombaire et notamment sur la lordose où étaient apparu le rôle joué par les mouvements lombo-sacrés.

De plus, il a pu mettre l'accent sur le rôle majeur du plan musculaire postérieur car lorsque nous envisageons le passage d'un angle tronc/cuisse de 200° à 50° (c'est-à-dire une flexion de hanche >140°), le bassin bascule vers l'arrière et la cambrure lombaire s'efface. Les muscles ischio-jambiers « en

position dite neutre » à 135° de flexion (angle tronc/cuisse), entraînent lors d'une diminution de cet angle, une rétroversion du bassin et une flexion de la colonne lombaire. Cette situation sera d'autant plus accentuée que les pieds se situent en avant des genoux de part leur mise en étirement maximal.

A l'inverse le muscle rectus fémoris (droit antérieur), antéverseur est relâché en flexion de hanche et n'assure donc plus aucun maintien du bassin ; ce dernier a donc tout le loisir d'entraîner une délordose lombaire.

Il convient de s'attarder sur le rôle du psoas, muscle dit structural. Historiquement, il lui était attribué une vocation lordosante en position érigée (donc rectitude de hanche c'est-à-dire angle tronc/cuisse élevé). En station assise, ses insertions se rapprochent, sa longueur diminue ainsi que son état de tension ; à ce moment précis il ne peut intervenir que si une demande d'extension lombaire est faite, ce qui a été constaté par ANDERSON et coll* (1995) par une activité myoélectrique augmentée chez des sujets qui devaient rester en position assise. Cependant, les dernières années ont vu des modifications d'appréciation biomécanique du groupe musculaire « psoas » avec son rôle de placage sur la face antérieure de l'articulation coxo-fémorale, en raison de la réflexion de son tendon combiné à celui de l'iliaque sur cette face antérieure ; de plus il aura donc une légère composante de poussée dans le sens de la rétropulsion en considérant le point fixe lombaire. Sa composante lordosante (point fixe sur le fémur) est d'ailleurs mise en évidence lors des flessum de hanche, au demeurant relativement bien tolérés au niveau de la hanche mais particulièrement douloureux au niveau lombaire avec la description d'une « barre lombaire horizontale »).

La position assise a également des répercussions sur le système stabilisateur passif du complexe lombo-pelvien ; en effet l'élément majeur de cette stabilité n'est autre que le ligament, structure relativement rigide composée de tissus denses essentiellement collagène et dérivés protéinés qui lui assure une grande solidité et une résistance accrue aux tractions. Lors de la délordose, le rachis lombaire se positionnera en flexion, ce qui induira une mise en tension des ligaments postérieurs du rachis (ligament jaune, inter-épineux, sur-épineux mais surtout le LCVP²⁸). Leur composante visco-élastique les soumet à deux propriétés :

- Relaxation : lorsque nous imposons une longueur à un ligament sa tension diminue au fil du temps.
- Fluage : si la mise en tension ligamentaire est maintenue trop longtemps, la longueur du ligament augmente de façon irrémédiable instaurant dès lors une laxité articulaire, potentiellement préjudiciable.

C'est en théorie ce qui risque d'arriver lors du maintien, de façon prolongée, de la position assise, qui peut engendrer des augmentations de longueur des ligaments postérieurs source d'instabilité future pour la colonne lombaire donc apparition de phénomènes douloureux en perspective. Cette laxité rachidienne devra être compensée par d'autres formations anatomiques et c'est ainsi que les AAP se trouveront sollicitées de manière accrue.

²⁸ Ligament commun Vertébral postérieur.

Dans cette optique, une étude de LELLONG et coll*(1994) a permis de calculer les pressions exercées sur chaque apophyse articulaire en fonction de la position assise choisie :

- Position décrite par STAFFEL*(1884) – hanches – genoux et chevilles à 90° ;
- Position actuelle issue du mobilier contemporain, idem à la précédente avec une flexion du tronc de 40° pour venir prendre appui sur un plan horizontal de 72cm de hauteur ;
- Position proposée par MANDAL*(1984) – inclinaison du siège et du bureau, avec hauteur de celui-ci à 92cm pour limiter la flexion lombaire à 10°.

	STAFFEL (1984)	ACTUELLE	MANDAL (1984)
L5S1	143	115	90
L4L5	87	83	27
L3L4	30	51	26

Tableau 2.1. Variation de la pression des AAP, en fonction de la localisation, exprimée en N/cm², d'après LELLONG (1988).

Il en résulte que la position proposée par MANDAL*(1984) qui ouvre l'angle tronc/cuisse (donc qui limite la flexion de la hanche) et limite la flexion lombaire est plus confortable pour les AAP. À l'inverse, les deux autres positions s'avèrent présenter peu de divergence.

Toutefois, alors que ces études portaient sur l'importance de l'ouverture de l'angle tronc/cuisse, l'homme doit faire face au quotidien encore à des sièges nécessitant d'adopter la position décrite par STAFFEL*(1884). Néanmoins, dans certaines circonstances, notamment la conduite automobile, il doit utiliser des sièges avec une inclinaison postérieure d'environ 15° qui induisent donc une flexion de hanche accrue (>120°), elle-même à l'origine de cyphoses lombaires comme l'a souligné AWNER*(1990). De même depuis quelques années, sont apparus des « sièges dits suédois » présentant des appuis antérieurs au niveau des genoux, qui selon FLAVIGNY et coll*(1993) ont l'avantage d'ouvrir l'angle tronc/cuisse et de provoquer une avancée du rachis dorso lombaire avec réalignement vertébral ; ils constituent à l'heure actuelle le meilleur compromis pour le respect de l'intégrité rachidienne.

2.1.1.2 - Au niveau de la pression intra-discale

Indépendamment des phénomènes douloureux induits par la mise en tension permanente des muscles érecteurs rachidiens, des groupes ligamentaires, la station assise et la délordose qui lui est associée, entraînent des modifications notoires de la pression exercée sur le disque inter vertébral. Les recherches ont été nombreuses sur ces phénomènes et dès 1970, ANDERSSON et NACHEMSON* ont tenté de rechercher, d'abord *in vitro* puis *in vivo* ces variations de contraintes intra discales. C'est ainsi qu'ils aboutirent à la conclusion, reprise ensuite par HARRISSON*(1999), ADAMS et HUTTON*(1995), que la station assise standard multipliait par deux la pression intra discale par rapport à la position érigée, pour laquelle avait été estimée à 100% la charge subie sur chaque étage inter vertébral. Ceci fut ensuite confirmé par les études de DREVET et al*(1991) avec des pourcentages compris, entre 180 et 200%. En 2001, WILKE et al* ont affiné l'étude en équipant des sujets de télémétrie

intra discale, durant des activités de la vie quotidienne au niveau L4L5 pendant 24h. C'est ainsi qu'il a été mis en évidence la moindre pression intra discale de la position assise droite par rapport à la station « debout relâché ». A nuancer toutefois compte tenu du faible nombre de sujets. Par contre LELLONG et col* (1988) en étudiant la pression intra discale dans les positions précédemment décrites (STAFFEL, actuelle et MANDAL) a une fois encore montré que la position décrite par MANDAL est protectrice vis-à-vis du rachis.

	Position de STAFFEL	Position actuelle	Position de MANDAL
L5S1	78	115	53
L4L5	76	114	51
L3L4	77	106	49

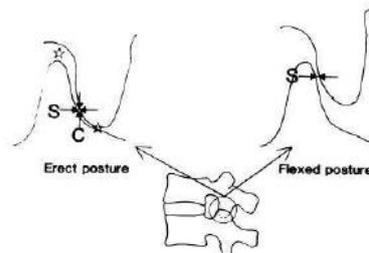
Tableau 2.2 – Pression intra discale exprimée en N/cm² en fonction de la position assise choisie selon LELLONG et col (1988).

La constatation générale pour l'ensemble des auteurs se fait autour de la notion de proportionnalité des pressions intra discale vis-à-vis du degré de flexion de hanche et de la rétroversion du bassin. Rajoutons à cela, la nécessité de changer régulièrement de position afin d'influer sur l'hydratation ou la déshydratation du disque intervertébral et donc sur sa capacité d'amortissement. De même, le fait pour un sujet assis, de prendre appui sur un support avec les membres supérieurs permettra une décharge d'une partie du poids du corps.

2.1.1.3 - Influence de la flexion lombaire sur la pression intra discale

La grande question qui revient sans cesse à l'esprit est de savoir pourquoi et comment se fait-il que la flexion lombaire puisse majorer autant la pression intra discale ? Quelques éléments de réponse nous parviennent à travers les travaux de HUTTON et al* (1977). Dans une extension rachidienne, les AAP inférieures de la vertèbre sus jacente convergent par rapport aux AAP supérieures de celle sous jacente. Dans les situations de lordose lombaire accentuée, les AAP vont donc résister au phénomène de cisaillement qui tend à provoquer une divergence, tout en supportant une bonne partie de la force de compression grâce au contact os-os. Cette prise en charge qui a pu être chiffrée à hauteur de 16%, est alors considérée comme une aide apportée au DIV. Dans les situations de détérioration discale, cela peut augmenter jusqu'à 70%, ce qui n'est pas sans avoir des conséquences ostéo-articulaires (apparition arthrosique).

En lordose, c'est-à-dire en extension, les facettes résistent au cisaillement (S) mais aussi à la compression (C).



En flexion, les facettes n'agissent plus que sur les cisaillements

Schéma 2.1 - Facettes articulaires selon ADAMS et HUTTON (1980).

Par contre lors de la flexion, cette prise en charge compensatrice par les AAP n'existe pas du fait de la divergence de ces dernières, les unes par rapport aux autres, DUFOUR et PILU*(2002) estimant même que la surface peut diminuer de 50%. La cunéiformisation des DIV au niveau lombaire, est aussi un autre facteur qui peut également venir expliquer cette situation. Lors d'une flexion thoracique, il se produit majoritairement une compression antérieure du DIV, là où l'épaisseur du DIV est la plus importante ; de manière concomitante, la pression intra discale est augmentée et le nucléus a tendance à migrer vers l'arrière. Ce dernier, de situation basale plus postérieure, est alors bloqué par les fibres de l'annulus, ce qui à terme augmente le risque de micro lésions et par conséquent de hernie discale.

Enfin, un dernier élément peut contribuer à expliquer la variation de la pression intra discale lors de la flexion : l'activité frénatrice (excentrique) des muscles extenseurs du rachis. Elle est manifeste dans la première partie de la flexion lombaire entre 0 et 60°, provoquant une force de compression sur le disque ce qui induit une augmentation de la pression intra discale. Dans la deuxième partie de la flexion, il y a un point de silence EMG²⁹, selon FLOYD et SILVER* (1995), les muscles érecteurs ne travaillent plus. La mise en tension des fascias et aponévroses poursuit alors le moment extenseur freinateur et le bassin augmente alors sa bascule antérieure afin de limiter la cyphose lombaire (le rythme lombo-pelvien indique que le bassin est principalement sollicité en début et en fin de flexion). Les travaux de CUEVELIER*(2005) nous permettent de comprendre comment la pression intra discale s'accroît plus chez un sujet qui maintient une « semi flexion en suspension » que chez un sujet qui se relâche totalement.

Nous comprenons avec ces travaux les raisons qui amènent à l'installation des lombalgies chroniques : les excès de pression augmentant la dégénérescence discale et la distension ligamentaire entraînent une instabilité structurelle selon BROWN et al *(2002). Compte tenu du nombre d'individus qui durant des heures sont positionnés assis, dans notre étude chez les cavaliers « experts » qui des heures durant montent à cheval, il est crucial de comprendre ces phénomènes lésionnels pour mieux aborder des protocoles prophylactiques.

2.1.2 - EVALUATION DE LA BIOMECHANIQUE DE LA POSITION ASSISE SUR BALLON

Considérant comme l'ont décrit BLACK et al *(1996) , la nécessité pour certaines personnes qui restent longtemps assises dans la même position, de bouger pour trouver une position plus confortable et éviter ainsi l'installation de processus douloureux récurrent, d'aucuns se sont souvent interrogés sur l'opportunité de remplacer la chaise de bureau par un ballon, imposant ainsi une position considérée comme dynamique par l'obligation de travailler l'équilibration. Ceci est d'autant plus judicieux que la station assise prolongée est réputée comme étant un facteur de risque de lombalgies chroniques.

Après avoir étudié, de façon différentielle, des sujets installés alternativement sur des tabourets en bois, puis sur des ballons de Klein Vogelbach, Mc GILL et al* (2006) ont montré une légère augmentation de l'activité musculaire, de la stabilité vertébrale et des compressions en L4L5 lors de la station sur ballon, mais toutefois la différence n'est pas significative par rapport à la station assise sur

²⁹ Electromyogramme

tabouret. Au même titre, aucune interaction entre le temps et la condition assise n'a été mise en évidence. Pour une position quasi statique, aucune différence de recrutement musculaire n'est relevée entre les deux stations. En outre, les valeurs d'activation musculaire restent basses car il est estimé pour les abdominaux, entre 1% et 2.8% de la Contraction Maximale Volontaire ou CMV et entre 1.3% et 4.8% pour le plan musculaire postérieur. Les amplitudes les plus élevées ont été mesurées sur les érecteurs lombaires.

Sur un sujet qui passe d'un tabouret au ballon, la pression intra discale en L4L5 augmente de manière relative passant de 0.45Mpa à 0.5Mpa selon WILKE et al*(2001). Cette pression augmente d'autant plus que le sujet effectuera une flexion thoracique (0.65Mpa) mais reste toutefois inférieure à celle observée sur un sujet assis, penché en avant et sans appui des coudes (0.90Mpa).

La position assise sur ballon induit une augmentation de la pression intra discale, mais la surface de contact étant augmentée, le ballon permet une meilleure répartition des contraintes. La position dynamique imposée permet une meilleure nutrition des disques grâce aux flux liquidiens. De plus, elle implique un travail de rééquilibration permanente nécessaire pour le maintien d'une position stable. Ce travail de rééquilibration permanente, oblige à agir sur les récepteurs proprioceptifs rachidiens, tout comme ceux des genoux et des chevilles, ce qui fait dire que les propriétés dynamique du ballon permettent une prise de conscience corporelle et un travail inconscient de l'équilibre.

Ce travail réalisé sur le ballon permet d'envisager une similitude d'action musculaire avec notre position équestre de part la nécessité de rééquilibration permanente du cavalier.

2.2 - RAPPELS ANATOMIQUES

2.2.1 - RAPPEL DES AXES ET PLANS POUR L'ETUDE DES MOUVEMENTS RACHIDIENS

La description anatomique du corps humain dans l'espace se fait suivant POIRIER*, selon

- ✓ **Trois plans** : à partir de la position anatomique de référence, on décrit trois plans imaginaires en 2 dimensions qui passent par le centre de gravité du corps humain et qui sont perpendiculaires les uns par rapport aux autres.

. *Plan Sagittal* : plan vertical orienté dans le sens antéropostérieur ; le plan sagittal médian passe par l'axe du corps et le partage en deux côtés droit et gauche.

. *Frontal* : plan vertical perpendiculaire au précédent. On définit un plan coronal qui est le plan frontal passant par l'axe du corps, qui délimite les faces ventrale et dorsale du corps.

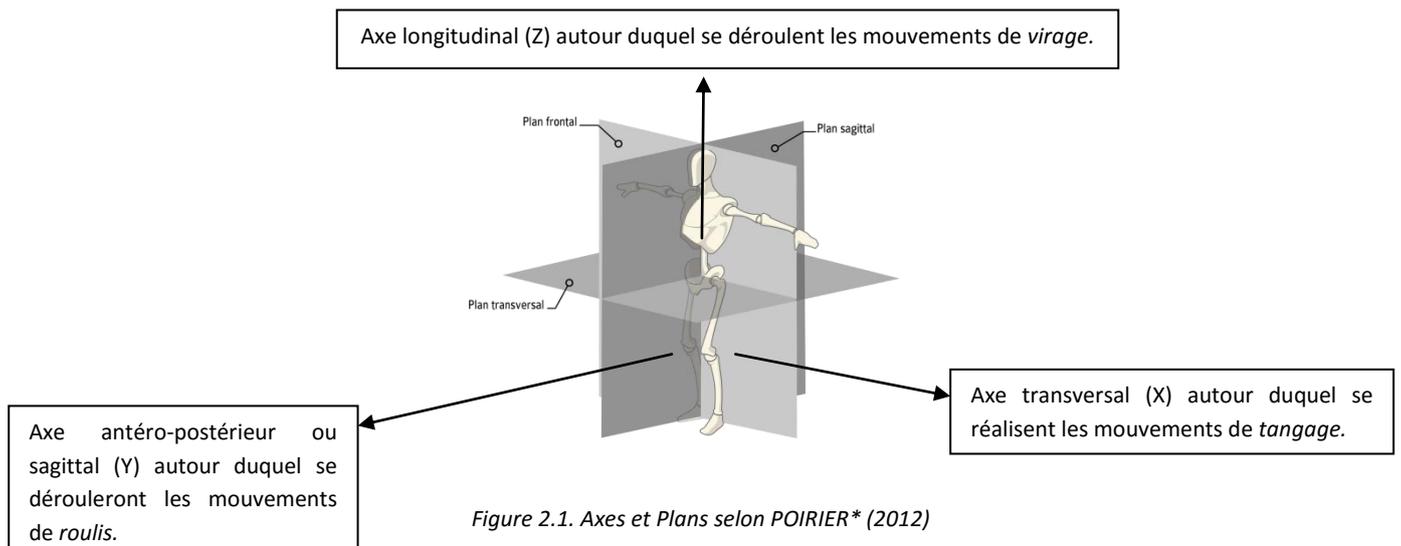
. *Transversal (Axial)* : plan perpendiculaire aux deux autres qui coupe transversalement le corps.

- ✓ **Trois axes fondamentaux** qui peuvent être représentés comme des lignes imaginaires autour desquelles s'effectue une **rotation** ou bien comme des lignes qui représentent des directions que suit un objet

. *Axe sagittal* : Il passe horizontalement d'arrière en avant et est formé par l'intersection des plans sagittaux et transversaux. Il est perpendiculaire au plan frontal. Lorsqu'une gymnaste effectue une roue, son corps tourne autour de cet axe.

. *Axe transversal* : Il passe horizontalement de gauche à droite et est formé par l'intersection des plans frontaux et transversaux. Il est perpendiculaire au plan sagittal. Lors d'une roulade ou d'un salto, le corps tourne autour de cet axe

. *Axe longitudinal* : Il passe verticalement de haut en bas et est formé par l'intersection des plans sagittaux et frontaux. Il est perpendiculaire au plan transversal. En danse classique, lors d'une pirouette, le corps tourne autour de cet axe.



2.2.2 - RAPPEL ANATOMIQUES RACHIS + CEINTURE PELVIENNE

2.2.2.1 - La colonne vertébrale ou rachis

Le rachis est souvent dans l'esprit de bon nombre d'individus, considéré comme une entité à part entière, compte tenu de sa composition, de son organisation et surtout de sa situation. Il est situé sur l'ensemble de la hauteur dorsale du tronc. Il possède une situation médiane et s'étend de la ceinture pelvienne à la base du crâne. Il possède plusieurs caractéristiques majeures :

- Il constitue l'axe géométrique du corps humain ;
- C'est un ensemble polyarticulé qui unit deux ceintures (scapulaire et pelvienne) et le crâne ;
- Il est en rapport avec deux caissons (thoracique – abdominal) et est constitué d'un empilement de pièces osseuses appelées *vertèbres* au nombre de 7 pour l'étage CERVICAL, 12 pour l'étage THORACIQUE, 5 pour l'étage LOMBAIRE et 8 à 9 soudées pour l'ensemble composé du SACRUM et du COCCYX (à ce propos rappelons un point de vocabulaire : toutes les vertèbres sont dorsales mais seules 12 sont thoraciques). Le Rachis est aligné symétriquement dans le plan frontal ; pour assurer la station debout, il présente des courbures dans le plan sagittal, capables de résister aux contraintes en compression, en

concavité ou *lordose* au niveau CERVICAL et LOMBAIRE et convexité ou *cyphose* THORACIQUE et SACRUM.

A NOTER : L'*Indice de DELMAS*, qui fait le rapport entre la hauteur et la longueur du rachis est un bon révélateur de situations d'accentuation des courbures. VANEUVILLE et coll* (1980) ont déterminé une valeur normale pour cet indice de 95%. Il convient donc, pour un indice < 94%, de considérer être en face d'accentuation de courbures avec un type fonctionnel défini comme dynamique et inversement, si les chiffres sont >96%, les courbures seront dites effacées avec un type statique.

Par rapport au fil à plomb, ces courbures vertébrales vont déterminer des valeurs, *les flèches*, définies par CHARRIERE et ROY* (1975) comme suit :

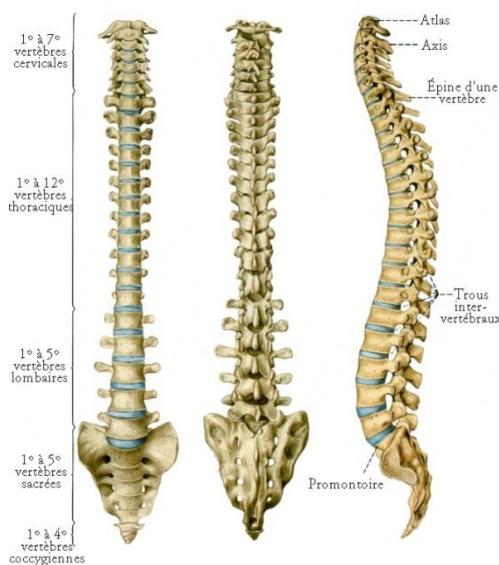


Figure 2.2. Vue ostéologique du rachis

FLECHES VERTEBRALES	
LOCALISATION	VALEUR MOYENNE
C7	25 à 40 mm
T8 (entre T7 et T9)	0 (contact)
T12	20 mm
L3	25 à 40 mm
S2	0 (contact)

Tableau 2.3. Flèches rachidiennes selon Charrière et Roy(1975)

La vocation fonctionnelle de cet axe rachidien est :

. Statique : la vocation majeure de l'axe rachidien est d'assurer la stabilité de l'individu en position érigée (ce qui différencie l'homme des autres espèces animales), telle une colonne en architecture qui supporte un fronton, c'est pourquoi l'appellation « colonne vertébrale » est également utilisée. Une personne handicapée porteuse d'un corset est certes limitée dans sa mobilité mais pourra tout de même se lever et vaquer à ses occupations, ce qui ne sera pas le cas avec un rachis mobile et dépourvu de stabilité. Il est de plus chargé de supporter et transmettre les charges appliquées aux parties supérieures du corps aux membres inférieurs (rôle de transmission) ;

. Dynamique : la seconde mission est d'assurer une mobilité, élément indispensable à la libération des deux ceintures d'une part et à l'orientation de la tête d'autre part ;

. Aspect statico-dynamique : c'est l'ambivalence fonctionnelle de ce rachis qui doit à la fois assurer stabilité et mobilité, ce qui paraît à première vue impossible. Contrariant DOLTO* (1976) qui affirmait l'impossibilité de voir « une tige de 50cm de faible section, très résistante et autre identique très

mobile mais que la réunification des deux était inconcevable », la nature a conçu cet élément stable et mobile à la fois, qui peut toutefois, se permettre cette prouesse grâce à la présence des deux caissons thoracique et abdominal. Absorber les chocs et notamment en compression du fait de sa configuration courbée, telle est une autre vocation, souvent mésestimée du rachis (avec des conséquences quelques fois sous évaluées au niveau cervical) ;

. Protéger les structures nerveuses, notamment la moelle épinière.

Aspect morphofonctionnel

. L'axe rachidien est médian dans le plan frontal et vertical et neutre dans le plan horizontal. Ce qui est appelé communément « rectitude » est en définitive une attitude corrigée non naturelle. Considérant que la verticale a longtemps été évoquée comme référence fonctionnelle, PENINO* (1982) a mis en évidence une ligne brisée qu'il a nommé « axe tragien » qui part du tragus de l'oreille, passe par acromion, la tête fémorale, le condyle latéral et se termine sur la maléole latérale.



Figure 2.3. Axe tragien selon PENINO (1982)

. Les courbures s'inscrivent dans une axialité d'ensemble avec des zones de mobilité que sont la concavité cervicale, convexité thoracique et concavité lombaire. A noter la confusion qui peut exister selon PANJABI et WHITE* (1980) entre la verticalité et l'axialité qui consiste à être en rectitude quelle que soit la position de l'individu dans laquelle il se situe. En outre, la verticalité fait intervenir la notion de flèches, c'est-à-dire, distance entre la courbure rachidienne et la verticale.

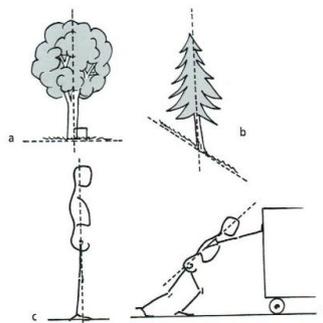


Schéma 2.2. Verticalité et axialité selon DUFOUR et PILLU* (2002)

Dans notre étude, nous ciblerons les rappels anatomiques mais aussi biomécaniques sur les éléments « phares » qui seront mis en action dans la pratique de l'équitation : étage lombaire de l'axe vertébral – bassin (os coxal et sacrum) – hanche (os coxal et fémur)

2.2.2.1.1 - Surfaces articulaires en présence : les vertèbres

Le rachis peut être assimilé à un ensemble architectural de « 3 colonnes osseuses » selon LOUIS* (1982) qui entourent le canal médullaire. Celles-ci correspondent à l'empilement des *corps vertébraux* et des *processus articulaires postérieurs*. Hormis les 2 premières vertèbres cervicales (C1 : ATLAS et C2 : AXIS), toutes les autres sont constituées d'un *corps* et d'un *arc neural*.

Le *corps* a un aspect massif et présente une forme de diabololo lui permettant une meilleure résistance aux contraintes compressives. Son volume augmente plus on descend dans le rachis. On décrit de l'os compact en périphérie du corps et autour de l'arc neural, véritable protecteur du cordon médullaire et de l'os spongieux au niveau de la partie centrale du corps. Cette constitution spongieuse lui confère une fragilité croissante avec l'âge et en fonction de la dangerosité des activités pratiquées (ici l'équitation). Les plateaux vertébraux sont eux recouverts de cartilage.

L'*arc neural* ou *arc postérieur* est quant à lui formé de 2 pédicules épais et courts d'os cortical épais qui se fixent à la partie supérieure de l'arête postéro-latérale du corps vertébral. Deux lames verticales prolongent les pédicules et forment le foramen vertébral avec un processus épineux saillant en arrière et deux processus transverses saillant latéralement. Quatre processus articulaires (deux supérieurs et deux inférieurs) s'articulent avec leurs homologues adjacents et situés à la jonction des pédicules et des lames.

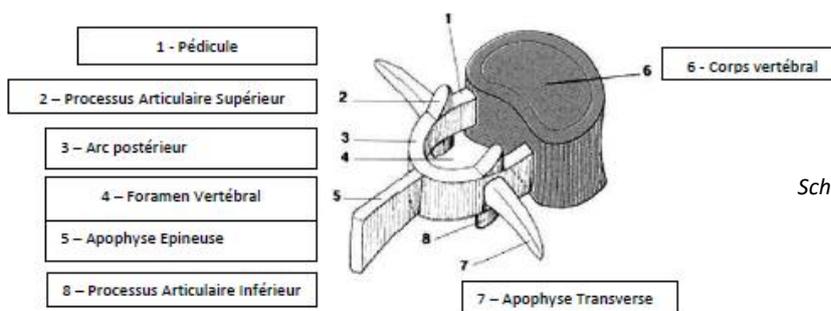


Schéma 2.4. Vertèbre type d'après Kamina (2002).

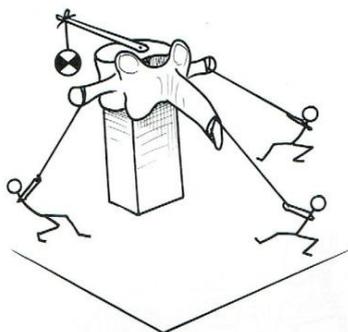


Schéma 2.3. Les processus épineux et transverses proposent des bras de levier d'après DUFOUR & PILLU (2002).

Vertèbre Lombaire : elle est massive et robuste, possède des processus épineux eux aussi massifs qui sont en relation avec la puissance des muscles sur lesquels ils s'insèrent, et ont un corps vertébral plus massif, étendu en largeur. Au niveau des apophyses articulaires, les facettes articulaires sont décrites comme étant une surface cylindrique avec une orientation postéro interne (regardant fortement en dedans et légèrement en arrière pour la facette supérieure et regardant fortement en dehors et légèrement en avant pour la facette inférieure). Cette orientation favorise la flexion, l'extension et les inclinaisons latérales.

Vertèbre Thoracique : elles sont au nombre de 12 avec un corps plus épais par rapport aux cervicales. A la partie postérieure des faces latérales, on observe deux surfaces qui viendront s'articuler avec les têtes costales (une supérieure et une inférieure). La face postérieure du corps vertébral en rapport avec le trou vertébral est fortement concave en arrière. Les apophyses articulaires supérieures se dressent verticalement au-dessus de la base des apophyses transverses, la facette articulaire de l'apophyse supérieure regarde en arrière, en dehors et un peu en haut. La facette de l'apophyse inférieure présente une orientation inverse. Les apophyses inférieures sont beaucoup plus réduites et font une saillie discrète et regardent en avant et un peu en dedans. L'apophyse épineuse est volumineuse, longue et de forme prismatique triangulaire. Le trou rachidien est relativement petit, il se présente sous une forme irrégulièrement circulaire.



Figure 2.4. Présentation des vertèbres selon Clinique Saint Luc UCL - Bruxelles

Vertèbre Cervicale : Au nombre de 7, elles peuvent être divisées en 2 catégories : rachis cervical haut avec les 1^{ère} (ATLAS) et la 2^{ème} (AXIS) et le reste de la colonne cervicale. Elles sont très aplaties, leur corps est parallélépipédique. On note la présence d'uncus pour les faces supérieures et de biseaux pour les inférieures. L'Apophyse épineuse est bifide. Les apophyses transverses sont longues et larges. L'orifice foraminaux est transversaire. Les apophyses articulaires postérieures supérieures ont une orientation supéro postérieure.



Figure 2.5. Présentation des vertèbres selon Clinique Saint Luc UCL - Bruxelles

2.2.2.1.2 - Moyens d'union du système vertébral

Comme toute structure articulaire, les moyens d'union sont de deux types passifs et actifs :

✓ Moyens passifs

. La capsule articulaire (avec la limitation zygapophysaire)

Chaque étage vertébral hormis au niveau crania-céphalique, possède deux capsules postérieures (avec synoviales) qui présentent chacune deux récessus : antéro supérieur, très résistant et postéro inférieur (moins résistant) qui permettent les bâillements glissements facettaires.

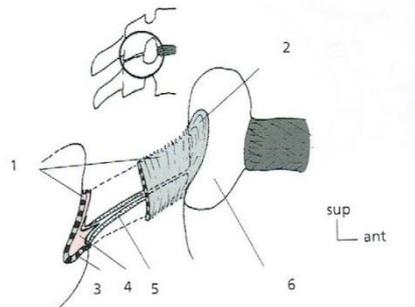


Schéma 2.5. Apophyse Articulaire Postérieure selon DUFOUR et PILLU (2002)

. Le disque intervertébral

Originellement précontraint, c'est le moyen d'union principal entre deux vertèbres, il permet la mobilité rachidienne, mais participe aussi dans l'amortissement des contraintes à l'identique des « silent-blocs » dans le monde automobile. Sa structure se compose de 15 à 20 lamelles concentriques, l'*annulus fibrosus*, qui varie avec la durée de l'action compressive à chaque étage vertébral. L'obliquité inversée de l'*annulus fibrosus* limite les mouvements rotatoires et augmente la résistance aux contraintes. Il est hydraté à 60/70% selon GOUPILLE et FREEMONT* (1997).

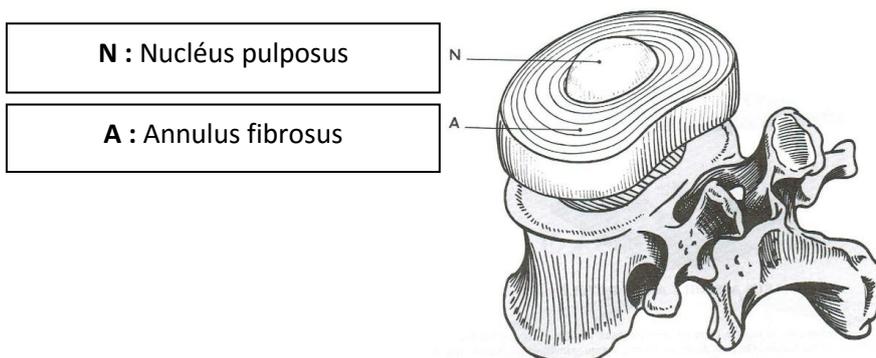


Schéma 2.6. Structure du DIV selon KAPANDJI (1980).

Le centre du disque est constitué d'un noyau gélatineux sous pression, le *nucléus pulposus*, qui joue le rôle du pivot. Il est fortement hydraté (80 à 90%) comme l'ont montré GOUPILLE et FREEMONT* (1997). Au repos, le *nucléus pulposus* se trouve sous tension dans sa loge à cause de son hydrophilie (dans le cas du sujet jeune puisqu'avec l'âge elle diminue) ainsi que de l'obliquité des fibres de

l'annulus fibrosus. CASTAING (1960) parle alors « d'équilibre intrinsèque inter corporel ». Cette tension interne du noyau tend à écarter les corps vertébraux par allongement des fibres annulaires ce qui engendre alors des forces contraires qui tendent à rapprocher les corps vertébraux : c'est cela qui détermine l'état de précontrainte du disque intervertébral.

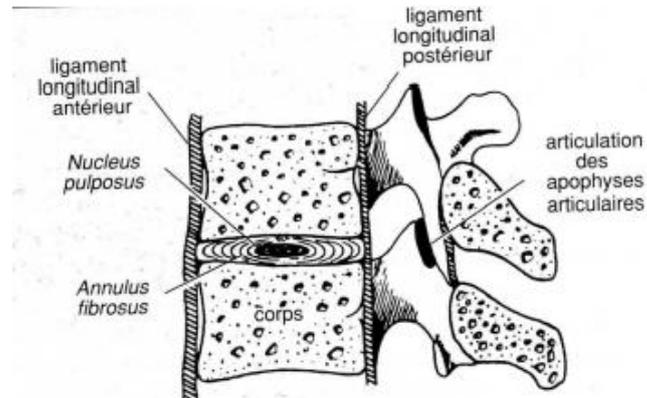


Schéma 2.7. Coupe sagittale vertébrale selon BOUISSET et MATON – HERMANN (1996).

. Le système ligamentaire

Principal acteur du système de stabilisation, les ligaments solidarisent les éléments constitutifs à l'échelle globale (ligaments communs antérieurs et postérieurs, ligaments sur-épineux) et segmentaire (ligaments jaunes, interépineux, intertransversaires et inter-apophysaires), assurant aussi la liaison avec le bassin (ligament ilio-lombaire).

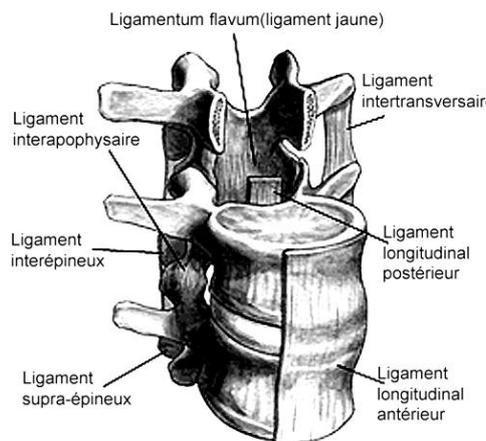


Schéma 2.8. Système ligamentaire rachidien d'après GRAY* (2000), KAPANDJI* (1986), LARSONN*(1999).

- *Ligament longitudinal antérieur*

C'est une longue bande fibreuse tendue de la base de l'occiput jusqu'à la face antérieure de la deuxième vertèbre sacrée (S2). Il adhère à la face antérieure des corps vertébraux et des disques intervertébraux. Il se compose de fibres longues superficielles qui s'étendent sur trois ou quatre vertèbres et de fibres courtes profondes qui unissent deux vertèbres adjacentes.

- *Ligament longitudinal postérieur*

Il est situé dans le canal vertébral, c'est une longue bande fibreuse. Il est tendu de la face postérieure du corps de la 1^{ère} vertèbre cervicale, l'axis à celle du coccyx. Étroit au niveau des corps vertébraux, il s'élargit pour se fixer sur les disques intervertébraux et sur la partie adjacente des corps.

- *Ligament Supra épineux*

Le ligament supra-épineux est un cordon fibreux solide tendu du processus épineux de la septième vertèbre cervicale à la crête sacrale. Il se fixe au sommet des processus épineux des vertèbres.

- *Ligament Interépineux*

Les ligaments interépineux unissent le bord des processus épineux sus-jacents et sous-jacents

- *Ligamentum flavum (Ligament Jaune)*

Le ligament jaune se fixe sur le bord des lames sus et sous-jacente. De coloration jaunâtre, il est rectangulaire et particulièrement épais et résistant dans la région lombaire. Il limite la flexion.

- *Les ligaments intertransversaires*

Ce sont de fines lames fibreuses qui unissent les processus transverses

✓ *Moyens actifs*

Les groupes musculaires, deuxième composante des moyens d'union ont eux un rôle actif et sont répartis en trois groupes de la profondeur à la surface.

A- Groupes postérieurs

1) *Plan profond ou muscles intrinsèques* est constitué par les muscles spinaux, directement au contact du rachis ce qui leur vaut le nom de « gouttière vertébrale ». Ils sont d'autant plus courts qu'ils sont situés en profondeur.

. Transversaire-épineux (1) : constitué de lamelles fibreuses telles les tuiles d'un toit, il est tendu d'une lame vertébrale jusqu'à l'apophyse transverse des 4 vertèbres sous jacentes selon la *conception de TROLARD** (1892). Par contre selon la *Conception de WINCKLER**(1974), il part de la lame et des apophyses épineuses des 4 vertèbres sus jacentes et se termine sur l'apophyse transverse de la vertèbre sous jacente.

. Inter-épineux (2) : Il est situé de part et d'autre de la ligne médiane, séparé en son milieu par le ligament inter épineux, il réunit les apophyses épineuses entre elles.

. Inter Transversaire : il unit les apophyses transverses vertébrales avec 2 faisceaux délimitant une zone de passage vasculaire.

. Epi-épineux (3) : c'est un muscle fusiforme situé de part et d'autre des inter-épineux et en arrière des transversaires épineux, il prend naissance sur les apophyses épineuses des deux dernières thoraciques et des deux premières lombaires pour aboutir sur les apophyses épineuses des dix premières vertèbres dorsales.

. Long Dorsal (5) : c'est une longue bande musculaire tendue en dehors de l'épi épineux, de la face postérieure du thorax et des côtes pour se fixer sur les apophyses transverses lombaires et dorsales. Il est composé de différents faisceaux (petit complexe au niveau cervical – faisceau cervico-dorsal – faisceau dorsal – faisceau lombaire).

. Masse sacro-lombaire ou Ilio-costal (6) : c'est une épaisse masse située la plus externe par rapport aux autres muscles, tendues des apophyses transverses cervicales jusqu'à l'étage lombaire où elle se confond dans une masse commune à tous ces muscles profonds.

2) *Plan Moyen* est constitué d'un seul muscle

. Petit Dentelé postérieur et supérieur (4) : il est situé immédiatement en arrière des muscles des gouttières, recouvert par la nappe du Grand dorsal, il est tendu entre les 3 ou 4 dernières côtes et les apophyses épineuses des 2 dernières vertèbres thoraciques et les 3 premières lombaires.

3) *Plan Superficiel*, lui aussi n'est constitué que d'un grand plan musculaire

. Grand Dorsal (7) : il est tendu depuis la masse sacro lombaire vers l'extrémité supérieure de l'humérus en dessinant un losange à grand axe vertical.

NB : A garder à l'esprit le rôle particulier de T12, L3 et L5 selon DELMAS*(1955) :

- T12, constitue la zone charnière entre la cyphose dorsale et la lordose lombaire. Elle a la particularité d'avoir un corps vertébral plus important que l'arc postérieur à l'arrière duquel passent les muscles des gouttières sans y avoir la moindre insertion. DELMAS* (1955) la compare à une « véritable rotule de l'axe vertébral ».
- L3, elle a un arc postérieur très développé qui sert de relais musculaire entre le faisceau lombaire du long dorsal qui vient de l'iliaque et les faisceaux de l'épi épineux dont le trajet est ascendant et dont l'insertion se situe sur l'apophyse transverse de L3. Elle est donc tirée en arrière par des muscles à insertion sacrée et iliaque et sert donc d'insertion à des muscles dorsaux. Elle assure donc une fonction majeure dans la statique vertébrale puisqu'en fait, elle est la 1^{ère} vertèbre lombaire mobile au contraire de L4L5 qui peuvent être considérées comme étant très « unies » à l'iliaque et au sacrum.

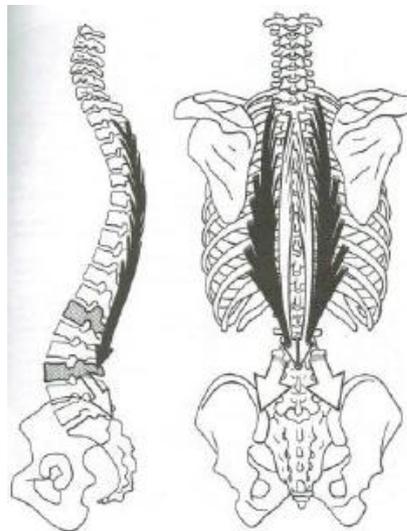


Schéma 2.9. Particularités de T12 et L3 selon KAPANDJI (1980).

B- Groupes Latéraux

. Le Carré des Lombes : forme une nappe musculaire, composée de 3 plans de fibres, en forme de quadrilatère tendu entre les dernières côtes, la crête iliaque et le rachis.

. Le Psoas : situé en avant du Carré des Lombes, il est composé d'une nappe antérieure qui prend naissance des corps vertébraux des lombaires et d'une nappe postérieure issue des apophyses transverses lombaires. Ces deux nappes viennent s'insérer sur l'extrémité supérieure du fémur après s'être réfléchi sur le bord antérieur de l'os coxal. Certains tels DUFOUR et PILLU* (2002) décrivent même un Grand Psoas avec un rôle stabilisateur de hanche et lombaire par un gainage vertébral concomitant avec les érecteurs et un Petit Psoas, inconstant dans 50% des cas ; pour certains (NEIDHARDT* 1994), il empêche le recul du rachis lombaire haut ou élève la branche supérieure du pubis ; dès lors il est délordosant lombaire. DOLTO* (1976) parlait des « 4 colonnes du rachis », au niveau lombaire avec les 2 psoas à l'avant et les 2 gouttières à l'arrière.

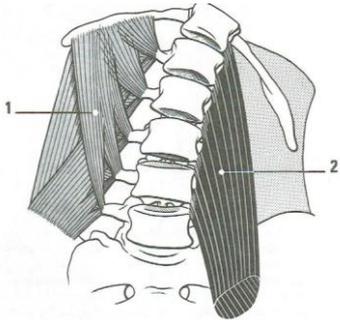


Schéma 2.10. Situation du PSOAS (2)
selon KAPANDJI (1980)

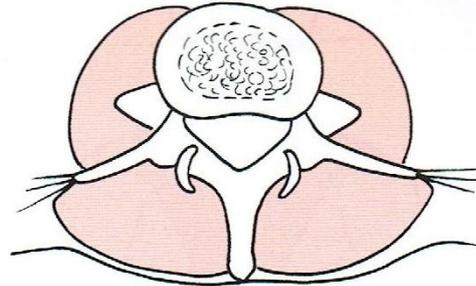


Schéma 2.11. « 4 colonnes de DOLTO »
selon DUFOUR et PILLU (2002)

C – Groupes Antérieurs

. Les Grands Droits de l'Abdomen : c'est une grande bande tendue de part et d'autre de la ligne médiane à la face antérieure de l'abdomen. Tendus de l'appendice xyphoïde et des 5^{ème}, 6^{ème} et 7^{ème} arcs costaux, ils se terminent sur la symphyse pubienne. Ils sont entrecoupés sur leur trajet par des bandelettes aponévrotiques.

. Les Transverses : c'est une grande nappe qui ceinture l'abdomen sur le plan profond. Son origine se situe :

Sur la face interne de la portion cartilagineuse des six dernières côtes ;

Sur la lèvre interne de la crête iliaque, dans ses trois quarts antérieurs, à l'aide de fibres tendineuses extrêmement courtes ;

Sur le tiers externe de l'arcade crurale, par des fibres charnues qui se juxtaposent immédiatement à celles du petit oblique ;

Sur la colonne lombaire et, tout particulièrement au niveau des apophyses transverses. Les trois zones d'insertions costale, lombaire et iliaque, tous les faisceaux constitutifs du muscle transverse se portent d'arrière en avant vers le bord externe du grand droit et se jettent, un peu avant d'atteindre ce bord, sur une large aponévrose, l'aponévrose antérieure du transverse, laquelle, comme celle des deux muscles précédemment décrits, vient se fixer à la ligne blanche.

. Les Petits Obliques : Ils forment la couche intermédiaire de la paroi abdominale ; ils prennent naissance sur l'appendice xyphoïde et sur le cartilage de la 10^{ème} côte, court le long des 11^{ème} et 12^{ème} côte (avec insertion), présentent un trajet oblique de BAS en HAUT et de DEHORS en DEDANS avec des

insertions également sur la crête iliaque pour se terminer directement sur la partie externe de l'arcade crurale.

. Les Grands Obliques : C'est lui qui contribue à former la paroi antérieure abdominale. Son trajet est oblique de HAUT en BAS et de DEHORS en DEDANS. Tendus des 7 dernières côtes vers la crête iliaque, l'arcade crurale et l'épine du pubis où il envoi quelques expansions aponévrotiques vers les adducteurs.

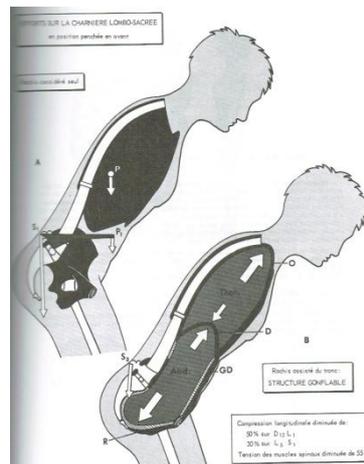


Figure 2.6. Caisson abdominal et caisson pelvien selon KAPANDJI (1980)

Caisson Abdominal – deux conceptions s’opposent, celle de RABISCHONG* et AVRIL* (1965) qui parlaient de poutre composite, c'est-à-dire de protection antérieure avec une action par poussée postérieure, via les viscères, sur la colonne lombaire ET celle de DOLTO* (1977) qui parlait de façon un peu osée, des 3 diaphragmes de l’abdomen avec le diaphragme et le plancher pelvien.

Rôle dans le redressement de la lordose lombaire – alors que l’on pensait initialement que les abdominaux participaient à la station (même inconsciente), les études de KLAUSEN* (1965) qui s’appuyaient sur les EMG simultanés du plan postérieur et des abdominaux, effectués avec ASMUSSEN*, ont mis en évidence un fonctionnement dit « en flèche de grue » avec au final une participation mais *active* des abdominaux dans le redressement conscient de la lordose lombaire.

2.2.2.2 - La ceinture pelvienne

Elle forme la base du tronc selon KAPANDJI (1980), constitue les fondements de l’abdomen, est le moyen d’union entre les membres inférieurs et le rachis. C’est un anneau ostéo-articulaire fermé composé de 3 pièces osseuses et 3 articulations.

Elle transmet les contraintes entre le rachis et les membres inférieurs. En effet, pour KAPANDJI* (1986) & MANGIOME* (1997), le poids P (figure 3) qui est supporté par L5 est réparti ensuite en 2 parties égales sur les 2 ailerons sacrés, puis à travers les éperons sciatiques vers l’acétabulum. C’est à cet endroit qu’est reçue la résistance au sol au poids du corps (R) transmise par le fémur par l’intermédiaire de la tête fémorale ; une partie de cette résistance vient s’annuler avec la résistance opposée au niveau de la symphyse pubienne après avoir traversé la branche horizontale du pubis.

L'ensemble de ces lignes de force forme un véritable anneau complet ; ceci est dû à la cyphose sacro-crée selon MARTY* (2002) et la mobilité réduite de l'articulation sacro-iliaque selon KISSLING* (1997) et STURESSON* (1989) qui interviennent au niveau du bassin, afin d'optimiser la transmission des forces à ce niveau.

2.2.2.2.1 - Surfaces Articulaires en Présence

2.2.2.2.1.1 - Le bassin

Considéré par DUBOUSSET* (1980) comme vertèbre pelvienne, KAPANDJI*(1996) le décrit comme étant composé de 3 structures :

Un élément postérieur et central rachidien constitué du sacrum et du coccyx.

Deux éléments latéraux et symétriques, représentés par les deux ailes iliaques. Les deux os iliaques sont unis au sacrum par les articulations sacro-iliaques en arrière et par la symphyse pubienne en avant. Ces os présentent une petite mobilité entre eux (de quelques millimètres) destinée à amortir les mouvements. Le bassin sert de pièce d'union et de transmission entre la colonne vertébrale (par la jonction lombosacrée L5/S1) et les deux membres inférieurs (par les articulations coxo-fémorales), son rôle est d'ailleurs outre cette transmission des contraintes, la stabilisation de l'équilibre postural.

- Le *sacrum* : est un os épais et volumineux de forme pyramidale qui résulte de la fusion de cinq vertèbres sacrées. MARTY et coll* (1997) disent de lui qu'il est un os « ambigu » car il est à la fois rachidien et pelvien ; son type articulaire original lui confère très peu de mobilité (juste le nécessaire pour l'accouchement et pour un rôle de stabilité par « encaissement » des contraintes). L'articulation sacro-iliaque est en rapport avec le centre de gravité humain (en face de S2).

- L'*os iliaque* : est un os plat pair et symétrique. Il est constitué de trois parties : un segment supérieur ou aile iliaque perpendiculaire au segment inférieur formé par le pourtour osseux du trou obturateur et un segment moyen, siège de la cavité cotyloïde ou acétabulum qui recevra la tête du fémur.

- Le *coccyx* est un petit os triangulaire à sommet inférieur aplati, articulé en haut avec la dernière vertèbre sacrée. Il est formé par la fusion de deux à six vertèbres coccygiennes. Ces os sont également le moyen d'attache des membres inférieurs au tronc, au niveau des articulations coxo-fémorales.

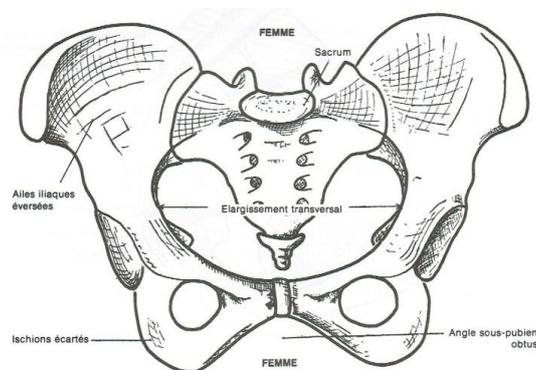


Figure 2.7. Anatomie du bassin d'après OLIVIER* (1994)

2.2.2.2.1.2 - La hanche

Véritable élément de stabilité, elle est constituée par l'ensemble bassin et le fémur. C'est une articulation portante, profonde et qui induit un double avantage, celui d'assurer une bonne protection mais aussi celui de protéger un bras de levier abducteur important (par rapport à l'épaule, l'autre ceinture). Le bassin vient d'être analysé, reste le fémur. C'est un os long, constitué d'un corps (diaphyse) et de deux extrémités.

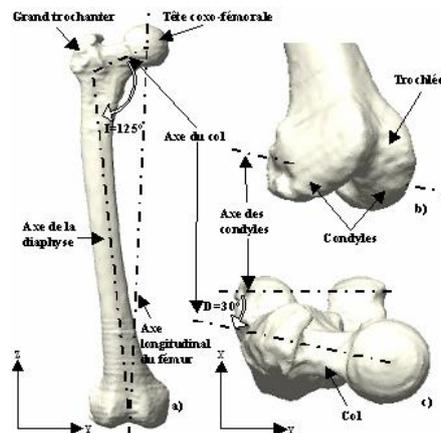


Figure 2.8. Fémur droit (KAPANDJI, 1996) -
a) plan frontal, I : angle d'inclinaison, b) extrémité Inférieure, D : angle de déclinaison, c) plan horizontal.

L'épiphyse proximale présente la tête fémorale, formant les deux tiers d'une sphère, dirigée en haut, en dedans et un peu en avant. Le col unit la tête aux trochanters et forme avec la diaphyse un angle physiologique dit d'inclinaison (I 125°) dans le plan frontal. De la même manière, celui-ci présente avec l'axe des condyles un angle physiologique de déclinaison ou d'antéversion (D 30°) dans le plan horizontal (torsion interne physiologique de l'axe longitudinal du fémur). Le grand trochanter se situe à la partie basse du col. L'épiphyse distale présente une surface articulaire composée de deux éléments en demi-cercles, les condyles et la trochlée, surface concave, sépare les condyles.

NB : Il faut noter la disposition des travées osseuses qui traduisent la transmission des contraintes. La caractéristique humaine est marquée par une configuration en ogive supra acétabulaire qui confère une résistance maximale avec une répartition harmonieuse autour de la tête fémorale : c'est ce qui est appelé le *chiasma trabéculaire*. Cette spécificité mise en évidence par DARGAUD et GALICHON* (1997) différencie l'homme du singe, ce dernier utilisant leurs 4 membres pour se déplacer, présentent un système trabéculaire parallèle et non croisé.

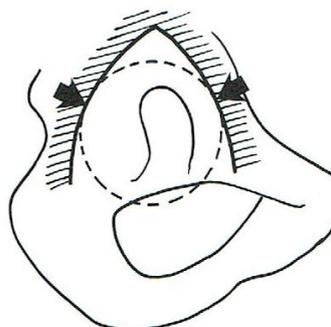


Schéma 2.12. Chiasma trabéculaire selon DUFOUR et PILLU (2002).

2.2.2.2.2 - Les Moyens d'Union

2.2.2.2.2.1 - Articulation sacro-iliaque

. La **CAPSULE** est courte et serrée ; sa couche fibreuse est doublée d'une couche synoviale qui peut avoir de courts replis dans l'interligne. Elle est doublée par des ligaments.

. Les **LIGAMENTS** sont de trois groupes : les ligaments antérieurs, les ligaments postérieurs, les ligaments à distance.

- a) Les ligaments sacro-iliaques ventraux, peu résistants, sont au nombre de deux :
- Un *ligament sacro-iliaque ventral supérieur* est un épaississement de la capsule, large de 2 centimètres, oblique en haut et en dehors, allant de l'aile du sacrum à l'aile iliaque.
 - Un *ligament sacro-iliaque ventral inférieur* naît sur la face interne de l'os coxal en dehors de la partie inférieure de l'interligne, contourne le bord du sacrum et va se fixer à la face postérieure de cet os. Ces deux ligaments sont appelés « freins de la nutation supérieur et inférieur ».

b) Les ligaments sacro-iliaques dorsaux, épais, fort nombreux, constituent une série de faisceaux émanant des processus transverses des vertèbres lombaires et sacrées pour rayonner sur le bord postérieur de l'os coxal. De haut en bas on trouve :

- *le ligament ilio-lombaire* qui, du sommet des processus transverses des 4e et 5e vertèbres lombaires, va irradier par de forts faisceaux sur la partie postérieure de la crête iliaque. Il comporte deux faisceaux.

- *le ligament ilio-transversaire sacré*, semblable au précédent, que certains comme KAPANDJI* (1986) considèrent comme un des composants du ligament ilio-lombaire postérieur. Il va de l'aile du sacrum (partie supérieure du processus transverse de la 1re vertèbre sacrée) à la partie la plus reculée de la crête iliaque, en arrière et au-dessous du ligament ilio-lombaire.

NB : Les ligaments ilio-lombaires qui unissent directement les deux dernières vertèbres lombaires au sacrum, limitent l'inclinaison latérale en se tendant du côté convexe et limitent à 8° l'inclinaison de L4 sur le sacrum. Ils sont détendus du côté concavitaire.

Lors de la flexion, le faisceau supérieur du ligament ilio-lombaire se tend du fait de son orientation en bas, en arrière et en dehors. Il se détend lors de l'extension. A l'inverse le faisceau inférieur du ligament ilio-lombaire est détendu lors de la flexion car il est orienté vers l'avant et tendu en extension.

FARABOEUF* en 1878 a décrit 4 ligaments :

Le 1er ligament ilio-transversaire conjugué ou ligament axile qui constitue le plus puissant moyen d'union de l'articulation ; large et long de 1 centimètre, formé de faisceaux entrecroisés, il va du sommet de la face auriculaire à la crête sacrée latérale. Le 2e ligament ilio-conjugué de Zagla, semblable au précédent, qui unit la face profonde de l'épine iliaque postéro-supérieure à la crête sacrée latérale. Le 3e ligament ilio-conjugué, long et mince. Le 4e ligament ilio-conjugué, insignifiant.

c) On met également en évidence des ligaments à distance :

1. La symphyse pubienne doit être considérée comme le vrai ligament antérieur de l'articulation sacro-iliaque ; c'est parce qu'elle est très résistante que le sacrum peut être maintenu accroché entre les os coxaux : si la symphyse pubienne est disjointe, il y a aussitôt du jeu dans les articulations sacro-iliaques.

2. Le ligament sacro-tubéral sert à maintenir également sacrum et os coxal. Disposé en double éventail, ses fibres naissent de tout le bord latéral du sacrum, empiétant en haut sur la partie la plus reculée de la grande incisure ischiatique et sur les épines iliaques postérieures, et s'étendant en bas sur la première pièce du coccyx. De cette longue origine concave, les fibres convergent en dehors, en avant et un peu en bas, forment un ruban étroit, mais très puissant, puis s'épanouissent de nouveau un peu, en même temps qu'elles se divisent en deux valves : la valve externe se fixe au bord interne de la tubérosité ischiatique, la valve interne se recourbe en avant et en dedans, et sous le nom de processus falciforme se fixe à la partie moyenne de la face interne de la branche inférieure du pubis. Ajoutons que la face externe de l'éventail initial du ligament donne insertion à des faisceaux importants du muscle grand fessier.

3. Le ligament sacro-épineux est situé en dedans du précédent. Né à peu près de la même manière que le ligament sacro-tubéral, ses fibres s'en écartent à angle très aigu et vont converger sur l'épine ischiatique. Ces deux ligaments transforment ainsi en orifices les deux incisures ischiatiques de l'os coxal.

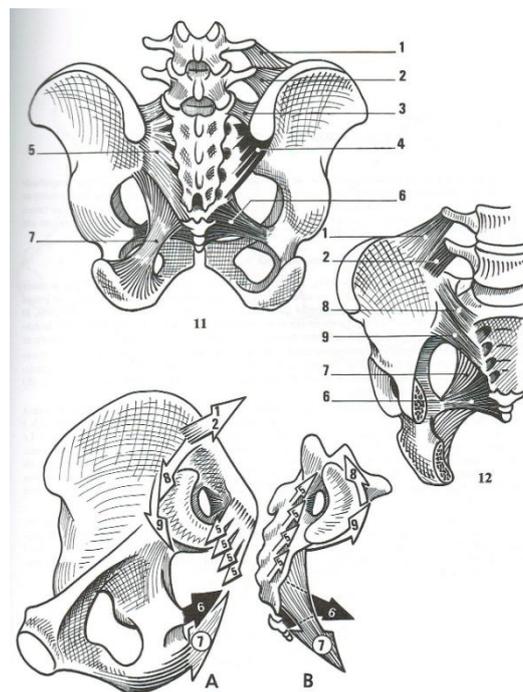


Figure 2.9. Articulation sacro iliaque – KAPANDJI (1980)

2.2.2.2.2 - Symphyse pubienne

Amphi arthrose de mobilité articulaire faible voire nulle, elle permet chez la femme après accouchement de très faibles mouvements de glissement d'une branche pubienne par rapport à l'autre. Les deux surfaces articulaires sont tapissées d'un cartilage et réunies par un fibro cartilage appelé *ligament inter osseux*. De même un *ligament antérieur* et un *ligament postérieur* viennent renforcer la

symphyse pubienne dans le plan sagittal. Idem dans le plan transversal où l'on note la présence des *ligaments supérieur et inférieur*.

2.2.2.2.3 - Articulation sacro-coccygienne

Amphi arthrose où les surfaces articulaires sont elliptiques à grand axe transversal. Elles sont unies par des ligaments antérieurs, ligament sacro coccygien antérieur et latéraux.

NB : Il est important lorsque l'on évoque l'articulation sacro iliaque de faire mention des différentes théories concernant les mouvements de **nutation** et de **contre nutation**.

Théorie classique de FARABOEUF : qui veut que les mouvements de bascule du sacrum s'effectuent autour d'un axe constitué du *ligament axil*, le déplacement est alors angulaire et le promontoire sacré pivote en bas et en avant autour d'un arc de cercle de centre O rétro auriculaire.

Théorie de BONNAIRE : quant à elle, matérialise une bascule du sacrum autour d'un axe O' passant par le tubercule de Bonnaire à l'intersection des deux segments de l'auricule sacrée. Le centre articulaire devient donc auriculaire.

WEISE, a lui développé deux théories :

- **Translation pure** – le sacrum glisse le long de l'axe de la portion inférieure de l'auricule. Il s'agirait d'une translation qui affecterait dans le même sens, le promontoire sacré et la pointe du sacrum.
- **Rotation** – le sacrum pivoterait autour d'un axe pré auriculaire, situé en bas et en avant du sacrum. Ce centre articulaire serait alors variable non seulement d'un individu à l'autre mais aussi chez le même individu en fonction du type de mouvement effectué.

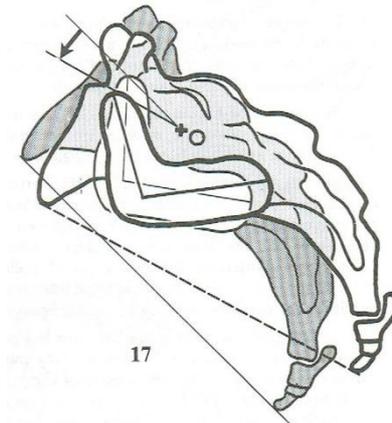


Schéma 2.13. Différentes théories de la nutation d'après KAPANDJI (1980)

2.2.2.2.4 - La hanche

. Capsule : épaisse et résistante, elle est tissée de différents types de fibres axiales (de l'iliaque au fémur assurant la jonction), circulaires et rétrécies à la partie cervicale (assurant la retenue de la tête) et arciformes qui elles stabilisent obliquement les fibres axiales. Elle englobe le *tendon réfléchi* du droit antérieur (ou fémoral) et s'insère à distance sur le col fémoral. WINGSTRAND et Coll* (1990)

décrivent une pression intra capsulaire < pression atmosphérique qui crée un phénomène d'aspiration amplifiant la stabilité. Cette pression est minimale entre 30° et 80° de flexion, entraînant une augmentation du volume capsulaire qui selon l'auteur assure une position de confort.

. A noter également la présence d'un repli synovial qui vient engainer le *ligament de la tête* et d'une formation fibro cartilagineuse qui vient augmenter la congruence articulaire, le *labrum*. Ce dernier est considéré par SELDES* et COLL (2001) comme étant une zone semi rigide entre une zone rigide (os) et souple (capsule).

. Ligaments : les 3 principaux, situés en avant sont enroulés vers l'avant. Les *ligaments ilio fémoral* (2 faisceaux) et *pubo fémoral* délimitent un zigzag (le N de Welcker). En face postérieure, il existe un seul *ligament ischio fémoral* qui s'oriente en haut, en avant et en dehors. Le *ligament de la tête* intra capsulaire est tendu entre l'acétabulum et la tête fémorale et limite l'abduction.

. Muscles :

- Muscles superficiels courts

Les petits, moyens et grands fessiers augmentés du tenseur du fascia lata. FARABOEUF* (1876) parle de « deltoïde fessier » en associant le TFL³⁰, le fascia lata et le grand fessier superficiel.

- Muscles superficiels longs

Tendus de l'os iliaque au segment fémoral, ils sont répartis en 3 groupes antérieur, interne et postérieur.

. *Ischio jambiers* : surtout moteurs au niveau du genou, ils ont lorsque le tronc se fléchit vers l'avant, un rôle d'antifléchisseurs selon WATERS* et COLL (1974). Leur raideur issue de l'orientation de leurs fibres permet, grâce à une faible extensibilité, le maintenir incliné de façon économique ; c'est ce que l'on appelle « effet sangle » défini par BUTEL* et COLL (1980).

. *Droit fémoral* (ou antérieur) : constitué de 3 faisceaux étalés à la face antérieure de la coxo-fémorale ; son rôle dans la flexion de hanche est nul par rapport à l'ilio psoas. Par contre, il assure un plaquage au contact de la tête fémorale, accentué en cela par l'extension de hanche combinée à une flexion du genou (1/2 pas postérieur de la marche). Là encore il s'agit d'un « effet sangle » comme l'a décrit BANKOFF* et COLL (2000).

NB : Les ischio jambiers et le droit fémoral sont antagonistes bi articulaires lors de la flexion de hanche associée à une extension de genou. Ce paradoxe a été décrit par LOMBARD* (1907) qui l'explique par une différence de bras de levier plus fort sur une articulation et non sur l'autre (les IJ sur la hanche et le DF sur le genou).

- Muscles profonds

. *Les pelvi-trochantériens* : ce sont des petits muscles courts tendus entre le bassin et le fémur, leur vocation principale est cybernétique (autorégulation) selon DUFOUR* et PILLU* (2002). Pour SA-

³⁰ Tenseur du Facia Lata

MUEL* (1989), ils sont responsables de l'ajustement de la position pelvienne sur les têtes fémorales. Pour DOLTO* (1976) au contraire ils auraient un rôle de sustentation pelvien et sont donc considérés comme un « *hamac gémello-obturateur* ». LAMANDE* et PRAT-PRADAL* (1998) leur attribuent un rôle de tirant architectural. Enfin, QUESNEL* et Col (1999) les considèrent comme des haubans qui contrebalancent les tensions mécaniques du col fémoral. Ils sont au nombre de 4 divisés en :

Le muscle pyramidal – tendu entre les 2^e, 3^e et 4^{ème} vertèbres sacrées et la face supérieure du grand trochanter ; il est décrit comme étant endo-pelvien ;

Le muscle obturateur interne – tendu du pourtour de la face interne du foramen obturé et la membrane obturatrice vers la face interne du grand trochanter ; il est décrit comme étant endo-pelvien ;

Le muscle obturateur externe – tendu du pourtour de la face externe du foramen obturé et la membrane obturatrice vers la fossette digitale du grand trochanter ; il est décrit comme étant exo-pelvien ;

Le muscle carré fémoral – tendu de la tubérosité ischiatique vers la branche de trifurcation externe de la ligne âpre du fémur ; il est décrit comme étant exo-pelvien.

. *L'ilio psoas* : le puissant tendon de l'ilio psoas, véritable **sangle antérieure** passe précisément devant la tête et est séparée d'elle par une bourse synoviale. L'iliaque est propre à la hanche, un petit iliaque est décrit également et appelé par certains tel WARD* et Coll (2000) comme étant le muscle ilio capsulaire. Il faut avoir à l'esprit que la souffrance de cette bourse synoviale produira des douleurs dans le pli de l'aine, lors d'une flexion de hanche. Le psoas quant à lui n'a aucune insertion sur le pelvis sauf le petit, inconstant (50% des cas), il a une vocation rétroverseur du bassin et est donc antagoniste de l'iliaque. PENNING* (2000/2002) met en avant la composante lordosante au niveau du rachis lombaire du psoas, par attraction de la colonne lombaire en avant, compte tenu du déséquilibre occasionné par le positionnement des membres inférieurs en rectitude totale, patient en décubitus dorsal.

- ✓ *Le psoas* est tendu des arcades fibreuses sur la face latérale des vertèbres L1 à L5, sur les disques correspondants et bords inférieurs des processus costiformes vers la face postérieure du petit trochanter.
- ✓ *L'iliaque*, lui est tendu de la lèvre interne de la crête iliaque et de la fosse iliaque vers la face postérieure du petit trochanter.

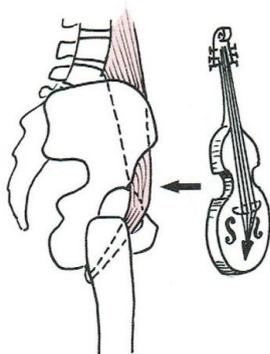


Schéma 2.14. Rôle de stabilisateur du psoas selon DUFOUR et PILLU (2002) : la réflexion antérieure du psoas assure un placage protégeant la tête du fémur et exerçant une poussée dans le sens de la rétropulsion pelvienne.

- Cas particuliers : les adducteurs

Ce sont les seuls muscles qui sont situés au niveau de la cuisse. Dans le plan sagittal, ils sont situés de part et d'autres du plan frontal, ce qui leur confère un rôle de rappel et les transforment en fléchisseurs quand la hanche est en extension et extenseurs lorsque la hanche est en flexion. De même étant situés de part et d'autres de l'axe de rotation, les fibres postérieures ont vocation à être rotateurs externes alors que les fibres antérieures seront rotateurs internes. Enfin leur situation à la croisée des chemins vasculaires en fait des éléments importants pour la chasse veineuse. On décrit: Le *Pectiné* – très superficiel, il est tendu depuis la branche descendante du pubis vers la moitié supérieure de la ligne âpre du fémur.

. Le *Long adducteur* – très superficiel, il a pour origine la colline des adducteurs, située sur le pubis, part en bas, arrière, dehors, pour se terminer sur la partie moyenne de la ligne âpre, qui est sur le bord postérieur du fémur.

. Le *Petit adducteur* – au niveau du plan moyen, il est tendu depuis la branche ischio-pubienne jusqu'à la tubérosité ischiatique vers ligne âpre du fémur.

. Le *Grand adducteur* – au niveau du plan profond, il est l'un des muscles les plus larges du corps et le plus important des muscles adducteurs, il est tendu entre la crête et la symphyse pubiennes vers la ligne âpre du fémur.

Remarques : leur *étendue* est justifiée par le bras de levier qui met en exergue le moment d'action, ce qui serait impossible s'ils étaient adossés à la hanche. Ce sont les *muscles de la protection* comme le confère le statut du mammifère avec pour souvenir la position fœtale. Ce sont aussi les *protecteurs de la virginité* car excessivement puissants. Ils constituent une *fonction de captage* pour les positions à califourchon et dans la pratique des arts martiaux selon SMIDT* et Coll (1995). Enfin, ils constituent une protection postérieure du canal fémoral.

2.2 - RAPPELS BIOMECANIQUES

2.3.1 - RAPPEL DE BIOMECANIQUE FONCTIONNELLE STATIQUE

2.3.1.1 - La colonne vertébrale ou rachis

Pour cette étude, nous ciblerons de manière préférentielle, la physiologie articulaire au niveau lombaire, sacro iliaque et coxo-fémoral. La mobilité analytique bien que décrite est très peu utilisée du fait de son manque de praticité et de sa complexité de réalisation. Nous lui préférons des tests fonctionnels type SCHÖBER (1937) et distance doigts – sol lors d'une flexion antérieure du tronc. De plus, il résulte aussi de ces mesures goniométriques, selon PEARCY et HINDLE* (1989) une relative imprécision car les valeurs angulaires décrites sont très variables selon le sujet étudié (âge, sexe, adulte, enfant, sujet laxo ou raide) ; c'est pourquoi l'utilisation d'éléments fonctionnels est souhaitable selon JORGE do MARCO* (1993).

Compte tenu de la spécificité de la pratique équestre, il nous a semblé judicieux de mettre en exergue le complexe lombo pelvien c'est-à-dire : Rachis lombaire - Charnière lombo sacrée – hanche. Le rachis lombaire lui, supporte des contraintes importantes, du fait du poids du corps sus-jacent et

des forces générées par les efforts sur le cheval, ce qui requiert une grande stabilité. Parallèlement, il doit assurer, de manière concomitante avec les hanches, la mobilité du tronc. Le rachis lombaire, surchargé mécaniquement et fonctionnellement assume une triple fonction : stabilité, mobilité et protection. L'unité fonctionnelle est assurée par l'espace de mobilité vertébrale, disque en avant, système apophysaire en arrière et structures capsulo-ligamentaires.

L'élément fondamental de cette organisation fonctionnelle se trouve au niveau d'une *unité fonctionnelle* mobile appelée « Modèle de JUNGHANS* ». Cette approche assimile ce modèle, représenté par un trépied fonctionnel avec le disque en avant, les articulations zygapophysaires en arrière et complété par les ligaments intervertébraux interapophysaires et interépineux.

2.3.1.1.1 - Stabilité rachidienne

La stabilité rachidienne est fonction des éléments, des postures et des contraintes induites sur chaque unité fonctionnelle. Bon nombre d'autres, DUBOUSSET* (1994), LARSON* (1999), LOUIS*(1977), DENIS* (1984), ont décrit une organisation structurelle au niveau de chaque vertèbre, avec une répartition des contraintes sur un système tripodes, basé sur 3 colonnes. La pensée classique argumentait que la jonction corporéo-discal transmet la pression et que les PAP assuraient un rôle directionnel. Il en est tout autre, puisque cette réalité a été nuancée par LOUIS* (1982) et par SOHIER* (1986). Selon Louis* (1982), ces colonnes sont représentées par les trois articulations des vertèbres : le disque intervertébral et les facettes articulaires droite et gauche. VIEL* et DESMAREST* (1994) eux ont minimisé le rôle directionnel des PAP et ont mis en avant une fonction limitatrice des mouvements aléatoires du DIV.

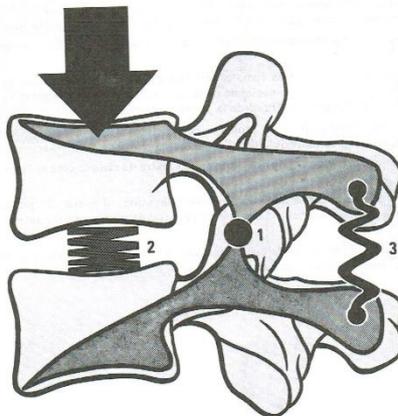


Schéma 2.15. Unité Fonctionnelle vertébrale d'après KAPANDJI (1980).

D'autre part, la répartition des pressions, selon VANEUVILLE* et Coll (1980), est variable selon les étages avec 50% au niveau corporéo discal et 50% au niveau des PA³¹P (25% pour chaque PAP). En général, le CV supporte toujours plus de contraintes que les PAP. Au niveau de la résultante, VANEUVILLE a montré qu'elle se situait au centre du tripode, face dorsale du CV.

Toujours au regard de la stabilité en statique, la *posture* est décrite par une succession de courbures inversées dans le plan sagittal, qui augmentent la résistance du rachis aux efforts de compression axiale selon KAPANDJI* (1986) et MANGIONE* (1997). Il est décrit que la résistance de la colonne est proportionnelle au carré du nombre de courbures plus un.

³¹ Processus Articulaires Postérieurs

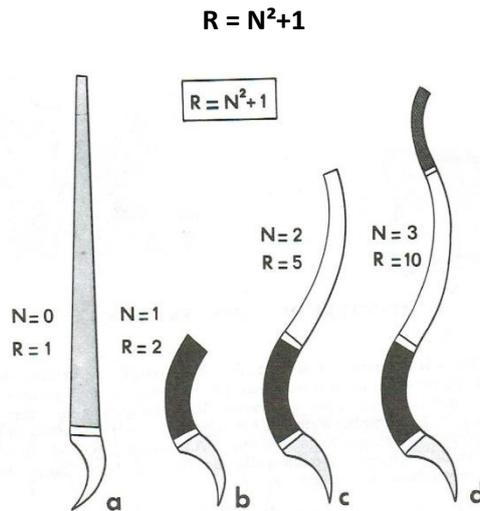


Schéma 2.16. Résistance de l'axe rachidien selon KAPANDI (1975)

- . Dans le cas **a** sans courbure, la résistance R est de 1
- . Dans le cas **b** avec 1 courbure, la résistance R est de $1^2 + 1 = 2$
- . Dans le cas **c** avec 2 courbures, la résistance R sera de $2^2 + 1 = 5$
- . Dans le cas **d** avec 3 courbures (situation rachidienne humaine), la résistance R sera de $3^2 + 1 = 10$ ce qui signifie que la colonne vertébrale humaine avec ses 3 courbures (lordose cervicale, cyphose dorsale et lordose lombaire) est **10 fois** plus résistante aux contraintes qu'une colonne rectiligne.

YANG* (1984) définit que le rôle de ces courbures est d'absorber les forces de réaction du sol et de transmettre les charges (poids) de la partie supérieure du corps vers les extrémités inférieures, de manière que les articulations intervertébrales supportent uniquement 25- 47% de la contrainte totale verticale.

Il est à noter que :

1) La ligne de gravité (mise en évidence avec le fil à plomb) est proche de la structure osseuse, ce qui renforce la notion de stabilité par équilibre du moment des forces des actions musculaires. EDMONSTON* et coll (1997) décrivent une composante axiale de compression sur L1 et une composante tangentielle de cisaillement postérieur ; cette dernière pour TRIANO* et SCHULTZ* (1997) est absorbée par le DIV et par le système musculo ligamentaire postérieur et surtout par le grand dorsal. La position assise met particulièrement en jeu la charnière thoraco lombaire.

2) La stabilité est conditionnée par l'équilibre des caissons thoracique et abdominal. Ces structures « pneumatiques » permettent outre d'assurer une stabilité rachidienne accrue, de diminuer les contraintes au niveau des DIV (diminution de 50% au niveau T12L1 et de - 30% sur L5S1)

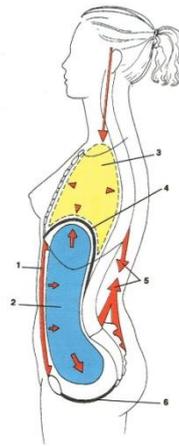


Figure 2.10. Equilibre extrinsèque cavités thoraciques et abdominales selon KAMINA (2002).

2.3.1.1.2 - Stabilité de la charnière lombo-sacrée

C'est la jonction entre la colonne vertébrale et le bassin qui du point de vue anatomique se situe en L5S1 mais qui associe sur le plan fonctionnel L4L5. C'est une *zone carrefour* selon BADELON* (1992) entre l'axe rachidien et la bipolarité des membres inférieurs. Son orientation est oblique en bas et en avant, ce qui entraîne une tendance au glissement antérieur, avec un risque majeur de spondylolisthésis en cas de faiblesse musculaire notoire mis en évidence par MEYERDING* (1956), VIDAL* et MARNEY* (1983), STEIB* et OHLMANN* (1989).

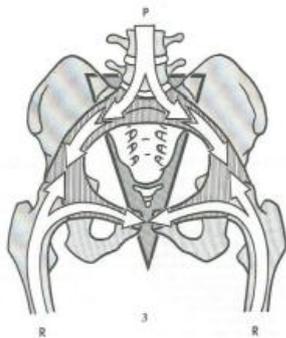


Schéma 2.17. Contraintes dynamiques pelviennes selon Kapandji (1980) – Dufour et Pillu (2002)

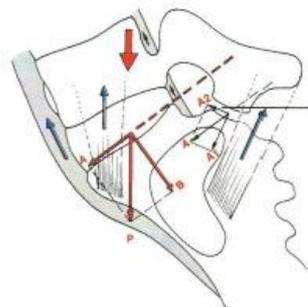


Schéma 2.18. Statique lombo-sacrée d'après Kamina

La contrainte dynamique en compression est la résultante de chocs de tassement, mécanisme indirect qui s'abat sur un rachis non ou mal préparé ; ceci aura une double conséquence, d'une part les répercussions sus et sous jacente et d'autre part, l'absence d'absorption des contraintes, qui se traduira donc par un risque de lésion structurelle. De plus, pour DUFOUR et PILLU* (2002) les contraintes tridimensionnelles sont mal supportées et nécessitent une anticipation du placement pelvien en libre pivot sur les têtes fémorales.

2.3.1.1.3 - Stabilité de la charnière sacro-iliaque

La sacro-iliaque est une pièce centrale du dispositif lombo-pelvi-fémoral, qui représente 2 des 3 zones d'absorption de mobilité de l'anneau pelvien (dû à la configuration anatomique des surfaces articulaires qui loin d'être une zone de mobilité pure, trouve son action majeure en lieu d'absorption des contraintes et relais de transmission des forces) et son obliquité permet une meilleure fragmentation de la charge sus jacente verticale en force sous jacente horizontale. Loin d'en faire un lieu privilégié de pathologie l'articulation sacro iliaque en est souvent à l'origine.

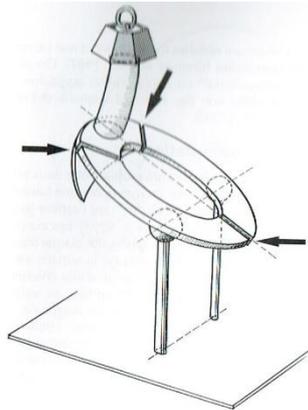


Schéma 2.19. Anneau pelvien d'après DUFOUR et PILLU (2002)

La stabilité est la principale caractéristique de la sacro-iliaque car sur le plan ostéologique, un encastrement du sacrum combiné à une irrégularité des interlignes articulaires contribuent à cet état de fait. La présence en très grand nombre de ligaments, disposés en éventail et surtout sur la face postérieure, correspondent à la décomposition des contraintes d'appui sur le plateau sacré. La tendance naturelle du sacrum à s'enfoncer tel un « coin » dans l'iliaque met donc en tension tout ce système ligamentaire, lequel assure donc une stabilité proportionnelle à la contrainte subie. Le tout est complété par un large éventail musculaire, qui vient activement renforcer l'organisation ligamentaire. Ceci est particulièrement utile si l'on prend en compte les forces de cisaillement dans les 3 plans, aux quelles la sacro-iliaque est soumise. WOOD* et coll (1996) font 3 remarques au sujet de la sacro-iliaque :

- La mobilité réduite se justifie par une grande capacité à absorber les différentes contraintes subies par l'anneau pelvien dans les 3 plans.
- Les charges absorbées sont transmises par le plateau sacré de façon inégale et cela en fonction du type d'appui au sol.
- Une charge placée à plat transmet 100% de son poids selon la verticale mais si elle est placée dans un angle de 120° , c'est alors 50% qui est transmis verticalement et 50% latéralement. Si l'angle de réception est de 15° (c'est ici le cas de la sacro-iliaque), elle ne transmet alors que 20% verticalement et 80% latéralement. Ce qui confirme selon GRIEVE* (1983) son rôle de fragmentation de la pesanteur en la transmettant à la ligne arquée de l'iliaque jusqu'au cotyle puis ensuite aux têtes fémorales avec toutefois une infime partie qui est transmise à la symphyse pubienne pour une coaptation maximale de ses 2 branches.

2.3.1.1.4 - Stabilité de la jonction sacro coccygienne

Elle possède la particularité d'avoir une variabilité fonctionnelle, à savoir, soit elle est soudée soit elle est divisée en 2 (entre sacrum et 1^{ère} coccygienne et entre la 1^{ère} et la 2^{ème} coccygienne). La mobilité coccygienne selon MAIGNE* et GUEDJ* (1993) est d'environ 7° (avec + ou - 5°).

2.3.1.2 - La hanche

Pièce périphérique du complexe lombo-pelvi-fémoral, lequel fait intervenir une pièce mobile intermédiaire entre la flexibilité lombaire et le fût fémoral.

La stabilité passive de la hanche est assurée de façon quasi exclusive par la congruence des pièces osseuses, puisqu'il s'agit d'une articulation sphéroïde. WINGSTRAND* (1990) a montré qu'associé à cela, une pression intra articulaire plus faible que la pression atmosphérique induit un accollement majeur des surfaces articulaires. Activement parlant, la stabilité de la hanche est assurée par une puissance musculaire intrinsèque représentée par des muscles courts (pelvi-trochantériens) et longs (psoas qui a un effet de sangle sur la tête fémorale). Sagittalement, l'équilibre dépend du moment des muscles tendus entre le fémur et le bassin. Les pelvi trochantériens jouent finalement un rôle de « ressort de rappel » selon DUFOUR* et PILLU* (2002) ramenant le bassin en rétroversion lorsqu'il est en antéversion et inversement. Les ischio jambiers forment un puissant ensemble postérieur surtout lorsque le tronc est en flexion. Les adducteurs agissent dans le plan sagittal en ramenant en position neutre et en couplage avec les pelvi trochantériens dans le plan transversal pour assurer un contrôle rotatoire dans la « giration pelvienne » selon ARNOLD* et DELP* (2001). La grande particularité de la hanche est d'assurer la stabilité de la hanche dans le plan transversal ; celle-ci est assurée par le hauban latéral actif pour KUMAGAI* et coll (1997) qui s'oppose lors de l'appui monopodal à la chute de la hanche controlatérale dans le cadre de la balance de PAUWELS* (1976). Il convient d'y associer également le deltoïde fessier de FARABOEUF*. L'obturateur externe pour QUESNEL* (2000) assure un effet de poutre composite postérieure, de même que DOLTO* (1976) a mis en évidence un rôle (qui est controversé) de hamac gémello obturateur qui assure une faible sustentation du pelvis. Enfin, il est à noter selon DENISKINA* & LEVIK* (2001), le rôle de « tirant médian » assuré par les muscles obturateurs et jumeaux ; ceux-ci empêchent l'écartement des têtes fémorales.

2.3.2 - BIOMECANIQUE FONCTIONNELLE DYNAMIQUE

2.3.2.1 - La colonne vertébrale ou rachis

2.3.2.1.1 - Mobilité rachidienne globale

Il convient de se rappeler le rôle prépondérant du disque intervertébral qui permet une grande étendue de mouvements entre deux vertèbres (6 degrés de liberté), mais ceux-ci sont limités par le jeu des PAP et la mise en tension du système ligamentaire. Plus précisément, les PAP se comportent comme des guides dont la fonction est d'orienter le mouvement. Les éléments capsulo-ligamentaires et les muscles agissent eux comme des freins qui vont rendre le mouvement harmonieux et lui donner des limites physiologiques.

Les amplitudes de ces mouvements sont très variables suivant les individus, l'âge, le sexe, la musculature, l'élasticité des tissus et suivant le niveau considéré.

2.3.2.1.2 - Au niveau du rachis lombaire

. Mouvements de flexion / extension

La flexion est le mouvement qui déplace l'extrémité du segment vers l'avant. Elle est effectuée dans le plan sagittal (ce qui dans notre étude nous concerne directement), inégalement répartie selon les étages rachidiens pour PEARCY et HINDLE* (1989) mais seuls les deux derniers étages assurent 80% de la mobilité comme l'a montré VIEL* (1979). HARADA et col* (2000) ont eux mis l'accent sur le fait que le dernier étage L5S1 était le plus mobile, ce qui renforce la mission de « contrôle » du ligament ilio lombaire selon LE ROUX et DESMAREST* (1992), qui limite le glissement antérieur de L5 sans, toutefois perturber son pivotement sagittal pour METTE et DEMIAUTTE* (1996). Notons également que la flexion débute crânialement alors que c'est l'inverse pour l'extension.

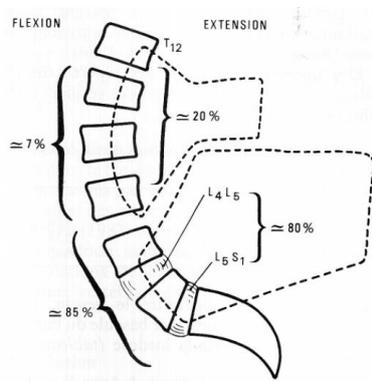


Schéma 2.20. Pourcentage flexion/extension selon étages lombaire – VIEL (1979)

Ce type de déplacement équivaut à un glissement-bâillement des AAP, accompagné d'une compression très localisée du disque inter vertébral, antérieur pour la flexion et postérieur pour l'extension. Ce processus entraîne une diminution de la surface de contact des AAP qui peut aller jusqu'à -50% (en tenant compte de l'accroissement successif des contraintes). Le mouvement prédomine de manière privilégiée sur les derniers étages vertébraux (charnière lombo sacrée) pour 50% du déplacement sagittal selon KONIG et VITZTHUM* (2001), ce dernier ayant une amplitude de 70°-80°.

A noter « l'aspect nerveux » défini par la capacité plus ou moins performante du système nerveux à s'adapter aux mouvements du compartiment intra ou extra rachidien.

Debout la flexion est assurée par la pesanteur mais également, dans le cas de mouvements volontaires, par l'action concentrique des groupes musculaires antérieurs. L'ensemble est en permanence sous contrôle du travail excentrique des extenseurs. L'extension est le fait des érecteurs rachidiens et des groupes postérieurs. La projection du buste vers l'arrière qui entraîne une augmentation de la cambrure, aura pour conséquence de produire un travail excentrique des muscles antérieurs et notamment les fibres supérieures du psoas. Notons par contre, que la population féminine présente d'avantage d'extension lombaire que les hommes selon VAN HERP et coll* (2000). Il est intéressant de garder à l'esprit, les constatations de KERKOUR* (2001) qui montrent que chez les sujets lombalgiques il y a une augmentation des fibres musculaires de type IIb et IIc au détriment des fibres I.

TRUELLE* (2001) complète cela en affirmant voir une perte de force et une genèse d'activité protectrice type contractures caractérisée par le phénomène de piétinement.

Les facteurs limitants sont les plans postérieurs (muscles et aponévroses) pour la flexion et antérieurs pour l'extension. En plus, notons que le DIV est lui aussi un élément limitant primordial à travers la traction des fibres de l'anneau fibreux, étirées par l'appui du noyau pulpeux migrant vers l'arrière dans la flexion et vers l'avant dans l'extension. Pour cela, le DIV est considéré comme étant un facteur limitant majeur de la flexion/extension principalement au niveau lombaire.

. Les inflexions latérales

Ce sont des mouvements effectués dans le plan frontal. Au niveau lombaire, les déplacements selon VIEL* (1979) sont assez réduits, 4° à 10° goniométriques. Ils s'accompagnent de rotations automatiques du côté convexitaire, comme l'ont démontré LE ROUX et DESMAREST* (1994) mais pour lesquelles les lois de FRYETTE* (1954), base fondamentale en ostéopathie, apportent une critique notoire. C'est pour RUSSELL et coll* (1993), OKAWA et coll* (1998) surtout la partie médiane du rachis lombaire qui est concernée par l'inclinaison latérale. Ce sont les muscles homolatéraux et surtout le carré des lombes qui assurent l'action.

. Les rotations

Ce sont des mouvements pivotants réalisés dans le plan transversal, sans véritablement d'axe et exécutés de façon inégale selon les niveaux, d'amplitude de 15°/20° selon VANEUVILLE et coll* (1980). Longtemps il a été décrit, notamment par BARTHES et coll* (1999) et LEE et coll* (2002), une localisation principale au niveau de la charnière thoraco lombaire mais il s'avère que l'étage inférieur soit le plus mobile en rotation pour PEARCY et TRIBEWAL* (1984). La motricité, selon QUINT et coll* (1998), est assurée par les fibres obliques des abdominaux. D'aucuns ont même envisagé un rôle rotatoire pour le muscle psoas mais il a plutôt une action antirotatoire stabilisatrice selon SANTAGUIDA et McGill* (1995).

Niveau	Flexion-Extension	Inflexion Latérale	Rotation
L1L2	10	3	1
L2L3	12	4	1
L3L4	12	5	1,5
L4L5	15	3,5	1,5
L5S1	20	2	3
TOTAL	69	17,5	8
Soit environ :	70	15-20	5-10

Tableau 2.4. Mobilité de la colonne lombaire exprimée en degrés d'après KAPANDJI (1980).

. Mouvements du complexe lombo pelvien

Comment concevoir d'étudier la biomécanique de l'étage lombaire sans s'intéresser au fonctionnement du bassin et de l'articulation coxo-fémorale. A ce sujet une « harmonie lombo-pelvienne » a été envisagée par VIEL* (1979). Nous parlons ainsi de mobilité spécifique, ce qui constitue ce qui est appelée une mobilité d'absorption des articulations coxo-fémorales. C'est ainsi qu'est défini le complexe lombo pelvien. Toutefois, n'oublions pas que certains considéraient cette mobilité comme archaïque en fonction selon TAKAYANAKI et coll* (2001) des « raisons qu'elle réserve parfois ». En effet, il peut parfois y avoir cohabitation entre un étage raide et un autre laxe sans pour autant que cela soit pathologique. D'autre part, en station assise, il peut y avoir une ouverture simultanée des disques à la partie antérieure et postérieure alors que la logique voudrait que seule la partie postérieure soit ouverte, selon NEIGER* (1987).

Les variations physiologiques sont influencées par le placement pelvien puisque l'entité pelvienne est indissociable du placement lombaire. L'antéversion du bassin est automatiquement associée à une extension lombaire et la rétroversion pelvienne entraîne simultanément une flexion lombaire. Le troisième élément du système agissant lui aussi de concert avec une flexion de hanche qui entraîne une rétroversion du bassin, elle-même à l'origine d'une flexion de la colonne lombaire avec donc un effacement de la cambrure. Notons que les variations seront, selon NACHEMSON* (1979), fonction de l'âge du sujet, avec une diminution d'environ 30% après la cinquantaine pour SULLIVAN et coll* (1994). Cela aura, donc, une influence dans notre étude sur l'appréciation comportementale des sujets cavaliers.

. Efforts de compression sur le DIV

Les contraintes exercées sur le DIV sont d'autant plus importantes que l'on se rapproche du sacrum. Considérant qu'au niveau du DIV L5S1, le rachis ne supporte plus que 2/3 du poids du tronc, on arrive tout même à une charge de 37kg (pour un poids total de 80kg). A cela vient s'ajouter le tonus des muscles para vertébraux. Additionner à cela un port de charge voire une intervention de surcharge brutale, l'on comprend facilement que le DIV soit particulièrement soumis à des efforts qui quelque fois sont supérieurs à leur capacité.

La déformation du DIV n'est pas la même selon qu'il soit sain ou pathologique. Quand le DIV est lésé, la charge par exemple de 100kg appliquée sur le rachis, entraîne une diminution de 2mm de sa hauteur ; de ce fait *il ne récupère pas intégralement son épaisseur initiale*.

Conséquence de cette situation, les PAP souffrent et l'interligne articulaire baille vers l'arrière, ce qui sur le long terme est source d'arthrose.

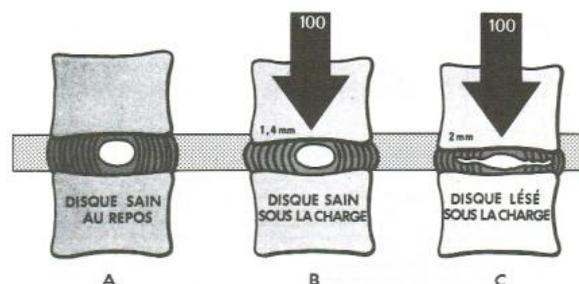


Schéma 2.21. Variation Pression DIV selon KAPANDJI*(1980)

. Variations du DIV selon l'étage vertébral

L'épaisseur du DIV est variable selon l'étage vertébral, il est de *9mm en lombaire, 5mm en dorsal et 3mm en cervical*. Mais ce qui prime encore plus, c'est le rapport entre la hauteur du DIV et celui du corps vertébral, c'est ce, qui selon KAPANDJI* (1986), rend le plus compte de la mobilité segmentaire. Plus ce rapport est important, plus grande est la mobilité ; c'est ainsi que c'est au *niveau cervical* qu'il y a la mobilité la plus grande puisque le rapport disco corporéal est de **2/5**, puis c'est au *niveau lombaire* avec un rapport de **1/3** et enfin *l'étage dorsal* qui lui présente un rapport de **1/5**.

De même la position du nucléus varie également selon l'étage vertébral.

. *Au niveau cervical* : il se positionne à 4/10 du bord antérieur et 3/10 du bord postérieur qui lui-même occupe 3/10 de l'espace, ce qui constitue l'axe de mobilité.

. *Pour le rachis dorsal* : la situation du nucléus est identique par rapport aux bords antérieurs et postérieurs, lui-même occupant 3/10 de l'espace il se situe alors en arrière de l'axe de mobilité.

. *A l'étage lombaire* : le nucléus est situé à 4/10 du bord antérieur et 2/10 du bord postérieur mais ici il occupe à lui seul 4/10. La surface est donc supérieure, ce qui correspond à des efforts axiaux majeurs, sa situation répondant exactement à l'axe de mobilité tout comme au niveau cervical. LEONARDI* a montré que le nucléus se trouve à égale distance du bord antérieur de la vertèbre et du ligament jaune, ce qui manifestement correspond à un point d'équilibre, comme si le système ligamentaire postérieur attirait à lui le nucléus.

. Comportement du DIV dans les mouvements élémentaires

Il existe un état initial de précontrainte résultante de la présence d'une tension préalable des fibres de l'annulus sous la pression du nucléus.

Lors d'un effort d'élongation axiale, il y a écartement des plateaux vertébraux, ce qui a tendance à augmenter l'épaisseur du DIV, sa largeur diminue, ce qui augmente la tension des fibres de l'annulus. La tension intra nucléus va diminuer, ce qui peut s'avérer être intéressant dans la prise en charge thérapeutique des hernies discales.

Lors d'un effort de compression axiale, le disque s'écrase et s'élargit, le nucléus s'aplatit et sa pression interne croît et la transmet vers les fibres les plus internes de l'annulus. En résumé la pression verticale est transformée en pression latérale qui augmente la tension sur les fibres annulaires.

Lors d'un effort de compression asymétrique comme dans les mouvements d'extension, la vertèbre supérieure se porte en arrière, l'espace inter apophysaire est diminué et le nucléus est chassé vers l'avant, il vient s'appuyer sur les fibres postérieures de l'annulus dont il augmente la pression.

Dans les inclinaisons latérales, la vertèbre sus-jacente s'incline dans la concavité, le nucléus est projeté vers la convexité d'où auto stabilisation.

Dans les rotations, il y a tension des fibres de l'anneau dont l'obliquité est opposée au sens de rotation. Les fibres intermédiaires dont l'obliquité est inverse sont alors détendues. La tension, est alors maximale au niveau des couches centrales, ce qui aura pour conséquence de comprimer le nucléus avec une pression interne proportionnelle au degré de rotation. Ceci explique les dégâts discaux qu'il peut y avoir lors des mouvements rachidiens combinant la flexion et la rotation.

Quand le disque est dégénéré, la contrainte est transmise directement par l'annulus car la pression est insuffisante dans le nucleus, donc les pressions exercées sur les plaques cartilagineuses vertébrales sont distribuées en périphérie.

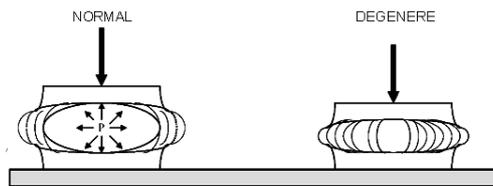


Schéma 2.22. Transmission des charges au niveau du disque selon WHITE ET PANJABI (1980.)

Les contraintes subies par les disques intervertébraux varient avec la posture, comme montré par les mesures de la pression intra-discale qui ont mis en évidence une augmentation en position assise versus debout (équivalente à une charge de 100-175 kg selon sujet) et par mise en tension de la cavité abdominale (expiration forcée), en opposition avec la contention lombaire (ou elle diminue de 25%) selon NACHEMSON* (1981 et 1995).

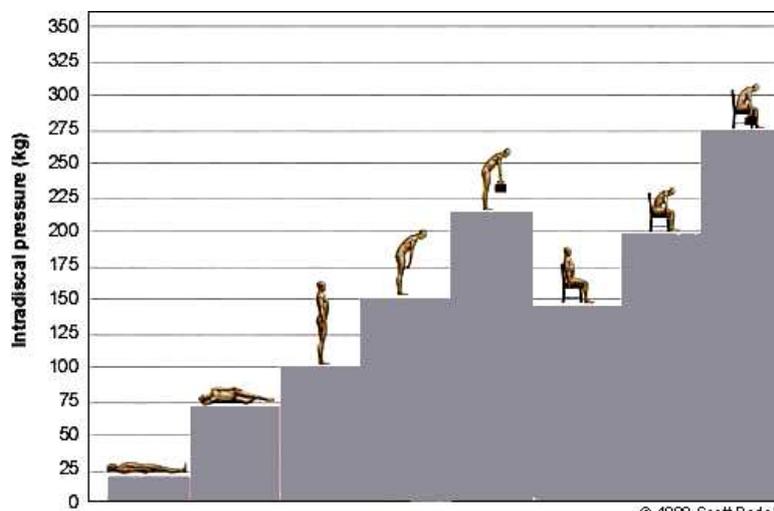


Tableau 2.5. Variations de la pression intra discale avec la posture selon NACHEMSON * (1981).

En statique, à chaque étage vertébral existe un équilibre entre :

- Le poids du segment corporel sus-jacent,
- La tension des muscles spinaux et des ligaments postérieurs, en arrière,
- La tension des muscles abdominaux, du ligament vertébral commun antérieur, et la force correspondant à la pression régnant dans la cavité thoraco abdominale, en avant.
- La réaction du segment rachidien sous-jacent.

Les travaux de SCHULTZ* (1982) ont montré que la résultante de ces forces a une composante de compression et deux composantes de cisaillement (antérieure ou postérieure et latérale), qui s'appliquent au centre du plateau vertébral supérieur. Une étude ultérieure de LAVASTE* et al (1990) montre une prépondérance des composantes de compression sur les composantes de cisaillement, le rapport moyen étant de 10, sauf en position verticale où ce rapport est égal à 2 notamment pour L5/S1. Certains auteurs comme TEMPLIER*(1998) attribuent ce résultat à la forte inclinaison du

plateau sacré, induisant une répartition équilibrée de la charge verticale entre compression et cisaillement.

Les charges globales supportées par le rachis lombaire, modélisées par MORRIS*(1961), MAQUET*, BARTELINK* & MANGIONE*(1997), ont été représentées par KAPANDJI* (1986) de la manière suivante:

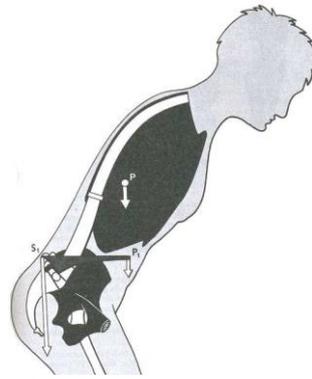


Schéma 2.23. Modélisation des efforts supportés par le rachis lombaire selon MORRIS et KAPANDJI * (1981)

Le poids de la partie supérieure du tronc P exerce un moment fléchissant lors de la flexion vers l'avant (grand bras de levier), équilibré par les muscles spinaux (bras de levier 7 à 8 fois plus grande que le poids P1). De cette façon, la force s'exerçant sur le disque lombo-sacré est égale à la somme de P1 et S1 et augmente avec le degré de flexion du sujet (bras de levier) et avec le port de charges. Comme DUVAL- BEAUPERE* (1992) qui considère que le poids de la portion du corps sus-jacente à l'étage rachidien considéré et son centre de gravité peuvent être déterminés par barycentrométrie, des nombreux chercheurs se sont penchés sur l'analyse des charges supportées par le rachis comme LAVASTE* (1990).

Ainsi, pour un sujet de taille moyenne, MAQUET* (1981) démontre qu'en statique, debout, les charges supportées (normalement environ 400-450 kg) peuvent aller jusqu'à 1200 kg, ce qui dépasse la limite de rupture calculée pour les disques asymptotiques : 500-800 kg et pour ceux dégénérés (personnes âgées) : 150 kg selon MANGIONE* (1997).

De plus, pour le rachis en mouvement il faut considérer la force multipliée par le bras de levier, ce qui fait que la charge supportée par exemple lors d'une flexion du tronc de 20° est équivalente à 200% du poids du corps entier pour MAYOUX-BENHAMOU* (1994) et elle augmente avec le port de charges.

2.3.2.2 - L'articulation sacro-iliaque

Les mouvements de cette articulation sacro iliaque sont minimes et difficilement perceptibles et combinés dans les trois dimensions selon BRUNNER et coll* (1991). Ils sont décrits par LAVIGNOLLES et coll* (1983) et STURESSON et coll* (2000), comme étant angulaires, linéaires voire symétriques ou pas.

La nutation et contre nutation, puisque c'est ainsi que sont appelés ces mouvements, prennent en compte un sacrum mobile par rapport aux coxo-fémorales fixes selon SOHIER* (1991), le verbe *nuter*

signifiant « saluer en s'inclinant vers l'avant » à la manière d'un chef d'orchestre devant le public. Le sacrum engage alors, selon la description de DELAMER et PETER* (1994) pour la nutation, une bascule vers l'avant et vers l'arrière dans la contre nutation. Après maintes batailles pour déterminer le centre de mobilité, VIEL* (1979) a déterminé que les CIR (centre instantané de rotation) étaient situés un peu au dessus et en arrière de la symphyse pubienne. La valeur angulaire de déplacement est minimale, entre 0° et 12° et le glissement des surfaces articulaires a été mesuré selon SMIDT et coll* (1997).

A l'inverse, considérant un sacrum fixe, l'os coxal a la propriété d'opérer des bascules antérieures (antériorisation) et postérieures (postériorisation).

C'est à l'occasion de l'accouchement que la mobilité fonctionnelle de la sacro iliaque est mise en évidence, en effet la parturiente, grâce à une contre nutation augmente le détroit supérieur du bassin et ouvre les ailes iliaques en haut et en dehors lors de l'engagement de l'enfant. Lors de l'expulsion, la nutation va augmenter le diamètre du détroit inférieur avec écartement des branches ischio pubiennes et fermeture des ailes iliaques.

Il nous est difficile d'aborder la biomécanique sacro iliaque sans dire quelques mots de sa vocation première à savoir la **stabilité**. C'est l'élément majeur de cette jonction articulaire et tout contribue à cette vocation. La stabilité statique est matérialisée, sur le plan osseux, par un encastrement du sacrum entre les deux os coxaux avec en plus une irrégularité des interlignes. Sur le plan ligamentaire, il est à noter une forte concentration essentiellement postérieure, en éventail qui vient compenser, proportionnellement à la charge, la tendance du sacrum à s'encastrer dans l'iliaque. La stabilité dynamique est mise en évidence par la vocation de travail en cisaillement dans les trois plans de la sacro iliaque

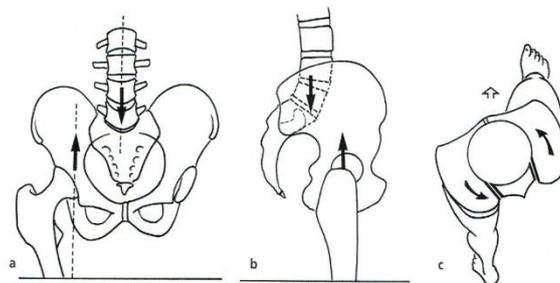


Schéma 2.24. Travail de cisaillement dans les 3 plans de la SI selon DUFOUR et PILLU (2002).

La physiologie de la sacro iliaque selon HODGE et BESSETTE* (1999) est finalement de fragmenter la pesanteur en transmettant les contraintes transversalement à la ligne arquée de l'os coxal jusqu'à la cavité acétabulaire et la tête fémorale ; toutefois, une infime partie se propage jusqu'à la symphyse pubienne de façon à en assurer la coaptation avec la pièce contro latérale. Selon KAPANDJI* (1986), elle représente la zone de faiblesse de l'ensemble rachidien. En effet, compte tenu de l'inclinaison du plateau sacré, le CV de L5 a tendance à migrer vers le bas et l'avant.

C'est ainsi que le poids P peut être décomposé en 2 forces élémentaires, une force N perpendiculaire au plateau sacré et une force G parallèle au Cv de L5 qui l'entraîne vers l'avant, ceci étant contrecarré par l'arc postérieur de L5. Les AAP Inférieures de L5 viennent s'imbriquer dans les AAP Supérieures

de S1 ; une force G' de glissement des AAP < de L5 sur les AAP > de S1 qui résistent par une force R. La transmission de ces forces s'effectue au niveau d'une zone sensible vertébrale appelée *isthme vertébral*. Si ce dernier est défectueux, il y aura donc un déplacement de la vertèbre L5 avec des lésions du DIV et du système ligamentaire postérieur.

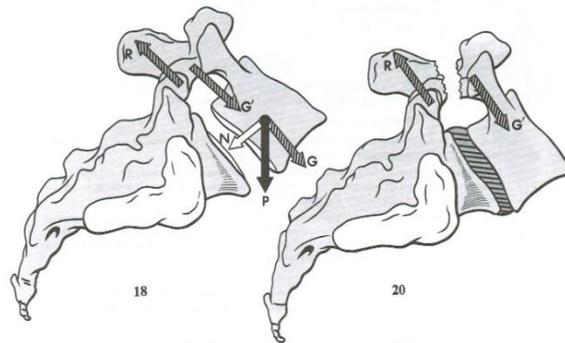


Schéma 2.25. Zones de faiblesse de la sacro iliaque selon KAPANDJI* (1986)

2.3.2.3 - La hanche ou coxo-fémorale.

Tenant compte de la notion de complexe lombo pelvien chère à VIEL* (1979), il eut été difficile de faire abstraction de la biomécanique de la hanche. Pour ce faire, il faut garder en tête la configuration de type sphéroïde de la hanche qui implique trois degrés de liberté, activement ou passivement parlant selon CASTAING* (1960).

2.3.2.3.1 – La flexion - extension

Mouvements les plus visibles car les plus amples, réalisés dans le plan sagittal passant par la tête du fémur.

La *flexion* est définie comme le déplacement de la face antérieure de la cuisse vers l'abdomen si le point fixe est le tronc (à l'inverse il s'agit d'une antéversion du bassin). L'amplitude est de $100^{\circ}/110^{\circ}$ en actif, au-delà selon PENINO* (1984), il y a participation lombo pelvienne. Notons qu'à la différence de l'extension, il n'y a aucune influence de l'âge sur l'amplitude de la flexion. Les activateurs sont pour SIMON et coll* (2001) l'ilio psoas et plus particulièrement l'iliaque, le psoas étant selon PINING* (2002) plus lié au rachis lombaire. Viennent renforcer cette action, le petit fessier, les fibres antérieures du moyen fessier, le tenseur du fascia lata et le sartorius ; le droit fémoral est classiquement décrit bien qu'il ait surtout une composante de sangle. Notons également que pour ROBINSON* (2003) l'obturateur interne a aussi une participation dans la flexion, tout comme les adducteurs uniquement lorsque la hanche est au préalable en extension. Les facteurs de limitation sont matérialisés par le contact des masses abdominales mais aussi la tension des éléments postérieurs chez les sujets raides et dans le cas d'un positionnement en extension du genou, la tension des ischio jambiers voire celle du nerf sciatique si ce dernier est irrité selon FLEMING et coll* (2003).

L'*extension* se caractérise par le déplacement de la cuisse en arrière du plan du corps lorsque le point fixe est corporel (à l'inverse il s'agit d'une rétroversion du bassin). L'axe du mouvement est identique à la flexion, l'amplitude est de $0/20^{\circ}$ en actif selon PENINO* (1984). Contrairement à la flexion,

l'avancée en âge vient altérer l'extension de hanche puisque si le jeune enfant possède 40° d'extension de hanche, l'adulte jeune aura 10°/20° et le vieillard 5° à 10° selon NOUJARRET* (1979), ROACH et MILES* (1991) et KERRIGAN et coll* (2001). L'activité motrice est assurée essentiellement par le muscle grand fessier auquel on peut ajouter les ischio jambiers (semi tendineux, semi membraneux et long biceps) et accessoirement les adducteurs lorsque la hanche est préalablement en flexion. La limitation est due à la tension des éléments antérieurs tels que la capsule, les ligaments et surtout le psoas selon TATU et coll* (2001) ; le droit fémoral est limitant uniquement si le genou est placé en flexion. Notons la faible utilisation sectorielle de 5° à 10° qui associe très rapidement l'extension de hanche à une antéversion de bassin pour SAMUEL et coll* (1999).

2.3.2.3.2 - L'abduction et l'adduction

Ce sont des mouvements qui sont réalisés dans le plan frontal.

L'*Abduction* se caractérise par l'écartement du membre inférieur de l'axe du corps avec un point fixe au niveau du bassin (à l'inverse, l'on assiste à une élévation controlatérale du bassin). L'axe du mouvement passe par le centre de la tête fémorale, l'amplitude est d'environ 45° (35° à 50° selon l'âge) et les muscles moteurs sont : le moyen fessier mais aussi pour BECK et coll* (2000) le petit fessier qui a une situation très proche. Viennent en complément le deltoïde fessier (grand fessier superficiel et le TFL), le sartorius et le piriforme à un degré moindre. La limitation en est le rapprochement du col fémoral de l'ensemble labrum –limbus acétabulaire mais aussi la mise en tension du groupe des muscles adducteurs.

L'*Adduction* est le mouvement qui rapproche la cuisse du plan du corps, c'est à l'inverse un abaissement controlatéral du bassin. Son amplitude active est 30°, si elle est combinée à une flexion, elle atteint 40° et seulement 20°) si c'est avec une extension. C'est le puissant groupe des adducteurs qui en assure la motricité : pectiné, long et court et grand adducteurs et le gracile. La limitation vient du contact avec l'autre membre mais aussi la tension des muscles abducteurs et surtout la tension du ligament de la tête. Rarement pure, l'adduction est souvent combinée à une flexion de hanche.

2.3.2.3.3 - Les rotations

La *rotation latérale (ou externe)* est définie par le positionnement de la face antérieure de la cuisse vers le dehors. Elle s'effectue dans le plan transversal avec pour axe le centre de la tête fémorale. Dans le cas d'un point fixe fémoral, on parle d'un mouvement de giration pelvienne observée lors de la marche. L'amplitude rotatoire est, selon KAPANDJI* (1980) et SAMUEL et coll* (1985), fonction de la position de la hanche dans le plan sagittal. En rectitude, elle sera de 40° - 45° et 28° s'il y a une extension associée. Par contre elle sera de 50° - 60° avec une flexion de hanche associée de part la détente des ligaments. Les muscles moteurs sont : les pelvi-trochantériens (piriforme, obturateur interne et externe, jumeau supérieur et inférieur et carré fémoral). Le sartorius et la partie postérieure du grand fessier viennent compléter l'action des pelvi-trochantériens. La limitation est matérialisée d'une part, par la tension du plan antérieur (capsule, ligaments et muscles rotateurs médiaux) et d'autre part en fin de mouvement par la rencontre du col fémoral sur le labrum.

La *rotation médiale (ou interne)* est à l'opposé, le mouvement qui oriente la face antérieure de la cuisse vers l'intérieur. Tout comme pour la rotation latérale, en inversant le fixe, l'on assiste à une giration pelvienne. L'amplitude est aussi fonction du positionnement ou non de la hanche en

flexion/extension selon KAPANDJI* (1980) et SAMUEL et coll* (1985). En rectitude elle avoisine les 20° à 30°, avec une flexion combinée, elle sera de 30° à 45°. Notons l'amplitude plus importante pour cette rotation médiale chez la femme que chez l'homme. Les muscles moteurs sont : le TFL et les fibres antérieures du deltoïde fessier. Les composantes antérieures des adducteurs ont quant à eux un rôle minime selon TAVELL et SIMONS* (1993). La limitation est matérialisée par la tension des muscles rotateurs latéraux.

Très mobile de part la configuration sphéroïde, la hanche n'en assure pas moins une stabilité remarquable pour le membre inférieur mais ne peut être dissociée des éléments sus jacents pour former ce que VIEL* (1979) a appelé « le complexe lombo pelvien » car sa mobilité influe directement à la fois sur le bassin et par ricochet sur la colonne lombaire. C'est ce dernier aspect qui sera mis en évidence lors de notre étude.

2.4 - PRINCIPES D'ÉVALUATION FONCTIONNELLE DU RACHIS

2.4.1 - BILAN STATIQUE

L'interrogatoire est un élément primordial de l'examen d'un sujet. Il permet de recueillir les impressions du patient sur les troubles de la statique. Souvent les commentaires du patient seront d'évoquer une tendance à « se déformer, à se tasser, à perdre de la taille, à avoir une hanche qui sort, à être déséquilibré et à pencher en avant ou sur le côté, à avoir les côtes qui entrent dans le bassin, à avoir des difficultés d'habillement ». Pour MARTY* (2003) chez l'enfant et l'adolescent, ce sont souvent les parents qui remarquent la déformation du tronc : « il se tient mal » ; et le diagnostic est souvent fait tard car hélas en France, il n'existe plus de dépistage systématique.

2.4.1.1 - Examen clinique.

Élément fondamental dans l'élaboration du diagnostic et même du protocole thérapeutique, il se doit d'être rigoureux, répond à un protocole bien défini et nécessite d'être chiffré dans un souci de reproductibilité et de comparaison. Il est un élément primordial dans l'appréciation des éventuelles déviations rachidiennes et est réalisé dans les trois plans, tenant compte en cela des composantes tridimensionnelles d'affection telle que la scoliose. Le sujet est mis au « garde à vous », jambes tendues, pieds nus réunis du talon au bout du 1er orteil. Lorsqu'il s'agit d'un enfant, l'examineur prendra soin de ramener les genoux en extension complète. On lui demande de laisser pendre les membres supérieurs « bras ballants » dans l'attitude de repos de la ceinture scapulaire en rotation nulle. Les mains doivent être posées sur la face antéro-externe des cuisses. La direction du regard est horizontale. L'inspection permet de visualiser l'équilibre dans les plans frontaux et sagittaux, de même que celui des épaules. Le positionnement des membres inférieurs sera apprécié par rapport à la station érigée ; il en sera de même pour l'alignement du cou, l'asymétrie du pli de la taille et d'éventuelles gibbosités. A cet effet, il nous est possible de définir plusieurs types de profil : normal, inversion des courbures, hypercyphose dorsale avec hyperlordose lombaire, cyphose à sommet dorsal bas ou dorsolombaire, insuffisance de courbures avec dos creux et dos plat.

2.4.1.2 - Examen dans le plan frontal

MARTY* (2003) nous rappelle que l'équilibre du rachis est évalué grâce à un fil à plomb tendu de l'apophyse de C7 et une règle permettant de mesurer la distance entre le fil à plomb et le pli fessier.

L'équilibre des épaules peut être apprécié de face et de dos car il peut exister un enroulement d'une ou deux épaules ; il sera aussi noté la symétrie des flancs. L'examen du bassin se fait dans plusieurs positions : debout, assis et en décubitus ventral en bout de table, les jambes pendantes. Debout, l'équilibre du bassin sera évalué de face et de dos (épinos iliaques antéro supérieures et crêtes iliaques). Dès lors, il nous est possible de différencier un déséquilibre frontal du bassin d'une rotation du bassin. Nous pourrions également chercher une éventuelle déviation du pli fessier, ce qui se voit dans les scolioses se poursuivant ou ayant leur origine dans le bassin. En cas de déséquilibre du bassin il faut différencier un bassin oblique de cause basse, haute ou mixte. En cas de bassin oblique de cause basse (inégalité des membres inférieurs, rétractions asymétriques des muscles de la ceinture pelvienne) ou en cas de rotation du bassin, le bassin se rééquilibre en décubitus ventral en bout de table avec les jambes pendantes.

2.4.1.3 - Examen dans le plan sagittal

L'examineur se place de profil par rapport au sujet et appréciera tout d'abord l'aspect morphologique et trois éléments sont caractéristiques :

1.) L'harmonie générale du sujet (pour certains le canon humain correspond à la période grecque classique, ou aux dessins de Léonard de Vinci).

2.) Le type morphologique selon la classification de Delmas :

- ✓ Rachis à faibles courbures : la base sacrée se rapproche de l'horizontale, la cyphose dorsale et la lordose lombaire sont peu accusées. On parle parfois de dos plat.
- ✓ Rachis à courbures accentuées : bascule du bassin en avant, forte ensellure lombaire, dos rond et parfois cou projeté en avant.
- ✓ Rachis à courbures moyennes : se situe entre ces types extrêmes et correspond aux descriptions anatomiques habituelles.

Dans certains cas extrêmes, la courbure dorsale peut être lordotique, on parlera alors d'inversion vertébrale.

3.) La localisation des courbures avec précision de l'apex de la cyphose ; on distinguera donc des courbures cyphotiques dorsales hautes, dorsales moyennes, dorsales basses, dorso-lombaires et totales : dorsale et lombaire.

Certains auteurs considèrent qu'il est inutile d'effectuer des mensurations cliniques et conseillent systématiquement le recours à la radiographie lorsque le dos d'un malade paraît trop rond. Outre les risques d'irradiation découlant de la multiplication des examens radiologiques, il faut toujours donner la préférence à la clinique ; en effet : d'une part l'expérience confirme la fiabilité des résultats lorsque la technique est précise, d'autre part la position dans laquelle sont faites les radiographies, variable d'un manipulateur à l'autre, influence l'aspect morphologique. Ces mensurations sont obtenues par rapport à une verticale de référence. Il est effectué au moyen d'un fil à plomb que l'on place au niveau de C7, il est approché du dos du sujet et est maintenu tangent à l'apex de la cyphose. En l'absence de déviation frontale, ce fil à plomb centré sur la protubérance occipitale se projette sur les épineuses, le sillon interfessier et les 2 malléoles internes. Nous apprécierons les points de tangence et les flèches sagittales :

- la ou les épineuses tangentés au fil à plomb ;

- la distance du fil à plomb à l'épineuse de C7 ce qui permet d'apprécier la projection en avant de la charnière cervico-dorsale : flèche base cervicale ;

- la distance du fil à plomb à l'apex de la cyphose (lorsque le fil à plomb n'est pas tangent) en notant l'épineuse correspondante ;
- la distance du fil à plomb à l'apex de la lordose, ce qui correspond à la flèche lombaire ;
- la distance du fil à plomb au fond du pli interfessier (lorsqu'il n'est pas tangent) ;

On utilise pour mesurer les distances, soit un mètre rigide, soit la pointe émoussée d'une équerre graduée à partir de l'extrémité. Ces mensurations sont retranscrites sur un schéma tampon qui facilite la comparaison des examens successifs. Les repères habituels sont :

C7 : 1ère épineuse saillante à la base de la nuque,

D7 : épineuse passant par la ligne joignant la pointe des omoplates,

L3 : épineuse passant par la ligne joignant les crêtes iliaques,

S2 : sommet du pli interfessier.

Ces repères sont variables, et le comptage exact pour une mensuration précise est toujours souhaitable. Dès l'examen en position debout, les attitudes habituelles sont appréciées : raide et guindée, relâchée et hypotonique, ou attitude naturelle du sujet maître de son corps. Le positionnement du bassin sera lui aussi évalué (antéversion ou rétroversion), de même que l'alignement des membres inférieurs : hyper extension ou flessum des hanches, flessum ou recurvatum des genoux. Chez le sujet âgé, il y aura une nécessité pour se rééquilibrer du flessum des hanches et genoux, d'accentuer la lordose lombaire

2.4.1.4 - Examen dans le plan horizontal

Le sujet sera examiné soit en position debout, bassin équilibré en le faisant pencher en avant ce qui permettra d'éliminer les éventuelles causes basses de déséquilibre du bassin. Il nous sera alors possible de mettre en évidence les gibbosités, de préciser leur nombre et leur localisation. C'est à travers la présence d'une gibbosité qu'il nous est permis de différencier une scoliose vraie d'une attitude scoliotique. Pour les apprécier, il nous faut mesurer la dénivellation au moyen d'un niveau à bulle.

2.4.2 - BILAN DYNAMIQUE

2.4.2.1 - La flexion

. *Distance doigts-sol* : Nous demandons au sujet de joindre les pieds, et de réaliser une flexion antérieure genoux tendus, de façon à venir toucher le sol avec les doigts (attention à la compensation qui consiste à plier les genoux). Ce test nous informe de la capacité d'extensibilité du plan postérieur, il fait partie des tests dits « globaux ».

. *Test de SCHOBER* / LASSERE** (test revu et corrigé par LASSERE) : dans ce test, le sujet peut plier les genoux puisque nous n'observons que le rachis. Nous repérons les EIPS et traçons une ligne horizontale entre les deux, nous prenons à l'aide d'un mètre ruban, 10cm (15cm) au dessus de cette ligne sur l'axe des épineuses. Nous demandons au sujet, une flexion antérieure et nous notons une aug-

mentation de 5cm (ou 7cm). Cela doit couvrir la région lombaire d'où la possibilité de choisir 15cm. Ce test permet d'apprécier la qualité de la flexion, axiale ou pas.

. *Test de TROISIÈRE* dynamique* : nous mesurons la distance Th1 – Th12 au repos, sujet en position debout, nous lui demandons une flexion antérieure et observons une augmentation de 3 – 4cm (et une diminution de 2cm lors de l'extension)

. *Test de la double inclinométrie pour le rachis thoraco lombaire* : muni de 2 inclinomètres, nous demandons au sujet une flexion antérieure. Nous apprécions ensuite cette flexion en positionnant à 0, un inclinomètre sur le sacrum. Nous réalisons la même opération au niveau de Th1. Nous sollicitons une flexion antérieure sans flexion des genoux et nous obtenons deux angles : 30° au sacrum et 130° au niveau de Th1 soit un angle thoraco lombaire de 100°.

. *Test de la double inclinométrie pour le rachis lombaire* : même protocole de réalisation que le précédent avec le premier inclinomètre positionné à 0 sur le sacrum et le second sur Th12. Nous demandons une flexion antérieure du tronc en gardant les genoux en extension. Nous apprécions alors les angles : 30° au niveau du sacrum et 110° au niveau de Th12 soit un angle global lombaire de 80°. Ce test n'a pas de valeurs normales mais permet de manière subjective d'apprécier la flexion antérieure en considérant qu'elle doit se dérouler pour moitié dans la coxo fémorale et pour moitié au niveau lombaire.

. *Test de SCHÖBER* inversé* : reprenant la modalité d'exécution du test de SCHÖBER, nous reprenons 10cm sur 10cm, le tout sur l'ensemble du rachis hormis l'étage cervical. La normalité doit voir une diminution d'étage en étage.

2.4.2.2 - L'extension.

. *Test de ELSENSOHN** : nous plaçons le sujet face à un mur, debout pieds joints en venant laquer les EIAS contre le mur, nous sollicitons un déplacement vers l'arrière et nous mesurons la distance entre le mur et la fourchette sternale. A noter que les pieds eux, ne sont pas contre le mur.

. *Test de SCHÖBER* / LASSÈRE** : de la même manière que pour la flexion, nous repérons les EIPS, nous traçons une ligne horizontale entre elles, puis nous prenons un repère 10cm au dessus (voire 15cm) et nous sollicitons une extension du tronc et nous notons une diminution de 1cm (voire 2cm).

. *Test de la double inclinométrie* : réalisé de la même façon que pour la flexion, nous demandons une extension du tronc en veillant à ce que le sujet ne parte pas de manière globale en arrière (en prenant soin de bloquer les hanches sur la table) et nous notons les angles en S2, S1, Th12 et Th1. Nous pourrions dès lors apprécier la mobilité de l'extension :

- des coxo-fémorales avec l'angle de S2 ;
- thoraco lombaire (TL) en effectuant angle T1 – S2 ;
- lombaire (L) en effectuant Th12 – S2 ;
- thoracique (Th) en effectuant (angle TL – angle L).

2.4.2.3 - Les inclinaisons latérales.

. Positions du patient et mesures : pour être le plus frontal possible, le sujet est placé contre un mur avec selon HAS³², un écartement de 15 à 20cm entre les pieds. Nous demandons au patient de réaliser une inclinaison latérale en faisant glisser la main, paume contre la jambe, le long du membre inférieur et nous mesurons la distance entre le IIIème rayon digital et le sol. Il convient de veiller à ce que le patient ne compense pas en levant le talon et en restant plaqué contre le mur, pour rester dans le plan frontal. A noter que le patient doit exécuter la descente du bras sur un temps expiratoire pour espérer une amplitude plus importante. Nous apprécierons la différence entre les deux côtés ce qui nous donnera la possibilité d'évaluer l'inclinaison thoraco lombaire.

. Distinction thoracique ou lombaire : elle sera mise en évidence par la réalisation de l'inclinaison latérale en position assise (permettant d'éliminer la composante lombaire). Si le problème perdure en station assise, la problématique est thoracique sinon cela se situera au niveau lombaire.

2.4.2.4 - Les rotations.

. Positions du patient et mesure : afin d'éviter les compensations rotatoires au niveau du bassin, le patient vient bloquer celui-ci sur le coin d'une table. Le bassin est alors stabilisé. Nous demandons au patient de tenir un bâton à l'arrière des épaules de façon à ce que les scapulas soient stabilisées et qu'il y ait une référence horizontale. Nous mesurons ainsi la distance entre l'acromion et l'EIPS³³. Les rotations sont minimales 1°.

. Distinction thoracique ou lombaire : il suffit de positionner le patient assis tailleur, ce qui éliminera la composante lombaire.

2.5 - RAPPELS DE PHYSIOPATHOLOGIE

2.5 - PATHOLOGIES MECANIQUES

Ce sont des manifestations cliniques qui ont pour origine le « mouvement », c'est-à-dire que les manifestations douloureuses auront tendance à être exacerbées par l'activité, à *contrario* des pathologies dites « inflammatoires » qui, elles, ont plus une manifestation continue même au repos, avec possibilité de réveiller le sujet la nuit (2^{ème} moitié de nuit). Chez le cavalier, nous pouvons à l'occasion de cette étude mettre en évidence ce que HUMBERT* (2000) et AUVINET* (1980) ont nommé « Lombalgies du cavalier ». Reprenant en cela les travaux de ces derniers, il nous est possible de mettre en évidence quatre types de lombalgies : la lombalgie sciatique, la lombalgie d'effort, le lumbago et la sciatique.

2.5.1.1– La lombalgie sciatique.

Il s'agit d'une « gêne douloureuse », plus qu'une douleur vive, qui apparaît de façon progressive, dans une station debout prolongée, dans un temps imparti de moins d'une heure. La caractéristique principale est l'absence de douleur lors des levers, ni aux changements de positions ni lors de mou-

³² Haute Autorité de Santé

³³ Epine Iliaque Antéro Supérieure

vements réalisés brusquement. C'est la situation que peut rencontrer l'enseignant d'équitation qui, des heures durant, reste debout, statique et qui au final, ressent une « lourdeur » au niveau lombaire. Le soulagement est possible de manière temporaire par l'exécution de petits mouvements de bascule du bassin, surtout par des positionnements avec appui lombaire pour faciliter la rétroversion du bassin qui provoquera un effacement de la lordose, soulageant ainsi par une diminution des contraintes exercées sur les AAP.

2.5.1.2 - La lombalgie d'effort.

Il s'agit d'une douleur qui apparaît généralement en fin de journée après une longue période passée à cheval. C'est une douleur dite de « fatigue », c'est-à-dire qu'elle apparaît après un effort mais qu'elle cesse avec le repos. Elle est calmée par le décubitus ce qui signifie qu'au réveil, il y aura besoin, d'une mise en route lente, douce et progressive ; c'est ce que nous appelons en rééducation le « dérouillage matinal ». En fait, il ne s'agit ni plus, ni moins que de réaliser une succession de petits mouvements d'assouplissement en gardant à l'esprit un élément majeur qui est : la moindre sollicitation dynamique rachidienne. Paradoxalement, le cavalier, victime de ce genre de phénomène douloureux n'éprouve absolument plus aucune gêne lorsqu'il remonte à cheval et même, il éprouve un certain confort en selle. Pour ce type de sujets, il conviendra de proposer un protocole de rééducation préventive afin de pouvoir minimiser ce genre d'épisodes douloureux.

2.5.1.3 - Le lumbago.

De survenue brutale, il s'agit d'un blocage instantané du rachis lombaire généralement suite à l'exécution de mouvements intenses (efforts importants, chute, manque de synchronisation cheval/cavalier, lors d'un saut, d'une ruade). C'est alors l'apparition brutale d'une douleur intense lombaire basse à la jonction médio fessière, médiane ou latéralisée qui s'intensifie lors de la toux, la défécation. Des irradiations dans le membre inférieur sont alors possibles. Sa survenue est consécutive à une flexion du tronc combinée à une rotation du rachis lombaire. Une sensation de craquement et de blocage lombaire est souvent mise en avant par les sujets. Le sujet est alors bloqué et ne plus se mouvoir. La douleur est souvent calmée par le repos couché avec de préférence une installation en flexion de hanches, ce qui provoque d'emblée une rétroversion du bassin. Nous pouvons tenter d'apporter une explication à ce phénomène. Lors d'un effort intense, la musculature effectue une contraction tellement maximale, que la phase de relâchement est dès lors impossible. C'est généralement la conséquence de micro traumatismes répétés qui au fur et à mesure ont induit chez cette masse musculaire, une attitude de vigilance qui à l'occasion d'un effort majeur rendra impossible le retour à la normale.

2.5.1.4 - La sciatique par conflit disco radiculaire.

C'est la conséquence ou la suite logique de la survenue à répétition d'épisodes de lumbagos. A ce moment là, l'intégrité du DIV est mise à mal, l'anneau fibreux, suite à des pressions brutales à répétition, se fissure, laissant le nucléus fuir vers l'extérieur. Dès lors, une compression s'installe contre une racine nerveuse à son émergence du cul-de-sac rachidien. (Souvent sciatique mais quelque fois au niveau du nerf crural). La douleur est de type mécanique, et est accentuée par des sollicitations mécaniques externes exercées sur le rachis lombaire, en particulier en ce qui concerne le port de charges lourdes surtout s'il est combinée à des flexions lombaires. Plus que la douleur, ce qui caractérise la sciatique par conflit, c'est l'apparition de signes évocateurs d'atteinte nerveuse, sensitifs

dans un premier temps, puis moteurs éventuellement ensuite. La topographie varie selon la localisation de l'atteinte : L4L5 avec irradiation de long du membre inférieur, L5S1 avec irradiation face postérieure du membre inférieur.

Les deux derniers tableaux cliniques ne sont pas spécifiquement évocateurs de pathologies équestres mais il convient bien logiquement de proposer, outre un traitement médical précoce, un protocole de rééducation adaptée au cavalier, avant de voir celui-ci remonter à cheval.

2.6.1 - PATHOLOGIES DEGENERATIVES

Les pathologies dégénératives notamment du rachis lombaire, qui selon VAN DEN BOSCH* (2004) sont à l'origine de bon nombre de douleurs lombo-radiculaires, sont représentées par des discopathies dégénératives pures (issue d'une arthrose articulaire), les hernies discales et séquelles d'hernies discales opérées, les sténoses lombaires qui souvent sont associées à un spondylolisthésis dégénératif et les scolioses dégénératives comme l'a mis en avant l'ANAES³⁴* (2000). L'importance des dégénérescences discales à facteurs égaux, présente selon YOSHIMURA* (2000) en fonction des pays des caractères et des descriptions différentes. La difficulté de les estimer avec précision résulte du regroupement dans la littérature de plusieurs pathologies sous l'appellation de « low back pain ».

2.6.1.1 - Arthrose articulaire

Elle est définie par BATTIE* (2004) comme étant une dégénérescence évolutive de l'articulation intervertébrale et se traduit, au niveau du rachis lombaire, par une limitation de la mobilité accompagnée souvent de lombalgies. Ces lésions dégénératives peuvent être localisées sur les AAP ou sur l'articulation intervertébrale antérieure constituée du DIV. Leur évolution répond à une certaine chronologie clinique selon LERAT* (2006). L'élément primaire se situe généralement au niveau du DIV à travers sa dégradation.

✓ L'altération dégénérative du disque constitue habituellement la lésion initiale :

. Le nucléus pulposus commence sa dégénérescence. Il se déshydrate, se fragmente, le disque perd de son épaisseur (ou de sa hauteur).

. L'anneau fibreux peut se fissurer et des fragments du nucléus peuvent s'insinuer dans les fissures, en réalisant une hernie discale.

. Les ostéophytes apparaissent secondairement, surtout à la partie antérieure et latérale du corps vertébral, parfois à la partie postérieure (ostéophytes marginaux).

✓ L'arthrose interapophysaire

. Les surfaces cartilagineuses au niveau des petites apophyses articulaires sont étroites mais capitales pour la stabilité intervertébrale. Ces surfaces peuvent s'user, au même titre que toutes les articulations.

³⁴ Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé.

. Elles sont surchargées à cause du pincement du disque. Les interlignes se pincent et des ostéophytes peuvent se développer sur le pourtour des facettes.

. Les ostéophytes, par leur volume, ont tendance à diminuer le calibre des trous de conjugaison et peuvent provoquer des radiculalgies. Ils peuvent aussi proliférer dans le canal médullaire en donnant une sténose ou canal lombaire étroit arthrosique.

✓ L'instabilité

. L'usure des facettes, conjuguée au pincement du disque, peut favoriser le glissement vertébral en avant ou spondylolisthesis.

. Le spondylolisthesis dégénératif est favorisé par l'inclinaison du disque en avant et en bas. Au niveau du disque L5-S1, incliné en bas, le déplacement se fait toujours dans le sens d'un spondylolisthesis de L5 sur S1. Au niveau du disque L4-L5 et surtout au niveau de L3-L4 qui sont des disques plus horizontaux et même inclinés en bas et en arrière, le glissement est souvent un rétrolisthésis (glissement en arrière).

. En plus de ces déplacements, peuvent se produire des subluxations latérales.

Les travaux de KIRKALDY-WILLIS* (1982) et de FARFAN* (1984) ont montré que l'évolution naturelle de ces lésions se fait vers une phase de stabilisation, quand la plupart des pathologies dégénératives lombaires deviennent symptomatiques, car les lésions arthrosiques sont très évoluées. L'arthrose articulaire pure (non associée à d'autres affections) représente rarement une indication pour le traitement chirurgical.

2.6.1.2 - Instabilité inter vertébrale

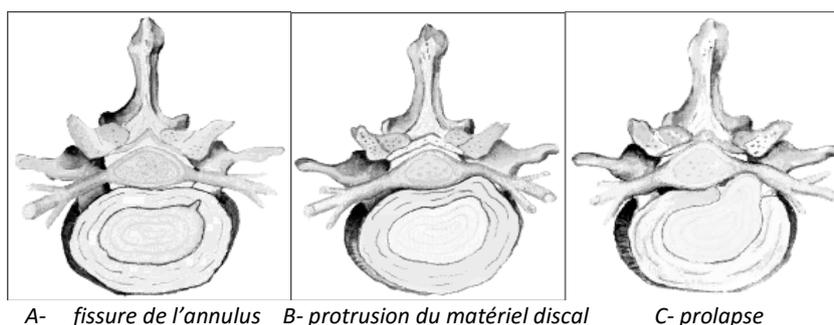
La difficulté de définir l'instabilité inter vertébrale, résulte de la grande variété de définitions qui sont données à cette pathologie selon TEMPLIER* (1998) et MUGGLETON* (2000). Initialement cela désignait des troubles cinématiques d'origine mécanique ; il est assimilé à une perte de rigidité par POPE*(1991) et à une « perte de la capacité du rachis à maintenir, dans les conditions physiologiques, ses rapports anatomiques normaux, au risque d'entraîner des signes d'irritation médullaire ou radiculaire, et/ou des douleurs ou des déformations invalidantes » par WHITE & PANJABI* (1990). Il est souvent associé sur le plan biomécanique à un déficit ou à un excès de rotation inter vertébrale selon SELIGMAN* (1984). Un consensus s'est progressivement installé pour définir le phénomène et c'est ainsi qu'il a été décrit, par GUIGUI et coll* (1994), quatre types d'instabilité : rotatoire, translationnelle, rétrolisthésis et iatrogène. Ces auteurs considèrent un étage comme instable :

. Si sur les radiographies dynamiques apparaît une dislocation rotatoire et/ou un glissement supérieur ou égal à 2 mm (apparition d'un glissement ou aggravation d'un glissement préexistant) et/ou s'il existe une hypermobilité, jugée en fonction des critères de DVORAK * (1991) : déplacement angulaire supérieur ou égal à 14,5 degrés en L2 L3, à 15,5 degrés en L3 L4, à 18 degrés en L4 L5 et à 17 degrés en L5 S1. L'instabilité segmentale du rachis lombaire est considérée comme une cause majeure de lombalgies et radiculalgies selon FRIBERG* (1991) et constitue souvent un facteur important dans le choix de l'indication thérapeutique pour arthrodèse avec décompression.

2.6.1.3 - Hernie Discale

La hernie discale lombaire est définie par SAAL* (1996) comme une saillie plus ou moins importante du matériel discal à travers une fissuration de l'anneau fibreux, siégeant surtout au niveau de L4L5 ou L5S1. Plusieurs termes ont été employés pour designer cette affection, variant surtout selon le degré d'externalisation du nucleus selon FARDON (2001). Pour un disque dégénéré en flexion-compression, la hernie correspond à une migration (protrusion) postérieure et surtout postéro-latérale du nucleus pulposus, tirant sur les fibres de l'anulus ou en les fissurant, qui s'étend au final vers le canal rachidien. Le nucleus peut s'externaliser complètement, restant couvert par le ligament de la face postérieure de l'anulus (situation nommée prolapse) ou bien il peut dépasser ce ligament et se projeter dans le canal, devenant un « fragment discal séquestré ».

Figure 2.11. Formes évolutives de hernie selon FARDON* (2001)



HARRIS* (2003) estime que dans toutes ces situations les structures nerveuses peuvent être comprimées, générant des lombalgies ou radiculalgies et d'importantes limitations fonctionnelles. Les causes sont multiples :

. Dégénérescence du disque liée à l'âge, traumatisme aigu, traumatismes de faible importance mais répétés selon WILDER* (1988), MILLER* (1988) et MATSUI* (1998).

. Déficiences structurelles de l'anulus pour TSUJI* (1993), facteurs biochimiques pour TAYLOR* (1971) ou bien génétiques, responsables de la prédisposition héréditaire pour une hernie discale adulte ou juvénile selon SIMMONS* (1996) et MATSUI* (1998).

Une étude de PANAGIOTACOPULOS* (1987) montre des différences dans le comportement viscoélastique du disque selon son degré d'hydratation.

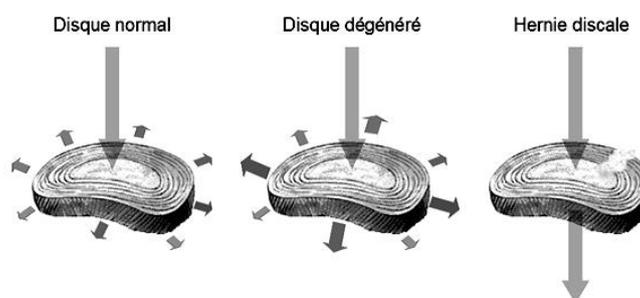


Figure 2.12. Distribution des charges au niveau du disque selon son état selon PANAGIOTACOPULOS (1987)

NACHEMSON* (1981) a montré que Cette transmission modifiée de charges et l'augmentation de la pression intra discale en position assise et en flexion antérieure avec port de charges peuvent expliquer l'exacerbation des symptômes douloureux ressentis par le patient.

2.6.1.4 - Spondylolisthésis

Ce terme complexe issu du grec "spondylos", vertèbre, et "olisthésis" glisser vers le bas sur une pente, correspond à diverses formes de glissement vertébral et a été mise en évidence en 1854 par KILLIAN*. Il est différencié en spondylolisthésis par lyse isthmique et spondylolisthésis dégénératif à partir de 1930. Malgré l'identification de certains facteurs de progression (le sexe féminin, l'obésité, les contraintes en hyper lordose, l'âge (adolescents en période de croissance) pour BLACKBURNE* (1977) et la cyphose locale DUBOUSSET* (1997), FRENNERED* (1991) a montré que l'évolutivité vers l'aggravation du déplacement vertébral demeure difficilement prédictible et peut être mise en évidence uniquement par une surveillance/observation systématique du glissement vertébral.

Pour les deux formes de spondylolisthésis (par lyse isthmique et dégénératif), le glissement du corps vertébral peut se dérouler vers l'avant (antelsthésis, prédominant) ou vers l'arrière (par bascule en cyphose = retrolsthésis). L'antelsthésis peut progresser jusqu'à une ptose, lorsque le corps vertébral perd le support du plateau vertébral sous jacent, sous l'effet du poids du tronc et de la traction du psoas sur le rachis lombaire. Plusieurs indices ont été proposés afin de quantifier le glissement, les plus utilisés étant décrits par la suite. Différentes classifications ont été envisagées mais celle de MEYERDING* (1932) est la plus usuelle et peut se définir comme suit :

Le plateau supérieur du S1 est divisé en quatre parties égales, correspondant chacune à un grade, la ptose représentant un 5^{ème}.

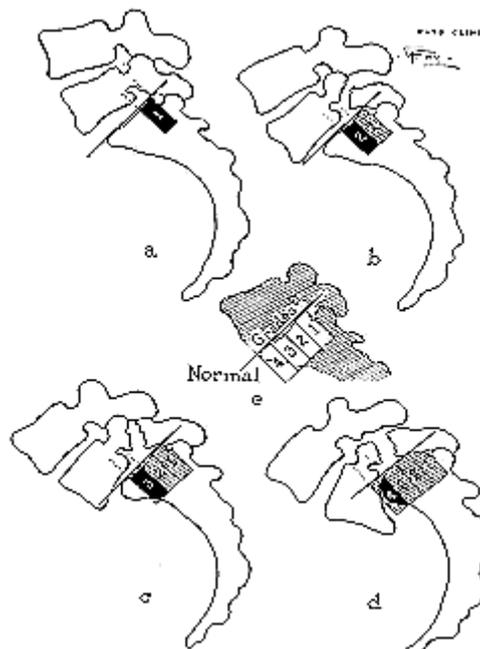


Figure 2.13. Classification des spondylolisthésis selon MEYERDING (1932)

✓ Spondylolisthésis par lyse isthmique (SPL i)

La présentation de cette pathologie par STEIB* (2005) est liée à la définition de la spondylolyse, qui est une solution de continuité dans l'isthme articulaire (pars interarticularis), situé entre les deux apophyses articulaires supérieure et inférieure de l'arc vertébral postérieur. La lyse (uni- ou bilatérale) peut survenir dans l'enfance, mais aussi à l'âge adulte, le plus souvent au niveau d'un étage vertébral lombaire bas (le dernier étage mobile). FABRIS* (1999) a montré qu'elle peut être aiguë (traumatique), correspondant à un trait de fracture vrai ou chronique, quand la perte de continuité s'organise sous la forme d'un tissu fibreux selon MAJOR* (1999) plus ou moins hypertrophique, qui peut être agressif pour les racines nerveuses au contact.

✓ Spondylolisthésis dégénératif (SPL d)

Cette forme de spondylolisthésis s'observe le plus souvent à partir de 50 ans et chez la femme après la ménopause, siégeant essentiellement au niveau L4L5 (il peut exceptionnellement intéresser plusieurs étages). La destruction arthrosique des articulaires postérieures, favorisée par l'ostéoporose et le relâchement musculoligamentaire selon NORDIN* (1991), autorise le glissement de la vertèbre et de tout le rachis sus-jacent. Ce glissement reste modéré (grade 1-2 selon MEYERDING) pour BASSEWITZ* (2001) mais l'arthrose interarticulaire favorise l'apparition des ostéophytes, souvent intracanaux, et la protrusion postérieure du disque dégénéré, à l'origine des sténoses latérales et centrales, aggravées par l'épaississement du ligament jaune. Le SPL dégénératif peut être accompagné sur un plan clinique de lomboradiculalgies d'intensité variable et de troubles neurologiques à l'origine de limitations fonctionnelles. Les patients peuvent rester asymptomatiques ou être marqués par des lombalgies modérées ; dans ces cas ils sont traités médicalement (plus kinésithérapie), le traitement chirurgical étant réservé aux formes sévères ou présentant des troubles neurologiques importants.

✓ Sténoses lombaires (canal lombaire étroit)

Cette affection a une incidence de 1% chez les sujets de 20 à 40 ans et de 21% chez des sujets de 60 à 80 ans selon l'ANAES* (2000). La sténose est définie comme une réduction du diamètre du canal vertébral due à la présence des ostéophytes (arthrose articulaire), à une hypertrophie du ligament jaune, à une protrusion discale (hernie) ou au spondylolisthésis, comprimant les structures nerveuses (moelle ou nerfs), ce qui entraîne des lombo-radiculalgies invalidantes et d'importantes limitations fonctionnelles. SINGH* (2005) a montré que l'on peut distinguer deux formes de sténose : congénitale et dégénérative, qui diffèrent en principal par un âge plus jeune, le siège multi-niveaux de l'affection et une dégénérescence moins présente pour la première catégorie. Le diagnostic est confirmé facilement grâce au scanner ou à l'IRM.

Toutefois, le diamètre du canal n'est pas le même en position allongée (c'est le cas lors de ces deux examens) et en position debout où le poids du corps contribue à rétrécir le canal, en augmentant la pression sur les disques qui viennent bomber et participer au rétrécissement. Pour le diagnostic des cas difficiles, seule la radiculographie en position debout permet de mettre en évidence la compression canalaire.

✓ Les dystrophies rachidiennes de croissance (DRC)

Elles sont dénommées aussi maladie de Scheuermann, ou ostéochondrose vertébrale de croissance, ou épiphysite de croissance, ou épiphysite douloureuse des adolescents. Il s'agit d'une affection vertébrale de l'adolescent, d'étiologie inconnue. Elle est caractérisée par des altérations dégénératives de la plaque cartilagineuse (zone de croissance ostéochondrale des corps vertébraux), et du listel cartilagineux antérolatéral où apparaît vers 8 ans un point d'ossification secondaire. Le diagnostic de DRC est retenu en présence d'au moins deux lésions élémentaires, retrouvées sur les clichés dorsal et lombaire de profil :

- irrégularité des plateaux vertébraux;
- hernie nucléaire intra-spongieuse;
- anomalie des angles vertébraux;
- anomalie morphologique des corps vertébraux (vertèbres cunéiformes).

L'affection se manifeste pendant l'adolescence et touche surtout le rachis dorsal, parfois lombaire. La forme lombaire est caractérisée par l'absence de vertèbre cunéiforme. Elle guérit à l'âge adulte, avec ou sans séquelles.

En fonction de l'importance et de la dissémination de ces séquelles, trois stades de gravité sont différenciés:

- les séquelles discrètes lorsque les lésions touchent trois segments au maximum: les plateaux adjacents à deux ou trois disques ont un aspect feuilleté. S'y associent éventuellement des anomalies des angles vertébraux. Ces vertèbres peuvent présenter 1 à 2 hernies intra-spongieuses ou être modérément cunéiformes.
- les séquelles moyennes si les lésions atteignent plus de trois étages. Elles comprennent un aspect feuilleté des plateaux adjacents à 3 ou 4 disques. Le nombre total de vertèbres cunéiformes varie de 2 à 4, éventuellement associé à 1 ou 2 hernies intra-spongieuses à distance.
- lorsque les lésions sont plus disséminées, plus importantes, nous retenons le diagnostic de séquelles sévères.

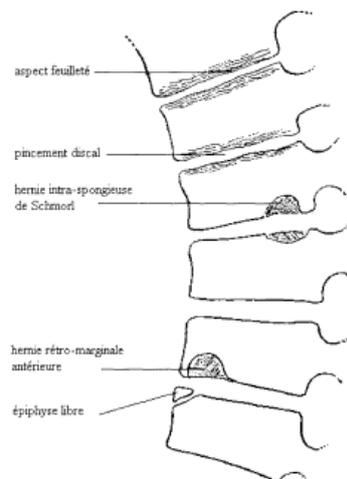


Figure 2.14. Lésions radiologiques de la Maladie de Scheuermann selon RAMPON (1977)

Toutes ces affections sont citées pour le bon équilibre de cette étude mais il est vrai que très peu de cavaliers développent ce genre de symptomatologies douloureuses. Afin d'éviter de les voir s'installer, il convient d'envisager plusieurs pistes :

- Exercices de mise en selle
- Pratique d'un sport complémentaire à l'équitation
- Programme de rééducation adaptée et prophylactique

CHAPITRE 3 - ANALYSES et ENREGISTREMENTS du MOUVEMENT

3.1- INTRODUCTION à la BIOMECHANIQUE

3.1.1 - GENERALITES

Cette partie va nous permettre de définir et de détailler les techniques qui vont nous être nécessaires à la réalisation de notre étude. Tout d'abord, il convient de chercher à découvrir ce qu'est la biomécanique. Cette dernière est donc définie comme étant l'application des lois de la mécanique à l'étude des systèmes biologiques (hommes, animaux et végétaux) ainsi que l'analyse des principes d'ingénierie qui les font fonctionner. Elle traite des relations existantes entre les structures et les fonctions à tous les niveaux d'organisation du vivant à partir des molécules, comme le collagène ou l'élastine, aux tissus et organes. La biomécanique caractérise les réponses spatio-temporelles des matériaux biologiques, qu'ils soient solides, fluides ou viscoélastiques, à un système imposé de forces et de contraintes internes et externes. Pour résumer la biomécanique qui tente de concilier la mécanique à l'étude de l'anatomie et de la physiologie, couvre un large panel de secteurs allant de l'étude théorique à l'application pratique.

Outre la mécanique classique, la biomécanique fait appel à diverses disciplines et techniques comme la rhéologie, pour étudier le comportement des fluides biologiques comme le sang, la résistance des matériaux, pour modéliser les contraintes subies par les tissus comme le cartilage des articulations ou encore les os, la mécanique du solide pour analyser la motricité et la locomotion, depuis les cellules individuelles aux organismes entiers, ce qui constitue une partie intégrante de la kinésiologie.

Dans le domaine STAPS qui nous intéresse, elle est caractérisée par l'étude de l'homme en mouvement et des forces qui agissent sur lui. La biomécanique, qui est de façon schématique, l'étude du mouvement et de ses causes va prendre en considération deux aspects :

- Cinématique : à travers l'observation, l'enregistrement et l'analyse des trajectoires, de la vitesse et de l'accélération.
- Mécanique : à travers l'interprétation et l'étude des forces qui sont à l'origine des mouvements, des décompositions de ces forces et de leurs moments.

D'autre part, elle est considérée comme un *champ multidisciplinaire* faisant intervenir aussi bien la physiologie que l'anatomie, les mathématiques et la mécanique. Ses objectifs en STAPS seront multiples avec par exemple des applications dans les domaines du :

- SPORT : analyse des techniques et des gestes sportifs dans une optique d'amélioration de la performance.
- INGENIERIE : développement du matériel sportif avec un impératif majeur : la performance et la sécurité du sportif certes mais aussi de son entourage.
- SANTE : mise au point de prothèses avec l'implication dans l'établissement de protocoles de rééducation fonctionnelle.

Le corps humain est soumis à des contraintes différentes matérialisées par des forces externes et internes) et il induit des situations statiques avec les postures et dynamiques avec les mouvements.

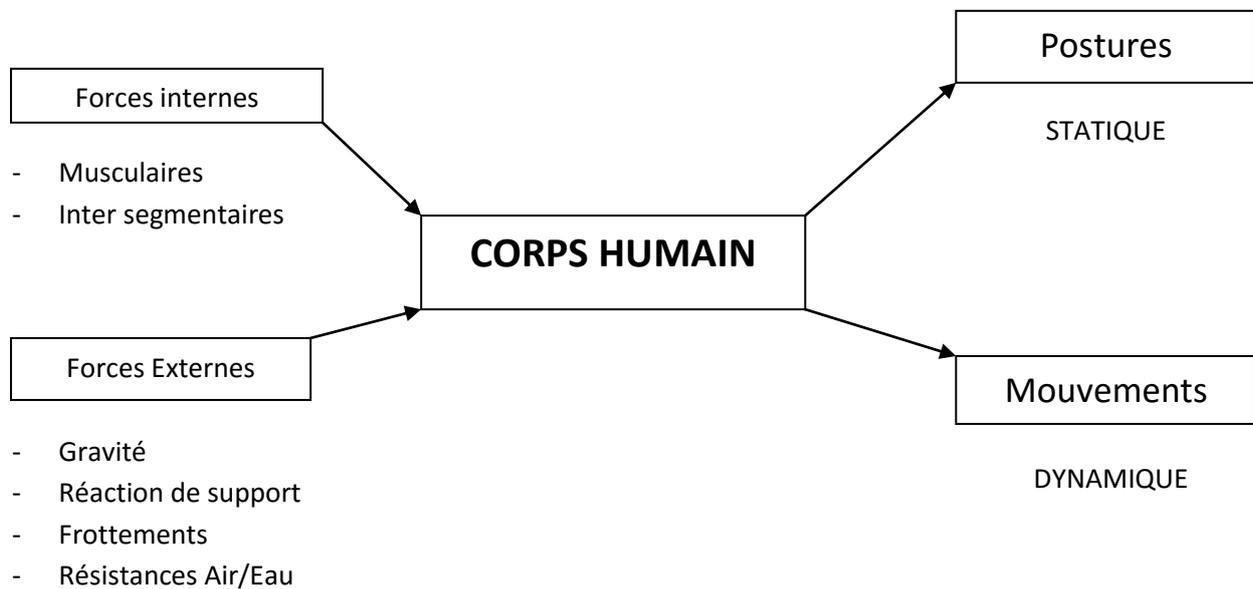


Schéma 3.1 – Forces exercées sur le corps humain(cours STAPS 2011).

3.1.2 - HISTOIRE ET DEVELOPPEMENT DE LA BIOMECHANIQUE.

Depuis la nuit des temps, l'homme a toujours eu un attrait majeur pour apprendre à connaître les phénomènes qui étaient présents dans son environnement. De même, il a très tôt manifesté une curiosité très forte pour le corps humain et son anatomie. Des papyrus égyptiens de 1700-1600 avant JC, comme ceux d'Edwin Smith ou Ebers, sont considérés comme étant la première trace de cet intérêt. La Grèce antique a fourni le premier contingent de précurseurs de la biomécanique, avec Aristote^{35*} qui introduit la notion de temps, de durée, en s'intéressant aux causes des mouvements, il est donc considéré comme le père de la cinésiologie. Il avait émis l'hypothèse qu'il existait des lieux et des directions privilégiées : en bas, la terre, en haut, le ciel. Sur terre, la direction principale était la verticale : tout corps non contraint suivait cette direction et les corps ordinaires étaient naturellement attirés vers le sol. Archimède^{36*} qui étudie le principe du levier, du centre de gravité des segments corporels et énonce également le principe de la flottabilité. Il faudra attendre le courant du IIème siècle après JC, avec Galien^{37*} médecin de l'empereur Marc Aurèle, pour voir apparaître les

³⁵ (384 av. J.-C. - 322 av. J.-C.), est un philosophe grec de l'Antiquité. Avec Platon, dont il fut le disciple à l'Académie, il est l'un des penseurs les plus influents que le monde ait connus. Il est aussi l'un des rares à avoir abordé pratiquement tous les principaux domaines de connaissance de son temps : biologie, physique, métaphysique, logique, poétique, politique, rhétorique et de façon ponctuelle l'économie

³⁶ Archimède de Syracuse, né à Syracuse vers 287 av. J.-C. et mort en cette même ville en 212 av. J.-C., est un grand scientifique grec de Sicile de l'Antiquité, physicien, mathématicien et ingénieur

premières traces de connaissances anatomiques issues de dissections effectuées sur des singes Magot.

Il faudra attendre le courant du II^{ème} siècle après JC, avec Galien, médecin de l'empereur Marc Aurèle, pour voir apparaître les premières traces de connaissances anatomiques issues de dissections effectuées sur des singes Magot.

Elles resteront en vigueur pendant plus de 1300 ans jusqu'aux travaux de Andréas Vasalius* qui bouleverseront l'étude du corps humain. Ce sera au tour de Léonard DE VINCI ^{38*} de s'intéresser aux mouvements du corps avec des considérations mécaniques. Il lui est attribué la primauté des descriptions de la mécanique des mouvements humains dans les différents plans de l'espace.

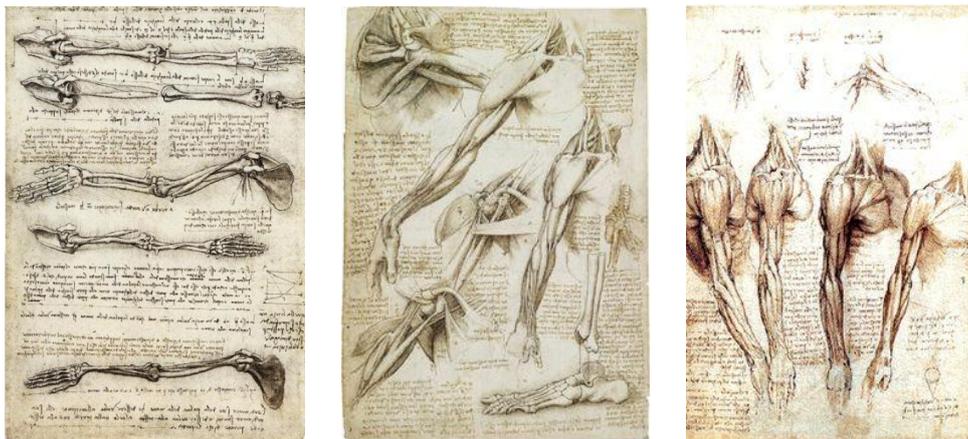


Figure 3.1. Etude des mouvements du bras et avant bras, puis du pied et du cou selon Léonard DE VINCI (1452-1519)

C'est grâce à GALILEE * que la mécanique devient une science à part entière. S'intéressant à la médecine et à la physique, il confirme plusieurs théorèmes sur le centre de gravité et à la chute des corps et le pendule ; il utilise ce dernier pour prendre le pouls. Il publie en 1638 un ouvrage « *Discorsi e Demonstrationi matematiche, intorno a due nuove scienze Attinenti alla Machanica et movimenti Locali* » dans lequel il répertorie ses expérimentations et analyses sur la mécanique des systèmes vivants. Mais le premier essai consacré à l'analyse scientifique du mouvement d'organismes vivants dans l'espace est l'œuvre de Giovanni Alphonso BORELLI (1608-1679), médecin et mathématicien italien, qui soutient l'idée que les muscles constituent un ensemble de leviers qui obéissent aux lois mathématiques. Connues sous le nom de loi de BORELLI*, elles sont de nos jours encore utilisées en rééducation. Dans son œuvre de 1679, « *De motu animalium* », il envisage une comparaison entre la locomotion humaine avec les mouvements d'une petite barque et de son rameur et met en évidence

³⁷ Né à Pergame en Asie mineure vers 129, et mort en 216, est un médecin grec de l'Antiquité qui exerça la médecine à Pergame et à Rome où il soigna plusieurs empereurs. Auteur prolifique et génial, il demeure dans l'histoire un personnage exceptionnel par l'alliance d'une grande puissance spéculative et d'une recherche passionnée des réalités médicales

³⁸ Leonardo di ser Piero, dit Leonardo da Vinci (Léonard de Vinci pour les francophones), naît le 15 avril 1452 à Vinci, petite ville de Toscane proche de Florence, des amours illégitimes d'un notaire, ser Piero, et d'une paysanne.

une corrélation entre l'appui du pied au sol et l'appui de la rame dans l'eau. C'est avec NEWTON* (1642-1727) mathématicien, astronome et philosophe anglais, que la mécanique acquiert ses lettres de noblesse avec l'établissement des 3 lois universelles du mouvement :

- Principe d'inertie ;
- Principe fondamental de la dynamique ;
- Principe action/réaction.

Il est ainsi considéré comme le père de la mécanique classique et entre dans l'histoire grâce à sa théorie sur la gravitation universelle. Vient ensuite le XIX^{ème} siècle, qui verra le développement de l'analyse scientifique du mouvement. Celui des êtres vivants a toujours passionné l'homme afin de mieux appréhender le mécanisme. Dès lors la notion de locomotion englobe l'ensemble des déplacements des organismes vivants dans les milieux réels. A cet effet, les outils et systèmes d'observation du corps en mouvement connaissent un essor qui sera proportionnel au développement des technologies. C'est pourquoi le XIX^{ème} voit l'intensification des recherches sur la marche humaine, considérée comme une locomotion terrestre particulièrement complexe. C'est grâce à WEBER* (1806-1891) médecin physiologiste, spécialiste du système musculaire, qui étudie de façon expérimentale la marche humaine, élabore une théorie dite *du mouvement pendulaire* qui met en évidence que le centre de masse du corps en position debout se situe à environ 56,7% de la hauteur du corps, mesuré à partir du sol. Durant le cycle de marche, il mesure la longueur et la fréquence des pas à différentes vitesses et s'aperçoit que :

- Le centre de gravité du corps s'abaisse avec l'augmentation de la vitesse de la marche.
- Le temps du double appui diminue avec l'augmentation de la vitesse de la marche.
- Pendant la phase de déplacement, l'appui du pied au sol crée un point de fixation qui permet un mouvement de pendule inversé du membre inférieur.

Cette théorie sera par la suite remise en question. Cet intérêt pour l'étude de la marche va aller croissant avec MUYBRIDGE* (1830-1904) qui réalise les premiers clichés photographiques successifs d'un mouvement dans l'espace. Considérant la polémique de l'époque par rapport à la possibilité pour un cheval de voir ses quatre membres décoller du sol, il place sur une ligne droite 12 appareils photographiques qui se déclenchent lors du passage d'un cheval au galop. Preuve sera faite qu'il existe une phase sans appui dans le cycle du galop du cheval, il s'agit donc du 4^{ème} temps appelé, phase de suspension.

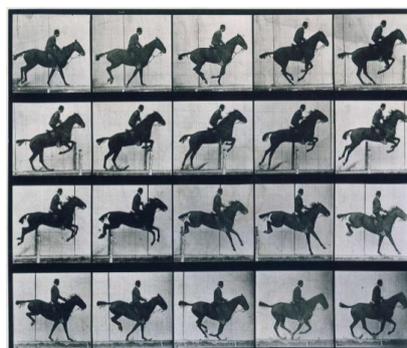


Figure 3.2. Série de photographies représentant le saut d'un cheval par MUYBRIDGE (1887).

Intéressé par ces travaux, le médecin physiologiste français Jules Etienne MAREY (1830-1904) entre en contact avec MUYBRIDGE* et s'investit complètement dans ce type de recherches. Notons qu'à cette époque, la France est leader en matière de recherches scientifiques. Dès 1880, avec la complicité de DEMENY* (1850-1917), il met au point un générateur dynamographique à base pneumatique et surtout la chronophotographie ; cette dernière consiste à prendre un maximum de clichés d'une action afin d'envisager une décomposition du mouvement, c'est donc l'ancêtre de nos systèmes actuels 2D. Tout cela peut logiquement être considéré comme le point de départ de l'approche cinématique et dynamique du mouvement humain. Tous deux mettent au point en 1882, un « fusil photographique » qui reprend le principe général. Il permet de prendre 12 clichés sur une même plaque, grâce à un obturateur rotatif, ce qui par conséquent permet de décomposer et d'étudier le mouvement plus aisément. La même année MAREY*, dans le but de soutenir l'effort de guerre à travers la recherche scientifique, crée la station physiologique du Parc des Princes où il a tout le loisir d'étudier le mouvement humain en photographiant de profil des sujets sur un fond noir, ces derniers étaient revêtus d'une combinaison noire sur laquelle était cousue des bandes blanches pour visualiser les segments articulaires. Au final, le résultat sera un kinogramme, technique utilisée encore de nos jours avec des appareils numériques et des marqueurs réfléchissants, remplaçant le chronophotographe et les bandes blanches. C'est ainsi que l'analyse biomécanique de la locomotion humaine est née.



Figure 3.3. Kinogramme de MAREY et DEMENY (1882)

BRAUNE* (1831-1892) et FISCHER* (1861-1917) reprennent les travaux de MAREY* en améliorant la technique par l'utilisation simultanée de 4 chronophotographes, ce qui se traduira par des données plus précises et plus significatives. C'est ainsi qu'ils aboutissent à la conclusion que la conception du « mouvement pendulaire » lors de la marche humaine était erronée, contredisant en cela la théorie de WEBER*. Ce XIXème siècle voit apparaître une discipline nouvelle qui de suite suscite un intérêt majeur : l'orthopédie qui aboutit également à une prise de conscience de la physiologie du travail dans l'industrie, la première pierre de l'ergonomie est alors posée. 1896, la renaissance des Jeux Olympiques de l'ère moderne, par Pierre de Coubertin, verra l'explosion de l'intérêt du monde de la science pour l'amélioration des techniques sportives et favorisera l'utilisation rationnelle des lois mécaniques dans les activités physiques et sportives. Ceci signe la naissance de la médecine sportive couplée à la biomécanique du sport.

Le XXème siècle sera celui de la biomécanique érigée en science moderne. Rudolph FICK, Le fils d'Adolf, publie début XXème siècle, un traité « *Manuel d'anatomie et de mécanique des articulations* » dans lequel chaque muscle et chaque articulation sont détaillés avec précision. C'est ensuite l'école russe qui fera figure de pionnière en biomécanique avec ABALAKOV* (1931) qui met au point

de nombreuses variantes de dynamographes spéciaux destinés à la mesure biologique des performances sportives. L'institut Central du travail en Russie, également travaille sur des mouvements de forge avec un cyclogramme. SECHENOV, physiologiste (1829-1905) et le physicien anatomiste LESGAFT (1837-1909) travaillent à l'essor et à la notoriété de la biomécanique russe.

Mais c'est toutefois le neurophysiologiste BERNSTEIN (1896-1966) qui représente le mieux la biomécanique internationale en analysant le mouvement humain afin d'en optimiser les performances des ouvriers et c'est lui qui a utilisé le premier, le terme *biomécanique* pour désigner l'étude du mouvement à travers l'application des principes mécaniques. En 1931, se tient le premier cycle de conférences « *Biomécanique des exercices physiques* » à l'Institut de Culture Physique de LENINGRAD où sont abordés la *cinésiologie*, terme américain ou *l'analyse du mouvement*, terme français. C'est à partir de la fin du deuxième conflit mondial, que la biomécanique devient une discipline scientifique indépendante. Cela débouche en 1960, sur l'organisation de la 1^{ère} Conférence Internationale relative aux questions fondamentales de la biomécanique des gestes sportifs à LEIPZIG. L'étude du mouvement humain a pris un essor considérable durant le siècle dernier dans de nombreux domaines de recherche tels que :

- La médecine avec ANDRIACCHI* (1994), NADEAU* (1997), BOUGHIDEN* (2002), GOUJON* (2006) ;
- Le sport avec LACOUTURE* (1991), PUDLO* (1999), BLAIS* (2004), BEGON* (2006) ;
- L'ergonomie avec VERRIEST* (1991), WANG* (1998), REZZOUG* (2000), GILLET* (2004), FAUPIN* (2005) et LEMPEREUR* (2006) ;
- La robotique avec GORCE* (2000), EL HAFI* (2000) ;
- L'animation et la simulation de personnages de synthèse avec BADLER* (1993) MULTON* (1998), MENARDAIS* (2003) ;
- Enfin la biomécanique pure avec CHEZE* (1993), VANEL* (1996) et POMERO* (2002).

Cette dernière est de plus en plus utilisée pour l'analyse de la locomotion humaine et de ses dérivées, comme toutes les activités humaines telles que les disciplines sportives pour lesquelles, de nos jours, les athlètes de haut niveau sont équipés de capteurs et autres sondes capables de visualiser le moindre déplacement segmentaire. C'est grâce aux travaux de CAPPOZZO* (1984) PANDY* (1988), WINTER* (1990), CHEZE* (1993), BARBIER* (1994) et DORIOT* (2001) qu'il a été mis en évidence sa parfaite adaptation au développement de modèles mécaniques mais aussi comportementaux, indispensables au XXI^{ème} siècle dans l'étude de la locomotion humaine.

Tout ceci n'est possible que grâce aux outils de mesure qui rendent possible l'étude du mouvement dans l'espace. Ils permettent l'enregistrement, d'une part, des positions successives de points associés à des segments de l'appareil locomoteur, et d'autre part, des forces externes de contact entre le corps humain et son milieu extérieur. C'est ainsi qu'ils rendent possible la quantification du mouvement pour optimiser sa description. Il est classiquement décrit deux grands groupes de moyens d'analyse : les techniques de mesure cinématique (analyse du mouvement) et les techniques de mesure dynamique (analyse des forces engendrées pour et par ce mouvement).

3.1.3 - NOTIONS FONDAMENTALES

Dans ce paragraphe, il nous a semblé important de rappeler les notions fondamentales dont nous avons besoin au quotidien pour aborder dans des conditions optimales des analyses biomécaniques. Pour beaucoup, elles font appel à nos connaissances basiques en ce qui concerne la mécanique mais de manière plus spécifique, certaines seront particulièrement développées à destination de l'anatomie humaine ; c'est pourquoi nous envisagerons premièrement les considérations mécaniques générales puis ensuite, nous détaillerons les règles fondamentales de la biomécanique humaine. En effet l'être humain qui vit dans un milieu physique est régi par des lois selon LOW* et RED* (1996). Celles-ci, interviennent dans la vie quotidienne. En kinésithérapie, la biomécanique affiche un corollaire entre la stabilité de la statique et l'instabilité de la dynamique. C'est ainsi que s'est développé, selon GIRAUDET* (1976) et BELL* (1998), un processus d'interprétation spécifique pour le corps humain compte tenu de la complexité mathématique des connaissances mécaniques fondamentales. Pour comprendre la constitution de l'appareil locomoteur, de son squelette et de l'action musculaire sur les différents segments corporels, il est impératif de connaître la nature des forces en présence et avoir en tête la signification de ce qu'est un moment cinétique.

3.1.3.1 - Considérations mécaniques générales

3.1.3.1.1 - Le solide

Le solide est un corps caractérisé par une forme définie et de dimensions propres. Il en existe de deux types : *indéformable*, appelé « solide d'Euclide^{39*} », où la distance entre deux points reste immuable quelles que soient les contraintes auxquelles il est exposé. *Déformable*, c'est le cas de figure le plus usuel car tout corps est déformable, de manière aussi minime soit elle. Il est viscoélastique et est appelé solide de Hooke.

3.1.3.1.2 - La force

Tout facteur capable de modifier la vitesse d'un corps en mouvement, d'en modifier l'inertie ou la trajectoire, ou de provoquer sa déformation est appelé « force » selon BRAY et coll*. Lorsqu'il y a équilibre, les deux types de forces s'annulent. Une force est donc définie comme étant tout ce qui engendre une accélération (positive ou négative) à une masse. La masse d'un corps est une constante, donc invariable, ce qui nous donne la formulation suivante : $\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{a}$

Deux sources de forces sont donc décrites.

- Force externe : la première d'entre elles est la pesanteur (ou force gravitaire) qui s'exerce verticalement de haut en bas sur chaque corps dans notre environnement usuel. Elle est variable selon l'altitude de lieu où l'on se situe et lorsque nous sommes immergés elle se trouve diminuée par la poussée d'Archimède*. Notons toutefois l'existence d'une spécificité qu'est l'apesanteur qui existe dans certaines circonstances artificielles ou dans l'espace ;
- Force interne : deux types sont distingués, *actives* produites par les muscles de manière directe ou indirecte et *passives* qui, elles, sont étroitement liées à la mise en tension des structures passives (frottements, plaquage aponévrotique ou fascias, etc....).

39

Principe d'inertie

Selon NEWTON* (1686), le principe d'inertie peut se définir comme suit :

- Un corps au repos ne se met pas lui-même en mouvement ;
- Un corps en mouvement ne s'arrête pas de lui-même, il conserve de façon permanente la direction et la vitesse de son mouvement qui est rectiligne et uniforme ;
- Un corps en mouvement tend à rester en mouvement et à garder la même vitesse et la même direction rectiligne – un corps au repos tend à rester au repos si aucune force ne lui est appliquée.

Ligne d'action

C'est la ligne droite, selon DUFOUR et PILLU* (2002), qui supporte le vecteur de force, ce qui est matérialisé pour l'appareil locomoteur par la fibre moyenne du muscle, ce qui correspond à la résultante de l'ensemble des fibres musculaires. C'est ce qui sert de base à toutes les considérations mécaniques.

Sens

Il donne l'orientation dans laquelle la force se dirige. Pour le muscle l'orientation est donnée de l'insertion mobile vers le point fixe. Il convient de ne pas confondre, la direction de la force, qui est l'orientation de la droite porteuse, avec le sens de la force.

Point d'application

C'est le point d'origine du vecteur force, d'où part l'action. Sur le plan locomoteur, cela correspond à l'insertion tendineuse sur l'os.

Orientation d'une force

Une force est d'autant plus efficace qu'elle se trouve appliquée dans le sens de l'action souhaitée, faute de quoi, elle voit son efficacité se réduire à celle de sa projection orthogonale sur l'axe mécanique ; elle est selon ALLARD et BLANCHI* (2000), alors égale au produit de sa valeur par le cosinus de l'angle α soit : **$F_e = F \times \cos \alpha$**

Bras de levier

Le bras de levier d'une force F est la distance d entre sa ligne d'action et le pivot P autour duquel la force tend à agir. Il est représenté par la perpendiculaire abaissée sur la ligne d'action de cette force à partir du point pivot considéré.

Moment d'une force ou moment cinétique

On appelle moment d'une force F par rapport à un point O , le produit de l'intensité de la force F par le bras de levier d qui sépare le point O de la droite porteuse de F . On choisit donc le bras de levier le plus favorable et l'on en déduit la force utile. Cette dernière est d'autant plus faible que le bras de levier est important. Ce rapport est comme suit : **$M_f = F \times d$**

Composition d'une force

Deux forces peuvent être remplacées par une seule avec effet équivalent ; celle-ci sera appelée *résultante*. C'est ainsi que deux forces F1 et F2 permettent de construire un parallélogramme dont elles forment les deux côtés adjacents. La diagonale qui a le même point d'origine que les deux forces est donc leur résultante.

Les unités

L'unité de masse est le *kilogramme masse*. L'unité de force est le *newton*, qui est la force capable de communiquer à une masse de 1 kilogramme une accélération de 1 m/s^2 . Il faut donc 1 newton pour augmenter la vitesse d'une masse de 1 kg de 1 m/s à chaque seconde.

Représentation graphique d'une force

Une force est définie quand sont connues les quatre éléments suivants : le point d'application, la direction ou ligne d'action, le sens et l'intensité.

Travail, Puissance Energie

. *Travail* : il s'agit de l'association de la force et du déplacement et est défini comme étant le produit d'une force par la distance parcourue par le point d'application de cette force le long de sa ligne d'action. L'unité est le *joule*, qui représente le travail d'une force de 1N sur un déplacement de 1m.

. *Energie* : DUFOUR et PILLU* (2002) considèrent que la notion de travail est à associer également à l'énergie potentielle due à la position ou à la configuration d'un objet, ce qui revient à considérer que l'énergie potentielle gravitationnelle d'un objet de masse m , qui est situé à une distance h au dessus d'un niveau de référence est de $E(g) = m \times h \times g$ avec g qui représente l'accélération due à la gravité.

. *Puissance* : elle est définie comme étant la quantité de travail ou d'énergie dépensée par unité de temps. La puissance fournie par une force est le produit scalaire de cette force avec la vitesse du point d'application de cette force $P = \mathbf{N} \times \mathbf{m} \times \mathbf{v}$. La puissance fournie par un moment est le produit scalaire de ce moment avec la vitesse angulaire $Pm = \mathbf{N} \times \mathbf{m} \times \boldsymbol{\omega}$. L'unité de mesure s'exprime en *watt* (W) qui représente le travail effectué ou l'énergie dépensée au rythme de 1 joule par seconde.

Centre de Gravité

Dans notre environnement terrestre, des forces s'exercent sur des corps de masse m et notamment celle due à l'attraction terrestre. Le point fictif de regroupement de toutes ces forces auxquelles ce corps est soumis, est appelé *centre de gravité* ; le terme de *résultante du centre de gravité* est également utilisé. Ce point de regroupement, subit l'accélération gravitaire, dirigée vers le centre de la Terre, donc vers le bas et sa formule est $\mathbf{P} = \mathbf{m} \times \mathbf{g}$. En ce qui concerne notre étude, le centre de gravité du corps humain se situe en avant de la deuxième vertèbre sacrée (S2) ; cependant, comme l'ont mis en avant DEMPSTER* (1955) et WINTER* (1994), il convient de considérer que chaque segment corporel possède son propre centre de gravité ceci étant consigné dans des tables normatives de référence.

3.1.3.1.3 - Les différents bras de levier et les conditions d'équilibre

Gardons à l'esprit la règle qui veut qu'un corps soit en équilibre, s'il est au repos ou si sa vitesse de rotation est constante. Ce qui implique que nous devons faire référence à la condition d'équilibre qui stipule que *la somme des moments des forces autour d'un point est nulle*. Ce qui veut dire que la somme des moments des forces qui tendent à faire tourner notre solide dans le sens rotatoire des aiguilles d'une montre est égale à la somme des moments de forces qui agissent dans le sens inverse, ce qui donne la formulation suivante : $M_h + M_{ah} = 0$.

N'oublions pas l'importance qu'ont toujours eu les leviers dans l'histoire de l'homme puisque ne dit-on pas qu'Archimède* (287-212 av JC) aurait scandé : « *Donnez moi un levier et je soulèverai le monde* ». Pour illustrer mon propos, utilisons l'exemple de la balance où l'équilibre est acquis lorsque la somme de leur poids est contrebalancée par une force qui s'exerce vers le haut au niveau de l'axe de rotation de la planche. Un levier est un système mécanique destiné à augmenter l'effet d'une force par rapport à une résistance, grâce à la mise en jeu d'un moment favorable. Il fait intervenir la force F , la résistance R , et un axe de rotation O , permettant d'étudier le moment M . Trois types de leviers sont décrites selon la position des trois données F , R , O .

C'est le système le plus simple dans lequel, un segment rigide, mobile autour d'un axe (point fixe appelé point d'appui) est soumis à deux forces contraires qui tendent à le faire tourner. La convention internationale nomme ces forces puissance et résistance. La distance entre la force et le point d'appui est appelé le bras de puissance, dp ; il en va de même pour le bras de résistance, dr , qui se définit comme étant la distance entre la résistance et le point d'appui. De ces deux « bras » est déduit l'avantage mécanique AM , du levier en divisant le bras de puissance par le bras de résistance : $AM = dp/dr$. La valeur de cette quantité est déterminée par la position des forces par rapport au point d'appui et selon la position des forces, il sera distingué trois types de leviers

✓ Levier inter appui ou 1^{er} genre.

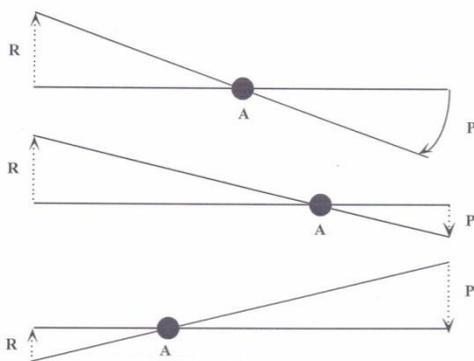


Schéma 3.2. Schémas leviers du 1^{er} genre mécanique

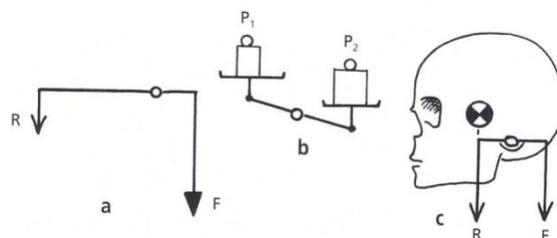


Schéma 3.3. Levier 1^{er} genre au niveau corps humain selon DUFOUR ET PILLU (2002)

Il s'agit d'un levier où l'appui (ou axe de rotation) est situé entre la résistance et la force. L'équilibre peut être obtenu si les bras de levier ne sont pas trop différents. C'est la raison pour laquelle, il est parfois appelé *levier d'équilibre*. Ils offrent de multiples possibilités car selon la longueur des bras de

puissance ou de résistance, il est possible de déplacer des résistances importantes avec de faibles puissances ou encore de mobiliser une résistance sur une grande distance avec une puissance dont le déplacement est plus petit.

Les exemples dans notre vie quotidienne sont nombreux avec la balance à fléaux pour la mécanique et pour l'appareil locomoteur humain, la tête avec l'action du muscle splénius qui engendre son extension par intervention sur l'articulation atlanto-occipitale.

- ✓ Leviers inter résistants ou du 2^{ème} genre.

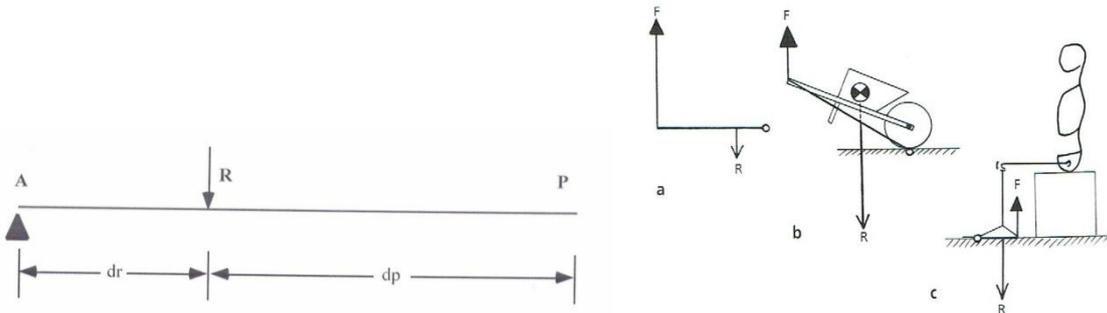


Schéma3.4. Leviers 2^{ème} genre type mécanique Schéma 3.5. Comparaison leviers 2^{ème} genre avec corps humain selon DUFOUR ET PILLU (2002)

Dans ce type de leviers, la résistance se situe entre le point d'appui et la puissance. Ils sont appelés parfois *levier de force* car le bras de puissance est toujours supérieur au bras de résistance. Cette dernière est donc supérieure à la puissance mais se déplace moins qu'elle. Le mode de fonctionnement est assez simple puisque si la puissance se déplace vers le haut, la résistance en fait de même et inversement. L'équilibre est toujours illustré par la relation : $R \times dR = F \times dF$.

Le modèle mécanique en est la brouette et au niveau du corps humain, l'exemple peut être donné avec la position debout « sur la pointe des pieds » où les fléchisseurs plantaires luttent contre la gravité alors que l'articulation métacarpo phalangienne sert de point d'appui.

- ✓ Leviers inter forces ou du 3^{ème} genre.

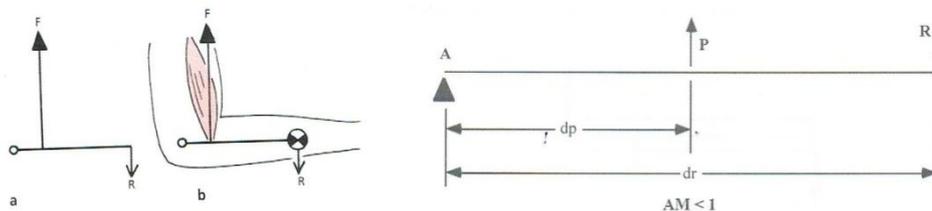


Schéma3.6. Levier 3^{ème} genre, au niveau du biceps brachial Schéma 3.7. Modèle standardisé levier 3^{ème} genre selon DUFOUR ET PILLU (2002)

C'est un système où la puissance est située entre la résistance et le point d'appui. Ici le bras de puissance est toujours plus petit que le bras de résistance ; pour supporter une résistance, la puissance doit toujours lui être largement supérieure mais par contre sa course lui sera toujours inférieure.

Valable uniquement lorsque l'effort est minimale car l'avantage se concrétise par l'augmentation de la distance parcourue par la résistance. Le modèle mécanique est illustré par la canne à pêche ou la pince à glace. Sur le plan humain, c'est le modèle le plus rencontré et ceci pour trois raisons majeures selon DUFOUR et PILLU* (2002) :

- Un gain de place par rapport à des structures musculaires car un bras de levier plus important serait morphologiquement inenvisageable ;
- Une course musculaire faible pour un déplacement maximal car la partie moyenne de cette course représente la longueur d'équilibre du muscle (<15% de sa longueur totale). Elle correspond au secteur de force, qui procure un maximum d'ancrages au niveau des sarcomères, entre les têtes de myosine et les ponts d'actine ;
- La vitesse de déplacement constitue un avantage certain car avec un faible déplacement au niveau de l'insertion musculaire, il faut un déplacement plus important de l'extrémité du segment corporel dans le même laps de temps. Anatomiquement, plusieurs systèmes peuvent illustrer ces types de levier à commencer par l'action du biceps brachial qui mobilise l'avant bras.

3.1.3.1.4 - Considérations mathématiques des différents types de leviers

L'équilibre de ces leviers est obtenu lorsque $F_m \times \ell_m = F \times \ell$. Ceci est valable pour tous les types de leviers et permet de déterminer les différents moments cinétiques en fonction de la longueur des bras de levier pour une même charge.

✓ Leviers du 1^{er} genre

Ils sont décrits comme étant un système où le point appui (A) se situe entre la puissance (P) et la résistance (R). Plus le point d'appui s'éloigne de la résistance (R), plus cela nécessitera de développer une force musculaire (F_m) importante de façon à équilibrer le système (F_m = 0).

✓ Levier du 2^{ème} genre

Dans ce système, la résistance (R) se situe entre le point d'appui (A) et la puissance (F). Ce type de levier F_m, s'avère être intéressant puisque le bras de puissance est toujours supérieur au bras de résistance. Gardons à l'esprit que ℓ est la distance entre le point d'application de la résistance (R) et le point d'appui (A) et ℓ_m est la longueur du bras de levier musculaire à partir du point d'appui. Au final, plus ℓ_m augmentera pour se rapprocher de P, plus F_m sera grand ; cette situation se rapproche fortement de celle rencontrée avec les leviers du 3^{ème} genre. Ces leviers inter résistants sont assez peu répandus dans l'appareil locomoteur humain car ils sont peu étudiés malgré l'avantage de pouvoir développer une force considérable, la mâchoire humaine pourrait illustrer cette catégorie.

✓ Levier du 3^{ème} genre

Ces derniers sont définis comme des systèmes où la puissance (P) se situe entre le point d'appui (a) et la résistance (R). La caractéristique majeure se situe au niveau de l'infériorité du bras de puissance par rapport au bras de résistance, ce qui a pour conséquence d'entraîner une situation désavantageuse de F_m. Ils ont par contre l'avantage d'être bien étudiés car un petit déplacement angulaire de

la puissance va générer un grand déplacement de la résistance. Dans cette catégorie, F_m est d'autant plus à son avantage que l'on se rapproche de R , ce qui est une des caractéristiques principales des leviers du 3^{ème} genre. En effet, dans ce cas de figure, au niveau appareil locomoteur humain, par exemple, l'on retiendra les muscles biceps, deltoïde et triceps. Le triceps quant à lui, sera défini comme un levier du 3^{ème} genre lorsque le membre supérieur sera le long du corps (position de référence) mais deviendra un levier du 1^{er} genre lors d'une élévation du membre supérieur au dessus de la tête.

3.2 - LES SYSTEMES de MESURE du MOUVEMENT

Depuis MAREY* et MUYBRIDGE* (1882), le principe de base régissant les systèmes de capture du mouvement n'ont que peu évolué, même si actuellement, ils permettent une reproduction particulièrement précise d'un déplacement segmentaire en 3D. En effet, le système capte les mouvements des pièces segmentaires préalablement repérées par des marqueurs. Des algorithmes nous donnent la possibilité de reconstruire le mouvement en trois dimensions. GORCE* (2000) estime que les systèmes de mesure du mouvement peuvent être répartis en trois catégories : les systèmes de mesure cinétique, les instruments de mesure dynamique et l'électromyographie (EMG). Cette dernière est une technique d'enregistrement de l'activité musculaire, réalisée au moyen d'électrodes placées au niveau du groupe musculaire lui-même. Pour ce faire nous disposons de deux types d'électrodes, primo de surface et secundo intramusculaires pour étudier les muscles profonds, il s'agit là d'une technique invasive qui n'a pas lieu d'être dans notre recherche. Les électrodes de surfaces ne nous ont pas séduit car il ne s'agissait pas de réaliser une étude de l'activité musculaire rachidienne, ce qui aurait été particulièrement complexe et en total décalage avec l'esprit qui a animé ce travail. Nous consacrons notre attention sur les moyens de mesure cinématique et dynamique. ZHOU* (2008) quant à lui considère qu'il existe cinq familles de systèmes commerciaux de capture de mouvements. Chacune d'entre elle est basée sur la mesure d'une grandeur physique différente. Les *systèmes mécaniques* sont très encombrants, surtout lorsqu'il s'agit d'appréhender le corps humain dans son intégralité. Les *systèmes optoélectroniques*, sont quant à eux très précis, avec une précision < 1mm pour les meilleurs systèmes selon CHIARI* (2005), ce qui nous donne la possibilité d'analyser les mouvements digitaux tout comme les expressions du visage et ceci sans gêner le sujet. Mais ils sont tributaires des conditions lumineuses de capture comme les reflets et la lumière du jour et des dimensions réduites du champ de capture. Les *systèmes inertiels* permettent selon VCELAK* (2006) les captures de mouvements en environnement très peu contraint mais de par leur propriété bruitée et imprécise, il est nécessaire de mettre en place des méthodes compensatrices. Cela impose absolument la création d'un mannequin numérique reprenant les descriptions articulaires réalisées au préalable. Les *capteurs magnétiques* et *inertiels* sont eux particulièrement sensibles à différentes sources sonores comme à la présence d'éléments ferromagnétiques.

3.2.1 - LES SYSTEMES DE MESURE CINEMATIQUE 3D

Grâce à la biomécanique, nous pouvons décrire les variations de positionnement, les déplacements de segments du corps humain, ceci dans le temps et dans l'espace. Il est appelé *course* le débattement parcouru par une articulation ou par un groupe musculaire, au cours d'un mouvement. DUFOUR et PILLU* (2002), différencient la *course articulaire*, qui est définie par un mouvement généré par une articulation de l'appareil locomoteur humain et qui est essentiellement de type angulaire (rotation autour d'un axe) et qui est divisée en trois, avec une course interne, moyenne et externe

qui elles même déterminent une course totale. Par exemple EL HAFI* (2000) a mis en avant que l'étude de la marche tridimensionnelle, nécessite des technologies à base de capteurs (goniromètres, accéléromètres, gyroscopes magnétiques) ou de vision (caméras, systèmes optoélectroniques). Les éléments les plus fréquemment utilisés selon CHAO* (1980) et GAITOSIK* (1987) sont les goniromètres articulaires, pour PADGAONKAR* (1975) il s'agit d'accéléromètres et enfin les capteurs magnétiques pour MILNE* (1996) et optoélectroniques selon SLOBOUNOV* (1999).

3.2.1.1 - Les techniques à base de capteurs.

3.2.1.1.1 - Les goniromètres

Initialement, purement mécanique, le goniromètre était composé de façon basique de deux branches mobiles articulées autour d'un axe. Sur ce pivot était installée, une graduation permettant très rapidement de visualiser le déplacement segmentaire. Le fonctionnement nécessite un repérage méticuleux des reliefs anatomiques permettant de positionner le plus précisément possible les branches du goniromètre, ceci dans un souci de reproductibilité. Ce point est primordial dans la réalisation qualitative d'un examen goniométrique selon FAIVRE* (2003).

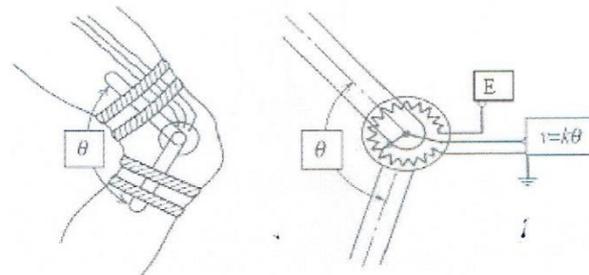


Figure 3.4. Fonctionnement d'un goniromètre à potentiomètre selon WINTER* (1990)

Même s'il a été longtemps utilisé dans l'examen clinique, la précision est toute relative. Pour ce faire, un goniromètre plus sophistiqué est apparu et a longtemps été utilisé dans l'analyse du cycle de la marche humaine ; pour OBERG* (1994) : ils sont composés de deux branches fixées à un potentiomètre. L'information recueillie est au final, une différence de potentiel qui permet de visualiser une variation angulaire entre deux positions, l'affichage analogique de l'angle souhaité alors que les codeurs optiques incrémentaux quant à eux nous adressent une visualisation analogique des positions angulaires. De plus en plus, la technologie nous a permis de bénéficier, selon CHAO* (1980) de mesures tridimensionnelles, mais selon la localisation envisagée et le type d'enregistrement, l'encombrement sera à prendre en considération.

Toutefois, des imprécisions sont à noter, ceci à cause du positionnement des capteurs sur les parties molles et leur risque de déplacement (mouvements infimes appelés artéfact d'enregistrement) au cours du mouvement articulaire. Enfin, comment ne pas évoquer les travaux de ROTHSTEIN* (1983) sur les erreurs de localisation dues aux problèmes de localisation du centre articulaire, des centres instantanés de rotation de certaines articulations tel que le genou.

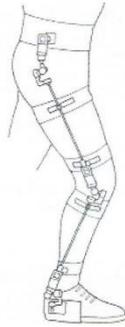


Figure 3.5. Goniomètre tridimensionnel pour articulations hanche, genou et cheville selon WHITTLE* (1996)

3.2.1.1.2 - Les accéléromètres

Sont appelés, selon EVANS* (1991), accéléromètres, les capteurs capables de mesurer l'accélération subie par un solide en mouvement. Ils utilisent le principe fondamental de la dynamique liant la force à l'accélération d'une masse ($F = m.a$). La mission principale est de parvenir à quantifier les forces d'inertie qui s'appliquent sur la masse en mouvement. Notons que la déformation des matériaux, soit piézo-électriques ou jauges de contraintes, par un solide de masse connue, est proportionnelle aux forces appliquées à celle-ci pour la déplacer. Dès lors, il est mesuré à la sortie de l'accéléromètre, une tension ou résistance proportionnelle à la force appliquée ; la masse est connue et constante, ce qui permet de déterminer l'accélération. Une variante est à noter avec l'accéléromètre tri-axial qui permet de connaître les composantes d'accélération d'un point du corps dans l'espace. Il est composé de trois accéléromètres disposés à angle droit les uns par rapport aux autres ; pour apprécier le positionnement d'un point de corps en mouvement, deux intégrations de l'accélération sont nécessaires tout comme la position initiale du point de départ du mouvement.

Cependant, DUJARDIN* (1998) estime que l'utilisation des accéléromètres pour l'appréciation du mouvement des segments corporels, est très délicate. En effet si la multiplication des accéléromètres tri-axiaux, pour PADGAONKAR* (1975) s'avère intéressante par rapport à la précision des déplacements segmentaires, il n'en demeure pas moins que cela s'avère vite être prohibitif selon SLOBOUNOV* (1999). Un autre point particulièrement délicat se manifeste vite pour nous avec le placement géométrique des accéléromètres sur les segments, qui impose une connaissance parfaite des positions initiales ; ceci implique donc un calage pour mieux définir la géométrie du système corporel et de définir la position par rapport à la verticale compte tenue de la sensibilité particulière des accéléromètres à la pesanteur. Il est donc impératif de parfaitement maîtriser la position par rapport à la verticale car tout décalage se traduira par des variables négatives sur les enregistrements. Ce qui permet de prendre du recul par rapport aux mouvements des parties molles générateurs de phénomènes parasites, perturbateur de la mesure des déplacements.

L'utilisation des accéléromètres est avantageuse à plusieurs titres car l'acquisition de mouvement est très rapide avec une disponibilité immédiate des résultats combinée avec une fréquence d'échantillonnage atteignant le Khz. C'est notamment pour cela que les accéléromètres ont été particulièrement utilisés pour les études biomécanique comme pour celles de DUJARDIN et all* (1998) sur la marche du sujet affecté par une arthrose de la hanche et celle de WAGENAAR et all* (1992) sur la marche de l'hémiplégique.

3.2.1.1.3 - Les capteurs de positions magnétiques

C'est l'utilisation des propriétés des champs magnétiques qui sont utilisés avec cette technique. Le système de capture est formé de deux ensembles d'antennes perpendiculaires entre elles. Le premier est situé à l'intérieur d'un émetteur (générateur électromagnétique) et le second à l'intérieur d'un récepteur (capteur). Le signal (le champ magnétique) reçu par le récepteur permet donc de déduire la position et l'orientation de celui-ci par rapport à l'émetteur.

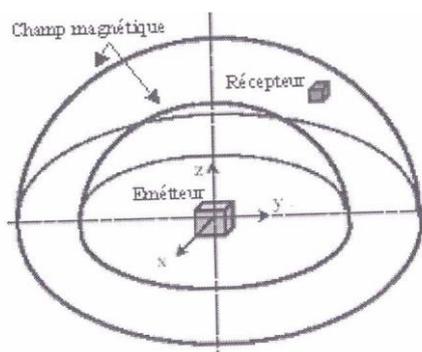


Schéma 3.7 - du principe du système magnétique d'après AN* (1988)

Le principe est relativement simple dans la mesure où les capteurs placés sur les segments articulaires mesurent le champ magnétique émis par un générateur électromagnétique. A chaque fois qu'un capteur mesure le champ magnétique, l'information est transmise à un ordinateur de contrôle qui calcule la position et l'orientation du segment corporel dans l'espace. Ce type de capteurs possède l'avantage qu'ils soient reconnus de manière automatique par le système d'acquisition. Il est nécessaire de positionner un capteur/segment pour connaître sa position et son orientation dans l'espace. De plus, ils sont pour SLOBOUNOV* (1999) d'une relative bonne précision dans la mesure du mouvement dans l'espace pour des articulations dites « complexes » comme la hanche et surtout l'épaule, mais pour REZZOUG* (2000) cela s'avère extrêmement appréciable et précis, aussi pour des actions plus spécifiques et plus précises comme la préhension digitale. Par contre la limitation de ce système vient de leur champ d'acquisition limité et de leur faculté à être perturbé par des objets ferromagnétiques. Ce type de dispositif a permis à de nombreux auteurs d'analyser par exemple la marche humaine, nous citerons les travaux de KITAOKA* et al. (1997) sur le rôle stabilisateur du tendon du tibial postérieur sur le pied durant la phase d'appui de la marche ou ceux de WOODBURN* et al. (1999) qui ont testé les interventions orthopédiques de patients porteurs d'arthrose de cheville.

3.2.1.2 - Les systèmes optoélectroniques

Le rôle de ces systèmes optoélectroniques est d'assurer la captation tridimensionnelle des coordonnées de marqueurs installées sur des segments corporels de patients ; ces derniers permettront de déterminer les valeurs angulaires correspondant aux déplacements segmentaires. A partir d'auteurs comme WITTLE* (1996) et VIEL* (2000), nous nous sommes rendu compte que la littérature mettait en avant le fait que la majeure partie des systèmes optoélectroniques d'analyse du mouvement utilisent, la méthode de stéréovision. Il s'agit d'une détermination d'une position spatiale d'un objet à partir de la mise en correspondance de deux images planes. CHEZE* (1993) décrit une technique utilisée pour la reconstruction tridimensionnelle des positions de marqueurs à partir d'images issues de caméras. La lumière infra rouge est celle qui est souvent le plus utilisée dans la détection des

marqueurs dans les images des caméras. Le rayon lumineux passe par le centre de la focale de l'objectif (centre optique) et vient exciter un panel de pixels sur la matrice des capteurs de la caméra. Cet ensemble de pixels, se matérialise pour former une tache lumineuse dont sera ensuite calculé le barycentre. Ensuite, la droite de projection des marqueurs est déterminée en fonction de l'emplacement de la focale et des coordonnées de la position du barycentre de la tache lumineuse sur la matrice de la caméra, tout ceci étant connu préalablement. C'est ainsi que, grâce à un algorithme spécifique de mise en correspondance, les coordonnées tridimensionnelles du marqueur seront calculées à partir des informations des droites de projection d'au moins deux caméras. Le tout étant qu'initialement, la position des caméras dans l'espace soit connue pour que l'algorithme puisse entrer en action, ce qui implique la nécessité d'avoir une phase de calibrage avant toute opération. Ces systèmes utilisent deux techniques avec des marqueurs actifs et ensuite des marqueurs passifs.

3.2.1.2.1 - Les systèmes à marqueurs actifs.

C'est le capteur lui-même qui émet la lumière, appelé LED⁴⁰. L'intérêt de ceci pour VIEL* (2000), se situe dans l'identification automatique des marqueurs avec une précision redoutable des trajectoires spatiales, de l'ordre du dixième de millimètre sur des coordonnées tridimensionnelles. De plus, les systèmes les plus récents peuvent en outre déterminer en temps réel une trajectoire ; par contre, ils sont limités en nombre de capteurs à cause du compromis entre la fréquence de multiplexage et le temps de traitement des signaux. De plus l'alimentation des LED nécessitant des câbles, la limite viendra des distances dans l'exécution des mouvements. En 1980, WOLTRING et al* testent le système Selspot et concluent à son efficacité pour l'étude de la marche humaine.

3.2.1.2.2 - Les systèmes à marqueurs passifs.

Dans ce cas, la lumière est émise depuis un projecteur stroboscopique composé de LED qui est fixé sur la caméra autour de l'objectif, le marqueur est quant à lui recouvert d'un scotch light qui renvoie le rayon incident dans la même direction, et qui de la sorte est capté par des caméras CDD⁴¹ sensibles aux infrarouges. Ensuite, l'obtention des coordonnées 3D sera possible via un traitement d'images combiné à une reconstruction automatique des marqueurs. Cela nécessite que le marqueur soit vu par au moins deux caméras. Sans aucun besoin d'alimentation extérieure donc ne nécessitant aucun câblage, aucune restriction n'est imposée pour l'exécution des mouvements. Il permet d'analyser des mouvements complexes tels que les sauts périlleux avec en plus l'avantage de ne pas être limité en nombre de capteurs d'une part et d'autre part d'avoir un champ d'acquisition beaucoup plus large que les systèmes à base de capteurs actifs. De nos jours, la majeure partie des systèmes intègrent une routine informatique d'auto labellisation qui permet à l'opérateur d'identifier l'ensemble des marqueurs sur une image de référence et le reste l'est ensuite automatiquement. La précision des trajectoires tridimensionnelles est dépendante du champ d'application. Par exemple, VIEL* en 2000 a montré qu'elle est de l'ordre de quelques millimètres sur des trajectoires spatiales dans un volume de plusieurs mètres carrés. Pour ce faire, il y a une nécessité des algorithmes de *tracking* pour ces systèmes mais surtout il y a un grand besoin de reconnaissance préalable de marqueurs et de vérification du bon fonctionnement du tracking. MAHEO* (2009) définit le *tracking* comme étant un pro-

⁴⁰ Light Emitting Diode

⁴¹ Charge Coupled Device – Caméra qui assure la conversion d'un signal lumineux en un signal électrique.

cédé pour localiser un ou plusieurs objets en mouvement et en temps réel en utilisant une caméra. Un algorithme vient ensuite procéder à l'analyse des photogrammes de la vidéo et en localise les cibles en mouvement. Normalement, les systèmes de tracking sur une vidéo utilisent un modèle en mouvement qui décrit la façon dont l'image de la cible peut changer en tenant compte du mouvement possible de l'objet à capturer. Le rôle de l'algorithme de tracking est d'analyser les photogrammes dans l'ordre et d'évaluer les paramètres de mouvement, ces derniers caractérisent la localisation de la cible.

Ces systèmes optoélectroniques ont été souvent utilisés dans de nombreuses études d'analyse cinématique et ceci dans des domaines aussi variés que :

- la rééducation fonctionnelle de la marche avec WITTLE* (1996) et VIEL* (2000) ;
- Les conséquences motrices de l'hémiplégie pour BOGARD* (1981), PELISSIER* (1997) ;
- La suite d'acte de chirurgie, comme les amputations avec GOUJON* (2006), les ligamentoplasties avec BARBIER* (1994).

Les laboratoires en informatique et mécanique les ont aussi utilisés pour la simulation virtuelle avec BOULIC* (1990) ou MULTON* (1998), tout comme ceux de biomécanique s'en sont équipés pour étudier par exemple les mécanismes du mouvement de la marche avec LAASEL* (1992) et CHEZE* (1993) afin d'envisager des aides au diagnostic pour les acteurs de santé avec DOROT* (2001).

3.3 - MATERIEL et METHODE

3.3.1 - LE SYSTEME BIOVAL®

3.3.1.1 - Présentation du matériel

Fruit d'un partenariat entre RMIngénierie* et la société Movea⁴², elle-même issue du Commissariat à l'Energie atomique de Grenoble, BioVal® a été présenté pour la première fois en 2008 comme une solution innovante d'analyse des mouvements corporels et de rééducation à destination des professionnels médicaux. BioVal® fonctionne avec l'aide de la technique de *motion capture* (captation de mouvements) utilisée dans le cinéma 3D.

3.3.1.1.1 - Motion Capture

Il s'agit par définition du terme anglais qui signifie « la capture du mouvement ». C'est un procédé d'animation de personnages virtuels. Le principe de ce procédé est axé sur la captation de mouvements d'un sujet réel pour ensuite les appliquer à des modèles virtuels ; pour ce faire, il est dès lors possible d'enregistrer les mouvements réels d'une entité (homme, animal ou objet, etc....) ou de segments corporels. Principalement utilisée dans la capture des mouvements humains et animaliers, la *motion capture* travaille majoritairement sur les membres ou des segments corporels. Il existe différents types de *motion capture* :

Optique - C'est la plus répandue des captures. Basée sur le même principe que les radars, les différentes caméras disposées envoient de la lumière de type rouge visible et/ou infrarouge qui est réflé-

⁴² Société dépendant du Commissariat à l'Energie nucléaire

chie par les marqueurs. Ces marqueurs sont des petites boules de mousse recouverte de micro-billes de verre réfléchissantes. C'est pourquoi on appelle cela des marqueurs et non des capteurs, puisque ces boules sont « passives » : elles ne captent rien et ne font que réfléchir la lumière. C'est la méthode la plus couramment utilisée car c'est la plus précise et la moins contraignante pour les « acteurs ». C'est également la plus chère.

Electromécanique - Pour ce faire, il est appliqué un exosquelette sur les sujets. Celui-ci enregistre les déformations du corps du sujet, par la mesure successive d'angles. Lourde et peu adapté, notamment par les productions cinématographiques actuelles, ce système est délaissé au profit du précédent.

Électromagnétique - Longtemps utilisée au début par le cinéma, elle s'est faite détrônée par la *motion capture* optique, plus précise. Il s'agit, cette fois, de placer le sujet au milieu d'un champ magnétique connu. Le sujet porte sur lui des capteurs, qui par résonance électromagnétique, viennent déformer le champ magnétique global et ainsi mettre en évidence leur position. Le problème majeur se situe au niveau de la perturbation du signal par le moindre élément métallique (structure métallique du studio, plombage dentaire, bijoux, etc....)

La motion capture vidéo ou rotoscopie – Consiste à filmer les sujets, le plus souvent des acteurs avec des caméras vidéo classiques, parfois plusieurs filmant le même point de vue et reproduire ensuite à la main l'animation sur ordinateur par mimétisme. Elle est régulièrement utilisée par les productions américaines pour servir de référence aux animateurs 3D. Elle a également tendance à être de plus en plus utilisée pour la *motion capture* faciale, pour être sûr de capter toutes les subtilités des mouvements du visage. Cette technique de captation vidéo est utilisée par les systèmes Kinect de la console Xbox 360 par exemple. On peut considérer la rotoscopie comme l'ancêtre de la *motion capture*. Utilisée dès 1914 elle consistait à décalquer, image par image, des séquences réelles de film pour les adapter en film d'animation. On la retrouve par exemple dans *Blanche Neige et les Sept Nains*, *Aladin* et de nombreux autres dessin-animés de Walt Disney.

3.3.1.1.2 - Capteur de mouvement MotionPod™

Le MotionPod™ est un capteur de micro mouvement français breveté par la société Movea. C'est un objet rectangulaire en plastique de la taille d'une montre qui contient une carte électronique, 1 accéléromètre 3 axes, 1 magnétomètre 3 axes et 1 gyroscope. Sur l'un des côtés il y a un bouton noir qui permet de déclencher l'acquisition des données. Il offre la possibilité d'enregistrer les mouvements avec une précision de 30 mesures par seconde. Le logiciel qui lui est associé fournit, quant à lui, en temps réel, des courbes qui permettent au praticien d'avoir un regard des plus pertinents sur le comportement moteur de son sujet. La société grenobloise Movea SA est une start-up issue de l'institut de recherche français CEA-Léti en 2007. Ce capteur compact utilisé avec les logiciels d'analyse de données peut fournir des informations de détection de mouvements dynamiques. Il émet par voie radio les signaux mesurés vers un PC équipé d'une clé USB⁴³ adéquat. C'est donc un micro capteur innovant dédié au secteur de la santé et du sport qui permet d'enregistrer, de retranscrire et d'analyser les mouvements du corps humain. Une simulation de ski qui cartographie chaque mou-

⁴³ Universal Serie Bus, est une norme relative à un bus informatique en transmission série qui sert à connecter des périphériques informatiques à un ordinateur.

vement du corps (avant/arrière et latéraux), permet au sujet, skieur virtuel, de contrôler sa vitesse et son trajet sur l'écran et d'améliorer l'expérience de jeu, et à travers elle la proprioception, grâce à une précision plus vraie que nature. Une simulation de randonnée qui permet au sujet, de s'immerger dans un monde virtuel grâce à la traduction de chaque mouvement de ses pieds à l'écran. Faire un pas ou une rotation de la cheville lui permet alors de contrôler la vitesse et la trajectoire de son avatar avec une grande précision.



Figure 3.6. Motion Pod™ de BioVal® de RMIIngénierie

3.3.1.2 - Les capteurs inertiels

C'est un dispositif de navigation qui comporte une plate forme stabilisée gyroscopique donnant une référence et supportant des accéléromètres qui mesurent en temps réel, sur les trois axes (roulis, tangage et lacet) les accélérations du corps mobile qui en est équipé. Une première intégration des données fournit les composantes du vecteur-vitesse, une seconde la position dans l'espace et l'attitude. ASCH et al *(1998) définissent le capteur comme étant un système qui permet de transformer une grandeur physique en une information utilisable et représentative de cette information. De nos jours, la miniaturisation a permis de fabriquer certains capteurs de taille nanométrique que chacun d'entre nous côtoie au quotidien. Puis est venu s'ajouter la notion de « capteur intelligent ». Ce dernier fonctionne de la même façon qu'un capteur mais le qualificatif « intelligent » vient de l'adjonction d'une unité de calcul assurée par un circuit programmable et de sa capacité à effectuer un traitement numérique de la donnée. Toutefois, les informations issues de ces capteurs prennent en considération certaines dérives et certains réglages, et sont ensuite transmises à d'autres organes ce qui confère à ces systèmes une capacité de communication. Cette dernière est la pierre angulaire de ces systèmes de capteurs intelligents.

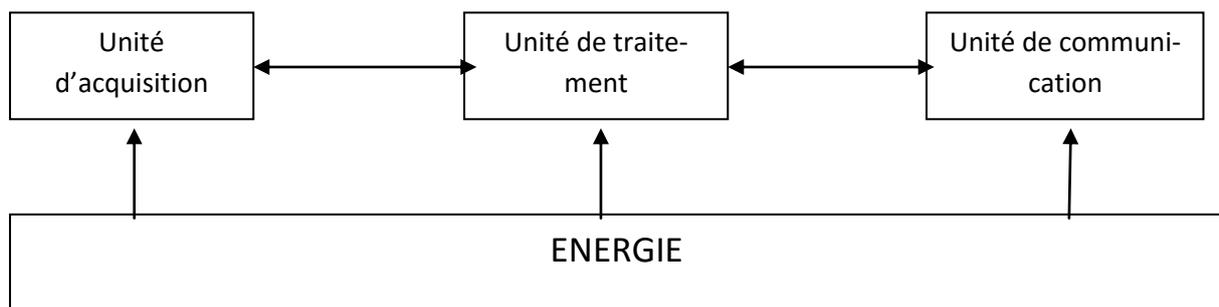


Schéma 3.9. Les différentes unités d'un capteur intelligent

En associant des micro capteurs magnétiques et des micro accéléromètres, le monde de la recherche a les moyens de proposer aujourd'hui aux professionnels de la santé de véritables centrales d'attitudes embarquées sur le corps qui peuvent s'apparenter à de véritables centrales inertielles rencontrées dans les véhicules automobiles les plus sophistiqués. Depuis l'invention de la boussole,

premier capteur magnétique de l'humanité, par les chinois, les progrès de la science ont permis de miniaturiser les choses pour aboutir à la mise au point de ces micro capteurs magnétiques et autres micro accéléromètres. La microélectronique utilise l'appellation de MEMS⁴⁴. Ces dernières années ont vu le couplage de capteurs de mesure de champ magnétique et des accéléromètres, ce qui a permis d'aboutir à la création de systèmes sensibles à la fois aux mouvements rotatoires dans le plan horizontal mais aussi aux mouvements d'inclinaison par rapport à la verticale. Dès lors, il est possible via des calculs mathématiques de type de fusion de données, de calculer des angles de rotation dans un repère tridimensionnel, à savoir les angles de lacet, roulis et tangage. Capturer les mouvements est ainsi la finalité de ces centrales d'attitude. L'utilisation de centrales inertielles embarquées, c'est-à-dire fixées sur le corps, permettent l'enregistrement et l'analyse des mouvements d'un sportif par exemple, sans avoir à recourir à des équipements lourds, grâce à la fusion des signaux recueillis avec un modèle biomécanique.

3.3.1.2.1 - Les accéléromètres

L'accéléromètre inertiel de type MEMS se définit comme un système masse-ressort placé dans un vacuum. L'accélération exercée sur le système résulte en un déplacement de la masse dans le système ressort, celui de la masse est dépendant du système masse-ressort, c'est pourquoi un calibrage est nécessaire. C'est un dispositif qui mesure les accélérations et décélérations linéaires. Les propriétés piézo électriques constituent la caractéristique majeure des matériaux employés, c'est-à-dire qu'ils se chargent électriquement sous l'effet d'une déformation. Deux types d'accéléromètres sont commercialisés sur le marché : mono axial (mouvement du tronc selon l'axe vertical) et triaxial (mouvement selon trois axes) qui sont souvent composés de trois accéléromètres mono axiaux, qui calculent les trois accélérations linéaires selon trois axes orthogonaux. La littérature sur ces capteurs exprime l'accélération en « g » (accélération causée par la gravitation terrestre, soit environ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

3.3.1.2.2 - Les gyromètres / gyroscopes

Le gyroscope, du grec *gûros* (γῦρος), «cercle» et *skopéō* (σκοπέω), "regarder", est un appareil qui met en application la loi de physique qui veut qu'un solide qui n'est pas soumis à un couple de rotation, conserve invariablement son axe de rotation ; ceci est encore appelé stabilité gyroscopique ou effet gyroscopique. Lorsqu'un couple est appliqué à l'appareil, il provoque une précession ou une nutation du solide en rotation. Dans les capteurs : un gyroscope est un capteur de position angulaire et un gyromètre un capteur de vitesse angulaire. Le gyroscope donne la position angulaire (selon un, deux ou les trois axes) de son référentiel par rapport à un référentiel inertiel (ou galiléen). C'est donc un instrument qui mesure une vitesse angulaire, qui peut être couplé avec des accéléromètres pour déterminer la position, la vitesse et l'altitude d'un solide en mouvement ou d'un corps humain. Les gyroscopes MEMS, possèdent une masse vibrante d'environ plusieurs dizaines de KHz. Le principe repose sur une suspension de la masse dans un système de ressorts et la lecture est possible via un système capacitif à l'identique des accéléromètres. Quand le gyroscope entre en rotation, celle-ci

⁴⁴ Micro Electro Mechanical System

exerce une force de Coriolis⁴⁵ perpendiculaire à la masse, d'autant plus importante qu'éloignée du centre de rotation. La masse en oscillation, entraîne une lecture différente sur chaque côté de l'oscillation, ce qui constitue une mesure pour la vitesse de giration. Toutefois, la déformation du système ressort à l'intérieur du gyroscope affecte la sensibilité G, ce qui constitue la principale cause d'erreur.

3.3.1.2.3 - Les magnétomètres

Il s'agit d'un appareil qui mesure le champ magnétique. Il existe deux types d'instruments : les magnétomètres vectoriels qui mesurent l'amplitude du champ dans une direction donnée et les magnétomètres scalaires qui eux mesurent l'amplitude du champ en valeur absolue, ce qui leur assure une très grande précision. De nos jours, les ingénieurs du CEA-Léti ont mis au point une nouvelle génération de magnétomètres miniaturisés utilisant le principe du la porte du flux, qui ouvrent donc la voie à de nouvelles applications, telles que la reconnaissance d'attitude pour le suivi médical à distance ; couplés avec des accéléromètres, ils peuvent prendre en considération plus facilement les mouvements dynamiques, constituant une interface homme-machine pour les applications de réalité virtuelle. Les performances métrologiques de ces magnétomètres miniaturisés, sont intrinsèquement optimisées, surtout à travers un très faible bruit et surtout par une très grande stabilité surtout par rapport à la température, conférant à ces systèmes une précision dans la mesure du champ magnétique, de l'ordre de 1° alors que ce qui est mis sur le marché aujourd'hui n'est précis qu'à 5° près.

3.3.1.3 - Capacité d'enregistrement

3.3.1.3.1 - Description du système BioVal®

Le choix de l'outil d'analyse et d'enregistrement du mouvement s'est porté sur un système novateur dans le monde de la rééducation (mis sur le marché en 2008 par RM Ingénierie de RODEZ) qui nous a semblé présenter plusieurs avantages pour cette étude. Elaboré comme élément majeur actuel dans l'arsenal des éléments d'analyse et d'enregistrement du mouvement, le système BioVal® permet au kinésithérapeute d'observer, d'analyser et de quantifier les déplacements segmentaires corporels de ses patients. L'élément majeur de BioVal® se situe au niveau de son mode « compact » et de sa grande facilité d'utilisation. La précision qui lui est propre, en fait un atout considérable pour le monde de la santé. Non seulement élément de diagnostic et de visualisation quantitative du mouvement, ce système est également un atout non négligeable dans l'aspect rééducatif puisqu'il permet d'initier un mouvement, de le quantifier, de le maîtriser, de l'optimiser et enfin d'atteindre la performance permettant une récupération fonctionnelle. Reprenant le principe des centrales inertiennes MEMS et la technologie du Motion Pod™, le système BioVal® intègre 3 accéléromètres, 3 magnétomètres et 3 gyroscopes, dont la fréquence d'acquisition est variable entre 25 et 200Hz, dans ses capteurs ; ce qui lui permet d'être sensible à des mouvements de 1° et supporte de plus des accélérations de 6G. Sa synchronisation avec la vidéo, permet, via un avatar virtuel, d'envisager une représentation virtuelle 3D comme c'est ici le cas dans notre étude. De plus, les capteurs sont synchrones entre eux via un système Bluetooth. Ils permettent une analyse sur un secteur angulaire de

⁴⁵⁴⁵ Force inertielle agissant perpendiculairement à la direction du mouvement d'un corps en déplacement dans un milieu.

360°. Ces données sont de suite exploitables sous forme de courbes détaillées et ajustables au choix du praticien.

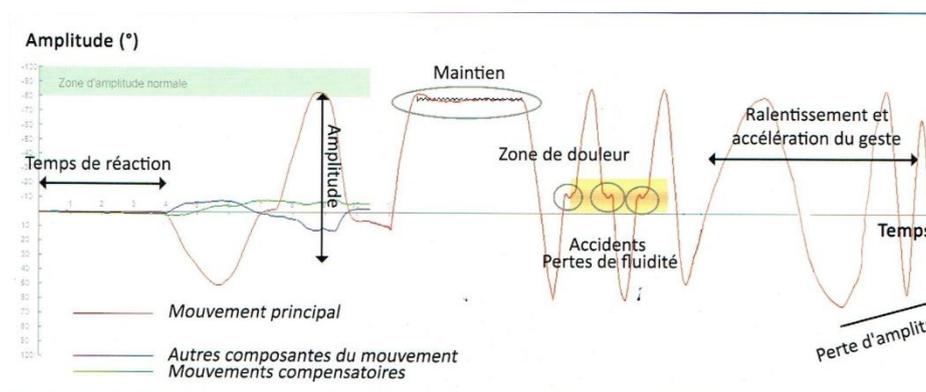


Figure 3.7. Graphique mettant en évidence les informations fournies par les courbes fournies par BioVal®

Cet outil nous a séduit par sa capacité à obtenir des résultats rapides, précis et objectifs sur les points suivants :

- **Amplitude** : le choix des localisations testables est vaste et permet de connaître via les analyses l'amplitude d'une articulation, élément fondamental dans le mouvement qu'il soit dit global (dans un plan et selon un seul axe) ou analytique (dans les trois plans de l'espace). Ces amplitudes traduites sur des courbes ont l'avantage d'être de suite évocatrices d'éventuels problèmes ; elles sont aussi et surtout quantifiables avec cette précision de 1° et enfin nous renseignent sur la qualité de la contraction musculaire à travers le caractère lisse ou heurté des pentes. En effet, une pente ascensionnelle saccadée mettra en évidence la pénibilité de réalisation du mouvement, sa localisation, sa durabilité et sa fréquence reproductible.
- **Vitesse** : la variation de l'inclinaison des courbes affichées lors de la retranscription graphique nous permet de mettre en évidence des « zones » d'accélération ou de ralentissement dans l'exécution du mouvement ; ceci est particulièrement intéressant pour mettre en avant des éventuelles zones lésionnelles ou de souffrances, ces dernières entraînant des perturbations fonctionnelles notoires. De plus, connaissant les amplitudes où se situent ces variations de vitesse, il est alors envisageable de déterminer les groupes musculaires susceptibles de poser problème et sur lesquels il conviendra d'avoir une attention soutenue.
- **Maintien** : le système évaluera de la même façon à travers ces courbes la capacité du sujet à maintenir une attitude, une position donc une contraction. Sa longueur, sa linéarité, son côté heurté seront autant d'éléments qui viendront affiner l'analyse de la qualité gestuelle. En plus, la visualisation de la capacité à maintenir une position, sera utile également pour mettre en évidence et déterminer ensuite une hypothétique attitude compensatrice.
- **Discontinuité et défaut de répétitivité** : chaque événement qui survient lors de l'exécution d'un mouvement sera enregistré par BioVal®. Chaque variation de pente, chaque augmentation ou diminution longitudinale renseignera sur la capacité d'un groupe musculaire à effectuer avec plus ou moins d'aisance le geste demandé ; de même tous les changements verticaux avec légers accidents (décrochages) seront considérés comme étant des modifications de l'amplitude articulaire et des phénomènes algiques qui pourront y être associés.

- Réactivité et mémoire : l'observation visuelle est de suite quantifiée par des valeurs chiffrées enregistrées dans le programme ; c'est ainsi que pour chaque région articulaire, le logiciel est en mesure de proposer immédiatement une situation comparative du mouvement réalisé par rapport aux valeurs de référence, définies par les normes scientifiques en vigueur de nos jours. De plus, au niveau des membres, il est envisagé une étude comparative droite gauche de façon à pouvoir évaluer l'importance du déficit fonctionnel. De la même façon, il nous sera possible de suivre l'évolution d'un patient à travers la réalisation d'analyses successives et cela nous permettra soit en utilisant des tableaux excell®, soit par la superposition de courbes, de visualiser la progression ou la régression fonctionnelle d'un patient. Facilement reproductible intrinsèquement et extrinsèquement, cet outil s'avère être un élément non négligeable de nos jours dans l'analyse du mouvement humain et surtout de son interprétation.

De multiples possibilités nous sont offertes avec BioVal® car, dans un premier temps, ce système nous présente des courbes issues des valeurs enregistrées, du point de vue global, c'est-à-dire qu'il analyse et cumule les enregistrements synchrones des quatre capteurs et ceci dans les trois plans (ici uniquement le plan sagittal nous intéresse).

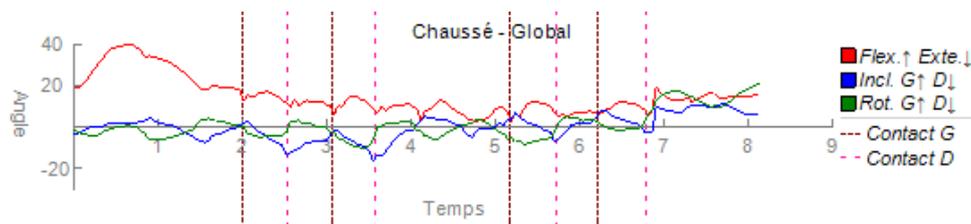


Figure 3.8. Enregistrement fourni par BioVal® pour le rachis global dans les 3 plans en fonction du temps et de l'amplitude

Puis ensuite, il nous permet d'avoir le comportement de chaque étage de l'axe rachidien en partant du bassin (ci-dessous) pour aller jusqu'au niveau cervical.

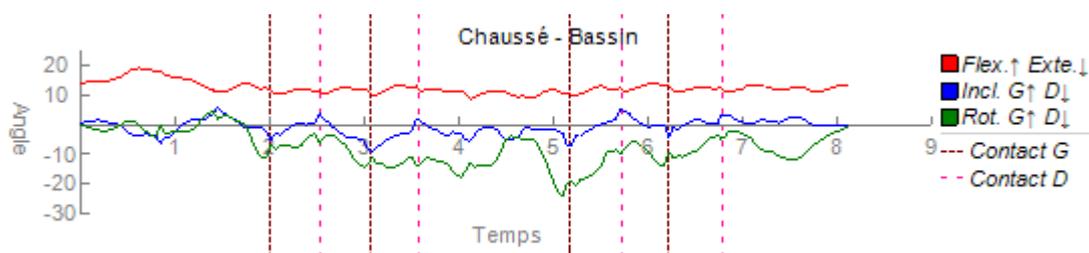


Figure 3.9. Enregistrement fourni par BioVal® pour le bassin dans les 3 plans en fonction du temps et de l'amplitude

Puis, il nous offre une possibilité comparative entre deux (voire plus) enregistrements permettant ainsi de mettre en évidence de suite, les différences à la hausse ou à la baisse. Ci-dessous nous observons la courbe comparative « globale » du cavalier en situation de marche (en bleu) et sur le cheval mécanique (en rouge). Il est dès lors intéressant de pouvoir mettre en avant les points de divergence, ici présents. Ceci est possible, là encore pour chaque niveau rachidien.

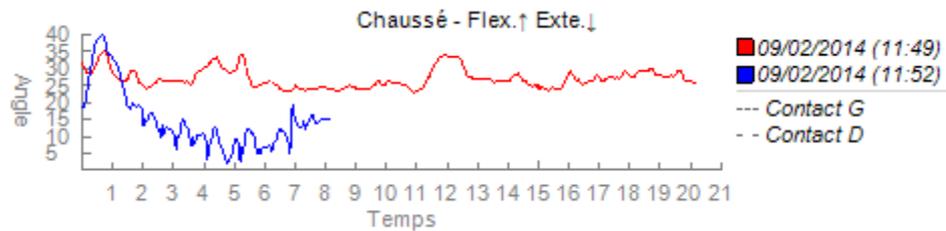


Figure 3.10. Courbe comparative du comportement global du rachis lors de la marche (en bleu) et sur le cheval mécanique (en rouge)

Enfin, il nous est possible via les transcriptions des valeurs enregistrées sur tableau Excel[®] de visualiser le comportement du cavalier durant toute la séquence à des instants t , $T+1$, etc.... et de transformer cela en graphique, là encore soit global, soit étage par étage ou soit de manière comparative entre deux situations. Cela nous donnera la possibilité, d'envisager une comparaison d'abord intra groupe des différents comportements (primo sur la marche, secundo à cheval et tertio marche/cheval mécanique), puis pour terminer, inter groupes. Cette dernière analyse finalisera le travail envisagé à travers cette étude.

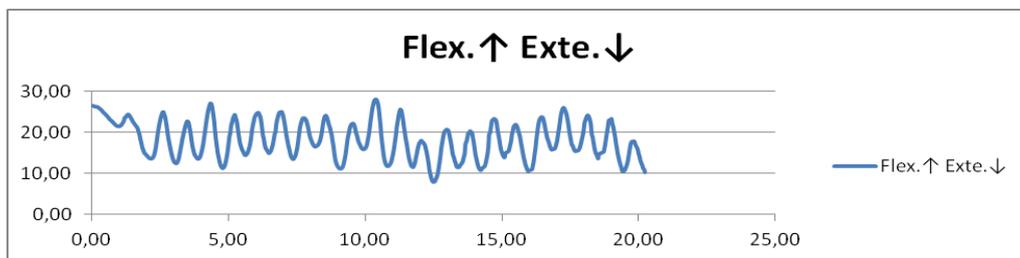
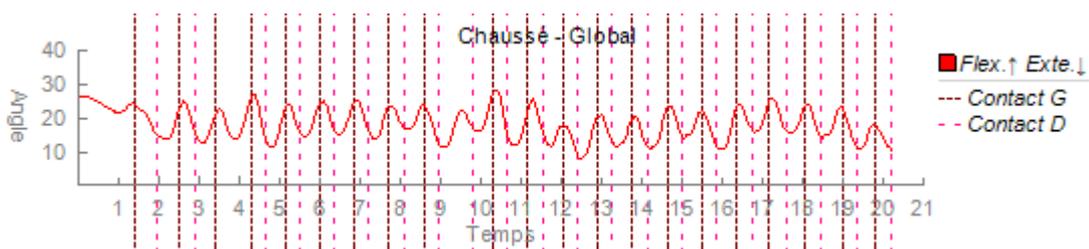


Figure 3.11. Graphique de mise en évidence de la flexion/extension rachidienne globale selon BioVal[®]

Ce graphique, établi d'après les valeurs enregistrées par les capteurs sur l'ensemble du rachis tous les 0.03 à 0.06 secondes, nous permet d'apprécier le comportement rachidien global ; ici par exemple, nous notons pour ce cavalier « novice » du Groupe A, un positionnement quasi permanent en flexion moyenne de $26^{\circ}92$ (c'est-à-dire en avant de l'axe vertical rachidien) et cela quelle que soit la position cyclique du cheval mécanique. Cette courbe permet également d'évaluer : les écarts types, la valeur moyenne du positionnement, la valeur maximale, la valeur minimale.

Dans l'optique de l'analyse inter groupes, il nous sera possible d'établir une comparaison entre les trois groupes *via* les graphiques, ce qui nous permettra visuellement d'apprécier immédiatement leur différence comportementale.



Sujet A

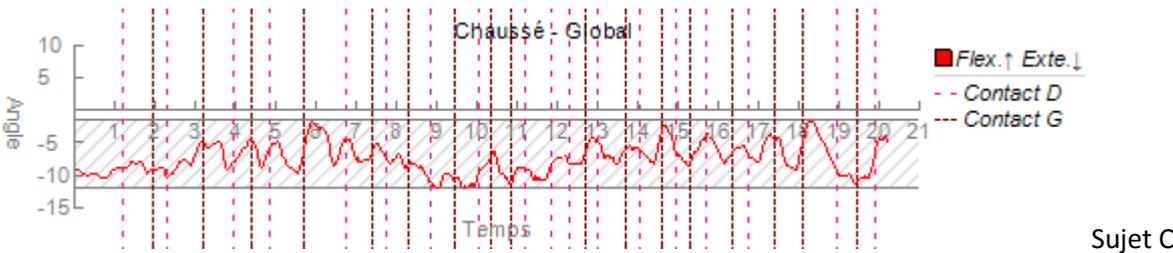
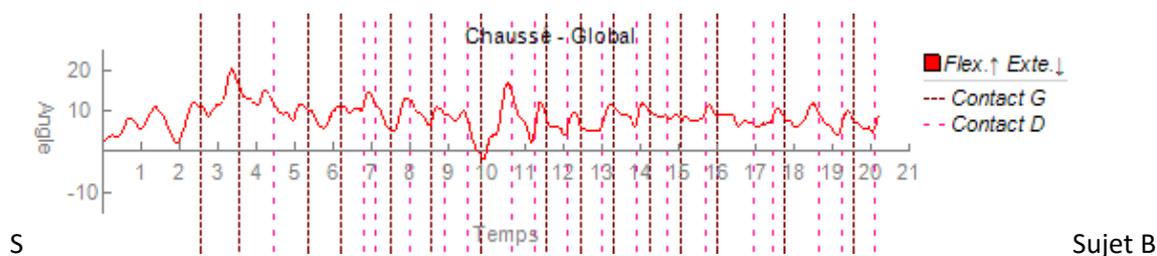


Figure 3.12. Comparaison des courbes fournies par BioVal® pour 1 sujet représentatif de chaque groupe de cavaliers.

Tableau comparatif du comportement global du rachis sur les 3 groupes (1 sujet représentatif de chaque groupe) – valeurs en degrés.

	Groupe A	Groupe B	Groupe c
Valeur Moyenne	18,27	12,12	-7,52
Valeur Maximale	28,05	25,76	-1,68
Valeur Minimale	8,03	2,30	-12,16

Tableau 3.1. Exemple de tableau comparatif réalisé en choisissant dans chaque groupe un sujet particulièrement représentatif

En prenant l'exemple du comportement global du rachis, l'étude de ces graphiques nous permet de comprendre l'intérêt que représente le système BioVal® pour l'analyse et l'enregistrement des mouvements. La lecture à la fois des graphiques et surtout du tableau ci-dessus apporte les éléments objectifs nécessaires pour affirmer que le comportement global rachidien s'avère être différent selon le groupe de cavaliers. Ici, il est aisé de constater que plus le cavalier maîtrise son équitation, plus le rachis se postérise ; en effet nous observons une attitude moyenne de 18°27 en flexion pour les « novices », de 12°12 en flexion pour les « confirmés » et enfin 7°52 en extension pour les « experts ». De même l'étude des valeurs maximales confirme les précédentes données ; il en est de même pour les valeurs minimales qui elles aussi, corroborent les précédentes constatations.

3.3.1.3.2 - Présentation des capteurs

Les mesures sont réalisées via trois petits capteurs inertiels qui chacun intègre trois accéléromètres, trois gyroscopes et trois magnétomètres. Chaque capteur enregistre le déplacement d'un segment corporel (ici un étage rachidien et le bassin), ce qui permet ensuite de décomposer la cinématique globale, ici du rachis, ou sélective, région par région.



Figure 3.13. Vue supérieure des capteurs inertiels (motion pod™) utilisés par BioVal®

Capteurs *

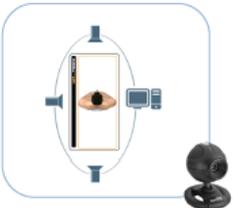
- Jusqu'à 8 en acquisition simultanée
- Accéléromètre/magnétomètre/gyroscope
- Acquisition jusqu'à 70Hz
- Mesures angulaires sur 3 axes
- Précis à +/- 2° près





Capteurs inertiels de mouvement (MotionPod)

<p>Taille (longueur/largeur) 32 x 21 mm</p> <p>Epaisseur 15 mm</p> <p>Poids 14 g</p> <p>Matériaux Polycarbonate</p> <p>Batterie 150mAh Li-ion polymère</p> <p>Durée batterie 6H</p> <p>Charge 2-3H</p> <p>Nombre de cycles 500</p>	<p>Nombre capteurs simultanés 8*</p> <p>Fréquence d'acquisition 25-200Hz *</p> <p>Bande de fréquence 2.4GHz</p> <p>Précision 1°</p> <p>Portée sans fil 30m</p> <p>Type d'interface PC/receveur USB</p> <p>Alimentation Par le câble USB</p> <p>Système d'exploitation Windows (XP, Vista, Seven)</p>
--	--



Synchronisation vidéo

Résolution 320 x 240 pixels*

Caméras simultanées Jusqu'à 3 caméras (uniquement dans RM.Lab)*

Fréquence d'acquisition 30 Hz*

Compatibilité Toute caméra USB

* performances fonctions de la configuration choisie et du poste informatique

Figure 3.14. Représentation schématique de l'utilisation des capteurs inertiels issue de la documentation de BioVal®

Dotés d'une couleur différente, chacun est dévolu à un étage spécifique :

- Le capteur **vert** analyse les mouvements du bassin dans les trois plans
- Le capteur **bleu** a pour mission d'analyser le comportement de la colonne lombaire
- Le capteur **rouge** sera dédié au rachis thoracique
- Le capteur **jaune** sera dévolu au rachis cervical

Ces quatre capteurs sont collés sur la peau via un socle sur lequel est fixé un puissant adhésif double face hypoallergénique. L'interface socle/peau est constituée d'un orifice en plastique capable de recevoir le capteur via une rotation d'un quart de tour dans le sens horaire et d'un adhésif plan. L'avantage de ce système de fixation est la possibilité qui est donnée de pouvoir ajuster précisément le capteur.

3.3.1.3.3 - Principe de fonctionnement des capteurs.

Ces capteurs inertiels Motion Pod™ que nous utilisons dans cette étude sont assimilables à des inclinomètres électroniques tridimensionnels. Les gyroscopes dont ils sont dotés donnent des grandeurs cinématiques (angle et vitesse instantanée de rotation) dans chacun des plans de l'espace. Les mesures concernent les mouvements de lacet, roulis et tangage autour de trois axes.

. Le *lacet* est un mouvement rotatoire horizontal d'un mobile autour d'un axe vertical.

. Le *tangage* est un mouvement rotatoire d'un mobile autour d'un axe transversal.

. Le *roulis* est un mouvement rotatoire d'un mobile autour d'un axe longitudinal.

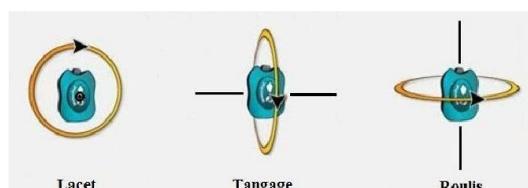


Schéma 3.10. Représentation des phénomènes de lacet, tangage et roulis appliquée aux Motion Pod™.

Toutefois, il convient de garder à l'esprit que les valeurs données par ces capteurs peuvent être faussées si certaines précautions d'utilisation ne sont pas observées et ce malgré la grande précision globale de BioVal®. C'est le cas en particulier du magnétisme ambiant, source perturbatrice majeure des capteurs, donc pour l'optimisation qualitative des résultats il convient d'éloigner toute source magnétique des capteurs et du receveur connecté au PC.

3.3.1.3.4 - Phase de calibration et paramétrage

La calibration de BioVal® s'effectue en usine et une procédure usuelle est recommandée régulièrement de façon à rendre les capteurs les plus performants possibles quelque soit l'environnement dans lequel ils évoluent. Pour ce faire, il convient d'effectuer une rotation de chaque capteur dans chaque plan ; cette procédure rapide, (20s), est à reproduire régulièrement.

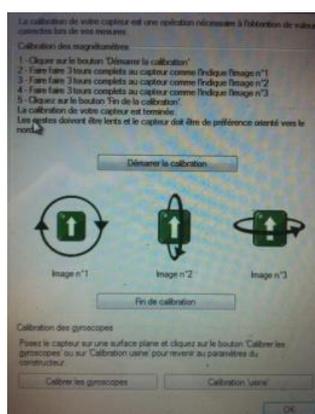


Schéma 3.11. Phase de calibration des capteurs

La phase de calibrage s'effectue en trois temps, un par plan. Pour chaque capteur, il convient de réaliser à trois reprises, une rotation dans le sens rotatoire horaire pour les lacets (plan horizontal) puis autour d'un axe transversal (plan sagittal) pour le tangage et enfin autour d'un axe sagittal (plan frontal) pour le roulis. Cette manœuvre souhaitable, est à réaliser périodiquement, de façon hebdomadaire. Pour le gyroscope, une procédure de calibrage est possible en plaçant le capteur sur une surface plane et en appuyant sur le cadre « calibrer ». Enfin, il est possible de réajuster, également de façon périodique, les valeurs instantanées des capteurs, évitant ainsi les déviations et ceci dans chaque plan ; en effet, l'utilisation au quotidien au voisinage de différentes sources magnétiques environnantes a pour conséquence d'entraîner au fil du temps, un décalage, qui pourrait s'avérer être problématique pour la qualité des mesures. C'est pourquoi, pour chaque mouvement, lacets, tangages et roulis, une pression sur la case « remise à zéro » permet un réajustement initial des capteurs.

CHAPITRE 4 - PROBLEMATIQUE et HYPOTHESE de cette RECHERCHE

4.1 - PROTOCOLE EXPERIMENTAL

4.1.1 - INTRODUCTION

Nous avons vu précédemment que les données cinématiques du rachis du cavalier tant sur le plan global qu'étagé (lacet – roulis – tangage) sont obtenues grâce aux capteurs inertiels sans fil positionnés sur l'axe rachidien des cavaliers, ce dernier étant installé sur le cheval mécanique, simulateur 2D. Ceux-ci sont en communication permanente avec un récepteur lui-même connecté à l'ordinateur, qui via le logiciel BioVal[®], va nous permettre d'exploiter au mieux les valeurs ainsi enregistrées sur différents supports.

L'objectif de ce protocole est d'évaluer le comportement cinématique rachidien de différentes populations de cavaliers de niveau équestre différent et de comparer ce que cela engendre sur les paramètres biomécaniques. Par conséquent, il se doit d'assurer des mesures reproductibles. Les conditions expérimentales exposées dans cette partie répondent concrètement à cette exigence.

4.1.2 - CHOIX DE L'OUTIL

Notre choix s'est donc porté de suite sur le système BioVal[®] élaboré par la société RM Ingénierie en partenariat avec MOVEO[®], elle-même issue du CEA Leti. Le principal atout de cette installation réside dans la notion de reproductibilité des analyses et enregistrements, ceci est d'abord possible par l'utilisation du simulateur 2D qui permet d'éliminer tous phénomènes parasites issus du comportement climatique, du cheval, du cavalier, etc.... ; d'autre part le choix du matériel basé sur les capteurs inertiels, valide cette volonté de reproductibilité et de facilité de réalisation. Le but est donc de pouvoir avec un système performant, peu encombrant et facile d'utilisation, de mieux appréhender le comportement rachidien de cavaliers de différents niveaux d'équitation. La motivation secondaire est d'étudier et de valider l'utilisation d'un outil à vocation diagnostic et rééducatif au quotidien dans nos cabinets, c'est-à-dire savoir si un système compact, relativement simple d'utilisation peut apporter un regard différent sur le comportement de la mécanique humaine.

4.1.3 – VALIDATION DE L'OUTIL

Afin de valider le protocole, nous avons au préalable effectué une mesure d'amplitude articulaire en actif, puis en passif du coude. Nous avons solidarisé un goniomètre sur le membre supérieur avec la branche fixe sur le bras et la branche mobile sur l'avant-bras. Nous avons couplé ce montage avec le système BioVal[®], pour lequel, nous avons installé les Motion Pod[™] comme suit : le capteur vert sur la face postérieure de l'avant bras, la flèche d'orientation vers le coude et le capteur bleu sur la face latérale externe du bras le plus près possible du coude pour éviter toute compensation de l'épaule, la flèche d'orientation là aussi vers le coude. Nous avons demandé au sujet d'effectuer une flexion active du coude en partant d'une position de rectitude totale, nous avons enregistré les valeurs angulaires affichées sur le goniomètre, de même que pour l'extension. Nous avons réalisé passivement ces mêmes mouvements, les résultats ont été notés. Enfin nous avons comparé toutes ces valeurs angulaires avec celles affichées par les capteurs et nous avons obtenu une similitude à 2° près ; dès lors notre système pouvait donc être considéré comme validé. De façon à assoir la crédibilité de notre méthodologie, nous avons donc demandé à deux autres opérateurs de réaliser ce

tests avec au final, le même résultat ce qui nous conforte dans notre choix du matériel d'une part et de la méthodologie d'autre part.

4.1.4 - DESCRIPTION DU MATERIEL UTILISE

4.1.3.1 - Le système BioVal®

Le détail du système a été détaillé dans le Chapitre 3

4.1.3.2 - Le cheval mécanique

4.1.2.3.1 - Description technique

Compte tenu des impératifs techniques et pour des raisons pratiques, l'étude a été menée en utilisant un « cheval mécanique ». Cet automate est fixe au sol, ce qui répond parfaitement à notre recherche de reproductibilité des enregistrements puisque nous éliminerons tous les artéfacts liés à la variabilité du sol, des conditions climatiques, voire du comportement équin lui-même. Ce système est fixe et fonctionne sur le même mode pour tous les cavaliers testés, quelque soit leur niveau d'équitation ; le nommé « Tatoonine » est un préparateur physique à l'équitation ; il a été mis au point par un confrère kinésithérapeute Pétéris KLAVINS afin de permettre aux cavaliers de perfectionner leur position. Il a donc l'avantage d'avoir une amplitude et une fréquence de mouvements constantes et donc d'obtenir des résultats reproductibles, situation impossible avec le cheval véritable. C'est pour cela que durant cette thèse, nous parlerons de « cheval mécanique » et non pas de simulateur puisque « Tatoonine » n'a pas la possibilité de reproduire dans les trois plans l'activité du cheval, considérant que seul le comportement du cavalier dans le plan sagittal nous intéressait, cet engin répondait donc parfaitement à notre attente.



Figure 4.1. Préparateur physique à l'équitation de P.KLAVINS

4.1.2.3.2 - Principe fonctionnel

Ce cheval mécanique est un système avec coque externe reproduisant le corps du cheval ; le tout est doté d'un système rotatoire de type ellipsoïdal, ce qui nous le verrons, aura pour conséquence une phase de montée plus lente (0.05s) que la phase de descente (0.03s). Mais ceci étant imposé et non modifiable, cela n'aura aucune incidence sur nos mesures. Le cheval n'a pas la possibilité de reproduire de façon exacte les allures du cheval mais se contente d'envisager une allure intermédiaire qui se rapproche du petit galop. Un sélecteur gradué de 0 à 70cycles/minute nous permet de régler la vitesse d'exécution et de définir ainsi ce qui se rapproche le plus du galop, ce que nous avons choisi.

Ici pour notre analyse, le choix s'est fait pour tous les cavaliers sur une vitesse d'exécution de 50cycles/minute.

4.1.2.3.3 - Description des phases

Le fonctionnement de ce cheval mécanique répond à un mouvement ellipsoïdal avec une phase haute et une basse. Dans un souci de correspondre le plus possible à ce que décrit le galop du cheval, nous constatons que :

- la position basse correspond à ce que HUMBERT* (2000) reprenait comme description dans sa thèse, au 1^{er} temps du galop où un postérieur vient prendre contact avec le sol, le cheval a alors une orientation vers le haut et l'avant, l'arrière main s'abaissant pour venir sous la masse du cheval induisant la poussée nécessaire à la propulsion de l'animal car il ne faut jamais oublier que le cheval est « une propulsion avec le moteur à l'arrière » et que toute la subtilité de l'équitation réside dans l'utilisation de ce savant équilibre. Dans cette phase, pour le cavalier, il y aura une tendance à faire face à un déséquilibre postérieur
- la position haute correspond au 3^{ème} temps du galop où l'antérieur opposé vient prendre contact avec le sol, ce qui ici vient orienter l'équidé vers l'avant et le bas, le faisant plonger sur les épaules donc avec une élévation de l'arrière main. Ici le cavalier devra faire face à un déséquilibre antérieur.

4.1.3.3 - Logitech HD Webcam C270

Les caractéristiques techniques cette caméra sont des appels vidéo HD (1 280 x 720 pixels) avec le système recommandé, une capture vidéo qui peut aller jusqu'à 1 280 x 720 pixels, une technologie Logitech Fluid Crystal™, une capacité jusqu'à 3 mégapixels pour la prise de photos, possède un microphone intégré et est certifiée USB 2.0 haut débit.

La configuration qui est requise est Windows Vista® ou Windows® 7 (32 ou 64 bits) ou Windows® 8

La configuration minimale souhaitée est de 1 GHz, 512 Mo de RAM, 200 Mo d'espace disque et nécessite une connexion Internet et un port USB 1.1 (2.0 recommandé).

4.1.5 - CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION ETUDIEE

Afin d'étudier les paramètres biomécaniques impliqués dans le fonctionnement rachidien du cavalier, nous avons recruté 47 sujets pratiquant l'équitation à des niveaux différents. 15 ont été choisis par rapport à leur très faible connaissance et compétence en équitation.

Il s'agit de cavaliers indépendants dits « NOVICES » c'est-à-dire totalement débutants. Ils ont un niveau équestre minime (Galop 0 ou 1), et ils sont capables de tenir assis sur le cheval mais ne maîtrisent pas totalement les trois allures (pas – trot – galop). Le panel d'âge est assez large puisqu'il va de 18 ans à 51 ans.

15 autres cavaliers sont décrits comme étant « CONFIRMES », c'est-à-dire, pratiquant l'équitation à raison de 2fois par semaine avec un niveau compatible avec la pratique seul en extérieur. Ils sont autonomes aux trois allures et pour certains participent même à des compétitions CLUB.

Le dernier groupe est composé de 17 cavaliers classés comme « EXPERTS », qui ont été retenus par rapport à leur grande pratique de l'équitation (plusieurs heures par jour) et leur grande compétence

dans l'art équestre (minimum galop 7, c'est-à-dire capables de travailler le cheval sur deux pistes avec des déplacements latéraux des hanches ou des épaules notamment).

Tous ces cavaliers ont bénéficié d'un bilan locomoteur qui s'est avéré être vierge de toute affection de l'appareil locomoteur. Ont été exclus, les sujets porteurs d'affection rhumatologique, neurologique et de toutes celles qui par leurs antécédents traumatiques risquaient de générer des attitudes compensatrices incompatibles avec l'esprit même de cette recherche. En effet, nous cherchions à enregistrer, analyser et comprendre le comportement rachidien de tous ces cavaliers en fonction de leur niveau de compétences équestres ; s'il devait y avoir attitudes compensatrices, elles devaient être uniquement issues de leur niveau d'équitation et non pas être la conséquence d'un épisode traumatologique antérieur. De la même manière, il était hors de question d'avoir des résultats parasités par des comportements compensateurs issus par exemple de problèmes de croissance type épiphysite de croissance ou maladie de Scheuermann.

Nous avons sur le même principe écarté les sujets porteurs de rachialgies de tout type y compris et surtout les pathologies discales qui seront à coup sûr à l'origine de modifications comportementales en selle ; c'est pourquoi nous avons préféré ne pas les retenir pour cette étude. Seule une élève monitrice, porteuse d'une hyperlordose a été tout de même retenue, car il nous paraissait intéressant de pouvoir analyser sur ce type de sujet son comportement en selle ; ceci nous permettra d'avoir un aperçu de l'impact de l'équitation sur d'éventuelles pathologies rachidiennes, bien que cet aspect n'était pas prévu au départ. Cela nous donnera l'occasion d'élargir notre champ de perspectives et de futures investigations.

Enfin, pour anticiper d'éventuelles remarques sur les critères de sélection, il nous a semblé impératif d'adopter des éléments objectifs, comparables, à savoir, la fréquence et l'intensité de la pratique équestre (supérieure à 2h par jour) et le niveau de compétences équestres (Galop 7 FFE).

Toute autre considération, telle que l'utilisation de la flexion de hanche, nous a semblé faire une part belle à la subjectivité. D'autre part, l'idée générale de cette étude est d'étudier le comportement spécifique de trois catégories de cavaliers de niveau différent ; pour cela, il fallait pouvoir les appréhender dans une situation qui leur était la plus naturelle possible, faute de quoi, l'on instillerait une dose compensatrice dans leur manière de se comporter à cheval ; c'est d'ailleurs, pour cette raison que le choix de la longueur des étrivières leur a été laissé. Nous sommes conscients que cela puisse heurter la réflexion, mais l'étude ne portait pas sur l'analyse du comportement de cavaliers dans une position prédéfinie, standardisée au départ, mais plutôt sur l'appréciation de la manière « naturelle », instinctive, de se mouvoir sur le dos du cheval ; pour cela on se devait d'être le moins restrictif possible.

4.2 - PROTOCOLE D'ENREGISTREMENT

4.2.1 - POSITIONNEMENT DES CAPTEURS

Pour cette étude, nous avons donc opté pour 4 capteurs Bluetooth⁴⁶ positionnés sur le rachis. Pour ce faire, nous choisirons le programme « MARCHÉ – Rachis – 4 capteurs ». Dans notre étude rachi-

⁴⁶ Standard de communication permettant l'échange bidirectionnel de données à très courte distance et utilisant des ondes radio UHF.

dienne, le positionnement des quatre capteurs est primordial pour la qualité des réponses obtenues. Ceci doit être réalisé avec un maximum de précision suivant des repères anatomiques (au préalable définis et marqués sur le patient) où la cinématique effectuée par le rachis sera ensuite appréhendée par le capteur. Pour avoir un maximum de précision, le sujet se tient debout, en situation relâchée, nous tournant le dos. Pour maximaliser l'efficacité de la procédure, le placement des capteurs s'effectue en deux temps :

- Positionnement des interfaces peau/adhésif, c'est-à-dire, des supports adhésifs sur la peau avec repérage de l'apophyse épineuse de L5 pour le vert, de celle de Th12 pour le bleu, de Th1 pour le rouge et de C4 pour le jaune.
- Ensuite, placement des capteurs sur les supports en respectant la verticalité de l'axe rachidien avec orientation caudale.

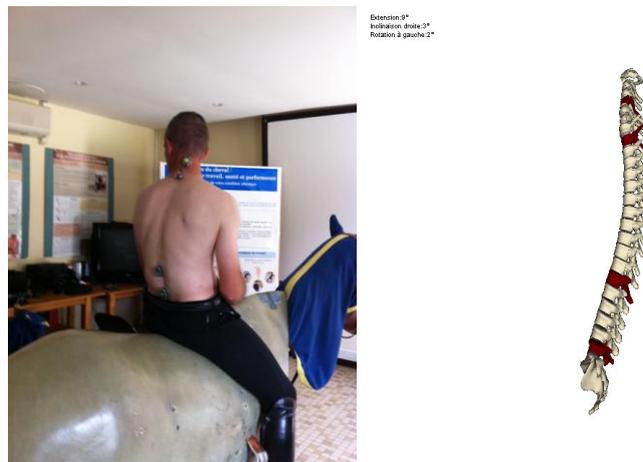


Figure 4.2. Visualisation comparative du sujet sur simulateur équestre et sa représentation rachidienne en 3D.

Cependant, afin d'accroître les capacités de connexion entre les capteurs et le module de réception du signal branché en port USB sur le PC, il est préférable, comme décrit ci-dessus, de réaliser l'installation des capteurs en deux temps, en ayant pris soin auparavant de placer les capteurs sur un plan horizontal et de débiter la phase connectique. Seulement ensuite, les capteurs dont le signal aura été détecté par le module pourront être installés. Enfin, avant toute acquisition, il est souhaitable de calibrer les capteurs afin d'étalonner les magnétomètres par rapport au magnétisme ambiant.

4.2.2 - POSITIONS POUR L'ENREGISTREMENT

Pour cette étude sur la cinématique rachidienne du cavalier, nous avons déterminé qu'il nous paraissait intéressant d'étudier le comportement de l'axe rachidien du cavalier d'abord dans la marche, puis sur le cheval mécanique. Dans cette dernière situation, nous avons pu déterminer que le cycle rotatoire choisi correspondait à l'allure du galop avec une phase dite « basse » qui correspond au 1^{er} temps du galop où le cheval attaque le sol avec un postérieur qui s'engage sous la masse du cavalier et une phase « haute » qui correspond au 3^{ème} temps du galop où le cheval vient posé au sol l'antérieur.

La marche quant à elle doit être la plus libre possible, avec un balancement spontané des membres supérieurs. La situation sur le cheval mécanique elle doit être la plus naturelle possible, à l'identique de celle que le cavalier adopte lorsqu'il est sur un cheval véritable. Seul le choix de la selle lui est imposé, de façon à standardiser les enregistrements car les conséquences de positionnement sont tellement grandes d'une selle à l'autre, qu'il était important de minimiser à l'excès les éléments dits « parasites » pour cette étude comparative. Par contre, comme justifié ci-dessus, le choix de la longueur des étrivières leur a été laissé. Un seul impératif, celui de rester assis en selle car en aucun cas, il ne doit pouvoir opter pour une position en suspension au dessus de la selle.

4.2.3 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

4.2.3.1 - Les capteurs

Comme nous l'avons vu dans le Chapitre 3, l'étude du rachis via le protocole BioVal® « Marche – Rachis – 4capteurs » nécessite le positionnement des capteurs comme suit :

- Le capteur vert sur apophyse épineuse de L5, flèche d'orientation du capteur vers le bas – repère : épineuse passant par la ligne joignant les crêtes iliaques.



Figure 4.3. Vue supérieure du capteur vert et de son positionnement sur L5.

- Le capteur bleu sur apophyse épineuse de Th12, flèche orientation du capteur vers le bas – repère : remonter de 6 vertèbres au dessus de L5 ou descendre de 5 vertèbres à partir de la ligne qui unit les pointes des 2 scapula (au niveau de Th7).



Figure 4.4. Vue supérieure du capteur bleu et de son positionnement sur Th12.

- Le capteur rouge sur apophyse épineuse de Th1, flèche orientation du capteur vers le bas – repère : descendre d'une vertèbre à partir de C7.



Figure 4.5. Vue supérieure du capteur rouge et de son positionnement sur Th1.

- Le capteur jaune sur apophyse de C4, flèche orientation du capteur vers le bas – repère : remonter de 3 vertèbres à partir de C7.



Figure 4.6. Vue supérieure du capteur jaune et de son positionnement sur C4.

Quelques précautions sont à observer pour obtenir des valeurs précises, il est nécessaire d'avoir les capteurs totalement immobiles à plat, sur la table ou sur le rail de chargement pendant au minimum 3 secondes après la connexion (les voyants des capteurs clignotent en vert et celui du récepteur en bleu). Ensuite seulement, il est possible de les placer sur le sujet et de procéder à l'analyse. Enfin, il convient de garder à l'esprit que l'analyse s'effectue sur une ligne droite, donc le sujet ne doit absolument pas faire demi-tour. Ces précautions observées, l'analyse nous permettra d'obtenir une visualisation 3D du rachis au cours du mouvement ainsi que les amplitudes maximales du rachis global mais aussi segmentaires au niveau cervical, thoracique, lombaire et du bassin.

4.2.3.2 - Le récepteur

Il s'agit du boîtier qui reçoit le signal des capteurs sans fil et qui relié à l'ordinateur permet via le logiciel, de transcrire les données en tableaux Excel®, en graphiques et en représentation 3D.

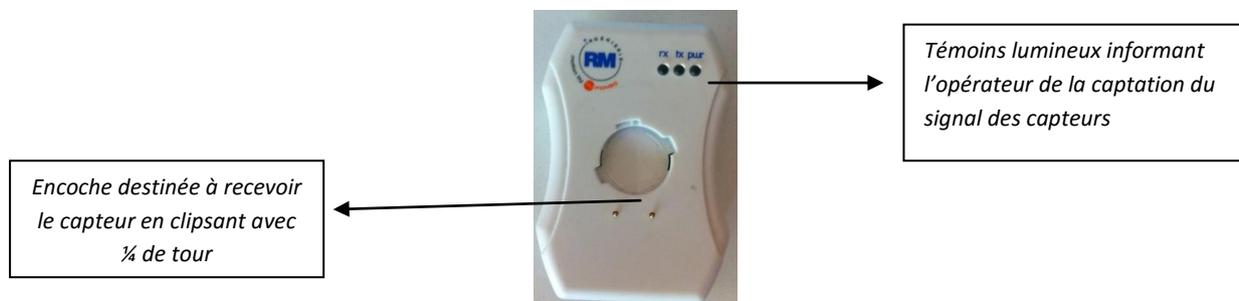


Figure 4.7. Vue supérieure du récepteur.

- l'ordinateur portable classique nécessite aucune modification particulière, le logiciel BioVal® se charge facilement, pour le peu qu'il dispose d'une interface USB 1.1, 2.0 mais sans driver spécifique.

- la webcam, utilisée pour cette étude est une Logitech HD Webcam C270. Elle possède les caractéristiques techniques suivantes : Appels vidéo HD (1 280 x 720 pixels) avec le système recommandé, Capture vidéo: jusqu'à 1 280 x 720 pixels, Technologie Logitech Fluid Crystal™, Photos: jusqu'à 3 mégapixels (avec interpolation logicielle), Microphone intégré avec réduction des bruits, Certifiée USB 2.0 haut débit (recommandé). Configuration requise: Windows Vista®, Windows® 7 (32 ou 64 bits) ou Windows® 8. Configuration minimale: 1 GHz, 512 Mo de RAM ou plus, 200 Mo d'espace disque, Connexion Internet, Port USB 2.0 recommandé.

- le cheval mécanique, que nous avons décrit précédemment.

4.2.4 - DEROULEMENT D'UNE SEANCE

La séance d'enregistrement de la cinématique rachidienne est globalement identique que l'on procède à l'analyse durant la marche ou lors de séquences sur le cheval mécanique ; seuls quelques particularismes viennent apporter une petite touche de différence. Nous aborderons la séance de travail classique qui a été la notre durant cette étude, c'est-à-dire l'analyse couplée avec la vidéo.

- 1) S'assurer de la connexion via la rallonge USB de la webcam à l'ordinateur (en prenant soin ensuite de décocher la case dédiée à la caméra du PC). Résolution de 320x240 pixels et 30 Hz de fréquence d'acquisition ;
- 2) Veiller au positionnement du bassin car celui-ci servira de référence pour les étages sus-jacents ;
- 3) Lancer le logiciel et vérifier la communication avec les capteurs inertiels, la connexion entre le récepteur et les capteurs doit être assurée ; pour ce faire, il est préférable de poser d'abord les Motion Pod™ sur un plan horizontal, puis lancer la reconnaissance par le module récepteur, puis une fois reconnus, placer les capteurs, en respectant les couleurs et le sens directionnel. Noter que la variabilité du capteur est de l'ordre de 1° ;
- 4) Placer le capteur de référence au niveau du bassin, plus précisément sur l'apophyse épineuse de L5, puis lancer l'enregistrement par une pression sur le capteur ;
- 5) Choisir le mode d'enregistrement chaussé ou pas (ici, nous avons décidé de tester les cavaliers avec les pieds chaussés de la même façon durant la marche et à cheval) ;
- 6) Choisir la durée de la séquence d'enregistrement ; ici il a été convenu de travailler sur des plages de 20s ;
- 7) Ensuite seulement l'enregistrement peut être lancé en prenant soin au final de noter la présence ou pas de phénomènes douloureux ou de quelconques traces de pénibilité d'exécution dans le mouvement. La visualisation globale affichée correspond à la somme des valeurs enregistrées segment par segment, toujours par rapport à la référence verticale. L'amplitude visualisée sur les courbes est la différence entre l'amplitude maximale obtenue et la position initiale.

Cette procédure s'avère être la même pour l'enregistrement des cavaliers durant la marche et sur le simulateur. La différence tient au déficit de synchronisation due à la mise en route du cheval mécanique ; il y a un temps t de « lancement » de la machine pour qu'elle soit à son rythme de travail ; par

conséquent, nous avons convenu, par souci d'objectivité, de ne pas traiter les informations issues des 5 premières secondes d'enregistrement.

De plus la visualisation 3D nous permet d'apprécier la mobilité fonctionnelle globale du rachis par le traitement simultané et synchrone des quatre capteurs. Enfin, le couplage capteurs/vidéo nous permet de définir les trois positions d'étude sur le cheval mécanique : statique, basse et haute, avec pour chacune d'entre elles, la possibilité d'obtenir une modélisation 3D associée à des courbes (globale ou région par région) et à des valeurs « instantanées brutes » classées dans une tabulation Excel®. C'est cette possibilité couplée enregistrement/vidéo qui a servi de fil conducteur pour notre étude ; là-dessus est venu se greffer les paramètres d'enregistrement purement locaux, directement issus des valeurs instantanées.

Nous n'avons pas pu, faute de moyens suffisants, envisager un mode opératoire plus conséquent mais il est envisagé pour nos travaux futurs sur le « cheval vivant ». En effet, nous projetons, pour réduire l'interface opérateur/enregistrement, de coupler le déclenchement de l'enregistrement à une cellule photoélectrique qui pourra, dès que le cheval coupera le faisceau lumineux, démarrer de façon automatique et autonome l'enregistrement de la séquence. Nous sommes parvenus, comme mentionné ci-dessus, à faire abstraction de cet artéfact en délaissant les 5 premières secondes d'enregistrement, mais les futures études bénéficieront de cette installation technique.

4.2.5 - ERREURS ET EFFETS PARASITES

Le choix initial du matériel a été fait en fonction de l'élimination maximale des éléments perturbateurs. C'est ainsi que l'utilisation du cheval mécanique, simulateur 2D, a été préféré au modèle vivant. La reproductibilité des analyses à la fois dans le temps, quelle que soient les conditions intrinsèques ou extrinsèques, ou par rapport à l'opérateur, a été l'élément majeur qui a guidé notre choix. Le second fut la réduction maximale des possibilités d'erreurs, c'est pourquoi, d'emblée, nous avons opté pour une selle unique pour tous les cavaliers. Il s'agit d'une selle dite « club » qui ne présente aucune des caractéristiques spécifiques qui peuvent être présentes en CSO, en Dressage ou en Endurance. Ce choix a donc, dès le départ, permis d'éliminer des modifications comportementales induites par le type de selle ; c'est ainsi par exemple que la selle de dressage qui présente un troussequin particulièrement marqué aura pour incidence de projeter le pubis du cavalier vers le pommeau, modifiant ainsi de manière automatique, le positionnement du bassin, ce qui était inacceptable. Secondement, il nous a fallu être vigilant sur le positionnement des capteurs au niveau des vertèbres. Pour cela, les repères anatomiques constituaient l'élément basique de cette étude. L'examen clinique nous a facilité la tâche pour effectuer le positionnement des Motion Pod™. Reste un élément incontournable : le glissement de la peau. C'est un des artéfacts majeurs principalement rencontré dans les mesures du déplacement relatif des dispositifs externes (marqueurs ou capteurs). En effet, le squelette est entouré d'éléments mous à l'instar des muscles, des masses adipeuses, liquidiennes ou de la peau. En effet, les repères anatomiques ne sont pas des points exquis mais plutôt des zones relativement larges avec des surfaces irrégulières et surtout recouverts de tissus mous qui rendent parfois la palpation délicate.

Les mouvements segmentaires, y compris la marche vont générer des déplacements parasites entre la peau et les tissus sous-jacents. Ce qui fait que pour DELLA CROCE et al* (1997), l'erreur liée à la position des dispositifs d'enregistrement sur la peau est une des grandes causes d'approximation

dans l'analyse du mouvement. A cette intention, certains auteurs se sont intéressés à ce problème et ont proposé plusieurs points de vue et différentes méthodes, comme VELPAUS et al* (1988) qui optent pour une méthode de minimisation des écarts. CHEZE et al* (1995) appliquent quant à eux, une méthode dite de solidification. Enfin, LU et al* (1999) adoptent une méthode d'optimisation globale.

Ces mouvements dits « parasites » sont plus ou moins importants selon les segments ; de plus ils sont directement influencés par les accélérations et décélérations importantes car les tissus humains et les matériaux des capteurs n'ont pas la même inertie. Certes, nous avons pris note de ces aléas et de la possibilité de leur survenue, mais à cela, nous avons plusieurs remarques à mettre en avant : Notre étude est faite sur les déplacements segmentaires rachidiens dans le plan sagittal. Or en considérant, le positionnement des capteurs à plat sur la face postérieure du tronc, il est peu probable que les mouvements antéropostérieurs générés par le tronc, soient d'intensité ou d'accélération telle que la fixation adhésive soit mise à mal. Il en aurait été autrement pour l'analyse des mouvements latéraux (donc dans le plan frontal) et rotatoires (dans le plan horizontal) où les déplacements sont proches de cisaillements ou de frictions qui eux sont susceptibles de modifications positionnelles.

Conscient de cette possibilité, nous nous sommes efforcés de voir autour de nous, s'il y avait un risque d'artéfact dû au mouvement de la peau en ce qui concerne nos capteurs ; certes le risque existe mais il est suffisamment infime pour considérer qu'il y avait peu de probabilité de voir des déplacements tels que les enregistrements s'en trouvent altérés. Donc au final, nous avons considéré que le risque existait mais qu'il était tel que les valeurs enregistrées ne pouvaient s'en trouver modifiées ; d'autre part, hormis l'implantation de capteurs « intra osseux », il y a peu de moyens d'enregistrer la cinématique rachidienne sans placer des marqueurs ou capteurs de manière adhésive sur le tronc.

4.3 - HYPOTHESES de TRAVAIL

4.3.1 - PISTES DE REFLEXION ENVISAGEES PAR RAPPORT AU CAVALIER.

L'idée de départ de ce travail de recherche était à facettes multiples ; en effet l'intérêt de ce travail trouvait son origine dans l'acquisition, pour le cabinet, du système BioVal®. Dès les premières analyses avec les patients, il nous a paru évident que les applications de ce concept puissent trouver d'autres orientations que celles de la rééducation. Très vite, il nous a semblé intéressant d'envisager une utilisation dans le monde équestre. Dès lors, après un tour de table rapide parmi les connaissances dans ce milieu, la constatation s'imposait à nous : BioVal® nous servirait à travailler dans le monde de l'équitation, restait à trouver la discipline. Il nous est apparu évident, compte tenu du contexte familial, d'investir le domaine de l'attelage de compétition, mais très vite, les limites technologiques se présentaient à nous. En effet, le manque de praticité, associé au magnétisme important des voitures d'attelage, nous ont dissuadés de poursuivre nos travaux dans ce sens.

Restait le domaine du cavalier. Pour être tout à fait honnête, c'était un monde que je ne connaissais pas très bien mais à force de lecture, de rencontres et d'études sur le terrain, nous avons décidé d'entreprendre cette étude sur le cavalier. Ensuite, nous nous sommes posé la question de savoir comment utiliser ce système, sur quoi l'utiliser, et surtout quels éléments étudier ? Là encore, la solution s'offrait à nous, puisqu'à de nombreuses reprises, la question de l'opportunité de la pratique équestre chez des sujets rachialgiques se présentait à nous au cabinet. La question était posée :

« la pratique de l'équitation est elle préjudiciable au rachis ? ». Telle était la clef de voûte de notre raisonnement. Mais cela ne suffisait pas et la fréquentation des centres équestres a achevé de nous convaincre. En effet, combien de fois ai-je entendu les enseignants d'équitation répéter inlassablement à leurs élèves : « Tiens-toi droit ! » ou « Redresse toi ! ». L'idée de base était trouvée, nous allions travailler sur le comportement du rachis du cavalier, puis progressivement, à la lecture de différents traités équestres, il nous a semblé judicieux d'étudier les relations entre les compétences équestres et le comportement rachidien du cavalier. Les bases étaient posées et notre dossier prenait corps.

Restait à déterminer le corpus de cette étude. Il était double. D'un côté, le but était d'étudier comment le niveau de compétence en équitation pouvait influencer le comportement rachidien du cavalier. Ceci venait s'appuyer sur la lecture des traités équestres ancestraux qui définissaient le fonctionnement rachidien du cavalier et sa posture à cheval. Ensuite, la lecture de différentes publications parues fin XXème et début XXIème siècle telles que celles de KEEGAN* (1953) ou AUVINET* (1978), nous donnaient l'occasion d'apporter un regard nouveau sur la position du cavalier et la façon dont celui-ci utilisait son axe vertébral. Bon nombre d'auteurs mettaient en exergue l'utilisation plus ou moins intense de lordose lombaire dans le rythme induit par la locomotion du cheval. Plusieurs choses nous intriguaient, à commencer par l'absence d'études qui offraient la possibilité de reproductibilité des analyses ; en effet, beaucoup de travaux qui ont souvent porté sur un panel de quelques cavaliers assis sur des chevaux montraient que les sujets « voussaient le rein » lors de la descente de la selle et « creusait le rein » lors de la montée de la selle. Comment objectiver ce fait ? Comment le quantifier et pouvait-on le faire ? Nous optons pour l'utilisation du système BioVal® et de sa modélisation 3D. Ceci nous permettrait de visualiser le comportement rachidien du cavalier dans les trois plans et de quantifier ses déplacements. Toutefois, compte tenu de l'importance de la tâche et du temps qui nous était imparti, il nous a semblé préférable de centrer nos investigations sur les déplacements dans le plan sagittal (donc flexion/extension). Il restait à résoudre le problème de la reproductibilité, élément impératif pour la réalisation de cette étude doctorale. Cela fut chose faite avec la solution du cheval mécanique, simulateur équestre 2D. Il eut été préférable, d'utiliser un système 3D type Persival⁴⁷ mais ce dernier était indisponible au moment de cette étude. Qu'importe, le modèle 2D, mis au point par Pétéris KLAVINS, a pour vocation initiale, de proposer un outil de travail et de perfectionnement à tout cavalier désireux de parfaire son attitude à cheval.

Notre travail pouvait débuter et nos pistes de travail se développer. Notre idée majeure était donc de mettre en avant l'influence du niveau équestre sur le comportement rachidien du cavalier ; cela était séduisant intellectuellement mais bien évidemment cela ne suffisait pas et il fallait l'objectiver. L'idée même que le cavalier « novice » puisse se comporter de manière différente par rapport à « l'expert » était intéressante et BioVal® allait nous permettre d'envisager cette piste de réflexion. Le but est de voir si des cavaliers de niveau équestres différents, répartis dans trois groupes : novices, confirmés et experts, ont un fonctionnement rachidien particulier. Pour ce faire, nous nous sommes rapprochés des travaux de GALLOUX*, BIAU* et coll (2007) qui venaient prendre le contre pied des grands enseignements équestres quant au positionnement pelvien, et ceci pour toutes les allures, y compris le

⁴⁷ Simulateur 3D utilisé à l'ENE, monté sur vérins hydraulique qui reproduit avec une relative exactitude le comportement équestre quelle que soit la discipline pratiquée.

galop, qui ici nous intéresse. Considérant également les propos de PAILLEX* et PLAIX* (1996) qui affirmaient « qu'aucune position fut elle bonne, ne peut être maintenue longtemps », il nous a paru opportun d'étudier la véracité de ces déclarations et de voir si en fonction des compétences de chaque cavalier, une position dite « type » se dégageait et si elle était continue durant le cycle du simulateur.

Dans cette optique, en parallèle, il était aussi judicieux d'étudier quelles pouvaient être les différences de fonctionnement, si différence il y avait. Ensuite, en fonction des différences éventuelles mises en évidence, l'idée était de les localiser, de les quantifier pour mieux les appréhender. HUMBERT* (2000) reprenait dans sa thèse de médecine, les études de TEYSSANDIER* (2003) et HORDEGEN* (1981) qui estimaient voir une relation de causalité entre la survenue de lombalgies statiques et la pratique de l'équitation ; la sédation des douleurs survenait d'ailleurs avec l'arrêt de l'activité. Ajouter à cela, l'étude d'AUVINET* (1977) qui confirmait chez les cavaliers de l'ENE qui montaient plus de 3 à 5h par jour, une recrudescence de sujets présentant une hyperlordose associée à des rachialgies basses ; il était alors judicieux de voir s'il existait un différentiel comportemental au niveau du rachis capable de mieux appréhender d'éventuelles pathologies induites par la pratique d'une part, et surtout par l'attitude adoptée durant l'activité équestre d'autre part.

En outre, si nous nous référons à l'étude de TEYSSANDIER* (1991) réalisée simplement sur 4 cavaliers où elle met en avant la nécessité d'adaptation du complexe lombo pelvien sous réserve d'avoir une intégrité totale au niveau de la coxo-fémorale mais avec une variante, la longueur des étrivières. A cela, nous tenterons de vérifier s'il est primordial d'avoir une capacité d'adaptation du complexe lombo-pelvien d'une part et d'autre part s'il s'agit d'un dénominateur commun à tous les cavaliers ou si, justement, cela varie en fonction du niveau de compétences du cavalier. Dans ce contexte, ce qui nous a séduit, c'est d'analyser entre autre choses, le rôle spécifique du complexe lombo-pelvien en fonction des sujets et de noter si ce dernier est ou non l'élément pivot de la statique du cavalier. De la même manière, nous avons été sensibles au concept du « balancier global » développé par Pétéris KLAVINS, créateur du cheval mécanique utilisé pour notre étude. Il nous a donc paru évident d'étudier cette théorie et de voir par l'intermédiaire de nos capteurs inertiels si comme l'affirme notre collègue, l'élément primordial dans la cinématique du cavalier se situe au niveau de la coxo-fémorale et non au niveau essentiellement du complexe lombo-pelvien comme nous l'avons tous appris.

Enfin et surtout, comment ne pas évoquer MÜSELER*(1962) pour étayer le raisonnement de base de notre recherche. Il a décrit trois modes d'adaptation pelvienne et a ainsi pu définir des conséquences sur le rachis lombaire. L'importance qu'accorde MÜSELER* à ce qu'il nomme « rein voussé » donc délordose issue de la rétroversion du bassin, sera étudié dans les trois groupes de cavaliers, ce qui permettra d'objectiver son importance, voire même de la quantifier.

Tout cela ne devait pas se limiter là et il convenait que cela débouche sur des applications directes. Définir des différences de comportement du cavalier sur son cheval, c'est une chose, mais les étudier pour que cela puisse au final servir au cavalier, à son entourage, dans un esprit de progression, serait plus utile. C'est pour cela qu'il nous a semblé important que ce travail puisse aboutir à :

- Une REFLEXION avec la prise en compte de la position de chaque cavalier sur son cheval ;

- Une ANALYSE avec la compréhension de cette position et de ses conséquences sur le fonctionnement du cavalier ;
- Une APPLICATION PEDAGOGIQUE avec l'utilisation de la compréhension de cette position dans un esprit de pédagogie équestre. Une fois, le comportement cinématique du cavalier défini, analysé, il sera dès lors plus facile pour l'enseignant d'objectiver les étapes de son enseignement vis-à-vis de son élève. L'analyse de la position de son élève, via la modélisation 3D de BioVal®, lui permettra de mettre l'accent sur les points perfectibles de cette dernière ;
- Une APPLICATION SPORTIVE car de la même manière, le coach sportif pourra utiliser les analyses biomécaniques de son cavalier pour mettre en avant les faiblesses gestuelles synonymes de moindre performance sportive. Avec l'objectivisation d'un geste sportif défaillant (ici au niveau rachidien), cela permettra de l'éliminer et d'y apporter une solution génératrice de progrès. Connaissant l'interactivité de la position du cavalier et du comportement du cheval, il sera aisé pour le coach d'étudier le fonctionnement du couple homme/cheval et d'y porter remède ;
- Une APPLICATION MEDICO REEDUCATIVE avec l'intégration de la physiologie fonctionnelle rachidienne du cavalier par le staff médical (médecin, kinésithérapeute). En effet, la connaissance du comportement rachidien par l'équipe médicale permettra d'envisager à la fois une politique prophylactique afin d'éviter ou de minimiser les éventuels problèmes issus des positions « délicates » prises par le cavalier. Le vieux proverbe nous ayant toujours enseigné que « mieux valait prévenir que guérir ! », il nous importait de pouvoir proposer à tout le monde un tableau physique en rapport avec les zones concernées ; connaissant les zones fragiles ou censées être soumises à d'importantes contraintes, cela en fonction de ce que l'analyse BioVal® aura mis en avant. Deuxièmement, en étant informés des éventuelles localisations problématiques, il sera dès lors plus aisé d'envisager un traitement des plus adaptés à ces situations. Ce point de vue, directement issu de notre expérience clinique quotidienne, a abouti à renforcer cette idée de départ. Connaître le fonctionnement rachidien du cavalier pour mieux appréhender ses problèmes, ses défaillances, c'est le fondement même de notre réflexion ;
- Une APPLICATION EQUESTRE avec l'utilisation des données récoltées par les « gens de chevaux », car notre étude aura permis de mettre en relation attitude du cavalier et comportement du cheval ; il devenait alors essentiel de pouvoir aborder le comportement du cheval de manière différente, c'est-à-dire avec la parfaite connaissance du fonctionnement du cavalier qu'il porte sur son dos. Car de ses caractéristiques dépendra son évolution, sa faculté à suivre son cavalier pour aboutir à une adéquation totale entre l'homme et le cheval. A l'image des chuchoteurs venus des USA, il nous a semblé particulièrement pertinent de proposer aux « dresseurs » de chevaux, un outil ou du moins ses analyses, pour aborder sous un angle nouveau la relation cavalier/monture. Très lointaine de notre idée directrice, cette application comportementaliste permettrait d'avoir un regard différent sur la position du cavalier à cheval.

4.3.2 - SITUATIONS ETUDIEES

4.3.2.1 - Durant la marche

C'est cette situation qui nous servira de « valeur étalon » pour notre étude. Notre idée de départ est d'analyser, de comparer le comportement rachidien des cavaliers des trois groupes différents d'abord dans une marche normale, puis sur le cheval mécanique. D'autre part, la séquence « marche » nous permettrait de repérer toute anomalie de locomotion, qui pourrait être issue d'une affection ostéo-articulaire, ce qui sera source d'élimination de notre étude. D'autre part, l'enregistrement durant la marche, permettrait également de mettre en évidence la capacité auto érectrice de la station assise équestre.

4.3.2.2 - Sur le cheval mécanique au repos

L'utilisation du cheval mécanique, véritable simulateur 2D nous permet d'envisager plusieurs situations pour notre étude. En effet, il est possible de définir trois positions : statique au repos puis en action une position basse puis haute. La position statique au repos, constitue là encore une valeur de référence sur le cheval mécanique, mais surtout elle permet de comparer la cinématique rachidienne entre la station bipédique et assise. Dans notre étude, la seule attitude du cavalier sur le cheval au repos sera révélatrice d'un comportement ultérieur ; de là, une ébauche biomécanique pour chaque groupe pourra être envisagée. Dans le cas présent, lors du passage de la position « marche » à la « station assis statique », la flexion passe d'une quasi rectitude où le membre inférieur est normalement aligné dans l'axe du tronc donc en rectitude à une flexion de hanche qui varie entre 110° et 130°.

Si l'on se refait à KAPANDJI* (1980), la flexion va entraîner une rétroversion du bassin ce qui normalement, aura pour incidence d'effacer la lordose lombaire. Dans ce type de situation (passage de la position debout à assise), CARR* et COLL (2002) mettent l'accent sur la nécessité de prendre en compte les paramètres que sont le mouvement réalisé et sa vitesse d'exécution.

Mais il est un impératif, celui du maintien ou du respect, autant que faire se peut, des courbures physiologiques afin de gérer au mieux la répartition des contraintes comme le souligne STRANDEN* (2000).

Dans le cas présent, le fait de venir s'asseoir sur le cheval (ici mécanique donc avec une stabilité des contraintes et une absence d'éléments extérieurs parasites) va impliquer la mise en œuvre de ce que DUFOUR* et PILLU* (2002) appellent le maintien axial et non vertical strict puisque dans ce cas de figure, il est actif de par l'activité dynamique générée par cette position ; cela entraîne donc une notion de variabilité situationnelle, elle-même issue de variations quant à la participation musculaire. Dans ce cas, le cavalier ne s'échappe pas de sa position assise « au profit d'un dossier », mais au contraire il l'assume pleinement, activement au niveau hanche (avec combinaison flexion/abduction et rotation externe) et du rachis. Enfin, l'étude de la station assise statique sera révélatrice de celle qui est usuelle pour le cavalier lors de l'arrêt.

4.3.2.3 - Sur le cheval mécanique en position basse

La position dite « basse » du cheval mécanique à une fréquence de 50Hz, correspond à la 1^{ère} phase du galop assis. HUMBERT* (2000) le décrit en détail comme étant la phase où le membre postérieur

s'engage sous la masse du cheval, l'accélération longitudinale débute, combinée à la force de sustentation générée par l'abaissement de l'arrière main en appui sur son membre postérieur. Le bassin du cavalier effectue une rétroversion qui entraîne la colonne lombaire en flexion. Ceci est cependant limité par la tendance à la projection postérieure du tronc, issue de l'accélération longitudinale. Cette position basse est décrite par de nombreux auteurs, comme génératrice de bascule postérieure pelvienne. C'est pour cela qu'il nous a paru important d'étudier la situation mécanique du cavalier dans cette attitude.

4.3.2.4 - Sur le cheval mécanique en position haute

Cette position dite « haute » correspond sur le cheval mécanique utilisé à une fréquence de 50Hz, à la 3^{ème} phase du galop assis. HUMBERT* (2000) dans sa thèse, la décrit précisément avec le poser du membre antérieur (opposé au membre postérieur précédent) au sol qui détermine la latéralisation du galop. Ces variations de l'accélération associée à une descente de l'avant main, ce qui a pour conséquence d'entraîner le bassin en antéversion et ainsi d'accroître la lordose lombaire (elle-même augmentée par l'inertie du tronc issue de l'accélération). Là encore, cette position pouvait être étudiée et l'antéversion du bassin mise en évidence via nos capteurs inertiels.

4.3.3 - PARAMETRES MIS EN EVIDENCE

4.3.3.1 - Positionnement des pièces vertébrales

Il s'agit de relever le positionnement de chaque pièce vertébrale de chaque cavalier dans le plan sagittal, donc soit en flexion (c'est-à-dire que la vertèbre se situera en avant de la verticale) ou en extension (la vertèbre sera en arrière de la verticale) voire en position neutre (vertèbre en équilibre par rapport à la verticale). Cela est effectué dans la MARCHÉ, puis dans chaque situation équestre de l'étude, à savoir CHEVAL MECANIQUE STATIQUE, POSITION BASSE (qui correspond au 1^{er} temps du galop) et POSITION HAUTE (qui correspond au 3^{ème} temps du galop). Une fois le relevé des éléments vertébraux réalisé, pour chaque étage, il convient à chaque vertèbre de voir la variation de positionnement et ensuite d'établir une moyenne pour chaque niveau Cervical, Thoracique, Lombaire et Sacré.

C'est l'étude de la variation de ces moyennes par région qui sera appréciée pour analyser le comportement rachidien du cavalier, avec d'emblai une visualisation de la dynamique vers la flexion ou l'extension de l'étage vertébral concerné.



Figure 4.8. Visualisation de la modélisation 3D du rachis et du positionnement vertébral.

Le relevé par le logiciel, des mouvements effectués par le rachis et donc plus précisément par chaque pièce vertébrale permet soit une visualisation arithmétique via une présentation excel® ou une modélisation 3D à partir de laquelle il est possible de matérialiser de façon objective chaque déplacement vertébral dans les trois plans de l'espace et ceci toujours par rapport à la référence verticale. Dans l'étude qui nous concerne, ce sont les déplacements antéro postérieurs qui sont envisagés. C'est donc par ce moyen au départ, qu'il nous est possible de définir la cinématique rachidienne, l'analyse ensuite des valeurs présentées dans les tableaux excel® viendra corroborer les constatations faites initialement à partir de la schématisation 3D.

4.3.3.2 - Valeurs angulaires

4.3.3.2.1 - Valeur moyenne globale

Pour tenter de corroborer nos observations, nous nous sommes attachés à analyser les différences de valeurs angulaires moyennes de chaque pièce osseuse pour chaque sujet et de façon spécifique (cervical, thoracique et lombaire) et globale. Ces différentiels sont calculés par rapport à la position de référence sur le cheval mécanique au repos. La finalité est de pouvoir observer puis mesurer objectivement l'importance du déplacement segmentaire lors de l'activité équestre. Ensuite nous regardons la position maximale et minimale quelle que soit la phase d'action (position basse – position haute), ce qui nous importe prioritairement, est de visualiser le comportement dynamique du sujet : est-on devant un sujet qui a tendance à être très mobile, voire trop mobile ? Si oui, quel est son degré de mobilité ? Et cette mobilité est-elle sectorialisée ou pas ? Une fois l'enregistrement des données réalisé, nous répartissons ces valeurs en fonction de l'importance de ce différentiel, nous permettant ainsi une plus grande visibilité quant au comportement cinématique du cavalier. Ainsi a-t-on défini 4 catégories : \leq à 10° - entre 10° et 15° - entre 15° et 20° et \geq à 20° , qui nous permettent d'apprécier :

- 1) L'attitude générale du cavalier avec sa propension à se mouvoir en tous sens ou pas. Cela nous renseignera sur la capacité du sujet à appréhender le rythme du cheval ou à le subir totalement ;
- 2) En fonction de la présence d'une mobilité ou pas, cela nous permettra de la quantifier, ce qui servira de point de comparaison entre les trois groupes testés ;
- 3) S'il y a mobilité rachidienne, nous aurons la possibilité de la localiser avec précision. Là encore nous aurons en arrière pensée une application future vis-à-vis d'éventuels phénomènes douloureux ou éventuellement traumatologiques. De la même manière, la localisation des zones de mobilité permettra une approche comportementale comparative des trois populations de cavaliers ;
- 4) Enfin, cela nous donnera la possibilité de dégager de suite un « morphotype » spécifique de chaque cavalier avec comme élément déterminant le degré de mobilité rachidienne (globale ou segmentée).

4.3.3.2.2 - Valeurs rachidiennes moyennes étagées

A l'identique du plan global, il nous est apparu intéressant de pouvoir dissocier cette mobilité et de l'étudier étage par étage ; c'est pour cette raison que l'analyse segmentée va apporter un regard plus précis sur la capacité motrice du cavalier puisqu'il en sera de même au niveau thoracique, lombaire et sacré. Chaque étage nous informe d'un comportement fonctionnel qui lui est propre et qui au final contribue à assurer une fonction bien définie dans le positionnement du cavalier vis-à-vis de son cheval.

Ainsi, au niveau cervical, il sera apprécié en priorité la capacité pour le cavalier de maintenir, quelle que soit la situation, l'horizontalité du regard ; ceci sera à rapprocher de la capacité oculocéphalogyre de la colonne cervicale, cette dernière étant activée de manière similaire à l'activité de marche pédestre.

Au niveau thoracique, nous pourrions apprécier à la fois le comportement physique du sujet avec un maintien ou pas de la rectitude mais aussi psychologique avec l'étude de sa faculté à faire face à une situation où les éléments extérieurs (a priori non maîtrisables) se succèdent et deviennent des sources de mise en difficulté. L'attitude classique de flexion antérieure du tronc associée à une projection antérieure des ceintures scapulaires (avec donc un enroulement global) est assimilable à une position protectrice dite « foetale » issue d'un réflexe archaïque du « repli sur soi ».

A l'étage lombaire, il sera utile d'observer et de quantifier la mobilité pour mieux appréhender le rôle du complexe lombo pelvien dans l'adaptation du cavalier par rapport au comportement de son cheval ; il sera donc aisé de constater ou pas l'utilisation accrue ou non de la lordose lombaire dans l'accompagnement du rythme du cheval. Enfin, l'observation de la mobilité sacrée nous renseignera sur l'utilisation du bassin par le cavalier et pourra, par ricochet, nous donner des informations sur la mise en action plus ou moins marquée des hanches par le cavalier, car une grande mobilité pelvienne sera concomitante d'une liberté au niveau des coxo fémorales, elle-même tributaire d'une souplesse appuyée des articulations sous jacentes, genoux et chevilles/pieds.

4.3.3.2.3 - Zones d'inversion d'angulation vertébrale.

Elles sont définies comme étant le lieu où la vertèbre change d'orientation, c'est-à-dire par exemple, que son positionnement dans le plan sagittal, passe de la flexion vers l'extension. Ceci peut être localisé sur un étage mais aussi sur plusieurs. C'est ainsi que pour chaque sujet, pour chaque situation et donc pour chaque vertèbre, nous avons analysé ces zones de variations angulaires, que nous avons comparées ensuite d'abord entre les sujets d'un même groupe puis enfin entre les groupes.

4.3.3.2.4 - Etude des différents angles

Angle α_1 : ou angle base sacrum/horizontale : Angle formé par la tangente du plateau sacré (plateau supérieur de S1) et l'horizontale. Cet angle est appelé par STAGNARA* (1979) « Pente Sacrée » et a une valeur moyenne normale de 30°. Toute variation nous donnera la possibilité de mieux appréhender l'utilisation de la charnière lombo-sacrée.

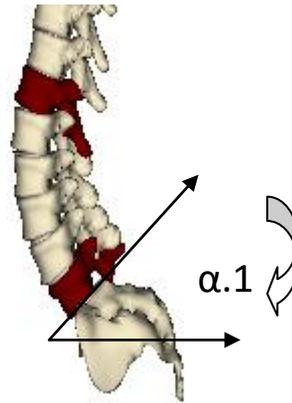


Schéma 4.1. $\alpha.1$: *Pente sacrée* = angle formé par la tangente au plateau sacré et l'horizontale. Valeur normale : 30°.

Angle $\alpha 2$: angle formé par la perpendiculaire au plateau sacré et la verticale, qui a une valeur moyenne entre 35°/40°. Sa diminution traduira une bascule du sacrum vers l'arrière, donc une extension, laquelle sera synonyme de *rétroversion* du bassin puisque la relation qui unit le bassin et le sacrum est telle qu'il y a concordance fonctionnelle entre ces deux pièces osseuses. A l'inverse, toute augmentation de cet angle signifiera une rotation antérieure sacrée génératrice d'*antéversion* pelvienne. Cette angulation pourra être assimilée à la visualisation de ce que KAPANDJI* (1980) appelle les mouvements de nutation et contre nutation, rencontrés lors de l'accouchement.

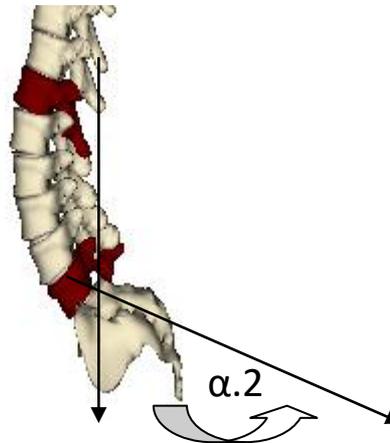


Schéma 4.2. $\alpha.2$: angle formé par l'axe du corps du sacrum et la verticale. Valeur normale : 35/40°.

Angle $\alpha 3$: angle formé par les tangentes des plateaux sacrés supérieur de L1 et inférieur de L5 selon la méthode de COBB* (1967). La valeur normale moyenne chez le sujet sain est de 50°/60°. L'augmentation de cet angle traduira un effacement de la lordose lombaire et à l'inverse la diminution sera le signe de la présence d'une hyperlordose lombaire. Cet angle permettra de visualiser l'utilisation de la cambrure lombaire dans l'adaptation au rythme du cheval.

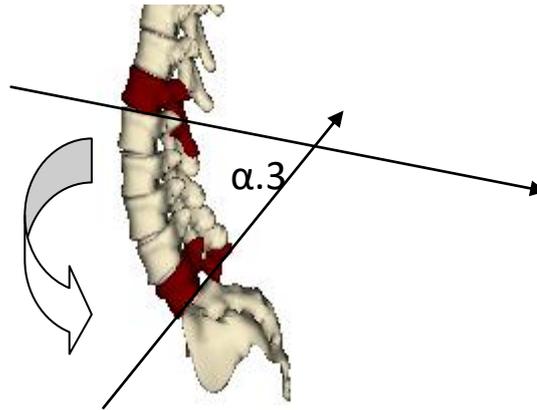


Schéma 4.3. $\alpha.3$ ou angle lombaire qui est formé par les tangentes du plateau supérieur du CV de L1 et du plateau inférieur du CV de L5.

Angle $\alpha 4$: angle formé par les tangentes du plateau supérieur de T1 et inférieur de T12. Il est le témoin de la localisation majeure de la mobilité thoracique et surtout de la situation de l'éventuelle voussure thoracique.

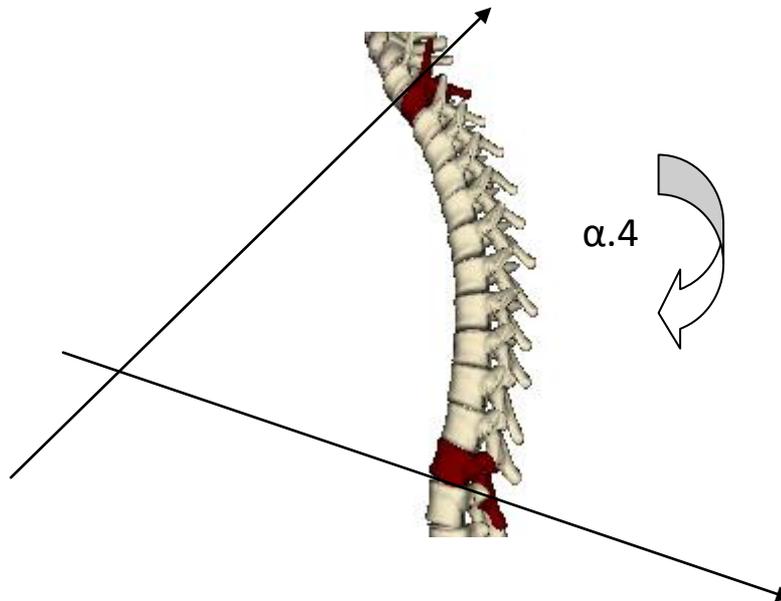


Schéma 4.4. $\alpha.4$ et région thoracique

Angle Ω : angle formé par la tangente du plateau inférieur du CV de L5 et la perpendiculaire du plateau sacré. Cet angle « artificiel » a l'avantage de mettre en évidence l'importance de la mobilité de la charnière lombosacrée ; toute variation à la hausse comme à la baisse en sera le témoin.

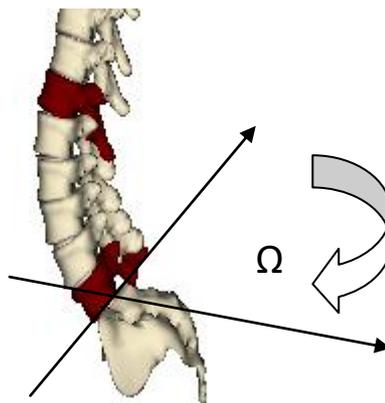


Schéma 4.5. Ω : angle formé par l'axe du corps du sacrum et la tangente du plateau inférieur du CV de L5

4.3.3.2.5 - Etude des couples T12/L3.

Pourquoi s'attarder sur T12 et L3 et L5/S1? C'est un choix personnel issu de constatations sur la particularité fonctionnelle de ces deux entités.

Car il convient de garder à l'esprit le rôle particulier pour T12, L3 et L5 selon DELMAS*(1955) :

. **T12**, constitue la zone charnière entre la cyphose dorsale et la lordose lombaire. Elle a la particularité d'avoir un corps vertébral plus important que l'arc postérieur à l'arrière duquel passent les muscles des gouttières sans y avoir la moindre insertion. DELMAS* (1955) la compare à une « **véritable rotule de l'axe vertébral** ».

. **L3**, a un arc postérieur très développé qui sert de relais musculaire entre le faisceau lombaire du long dorsal qui vient de l'iliaque et les faisceaux de l'épi épineux dont le trajet est ascendant et dont l'insertion se situe sur l'apophyse transverse de L3. Elle est donc tirée en arrière par des muscles à insertion sacrée et iliaque et sert donc d'insertion à des muscles dorsaux. Elle assure donc une fonction majeure dans la statique vertébrale puisqu'en fait, selon DELMAS* (1955) **elle est la 1^{ère} vertèbre lombaire mobile** au contraire de L4L5 qui peuvent être considérées comme étant très « unies » à l'iliaque et au sacrum. Tenant compte de ce particularisme, L3 nous donnera une « tendance » du déplacement général de la colonne lombaire.

A l'identique de ce qui a été fait précédemment, il sera étudié le positionnement de ces 2 pièces osseuses durant la MARCHÉ et lors de la station assise statique sur le cheval mécanique ; là encore, la différence permettra de visualiser la cinématique propre aux 2 vertèbres concernées T12 et L3.

L'analyse du fonctionnement de ce couple permet d'étudier l'interrelation entre le rachis thoracique inférieur et lombaire. Le comportement du couple Th12 / L3 (les 2 vertèbres significatives) reflète l'activité générale du cavalier. Ce rapport entre ces deux vertèbres « tests » va renseigner sur le comportement dissocié ou non des étages thoraciques et lombaires, ce qui va nous permettre de confirmer la description du morphotype de chaque cavalier. Il servira à affiner le fonctionnement du rachis thoracique, plus exactement à savoir s'il y a un synchronisme fonctionnel entre les rachis thoracique inférieur et lombaire supérieur, car gardons à l'esprit la description que font DUFOR* et PILLU* (2002) de la division de l'étage lombaire en deux entités : supérieure de L1àL3 et inférieure de

L4àL5. A l'identique, le rachis thoracique est décrit en deux structures qui peuvent dans le cas de notre étude, avoir un fonctionnement dissocié.

4.3.3.2.6 - Etude des couples L5/S1.

Le comportement du couple L5/S1 nous renseignera sur la mobilité du complexe lombo pelvien et à travers cela, la sollicitation plus ou moins importante des hanches (et des membres inférieurs). Principale zone de fragilité, la charnière lombo sacrée est le siège au quotidien, chez l'individu d'algies majeures par manque d'activation de la poutre composite composée entre autres du caisson abdomino pelvien. Le comportement de la charnière lombo sacrée permet d'objectiver une synchronisation dynamique puisque quelle que soit l'orientation, il y a très majoritairement une similitude de fonctionnement entre L5 et S1.

4.3.3.3 - Etude différentielle Homme/Femme.

Notre étude a pris en compte, une orientation particulière qui s'attache à voir s'il existe une différence comportementale rachidienne entre les populations masculines et féminines. De plus, compte tenu des trois niveaux de compétence équestre, il nous a paru intéressant d'étudier une éventuelle corrélation entre l'expérience et la cinématique rachidienne. Ceci est d'abord envisagé à l'intérieur des groupes où l'on examine de façon dissociée les populations masculines et féminines puis entre les groupes et enfin sur le plan global.

4.4 - RECUEIL DES DONNEES.

4.4.1 - INTRODUCTION

Nous avons organisé cette partie « recueil de données » en deux temps : d'abord une analyse intra groupe ou chaque population sera étudiée dans les différentes situations d'enregistrement (marche, assis statique, position basse et position haute). Les groupes seront ensuite observés entre eux, en fonction des différents critères retenus. Enfin ceci débouchera sur une conclusion générale qui ouvrira les portes des différentes applications qui auront été envisagées. Avant toute autre chose, il est nécessaire de détailler notre méthodologie. L'enregistrement des mouvements par les capteurs inertiels va nous donner deux possibilités de visualisations des valeurs :

- 1) Par l'intermédiaire de tableaux Excel®

Temps exprimé en secondes	Flexion (+) Extension (-)		Inclinaison		Rotation	
			Gauche (+) Droite (-)		Gauche (+) Droite (-)	
0		26,506		6,358391		10,0772
0,033		26,51148		6,169651		9,69161
0,068		26,48864		6,069194		9,311196
0,101		26,38771		5,918489		8,840503
0,134		26,31405		5,872868		8,562305
0,167		26,28916		5,863396		8,364204
0,2		26,22922		5,790093		8,19484
0,233		26,17761		5,685555		8,133089
0,266		26,03532		5,509368		8,055777

Tableau 4.1. Tableau Excel® avec les données brut (exprimées en degrés) fournies par BioVal©- sujet 7

Le positionnement rachidien est affiché de manière « brut » toutes les 0.03 ou 0.04s (selon que l'on se trouve dans la phase ascensionnelle plus longue que celle descendante du cheval mécanique). Il est possible de visualiser le rachis dans sa globalité ou étage par étage. L'affichage sera à quatre décimales et cela dans les trois plans de l'espace. Le temps est exprimé en seconde et le déplacement angulaire en degré.

Le tableau fourni directement par BioVal® fait apparaître, avec 5 à 6 décimales les déplacements angulaires dans les trois plans, sagittal, transversal et horizontal pour le rachis d'un sujet du groupe B. Notre étude étant centrée sur le comportement cinématique rachidien dans le plan sagittal, nous écartons les mesures dans les deux autres plans.

Temps exprimé en secondes	Flexion (+) Extension (-) exprimés en degrés
0	26,50
0,03	26,51
0,06	26,48
0,10	26,38
0,13	26,31
0,16	26,28
0,20	26,22
0,23	26,17
0,26	26,03

Tableau 4.2. Tableau avec valeurs ramenées à deux décimales- sujet7

Une fois retravaillé, le tableau Excel® présente la configuration suivante (ci-dessus) avec la colonne de gauche qui indique le temps t auquel est pris la mesure (avec un décalage entre les séquences, en effet nous observons une fréquence de 0.03s pour la phase pour la descente du cheval mécanique et de 0.04s pour la phase ascensionnelle) et une colonne de droite qui indique les valeurs angulaires mesurées par les capteurs. A ce moment là de la procédure, nous optons pour une lecture à deux décimales des données ; les valeurs en flexion seront affichées en « positif » et en « négatif » pour l'extension. Pour rappel, dans notre étude, la flexion correspond à une projection corporelle (totale ou segmentaire) en avant de l'axe vertical terrestre. L'absence de localisation vertébrale s'avère être un handicap majeur dans notre étude car il convient de garder à l'esprit le fait que nous cherchons à visualiser le comportemental vertébral lui-même, pour pouvoir définir la tendance fonctionnelle locale, puis régionale et enfin globale du cavalier ; tout ceci doit nous permettre de dégager un profil-type de l'individu testé. Même si ce n'est pas l'élément principal de notre travail, cette visualisation à travers les tableaux Excel® nous sera ultérieurement utile pour apprécier la tendance globale du positionnement du cavalier et pour le comparer ensuite aux autres membres du groupe. Pour y parvenir, nous avons utilisé le tableau affichant les valeurs brutes, puis nous avons déterminé *via* le logiciel Excel® lui-même, les maximales, minimales et moyennes.

Cette première opération nous a déjà permis d'envisager une ébauche de tendances cinématiques du rachis. Cela nous indique la position globale du sujet à cheval, s'il a tendance à se situer en flexion

ou en extension ou s'il est plutôt stable⁴⁸. Cela aura aussi l'avantage de nous renseigner sur l'amplitude de variation angulaire du sujet au cours de la séquence sur le cheval mécanique et cela simplement en consultant la différence entre les valeurs maximales et minimales. Une fois recueillies toutes les données de tous les cavaliers du même groupe, il nous est possible de définir la tendance générale fonctionnelle de celui-ci.

19,92	16,38
19,96	15,80
19,99	14,82
20,02	14,12
20,05	13,17
20,09	12,57
20,12	12,01
20,15	11,24
20,19	11,10
20,22	10,35
Moyenne	18,27
Maximale	28,05
Minimale	8,03

Tableau 4.3. Exemple de mise en évidence de valeur moyenne, valeur maximale et minimale – sujet 7.

2) Par l'intermédiaire des visualisations rachidiennes virtuelles.

Ce procédé propre à BioVal© nous offre la possibilité de visualiser de manière statique mais aussi dynamique, la colonne vertébrale humaine en 3D, grâce à un avatar conçu spécialement pour ce type d'étude. Le grand avantage de cette technologie se situe au niveau du positionnement vertébral car en cliquant sur une pièce osseuse, sa position dans les trois plans de l'espace s'affiche à l'écran. C'est ce processus que nous avons choisi d'utiliser, certes beaucoup plus fastidieux que la lecture des tableaux Excel®, mais à nos yeux, beaucoup plus intéressant car plus en rapport avec la démarche clinique de cette étude. Donc pour parvenir à récolter un maximum de valeurs, nous avons pour chaque pièce osseuse rachidienne (y compris le sacrum) recueilli sa position, uniquement dans le plan sagittal. Ceci nous donnait un positionnement soit en flexion (c'est-à-dire que la vertèbre pivotait en avant de l'axe vertical), soit en extension (pivotement postérieur de la vertèbre par rapport à l'axe vertical) ; notons que dans certain cas, nous obtenions une valeur 0° (neutre, la vertèbre se situait alors en parfait équilibre vis-à-vis de la verticale). Cette manœuvre a été exécutée depuis le sacrum (S1) jusqu'à la première vertèbre cervicale (C1) dans les quatre situations définies au préalable, c'est-à-dire : durant la marche, en station assise statique sur le cheval mécanique, en position basse et haute. La représentation 3D étant couplée à la vidéo, il nous a été possible de déterminer la position sommet « haute » et « basse », à partir desquelles, nous avons figée l'image virtuelle pour en extraire la situation spatiale de chacune des pièces osseuses.

⁴⁸ Nous avons défini la notion de stabilité par une variation du tronc du sujet de plus ou moins 2° maximum par rapport à l'axe vertical



Flexion: 22°
Inclinaison gauche: 0°
Rotation à gauche: 2°



Par exemple ici, le sacrum en position « basse » présente une angulation de 19° par rapport à la verticale ($\alpha.2$).

Figure 4.9. Visualisation du couplage image vidéo et virtuelle en position dite « basse »



Flexion: 14°
Inclinaison droite: 1°
Rotation à gauche: 7°



Par exemple ici, le sacrum en position « haute » présente une angulation de 25° par rapport à la verticale ($\alpha.2$).

Figure 4.10. Visualisation du couplage image vidéo et virtuelle en position dite « haute »

Ensuite, nous avons reporté ces valeurs dans un tableau contenant, pour chaque cavalier, sa situation durant les quatre phases d'évolution.

A la suite, nous avons comptabilisé, pour chaque niveau rachidien (sacrum, lombaire, thoracique et cervical), le nombre de sujets qui présentaient un positionnement soit en flexion, soit en extension ou stable. Une fois le relevé réalisé, nous avons regardé ce qui se passait pour chaque cavalier, à chaque étage de la colonne vertébrale, dans chacune des trois phases :

- A) qui correspond au passage de la station debout durant la marche à la station assise statique sur le cheval mécanique ;
- B) qui correspond au passage de la station assise statique à la position basse ;
- C) qui correspond au passage de la position basse à la position haute.

Sujet n° 7 - GROUPE A

	MARCHE	Cheval STATIQUE	Ch. Posi- tion HAUTE	Ch. Posi- tion BASSE	Différence ANGULAIRE TOTALE	Différence ANGULAIRE CHEVAL
C1	23	28	14	22	14	14
C2	23	28	14	22	14	14
C3	23	28	14	22	14	14
C4	23	28	14	22	14	14
C5	26	30	17	26	13	13
C6	30	32	21	29	11	11
C7	33	35	24	32	11	11
D1	36	37	27	36	10	10
D2	31	32	22	31	10	10
D3	26	27	18	26	8	9
D4	22	22	13	21	9	9
D5	17	16	8	16	9	8
D6	12	11	3	11	9	8
D7	7	6	-2	7	9	9
D8	2	1	-7	2	9	9
D9	-2	-4	-12	-3	9	9
D10	-7	-9	-17	-8	9	9
D11	-12	-14	-22	-13	10	8
D12	-17	-20	-27	-18	10	9
L1	-11	-17	-23	-16	12	7
L2	-5	-14	-19	-14	14	5
L3	1	-11	-15	-12	16	4
L4	7	-8	-11	-10	18	3
L5	13	-5	-7	-8	21	3
S1	45	27	25	24	11	3

Tableau 4.4. Récapitulatif des enregistrements vertébraux dans les différentes situations.

Zone d'inversion de courbure c'est-à-dire qu'il y a changement de l'orientation vertébrale. Ici passage de l'extension (Th9) à la flexion (Th8)

Le comportement du couple Th12/L3 est observé, de même que L5/S1.

La différence angulaire correspond à l'amplitude de variation angulaire, c'est-à-dire aux valeurs maximales et minimales qu'adopte le rachis du cavalier durant le cycle équestre. Ceci nous servira à dessiner le profil-type du cavalier.

Il faut noter que dans certains cas, nous avons dû faire face à des situations particulières avec une mixité, c'est-à-dire que la moitié de l'étage est orienté vers une composante, par exemple la flexion et l'autre s'oriente vers l'extension ou la stabilité. De la même façon, nous avons choisi d'observer deux couples vertébraux particuliers qui sont : Th12/L3 et L5/S1. Avec le même procédé, pour les 47 cavaliers, nous avons observé le positionnement de ces vertèbres et leur éventuel fonctionnement synergique.

Toujours avec une approche comptable identique, nous nous sommes intéressés au comportement rachidien des hommes et des femmes ; pour chaque étage vertébral, nous avons comptabilisé là encore, dans les trois phases précédemment décrites, le nombre de cavaliers qui présentent une flexion, une extension, une stabilité ou une attitude mixte ; la même chose fut réalisée chez les femmes.

Ensuite, nous avons porté notre attention vers le changement d'orientation vertébrale ; toujours avec le même procédé, nous avons regardé au niveau lombaire et thoracique le niveau, à partir du-

quel, chez les 47 cavaliers, les vertèbres changeaient d'orientation (en passant par exemple de la flexion à l'extension).

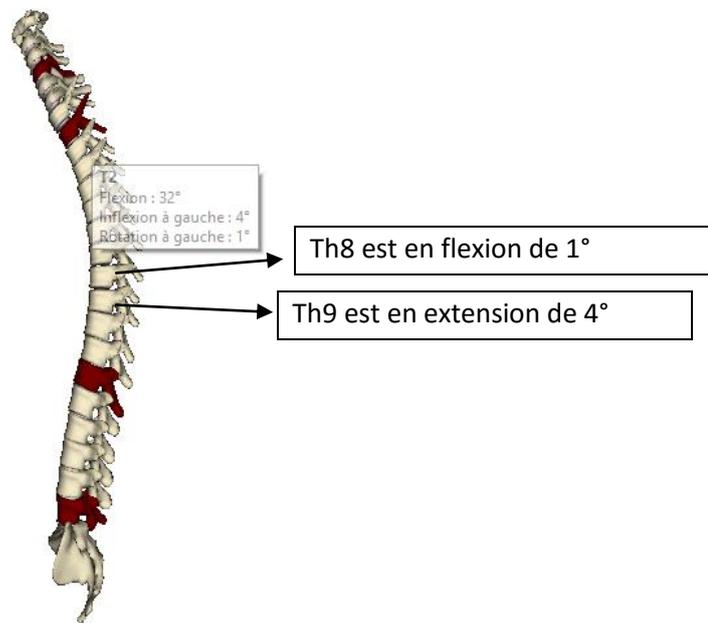


Figure 4.11. Visualisation d'un changement d'orientation vertébrale sur image modélisée- sujet 7

Enfin, nous avons choisi de matérialiser plusieurs angles sur le rachis à partir desquels, nous avons pu étudier le comportement de la colonne vertébrale. De la même façon qu'au quotidien, nous traçons nos axes sur les clichés radiologiques afin d'établir nos bilan diagnostics, ici nous adoptons un cheminement intellectuel identique en matérialisant différents angles rachidiens, à partir desquels nous dégageront plusieurs tendances. Pour y parvenir, prenons l'exemple de l'angle $\alpha.1$: à partir de l'image virtuelle de la colonne lombaire fournie par BioVal®, nous allons tracer une ligne tangente au plateau sacré et une autre horizontale, l'intersection des deux nous donnera l'angle $\alpha.1$.

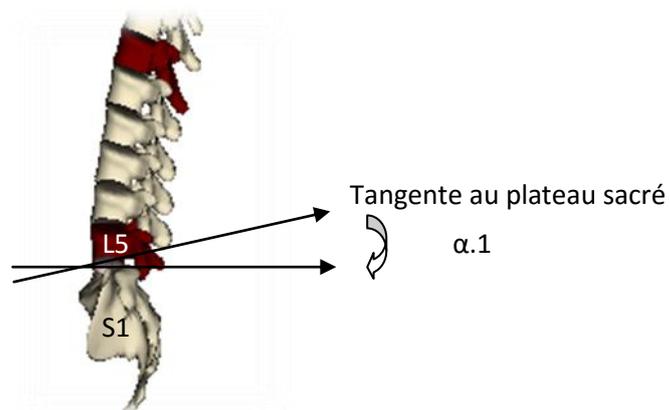


Figure 4.12. Modalité de mise en évidence de $\alpha.1$

Pour chaque angle, nous nous sommes attachés à envisager un aspect statique puis nous avons observé leur comportement durant les trois phases. Ceci nous permettait de nous renseigner sur le fonctionnement de l'axe rachidien de chaque sujet. Nous avons décidé de terminer ces enquêtes en réalisant une synthèse chiffrée dans laquelle sera répertoriée chaque variation de la valeur moyenne.

Nous avons défini quatre catégories à partir desquelles nous pourrions déterminer des tendances fonctionnelles et cela du point de vue global et régional. Pour parvenir à réaliser cette , nous avons, à partir des tableaux Excel® des données brut, regarder l'importance des amplitudes de variation angulaire de chaque cavalier durant sa séance d'équitation sur le cheval mécanique sans distinction quelconque des phase ; ensuite nous avons réparti les sujets dans les quatre catégories prédéfinies initialement : moins de 10° d'amplitude ; de 10 à 15° ; de 15 à 20° et enfin plus de 20° d'amplitude.

19,92	16,38
19,96	15,80
19,99	14,82
20,02	14,12
20,05	13,17
20,09	12,57
20,12	12,01
20,15	11,24
20,19	11,10
20,22	10,35
Moyenne	18,27
Maximale	28,05
Minimale	8,03
Amplitude	20,02

Tableau 4.5. Exemple de détermination de l'amplitude de variation angulaire (exprimée en degrés)

Ici dans notre exemple, pour un sujet du groupe B, l'amplitude sera de 20°02, ce qui le placera dans la quatrième catégorie (plus de 20°), ce qui d'emblai permet dessiner une première tendance.

4.4.2 - ANALYSE INTRA-GROUPES

4.4.2.1 - Groupe A – « NOVICES »

C'est une population de 15 cavaliers débutants ou n'ayant jamais pratiqué l'équitation qui composent ce Groupe A. Pour les débutants, la fréquence de la pratique équestre est de 1h de cours 1 fois par semaine. Ils ont évidemment tous un niveau équestre ou (« GALOP ») soit 0 ou 1. La répartition est la suivante :

Population du Groupe A	Hommes	Femmes	Population Totale
Population globale	9	6	15
Entre 18 et 25 ans	5	3	8
Entre 25 et 35 ans	3	0	3
Entre 35 et 50 ans	0	1	1
Plus de 50 ans	1	2	3

Tableau 4.6. Répartition de la population du groupe A selon l'âge et le sexe.

Aucun de ces cavaliers ne présente de problèmes structurels rachidiens (ni scoliose, ni séquelles DRC, ni ⁴⁹HD ou séquelles HD), ni phénomène inflammatoire rachidien évolutif (spondylarthrite ankylosante, PCE⁵⁰, etc....), ni problème neurologique (polyradiculonévrite). L'examen clinique rachidien n'a pas permis de mettre en évidence la moindre altération de l'appareil locomoteur. L'étude se décomposera de la façon suivante :

4.4.2.1.1 - Positionnement vertébral par variation angulaire régionale

Dans le cas présent, lors du passage de la position « marche » à la « station assise statique », la flexion passe d'une quasi rectitude où le membre inférieur est normalement aligné dans l'axe du tronc (donc en rectitude) à une flexion de hanche qui varie entre 110° et 130°.

Si l'on se refait à KAPANDJI* (1980), la flexion va entraîner une rétroversion du bassin ce qui normalement, aura pour incidence d'effacer la lordose lombaire. Dans ce type de situation (passage de la position debout/assise), CARR* et coll (2002) mettent l'accent sur la nécessité de prendre en compte les paramètres que sont le mouvement réalisé et sa vitesse d'exécution.

Mais le maintien ou le respect, autant que faire se peut des courbures physiologiques est un impératif, afin de gérer au mieux la répartition des contraintes comme le souligne STRANDEN* (2000).

Dans le cas présent, le fait de venir s'asseoir sur le cheval (ici mécanique, donc avec une stabilité des contraintes et une absence d'éléments extérieurs parasites) va impliquer la mise en œuvre de ce que DUFOUR* et PILLU* (2002) appellent le maintien axial et non vertical strict puisque dans ce cas de figure, il est actif de par l'activité dynamique générée par cette position, cela entraîne donc une notion de variabilité situationnelle, elle-même issue de variations quant à la participation musculaire. Dans ce cas, le cavalier ne s'échappe pas de sa position assise « au profit d'un dossier » mais au contraire il l'assume pleinement, activement au niveau hanche (avec combinaison flexion/abduction et rotation externe) et du rachis.

✓ SACRUM

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise (A)	Station assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
SACRUM	Vers Extension	13/15 – 87%	10/15 – 67%	1/15 – 6%
	Stabilité	0	1/15 – 7%	13/15 – 88%
	Vers Flexion	2/15 – 13%	4/15 – 26%	1/15 – 6%

Tableau 4.7. Comportement du sacrum dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A.

L'évolution du positionnement du sacrum au cours de cette étude s'effectue exclusivement vers l'EXTENSION, c'est-à-dire un déplacement postérieur qui tend à projeter le plateau sacré vers l'arrière et le haut alors que la pointe du sacrum/coccyx se mobilise vers l'avant. Cette mobilisation

⁴⁹ Hernie Discale

⁵⁰ Polyarthrite Chronique Evolutive

appelée « contre nutation » a été décrite pour la première fois en 1851 par ZAGLAS*. De plus, cela va simultanément être associé à une bascule postérieure du bassin ou rétroversion. L'extension seule du sacrum devrait selon KAPANDJI* (1980) entraîner une atténuation de la lordose, mais ici elle est combinée à une extension lombaire dans 67% des cas, cette dernière aura quant à elle tendance à l'inverse à accentuer la cambrure. Quelle que soit la séquence, cette bascule en extension du sacrum pourra être génératrice d'auto grandissement par sollicitation des érecteurs rachidiens. Lors du passage de la position statique vers la position basse, 67% des sujets présentent une EXTENSION sacrée alors que 26% évoluent vers la FLEXION, ce qui en soi peut trouver une justification dans une faiblesse du caisson abdomino-pelvien, qui induira un affaissement rachidien inférieur, lui-même conduisant à une flexion sacrée. Alors que le passage de la position basse vers la position haute devrait s'accompagner d'une antéversion du bassin, donc une flexion du sacrum, ici chez les débutants, l'étage sacré se fixe en EXTENSION (à 88%) par une suractivité des membres inférieurs (notamment hyper activité des groupes adducteurs qui viennent bloquer le jeu de la coxo-fémorale, empêchant ainsi toute forme de mobilité pelvienne, le bassin restant quant à lui figé en EXTENSION).

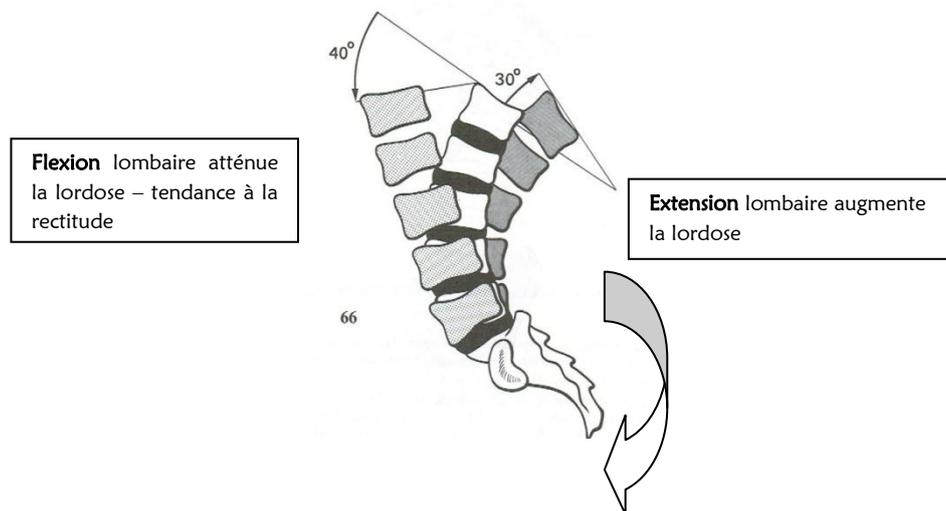


Schéma 4.6. Influence de la flexion/extension lombaire sur la cambrure physiologique.

✓ LOMBAIRE

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
LOMBAIRE	Vers Extension	10/15 – 67%	6/15 – 40%	4/15 – 27%
	Vers Flexion	2/15 – 13%	3/15 – 20%	10/15 – 67%
	Mixte (mi flexion, mi extension)	3/15 – 20%	6/15 – 40%	1/15 – 6%

Tableau 4.8. Comportement de la colonne lombaire dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A.

Lors du passage de la marche vers la position assise statique, le rachis lombaire se positionne en EXTENSION pour 67% des cavaliers, entraînant automatiquement une accentuation de la lordose. Lors du démarrage, l'évolution vers la position Basse, voit le rachis lombaire se mouvoir à égalité

40% / 40% entre L'EXTENSION et la situation MIXTE (combinaison de flexion et d'extension selon le niveau lombaire – L1L2L3 = RL> et L4L5 = RL<). Cette nette tendance à l'EXTENSION (phase A et B) trouve son origine dans un réflexe archaïque du déséquilibre postérieur. Le positionnement sacré en EXTENSION entraîne une rétroversion du bassin, ce qui va induire un « déséquilibre » postérieur, mal ou pas appréhendé par le cavalier « NOVICE » ; ce dernier n'aura pas d'autre choix que de compenser par une exagération de la lordose pour essayer de reporter, selon lui, son centre de gravité vers l'avant (à l'aplomb du cheval). La situation est la même en phase C ascendante où la notion de projection antérieure est à son maximum puisque le cheval s'oriente vers l'avant et le bas. Pour contre-carrer cette tendance à « l'éjection », le cavalier « NOVICE » toujours en rétroversion de bassin pour une plus grande sécurité, aura tendance à une « fermeture antérieure » totale dans un réflexe de protection globale y compris au niveau lombaire où l'on note une FLEXION dans 67% des cas. Celle pourra s'opérer par l'action combinée des muscles intrinsèques érecteurs rachidiens dont le rôle d'atténuation des courbures a été mis en évidence par bon nombre d'auteurs comme KAPANDJI* (1980) KAMANI* (1998) DUFOUR et PILU (2002).

✓ THORACIQUE

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
THORACIQUE	Vers Extension	0	7/15 – 46.5%	6/15 – 40%
	Vers Flexion	5/15 – 33%	7/15 – 46.5%	9/15 – 60%
	Mixte (mi flexion, mi ext)	8/15 – 53%	0	0
	Stabilité	2/15 – 14%	1/15 – 7%	0

Tableau 4.9. Comportement de la région thoracique dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A.

Là se situe la marque la plus flagrante d'hétérogénéité du groupe des « NOVICES » puisque lors :

- De la phase A (Marche >> Assise Statique), 53% d'entre eux présentent ce que l'on peut définir comme position « Mixte » avec flexion au niveau thoracique supérieur et extension au niveau inférieur. Ce qui se traduira par une attitude « cassée » avec une accentuation de la projection antérieure thoracique haute et par voie de conséquence, un positionnement des ceintures scapulaires en avant (enroulement des épaules avec tendance à la rétraction des groupes pectoraux et mise en tension quasi permanente du plan postérieur : trapèze, fixateurs d'omoplate, etc....). 33% des sujets quant à eux ont un rachis thoracique qui se positionne globalement en flexion avec voussure générale et harmonieuse tandis que 14% présentent une attitude thoracique en extension avec un effacement de cette cyphose dorsale.
- Dans la phase B (Assise Statique >> position Basse), lors de l'engagement des postérieurs sous la masse du cheval, il y a un partage égal entre les cavaliers qui présentent une région thoracique évoluant vers l'EXTENSION ou vers la FLEXION.
- Durant la phase C (Position Basse >> Position Haute), une majorité de cavaliers, 60%, adoptent une FLEXION thoracique qui trouve son explication dans l'accompagnement du cavalier

au mouvement induit par le cheval ; son orientation en bas et en avant entraîne un déséquilibre antérieur qui est compensé par une attitude protectrice en « fermeture/enroulement antérieur ». Ce déséquilibre antérieur qui s'accompagne, compte tenu du déplacement cinétique du corps du cavalier, d'une tendance à la postériorisation, qui peut être compensée par cette attitude protectrice de fermeture.

✓ CERVICAL

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
CERVICAL	Vers Extension	2/15 – 13%	9/15 – 60%	8/15 – 53%
	Vers Flexion	13/15 – 87%	5/15 – 33%	7/15 – 47%
	Mixte (mi flexion, mi ext)	0	0	0
	Stabilité	0	1/15 – 7%	0

Tableau 4.10. Comportement de la colonne cervicale dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A.

Le rachis cervical selon DUQUESNOY* & CATANZARITI* (2008) joue un rôle majeur dans l'équilibre postural, tout comme il possède une fonction proprioceptive exceptionnelle. En effet, celui-ci possède de nombreux mécanorécepteurs articulaires (corpuscules de Ruffini) au niveau des AAP et une multitude de capteurs proprioceptifs musculo-tendineux (fuseaux neuromusculaires et corpusculaires tendineux de Golgi), surtout dans la partie cervicale haute. BERTHOZ* et al (1988) ont montré l'étroite relation entre la stabilité rotatoire rachidienne autour du regard, la tête ainsi stabilisée dans l'espace, serait le référent obligatoire autour duquel s'organise le contrôle postural descendant en gérant les ajustements posturaux correcteurs de la tête aux pieds. De plus, les auteurs ont démontré qu'il existe une activité électrique rétinienne consécutive à un étirement des muscles cervicaux postérieurs. Comme le soulignent DUFOUR et PILU* (2002), les variations physiologiques du rachis cervical sont conditionnées par l'orientation de la tête, elle-même en rapport avec les organes responsables des sens. En ce qui nous concerne ici dans cette étude, l'asservissement oculaire est un élément à prendre en considération : c'est l'obligation pour le cou de suivre les impulsions partant des yeux, c'est ce qui a été nommé par DOLTO* (1976) et développé par REVEL et coll* (1999) sous la terminologie « d'automatisme oculocéphalogyre ».



Schéma 4.7. Travail proprioceptif de l'automatisme oculocéphalogyre selon DUFOUR et PILU* (2002)

- Dans la phase A, conséquence du positionnement thoracique, l'étage cervical se fixera à **87%**, en FLEXION par opposition et pour respect l'horizontalité du regard. Seuls 13% des cavaliers présenteront une extension cervicale marquée qu'il conviendra d'analyser pour mettre en évidence l'hypothétique relation cervico thoracique.
- Dans la phase B, on observe une hétérogénéité des résultats avec **47%** des cas en FLEXION, **46%** en EXTENSION, **7%** en situation MIXTE (20% en situation mixte > EXT et < FLEXION – 6% en EXT < et > FLEXION). Le manque de fixité de l'extrémité céphalique dû au manque de vigilance musculaire s'explique par l'immaturation dans la discipline et donc par voie de conséquence par une faible réactivité proprioceptive et l'inexistence de dissociation des ceintures nécessaire à une fluidité gestuelle équestre. Cette population « NOVICE » oscille donc entre accompagnement de l'attitude du cheval mécanique (en haut et en avant) par une FLEXION et compensation de ce mouvement en évoluant vers une EXTENSION.
- Dans la phase C, **53%** (8/15) des sujets voient la région cervicale, adopter une attitude en FLEXION, 33% en EXTENSION et 14% ont une attitude MIXTE. Là encore, la faiblesse musculaire « qualitative » met en évidence un accompagnement dans le mouvement plutôt qu'une stabilité voire une compensation ; le cavalier « NOVICE » se laisse ainsi happer par le mouvement du cheval, subissant plutôt que maîtrisant la dynamique équestre. C'est cette situation « subie » qui rend :
 - au début, l'équitation inconfortable, voire désagréable surtout aux allures « sautillantes » comme le trot ;
 - l'équitation responsable de bon nombre de désagréments fonctionnels ;
 - la pratique équestre dangereuse sur le plan de l'appareil locomoteur.

✓ COUPLE Th12 / L3

L'analyse du fonctionnement de ce couple permet d'étudier l'interrelation entre le rachis thoracique inférieur et lombaire.

Le comportement du couple Th12 / L3 (les 2 vertèbres significatives) reflète l'activité générale du cavalier novice puisque :

- Dans la phase A, il y a une très forte majorité, **86%**, qui a un fonctionnement similaire entre le niveau inférieur thoracique et lombaire (soit flexion/flexion ou extension/extension). De plus, **58%** de ces débutants ont une mobilité en EXTENSION, ce qui va induire une accentuation de la cambrure.
- Dans la phase B, le résultat est assez hétérogène puisqu'à **47%** il y a similitude de fonctionnement thoraco lombaire, mais aussi **33%** de mixité dynamique et **20%** de mixité statique. Au final, il s'en suit une tendance légère à l'atténuation de la lordose.
- Dans la phase C, il y a une forte majorité, **67%**, de mobilité vers la flexion conjointe, ce qui se traduira par une stabilité de la courbure lombaire

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
Couple Th12/L3	Flexion/Flexion	2 – 14%	3 – 20%	10 – 67%
	Extension/Extension	8 – 58%	4 – 27%	5 – 33%
	Flexion/Extension	4 – 28%	4 – 27%	0
	Extension/Flexion	0	1 – 6%	0
	Flexion ou Extension/Stable	0	2 – 14%	0
	Stable/Stable	0	1 – 6%	0

Tableau 4.11. Comportement du couple Th12/L3 dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A.

✓ Couple L5/S1

Le comportement du couple L5/S1 nous renseignera sur la mobilité du complexe lombo pelvien et à travers cela, la sollicitation plus ou moins importante des hanches (et des membres inférieurs).

Principale zone de fragilité, la charnière lombo sacrée est le siège au quotidien, chez l'individu lambda, d'algies majeures par manque d'activation de la poutre composite composée entre autres du caisson abdomino pelvien.

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
Couple L5/S1	Extens/Extens	11/14 – 79%	10/15 – 67%	5/15 – 33%
	Flexion/Flexion	2/14 – 14%	4/15 – 27%	10/15 – 67%
	Stabilité	1/14 – 7%	1/15 – 6%	0

Tableau 4.12. Comportement du couple L5S1 dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A.

Le comportement de la charnière lombo sacrée permet d'objectiver une synchronisation dynamique puisque quelle que soit l'orientation, il y a très majoritairement une similitude de fonctionnement entre L5 et S1. Plus en détail, il est à constater que :

- Dans la Phase A, **79%** des novices, présentent un synchronisme en EXTENSION, ce qui se traduira par une bascule sacrée postérieure (ou contre nutation), qui combinée à l'extension de L5 aura pour incidence d'accroître la lordose physiologique.
- Dans la Phase B, **67%** des cavaliers, là encore, présentent une similitude de fonctionnement en extension qui peut trouver justification dans la compensation à l'orientation du cheval mécanique en haut et avant.
- Dans la Phase C, **67%**, de ces débutants adoptent, de façon synchrone, une orientation en FLEXION, ce qui se traduira par une stabilisation sacrée qui combinée à la flexion de L5 aura

pour conséquence d'atténuer la lordose lombaire. Ceci confirme à la fois le comportement isolé du sacrum et des lombaires.

✓ Etude différentielle HOMME / FEMME

		6 Femmes	9 hommes	CERVICAL	THORACIQUE	LOMBAIRE	SACRUM
Phase A	F	6/6 flexion 100%	3/6 flexion 50%	3/6 flexion 50%	6/6 extension 100%	6/6 extension 100%	
	H	7/9 flexion 78%	3/9 flexion 33%	3/9 flexion 33%	5/9 extension 55%	7/9 Extension 78%	
Phase B	F	5/6 extension 83%	3/6 Extension -	50% 3/6 Flexion -	4/6 Extension -	4/6 Extension 67%	
	H	1/6 flexion 17%	50%	50%	67% 2/6 flexion 33%	2/3 Flexion 33%	
Phase C	F	4/9 Extension -	4/9 Extension -	4/9 Extension -	5/6 Extension -	6/9 Extension - 67%	
	H	44% 4/9 Flexion -	44% 4/9 Flexion -	44% 1/9 stable -	56% 2/9 flexion -	2/9 Flexion - 22%	
Phase C	F	3/6 Extension -	2/6 Extension -	33% 4/6 Flexion -	1/6 Extension -	6/6 Flexion - 100%	
	H	50% 3/6 Flexion -	33% 4/6 Flexion -	67%	17% 5/6 Flexion -	83%	
Phase C	F	5/9 Extension -	4/9 Extension -	4/9 Extension -	3/9 Extension -	1/9 Extension - 11%	
	H	56% 4/9 Flexion -	44% 5/9 Flexion -	56%	33% 5/9 Flexion -	7/9 Flexion - 78%	
Phase C	F	44%	56%	56%	56% 1/9 Mixte -	1/9 Stable - 11%	
	H				11%		

Tableau 4.13. Etude différentielle homme/femme avec une vue globale du comportement rachidien du groupe A

Il est intéressant de constater un comportement différent entre les cavaliers novices femmes et les hommes.

- Dans la Phase A : alors que les femmes ont une mobilité unique à 100% dans 3 étages sur 4, les hommes eux, ont un comportement partagé à chaque niveau, voire une hétérogénéité au niveau lombaire. Pour les femmes, on constate une totale dynamique en EXTENSION au niveau rachidien inférieur alors qu'au niveau supérieur (thoracique, il y a partage en flexion et mixité) la tendance à la FLEXION semble se dégager. L'interrogation porte alors sur la capacité musculaire à contrecarrer le mouvement du cheval mécanique, il est dès lors plausible d'envisager plutôt qu'un accompagnement du cycle du cheval, une compensation au déséquilibre. Il en est de même pour les hommes mais avec des scores partagés puisqu'à aucun moment, les cavaliers n'adoptent une unanimité de résultat.
- Dans la Phase B : dans la descente vers la position basse, les cavalières ont une dynamique majoritairement vers l'EXTENSION sur les 4 niveaux, seul le niveau thoracique présente un partage à 50/50 en flexion et extension. Pour les hommes, le résultat est plus contrasté puisqu'hormis au niveau sacré où très majoritairement, à 67%, le mouvement s'oriente vers l'EXTENSION, dans les autres niveaux, la tendance est plus nuancée puisque seul l'étage lombaire évolue pleinement vers l'EXTENSION à 56% alors qu'au niveau supérieur aucune tendance ne se dégage ; mieux, à chaque fois l'on observe des cavaliers qui adoptent soit une mixité, soit une stabilité.

- Dans la Phase C : on note une différence comportementale entre les femmes et les hommes puisqu'au niveau sacré, les cavalières, présentent à 100%, une tendance à la FLEXION alors que chez les hommes, les résultats sont partagés, avec toutefois une majorité de 78% qui évolue vers la FLEXION. Au niveau lombaire et thoracique, chez les débutantes, l'évolution est très nettement vers la FLEXION alors que chez les hommes, la situation est moins flagrante avec dans les deux cas 56% seulement des cavaliers qui mobilisent en FLEXION. Au niveau cervical, alors que la population féminine se partage à 50/50 entre FLEXION et EXTENSION, les hommes eux vont à 56% vers l'EXTENSION.

✓ Changement d'orientation vertébrale

Nous nous sommes attachés à analyser les changements d'orientation des vertèbres lors des changements de position (passage de la marche à la station assise statique sur le cheval mécanique – station assise statique/position basse – position basse/position haute). Ensuite nous avons analysé le comportement vertébral le plus marquant global au niveau lombaire et thoracique.

	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Lombaire	6/15 – L2. 40%	9/15 – L5.60%	7/15 – L5.47%	12/15 – L5.80%
Thoracique	5/15 – T8.33%	9/15 – T9.60%	6/15 – T9.40%	8/15 – T8.53%

Tableau 4.14. Changement d'orientation vertébrale au niveau thoracique et lombaire.

Au niveau lombaire, la vertèbre **L5** semble s'avérer être l'élément le plus mobile tout en sachant qu'il convient de garder à l'esprit qu'il existe une unité fonctionnelle avec le sacrum puisque l'on constate un synchronisme complet et majoritaire dans toutes les phases.

A l'étage thoracique, c'est le couple **T8/T9**, qui semble être le plus mobile, cela pour confirmer la tendance globale qui veut que le rachis thoracique inférieur se comporte à l'unisson des lombaires.

Si l'on considère le fonctionnement général du cavalier novice, l'on peut résumer en décrivant une statique inférieure (lombo-sacrée) mais une mobilité accrue sur les autres niveaux que cela soit en lombaire haut mais aussi et surtout en thoracique et cervical. L'élément le plus marquant semble être la mobilité accrue du secteur thoracique avec ce que l'on peut envisager comme, une notion protectrice en réaction à la « peur de la chute » de la part du cavalier débutant.

4.4.2.1.2 - Variation des Angles Radiologiques

✓ Angle $\alpha.1$

L'évolution d' $\alpha.1$ sur le cycle du cheval mécanique appelle plusieurs remarques chez les cavaliers « NOVICES » :

- Les mesures de cet angle confirment le positionnement « dans le plan sagittal » du sacrum, puisque durant la Phase A et B, le sacrum tend vers l'EXTENSION induisant un mouvement de bascule postérieure pelvienne alors que dans la phase C, il tend à se positionner en FLEXION. Il faut noter que le passage de la MARCHÉ vers la position assise statique implique une im-

portante modification angulaire (due à la flexion de hanche qui s'accompagne d'une rétro-pulsion pelvienne, qui elle-même entraîne une extension sacrée) alors que dans les deux autres phases, la variation angulaire est minime (0.50 pour Phase A et 1.21 pour Phase B), ce qui témoigne de la faible activation du complexe lombo-pelvien, autrement dit de la grande fixité de la ceinture pelvienne avec pour conséquence, une faible activation des hanches. Ceci pourra aussi mettre en évidence le jeu de la charnière lombo-sacrée.

Valeurs en degrés	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Valeur moyenne $\alpha 1$	22.93	8.14	7.64	8.85
Evolution $\alpha 1$	Phase A -15.33° vers Extension	Phase B -0.50° Stable	Phase C +1.21° vers Flexion	

Tableau 4.15. Evolution de l'angle $\alpha.1$ pour le groupe A.

✓ Angle $\alpha.2$

L'évolution d' $\alpha.2$ sur le cycle du cheval mécanique appelle plusieurs remarques chez les cavaliers « NOVICES » :

Valeurs en degrés	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Valeur moyenne $\alpha 2$	44.66	33.14	31.50	32.50
Evolution $\alpha 2$	Phase A -11.52 vers Extension	Phase B -1.64° vers Extension	Phase C +1 vers Flexion	

Tableau 4.16. Evolution de l'angle $\alpha.2$ pour le groupe A.

- Ici aussi pour $\alpha.2$ l'évolution angulaire traduit et confirme l'étude du positionnement sagittal avec durant la phase A une évolution vers une diminution angulaire qui se traduit par une verticalisation sacrée, elle-même synonyme d'extension (ou contre nutation) du sacrum.
- Par rapport aux deux autres phases, la tendance est confirmée avec une diminution de l'angle pour atteindre le minimum (31.50°) en position basse, signe d'une bascule postérieure du bassin avec une accentuation en se dirigeant vers la position haute. Là encore, il est important de constater le faible différentiel angulaire d' $\alpha.2$ entre la position assise statique et les positions basses et hautes du cheval mécanique.
- Cet état de fait caractérise une moindre activité du complexe lombo-pelvien, lui-même induit par une fixité des hanches, ceci étant justifié par :
 - o l'appui majoré des cavaliers « Novices » dans les étriers et ce dans un souci d'accroître la stabilité
 - o la pression majorée des groupes adducteurs de hanche, combinée à l'excès de travail de la chaîne postérieure du membre inférieur, toujours dans une recherche de stabilité >>> augmentation de la fixité des hanches avec donc une diminution de la mobili-

té et ceci de façon bilatérale empêchant ainsi à la fois une dissociation bassin/membre inférieur mais aussi ½ bassin par rapport à l'autre.

✓ Angle $\alpha.3$

Valeurs en degrés	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Valeur moyenne $\alpha 3$	32.86	18.50	22.85	21.50
Evolution $\alpha 3$	Phase A	Phase B	Phase C	
	-14.36	4.35	1.35	
	Augmentation lordose	Diminution lordose	Stabilisation lordose	

Tableau 4.17. Evolution de l'angle $\alpha.3$ pour le groupe A.

L'étude de la variation de l'angle lombaire $\alpha.3$, permet de faire le rapprochement, une fois de plus avec les variations de positions sagittales à savoir que le passage de la MARCHÉ à la station assise statique sur le cheval mécanique tend à augmenter la lordose lombaire suite à une mobilisation globale en EXTENSION de la colonne lombaire.

Comme nous l'avons exposé plus en avant, le passage de la position érigée bipodale à la station assise sur le cheval est synonyme de recrutement des muscles érecteurs du rachis, ce qui se traduit, ici, par une attitude globale en extension.

Ensuite durant les phases actives du cheval mécanique, il y a lors de la descente en phase B, une diminution de la lordose qui peut trouver justification avec la mobilisation « partagée » des cavaliers novices, en effet dans cette phase B, seuls 6/15 ont un rachis lombaire qui tend vers l'extension (augmentation de la cambrure) alors que 9/15 ont soit une mixité, soit une attitude en flexion, ceci permettant d'expliquer cette réduction de lordose alors que dans la dernière phase, où la bascule du cheval s'effectue en bas et en avant, la lordose lombaire a tendance à se stabiliser (faible amplitude 1.35°).

✓ Angle $\alpha.4$

Valeurs en degrés	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Valeur moyenne $\alpha 4$	67.60	68.85	75.92	75
Evolution $\alpha 4$	Phase A	Phase B	Phase C	
	1.25	7.07	-0.92	
	Diminution cyphose	Diminution cyphose	Stabilité cyphose	

Tableau 4.18. Evolution de l'angle $\alpha.4$ pour le groupe A.

La lecture de l'évolution d' $\alpha.4$ permet de constater que le rachis thoracique présente une valeur légèrement plus importante en station assise statique sur cheval mécanique que durant la marche, ce qui tend à confirmer la notion d'auto grandissement rachidien « automatique ». Par contre lors des phases B et C, il est intéressant de noter une angulation d' $\alpha.4$ plus marquée (+7.07°), ce qui tend à montrer une plus grande sollicitation de l'étage thoracique durant les phases d'activation du cheval mécanique ; ceci est à rapprocher de la faible variation angulaire observée avec $\alpha.1$, $\alpha.2$ et $\alpha.3$, ce qui met en évidence une mobilisation thoracique plus marquée qu'au niveau lombaire et sacré, confirmant ainsi la fixité rachidienne inférieure du cavalier « novice ».

✓ Angle Ω

Valeurs en degrés	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Valeur moyenne Ω	60.35	55	57.28	58.57
Evolution Ω	Phase A -5.35	Phase B 2.28	Phase C 1.29	

Tableau 4.19. Evolution de l'angle Ω pour le groupe A.

Le comportement de l'angle lombo-sacré Ω , permet de voir le comportement lombo-pelvien statique du cavalier novice, certes variation, il y a mais de manière minime, ce qui témoigne qu'une fois en selle et quelle que soit la phase d'activité du cheval mécanique, le jeu articulaire entre le sacrum et la colonne lombaire est des plus réduite. Là encore cette relative statique est le reflet du comportement passif ou attentiste du débutant qui, ne souhaitant pas être déséquilibré (peur de la chute) se fige en renforçant les appuis sur les deux membres inférieurs, entraînant ainsi un « blocage lombo-pelvien ».

Pour corroborer ces enregistrements, il nous a semblé utile d'analyser les variations angulaires et surtout de les chiffrer et cela à chaque étage, ceci afin de nous permettre d'aborder de façon plus précise le comportement dynamique du cavalier « novice ». Nous avons ensuite analysé les variations de cette valeur moyenne, puis nous l'avons répartie en 4 catégories : inférieure à 10°, entre 10° et 15°, entre 15° et 20° et supérieure à 20°. La simple lecture du tableau ci-dessous permet de visualiser et de quantifier les déplacements rachidiens des cavaliers « novices ». Cela nous renseigne également, nous praticiens cliniciens, sur les zones les plus délicates à surveiller ou à préparer chez les sujets.

Variation de la Valeur Moyenne	GLOBALE	CERVICALE	THORACIQUE	LOMBAIRE
< 10°	3 – 20%	5 – 33%	10 – 67%	6 – 40%
Entre 10° et 15°	6 – 40%	3 – 20%	2 – 13%	3 – 20%
Entre 15° et 20°	3 – 20%	3 – 20%	2 – 13%	6 – 40%
>20°	3 – 20%	4 – 27%	1 – 7%	0

Tableau 4.20. Variation de la valeur angulaire moyenne pour le groupe A.

Global : hétérogénéité des valeurs, répartition entre les 4 groupes avec une localisation mobile qui se situe entre 10/15°.

Cervical : là encore une mobilisation répartie de façon similaire avec 8 cavaliers /15 qui présentent un différentiel \leq à 15° et 7 sujets /15 \geq à 15°

Thoracique : là, majoritairement chez 10 sujets /15 (67%), on observe une rigidité du thorax qui s'explique par cette appréhension permanente de la chute ou de l'événement imprévu, l'impondérable.

Lombaire : mise en évidence d'une majorité marquée chez qui il n'existe quasiment pas de mouvement, puisque 9 sujets/15 (60%) ont une variabilité \leq à 15° alors qu'aucun de ces cavaliers ne voit la mobilité croître au delà de 20°.

Pour résumer, le cavalier « novice » du Groupe A présente une mobilité marquée avec toutefois un thorax figé et un blocage de la ceinture pelvienne. Tel un pantin, il essaiera d'assurer une stabilité sur le cheval en se figeant totalement dans sa selle avec un appui maximum sur les étriers et avec en plus des membres inférieurs plaqués contre le flanc du cheval, entraînant un tableau d'hyper contraction (voire contractures) des groupes adducteurs de hanche, interdisant toute mobilité à celle-ci.

4.4.2.1.3 - Conclusions pour ce groupe A « NOVICES »

. Hétérogénéité des résultats, il n'existe pas de grandes lignes directrices sur le comportement rachidien chez le cavalier « novice », tous les étages sont mis en action sans réellement aucune cohérence si ce n'est au niveau inférieur.

. Il existe une grande fixité (ou tout du moins stabilité) du sacrum pour 88% de la population du Groupe A, ce qui confirme notre hypothèse de départ selon laquelle, le cavalier « novice » présente une mobilité sur tous les niveaux alors qu'il y a une grande rigidité pelvienne, compréhensible par l'appréhension suscitée par les réactions mêmes du cheval et par l'activité équestre elle-même.

. Le cavalier « novice » se laisse emporter par le mouvement du cheval mécanique. Il convient alors de distinguer deux types de réactions :

- Passivité totale : accompagnement du rachis du cavalier par rapport aux déplacements du cheval mécanique et des déséquilibres engendrés par celui-ci. Le comportement dynamique du cavalier est fonction du déséquilibre issu de l'action motrice du cheval mécanique.
- Velléité réactionnelle : se traduit par des réactions contraires aux déplacements et déséquilibres du cheval mécanique.

. Complexe fonctionnel rigide composé de L5S1.

. Comportement différencié hommes / femmes qui se manifeste par une plus grande hétérogénéité des mouvements rachidiens chez les cavaliers. Force est de constater que les femmes possèdent une plus grande réactivité et adaptabilité comportementale par rapport aux mouvements du cheval mécanique. Il est dès lors judicieux de s'interroger sur la plus grande faculté proprioceptive féminine (capacité réactionnelle en feed back).

- . Faibles variations des angles α_1 (pente sacrée) et α_2 (verticalisation sacrée).
- . Modification notable de l'angle α_3 (angle lombaire) qui traduit une grande « flexibilité » de la colonne lombaire, seule unité capable de s'adapter aux comportements et déséquilibres issus du fonctionnement du cheval mécanique.
- . Variation importante de l'angle α_4 (angle cyphose thoracique) qui traduit une instabilité rachidienne supérieure. L'objectif majeur du cavalier « novice » est de parvenir à se maintenir assis sur le cheval, pour cela, « tous les moyens sont bons », c'est-à-dire que les déplacements de la colonne vertébrale (qui selon eux, doit suivre les déplacements du cheval) seront grands.
- . Chez le cavalier « novice », l'idée majeure qui se dégage de ces enregistrements est que les étages inférieurs (bassin/sacrum) sont fixes, de façon à « assoir » sa position sur le cheval ; c'est-à-dire qu'à partir de ce moment là, il convient de considérer le comportement du « novice » comme ayant un point fixe inférieur (membres inférieurs fixés autour des étriers et bassin « vissé » dans la selle) et donc un point mobile supérieur, rachidien (qui se traduit ici par une grande mobilité des étages rachidiens). C'est avec ce mode de fonctionnement que le cavalier « novice » affutera ses armes pour travailler selon un axe vertical en fonction des allures du cheval (pas, trot assis et trot enlevé)

4.4.2.2 - GROUPE B – « CONFIRMES »

C'est une population de 15 cavaliers qui ont un niveau Galop 4 ou 5, qui pratiquent l'équitation 1 à 2 fois par semaine à raison de 1h minimum. Cette population qui possède une base équestre certaine avec comme les définissent les textes de la FFE en vigueur pour l'obtention du **GALOP 5**, la capacité de :

- Dérouler une reprise de dressage imposé avec aisance ;
- Contrôler sa vitesse et sa cadence sur un parcours d'obstacles et de cross ;
- Comprendre la psychologie du cheval et savoir communiquer sur les bases du respect de sa nature ;
- Travail de la position, de l'efficacité et de la discrétion des aides ;
- Stabiliser son équilibre au trot enlevé en terrain varié ;
- Stabiliser son équilibre en enchaînant des sauts ;
- Stabiliser son équilibre sur des sauts rapprochés en ligne droite ;
- Découvrir son équilibre lors de sauts en terrain varié. ;
- Stabiliser son équilibre au trot assis ;
- Rechercher son équilibre assis lors de changements d'allure et sur des déplacements latéraux au pas ;
- Maintenir une vitesse régulière dans chacune des trois allures ;
- Varier l'amplitude au pas ;
- Prendre le galop en un point précis ;
- Trotter à partir de l'arrêt ;
- Maintenir une vitesse régulière au galop en enchaînant des sauts ;
- Contrôler la vitesse et l'allure en enchaînant des sauts en terrain varié ;
- Enchaîner et inverser des courbes serrées au pas et au trot ;
- Diriger au galop en enchaînant des sauts ;
- Diriger à l'abord et à la réception de sauts isolés en terrain varié ;
- Déplacer sa monture latéralement type cession à la jambe au pas.

Ceci signifie que l'acquisition de la liberté du bassin devrait être acquise, avec une prise de conscience de la dissociation des ceintures et de la nécessité de fixité du tronc. Ces cavaliers sont à mêmes de sortir en extérieur aux 3 allures (PAS – TROT – GALOP) sans problème particulier, ce qui induit une aptitude à maîtriser sa monture en toute circonstance. Le point principal dans le cursus d'apprentissage de ce « GALOP 5 » réside dans l'acquisition de l'EQUILIBRE en toute circonstance, c'est-à-dire que le cavalier est en capacité d'appréhender le positionnement de son centre de gravité par rapport à celui de son cheval.

Cette capacité à ajuster son centre de gravité est issue de l'utilisation optimale des « aides » qui permet au cavalier de mieux appréhender sa monture. La faculté de positionnement du centre de gravité oblige le cavalier « confirmé » à acquérir ou à développer une proprioception des plus performantes. La qualité proprioceptive, prédispose selon DUFOUR et PILLU* (2002) le muscle à réagir automatiquement et le plus rapidement possible aux agressions extérieures susceptibles de causer dommage à l'intégrité articulaire ou osseuse. Cette propriété de vigilance musculaire, est fonction de la richesse en récepteurs et fuseaux neuro-musculaires. Toutefois le temps de réaction étant de l'ordre de 1/00 de seconde, si le mouvement est plus rapide, il ne peut plus être question d'un *feed-back* mais plutôt d'un *feed-forward*, c'est-à-dire une capacité d'**anticipation**, ce qui est exigée dans notre situation équestre.

La répartition de la population de ce GROUPE B est la suivante :

	Hommes	Femmes	Population Totale
Population Totale du GROUPE B	7	8	15
Entre 18 et 25 ans	1	4	5
Entre 25 et 35 ans	1	3	4
Entre 35 et 50 ans	0	1	1
Plus de 50 ans	5	0	5

Tableau 4.21. Répartition de la population du groupe B selon l'âge et le sexe.

Comme pour le groupe A, nous nous sommes assurés qu'aucun de ces cavaliers ne présente de problèmes structurels rachidiens (ni scoliose, ni séquelles DRC, ni HD ou séquelles HD), ni phénomène inflammatoire rachidien évolutif (spondylarthrite ankylosante, PCE, etc....), ni problème neurologique (polyradiculonévrite). L'examen clinique rachidien n'a pas permis de mettre en évidence la moindre altération de l'appareil locomoteur.

L'étude se décomposera de la façon suivante :

4.4.2.2.1 - Positionnement vertébral par variation angulaire régionale

Là encore, il s'agit de relever le positionnement de chaque pièce vertébrale de chaque cavalier dans le plan sagittal (donc soit en flexion, extension voire position neutre). Nous observerons donc la position de chaque pièce vertébrale dans les quatre situations « prédéfinies » au départ de notre étude.

Une fois le relevé des éléments vertébraux réalisé, pour chaque étage, il convient à chaque vertèbre de voir la variation de positionnement et ensuite ainsi établir une moyenne pour chaque niveau rachidien.

✓ **LE SACRUM.**

L'évolution du positionnement du sacrum dans ce groupe s'effectue en EXTENSION lors du passage de la MARCHE vers la station assise cheval statique (11 sujets/14). La notion d'EXTENSION est définie en comparant la situation sacrale dans la position MARCHE et dans la station assise statique sur cheval mécanique – Prenons par exemple le cas du sujet 16 : le sacrum présente une angulation de 34° par rapport à la verticale virtuelle, cette angulation est de 28° en station assise statique, d'où un différentiel négatif de 6°, c'est-à-dire une fermeture angulaire qui équivaut à un déplacement postérieur sacré, donc un mouvement d'EXTENSION. Ceci selon KAPANDJI* (1980) doit s'accompagner d'une diminution de la cambrure lombaire.



Figure 4.13. Vue 3D rachis sujet 16 lors de la MARCHE avec un sacrum à 34° inclinaison par rapport à la verticale ($\alpha.2$).



Figure 4.14. Vue 3D rachis sujet 16 en station assise statique avec un sacrum à 28° inclinaison par rapport à la verticale ($\alpha.2$).

Par contre lors de la séquence dynamique, le sacrum se positionne en FLEXION que cela soit en position basse (9 sujets/15) ou en position haute (8/15). Cette évolution vers la flexion du sacrum, c'est-à-dire une projection vers le bas et l'avant du plateau sacré alors que la pointe et le coccyx vont migrer vers le haut et l'arrière, est nommé « NUTATION ». Celle-ci selon KAPANDJI* (1980) doit s'accompagner d'une accentuation de la cambrure lombaire.

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Assis Statique	Assis Statique vers Position Basse	Position Basse vers Position Haute
SACRUM	Vers Extension	11/14 – 79%	6/15 – 40%	7/15 – 47%
	Vers Flexion	3/14 – 21%	9/15 – 60%	8/15 – 53%

Tableau 4.22. Comportement du sacrum dans les différentes phases de l'étude pour le groupe B.

Si l'on rapproche ces données au comportement équestre selon les séquences, le passage à la station assise statique sur cheval mécanique va induire automatiquement une EXTENSION du sacrum, c'est-à-dire un pivotement postérieur qui devrait s'accompagner d'une diminution de la lordose lombaire. Toutefois, dès que l'activité dynamique entre en action, le sacrum pivote vers l'avant, de façon plus marquée lors du passage station assise statique à la position basse, tandis que cela s'effectuera de manière moins flagrante lors de l'ascension du cheval mécanique.

✓ *ETAGE LOMBAIRE.*

Le comportement de l'étage lombaire des cavaliers « CONFIRMES » se rapproche des standards classiquement décrits puisque, de la MARCHE à la station assise statique sur cheval mécanique, la colonne lombaire se positionne en EXTENSION. Là encore, l'EXTENSION est définie par le différentiel de positionnement vertébral entre les 2 situations. Ce qui diffère par rapport au sacrum, c'est qu'aux niveaux supérieurs (lombaire, thoracique et cervical), il s'agit d'une moyenne du différentiel rapporté au nombre de pièces vertébrales par étage.

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise statique	Station assise vers Position Basse	Position Basse vers Position haute
LOMBAIRE	Vers EXTENSION	9/14 – 64%	5/15 – 33%	5/15 – 33.3%
	Vers FLEXION	5/14 – 36%	9/15 – 60%	5/15 – 33.3%
	STABILITE		1/15 – 7%	5/15 – 33.3%

Tableau 4.23. Comportement de la colonne lombaire dans les différentes phases de l'étude pour le groupe B.

Alors que 9 sujets sur 14 (64%) présentent un positionnement lombaire en EXTENSION lors du passage à la station assise statique cheval, ils sont 9/15 (60%) à se mouvoir vers la FLEXION lors de la descente du cheval mécanique ; cette situation est à rapprocher de la vitesse de déplacement qui va déstabiliser le cavalier en imprimant un déséquilibre postérieur, automatiquement compensé par une projection antérieure rachidienne globale, ce qui se traduira ici par un effacement de la cambrure lombaire, conséquence de cette flexion. Par contre, il est à noter que lors du passage de la position basse à la position haute, aucune tendance nette, ne se dégage puisque 5/15 cavaliers observent soit une attitude en extension, soit en flexion, soit une stabilité. *Cette dernière étant définie, de manière arbitraire, par une moyenne des différentiels angulaires inférieure ou égale à 1°.*

✓ *ETAGE THORACIQUE.*

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise statique	Station assise vers Position Basse	Position Basse vers Position haute
THORACIQUE	Vers EXTENSION	7/14 – 50%	3/15 – 20%	10/15 – 66%
	Vers FLEXION	7/14 – 50%	9/15 – 60%	5/15 – 30%
	STABILITE		3/15 – 20%	2/15 – 4%

Tableau 4.24. Comportement de la région thoracique dans les différentes phases de l'étude pour le groupe B.

L'étage thoracique se singularise par une diversité comportementale puisque le passage à la position assise statique voit la population de cavaliers confirmés se partager entre **50%** qui évoluent **vers la flexion** et **50% vers l'extension**. Ceci est conforme au postulat de départ concernant ce groupe de « confirmés » : des cavaliers qui présentent une maîtrise aux 3 allures mais pour lesquels, le GALOP 5 impose un travail spécifique de l'équilibre de la position et donc de l'assiette. Il convient au regard de notre population de « confirmés » de mettre en évidence une « sous population » plus aguerrie que l'autre, ce qui se vérifiera dans l'installation à cheval puisqu'une partie, certainement plus timorée aura tendance, dans un réflexe protecteur à se projeter vers l'avant (repli protecteur fœtal) alors que l'autre partie optera pour une position plus assurée en arrière (en extension).

Si l'on continue notre analyse, il est à noter que dans la phase suivante les cavaliers « subissent » tout de même la cinétique du cheval mécanique puisque lors de la phase descendante, il s'en suit un déséquilibre postérieur que **60%** (9/15) des cavaliers « confirmés » auront, dans un automatisme, tendance à compenser par une **projection antérieure du thorax**, alors que durant la phase ascensionnelle, un déséquilibre antérieur issu de l'obliquité en bas et en avant du cheval (arrière main élevée), sera compensé par une **projection massive postérieure, en extension pour 66%** (10/15) des individus. Celle-ci devrait s'accompagner d'une réduction de la cyphose thoracique.

✓ *ETAGE CERVICAL*

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise statique	Station assise vers Position Basse	Position Basse vers Position haute
CERVICAL	Vers EXTENSION	7/14 – 50%	4/15 – 27%	8/15 – 53%
	Vers FLEXION	6/14 – 43%	8/15 – 53%	4/15 – 27%
	STABILITE	1/14 – 7%	3/15 – 20%	3/15 – 20%

Tableau 4.25. Comportement de la colonne cervicale dans les différentes phases de l'étude pour le groupe B.

Le comportement du rachis cervical est assez révélateur de ce groupe de « confirmés » qui oscille entre l'hétérogénéité des novices et la rigueur des experts.

Durant la phase A – c'est-à-dire lors du passage en station assise cheval, l'étage cervical vient se positionner en **extension** pour **50%** des cavaliers (7/14) contrecarrant ainsi le comportement partagé thoracique.

Durant la phase B – c'est-à-dire lors de la phase descendante, l'arrière main du cheval s'affaisse, un déséquilibre postérieur s'enclenche et le rachis cervical vient accompagner l'étage thoracique en évoluant vers la **flexion dans 53%** (8/15) des cas. Notons également que pour les 43% restant, l'évolution se partage entre l'extension et la stabilité. Ceci peut traduire une insuffisance musculaire qualitative c'est-à-dire un déficit proprioceptif puisqu'aucune fixité n'intervient, bien au contraire.

Durant la phase C – c'est-à-dire lors de la phase ascensionnelle, le cheval s'incline vers le bas et l'avant entraînant un déséquilibre antérieur compensé par une **projection postérieure** du thorax certes, mais aussi en complémentarité du niveau cervical pour **53%** (8/15) des cavaliers. La propor-

tion, majoritaire certes, est toutefois compensée par 43% des sujets qui eux accompagnent ce déséquilibre antérieur soit par une flexion cervicale dans 27% des cas soit par une stabilité dans 20%. Le cavalier confirmé ne se laisse pas happé par le mouvement du cheval car il tend à compenser les différents déséquilibres suscités par ce dernier ; néanmoins il ne parvient pas à fixer suffisamment les différents segments rachidiens donnant ainsi la rigidité « supérieure » souhaitée.

✓ *COUPLE T12/L3*

L'éventuelle interrelation entre le rachis thoracique inférieur et l'étage lombaire est mise en évidence à travers l'étude de ce couple T12/L3. Rappelons la particularité de T12, qui ne possède aucune insertion musculaire alors que L3 est considérée comme sommet de la cambrure lombaire ; donc sa mobilité témoignera du comportement de celle-ci. Si l'on regarde plus en détail le comportement de ces 2 vertèbres :

T12 : EXTENSION 5/14 (33%) – FLEXION 6/14 (43%) – Stabilité 3/14 (24%)

L3 : EXTENSION 11/14 (79%) – FLEXION 3/14 (21%)

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise statique	Station assise vers Position Basse	Position Basse vers Position haute
Th12 – L3	Flexion / Flexion	2/14 – 14%	9/15 – 60%	4/15 – 26%
	Flexion / Extension	4/14 – 29%	0	0
	Extension / Extension	5/14 – 36%	4/15 – 26%	8/15 – 53%
	Extension / Flexion	0	0	1/15 – 7%
	Stabilité / Flexion	1/14 – 7%	1/15 – 7%	1/15 – 7%
	Stabilité / Extension	2/14 – 14%	1/15 – 7%	1/15 – 7%

Tableau 4.26. Comportement du couple Th12/L3 dans les différentes phases de l'étude pour le groupe B.

Il se dégage une tendance pour ce groupe B : lors de l'installation à cheval, 5/14 (36%) des cavaliers présentent un couple T12/L3 orienté vers l'EXTENSION, ce qui confirme nos observations précédentes, à savoir une synergie fonctionnelle entre le rachis thoracique inférieur et le rachis lombaire. Lors de la mise en activation du cheval mécanique, c'est vers la FLEXION que s'oriente le couple T12/L3 ; là encore, il y a confirmation de notre constatation sur la similitude dynamique. Enfin lors du mouvement ascensionnel, le cheval présente un déséquilibre antérieur avec une obliquité vers le bas et l'avant, ce qui propulse le couple T12/L3 vers l'arrière, donc vers l'EXTENSION par réflexe salutaire protecteur évitant la chute antérieure. Alors que la colonne lombaire se répartissait en 3 situations FLEXION – EXTENSION et STABILITE, le couple T12/L3 lui se dissocie, ce qui tend à objectiver chez la population des « confirmés », une aptitude du rachis thoracique à compenser seul les déséquilibres extérieurs. Ce qui, au final, tend à mettre en évidence une propension plus grande du cavalier à réagir au déséquilibre postérieur (par une projection antérieure du tronc, posture ancestrale protectrice) par rapport à l'antérieur (perturbation du schéma corporel humain vis-à-vis de toute évolution dans le champ postérieur).

✓ *COUPLE L5/S1*

Comme nous le soulignons plus haut, l'étude de ce couple fonctionnel, permet de visualiser l'hypothèse d'entité dynamique du rachis lombaire inférieure L4-L5-S1 comme l'a ainsi défini KAPANDJI* (1980). Ce dernier considère le segment lombaire comme 2 unités fonctionnelles distinctes, avec au centre une vertèbre « sommet », L3. Cela est également intéressant pour valoriser ou non la mobilité spécifique de la charnière lombosacrée et donc par ricochet, celui du pelvis. Enfin, cela nous renseignera sur l'activation ou non de la poutre composite, véritable protectrice rachidienne.

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise statique	Station assise vers Position Basse	Position Basse vers Position haute
L5/S1	Flexion / Flexion	3/15 – 20%	10/15 – 67%	10/15 – 67%
	Extension / Extension	12/15 – 80%	4/15 – 27%	5/15 – 33%
	Stabilité / Extension	0	1/15 – 6%	0

Tableau 4.27. Comportement du couple L5/S1 dans les différentes phases de l'étude pour le groupe B.

Une première constatation s'impose à la lecture de ces résultats, la synergie quasi-totale de L5 et du sacrum, confirmant ainsi cette entité fonctionnelle. Dans l'installation sur le cheval mécanique, le couple se fixe en EXTENSION chez 12 cavaliers sur 15 (80%), instillant ainsi une bascule pelvienne postérieure. Par contre lors de la descente du cheval mécanique tout comme dans la dernière séquence ascensionnelle, le couple L5/S1 migre vers la FLEXION dans 67% des cas (10 sujets sur 15). Cela trouve une justification dans la notion protectrice du cavalier, toujours par rapport à l'appréhension de la chute avec :

- Dans la descente, une attitude compensatrice du déséquilibre postérieur se traduisant par une projection antérieure du cavalier qui aura, s'il ne prend pas garde, une propension à vouloir se lever de sa selle par un excès d'appui dans les étriers, majorant ainsi un travail en chaîne fermée avec point fixe inférieur, le tronc étant considéré comme mobile.
- Dans la phase ascensionnelle, nous avons déjà décrit le déséquilibre antérieur généré par le cheval mécanique (avec l'ascension de l'arrière main). De façon réflexe, le cavalier va déclencher un mouvement postérieur global, lui évitant ou limitant tout risque de chute. Dès lors, le tronc effectue une extension globale par rapport au bassin, plaçant celui-ci en position antérieure, confirmée par le positionnement du couple L5/S1.

✓ *Etude différentielle HOMME/FEMME.*

Pour rappel, dans ce groupe de cavaliers « CONFIRMES », la répartition s'effectuait comme suit : 9 FEMMES et 6 HOMMES. Dans ce groupe B, il est à observer une homogénéité des résultats féminins par rapport à leurs collègues masculins.

9 Femmes & 6 Hommes		CERVICAL	THORACIQUE	LOMBAIRE	SACRUM
Phase A	Femme	5/9 – Flexion 4/9 - Extension	5/9 – Flexion 4/9 - Extension	7/9 – Extension 2/9 - Flexion	7/9 – Flexion 2/9 - Extension
	Homme	2/5 – Extension 2/5 – Flexion 1/5 - Stabilité	3/5 – Extension 2/5 - Flexion	3/5 – Flexion 2/5 - Flexion	4/5 – Extension 1/5 - Flexion
Phase B	Femme	5/9 – Flexion 2/9 – extension 2/9 - Stabilité	5/9 – Flexion 3/9 – Extension 1/9 - Stabilité	6/9 – Flexion 3/9 - Extension	6/9 – Flexion 3/9 - Extension
	Homme	3/6 – Flexion 2/6 – Extension 1/6 - Stabilité	4/6 – Flexion 2/6 - Extension	3/6 – Flexion 2/6 – Extension 1/6 - Stabilité	3/6 – Flexion 3/6 - Extension
Phase C	Femme	6/9 – Flexion 3/9 - Extension	7/9 – Extension 1/9 – Flexion 1/9 - Stabilité	4/9 – Stabilité 3/9 – Flexion 2/9 - Extension	5/9 – Flexion 4/9 - Extension
	Homme	3/6 – Flexion 2/6 – Extension 1/6 - Stabilité	4/6 – Extension 2/6 – Flexion 1/6 - Stabilité	3/6 – Flexion 2/6 – Extension 1/6 - Stabilité	3/6 – Flexion 3/6 - Extension

Tableau 4.28. Etude différentielle homme/femme du comportement rachidien pour le groupe B.

Dans la phase A : le fait marquant est la répartition binaire du rachis avec un segment inférieur féminin qui évolue vers l'EXTENSION dans 78% des cas (7/9 cavaliers), alors que les 2 étages supérieurs fonctionnent de concert eux aussi avec un positionnement en FLEXION dans 56% des cas (5/9 cavaliers). A l'inverse, le comportement masculin est plus complexe avec un sacrum qui se place en EXTENSION dans 80% des cas (4/5 cavaliers), un étage lombaire en FLEXION dans 60% des cas (3/5) et thoracique en EXTENSION dans 60% des cas et cervical qui oscille entre FLEXION et EXTENSION dans 50% des cas chacun.

Dans la phase B : chez les cavalières, tous les niveaux se positionnent en FLEXION 67% pour le sacrum et les lombaires et 56% pour les thoraciques et cervicales. Chez les hommes, les résultats sont plus contrastés avec au niveau du sacrum une égalité parfaite entre FLEXION et EXTENSION. Pour les autres étages, la tendance majoritairement (entre 50 et 67%) s'effectue vers la FLEXION.

Dans la phase C : les cavaliers voient les étages inférieurs évoluer vers la FLEXION à 50% alors qu'au niveau thoracique, c'est l'EXTENSION qui prime à 67%. Enfin les cervicales par compensation se placent en FLEXION dans 50% des cas. Chez les femmes, les étages inférieurs observent un positionnement en FLEXION pour le sacrum dans 56% des cas, l'étage lombaire observant une stabilité pour 44% des sujets, 33% se lacent en FLEXION. Au niveau supérieur, l'EXTENSION est franche et massive avec 78% des cas pour les thoraciques et 67% pour les cervicales.

✓ *CHANGEMENT d'ORIENTATION VERTEBRALE.*

Nous nous sommes attachés à analyser les changements d'orientation des vertèbres lors des changements de position (passage de la marche à la station assise statique sur le cheval mécanique – station assise statique/position basse – position basse/position haute). Ensuite nous avons analysé le comportement vertébral le plus marquant global au niveau lombaire et thoracique.

	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Lombaire	5/15 (33%) – L5	9/15 (60%) – L5	9/15 (60%) – L5	8/15 (53%) – L5
Thoracique	4/15 (27%) – Th7	5/15 (33%) – Th8	8/15 (53%) – Th8	5/15 (33%) – Th8

Tableau 4.29. Changement d'orientation vertébrale au niveau thoracique et lombaire pour le groupe B.

Au niveau lombaire, la vertèbre **L5** semble s'avérer être l'élément le plus mobile tout en sachant qu'il convient de garder à l'esprit qu'il existe une unité fonctionnelle avec le sacrum puisque l'on constate un synchronisme complet et majoritaire dans toutes les phases. A l'étage thoracique, c'est le couple **Th7/Th8**, qui semble être le plus mobile, ce qui confirme la tendance globale qui veut que le rachis thoracique inférieur se comporte à l'unisson des lombaires. Chez cette population de cavaliers confirmés, il semble que la mobilité rachidienne se mobilise vers la partie médiane du rachis thoracique.

Si l'on considère le fonctionnement général du cavalier « confirmé », on peut le résumer en décrivant une mobilité naissante au niveau de la charnière lombosacrée mais aussi une ascension de cette zone de mobilité avec un élément important à signaler : la présence chez 5 cavaliers (4 femmes et 1 homme) d'une 3^{ème} zone de changement d'orientation vertébrale, reflet d'une adaptabilité réactionnelle de l'individu face aux différentes séquences. Nous notons toutefois, la présence de cette 3^{ème} zone de mobilité majeure dans 44% (4/9) des cavalières de ce groupe B.

Au final, le comportement rachidien de la population des cavaliers « confirmés » semble se définir par une mobilité notoire au niveau du complexe lombo-pelvien, avec cependant, une mobilité des étages supérieurs (thoracique moyen Th3/Th8) et cervical (chez 5 sujets sur 15, dont 4 femmes). C'est donc une orientation vers plus de « liant » de la part des « confirmés » avec la conservation d'une certaine appréhension des situations critiques, qui déclenchent aussitôt des réponses antagonistes rapides en « feed back »

4.4.2.2.2 - Variation des angles radiologiques

✓ *Angle α_1 ou pente sacrée*

	MARCHE	Cheval Statique		Position Basse		Position Haute	
α_1 (moyenne pour les 15 cavaliers)	17.57°	6.73°		7°		6.4°	
Evolution α_1		Phase - 10.84° Vers EXT		Phase B +0.27° Stable		Phase C -0.60° Stable	

Tableau 4.30. Variation de l'angle α_1 pour le groupe B.

NB : La stabilité est définie dans notre étude, comme étant une valeur angulaire (ou un différentiel) inférieur ou égal à 1.

L'analyse de l'angle α_1 permet d'affiner notre raisonnement qui met en lumière la présence d'une entité fonctionnelle L5S1 qui, comme l'a mise en évidence l'étude précise du couple L5S1, affiche des déplacements synergiques entre ces deux pièces osseuses. Cela aura comme incidence de déplacer l'axe du mouvement au dessus de L5, avec une double conséquence : une visualisation quelque peu trompeuse de la cinématique lombo pelvienne puisque s'il existe une « unité fonctionnelle » L5S1, le bassin ne se désolidarise pas totalement du rachis lombaire, d'une part et d'autre part, la répercussion sur les coxo fémorales sera moindre puisque c'est l'étage lombaire qui assurera la dynamique par une variation constante et compensatrice de la cambrure lombaire. Ces cavaliers travailleront donc de manière plus élective avec « les lombaires » qu'avec le complexe pelvien (et hanches). Ceci pourra être confirmé (ou pas) par l'étude de α_3 , véritable révélateur de la variation de la lordose lombaire.

✓ Angle α_2 ou verticalité du sacrum.

	MARCHE	Cheval Statique		Position Basse		Position Haute	
α_2 (moyenne pour les 15 cavaliers)	41.07°	32.73°		32.53°		27.86°	
		Phase A		Phase B		Phase C	
Evolution α_2		-8.34° Vers EXT		-0.20 Stable		-4.67° Vers EXT	

Tableau 4.31. Variation de l'angle α_2 pour le groupe B.

L'évolution de l'angle α_2 sur le cycle du cheval mécanique appelle plusieurs remarques chez les cavaliers « CONFIRMES » :

- Ici aussi pour α_2 l'évolution angulaire traduit et confirme l'étude du positionnement sagittal avec, durant la phase A, une évolution vers une diminution angulaire qui se traduit par une verticalisation sacrale, elle-même synonyme d'extension (ou contre nutation) du sacrum.
- Par rapport à la situation durant la MARCHE, le passage en position assise sur le cheval mécanique induit une diminution de α_2 , synonyme de verticalisation sacrale donc un mouvement de « contre nutation » avec *de facto*, une accentuation de la cambrure lombaire.
- Durant l'activation du cheval mécanique, nous notons une stabilité angulaire lors de la phase descendante, toutefois, la verticalisation s'accroît lors de la phase ascensionnelle avec une accentuation de la lordose lombaire, témoignage de l'hypothèse envisagée plus haut, à savoir une participation lombo-pelvienne « tronquée » avec surtout une variation de la lordose au détriment de l'activation de la ceinture pelvienne et par voie de conséquence une moindre activité des articulations coxo-fémorales.
- Considérant la mise en avant de l'unité fonctionnelle L5S1, l'analyse combinée de α_1 et α_2 nous conforte dans notre raisonnement de la migration mobilisatrice au dessus de L5, mettant en action, la variation de la lordose lombaire.

✓ *Angle $\alpha 3$ – angle lombaire.*

La colonne lombaire se comporte comme un ressort, plus il est comprimé, plus il se déforme. DU-FOUR et PILU* (2002) estiment que, compte tenu de sa courbure initiale, toute force compressive entraînera une accentuation de celle-ci. C'est par l'étude de $\alpha 3$, que nous pourrions achever d'interpréter le comportement spécifique des cavaliers « confirmés ».

	MARCHE	Cheval Statique		Position Basse		Position Haute	
$\alpha.3$ (moyenne pour les 15 cavaliers)	25.35°	23.53°		17.13°		19	
Evolution $\alpha.3$		Phase A -1.82° Vers accentuation lordose		Phase B -6.40 Vers accentuation lordose		Phase C +1.87 Vers diminution lordose	

Tableau 4.32. Variation de l'angle $\alpha.3$ pour le groupe B.

Si nous regardons l'évolution de la lordose lombaire, nous nous apercevons que les sujets « confirmés » ont une utilisation accrue de celle-ci avec des variantes notoires. Si l'on croise les différents éléments étudiés, il apparaît, pour les cavaliers de ce groupe B, que la variation de la lordose lombaire est indépendante du positionnement sacré, puisque le passage de la position MARCHE vers la station assise sur le cheval mécanique va mouvoir le sacrum en EXTENSION (contre nutation) alors que l'angle $\alpha 3$ diminue, accentuant la lordose lombaire alors qu'il aurait été raisonnable de penser que ce déplacement sacré postérieur serait suivi d'un effacement de la cambrure lombaire.

✓ *Angle $\alpha 4$*

Si l'on observe le cycle dynamique complet, il est notoire de constater un effacement de la cyphose thoracique lors du passage en position « cavalier » ; par contre la variation de celle-ci dès que le cheval mécanique s'active est minime, ce qui confirme la stabilité des étages supérieurs *a contrario* d'une mobilité lombaire accrue.

	MARCHE	Cheval Statique		Position Basse		Position Haute	
$\alpha.4$ (moyenne pour les 15 cavaliers)	57.35°	62.93°		59.06°		59.20°	
Evolution $\alpha.4$		Phase A +3.58 Effacement de la cyphose		Phase B -3.87 Augmentation modeste de la cyphose		Phase C +0.14 Stabilité	

Tableau 4.33. Variation de l'angle $\alpha.4$ pour le groupe B.

✓ Angle Ω

Cet angle Ω aura la possibilité de mise en avant de l'existence de cette « entité fonctionnelle » L5S1. L'évolution de cet angle Ω montre qu'elle est minime et toujours en diminution. Cette variation (maximale de 2.38°) justifie notre réflexion vis-à-vis du comportement unitaire L5S1. Cette moindre mobilité accrédite cela.

Ω (moyenne pour les 15 cavaliers)	57.78°	55.66°	55.26°	57.64°
Evolution Ω	Phase A -2.12	Phase B -0.40	Phase C -2.38	

Tableau 4.34. Variation de l'angle Ω pour le groupe B.

Pour tenter de corroborer nos observations, nous nous sommes attachés à analyser les différences de valeurs angulaires moyennes de chaque pièce osseuse pour chaque sujet et de façon spécifique (cervical, thoracique et lombaire) et globale. Ces différentiels sont calculés par rapport à la position de référence sur le cheval mécanique au repos. La finalité est de pouvoir observer puis mesurer objectivement l'importance du déplacement segmentaire lors de l'activité équestre. Ensuite nous regardons la position maximale et minimale quelle que soit la phase d'action (position basse – position haute), ce qui nous importe est de visualiser le comportement dynamique du sujet ; a-t-on à faire à un cavalier qui bouge beaucoup et à tous niveaux ou cela est-il plus sectoriel ? Une fois l'enregistrement des données réalisé, nous répartissons ces valeurs en fonction de l'importance de ce différentiel, nous permettant ainsi une plus grande visibilité quant au comportement cinématique du cavalier. Ainsi a-t-on défini 4 catégories : \leq à 10° ; entre 10° et 15° ; entre 15° et 20° ; et \geq à 20°.

Variation de la Valeur Moyenne	GLOBALE	CERVICALE	THORACIQUE	LOMBAIRE
< 10°	3 – 20%	10 – 67%	3 – 20%	3 – 20%
Entre 10° et 15°	6 – 40%	1 – 7%	7 – 46%	2 – 14%
Entre 15° et 20°	3 – 20%	2 – 13%	4 – 27%	5 – 33%
>20°	3 – 20%	2 – 13%	1 – 7%	5 – 33%

Tableau 4.35. Variation de la valeur angulaire moyenne pour le groupe B.

Ceci nous permet donc de visualiser de façon globale, une tendance pour le cavalier « confirmé » à avoir des différentiels angulaires de manière majoritaire (60%) comprise entre 0 et 15° de variation (3/15 c'est-à-dire 20% \leq 10° + 6/15 donc 40% entre 10° et 15°). Allons plus en avant dans les détails et l'on note de suite qu'au :

- Niveau cervical : une large majorité des sujets, 10 sur 15, soit 67% ont une variabilité réduite \leq à 10° et 1 cavalier sur 15 (donc 7%) entre 10° et 15°.
- Niveau Thoracique : la situation est différente puisqu' à plus de 80%, les cavaliers présentent une variabilité $>$ 10° avec 7 sujets sur 15 (47%) qui se situent entre 10° et 15°, 4 sur 15 (27%) se situent entre 15° et 20° et enfin 1 sur 15 (7%) se situe au-delà de 20°

- Niveau Lombaire : c'est à ce niveau que l'intérêt devient manifeste puisque 10 sujets sur 15, soit 66% présentent une variabilité > à 15° (répartition égale entre les groupes 15/20° et > à 20°). Ceci tend à confirmer ce que nous avons précédemment envisagé, à savoir une activité plus grande de la région lombaire par rapport aux autres étages.

4.4.2.2.3 - Conclusions de l'analyse du GROUPE B « CONFIRMES »

. Tout ceci contribue à mieux définir le comportement dynamique du cavalier du Groupe B, qui tend à stabiliser, voire à rigidifier, son segment cervical, qui présente encore une certaine mobilité au niveau thoracique et qui commence à mettre en jeu son complexe lombo-pelvien.

. Toutefois, en conclusion, il serait tout de même intéressant de mettre l'accent sur la différenciation entre l'activité lombaire des cavaliers « confirmés » où le jeu se situe principalement sur la variation de la cambrure lombaire et non pas une activation franche et nette de la ceinture pelvienne avec participation effective des articulations coxo-fémorales, puisqu'il apparaît à la lecture des différentes valeurs que L5 et S1 (voire L4 ?) se comportent comme étant une seule entité fonctionnelle ; ceci ayant pour conséquence une rigidité sectorielle lombaire basse avec une colonne lombaire active à partir de L3L4.

. Il existe un fonctionnement différencié entre les hommes et les femmes. Apparition d'une organisation sous forme d'une systématisation chez les femmes, avec des étages supérieurs qui tendent à se rigidifier, les niveaux inférieurs demeurant mobiles. Les hommes quant à eux présentent un fonctionnement moins structuré.

. Il faut mettre l'accent chez les cavaliers « confirmés » sur la variation conséquente de l'angle α_3 (angle lombaire) qui traduit une activité majorée de la colonne lombaire, surtout de la cambrure alors que dans le même temps, l'angle Ω ne présente que de faibles valeurs, traduction d'une moindre activité de la ceinture pelvienne, via le sacrum.

. L'évolution mise en évidence chez les cavaliers « confirmés » se situe ainsi:

- Une ébauche de rigidité rachidienne supérieure qui permet au cavalier d'acquérir une stabilité des ceintures scapulaires, tout en conservant en même temps une capacité fonctionnelle de dissociation des ceintures ;
- Un déplacement de mobilité vers les segments inférieurs mais essentiellement au niveau de la colonne lombaire par variation de la cambrure lombaire. C'est grâce à cette faculté d'adaptation à partir de la colonne lombaire, que le cavalier « confirmé » va pouvoir évoluer selon un axe sagittal en fonction des variations de vitesse du cheval (accélération et décélération) ;
- Avec une notion de progression dans l'hypothèse de variation du point fixe inférieur. Ici l'on commence à voir se dessiner un changement de fonctionnement avec un transfert du point fixe inférieur vers les niveaux supérieurs. C'est une situation mixte qui pourrait être décrite chez le cavalier « confirmé » puisque si la rigidité des niveaux supérieurs se profile, la grande mobilité pelvienne ne s'affirme pas totalement car c'est la lordose lombaire qui en assure la grande partie.

4.4.2.3 - GROUPE C – « EXPERTS »

C'est une population de 17 cavaliers qui ont un impératif, être titulaire du Galop 7 minimum (voire plus), et, qui présentent la particularité de pratiquer l'équitation plusieurs heures par jour. Cette population possède une base équestre compatible avec la dispense d'un enseignement ou d'un coaching d'élèves comme il est défini dans le GALOP 7. Il faut garder à l'esprit le concept pyramidal de l'acquisition équestre avec au sommet « L'EQUILIBRE et le RASSEMBLER ». Pour ce faire, le cavalier titulaire du **GALOP 7**, donc capable théoriquement de sortir en compétitions nationales niveau amateur, doit être à même de présenter votre cheval ou votre poney dans un équilibre stable et une amplitude adaptée, sur une reprise de dressage, un parcours de saut d'obstacle, un parcours de cross.

- OBJECTIFS du **GALOP 7**, selon le programme officiel FFE (version 31/07/2012), le cavalier qui prétend à obtenir ce niveau équestre doit être à même :
 - D'avoir son cheval sur la main aux trois allures ;
 - De pouvoir le mettre rond et bas au pas et au trot Incurver son cheval sur les courbes et des inversions de courbes ;
 - De varier l'amplitude aux 3 allures et enchaîner des transitions ;
 - D'effectuer l'échauffement (détente) de son cheval en respectant les consignes de son enseignant ;
 - Au niveau du Dressage :
 - D'être assis dans une posture juste et dynamique adaptée à l'enchaînement des différents mouvements et au travail du cheval ;
 - De réaliser des cercles et des serpentines de 10 m de diamètre au trot dans l'incurvation ;
 - De réaliser des cercles de 10 à 15 m de diamètre au galop dans l'incurvation ;
 - D'effectuer des transitions galop-pas-galop. Partir au contre galop à partir du pas ;
 - De réaliser des courbes de 20 m de diamètre au contre galop ;
 - D'effectuer une épaule en dedans ou une contre épaule en dedans au pas et au trot des deux côtés ;
 - De reculer de 3 à 5 pas en repartant immédiatement. . . .
 - D'enchaîner des mouvements en maintenant une cadence régulière dans chaque allure ;
 - De maintenir la bonne vitesse de chaque allure dans des enchaînements de mouvements ;
 - De diriger sur un tracé précis dans un enchaînement de mouvements ;
 - De pouvoir monter en bride ;

- Pour le Saut d'obstacle :
- De stabiliser son équilibre en enchaînant des sauts ;
- D'adapter son équilibre lors d'un enchaînement de saut ;
- D'adapter l'amplitude des foulées à l'enchaînement des sauts ;
- De conduire sur un tracé précis et choisi pour enchaîner les autres ;
- Sur le Cross :
- De stabiliser son équilibre, sur les étriers, lors d'un enchaînement de sauts en terrain varié ;
- D'adapter son équilibre, sur les étriers, aux profils des obstacles et/ou aux éventuelles déclivités du terrain ;
- D'adapter la vitesse en fonction des difficultés du parcours ;
- De conduire sur un tracé précis et choisi en enchaînant des sauts en terrain varié ;
- D'effectuer un travail à pied spécifique ;
- De travailler parfaitement à la longe un cheval ou un poney enrêné ;
- OBJECTIFS du **GALOP 8**, selon le programme officiel FFE (version 31/07/2012), le cavalier qui prétend à décrocher le galop 8 doit parvenir parfaitement :
 - A utiliser son poids pour travailler au trot enlevé sa monture sur les courbes ;
 - A adapter son équilibre assis lors des déplacements latéraux ;
 - A se stabiliser la cadence dans les déplacements latéraux ;
 - A changer de pied au galop de ferme à ferme ;
- Au niveau du Dressage :
- A utiliser son poids pour travailler au trot enlevé sa monture sur les courbes ;
- A adapter son équilibre assis lors des déplacements latéraux ;
- A stabiliser la cadence dans les déplacements latéraux ;
- A changer de pied au galop de ferme à ferme ;
- A changer de pied en l'air au galop ;
- A maîtriser l'incurvation ;
- A déplacer sa monture latéralement du côté concave (= dans le sens de l'incurvation) au pas et au trot ;

- **Pour le Saut d'obstacle :**

- A maîtriser son équilibre sur les étriers sur différents types de trajectoires ;
- A varier les abords d'un même profil d'obstacle ;
- A respecter un contrat de foulées ;
- A changer de pied en l'air au galop ;
- A conduire sur un tracé serré ;

- **Sur le Cross :**

- A maîtriser son équilibre sur les étriers sur différents types de trajectoires ;
- A varier les abords d'un même profil d'obstacle ;
- A changer de pied en l'air au galop ;
- A conduire sur un tracé serré ;
- A travailler à l'obstacle un cheval ou un poney à la longe (emploi du caveçon, emploi des enrênements) ;
- A travailler un cheval ou un poney en liberté (en aménageant l'espace sur le plat et dans un couloir d'obstacles) en donnant des consignes techniques aux aides ;
- A travailler un cheval ou un poney aux longues rênes sur des courbes aux trois allures.

Cette population du groupe « EXPERTS » comprend **17** cavaliers, **11 Femmes** et **6 Hommes**. Ce sont tous des enseignants d'équitation, des élèves moniteurs ou des cavaliers de niveau national soit en CSO ou en Dressage. L'élément primordial pour être affecté à ce Groupe C était l'obligation de pratiquer l'équitation plusieurs heures par jour, ce qui au final, devait permettre d'envisager une réelle distinction par rapport aux deux autres groupes, la pratique intensive devant être révélatrice du comportement du cavalier. A une exception près, les cavaliers « EXPERTS » ne présentaient pas de pathologie rachidienne susceptible d'altérer la qualité des enregistrements. A noter, que chez une cavalière et une seule, un tableau d'hyper lordose lombaire a été mis en évidence, ce qui n'a pas modifié le comportement de celle-ci à cheval, bien au contraire, comme nous le constaterons plus loin, mais il a été intéressant de voir l'effet de la posture en équitation sur le comportement rachidien même en statique.

Ceci signifie que l'acquisition de la liberté du bassin devrait être acquise, avec une prise de conscience de la dissociation des ceintures et de la nécessité de fixité du tronc. Ces cavaliers sont bien sûr à même de sortir en extérieur aux 3 allures (PAS – TROT – GALOP) sans problème particulier, ce qui induit une aptitude à maîtriser sa monture en toutes circonstances et cela qu'elle que soit la monture, y compris un jeune cheval. Le point principal dans le cursus d'apprentissage de ces « GALOP 7 et 8 » réside dans l'acquisition de l'EQUILIBRE en toute circonstance (c'est-à-dire qu'en permanence, le cavalier est en capacité d'appréhender le positionnement de son centre de gravité par rapport à celui

de son cheval) mais surtout lors des déplacements latéraux. Si l'on se souvient, le premier stade d'acquisition se situait dans un plan vertical avec l'apprentissage de l'ajustement de sa posture vis-à-vis des sollicitations verticales du cheval. Une fois acquis, il convenait d'envisager la même chose d'avant en arrière en variant les allures du cheval, ce qui induisait une notion d'accélération ou à l'inverse de ralentissement, d'où un élément accélérateur et freinateur. Maintenant, tout ceci est acquis, et le cavalier est suffisamment habile pour ajuster son centre de gravité à celui de sa monture ors des déplacements latéraux, et cela à toutes les allures (pas – trot – galop).

Cette capacité à ajuster son centre de gravité est issue de l'utilisation optimale des « aides » qui permet au cavalier de mieux appréhender sa monture. La faculté de positionnement du centre de gravité oblige le cavalier « EXPERT » à maîtriser parfaitement une proprioception des plus performantes.

La répartition de la population de ce GROUPE C est la suivante :

	Hommes	Femmes	Population totale
Population totale du GROUPE C	6	11	17
Entre 18 et 25 ans	1	7	8
Entre 25 et 35 ans	2	3	5
Entre 35 et 50 ans	3	1	4
Plus de 50 ans	0	0	0

Tableau 4.36. Répartition de la population du groupe C selon l'âge et le sexe.

4.4.2.3.1 – Positionnement vertébral par variation angulaire régionale

Comme pour les autres groupes, nous observerons la situation des vertèbres dans le plan sagittal et plus spécifiquement pour cette catégorie de cavaliers, nous serons attentifs à la variation d'amplitude de cette colonne vertébrale ; celle-ci sera ou non le reflet d'une capacité acquise par l'expérience issue des heures d'entraînement. Le schéma d'étude sera identique aux autres groupes.

✓ LE SACRUM

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise Statique	Station Assise Statique vers Position Basse	Position Basse vers Position Haute
SACRUM	Vers Extension	16/17 – 94%	7/17 – 41%	13/17 – 76%
	Vers Flexion	1/17 – 6%	7/17 – 41%	4/17 – 24%
	Stabilité	0	3/17 – 18%	0

Tableau 4.37. Comportement du sacrum dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

L'évolution du positionnement du sacrum dans ce Groupe C s'effectue de manière quasi totale en EXTENSION lors du passage de la MARCHE vers la station assise cheval statique (16 sujets/17 soit 94%). La notion d'EXTENSION est définie en comparant la situation sacrale dans la position MARCHE et dans la station assise statique sur le cheval mécanique et ceci toujours par rapport à la verticale.

Lors du début du cycle dynamique, nous constatons une égalité dans la mobilité sacrale avec 7 cavaliers sur 17 (soit 41% d'une population) qui présentent une extension et autant qui ont un déplacement en flexion. Toutefois, il convient de mentionner la stabilité conservée chez 3 cavaliers (soit 18% des cas). Si l'on rapporte cette dynamique sacrée aux mouvements pelviens, cela signifierait que :

- Dans la Première phase (marche >> station assise statique), le bassin bascule vers l'arrière de manière massive (94% des sujets) ;
- Dans la Deuxième phase (station assise statique >>> position basse), aucune tendance ne se dégage réellement car 41% des cavaliers présentant un sacrum en extension auront un bassin en rétroversion et 41% auront une antéversion pelvienne. Toutefois si rien n'est déterminant, il convient de tenir compte des 18% des sujets qui adoptent une stabilité positionnelle par rapport à la marche, ce qui nous amène à considérer qu'au final, très peu de cavaliers adoptent une antéversion du bassin.
- Dans la Troisième phase (position basse >>> position haute), là encore une nette majorité des cavaliers (13 sujets/17 – 76%) présentent un déplacement postérieur sacré qui s'accompagnera d'une bascule pelvienne postérieure.
- Ceci tend à confirmer les mentions faites dans la bibliographie équestre, à savoir que lors du premier temps du galop (ici durant la deuxième phase), l'arrière main du cheval s'affaisse induisant un déséquilibre postérieur chez le cavalier puisque l'inclinaison du cheval sera en haut et en avant.

Cette situation conduira, de façon automatique, le cavalier a adopté une bascule franche postérieure du bassin pour une meilleure « intégration » des chocs et contraintes sur le bassin et la charnière lombo sacrée. A l'opposé, lors du troisième temps du galop, il y a la réception sur l'antérieur (terminal) qui induit à l'inverse un déséquilibre antérieur chez le cavalier puisque l'orientation du cheval est alors vers le bas et l'avant. Cette situation sera compensée par une bascule antérieure pelvienne permettant ainsi une extension rachidienne totale, garante d'une meilleure stabilité.

✓ *La COLONNE LOMBAIRE*

Compte tenu de l'évolution comportementale du sacrum, il est donc maintenant intéressant d'analyser celui de la colonne lombaire de façon à établir un parallèle cohérent entre ces deux structures.

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise Statique	Station Assise Statique vers Position Basse	Position Basse vers Position Haute
LOMBAIRE	Vers Extension	15/17 – 88%	2/17 – 12%	15/17 – 88%
	Vers Flexion	0	11/17 – 65%	2/17 – 12%
	Stabilité	2/17 – 12%	4/17 – 23%	0

Tableau 4.38. Comportement de la colonne lombaire dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

La colonne lombaire évolue vers l'extension chez 15 cavaliers sur 17 (88%) lors de la première phase (marche >>> station assise statique) ce qui entraînera une augmentation de la cambrure lombaire, témoignage de l'auto grandissement global. Dans la deuxième phase (station assise statique >>> position basse), une majorité de cavaliers 65% (11 sujets/17) voient leur région lombaire s'infléchir, donc tendent à atténuer la lordose lombaire. Enfin, lors de la phase ascensionnelle, l'étage lombaire adopte une extension chez 15 cavaliers sur 17 (88%). Ce comportement lombaire vient corroborer le niveau sacré puisqu'il y a corrélation entre le fonctionnement pelvien et lombaire ; ceci tend à conforter les références bibliographiques équestres qui tendent à mettre en avant la synergie bassin/colonne lombaire. Enfin, ce qui est marquant pour ces cavaliers « experts », c'est la grande amplitude des mouvements lombaires.

✓ *Région THORACIQUE*

Le comportement thoracique est conforme aux attentes puisqu'il vient conforter, l'analyse des niveaux sacrés et lombaires. Lors de la première phase, l'étage thoracique garde une **stabilité** par rapport à la situation durant la marche pour 9 cavaliers sur 17 (53%). Par contre, lors du passage de la station assise à la position basse, c'est-à-dire quand le cheval démarre son cycle dynamique avec un abaissement de l'arrière main, la **flexion thoracique** constatée chez 12 sujets sur 17 (71%), répond au déséquilibre postérieur issu de l'obliquité (en haut et en avant). A l'inverse, lors de la phase ascensionnelle, l'**extension** thoracique est constatée très majoritairement, chez 16 sujets sur 17 (94%). Là encore, il y a similitude entre le fonctionnement des étages sous jacents et le niveau thoracique.

✓ *Etage CERVICAL*

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise Statique	Station Assise Statique vers Position Basse	Position Basse vers Position Haute
CERVICAL	Vers Extension	12/17 – 71%	3/17 – 18%	13/17 – 76%
	Vers Flexion	4/17 – 23%	11/17 – 64%	3/17 – 18%
	Stabilité	1/17 – 6%	3/17 – 18%	1/17 – 6%

Tableau 4.39. Comportement de la colonne cervicale dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

Au niveau cervical, lors du passage sur le cheval mécanique, 12 sujets sur 17 soit 71% adoptent une tendance vers l'**extension** alors que dans 64%, c'est-à-dire 11 cavaliers sur 17, le rachis cervical part vers la **flexion**. Enfin, lors de l'ascension du cheval mécanique, c'est-à-dire lorsque l'avant main s'incline vers le bas et l'avant, l'étage cervical migre vers l'**extension** dans 76% des cas (13 sujets sur 17). Là encore, il y a aussi similitude dans le comportement de cet étage cervical avec les autres niveaux rachidiens.

L'analyse de cet étage par rapport aux mouvements du cheval mécanique, mais aussi et surtout par rapport au comportement du cavalier vis-à-vis des déséquilibres successifs, nous permet de confirmer les descriptions antérieures avec une tendance vers l'extension lors de la montée sur le cheval mécanique c'est-à-dire qu'il y a une tendance à la stimulation des érecteurs rachidiens. Lors de l'activité dynamique du cheval, le déséquilibre postérieur sera compensé par une flexion, alors que dans le passage vers la position haute, le rachis migrera vers l'extension.

✓ COUPLE Th12/L3

Compte tenu des résultats obtenus sur les différents étages rachidiens, nous allons être attentifs au comportement du couple Th12/L3 et voir si la synergie est semblable aux deux autres catégories de cavaliers. Il sera notamment intéressant d'observer le comportement de L3, vertèbre sommet de la colonne lombaire, qui permettra de comparer la capacité de ce groupe « experts » à utiliser ou non, la cambrure lombaire pour s'adapter au rythme du cheval.

Th12 : 50% en Extension et Flexion (Phase 1) – 71% en Flexion (Phase 2) – 94% en Extension (Phase 3)

L3 : 94% en Extension (Phase 1) – 65% en Flexion (Phase 2) – 82% en Extension (Phase 3)

Hormis lors de la phase d'installation sur le cheval mécanique, il y a une similitude entre le comportement de ces deux vertèbres dans les phases dynamiques. Dans cette première phase, seul le positionnement de Th12 diffère, puisque chez 8 cavaliers sur 17, la vertèbre thoracique est en flexion alors que L3 quant à elle se maintient en permanence en extension. Dans la première phase active, l'arrière main du cheval descend et le couple Th12/L3 adopte alors une synergie comportementale avec un positionnement en flexion totale, ce qui confirme donc la tendance à la rectitude de la colonne thoraco-lombaire, observée plus haut avec les mobilités des différents niveaux rachidiens. Enfin, lors du passage en position haute, le couple thoraco-lombaire Th12/L3 là encore conforte la tendance générale avec un positionnement en extension.

Toutefois, il convient de mentionner le comportement identique de la moitié inférieure de l'étage thoracique vis-à-vis de la colonne lombaire « haute » (L1L2L3, voire L4) ; le comportement de L5S1 sera envisagé ci-dessous et répond à un mode de fonctionnement autonome et spécifique à ce groupe de cavaliers « experts ».

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise statique	Station assise vers Position Basse	Position Basse vers Position haute
Th12 – L3	Flexion / Flexion	0	10/17 – 58%	1/17 – 6%
	Flexion / Extension	8/17 – 47%	2/17 – 12%	0
	Extension / Extension	7/17 – 41%	2/17 – 12%	14/17 – 82%
	Extension / Flexion	1/17 – 6%	0	1/17 – 6%
	Stabilité / Flexion	0	1/17 – 6%	0
	Stabilité / Extension	1/17 – 6%	2/17 – 12%	1/17 – 6%

Tableau 4.40. Comportement du couple Th12/L3 durant l'étude pour le groupe C.

✓ COUPLE L5/S1

La première constatation que nous pouvons faire à la lecture de ces valeurs concernant le couple L5S1 réside dans la grande mobilité du sacrum ; en effet, il est net, surtout dans la deuxième phase (station assise >>> position basse) de constater, que la partie la plus mobile se situe au niveau du sacrum puisque certes dans 41% des cas, il y a similitude comportementale entre L5 et S1 mais surtout, chez les 18% des sujets restants, il faut mettre en évidence la stabilité de la pièce L5 alors que le sacrum lui présente une mobilité variable (12% en flexion et 6% en extension).

ETAGE	Type de Positionnement	Marche vers Station assise statique	Station assise vers Position Basse	Position Basse vers Position haute
L5-S1	Flexion / Flexion	1/17 – 6%	7/17 – 41%	4/17 – 24%
	Flexion / Extension	0	0	0
	Extension / Extension	16/17 – 94%	7/17 – 41%	13/17 – 76%
	Extension / Flexion	0	0	0
	Stabilité / Flexion	0	2/17 – 12%	0
	Stabilité / Extension	0	1/17 – 6%	0

Tableau 4.41. Comportement du couple L5S1 dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

Ceci tend à venir appuyer les hypothèses émises précédemment, à savoir la relative fixité de la colonne lombaire qui tranche avec la mobilité accrue sacrée qui témoigne de l'activation de la ceinture pelvienne par rapport au membre inférieur ; la question est alors posée : peut-on envisager un modèle de fonctionnement avec non pas le membre inférieur comme point fixe et le tronc mobile mais l'inverse : tronc fixe et membre inférieur mobile qui se manifesterait par une grande mobilité pelvienne avec dès lors de faibles déplacements segmentaires rachidiens.

✓ ETUDE DIFFERENTIELLE HOMME / FEMME

Pour la Phase A : il n'y a que peu de divergences entre les populations féminines et masculines au niveau inférieur, puisqu'au niveau du sacrum 100% des cavaliers (hommes et femmes) le voient migrer en extension, idem au niveau lombaire où 100% des cavaliers ont un rachis lombaire qui évolue vers l'extension alors qu'elles sont 91% à présenter ce même comportement. Par contre, les résultats sont plus nuancés au niveau thoracique et cervical puisque la population masculine présente un étage thoracique majoritairement en extension dans 60% des cas alors que chez les cavalières, le tableau est plus disparate avec 45% d'entre elles qui présentent un étage thoracique en Flexion, alors que 36% évoluent vers l'extension et que la stabilité est observée chez 19% d'entre elles. Par contre au niveau cervical, la situation semble similaire entre les hommes et les femmes puisque la répartition est faite entre 3 groupes avec tout même 54% des cavalières qui présentent une extension cervicale (27% en flexion et 19% ont une stabilité cervicale par rapport à la marche). Chez les hommes, la situation est tout autre puisque 40% d'entre eux présentent un rachis cervical en extension mais aussi 40% présentent une flexion cervicale et 20% conservent une stabilité par rapport à la marche.

Pour la Phase B : pour la population féminine, les résultats sont en majeure partie orientée vers la flexion hormis pour le rachis cervical où il y a un partage des comportements entre extension (36%) flexion (36%) mais aussi stabilité (28%). Cette dernière composante est à prendre en considération puisqu'il s'agit d'un phénomène d'adaptation du cavalier aguerri qui cherche à s'adapter à l'environnement (comportement du cheval, topologie du terrain ou événements extérieurs). Cette répartition tripartite en cervical est relativement homogène, toutefois, pour compléter le propos sur la stabilité, il faut bien convenir qu'une population égale (18%) garde en permanence cette stabilité quelle que soit la situation dans laquelle elle évolue. Les 82% des cavaliers restants se partagent entre flexion et extension. La population masculine n'est pas en reste puisque l'on constate également un « noyau dur » de 17% des cavaliers, qui présente une stabilité rachidienne (thoracique et lombaire), quelle que soit la situation. Pour ces hommes, constatation est faite, que l'évolution géné-

rale se fait vers la flexion ; toutefois, il convient de pondérer cette analyse par l'étude de 50% des sujets qui présentent tout de même un sacrum qui évolue vers l'extension. Peut être convient-il de prendre le recul suffisant pour tenir compte du fait que ces cavaliers ayant compris le mouvement rotatoire ellipsoïdal du cheval mécanique, anticipaient la phase suivante, modifiant ainsi leur comportement des étages rachidiens inférieurs. C'est en cela que les limites de l'analyse sur cheval mécanique sont atteintes. Il faudra malgré tout analyser en détail les variations angulaires pour connaître l'amplitude de déplacement segmentaire et envisager ainsi un mouvement réel ou relatif.

Pour la Phase C : si la situation chez les cavaliers est bien marquée avec une orientation globale, franche et massive vers l'extension (dans 100% des cas en cervico thoracique, 83% en lombaire et 67% en sacré). Chez les femmes, la situation est plus contrastée car même si la tendance générale rachidienne (tous niveaux confondus) est axée sur l'extension, des différences sont à apporter selon les niveaux. En sacré, lombaire et thoracique, l'orientation vers l'extension est nettement marquée entre 91 et 100% de la population. La variabilité se situe en cervical où à peine 46% des sujets ont une colonne cervicale en extension, les autres cavalières 27% vers la flexion et 27% en position stable. Au final, la caractéristique principale de ce groupe de cavaliers « experts » réside dans la présence quasi permanente, quelque soit la phase d'enregistrement et quelle que soit le niveau rachidien (hormis au niveau sacré), d'une population présentant une stabilité.

11 Femmes & 6 Hommes		CERVICAL	THORACIQUE	LOMBAIRE	SACRUM
Phase A	Femme	6/11 – EXT - 54% 3/11 – FLEX – 27% 2/11 – ST – 19%	4/11 – EXT – 36% 5/11 – FLEX – 45% 2/11 – ST – 19%	10/11 – EXT – 91% 1/11 – FLEX – 9%	11/11 – EXT – 100%
	Homme	2/5 – EXT – 40% 2/5 – FLEX – 40% 1/5 – ST – 20%	3/5 – EXT – 60% 2/5 – FLEX – 40%	5/5 – EXT – 100%	5/5 – EXT – 100%
Phase B	Femme	4/11 – EXT – 36% 4/11 – FLEX – 36% 3/11 – ST – 28%	9/11 – FLEX – 82% 2/11 – ST – 18%	2/11 – EXT – 18% 7/11 – FLEX – 64% 2/11 – ST – 18%	1/11 – EXT – 9% 8/11 – FLEX – 73% 2/11 – ST – 18%
	Homme	4/6 – FLEX – 67% 2/6 – ST – 33%	4/6 – FLEX – 66% 1/6 – EXT – 17% 1/6 – ST – 17%	3/6 – FLEX – 50% 2/6 – EXT – 33% 1/6 – ST – 17%	3/6 – EXT – 50% 3/6 – FLEX – 50%
Phase C	Femme	5/11 – EXT – 46% 3/11 – FLEX – 27% 3/11 – ST – 27%	11/11 – EXT – 100%	10/11 – EXT – 91% 1/11 – FLEX – 9%	10/11 – EXT – 91% 1/11 – FLEX – 9%
	Homme	6/6 – EXT – 100%	6/6 – EXT – 100%	5/6 – EXT – 83% 1/6 – ST – 17%	4/6 – EXT – 67% 2/6 – FLEX – 33%

Tableau 4.42. Etude différentielle homme/femme pour le groupe C.

✓ CHANGEMENT d'ORIENTATION VERTEBRALE.

	Marche	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Lombaire	L2 – 6/16 – 37.5%	L5 – 10/17 – 59%	L5 – 13/17 – 76%	L5 – 11/17 – 65%
Thoracique	Th8 – 8/16 – 50%	Th8 – 7/17 – 41%	Th7 – 6/17 – 34%	Th8 – 7/17 – 41%

Tableau 4.43. Changement de l'orientation vertébrale au niveau thoracique et lombaire pour le groupe C.

Il est intéressant de constater que le niveau de mobilité au niveau lombaire se situe majoritairement en L5 avec une fréquence de 59 à 76%. Notons que durant les phases actives, la mobilité de L5 est particulièrement marquée puisque c'est une fréquence de 76% en position basse et 65% en position haute. Cette localisation mobile par excellence en L5, alors que durant la marche, c'est au niveau de L2 que se situait cette activité, peut être considérée comme le reflet de l'activité majeure de la charnière lombo-sacrée avec surtout un sacrum et donc un pelvis mobile vis-à-vis d'un tronc fixe. C'est ce qu'il conviendra de corroborer ou pas avec les variations angulaires ci-dessous, véritable révélateur de la dynamique rachidienne. Alors qu'au niveau thoracique, c'est autour de Th7-Th8 que la mobilité est la plus grande sans toutefois être majoritaire. Par contre, il est un élément important pour ce groupe de cavaliers experts, c'est la présence pour bon nombre d'entre eux, d'une section supplémentaire de mobilité au niveau cervical C4C5 (dans 12% des cas).

4.4.2.3.2 - Variations angulaires et valeurs moyennes

Pour corroborer l'analyse niveau par niveau, il nous a semblé intéressant d'étudier les variations angulaires maximales pour nous permettre de mieux appréhender les déplacements du rachis du cavalier. C'est pourquoi, nous nous sommes attachés à envisager cela pour chaque cavalier, homme ou femme, de façon globale (toutes les régions rachidiennes confondues) puis de façon détaillée par niveau.

	Valeur Moyenne Globale	Valeur moyenne Cervicale	Valeur Moyenne Thoracique	Valeur Moyenne Lombaire	Différentiel Sacrum
< 10°	10/17 – 59%	11/17 – 65%	11/17 – 65%	6/17 – 35%	2/17 – 12%
Entre 10/15°	5/17 – 29%	6/17 – 35%	5/17 – 29%	5/17 – 29%	5/17 – 29%
Entre 15/20°	1/17 – 6%	0	1/17 – 6%	3/17 – 18%	3/17 – 18%
>20°	1/17 – 6%	0	0	3/17 – 18%	7/17 – 41%

Tableau 4.44. Variation de la valeur angulaire moyenne du groupe C.

Ensuite de manière arbitraire, nous avons défini 4 catégories de déplacement <10° - entre 10 et 15° - entre 15 et 20° et >20° ; ceci doit nous permettre de visualiser ou non l'importance des déplacements de la colonne vertébrale du cavalier à tous les étages et toutes situations considérées.

Ensuite, nous pourrions alors comparer ces valeurs par rapport au sexe des cavaliers et voir si cela interfère dans la mobilité plus ou moins importante de telle ou telle région rachidienne.

La lecture de ces résultats, confirme les impressions laissées par les enregistrements précédents, à savoir que globalement les cavaliers « experts » ont un déplacement rachidien très limité puisque pour 59% d'entre eux (10 sujets sur 17), il est <10° ; si l'on ajoute les 29% qui se situent entre 10 et 15°, ce sont donc plus de 88% de ces cavaliers « experts » qui ont un déplacement de la colonne vertébrale <15°. Si l'on approfondit cette lecture en fonction du niveau rachidien, il est intéressant de

constater qu'aux étages cervicaux et thoracique, le déplacement est minime, <10° chez 65% des cavaliers ; de la même manière, si l'on rajoute les sujets qui ont un déplacement compris entre 10 et 15°, au final ce sont 100% de la population qui se situent <15° (cervical) et 94% (thoracique). Par contre l'évolution se fait au niveau lombaire puisque même si la majorité des cavaliers (64%) ont un déplacement <15°, il est à noter que pour 36% d'entre eux, la mobilité est ici >15° avec 18% situés au-delà des 20°.

Enfin, c'est au niveau sacré que se situe la caractéristique principale de ce groupe C car plus de 60% ont une activité >15°, ce qui est inhabituel. Tout ceci nous montre la capacité du cavalier « expert » à rester figé de façon globale (des cervicales aux lombaires) avec un débattement segmentaire dans le plan sagittal réduit <10°, alors qu'au niveau sacré, le déplacement est majoritairement >15°-20°. Ceci vient confirmer la spécificité du sujet « expert » à travailler avec le complexe pelvien et ce d'autant plus qu'il possède une grande liberté des membres inférieurs, capable de lui assurer un « liant » total avec le cheval ; cette légèreté des membres inférieurs qui assure là encore une grande mobilité du bassin (ici constatée via le sacrum) est la garantie d'une adaptation parfaite du cavalier à sa monture.

Par contre, si l'on effectue une analyse différentielle homme/femme, il est intéressant de constater que la femme possède au niveau du sacrum un débattement segmentaire plus important que son collègue masculin ; en effet force est de constater que 82% des sujets féminins ont un sacrum dont le débattement est >15° alors que chez les hommes, seuls 17% présentent les mêmes caractéristiques. Cela est confirmé au niveau lombaire puisque là encore 45% des cavalières voient un déplacement >15° alors qu'ils ne sont que 17% chez les cavaliers.

4.4.2.3.3 - Variation des angles radiologiques

✓ Angle $\alpha.1$ ou pente sacrée.

Ici dans le Groupe C, les cavaliers voient l'angle $\alpha.1$, varier de façon conséquente lors du passage de la station MARCHÉ >>> position assise statique sur cheval mécanique puisque l'on passe de 20°43 durant la marche à 8° en station assise statique. C'est donc une diminution de 12°43 qui s'effectue simplement en s'installant sur le cheval (en statique), ce qui traduit un déplacement postérieur du sacrum (contre nutation), ce dernier s'accompagnant d'une bascule pelvienne postérieure. Cette tendance sera identique lors de l'activation du cheval mécanique vers la position basse, l'angle $\alpha.1$ décroît jusqu'à 6°11 soit une diminution de 1°89, qui conforte cette évolution postérieure pelvienne alors que durant la dernière phase, il y a une très faible augmentation d' $\alpha.1$ qui semble mettre en évidence une très légère projection antérieure du sacrum (et du bassin) mais l'amplitude est telle, qu'il convient pour être objectif, de parler de stabilité (référence faite aux critères définissant la notion de stabilité : une variation \leq à 1°).

Valeurs moyennes	MARCHE	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
$\alpha.1$	20.43	8	6.11	6.29
Evolution $\alpha.1$	Phase A	Phase B	Phase C	
	-12.43 vers Extension	-1.89 vers Extension	0.18 Stabilité	

Tableau 4.45. Evolution de l'angle $\alpha.1$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

✓ *Angle $\alpha.2$*

Témoin de l'inclinaison du sacrum par rapport à la verticale, l'angle $\alpha.2$ chez le cavalier « expert » est très évocateur du comportement d'école de celui-ci. L'installation en position assise sur le cheval va déclencher un important mouvement de pivot postérieur du sacrum (contre nutation ou déplacement postérieur) de $13^{\circ}16$. Cet angle $\alpha.2$ passe donc de $46^{\circ}68$ dans la marche à $33^{\circ}52$ en station assise statique. Il convient toutefois de noter que la normalité se situe entre 35 et 45° , ce qui situe le positionnement sacré chez le cavalier « expert » en deçà de cette normalité, ce qui implique que dès que le cheval mécanique s'activera, le sacrum (et donc le bassin) évoluera dans un secteur angulaire qui à la base est nettement « postériorisé » par rapport à la normale, y compris lors de la dernière phase qui aboutit à la position haute où le sacrum « s'antériorise » (mouvement de nutation qui s'accompagne d'une antéversion du bassin) ce qui implique même une notion d'antéversion relative du bassin ; c'est à dire que le mouvement dans l'absolu est celui d'une bascule antérieure du bassin mais, partant d'une position de rétroversion maximale, ce mouvement n'atteindra pas les valeurs normales au-delà des $35^{\circ}/45^{\circ}$.

C'est donc par un débattement angulaire compris entre 29° et 32° que s'effectuera cette antéversion relative. Au final, la conséquence devrait être une moindre participation de la cambrure lombaire compte tenu du positionnement pelvien constant en rétroversion.

Ensuite lors du déclenchement de la phase dynamique du cheval mécanique, ce pivotement postérieur continue pour atteindre une position extrême à $29^{\circ}82$ ($-3,70^{\circ}$). Enfin, l'antéversion relative précédemment décrite vient terminer ce cycle du galop.

Valeurs moyennes	MARCHE	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
$\alpha.2$	46.68	33.52	29.82	31.76
Evolution $\alpha.2$	Phase A	Phase B	Phase C	
	-13.16 vers Extension	-3.70 vers Extension	1.94 vers Flexion	

Tableau 4.46. Evolution de l'angle $\alpha.2$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

✓ *Angle $\alpha.3$ ou angle lombaire*

Comme nous l'avons envisagé ci-dessus, nos hypothèses selon lesquelles le cavalier « expert » posséderait une relative fixité rachidienne se confirment également au niveau lombaire ; toutefois ceci peut sembler paradoxal puisque nous avons évoqué l'hyper mobilité des segments inférieurs ; mais si l'on prend soin d'affiner la lecture, il apparaît que la mobilité se situe plus au niveau pelvien qu'au niveau lombaire.

Nous constatons donc que le passage en station assise statique sur le cheval mécanique s'accompagne d'une fermeture de l'angle $\alpha.3$ qui passe de $31^{\circ}18$ à $16^{\circ}76$ (soit une diminution de $14^{\circ}42$) ; par contre lors de l'activation du cheval mécanique, l'angle $\alpha.3$ baisse encore de quelques degrés ($-1^{\circ}88$), tout comme il croît de $1^{\circ}35$ lors de la phase ascensionnelle. Il est donc raisonnable de relativiser ces variations car, elles sont minimes et ne constituent donc pas une variation suffisamment marquante pour affirmer l'existence d'une réelle mobilité de la colonne lombaire ; c'est pour

cette raison qu'il nous semble cohérent de considérer que les cavaliers « experts » présentent une stabilité ; ceci vient de facto corroborer notre hypothèse de départ sur la rectitude rachidienne par rapport à la mobilité pelvienne.

Il faut cependant modérer ces résultats , et c'est un des facteurs limitatifs de cette étude, car les cavaliers « experts » étant majoritairement des élèves moniteurs, ils connaissent le mécanisme du cheval mécanique et ont donc tendance à anticiper ses actions, ce qui se traduit à travers les valeurs présentées ci-dessus. Dans notre groupe C, le passage de la marche à la station assise, va donc s'accompagner d'une extension lombaire, c'est-à-dire d'une accentuation de la lordose lombaire, consécutive à un travail sélectif des érecteurs rachidiens, eux-mêmes responsables de l'auto grandissement. Cette situation est quelque peu opposable à la « logique habituelle » qui veut qu'une rétroversion du bassin s'accompagne d'un effacement de la cambrure lombaire. De la même façon, lors du passage vers la position basse, une poursuite vers l'extension lombaire a lieu, de manière restreinte (-1°88), de même que pour la transition vers la position haute où nous constatons une légère évolution vers la flexion, donc l'effacement de la lordose (+1°35). Ces attitudes correspondent donc à une capacité d'anticipation du mouvement et d'adaptation comportementale vis-à-vis de la position suivante. Ceci peut être expliqué par l'inconvénient du mouvement ellipsoïdal du cheval mécanique par rapport au simulateur équin qui lui est activé par 6 vérins hydrauliques, ce qui tend à gommer cet aspect « d'anticipation ».

Valeurs moyennes	MARCHE	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
$\alpha.3$	31.18	16.76	14.88	16.23
Evolution $\alpha.3$	Phase A 14.42 vers Extension	- Phase B 1.88 vers Extension	- Phase C Flexion	vers

Tableau 4.47. Evolution de l'angle $\alpha.3$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

✓ Angle $\alpha.4$ ou angle thoracique

Chez nos cavaliers « experts », il est remarquable de constater que les variations de l'angle $\alpha.4$ sont minimales et ce, quelle que soient les situations. Si nous étudions plus en détails le passage de la marche à la station assise statique, nous remarquons une légère augmentation de cet angle, donc un effacement de la cyphose justifiée par la capacité d'auto grandissement des sujets du groupe C. Par contre il est plus intéressant à observer le comportement thoracique lors des phases actives puisque lors du passage de la station assise statique vers la position basse, l'on constate une variation de 0°30 de la cyphose c'est-à-dire qu'il y a quasiment stabilité totale ; idem lors du passage de la position basse à la position haute où la variation est chiffrée à 0°47. Ces mesures viennent confirmer l'impression générale que nous avons lors de l'observation « visuelle » des cavaliers « experts », c'est-à-dire une relative fixité globale (notamment au niveau supérieur avec un rachis cervical et thoracique ne bougeant pratiquement pas). Ceci amène d'emblai une réflexion par rapport à la position du cavalier « expert » et de l'emploi des aides ; la fixité des étages supérieurs combinée à l'auto grandissement devrait logiquement s'avérer être la garantie d'une moindre activation des ceintures scapulaires et des membres supérieurs d'où les constatations multiples suivantes :

- Sur le plan équestre : moindre activation « parasite » des membres supérieurs et notamment du couple épaule/coude puisque rigidité ; il y aura donc légèreté des membres supérieurs ; on obtiendra donc une moindre crispation au niveau notamment de la chaîne des fléchisseurs, donc au final moins de « main dure » dans la bouche du cheval.
- Sur le plan médical : cette fixité des étages supérieurs peut être source de contractures musculaires si elles ne sont pas associées à un segment inférieur souple et libre. De même si cette activation des fixateurs d'omoplate (notamment pour l'angulaire, les petits dentelés postérieurs et à un degré moindre, les rhomboïdes moyens), est associée à une « lourdeur » du membre supérieur, on pourra alors assister à des phénomènes de contractures réflexes par antagonismes des actions et des situations ; en effet une hyper activité du membre supérieur va permettre aux fixateurs d'avoir un point fixe périphérique alors qu'eux-mêmes sont déjà sous tension par action concentrique au niveau scapulo thoracique, d'où un phénomène réactionnel douloureux.

Par contre la capacité du cavalier « expert » à observer une rectitude thoraco cervical va induire cette légèreté du membre supérieur, ce qui dès lors se traduira par une liberté totale des ceintures scapulaires avec surtout une absence de projection antérieure des épaules résultante en général d'une tendance à la rétraction des muscles grands pectoraux.

Cette dernière est bien évidemment la conséquence d'une meilleure appréhension comportementale du cheval et une connaissance maximale des situations équestres susceptibles d'être rencontrées. Cette parfaite connaissance équestre, décrite par les impératifs fédéraux dans l'obtention des Galops 7 et 8, justifie donc ce comportement figé du cavalier « expert ».

Valeurs moyennes	MARCHE	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
$\alpha.4$	55	57.17	57.47	57.94
Evolution $\alpha.4$	Phase A 2.17 vers Effacement	Phase B 0.30 vers Effacement	Phase C 0.47 vers Effacement	

Tableau 4.48. Evolution de l'angle $\alpha.4$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

✓ Angle Ω

La première lecture de ce tableau laisse apparaître des chiffres importants par rapport aux autres angles. La première conclusion qui peut être envisagée est que l'importance de ces déviations vienne mettre en évidence la mobilité « grandissante » du sacrum par rapport à la colonne lombaire. Ceci tend à corroborer notre hypothèse selon laquelle il y a une mobilité accrue de la jonction L5S1 par rapport aux autres zones rachidiennes. Cela vient en complément de notre analyse du couple L5S1.

Valeurs moyennes	MARCHE	Assis Statique	Position Basse	Position Haute
Angle Ω	55	57.17	57.47	57.94
Evolution Angle Ω	Phase A 2.17 vers Effacement	Phase B 0.30 vers Effacement	Phase C 0.47 vers Effacement	

Tableau 4.49. Evolution de l'angle Ω dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C.

4.4.2.3.4 - Conclusions du GROUPE C « EXPERTS » :

- Attitude permanente en rétroversion pelvienne à partir de laquelle le bassin évolue tout en restant en deçà de la limite d'antéversion réelle.
- Auto grandissement permanent rachidien qui tend à effacer les courbures rachidiennes physiologiques.
- Rectitude rachidienne globale avec faible mobilité des étages cervicaux, thoraciques (moins de 0°50).
- Mobilité du segment lombaire mesurée (variation de 1°70 environ).
- Etage sacré qui présente la plus grande mobilité mesurée.
- Population féminine qui présente une mobilité supérieure aux cavaliers.
- Ces éléments viennent conforter l'hypothèse de départ, qui tend à envisager un point fixe supérieur chez le cavalier « expert » avec un rachis pratiquement fixe (moins de 0.50° de variation pour le niveau thoracique et environ 1.70° sur l'étage lombaire) et un point mobile inférieur avec la mobilité majeure de la ceinture pelvienne, résultante de la liberté du membre inférieur et notamment de l'articulation coxo fémorale (mais aussi des genoux et chevilles qui font évoluer le membre inférieur comme un pantin articulé en tous sens).

4.4.3 - Analyse Inter Groupes : NOVICES – CONFIRMES – EXPERTS

C'est donc une population de 47 cavaliers qui a participé à cette étude. La répartition était la suivante :

	Groupe A		Groupe B		Groupe C		GLOBAL	
	H	F	H	F	H	F	H	F
Population Totale	15		15		17		47	
Entre 18 et 25ans	5	3	1	4	1	7	7	14
Entre 25 et 35ans	3	0	1	3	2	3	6	6
Entre 35 et 50ans	0	1	0	1	3	1	3	3
Plus de 50ans	1	2	5	0	0	0	6	2
TOTAL	9	6	7	8	6	11	22	25

Tableau 4.50. Répartition de la population globale en fonction de l'âge et du sexe des cavaliers

Si l'on étudie la répartition de la population qui participe à cette étude, il convient de noter qu'il y a une majorité de cavalières 53%⁵¹ (25/22). Seul le Groupe A possède une majorité de cavaliers (9/6). Les Groupes B et C présentent une population féminine majoritaire (8/7 pour le Groupe B et 11/6 pour le Groupe C). Concernant les tranches d'âge, la population < 25 ans est prédominante à 45% (21/47). Dans cette catégorie, les cavalières sont majoritaires à 67% (14/21). Ensuite vient la tranche d'âge entre 25 et 35 ans où sont présents 12 cavaliers/47 avec égalité hommes/femmes. Les deux

⁵¹ La population pratiquante licenciée à la FFE est à 60% féminine selon les derniers chiffres fournis en 2012.

autres catégories offrent une population moindre avec 6/47 pour la classe entre 35 et 50 ans, avec là encore équité hommes/femmes et 8/47 pour celle des sujets > 50 ans (hommes majoritaires 6/8).

Au final, notre population est majoritairement féminine, âgée de moins de 35 ans. 76% des cavalières (19 sur 25) ont un niveau minimum Galop 5, seules 24% (6/25) sont débutantes. Chez les hommes, (72%) 16/22 ont eux aussi un niveau minimum Galop 5 mais (28%) 9/22 sujets sont tout de même novices.

Reprenant les caractéristiques de chaque groupe, il est à noter qu’hormis une cavalière du Groupe C qui présentait une hyper lordose lombaire avec une inclinaison du sacrum mesurée à 73°, tous les autres sujets ne présentaient pas d’affection rachidienne susceptible de porter préjudice à la qualité des enregistrements exécutés avec BioVal®.

Tous les sujets ont été testés durant la MARCHÉ, en POSITION ASSISE STATIQUE sur le cheval mécanique, en POSITION BASSE (1^{er} temps du galop), en POSITION HAUTE (3^{ème} temps du galop). Il s’agissait de relever le positionnement des 25 pièces osseuses (6 cervicales, 12 thoraciques, 5 lombaires et 1 sacrée) dans le plan sagittal, ceci pour les 47 cavaliers et dans les 4 positions soit au total 4700 valeurs enregistrées et interprétées.

4.4.3.1 - Positionnement Vertébral Par Variation Angulaire

✓ Le SACRUM

Le positionnement du sacrum est un élément primordial dans le comportement du cavalier, car de son orientation, dépendra l’aptitude du sujet à ajuster sa position sur le cheval.

ETAGE SACRE	Type de Positionnement	Marche vers Assis Statique	Station Assise vers Position Basse	Position Basse vers Position Haute
GROUPE A	Vers Extension	13/15 – 87%	10/15 – 67%	1/15 – 6%
	Stable	0	1/15 – 7%	13/15 – 88%
	Vers Flexion	2/15 – 13%	4/15 – 26%	1/15 – 6%
GROUPE B	Vers Extension	11/14 – 79%	6/15 – 40%	7/15 – 47%
	Vers Flexion	3/14 – 21%	9/15 – 60%	8/15 – 53%
GROUPE C	Vers Extension	16/17 – 94%	7/17 – 41%	13/17 – 76%
	Vers Flexion	1/17 – 6%	7/17 – 41%	4/17 – 24%
	Stabilité	0	3/17 – 18%	0

Tableau 4.51. Comportement comparatif du sacrum dans les différentes phases de l’étude pour les trois groupes

Nous étudierons séquence par séquence, et pour une meilleure visibilité, nous nommerons :

- Phase A : le passage de la Marche à la Station Assise Statique sur cheval mécanique.

Nous constatons que les trois groupes ont une évolution majoritaire (de 79% pour le groupe B jusque 94% pour les Experts) du sacrum vers l’extension. Seuls très peu de sujets voient le sacrum évoluer vers la flexion. Donc, l’installation du cavalier sur le cheval s’accompagne automatiquement d’une extension sacrée, qui entraînera une bascule pelvienne postérieure elle-même synonyme d’atténuation des courbures physiologiques. Ce qui revient à constater que la position assise sur le

cheval induit un travail d'auto grandissement des érecteurs rachidiens (spinaux profonds ou muscles intrinsèques).

- Phase B : le passage de la Station Assise Statique à la Position Basse.

C'est dans cette phase, que nous constatons les 1ères divergences entre les 3 groupes. Les NOVICES conservent un sacrum majoritairement en extension (67%), témoignage de l'accompagnement du déséquilibre postérieur subit par le sujet. Celui-ci, pour tenter de maintenir ce qu'il croit être un équilibre sur le cheval, tente de calquer son positionnement sur celui du cheval mécanique. Le cavalier CONFIRME voit son sacrum se placer en flexion, pour essayer de compenser le déséquilibre postérieur du cheval mécanique qui entraîne un mouvement du tronc vers l'avant. A cette intention, il implique une projection antérieure du sacrum, qui elle-même basculera le pelvis vers l'avant, ce qui ne sera pas sans conséquence sur la cambrure lombaire. En ce qui concerne l'EXPERT, la situation est complexe puisqu'aucune tendance ne se dégage clairement avec une équité (41% chacun) entre l'extension et la flexion du sacrum, voire même une stabilité pour 18% d'entre eux. Si nous poussons plus loin notre raisonnement, il faut donc considérer que l'EXPERT part d'une position d'extension du sacrum durant la phase A, durant la phase B où l'arrière main du cheval s'effondre instaurant un déséquilibre postérieur, le sacrum ne se déplace vers la flexion que chez 41% des sujets, ce qui revient à considérer que pour 59% d'entre eux il n'y a aucune modification. Ceci viendra confirmer la tendance globale du Groupe C qui voit le complexe pelvien se placer en rétroversion quasi permanente durant tout le cycle du galop.

- Phase C : le passage de la Position Basse à la Position Haute

Seul le cavalier EXPERT (76% d'entre eux) conserve une extension sacrée, ce qui confirme son attitude permanente en bascule pelvienne postérieure. Il convient toutefois de relativiser cette attitude, de par la capacité du sujet EXPERT à anticiper le déplacement ellipsoïdale du cheval mécanique ; cette faculté permet à ce cavalier de modifier son positionnement quelle que soit la phase où il se situe. Chez 53% des cavaliers CONFIRMES, le sacrum conserve une position en flexion, ce qui correspond à une volonté d'accompagner et de gérer le mouvement du cheval car le déplacement de celui-ci de la position basse vers la position haute induit un déséquilibre antérieur qui peut être contenu par une antéversion du bassin. Il est à noter tout de même que 47% de ces cavaliers CONFIRMES adoptent un sacrum en extension, ce qui confirme la situation « intermédiaire » des cavaliers de ce groupe B. En ce qui concerne les NOVICES, le sacrum se fige en position intermédiaire qui correspond à un maintien de la position dans laquelle il se trouvait lors de la phase B. Ceci correspond à une volonté de fixation de la station assise du NOVICE par rapport au cheval, qui se manifeste par une relative statique qui lui confère une sensation de sécurité.

- Conclusion

Le positionnement du sacrum et par voie de conséquence le pelvis (compte tenu de la physiologie articulaire et de ses moyens d'union ligamentaire d'après DUFOUR et PILU*, 2002) va prédéfinir le comportement du cavalier.

Les cavaliers « experts » adoptent un positionnement quasiment constant en extension, ce qui les conduit à transférer l'appui au niveau ischiatique postérieur, ce qui aura pour conséquence de susci-

ter un travail majeur des muscles rachidiens intrinsèques, érecteurs du rachis. Cette position en extension du complexe pelvi-sacré sera l'élément essentiel qui permettra une liberté de l'articulation coxo fémorale, puisque de manière automatique, la hanche se placera dans une attitude de moindre flexion, d'où de moindres contraintes musculo tendino ligamentaires ; cela assurera une fluidité de l'ensemble du membre inférieur. Dans les 3 phases, cette liberté est assurée même durant la phase B, où le cumul extension + stabilité = 59% des sujets alors que 41% évoluent vers la flexion, ce qui tend à montrer le côté permanent de ce positionnement postérieur.

La situation est différente dans les 2 autres groupes puisque chez les novices nous observons une situation sacrée en extension dans les deux premières phases et en situation stable en phase C. Certes, la configuration postérieure des novices pourraient signifier comme chez les experts, un transfert d'appui avec une liberté accrue au niveau de la hanche, mais *in fine*, c'est l'inverse, comme nous le confirmerons les étages sus jacents, car l'appréhension du débutant vis-à-vis de la chute va le conduire à adopter une station assise verrouillée de manière maximale avec des hanches bloquées par la contraction simultanée des groupes adducteurs et ischio jambiers. Ce qui pourra se traduire à la longue par l'installation de pathologies musculo tendineuses douloureuses type tendinopathies des adducteurs au niveau des insertions pubiennes, voire condylienne pour le grand adducteur ou au niveau ischiatique pour les ischio jambiers. Il ne faut pas exclure la possibilité de survenue de contractures musculaires récurrentes sur ces localisations. Ceci sera donc à prendre en considération lors des prises en charge du cavalier quelle que soit la discipline.

A l'inverse, les cavaliers confirmés du groupe B, ont pour 60% d'entre eux dans la phase B et 53% dans la phase C un positionnement en flexion ce qui témoigne d'une mobilité accrue du segment rachidien inférieur. Les étages sus jacents viendront affiner les résultats. Là encore, il risquera d'y avoir une incidence sanitaire avec un risque accru d'algies rachidiennes basses de type mécaniques qu'il ne faudra pas négliger lors de l'approche de ce type de cavalier.

✓ Au niveau LOMBAIRE

- Phase A : le passage de la MARCHÉ à la STATION ASSISE STATIQUE

Les cavaliers des trois groupes, à l'unisson, positionnent le rachis lombaire en extension, c'est-à-dire qu'il y a une tendance à l'accentuation de la cambrure lombaire. La différence comportementale se situe au niveau des proportions des populations car si les sujets des Groupe A et B optent pour un rachis lombaire en extension à 67 et 64%, il est intéressant de souligner que dans le groupe C, ce sont 88% des sujets qui se comportent de la sorte.

- Phase B : passage de la station assise statique à la position basse

L'analyse devient intéressante avec la descente de l'arrière main du cheval, les cavaliers du groupes B qui à 60% évoluent vers la flexion confirment une tendance à l'effacement de la cambrure lombaire alors que dans le groupe B, le mouvement de flexion à 65%, combiné à la flexion du complexe pelvien, témoigne de l'hyper utilisation de la colonne lombaire. Les cavaliers débutants se partagent entre extension (40%) et stabilité (40%), renforçant ainsi la notion d'hétérogénéité précédemment

décrite tout comme l'impression d'attitude « attentiste » qui correspond à une situation de prudence et d'alerte face au moindre événement non ou mal appréhendé, connu et maîtrisé.

- Phase C : passage de la position Basse vers la Position Haute

Tout en conservant un équilibre ischiatique postérieur, la remontée du cheval mécanique va induire chez 88% des experts une extension lombaire, donc un « creusement » plus marqué qui se conçoit par rapport au déséquilibre antérieur généré par cette phase C. L'aspect partagé des sujets du groupe B (1/3 extension – 1/3 flexion et 1/3 stabilité) combiné à la flexion pelvienne, renforcent l'impression de sollicitation accrue de la colonne lombaire des confirmés. Les cavaliers novices avec un rachis lombaire en flexion pour 67% d'entre eux, associé à un complexe pelvien stable (qui partait d'une position d'extension en phase B), se laisse emporter par le mouvement du cheval et le rachis lombaire, suit alors le mouvement.

ETAGE LOMBAIRE	Type de Positionnement	Marche vers Assis Statique (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
GROUPE A	Vers Extension	10/15 – 67%	6/15 – 40%	4/15 – 27%
	Vers Flexion	2/15 – 13%	3/15 – 20%	10/15 – 67%
	Mixte (1/2 en Ext et ½ en Flexion)	3/15 – 20%	6/15 – 40%	1/15 – 6%
GROUPE B	Vers Extension	9/14 – 64%	5/15 – 33%	5/15 – 33.3%
	Vers Flexion	5/14 – 36%	9/15 – 60%	5/15 – 33.3%
	Stabilité		1/15 – 7%	5/15 – 33.3%
GROUPE C	Vers Extension	15/17 – 88%	2/17 – 12%	15/17 – 88%
	Vers Flexion	0	11/17 – 65%	2/17 – 12%
	Stabilité	2/17 – 12%	4/17 – 23%	0

Tableau 4.52. Comportement comparatif de la colonne lombaire dans les différentes phases de l'étude pour les trois groupes

- Conclusion

L'association du comportement lombaire et sacré permet d'affiner notre réflexion sur le rôle du complexe lombo pelvien chez le cavalier. C'est ainsi que les cavaliers novices qui, fixés au niveau pelvien, se laissent emporter par le mouvement du cheval mécanique, sans aucune volonté ou possibilité de compenser les déséquilibres mais bien au contraire, ils subissent le mouvement du cheval, sans chercher ou sans pouvoir s'y adapter.

Contrairement à eux, les confirmés, vont présenter une caractéristique de grande mobilité au niveau inférieur mais à la différence des experts, cette grande amplitude de déplacement est essentiellement l'apanage de la colonne lombaire, ce qui aura pour conséquence une variation importante de la lordose lombaire ; celle-ci sera source et siège de grandes contraintes qui elle mêmes seront la cause des problèmes futures.

Quant aux experts, la postériorisation pelvienne va conduire non seulement une hanche à avoir plus de fluidité, mais aussi à une certaine rigidité de la colonne lombaire ; dès lors l'axe du mouvement qui chez les confirmés avait son centre au niveau lombaire, le place au niveau des hanches chez les experts. Ce transfert mécanique associé à la rigidification rachidienne sera mis en évidence avec les étages sus jacents.

✓ Région THORACIQUE

Pour un observateur lambda, c'est l'élément d'appréciation majeur du comportement du cavalier sur le cheval. Combien de fois n'a-t-on entendu dans les centres équestres, des enseignants houspiller les élèves en leur demandant de se « redresser ». Le mot est lâché « REDRESSER » !!! L'axe vertical qui, chez l'homme en position bipédique, s'inscrit dans la notion de triple courbure avec une association antigravitaire dynamique selon BERGER et coll* (1992) a-t-il autant d'importance dans la station assise ? Le rachis thoracique est un élément majeur de l'architecture vertébrale et s'avère avoir une fonction plus importante que l'on ne suppose avec :

- d'une part son rôle de liaison entre la tête et les deux ceintures ;
- d'autre part son action mixte où il doit assurer une stabilité à la structure axiale tout en permettant une mobilité nécessaire au déplacement corporel.

En ce qui concerne notre étude, l'étage thoracique doit donc combiner à la fois la verticalité du cavalier et assurer une stabilité nécessaire au fonctionnement dissocié des ceintures scapulaire et pelvienne. Cependant, cette vocation stabilisatrice du rachis thoracique permettra, ce que DUFOR et PILU* appellent la libération du membre thoracique, puisqu'il est alors devenu inutile au niveau supérieur d'avoir la moindre action cherchant à assurer son maintien en position assise sur le cheval. Alors seulement il sera possible à la ceinture scapulaire d'adopter la position privilégiée Gagey décrite par VIEL* (1979) avec 40° d'ABDUCTION, d'ELEVATION ANTERIEURE et ROTATION INTERNE (ou MEDIALE).

- Phase A : passage de la MARCHE à la position ASSISE STATIQUE

Groupe A : force est de constater que les cavaliers novices confirment que l'élément majeur pour eux, reste l'appréhension de la chute et de façon plus générale de toute situation imprévue, inopinée et mal connue de la part du cheval. Pour ce faire, il aura tendance à se placer en position fœtale, c'est-à-dire en flexion thoracique, ce qui est ici effectif pour 53%, auxquels, il convient d'ajouter les 33% des sujets présentant une moitié thoracique inférieure en extension et une moitié supérieure en flexion. Cela est le révélateur d'une volonté stabilisatrice inférieure, complémentaire d'une fixation lombo pelvienne par rapport à la selle et d'une tendance protectrice supérieure.

Groupe B : les sujets adoptent pour moitié un thorax en extension et pour moitié en flexion, ce qui laisse à penser que cette population est en « recherche posturale » afin de pouvoir bénéficier d'une liberté maximale des ceintures scapulaires.

Groupe C : peu de changement dans l'attitude de ce groupe qui en grande majorité conservent le fonctionnement qui était le leur durant la marche.

- Phase B : passage de la STATION ASSISE STATIQUE à la position BASSE

Groupe A : lors du démarrage de l'activité du cheval mécanique, il y a une chute de l'arrière main du cheval induisant un déséquilibre postérieur. Dans ce cas de figure, nous notons une répartition pour moitié (46.5% des sujets) vers extension et la flexion. 7% des sujets quant à eux conservent une stabilité. Cette dualité extension/flexion est le reflet de la caractéristique principale de ces cavaliers no-

vices qui sont en proie à l'hésitation permanente et une crispation notoire gage selon eux d'une stabilité accrue de la posture à cheval.

Groupe B : dans un contexte de déséquilibre postérieur, le thorax du cavalier aura naturellement tendance à s'infléchir vers l'avant, c'est d'ailleurs ici le cas puisque 60% des sujets affichent un étage thoracique en flexion, les 40% des cavaliers restants se répartissent entre extension pour 20% et stabilité pour 20%. C'est d'ailleurs cela qui différencie les cavaliers confirmés des experts.

Groupe C : tout comme le groupe B, les « experts », anticipent le déséquilibre postérieur avec une inflexion thoracique, cela chez 71%, confirmant ainsi l'aspect automatique intégré du comportement assis du cavalier. Il faut toutefois moduler ce résultat avec l'étude ci-après du différentiel de déplacement car certes, inflexion thoracique il y a, mais dans quelle condition et proportion ?

- Phase C : passage de la Position BASSE à la Position HAUTE.

Groupe A : à l'inverse de la phase B, ici il y a un déséquilibre antérieur, et dans cas l'hypothèse selon laquelle, les « novices » sont passifs et subissent le mouvement du cheval mécanique se vérifie encore puisque 60% d'entre eux accompagnent le mouvement antérieur par une flexion thoracique.

Groupe B : les sujets « confirmés » adoptent un comportement différent pour 66% d'entre eux avec une extension thoracique. La tendance à la compensation et à l'adaptation du cavalier se confirme par rapport aux mouvements du cheval (cela est déjà un signe d'évolution par rapport au groupe A) mais il est à noter que pour 30% de ces sujets, le rachis thoracique accompagne lui aussi le mouvement, témoignage là aussi d'une forme de passivité réactionnelle et d'une immaturité équestre.

Groupe C : dans ce groupe, l'automatisme réactionnel est tel que la faculté d'anticipation est présente chez 94% des sujets avec un étage thoracique en extension. Là aussi il sera intéressant plus tard d'appréhender ce déplacement et ses proportions par rapport aux autres groupes.

Conclusion : le comportement de l'étage thoracique peut être considéré comme représentatif de l'attitude spontanée du cavalier par un observateur extérieur. Il est vrai que c'est sur ce niveau là que se focalisent toutes les remarques et critiques du moniteur face à une position non satisfaisante de l'élève. Toutefois, il est important de différencier l'extension du rachis thoracique (avec participation des muscles spinaux superficiels) avec l'auto grandissement ou les muscles érecteurs intrinsèques seront principalement sollicités. L'AAA ou auto grandissement actif a pour vocation de corriger le maintien actif et limiter ainsi le travail du tronc, il s'accompagne d'un léger grandissement du sujet. Cependant, les effets ne sont que faiblement issus du redressement des courbures physiologiques comme l'a souligné GRAF et coll* (2001). Ceci débouche alors sur la notion de maintien actif lui même différent du maintien vertical strict car il est axial et non vertical. Ce maintien actif tributaire d'une activité dynamique est lié à des participations musculaires. De même, la tolérance de cette position est fonction du niveau et de l'intensité de la douleur et fatigue. PANJABI et WHITE* (1980) ont alors montré qu'une confusion s'est installée ; en ce qui nous concerne, la verticalité a longtemps été présentée comme référence fonctionnelle mais PENINO* (1982) a mis en évidence qu'il n'en était rien, puisque celle-ci est au final une attitude corrigée et que la position de repos spontanée est en réalité une ligne brisée.

Ce niveau thoracique permet très bien de visualiser la progression comportementale des différents groupes puisque nous observons une progression depuis les novices qui outre le fait de présenter une fragmentation de position entre l'hémithorax inférieur en extension, fixe en relation avec l'étage lombaire et hémithorax supérieur en flexion qui lui est censé assurer une protection. A noter que cette quête perpétuelle d'une stabilité oblige le novice à accentuer sa lordose lombaire, ce qui a pour conséquence d'augmenter la cyphose thoracique en amenant ce dernier en flexion. Cette situation marquée au repos sera accrue lors de l'activation du cheval mécanique et elle aura notamment pour conséquence de provoquer un glissement du thorax vers l'arrière tandis que l'abdomen sera propulsé vers l'avant comme l'ont souligné DUFOR et PILU* (2002) en utilisant l'image de triangles superposées.

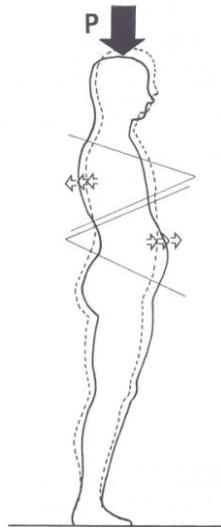


Schéma 4.8. La pesanteur tend à propulser le thorax vers l'arrière et l'abdomen vers l'avant d'après Dufour et Pillu (2002).

Cette préoccupation du cavalier novice à anticiper la moindre réaction ou mouvement du cheval, en adoptant une attitude de fermeture antérieure par flexion massive du tronc, type habitus asthénique, aura aussi l'inconvénient majeur :

- de figer les ceintures scapulaires empêchant de fait toute liberté et légèreté des membres supérieurs. Ceux-ci fixés, auront tendance à placer le cheval sur les épaules et lui modifiant sa locomotion ;
- d'augmenter la pression intra thoracique par diminution du contenant, du volume courant avec une perturbation des débits ventilatoires ; ceci ne sera pas sans conséquence car au long cours, la modification de la cinématique ventilatoire aura un impact sur la perfusion et donc sur la fonction musculaire même ;
- de modifier la structure même du caisson pneumatique qui compose le tronc avec la partie rachidienne.

Ces caractéristiques ne sont plus présentes chez les sujets du groupe B, puisque dans la grande majorité ils ne subissent plus le mouvement du cheval mécanique mais au contraire, nous notons un début d'adaptation et de compensation rachidienne par rapport aux sollicitations du cheval. C'est ainsi que le cavalier « confirmé » va contrecarrer la descente du cheval vers l'arrière en fléchissant le tronc

et en adoptant une extension lors de la chute de l'avant main vers la position haute. Toutefois même si la tendance générale s'oriente vers le comportement des cavaliers « experts », il persiste des signes qui témoignent de la persistance de cette immaturité équestre, notamment chez les 40% des sujets qui n'adoptent pas une flexion en phase B ou les 34% qui n'évoluent pas vers l'extension en phase C.

De même nous notons un partage homogène entre flexion et extension en phase A. concernant, les « experts », ils confirment les grandes idées directrices des manuels d'équitation qui veulent que les cavaliers ont un léger déplacement en flexion en position basse et en extension en position haute. Là encore, il est intéressant de noter l'importante proportion des sujets quelles que soient les attitudes observées (71% en flexion en phase B et 94% en extension en phase C). Il sera utile d'en apprécier le comportement rachidien en analysant les variations des déplacements angulaires, ce que nous verrons un peu plus loin dans notre étude.

REGION THORACIQUE	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise Statique	Station Assise vers Position Basse	Position Basse vers Position Haute
GROUPE A	Vers Extension	0	7/15 – 46.5%	6/15 – 40%
	Vers Flexion	5/15 – 33%	7/15 – 46.5%	9/15 – 60%
	Mixte (1/2 en Ext et ½ en Flexion)	8/15 – 53%	0	0
	Stabilité	2/15 – 14%	1/15 – 7%	0
GROUPE B	Vers Extension	7/14 – 50%	3/15 – 20%	10/15 – 66%
	Vers Flexion	7/14 – 50%	9/15 – 60%	5/15 – 30%
	Stabilité	0	3/15 – 20%	2/15 – 4%
GROUPE C	Vers Extension	3/17 – 18%	1/17 – 6%	16/17 – 94%
	Vers Flexion	5/17 – 29%	12/17 – 71%	1/17 – 6%
	Stabilité	9/17 – 53%	4/17 – 23%	0

Tableau 4.53. Comportement comparatif du niveau thoracique dans les différentes phases de l'étude pour les trois groupes

✓ Région CERVICALE

Région majeure pour tout être humain, elle assure une jonction entre la tête et le thorax ; c'est aussi une zone de resserrement avec une concavité postérieure. C'est également selon VIEL* (1984), une zone vitale avec en son sein des structures nobles tels que moelle allongée, gros troncs nerveux, vasculaires ainsi que la trachée et l'œsophage. Elle a une vocation fonctionnelle essentielle en assurant le port de tête (stabilité), est asservi au pilotage directionnel des organes des sens et de la mimique (mobilité) selon FERRARIO et coll* (2002) et possède un rôle important dans l'expressivité corporelle. Toutes ces considérations seront mises en œuvre et analysées durant notre étude.

En ce qui concerne la pratique équestre, l'intégrité de l'extrémité céphalique, protégée par un casque, est assurée par la capacité du rachis cervical à encaisser les chocs et les contraintes tout en conservant une mobilité compatible avec la pratique sportive. Ne perdons pas de vue le système oculo céphalogyre qui aura pour effet d'orienter les ceintures scapulaires dans la direction suivie par le regard ; ne dit-on pas que ce sont « les yeux qui emmènent le cheval ».

- Phase A : passage de la MARCHÉ à station ASSISE STATIQUE cheval

Le fait de monter sur le cheval mécanique, suscite chez 71% des sujets du groupe C une extension cervicale, ce qui correspond à la notion d'auto grandissement par rapport à la notion de maintien axial. Par contre les cavaliers novices, à l'image des autres niveaux rachidiens, voient le cervical se fléchir pour 87% d'entre eux. La situation est plus timorée pour les confirmés où 50% effectuent une extension et 50% se partagent entre la flexion et la stabilité.

- Phase B : passage de la station ASSISE STATIQUE à la Position BASSE

Elle est dans la continuité de l'étage thoracique puisque les membres du groupe A présentent une extension cervicale pour 60%, alors que les cavaliers « confirmés » et « experts » voient une flexion cervicale dans des proportions mesurée 53% (groupe B) et 64% (groupe C). Ceci témoigne de la capacité d'adaptation de ces deux catégories par rapport aux mouvements du cheval mécanique alors qu'il est net que les cavaliers « novices » subissent le rythme du cheval avec une extension cervicale lors de la descente de l'arrière main donc avec un déséquilibre postérieur. Mais si nous devons noter que 47% des sujets « confirmés » ont un rachis cervical hésitant entre l'extension (27%) et la stabilité (20%), ce qui là encore est le reflet d'une progression par rapport aux débutants mais aussi d'une immaturité vis-à-vis des « experts ».

- Phase C : passage de position BASSE à la Position HAUTE

Tous les cavaliers, tous groupes confondus présentent une extension cervicale avec cependant seulement 53% des cas chez les novices ; cela signifie qu'une importante partie de ces membres en évoluant, vers la flexion, conserve une tendance à ne rien contrôler en accompagnant le mouvement du cheval mécanique.

Il en va de même à un degré moindre chez les « confirmés » car si chez 53% d'entre eux nous notons une extension cervicale, 47% se partagent entre flexion et stabilité ; une fois de plus cette situation « médiane » des membres du groupe B est confirmée.

En revanche, peu de surprise chez les cavaliers « experts » puisque 76% de ceux-ci notent une extension cervicale, affichant une fois de plus leur capacité à réagir et à s'adapter à la dynamique du cheval mécanique.

Nous pouvons retenir de cette étude au niveau cervical, la fragilité fonctionnelle à hauts risques chez les cavaliers « novices », puisqu'ils subissent en permanence les déplacements et déséquilibres induits par le cheval. A ce titre les mouvements causés au niveau cervical par ces derniers ne sont en aucun cas, appréhendés, contrôlés et encore moins adaptés, ce qui n'est pas sans risque. Les contraintes subies sont alors fonction de l'équilibre statique cervical, sa rupture sera source de mécanismes lésionnels majeurs au regard des éléments dits « nobles » situés à cet étage. La stabilité crânio cervicale est bonne (assurée à la fois par des éléments passifs, ligaments et actifs, muscles intrinsèques et extrinsèques) dans des conditions usuelles, mais s'avère être de suite mise à mal lors de fortes intensités déstabilisantes comme peuvent l'être les déséquilibres générés par l'activité équestre.

Dans ce cas, les mouvements du cou avec le poids de la tête à son extrémité, créent une accélération qui demande un freinage au niveau cervico thoracique (charnière C7Th1). Tant que l'accélération reste modeste, la stabilité de l'étage est assurée spontanément mais lors de dépassements, ici lors

d'un démarrage brutal du cheval (type cheval au galop), de déséquilibres émanant de situations d'urgence, etc,... les contraintes rompent alors l'équilibre créant des lésions notoires.

Nous nous devons de mentionner également pour ces sujets « novices » une sur utilisation de la dissociation fonctionnelle du rachis cervical haut (C1C4) et bas (C5C7). Le rachis cervical supérieur, peu enclin à la fatigue, étant l'exécutant privilégié des organes des sens, aura une activité dissociée du segment inférieur.

Cela est dû au fait que le mouvement des yeux entraîne selon DUFOR et PILU* (2002) le couplage « hautement cybernétisé » des mouvements crânio cervicaux et de manière constante. Ceci est encore plus flagrant avec le port d'une minerve qui vient bloquer ces automatismes en rendant pénible la moindre activité cervicale selon HOLLANDS et coll* (2001).

Dans le cas présent en se reportant à la situation d'extension cervicale retrouvée chez 60% des sujets du groupe A, il est objectivement admis que cette extension se situera de façon privilégiée au niveau cervical inférieur, obligeant ainsi le niveau supérieur à compenser par une flexion de manière à conserver l'horizontalité du regard.

Toutes ces considérations issues de nos analyses permettent déjà d'envisager des conséquences dans les domaines que nous avons initialement envisagés, c'est-à-dire médico rééducatif, sportif et pédagogique. Nous les détaillerons plus loin au Chapitre V de notre étude.

ETAGE CERVICAL	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise Statique (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
GROUPE A	Vers Extension	2/15 – 13%	9/15 – 60%	8/15 – 53%
	Vers Flexion	13/15 – 87%	5/15 – 33%	7/15 – 47%
	Mixte (1/2 en Ext et ½ en Flexion)	0	0	0
	Stabilité	0	1/15 – 7%	0
GROUPE B	Vers Extension	7/14 – 50%	4/15 – 27%	8/15 – 53%
	Vers Flexion	6/14 – 43%	8/15 – 53%	4/15 – 27%
	Stabilité	1/14 – 7%	3/15 – 20%	3/15 – 20%
GROUPE C	Vers Extension	12/17 – 71%	3/17 – 18%	13/17 – 76%
	Vers Flexion	4/17 – 23%	11/17 – 64%	3/17 – 18%
	Stabilité	1/17 – 6%	3/17 – 18%	1/17 – 6%

Tableau 4.54. Comportement comparatif de la colonne cervicale dans les différentes phases de l'étude pour les trois groupes

✓ Couple Th12/L3

Nous avons envisagé l'étude du couple L5S1 comme le témoignage d'un fonctionnement synergétique. A cet effet nous observons une similitude de fonctionnement des trois groupes dans la phase A (passage de la marche à la position assise statique) avec une combinaison d'extension. Ce qui nous importe dans cette analyse, c'est la faculté de synergie L5S1 des cavaliers. Il s'avère que dans la phase A, la synergie est totale et identique, en extension, pour les trois groupes avec des proportions toutefois différentes : 94% chez les experts, 80% chez les confirmés et 79% chez les novices. Dans la phase B, il y a similitude entre les sujets « novices » et « confirmés » avec 67% d'entre eux qui présentent une attitude en extension alors que chez les « experts » il y a une répartition égalitaire entre la flexion et l'extension. Notons toutefois chez ces sujets du Groupe C une tendance à la mobilité

accrue du sacrum se dégage car 41% ont un fonctionnement **flexion/flexion**, il convient d'ajouter les 12% qui optent pour stabilité/**flexion** ; soit au total 53% d'entre eux qui voient leur sacrum avoir une mobilisation majorée. Il y a également une similitude entre les membres des Groupe A et B avec 67% de ceux-ci qui évoluent en flexion. En ce qui concerne les sujets du Groupe C, une large majorité, 76%, optent pour l'extension.

Couple Th12/L3	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise Statique (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
GROUPE A	Flexion / Flexion	2 – 14%	3 – 20%	10 – 67%
	Extension / Extension	8 – 58%	4 – 27%	5 – 33%
	Flexion / Extension	4 – 28%	4 – 27%	0
	Extension / Flexion	0	1 – 6%	
	Flexion ou Extension / Stabilité		2 – 14%	
	Stabilité / Stabilité		1 – 6%	
GROUPE B	Flexion / Flexion		2/14 – 14%	9/15 – 60%
	Flexion / Extension	4/14 – 29%	0	0
	Extension / Extension	5/14 – 36%	4/15 – 26%	8/15 – 53%
	Extension / Flexion	0	0	1/15 – 7%
	Stabilité / Flexion	1/14 – 7%	1/15 – 7%	1/15 – 7%
	Stabilité / Extension	2/14 – 14%	1/15 – 7%	1/15 – 7%
GROUPE C	Vers Extension	12/17 – 71%	3/17 – 18%	13/17 – 76%
	Vers Flexion	4/17 – 23%	11/17 – 64%	3/17 – 18%
	Stabilité	1/17 – 6%	3/17 – 18%	1/17 – 6%

Tableau 4.55. Comportement comparatif du couple Th12/L3 dans les différentes phases de l'étude pour les trois groupes

✓ Couple L5/S1

Couple L5/S1	Type de Positionnement	Marche vers Station Assise Statique (A)	Station Assise vers Position Basse (B)	Position Basse vers Position Haute (C)
Groupe A	Extension/Extension	11/14 – 79%	10/15 – 67%	5/15 – 33%
	Flexion/Flexion	2/14 – 14%	4/15 – 27%	10/15 – 67%
	Stabilité	1/14 – 7%	1/15 – 6%	0
Groupe B	Flexion / Flexion	3/15 – 20%	10/15 – 67%	10/15 – 67%
	Extension / Extension	12/15 – 80%	4/15 – 27%	5/15 – 33%
	Stabilité / Extension	0	1/15 – 6%	0
Groupe C	Flexion / Flexion	1/17 – 6%	7/17 – 41%	4/17 – 24%
	Flexion / Extension	0	0	0
	Extension / Extension	16/17 – 94%	7/17 – 41%	13/17 – 76%
	Extension / Flexion	0	0	0
	Stabilité / Flexion	0	2/17 – 12%	0
	Stabilité / Extension	0	1/17 – 6%	0

Tableau 4.56. Comportement comparatif du couple L5S1 dans les différentes phases de l'étude pour les trois groupes

Conclusion : la constatation principale selon nous concerne les membres du Groupe C qui montrent une mobilité accrue du sacrum par rapport aux deux autres groupes ; ceci vient corroborer notre hypothèse précédemment évoquée, une rigidité axiale y compris au niveau lombaire (tout du moins lombaire haut jusque L3L4) mais avec une grande mobilité de la charnière L5S1 et spécifiquement le sacrum. A l'inverse, le dénominateur commun de ce point d'étude réside dans la confirmation de la synergie fonctionnelle de L5 et de S1 pour tous les cavaliers.

✓ Etude différentielle Homme / Femme

- Phase A : passage de la Marche à la station assise statique

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
SACRUM	F	6/6 – Extension - 100%	7/9 – Flexion – 78% 2/9 – Extension – 22%	11/11 – Extension – 100%
	H	7/9 – Extension – 78% 2/9 – Flexion – 22%	4/5 – Extension – 80% 1/5 – Flexion – 20%	5/5 – Extension – 100%

Tableau 4.57. Comportement global du sacrum, selon le groupe et en fonction du sexe du cavalier durant la phase A.

La lecture de ce tableau permet d’apprécier l’harmonie du Groupe C qui voit ses sujets opter pour d’une part la même orientation spatiale (vers EXTENSION) et surtout avec la même proportion tant chez les hommes que chez les femmes, à savoir 100%, ce qui tend à conforter l’idée que les cavaliers « experts » quelque soit le sexe adoptent le même comportement et montrent aussi à quel point l’excellence équestre est présente. Il en va de même pour le positionnement spatial chez le Groupe A, vers EXTENSION, mais par contre il y a une hétérogénéité selon le sexe car si 100% des cavalières adoptent l’EXTENSION, 78% des hommes évoluent vers l’EXTENSION et 22% vers la flexion, reflet d’une population qui cherche son équilibre. Le Groupe B, adopte une position intermédiaire, signe d’une catégorie qui en progressant cherche le meilleur compromis pour optimiser son équilibre. Il y a, à peu de chose près, la même proportion hommes/femmes 80% - 20% mais le positionnement spatial diffère avec FLEXION chez les cavalières et EXTENSION pour les hommes.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région LOMBAIRE	F	6/6 – EXT – 100%	7/9 – EXT – 78% 2/9 – FLX – 22%	10/11 – EXT – 91% 1/11 – FLX – 9%
	H	5/9 – EXT – 55% 3/9 – FLX – 33% 1/9 – Mixte - 12%	3/5 – EXT – 60% 2/5 – FLX – 40%	5/5 – EXT – 100%

Tableau 4.58. Comportement global de la colonne lombaire en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase A.

Au niveau de la région lombaire, les trois catégories évoluent toutes vers l’EXTENSION, seules les répartitions diffèrent, le Groupe C à 91 et 100% tandis que cela est plus variable chez les confirmés avec 78% chez les femmes et 60% chez les hommes. Les novices quant à eux se distinguent par la variabilité chez leurs cavaliers puisque 55% optent pour l’EXTENSION, 33% vers la FLEXION et 12% en Mixte ; de leurs côtés, les filles de manière totale évoluent à 100% vers l’extension.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région THORACIQUE	F	3/6 – FLX – 50% 3/6 – Mixte – 50%	5/9 – FLX – 56% 4/9 – EXT – 44%	4/11 – EXT – 36% 5/11 – FLEX – 45% 2/11 – Mixte – 19%
	H	3/9 – FLX – 33% 6/9 – Mixte – 67%	3/5 – EXT – 60% 2/5 – FLX – 40%	3/5 – EXT – 60% 2/5 – FLEX – 40%

Tableau 4.59. Comportement global de la région thoracique en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase A.

Au niveau de la région thoracique, la situation est plus complexe avec une population féminine qui opte vers la flexion alors que les hommes évoluent eux vers l’extension. Toutefois, si nous détaillons ces chiffres, nous notons que le Groupe C, hommes et femmes confondus, ont une tendance à la

rectitude, car en ajoutant les 36% de l'EXTENSION avec les 19% du Mixte, nous obtenons 55%, ce qui là aussi tend à confirmer les impressions visuelles qui laissaient penser que les cavaliers « experts » ont naturellement une attitude rachidienne en rectitude. Ce qui est à signaler, c'est la similitude de répartition 60/40 chez les cavaliers « confirmés » tant chez les hommes que chez les filles. Les « novices » présentent une similitude homme/femme dans le positionnement avec soit la flexion soit une attitude mixte.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région CERVICALE	F	6/6 – FLX – 100%	5/9 – FLX – 56% 4/9 – EXT – 44%	6/11 – EXT – 54% 3/11 – FLX – 27% 2/11 – Stabilité – 19%
	H	7/9 – FLX – 78% 2/9 – EXT – 22%	2/5 – EXT – 40% 2/5 – FLX – 40% 1/5 – Stabilité – 20%	2/5 – EXT – 40% 2/5 – FLX – 40% 1/5 – Stabilité – 20%

Tableau 4.60. Comportement global de la colonne cervicale en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase A.

Au niveau cervical, la situation est complexe puisqu'avant toute chose, souvenons-nous de l'impératif de l'horizontalité du regard, ce qui signifie que quelle que soit la position du cheval et les déséquilibres qu'il peut engendrer, le cavalier doit être à même de placer son regard horizontal. Ceci se traduira par une dissociation importante de l'activité du rachis cervical supérieur par rapport au rachis cervical inférieur. Cela pourrait donc s'avérer très différents selon le niveau des cavaliers. Toutes les cavalières « novices » positionnent la colonne cervicale en flexion, là encore dans un souci protecteur ; idem mais dans une moindre proportion chez les hommes. Chez les « confirmés », il y a une évolution dans la mesure où il est à noter une répartition homogène entre l'extension (confirmation de l'activation des muscles intrinsèques érecteurs rachidiens) et la flexion (caractéristique d'une attitude protectrice) 56%/44% chez les filles et 40%/40% chez les garçons. Ces cavaliers adoptent un comportement plus adapté qui annonce les prémices d'une évolution vers la situation proposée par les « experts ». Enfin, les filles « expertes » confirment leur capacité d'adaptation puisque chez 54% des sujets, l'extension est de mise ; les hommes quant à eux se partagent entre flexion et extension 40%/40%.

Pour conclure l'analyse de cette phase A, il nous serait possible de mettre en évidence la divergence de comportement de base entre ces trois catégories de cavaliers quand bien même il s'agit du passage de la marche à l'installation en position assise statique sur le cheval. Le fait de monter sur le cheval génère déjà des comportements différents selon les cavaliers, preuve que le niveau de compétence orchestre tout cela puisque si les « novices » ont en eux l'appréhension de la chute vissée au corps, les « experts » automatiquement vont entamer un auto grandissement global du rachis, qui leur est si caractéristique.

- Phase B : passage de la position assise statique à la position basse

Pour rappel, dans cette phase, le cheval engage ses membres postérieurs sous la masse, orientant le cheval vers le bas et l'arrière, induisant donc un déséquilibre postérieur chez le cavalier.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région SACREE	F	7/9 – Flexion – 78% 2/9 – Extension – 22%	6/9 – Flexion – 67% 3/9 – Extension – 33%	8/11 – FLEX – 73% 1/11 – EXT – 9% 2/11 – ST – 18%
	H	4/5 – Extension – 80% 1/5 – Flexion – 20%	3/6 – Flexion – 50% 3/6 – Extension – 50%	3/6 – EXT – 50% 3/6 – FLEX – 50%

Tableau 4.61. Comportement global du sacrum en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase B.

Globalement toutes les cavalières, tous groupes confondus, voient leur sacrum évoluer vers la flexion, ce qui signifie une bascule antérieure pelvienne, alors que les hommes sont plus partagés notamment pour les groupes B et C où la répartition est équilibrée 50/50, entre flexion et extension ; seuls les cavaliers « novices » optent pour une extension sacrée massive dans 80% des cas.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région LOMBAIRE	F	2/9 – Flexion – 20% 7/9 – Extension – 80%	6/9 – Flexion – 67% 3/9 – Extension – 33%	7/11 – FLEX – 64% 2/11 – EXT – 18% 2/11 – ST – 18%
	H	3/5 – Flexion – 60% 2/5 – Flexion – 40%	3/6 – Flexion – 50% 2/6 – Extension – 33% 1/6 – Stabilité – 17%	3/6 – FLEX – 50% 2/6 – EXT – 33% 1/6 – ST – 17%

Tableau 4.62. Comportement global de la colonne lombaire en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase B.

La tendance générale est à la flexion de la colonne lombaire, c'est-à-dire que l'on observe un effacement de la cambrure lombaire. Il faut toutefois moduler notre observation car chez les cavalières, les « novices » elles optent pour 80% d'entre elles, vers l'extension donc vers l'accentuation de la lordose alors que chez les cavaliers, aussi bien dans le groupe B que C, les positions se partagent avec certes chez 50% d'entre eux, une évolution vers la flexion, mais il faut prendre en considération que 33% ont un rachis lombaire en extension et que 17% conservent une attitude identique à celle observée lors de la position assise statique. Cette propension à évoluer vers la flexion qui signifie également un effacement de la lordose correspond également aux standards décrits par la littérature équestre.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région THORACIQUE	F	5/9 – Flexion – 56% 4/9 – Extension – 44%	5/9 – Flexion – 50% 3/9 – Extension – 33% 1/9 – Stabilité – 17%	9/11 – FLEX – 82% 2/11 – ST – 18%
	H	3/5 – Extension – 60% 2/5 – Flexion – 40%	4/6 – Flexion – 67% 2/6 – Extension – 33%	4/6 – FLEX – 66% 1/6 – EXT – 17% 1/6 – ST – 17%

Tableau 4.63. Comportement global de la région thoracique en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase B.

Situation inverse au niveau du rachis thoracique, puisqu'alors que la tendance générale est à la flexion thoracique, de façon majoritaire, seuls les cavaliers « novices » optent pour 60% d'entre eux

pour l'extension, confirmant un comportement de soumission par rapport aux vibrations induites par le cheval mécanique.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région CERVICALE	F	5/9 – Flexion – 56% 4/9 – Extension – 46%	5/9 – Flexion – 56% 2/9 – Extension – 22% 2/9 – Stabilité – 22%	9/11 – Flexion – 82% 2/11 – Stabilité – 18%
	H	2/5 – Extension – 50% 2/5 – Flexion – 40% 1/5 – Stabilité – 10%	3/6 – Flexion – 50% 2/6 – Extension – 33% 1/6 – Stabilité – 17%	4/6 – Flexion – 67% 2/6 – Stabilité – 33%

Tableau 4.64. Comportement global de la colonne cervicale en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase B.

La colonne cervicale évolue chez toutes les cavalières vers la flexion, correspondant à une attitude compensatrice de la chute postérieure. Chez les cavaliers, la situation est plus ambiguë car si pour 67% des « experts », le niveau cervical adopte la flexion, chez les « confirmés » et les « novices » il y a partage des positions avec 50% des cas en flexion pour le groupe B et 50% en extension pour le Groupe A. Sur le plan général, notons qu'hormis pour le Groupe B, les femmes adoptent une position plus marquée que chez les hommes où la répartition est plus délicate avec un mode tripartite. Il convient de mettre en exergue le Groupe C qui majoritairement positionne l'étage cervical en flexion (82% chez les femmes et 67% chez les hommes).

- Phase C : passage de la position basse vers la position haute.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région SACREE	F	6/6 Flexion – 100%	5/9 – Flexion – 56% 4/9 – Extension – 44%	10/11 – Extension – 91% 1/11 – Flexion – 9%
	H	7/9 Flexion – 78% 1/9 Extension – 11% 1/9 Stable – 11%	3/6 – Flexion – 50% 3/6 – Extension – 50%	4/6 – Extension – 67% 2/6 – Flexion – 33%

Tableau 4.65. Comportement global du sacrum en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase C.

La première constatation se place sur la répartition marquée chez les cavalières et cela quelle que soit la position adoptée. La seconde se situe au niveau des positions car les sujets des Groupe A et B s'orientent vers la flexion alors que les membres du Groupe C vont eux vers l'extension et cela de manière majoritaire (91% des cavalières et 67% des sujets masculins). Concernant la différenciation hommes/femmes, notons un décalage chez les « novices » où 100% des femmes iront vers la flexion alors que chez les hommes, certes 78% des sujets sont orientés vers la flexion mais la répartition est là encore tripartite. Chez les « confirmés », nous observons une répartition bipartite et équilibrée.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région LOMBAIRE	F	1/6 Extension – 17% 5/6 Flexion – 83%	4/9 – Stabilité – 44% 3/9 – Flexion – 33% 2/9 – Extension – 23%	10/11 – Extension – 91% 1/11 – Flexion – 9%
	H	3/9 Extension – 33% 5/9 Flexion – 56% 1/9 Mixte – 11%	3/6 – Flexion – 50% 2/6 – Extension – 33% 1/6 – Stabilité – 17%	5/6 – Extension – 83% 1/6 – Stabilité – 17%

Tableau 4.66. Comportement global de la colonne lombaire en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase C.

L'évolution est similaire chez les femmes et chez les hommes puisque les « experts » très majoritairement (91% pour les femmes et 83% chez les hommes) évoluent vers l'extension, justifié en cela par une des limites de l'étude à savoir, la parfaite connaissance du fonctionnement de l'utilisation du cheval mécanique et autres simulateurs ; cela leur permet d'anticiper le cycle suivant sans avoir ni à subir, ni à s'adapter au rythme de l'engin. A l'inverse il n'y a pas de divergence entre le comportement des cavaliers masculins et féminins chez les « novices », puisque tous présentent une flexion lombaire, plus marquée chez les filles (83%). Le Groupe B opte pour une situation plus nuancée avec d'une part un partage tripartite et d'autre part une quasi similitude entre les deux sexes.

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région THORACIQUE	F	2/6 Extension – 33% 4/6 Flexion – 67%	7/9 – Extension – 78% 1/9 – Flexion – 11% 1/9 – Stabilité – 11%	11/11 – Extension – 100%
	H	4/9 Extension – 44% 5/9 Flexion – 56%	4/6 – Extension – 67% 2/6 – Flexion – 33%	6/6 – Extension – 100%

Tableau 4.67. Comportement global de la région thoracique en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase C.

Au niveau thoracique, il y a similitude comportementale entre les femmes et les hommes puisque dans chaque groupe, les deux sexes évoluent à l'identique. Notons également la progression de fonctionnement entre les « novices » et les « experts » avec les « confirmés » en position intermédiaire, qui commencent à évoluer vers l'extension mais dans des proportions moindres par rapport aux « experts ».

		Groupe A	Groupe B	Groupe C
Région CERVICALE	F	3/6 Extension - 50% 3/6 Flexion – 50%	6/9 – Flexion – 67% 3/9 – Extension – 33%	5/11 – Extension – 46% 3/11 – Flexion – 27% 3/11 – Stabilité – 27%
	H	5/9 Extension – 56% 4/9 Flexion – 44%	3/6 – Flexion – 50% 2/6 – Extension – 33% 1/6 – Stabilité – 17%	6/6 – Extension – 100%

Tableau 4.68. Comportement global de la colonne cervicale en fonction du sexe du cavalier et selon les groupes durant la phase C.

Hormis les cavalières « novices » qui présentent une répartition 50/50 alors que leurs homologues masculins présentent une attitude en extension pour 56% des cas, en ce qui concerne les deux autres groupes, il y a similitude de fonctionnement entre hommes et femmes. Notons toutefois, chez les

filles « expertes », pour une fois, il y a une répartition tripartite avec pour 46% des sujets une évolution vers l'extension. Au final, il y a très peu de divergence entre les hommes et les femmes au niveau cervical.

✓ Changement D'ORIENTATION VERTEBRALE

Cette analyse, peut-être moins marquante par rapport aux autres éléments, met tout de même l'accent sur une différence de localisation de zone de mobilité chez les « novices » surtout, car pour les deux autres groupes, il y a convergence de fonctionnement. Les « novices » présentent une zone de changement d'orientation plus basse au niveau Th8/Th9, alors que chez les « confirmés » et les « experts », le niveau est un peu plus haut, Th7/Th8.

GROUPE A				
Lombaire	6/15 - L2 - 40%	9/15 - L5 - 60%	7/15 - L5 - 47%	12/15 - L5 - 80%
Thoracique	5/15 - Th8 - 33%	9/15 - Th9 - 60%	6/15 - Th9 - 40%	8/15 - Th8 - 53%
GROUPE B				
Lombaire	5/15 (33%) - L5	9/15 (60%) - L5	9/15 (60%) - L5	8/15 (53%) - L5
Thoracique	4/15 (27%) - Th7	5/15 (33%) - Th8	8/15 (53%) - Th8	5/15 (33%) - Th8
GROUPE C				
Lombaire	L2 - 6/16 - 37.5%	L5 - 10/17 - 59%	L5 - 13/17 - 76%	L5 - 11/17 - 65%
Thoracique	Th8 - 8/16 - 50%	Th8 - 7/17 - 41%	Th7 - 6/17 - 34%	Th8 - 7/17 - 41%

Tableau 4.69. Aperçu du changement d'orientation thoracique et lombaire en fonction du groupe

4.4.3.2 - Variation Des Angles Radiologiques

✓ Angle $\alpha.1$

L'analyse comparative de ces trois groupes permet de mettre en évidence, chez tous les cavaliers, un positionnement en extension, signe d'une postériorisation sacrée avec donc une rétroversion pelvienne, nettement plus marquée chez les « novices » et moindre chez les « confirmés ». Durant la phase B (station assise vers position basse), alors que les groupes A et B présentent une relative stabilité, le groupe C continue à partir vers l'extension.

A l'inverse, alors que les « novices » évoluent en flexion, les groupes B et C eux sont stables. Cela nous permet de visualiser une différence entre position assise statique et position haute de 0.71 chez les « novices », de 0.33 chez les « confirmés » et enfin de 2.29 chez les « experts », signe d'une plus grande activation lombo sacrée chez ces derniers ; ceci vient corroborer nos précédentes observations qui tendent à objectiver une utilisation majeure de cette charnière, qui serait induite par une plus grande mobilité de la ceinture pelvienne d'une part mais aussi et surtout, de l'ensemble du membre inférieur.

✓ Angle $\alpha.2$

La mobilisation de l'angle $\alpha.2$ est caractéristique chez les sujets du Groupe C vis-à-vis des deux autres groupes puisque durant la phase A, les cavaliers « experts » ont la plus grande variation avec 13°16. Il en va de même dans la phase B avec 3°70. Seule la phase C, voit le groupe B avoir le différentiel le plus important avec 4°67.

✓ Angle $\alpha.3$

Il est intéressant de constater les différences de variations dans les trois groupes. En ce sens, observons un écart de $3^{\circ}23$ chez les cavaliers « experts » alors que chez les « novices » il est de $5^{\circ}70$ et chez les « confirmés » il passe à $8^{\circ}27$. Ceci signifie que les sujets du Groupe C ont une moindre action sur la cambrure lombaire alors qu'au contraire, les cavaliers du groupe B avec $8^{\circ}27$ sont ceux qui sollicitent le plus la lordose lombaire. Cet élément vient confirmer la constatation précédemment faite à savoir que les cavaliers « confirmés » viennent accompagner le mouvement du cheval non pas par utilisation accrue de la bascule pelvienne, mais surtout par une mise en jeu massive de la cambrure lombaire. Ceci ne sera pas sans conséquence pour l'avenir fonctionnel de cette colonne lombaire. Force est de constater que cela sera une réelle zone de fragilité douloureuse chez ces sujets. A mi chemin entre les deux, les « novices » avec $5^{\circ}70$ confirment la participation de tous les niveaux rachidiens pour leur assurer une posture quasi équilibrée sur le cheval mécanique. Alors que nous avons vu antérieurement, que ces sujets avaient une fixité de la ceinture pelvienne issue semble-t-il d'une rigidité majorée des membres inférieurs, les valeurs $\alpha.3$ montrent qu'il y a également une activation soutenue de la lordose lombaire pour tenter d'accompagner les mouvements du cheval plutôt que de les subir.

✓ Angle $\alpha.4$ ou angle thoracique

Il est révélateur de la propension des cavaliers « experts » à rester fixes au niveau supérieur puisqu'il est possible de remarquer qu'entre la phase B et C, le différentiel de variation angulaire est de seulement $0^{\circ}77$, alors qu'il est de $4^{\circ}01$ chez les « confirmés » et de $7^{\circ}99$ pour les « novices ». Nous pouvons également venir confirmer nos observations en regardant les valeurs angulaires seules et là encore, les sujets du Groupe C ont un angle $\alpha.4$ le plus faible (de 55° à $57^{\circ}94$) alors qu'à l'inverse les représentants du Groupe A sont ceux qui présentent les chiffres les plus élevés pour $\alpha.4$ ($67^{\circ}60$ à 75°). Entre les deux, se positionnent les membres du Groupe B avec des valeurs qui oscillent entre $57^{\circ}35$ et $62^{\circ}93$. Donc au final, preuve est faite que la mobilisation du rachis thoracique est inversement proportionnelle au niveau de compétence du cavalier.

✓ Angle Ω

Nous avons, avec l'analyse de cet angle Ω , l'activité de la charnière lombo-sacrée et cela nous permet de confirmer les observations sus-jacentes qui affirmaient une suractivité L5S1 des cavaliers « experts » par rapport aux autres. Si nous étudions le différentiel entre la marche et la position haute, force est de constater que les sujets du Groupe C sont à $8^{\circ}49$, alors que les membres du Groupe B sont à $2^{\circ}52$ et les « novices » sont à $5^{\circ}35$. Paradoxalement, si les « experts » présentent la plus grande activité lombo-sacrée, ce sont les « confirmés » qui eux ont la moins mobile, ce qui la aussi tend à confirmer les observations précédentes où ces cavaliers du Groupe B ont une moindre activité lombo-sacrée qui est compensée par une variation de la lordose lombaire plus importante.

4.4.3.3 - Variations Angulaires Et Valeurs Moyennes

Comme nous l'avons fait précédemment, il nous a semblé intéressant de venir compléter ces données par l'observation des variations angulaires maximales du cavalier ; souvenons nous qu'il s'agit du débattement segmentaire global (tout niveau rachidien confondu) dans lequel évolue le cavalier. Pour y parvenir, nous avons eu recours aux données « bruts » fournies par BioVal© sous forme de tableau Excel®. Nous avons donc pu, ensuite, déterminer les valeurs angulaires maximales et mini-

males globales, à partir desquelles une répartition par catégorie sera envisagée. Puis, de manière arbitraire, nous avons défini 4 catégories de déplacement <10° - entre 10 et 15° - entre 15 et 20° et >20° ; ceci doit nous permettre de visualiser ou non l'importance des déplacements de la colonne vertébrale du cavalier à tous les étages et dans toutes les situations considérées.

Cela nous permettra d'apprécier la capacité des cavaliers de chaque groupe à utiliser chaque niveau rachidien et surtout de quantifier ces déplacements ; nous pourrions-nous envisager une progression comportementale selon le niveau de compétences.

Ensuite, nous pourrions alors comparer ces valeurs par rapport au sexe des cavaliers et voir si cela interfère dans la mobilité plus ou moins importante de telle ou telle région rachidienne.

GROUPE A	Valeurs Globales	Valeurs Cervicales	Valeurs Thoraciques	Valeurs Lombaires
<10°	3/15 – 20%	5/15 – 34%	10/15 – 67%	6/15 – 40%
10 – 15°	6/15 – 40%	3/15 – 20%	2/15 – 13%	3/15 – 20%
15 – 20°	3/15 – 20%	3/15 – 20%	2/15 – 13%	6/15 – 40%
>20°	3/15 – 20%	4/15 – 26%	1/15 – 7%	0/15 – 0%

GROUPE B	Valeurs Globales	Valeurs Cervicales	Valeurs Thoraciques	Valeurs Lombaires
<10°	3/15 – 20%	10/15 – 67%	3/15 – 20%	3/15 – 20%
10 – 15°	6/15 – 40%	1/15 – 7%	7/15 – 46%	2/15 – 14%
15 – 20°	3/15 – 20%	2/15 – 13%	4/15 – 27%	5/15 – 33%
>20°	3/15 – 20%	2/15 – 13%	1/15 – 7%	5/15 – 33%

GROUPE C	Valeurs Globales	Valeurs Cervicales	Valeurs Thoraciques	Valeurs Lombaires
<10°	10/17 – 59%	11/17 – 65%	11/17 – 65%	6/17 – 35%
10 – 15°	5/15 – 29%	6/17 – 35%	5/17 – 29%	5/17 – 29%
15 – 20°	1/15 – 6%	0	1/17 – 6%	3/17 – 18%
>20°	1/15 – 6%	0	0	3/17 – 18%

Tableau 4.70. Evolutions des variations angulaires moyennes selon les différents groupes.

Nous notons d'abord que les cavaliers « experts » sont ceux qui présentent la plus grande proportion de sujets qui possèdent une variation <15°. Seuls 12% d'entre eux ont un différentiel > 15°. Par contre, au niveau du sacrum, les « experts » ont une grande population (59%) qui ont un différentiel >15°, ce qui confirme nos hypothèses de mobilité accrue de la charnière lombo sacrée. A l'identique, les sujets du Groupe B possèdent une mobilité majorée au niveau lombaire, ce qui corrobore les valeurs de l'angle α_3 où l'utilisation intensive de la variation de la lordose lombaire. Ce qui est marquant dans ces tableaux, c'est de voir l'importance des cavaliers « novices » et « confirmés » qui présentent un différentiel angulaire >15° et cela quelque soit l'étage concerné.

4.5 - INTERPRETATION des RESULTATS

Cette analyse complète des différents groupes puis celle inter groupes, amène plusieurs observations :

Les « novices » se comportent en selle avec en permanence une certaine crainte de la chute, de l'inconnu, et seront totalement tributaires du mouvement du cheval mécanique. De ce fait, le « novice » sera totalement passif et « subira » le rythme du cheval sans avoir la possibilité de réagir, de

s'adapter, voire de compenser cette activité équestre. Les « confirmés », eux, voient une adaptation naissante de leur rachis avec une évolution dans sa cinématique. Enfin, les « experts » confirment leur faculté d'adaptation et de compensation face aux différentes situations équestres. Toutefois, les enregistrements ont montré une limite avec la capacité des cavaliers « experts » d'anticiper le cycle ellipsoïdal du cheval mécanique, ce qui a tendance à modifier certaines données.

En ce qui concerne l'attitude globale du cavalier, nous observons réellement une différence et surtout une notion d'évolution dans ces trois groupes. Ainsi, l'élément majeur du Groupe A se situe au niveau de l'appréhension d'une situation nouvelle, inconnue et non explicable de suite ; il s'en suit un « esprit protecteur » qui se caractérise par un repli sur soi-même. Cette position refermée sur soi-même, dite en triple retrait, est usuellement mise en application dans des situations aussi variées que dans le parachutisme, lors des séismes et elle est aussi rencontrée dans certaine pathologie psychiatrique telle que la schizophrénie où l'individu se « coupe » du monde en adoptant cette attitude. De plus, elle témoigne également d'un manque de confiance en soi, voire d'une timidité à agir, psychologiquement parlant. Ne dit-on pas à l'inverse, de quelqu'un de sûr, de fier, qu'il se redresse !

De plus fonctionnellement parlant, cela induit plusieurs remarques : une synergie du niveau inférieur du thorax et de l'étage lombaire comme s'il y avait « fusion fonctionnelle » entre ces deux entités, laissant l'étage thoracique supérieur se « fermer » par une augmentation de la cyphose thoracique, elle-même impliquant une projection antérieure des ceintures scapulaires (enroulement des épaules) conduisant à une hyper fixation des membres supérieurs, d'où au final une main dure dans la bouche du cheval. Il va sans dire que ce type d'attitude aura de multiples répercussions et pourra s'il est connu, visualisé permettre à l'équipe autour du cavalier d'intervenir pour éviter que les problèmes ne s'aggravent (Enseignant – Coach – Pôle Médical – Soigneur pour le cheval). A l'opposé, les cavaliers « experts » optent pour un redressement total (auto grandissement mais aussi attitude proche de la verticale, environ 4° de flexion antérieur du tronc) et quasi permanent, ce qui aura pour incidence de reporter dès lors l'appui au niveau postérieur des ischions, laissant une liberté pratiquement totale des articulations coxo-fémorales et par voie de conséquence celles sous jacentes. Cette posture donnera à l'inverse du « novice » la possibilité de libérer les ceintures scapulaires et donc les membres supérieurs, ce qui au final permettra au cavalier d'alléger l'avant main de son cheval par une main plus souple, légère et déliée.

De plus, si nous portons notre regard sur le positionnement pelvien, nous notons que les cavaliers « experts » évoluent avec initialement une bascule postérieure très marquée. Partir de cette attitude, le bassin s'antériorisera certes, mais de façon relative, puisqu'au final, il n'ira jamais dans des amplitudes d'une véritable antéversion du bassin.

Cela s'est trouvé confirmé par le jeu de la charnière lombo-sacrée si fixe chez les « novices », relativement mobile chez les « confirmés », et particulièrement sollicitée chez les « experts ». Chez ces derniers, cette extrême mobilité tranche avec la rigidité des étages supérieurs au point d'envisager une piste de réflexion vis-à-vis du point fixe et mobile du cavalier. En effet, suite aux observations faites sur cette charnière L5S1, tout porte à croire que nous nous retrouvons face à une situation inédite : un cavalier fixe de la tête à L4 et qui n'est finalement mobile que par et grâce à la jonction lombo-sacrée, traduisant ainsi une modélisation avec point fixe supérieur, c'est-à-dire rachidien, et point mobile au niveau du membre inférieur ; ce dernier se comportant comme un pantin articulé, assure une faculté d'adaptation totale du cavalier par rapport au cheval et lui permet d'avoir une totale liberté de hanches, genoux et chevilles. Nous retrouvons alors le liant tant recherché par la

littérature équestre. A l'inverse, le « novice » n'aura cessé de rigidifier ce complexe lombo-pelvien dans un souci de bloquer, via les membres inférieurs, les moindres réactions du cheval ; ceci produira l'effet inverse de celui qu'il envisage, puisque dès ce moment là, le verrouillage du complexe lombo-pelvien va induire un blocage des hanches avec un travail concomitant des adducteurs, groupes internes des fléchisseurs et extenseurs, ce qui aura pour conséquence de figer totalement le membre inférieur, l'empêchant ainsi de s'adapter aux sollicitations du cheval. A cet instant, le « novice » n'a pas la capacité de s'adapter mais subit complètement le cheval. Le dernier groupe, celui des « confirmés » adopte un comportement intermédiaire avec une fixité naissante des étages supérieurs, une mobilité certaine de l'étage lombo-pelvien, mais à la différence du cavalier « expert », la mobilité lombaire est assurée par une mise en action de la lordose lombaire, c'est-à-dire que le sujet du Groupe B aura tendance à accompagner les mouvements du cheval par une activation majeure de sa cambrure lombaire, ce qui là encore n'est pas sans poser des problèmes car au final, blocage il y aura tout de même blocage au niveau de la ceinture pelvienne, mais aussi de l'ensemble du membre inférieur.

L'utilisation de la variation de la lordose lombaire ne donnera pas la possibilité au cavalier « confirmé » de dégager totalement les ceintures scapulaires ou, s'il y parvient, cela ne sera que transitoire. Ceci remettra en question sa capacité à alléger ses mains, donc la bouche du cheval, donc au final, il a la capacité à rendre l'avant main du cheval plus léger mais qu'épisodiquement, car cela lui est très difficile de maintenir une position correcte via la lordose lombaire, très longtemps.

Tout ceci a trouvé une confirmation dans notre étude complémentaire. En effet, en parallèle de l'analyse du positionnement de chaque élément ostéologique dans le plan sagittal et ceci dans les différentes situations, il nous a paru intéressant d'étudier sur le plan général le comportement rachidien des cavaliers. Pour ce faire, nous avons extrait les données enregistrées par les Motions Pod™ au cours d'un cycle complet d'enregistrement et sans tenir compte de la situation dans laquelle se trouvait le cavalier. Nous avons donc recueilli des valeurs rachidiennes instantanées et il en ressort des éléments significatifs au niveau global.

Ce qui est mis en avant, c'est la tendance générale différente des cavaliers à se maintenir en station assise selon les groupes. Si nous analysons le positionnement global du rachis au cours du cycle d'enregistrement de 20s, nous observons que le Groupe A « NOVICES » présente l'attitude la plus marquée en projection antérieure avec $16^{\circ}21$, alors que les « CONFIRMES » se situent à $6^{\circ}84$ et que les « EXPERTS » quant à eux se positionnent de manière assez proche de la rectitude avec une attitude en flexion de $4^{\circ}71$. Mais ce qui est le plus marquant, c'est de constater que les déplacements (différence entre les valeurs maximales enregistrées et les valeurs minimales) sont assez conséquentes chez les « NOVICES » avec $33^{\circ}36$, alors qu'ils ne seront que de $20^{\circ}82$ chez les « CONFIRMES », et seulement de $1^{\circ}32$ chez les « EXPERTS ».

Ceci vient conforter notre observation précédemment décrite : plus le cavalier est performant moins le rachis se déplace, de façon « globale » ce qui renforce notre hypothèse d'inversion des points fixes entre les « NOVICES » et les « EXPERTS » ; les premiers ont un modèle de fonctionnement avec point fixe inférieur (membres inférieurs plaqués sur le flanc du cheval de peur de chuter) et les derniers font l'inverse pour arriver à la situation d'un point fixe rachidien et l'élément mobile au niveau du membre inférieur. Cette constatation ne sera pas sans conséquence future au niveau des applications et en particulier au niveau du « suivi médical » puisque bien évidemment, les contraintes mécaniques seront différentes selon le groupe de cavaliers. De même, le mode et l'intensité du travail musculaire seront dès lors, différents.

Rachis GLOBAL (exprimés en degrés)	Groupe A NO- VICES		Groupe B CON- FIRMES		Groupe C EX- PERTS	
Moyenne	16.21		6.84		4.71	
Maximum	34.80	Amplitude	18.14	Amplitude	14.63	Amplitude
Minimum	1.44	33.36	-2.68	20.82	13.31	1.32

Tableau 4.71. Visualisation de la moyenne globale des valeurs moyennes, maximales, minimales et l'amplitude du rachis global pour les trois groupes de cavaliers.

Cette situation suscite une réflexion qui fait référence au modèle du « pendule inversé » proposé pour la première fois par GURFINKEL* (1972) et repris à de nombreuses occasions depuis. Hormis le fait que ce modèle a été utilisé pour caractériser une station debout bipodale, il nous semble intéressant d'effectuer une analogie, osée, certes, mais qui mérite que nous nous y attardions quelque peu. Ce modèle selon BOUDRAHEM* (2013), suggère que le corps humain en station érigée non perturbée, se comporte comme un pendule rigide oscillant autour de l'axe de la cheville. Il est dès lors en équilibre lorsque le centre de gravité (CG) et le point d'application des forces de réaction sur le support (Centre de pression résultant ou CPR) sont alignés. Le non alignement entraîne un couple déstabilisateur. A ce moment, les accélérations transmises au CG sont directement dépendantes *primo* de la hauteur du CG, *secundo* de la masse du système et *tertio* de la distance entre le CG et le CPR. Chez l'homme du fait des variations à la fois internes et externes à la posture, le système postural est en oscillation permanente, ce qui induit un décalage constant entre les positions du CG et de CPR. Les positions du CPR et du CG ne sont jamais alignées. Ici dans notre étude, la situation des cavaliers des groupes A et B, peut évoquer la modélisation du pendule inversé avec point fixe inférieur à quelques particularismes près :

- D'abord, ici dans ce système de pendule inversé, *a contrario* de la station debout, la base de sustentation est multiple avec un triptyque bassin et deux pieds fixes. Il est envisageable de ne considérer que le bassin, considérant la fixité des membres inférieurs par rapport au cheval ; dès lors, le pendule, ici plus ou moins rigide puisque chaque étage vertébral a sa propre mobilité, oscillera autour du pelvis (au niveau des appuis ischiatiques) ;
- Le modèle de pendule inversé n'a pas une base fixe mais se situe sur un élément lui-même instable du fait de sa mobilité ;
- Toutefois en regardant le comportement des cavaliers novices et confirmés, cette modélisation peut être évoquée avec pour seul déplacement, celui du rachis par rapport au bassin. La projection antérieure globale dans les deux premiers groupes permet alors d'envisager un ajustement postural permanent.

Plusieurs remarques sont à noter : premièrement n'oublions pas que la diminution de la mise en charge d'un appui entraîne une diminution notable des stimulations exercées sur les récepteurs sensoriels sensibles au poids (organes tendineux de Golgi) et deuxièmement, plus les oscillations du pendule sont importantes, plus l'instabilité posturale s'accroît, ce qui nous amène à penser que l'asymétrie de répartition du poids corporel (ici dans le plan sagittal mais il en est de même dans les autres plans) sur les appuis ischiatiques peut être considéré comme une contrainte biomécanique qui vient limiter le comportement postural. Ceci peut s'avérer être intéressant dans un projet éducatif ou rééducatif du cavalier car au final, l'adaptation posturale, qui est décrite comme la capacité à dimi-

nuer au maximum les déplacements du centre de gravité (CG), se trouve altérée lorsqu'il y a un déficit *primo*, de recueil d'informations par les récepteurs périphériques, *secundo* de leur conduction vers le système nerveux central, *tertio* de leur traitement par ce dernier et *quatro* de la commande de ce même système de la correction motrice vers l'organe effecteur. Tout ceci nous conduit à penser que l'adaptation de la posture du cavalier ne doit pas uniquement se situer sur un plan purement équestre, encore moins biomécanique, mais qu'il est important de considérer l'individu dans sa globalité en allant favoriser l'aspect neuro-sensitivo-moteur et fonctionnel de l'activité équestre. Ceci ne peut être envisagé non pas sur un corps statique mais engagé dans une action. Cette ré-intégration et ce ré-apprentissage neuro-moteur du mouvement et de la posture selon BAILLET*(2014), qui seront développés dans le prochain chapitre, est directement inspiré des techniques facilitatrices neuro musculaires de KABAT* (1977). Cette dernière présente l'avantage de travailler deux versants neuro-moteurs parallèles. Le premier s'apparente à un réapprentissage musculaire d'une activité gestuelle fonctionnelle dans des courses musculaires adaptées. Le but est d'améliorer la régulation de la contraction musculaire et par conséquent une optimisation de la qualité du mouvement (donc ici à la fois la qualité de la posture du cavalier mais aussi et surtout des gestes nécessaires à l'obtention de la performance équestre quelle que soit la discipline). Le second versant vient s'appuyer sur un travail statique préalablement effectué et finalise le premier versant neuro-moteur. Il vise donc à réintégrer les réponses musculaires vers la position corrigée selon des schémas moteurs fonctionnels. L'ensemble de ce travail neuro-moteur est donc un réapprentissage et une réintégration de l'initiation, de la réalisation et du retour à la position initiale, voire de l'ensemble du corps, suite à l'exécution d'un geste.

4.6 - CONCLUSION

En conclusion, nous pouvons déterminer, comme le laissait envisager notre hypothèse de départ, des applications au quotidien. Celles-ci pourront être confirmées dans les quatre directions que nous avons envisagées initialement. Nous pouvons d'ores et déjà tracer les grands axes de la réflexion que nous détaillerons plus en détails dans le chapitre suivant.

En ce qui concerne la PEDAGOGIE, il nous semble évident que la compréhension de la cinématique rachidienne du cavalier est primordiale pour affiner un enseignement, ou plutôt pour le personnaliser à souhait. C'est ainsi que la connaissance du positionnement du cavalier « novice » permettra au moniteur de privilégier les situations et les exercices qui solliciteront de manière principale la dissociation des ceintures, l'utilisation des membres inférieurs et tout ce qui peut permettre une exploration du champ postérieur du cavalier ; le but recherché est alors de rompre ce cercle vicieux de « l'ancrage du cavalier dans sa selle ». En seconde intention, la recherche et la découverte du champ postérieur du cavalier permettra un « redressement » synonyme de libération des ceintures scapulaires donc allègement de l'avant main du cheval à travers une légèreté retrouvée des mains du cavalier. Tout ceci permet d'envisager réellement l'inter-action entre le comportement rachidien du cavalier et celui du cheval.

Dans le domaine de la SANTE du CAVALIER, il est évident que la connaissance des postures adoptées par les cavaliers va contribuer à mieux appréhender les éventuelles pathologies qui s'y rapportent. C'est ainsi que chez les cavaliers « confirmés » l'utilisation intensive de la variation de la cambrure lombaire, sera à moyen terme source de douleurs majorées. Pour cela en préventif, il conviendra de proposer un protocole de préparation principalement axé sur le renforcement du caisson abdomino pelvien (entre autres choses), tout comme il sera intéressant de programmer des séances de sollicita-

tions des érecteurs du rachis pour assurer ce « redressement » nécessaire à la libération des ceintures.

Dans le domaine SPORTIF, l'intérêt sera grandissant puisque l'analyse gestuelle du cavalier va permettre de comprendre des situations d'échec ou de moindre performance. A ce titre le transfert d'appui sur les ischions permettra d'expliquer un abord plus délicat sur un obstacle ou même une position trop cambrée au niveau lombaire. Ceci viendra expliquer un mauvais départ au galop par exemple. Il en sera de même pour l'excès de poids sur l'avant main, c'est-à-dire que le cheval est mis sur les épaules, ce qui, est uniquement dû au fait d'une main trop dure, elle-même la conséquence d'un enroulement des épaules. Tout cela sera consécutif à une projection thoracique antérieure qui pourra compromettre un départ dans un « trot allongé » car le transfert de masse du cheval vers l'arrière avec l'engagement des postérieurs sous la masse ne pourra pas s'effectuer correctement compte tenu du poids imposé par les mains dans la bouche du cheval.

Le COMPORTEMENT DU CHEVAL, est un point sur lequel l'attitude posturale du cavalier aura une incidence majeure ; en effet le fait pour le cheval d'avoir une main dure ou pas va induire ou non des réactions de défense plus ou moins affirmées et bien sûr qu'il conviendra d'analyser le comportement du cavalier avant d'envisager une éventuelle problématique de locomotion ou comportementale du cheval.

Concernant l'éventuelle différenciation comportementale homme/femme, il semblerait que la tendance de la population de cavalières est en l'adoption de façon plus marquée des attitudes précises alors que cela est hésitant ou moins marqué chez les garçons.

CHAPITRE 5 – CONSEQUENCES et APPLICATIONS

5.1 - ASPECT PEDAGOGIQUE ou APPLICATIONS sur l'ENSEIGNEMENT de l'EQUITATION

5.1.1 - INTRODUCTION

Souvenons nous de ce que clamait HEBARD* (1986) pour qui l'EPS semblait être une activité physique « à part entière mais entièrement à part », nous avons envisagé une analogie avec l'équitation. Considérant que la compétition n'est finalement perçue comme but ultime que par une minorité de cavaliers, bon nombre d'entre eux se suffisent d'une pratique « basique », c'est-à-dire savoir monter à cheval quelle que soit la manière, l'essentiel étant de tenir en selle aux trois allures (pas – trot – galop) et en toute circonstance (intérieur ou extérieur). Dès lors la perception d'une position correcte à la fois pour le cavalier influençant le cheval, mais aussi la qualité du geste technique, peut apparaître comme futile, pour certains sujets. Prenant volontairement le contre pied de ce que met en avant CHIRIS* (2003), à savoir que l'équitation ne s'arrête pas à l'aspect locomotion du cheval et du cavalier, nous sommes convaincus que la connaissance du comportement de l'appareil locomoteur peut permettre à l'enseignant d'avoir un fondement didactique, ce que MEIRIEU* (1990) décrit comme étant le traitement des « méthodologies à mettre en œuvre pour permettre l'appropriation de contenus spécifiques ».

5.1.2 - SYSTEME SENSORIEL et l'INTEGRATION d'INFORMATIONS

5.1.2.1 - Postulat de départ de l'équitation

Le postulat de départ de l'enseignement de l'équitation sera de faire porter l'attention du cavalier par une répétition de mouvements (comme tout ce qui n'est pas inné), qui l'obligera à posséder une connaissance du résultat (but à atteindre) ; ceci permettra une auto régulation par rapport au ressenti. SACHSE* (2015), cascadeur-cavalier devenu paraplégique à la suite d'un accident, a développé un concept d'apprentissage à destination du grand public, basé sur la nécessité d'un point mobile inférieur, ce qui développe les sensations du cavalier par rapport à sa position. Méthode hors norme, car elle est basée sur le ressenti objectivé par les repères anatomiques. Elle est issue directement des conséquences perturbatrices du handicap et de l'obligation de développer d'autres sens et d'exacerber ses sensations d'où la parfaite maîtrise précisément des repères anatomiques. La sensation, qu'est ce ? Au final, une impression confuse de quelque chose, pas toujours verbalisable, qui se décompose en une sensibilité superficielle et profonde. Elle est issue d'une part, de la sensation par laquelle le sujet a conscience d'une stimulation sensorielle sans pouvoir l'identifier et d'autre part, de la perception par laquelle le sujet identifie et reconnaît ce qu'il sent, d'où une nécessité d'interprétation.

5.1.2.2 - Les capacités intégratrices et le système sensoriel.

Pour mieux percevoir l'intérêt que peut représenter la connaissance comportementale de l'appareil locomoteur dans l'enseignement du cavalier à travers la perception, il convient d'étudier l'utilisation par le sujet des informations. « Se percevoir soi » est alors un impératif pour mieux appréhender le

cheval, et percevoir le cheval c'est en quelque sorte mieux se connaître soi-même puisque il est fondamental de « sentir » son corps pour pratiquer l'équitation, cette dernière en retour serait donc bénéfique pour l'acquisition et le développement du schéma corporel de l'individu.

L'être humain dispose de cinq sens munis de capteurs sensoriels spécifiques mais nous avons coutume d'en utiliser deux autres qui sont l'équilibre et la proprioception. Ces capteurs sensoriels sont répertoriés en fonction de leur situation anatomique ; c'est ainsi que nous pouvons décrire des :

- Extérocepteurs, le plus souvent situés à la surface du corps et le plus souvent conscients ;
- Intérocepteurs – viscérocepteurs qui eux sont inconscients ;
- Propriocepteurs qui eux ont pour mission de renseigner en permanence du positionnement corporel dans l'espace et de la situation des membres par rapport à ce corps. Pour ce faire, nous pouvons alors invoquer la sensibilité profonde ou kinesthésie, que d'aucuns considèrent comme partie consciente de la proprioception, pour lequel ROLL* cité par COURRAUD* (2002) évoque un « 6^{ème} sens » qui serait musculaire dont la vocation serait de sentir son corps donc « sentir soi même ». Ce sens kinesthésique est multi modal car reposant à la fois sur des capteurs spécifiques différents, extéroceptifs (visuels, labyrinthiques, vestibulaires) et proprioceptifs (cutanés, articulaires et musculaires). Intimement lié à l'action, il est à la fois moteur et sensoriel.

Ce sens musculaire est la clef de voûte de notre étude puisque de lui dépend la perception corporelle du cavalier (cette dernière évoluant comme nous l'avons mis en avant en fonction de la compétence du sujet). C'est aussi grâce à lui que communiquera le corps pour informer le cerveau des moindres variations mécaniques musculaires issues des contractions musculaires de l'équidé ; toutefois, il convient de considérer qu'il n'est pas le seul à véhiculer des informations au cortex.

Le sens de l'équilibre, quant à lui est plus complexe puisqu'il repose à la fois sur une information vestibulaire (donc issue d'un récepteur sensoriel) mais également sur des informations visuelles, des récepteurs à l'étirement (mécanorécepteurs), les récepteurs tendineux de Golgi et les fuseaux neuromusculaires au niveau cervical.

Il est un élément qui a un rôle majeur dans la pratique équestre et qui chez le novice notamment peut se révéler être un handicap, c'est le contrôle visuel ; en effet le système visuel comme l'a souligné SCHMIDT* (1993), a la capacité d'informer le cortex cérébral de changements même minimes de posture, ce qui lui confère un aspect « base de données » multiples pour autant de corrections. Dans de nombreuses activités, il prime sur tous les autres sens ce qui lui confère le monopole « sensoriel » chez les cavaliers non aguerris, puisque plus facile à exploiter et plus sécurisant. Cette prévalence peut alors être un obstacle aux autres informations sensorielles ce qui dans l'équitation, et plus particulièrement chez les débutants, est fondamental car ces derniers traitent d'abord les informations qui sont pour lui les plus importantes et les plus perceptibles selon FORCE* (2001) ; dès lors sans aucun enseignement l'orientant vers un autre mode perceptif, il aura tendance à privilégier le contrôle visuel au détriment du « tact équestre » (savant mélange de relâchement, aisance, à-propos, justesse... le tout basé sur l'adaptation au cheval). Tout ceci nous amène donc à affirmer que l'anticipation est primordiale pour le cavalier novice, car le fait de sentir (et interpréter) la moindre

contraction musculaire du cheval, peut lui permettre d'accompagner les mouvements du cheval, voire de préparer les suivants. C'est pour cette raison, que grâce à une parfaite connaissance du comportement tri dimensionnel rachidien du cavalier, l'enseignant aura toute la capacité d'aider le jeune cavalier à privilégier les perceptions kinesthésiques au lieu de s'appuyer sur son contrôle visuel. C'est là le fondement de la transmission du savoir équestre.

« Apprendre à sentir », c'est la mission primaire de l'enseignant vis-à-vis du novice, pour ce faire, GUIOTAT* (2002) préconise le développement d'une stratégie neurosensorielle. Il s'agit à ce stade, pour le cavalier de regarder en lui et non plus en dehors de lui car les informations qui lui seront les plus utiles émanent de son propre corps et non plus de sa vision. C'est un réel défi pour ces jeunes cavaliers de se passer du contrôle visuel dans l'exécution de chaque mouvement. D'ailleurs pour chacun d'entre eux, il existe un contrôle de l'équilibre pro-actif et un contrôle rétroactif inconscient qui, lui, est directement lié à la gravité et à l'équilibre corporel. Nous pouvons ajouter à cela que la motricité inclut une sélection spatiale, temporelle et intensive qui renforce l'idée de contrôle non conscient, ce qui implique directement une action importante de la vue dans ce contrôle de l'équilibre car elle informe directement le cortex cérébral et intensifie les informations proprioceptives ; ces dernières ont quant à elles des missions de contrôle ou de modulation de l'action motrice, ce qui de fait, les rendent subordonnées à la vue, d'où la problématique majeure dans l'enseignement du cavalier débutant : l'inciter à ne plus baser son comportement corporel uniquement en fonction des informations visuelles mais l'encourager à percevoir ses moindres contractions musculaires qui font suite aux mouvements du cheval. La peur, est donc la conséquence de la primauté de ces perceptions visuelles sur le ressenti corporel ; sentir son corps indépendamment de ce que le cavalier voit semble être l'élément moteur chez les novices, le tout en parfaite connaissance de son schéma moteur corporel issu de nos analyses. Pour y parvenir, nous pourrions donc nous appuyer sur les quatre stratégies développées par GUIOTAT* (2002) :

- Stratégies motrices qui consistent à se servir, à bon escient des différentes parties du corps ;
- Stratégies oculomotrices qui traitent la manière dont le cavalier appréhende les informations périphériques visuelles afin d'anticiper au mieux les réactions du cheval. Nous pourrions compléter cela en rappelant, le concept occulocéphalogyre qui induit une mobilisation de la colonne cervicale en fonction de l'orientation du regard ;
- Stratégies sensorielles qui visent à compléter les informations visuelles par des apports multi sensoriels et notamment tactiles. Cela s'avère être au final l'élément majeur de l'adaptation corporelle du cavalier ;
- Stratégies à capacités cognitives, qui se définit comme étant le processus par lequel le sujet acquiert la conscience des événements qui se déroulent dans son environnement et intègre ces informations dans un champ de connaissances.

Pour conclure, la formation du cavalier consiste à ce qu'il devienne une « antenne corporelle à l'écoute du moindre signal » émis sous lui, que cela soit en mouvement ou non. Pour le faire évoluer, il convient de le faire découvrir, ressentir, décoder, analyser, classer et répertorier les informations sensibles reçues.

5.1.3 - APPROCHE CONATIVE DE L'ÉQUITATION

Avant d'aller plus loin dans notre développement, il est utile de définir le modèle de l'équitation tel qu'il est perçu chez nous aujourd'hui. De cette organisation, il sera alors plus aisé d'appréhender l'impact positif que peut avoir notre étude sur l'enseignement de l'équitation. Il nous semble cohérent de considérer que le modèle conatif des activités sportives décrit par BUI XUAN (1993) trouve une application manifeste à travers l'équitation (et non pas les sports équestres comme peut l'imaginer tout à chacun). Pour rappel, la conation est définie comme ce qui pousse à agir et le concept appliqué au sport est articulé autour de cinq phases, qu'il décrit comme, EMOTIONNELLE – FONCTIONNELLE – TECHNIQUE – CONTECTUELLE et EXPERTISE, qui trouvent pleinement leur sens dans le domaine qui nous concerne ici car l'équitation :

- Débute par une phase EMOTIONNELLE où le corps du cavalier est relégué au second plan ; c'est essentiellement la peur de la chute qui va régenter cette approche. C'est ainsi qu'à la phase EMOTIONNELLE, le jeu sera « le juge de paix » permettant aux uns de passer cette étape et à d'autres d'en rester là. L'enseignement ici sera centré sur le jeu et la décontraction. Le but majeur sera d'obtenir une décontraction du cavalier, sinon s'installeront des attitudes compensatrices (douloureuses) qui parasiteront le fonctionnement du couple homme/cheval. Comment y parvenir ? Simplement par le jeu qui donnera à l'enseignant un rôle de guide en faisant porter l'attention du cavalier sur la perception de ses sensations ; c'était le principe de base de l'équitation sur poney, où l'équitation était centrée dans laquelle l'enfant devait être en perpétuelle adaptation par rapport au milieu.
- Vient ensuite la phase dite FONCTIONNELLE où le cavalier s'adapte à la situation, trouve un fonctionnement quel qu'il soit, le but étant de parvenir à tenir en selle et à faire bouger le cheval. C'est justement à cette phase qu'arrivent les défauts car l'objectif à atteindre étant une « autonomie » équestre, la manière d'y parvenir importe peu. Cette étape correspond à l'aspiration de la majeure partie des cavaliers, à commencer par « le cavalier du dimanche » dont l'unique but est de prendre du bon temps en se promenant avec son cheval ; l'enseignant se contente alors de mettre en situations sur le mode action/réaction, sous forme de défis qui s'écartent de l'équitation académique.
- Puis arrive la phase TECHNIQUE exigée par rapport au cheval (c'est la découverte et l'apprentissage du dressage du cheval et de ses codifications) mais en oubliant le cavalier. C'est la phase dite « du savoir biblique ». La technique est toutefois évolutive et donc, de ce fait, liée à la quatrième étape. C'est le moment « clef » de la discipline où beaucoup de cavaliers abdiquent en rejetant la faute sur le cheval car survient alors l'ambivalence de l'esthétique et du technique. Seul parvient à franchir ce cap de la troisième phase, le sujet qui cherche à apprendre et par la même, à se remettre en question. Celui qui s'arque bête sur ses certitudes n'envisage même pas de parvenir à la quatrième étape. C'est normalement là que devrait se situer le Galop 7, au sortir de cette phase technique et n'étant au final qu'une clef pour ouvrir la porte de la quatrième phase, mais malheureusement aujourd'hui il est considéré comme étant l'aboutissement de la connaissance équestre alors qu'il devrait en être « le permis de commencer à apprendre ». A ce stade le « bon enseignant » sera celui qui sera à même dès le niveau EMOTIONNEL d'intégrer la notion de chose juste.

- La quatrième phase, dite CONTEXTUELLE, est un amalgame du fonctionnement et de la technique, où le cavalier doit être en mesure d'utiliser cette dernière à bon escient avec un subtil dosage entre la connaissance technique et la situation personnelle du sujet. C'est ce que d'aucuns ont nommé « le plaisir des justes décisions »... Or intervient une problématique de taille avec l'impossibilité pour l'enseignant de franchir ce cap, ce qui aboutit à un changement d'exercices voire de cheval et à un abandon de la part du cavalier qui refuse de se remettre en question. Dans cette situation l'issue sera presque toujours la même avec un changement de club ou de moniteur. Quelque fois, il arrive même que le sujet se contente de ce niveau sans même chercher à franchir ce cap. C'est uniquement à ce stade là que le fonctionnement du cavalier est pris en considération et c'est ici (voir éventuellement à partir de l'étape TECHNIQUE) qu'actuellement notre action peut porter car notre étude est faite à partir de la position assise ; or bon nombre de cavaliers avant les phases 3 et 4 ont recours à des « béquilles » : trot enlevé, selle western ou pony games, tant d'éléments qui masquent l'absence de technicité. La problématique principale se situe alors au niveau de la capacité de perception du cavalier mais aussi de la formation des formateurs car beaucoup de ces derniers se sont arrêtés à cette étape TECHNIQUE et n'ont jamais franchi le stade de l'étape CONTEXTUELLE.
- Enfin, l'ultime niveau, celui de l'EXPERTISE et de l'INNOVATION où la cavalier présente la capacité d'inventer, d'innover, d'adapter une position, une attitude, un mode de fonctionnement. C'est alors qu'intervient la notion de plaisir, élément fondamental dans l'équitation, défini par BUI-XUAN* comme étant l'expression de la volonté personnelle de franchir un cap pour progresser. Là se situe la réelle problématique de l'équitation.

Cette relation indélébile entre le plaisir et l'équitation guide le fonctionnement équestre de nombreux cavaliers et justifie le changement de fonctionnement car le plaisir s'efface devant la technique d'autant qu'il est synonyme de victoire sur la peur. Cela nous conduit à la relation particulière qui existe entre la motivation qu'a un individu (généralement un enfant) de pratiquer l'équitation, généralement par passion (vraie) ou subie par pression parentale et l'aspect économique de la discipline. C'est pourquoi, en considérant notre approche conative de l'équitation, nous notons qu'à chaque étape, beaucoup de cavaliers ne franchissent pas le stade suivant.

Il est possible d'envisager une synoptique qui permettra d'un seul coup d'œil de percevoir, le particularisme du modèle équestre français en fonction de l'approche conative qu'il nous a semblé intéressant d'envisager.

A travers cette schématisation, nous souhaitons mettre en avant les éléments principaux qui caractérisent le niveau de compétences, les caractéristiques, les points à envisager dans l'enseignement et les grandes faiblesses. Nous pourrions y associer le niveau labellisé par la FFE et surtout le secteur où peut se situer notre action.

La particularité de l'équitation est la proportion entre le nombre de licenciés important (plus de 2 millions) et le faible nombre de compétiteurs de haut niveau PRO, toutes disciplines confondues. Cela confirme la spécificité équestre qui veut que l'individu désireux de pratiquer n'a pas automatiquement une volonté compétitrice, bien au contraire, puisque pour la grande majorité, le but avoué est de « savoir monter à cheval », c'est-à-dire d'être capable de tenir sur la selle aux trois allures et

quelle que soit la situation, qu'importe la manière utilisée pour y parvenir, le but étant de passer un bon moment avec son compagnon équin dans un souci généralement « d'évasion » vis-à-vis des affres de la vie quotidienne. Cette masse de cavalier se positionne au niveau de la première étape dite EMOTIONNELLE, celle là même où la PEUR de la chute est le facteur essentiel. C'est d'ailleurs à ce niveau que nous retrouvons la population de notre Groupe A – NOVICES. A ce stade, il existe deux possibilités pour ces cavaliers débutants : où ils ne parviennent pas à surmonter la peur de la chute et arrêtent l'équitation, où ils intègrent l'enseignement dispensé axé sur l'obtention d'une détente globale pour parvenir à franchir ce cap et parvenir au deuxième niveau ; c'est généralement le cas des individus pour qui l'équitation est synonyme d'aventure, d'évasion et de liberté, véritable échappatoire à la vie quotidienne. Pour ceux-ci, l'élément pédagogique majeur sera la substitution du contrôle visuel par l'attention portée aux sensations kinesthésiques, la découverte sensorielle à partir d'une connaissance corporelle.

La deuxième étape sera FONCTIONNELLE, là aussi, nous pourrions considérer retrouver des éléments novices puisqu'étant parvenus à dompter la peur de chuter, les débutants vont avoir comme motivation principale, de parvenir à activer le cheval (et cela aux trois allures). Qu'importe la manière de faire, l'essentiel étant de parvenir à rester en selle, quelque soit l'allure et quelle que soit l'endroit où il se situe. Le principe d'enseignement sera ici « action – réaction », c'est-à-dire qu'à chaque geste de la part du cavalier doit correspondre une attitude de la part du cheval ; cette étape suffit amplement à la majorité des cavaliers dits de loisir qui ne recherchent qu'une forme d'indépendance ou autonomie avec le cheval. A ce stade, la prise en considération de la problématique corporelle n'a pas encore trouvée sa place, pourtant en fonction des éléments mis en évidence avec l'analyse cinématique, il serait judicieux, d'envisager un travail spécifique tenant compte de ces enregistrements ; pour cela, l'idéal serait de pouvoir proposer tout un travail préparatoire à pied, ou sur ballon, voire en piscine, de façon à ce que le cavalier débutant puisse se familiariser avec son propre schéma corporel et qu'ensuite il puisse essayer de parvenir à le mettre en adéquation avec celui du cheval ; cela nécessitera un apprentissage perceptif qu'il n'a pas encore intégré à ce stade. A ce niveau, bon nombre de cavaliers s'arrêtent dans leur progression argumentant le coût de la pratique qui devient conséquent au fur et à mesure de l'apprentissage car ce dernier devient « dévorant » et nécessite une certaine technicité. L'aspect économique est et devient primordial pour la pérennisation des centres équestres ; c'est pour cela qu'il n'est pas envisageable économiquement parlant d'intégrer toutes ces activités « hors cheval » puisque la motivation des cavaliers de ce niveau est de savoir monter à cheval. Aussi dommage soit-il, il faut se résoudre à abonder dans le sens souhaité par la clientèle équestre même si cela est au détriment d'une pédagogie perspicace et de qualité.

C'est donc naturellement vers la troisième étape, TECHNIQUE, que vont migrer les « cavaliers rescapés ». C'est une étape cruciale dans l'organisation de l'équitation puisque c'est là qu'est dispensé « le savoir biblique », c'est-à-dire qu'à partir de maintenant, les fondements équestres sont enseignés et qu'à ce stade il conviendrait que nous intervenions, or aujourd'hui ce n'est pas le cas. Cette étape, dite des savoirs, nécessite une connaissance fine de son schéma corporel, ce qui induit une attention perceptive majorée et une utilisation prioritaire des informations sensorielles proprioceptives. Certes, le cavalier doit être à même de connaître et de positionner son corps dans l'espace mais il doit tout autant être à l'écoute des mouvements du cheval pour y adapter son comportement. C'est au début de ce niveau que nous pouvons situer notre population du Groupe B – CONFIRMES. En effet, autonomes sur le plan action, ils ne sont pas pour autant maîtres de leur perception corporelle

et cela nécessite un apprentissage technique qui leur permettra d'acquérir cette mobilité des membres inférieurs qui leur fait défaut. Titulaires du galop 5, ces cavaliers démarrent la compétition mais pour beaucoup, le simple « désir de faire » suffit à leur bonheur et arrêtent là leur enseignement. C'est aussi à ce stade qu'apparaissent les premières traces de « dopage » puisqu'un esprit de compétition commence à émerger, la quête absolue du résultat pousse certains à s'adjoindre les services de substances non autorisées. Cette étape est aussi celle de la remise en question des cavaliers, car bien qu'étant autonomes avec leur monture, la technique est absente et les conséquences de ce manque peuvent être gravissimes ; c'est à cause de cette « remise en question » que certains cavaliers stoppent là leur apprentissage, tandis que d'autres préfèrent changer de cheval, de coach ou de club nonobstant cette remise en question. Enfin, c'est à ce stade, qu'il convient d'axer la pédagogie sur la perception et l'acquisition de la bonne position, celle qui met en adéquation le cavalier et son cheval, celle qui protège à la fois le rachis de l'homme et du cheval et qui permet une optimisation des gestes techniques.

A condition d'être en capacité de percevoir les informations sensorielles extrinsèques (émanant du cheval) et intrinsèques (issue de son comportement corporel), le cavalier se hissera au quatrième niveau dit CONTEXTUEL ; là il devra être en mesure d'adapter son comportement à toutes les situations possibles générées par le cheval ; c'est là qu'intervient la notion de contextuel car étant en possession maintenant d'un bagage technique lui permettant une analyse des plus fines des informations sensorielles kinesthésiques reçues, il devra en connaissant parfaitement le potentiel moteur de son appareil locomoteur, adapter ce dernier aux besoins de la situation. La capacité d'adaptation est le maître mot de cette phase. Cela nécessite des efforts tant physiques que psychologiques importants, c'est pour cette raison que bon nombre de cavaliers arrêtent là leur parcours de formation. Cette étape correspond à un niveau Amateur sur le plan compétition, les cavaliers devant être titulaires du Galop 7. C'est à cette population qu'aujourd'hui notre étude est destinée, le besoin de connaître et comprendre le fonctionnement de son schéma moteur implique une prise de conscience maximale de ses points faibles ; grâce à l'enregistrement par capteurs inertiels sans fil, il est maintenant possible de lui proposer cela avec en plus une visualisation 3D *in situ* de sa cinématique rachidienne.

Enfin, l'ultime étape sera celle de l'EXPERTISE, où le cavalier en totale synergie avec son cheval est capable en fonction des réactions du cheval, d'anticiper son positionnement afin d'optimiser le geste technique ou sportif. Stade terminal de l'éducation équestre, il nécessite une parfaite maîtrise de la cinématique de l'appareil locomoteur afin d'en extraire l'élément primordial pour « ne faire qu'un avec le cheval ». C'est à ce niveau que le cavalier est en mesure d'innover, de créer de modifier des comportements avec à chaque fois l'idée d'anticiper pour améliorer d'une part et protéger d'autre part (le cheval certes mais aussi lui-même). Notre intervention à ce stade, trouve pleinement sa justification, et la mise en évidence des moindres détails du comportement rachidien va déclencher chez ces cavaliers des réactions créatrices en retour ; notre rôle s'apparente au « feed back » qui permet d'obtenir non seulement une action, certes, mais aussi et surtout une adaptation créatrice par rapport à la situation.

Afin de visualiser au mieux cette description, il nous a semblé judicieux de pouvoir offrir au lecteur un tableau synoptique reprenant les caractéristiques principales de chaque étape et leurs impératifs.

MASSE des CAVALIERS

1^{ère} ETAPE : EMOTIONNELLE

- . Elément caractéristique majeur = LA PEUR
- . Eléments principaux à travailler =
LA DECONTRACTION + l'ATTENTION
- . Elément à combattre = LE CONTRÔLE VISUEL

Groupe A
NOVICES

CAVALIERS que
l'on perd à cause
de la **PEUR**

Les cavaliers à vocation de « loisirs » trouvent une motivation à passer à l'étape FONCTIONNELLE

2^{ème} ETAPE : FONCTIONNELLE

- . ELEMENT MAJEUR à travailler
ACTION – REACTION
- . ADAPTATION à une SITUATION
(Mettre le cheval en mouvement)

Le **COÛT** est une des raisons principales de la fuite de CAVALIERS

Groupe B - CONFIRMES

3^{ème} ETAPE : TECHNIQUE

Apprentissage biblique
Etape des SAVOIRS
Début des COMPETITIONS

Le « **SIMPLE DESIR de FAIRE** » est la motivation des cavaliers qui arrêtent l'équitation

C'est à ce stade que certains peuvent avoir recours au **DOPAGE**

Changement cheval, club
car pas de **REMISE EN QUESTION** possible

Action d'enseigner la **BONNE POSITION** _ Avant cela, les cavaliers n'en éprouvent pas le besoin et pourtant ...

4^{ème} ETAPE : CONTEXTUELLE

EFFORTS TROP IMPORTANTS = cause de l'abandon de l'équitation

Groupe C
EXPERTS

5^{ème} ETAPE : EXPERTISE

Dans ce tableau, nous présentons le modèle conatif de l'équitation telle qu'elle est pratiquée en France ; c'est ainsi que nous retrouverons décrites :

- les cinq phases avec leurs caractéristiques spécifiques ;
- Vient s'y rajouter la situation, sur cet organigramme, de nos trois groupes étudiés ;
- Puis les éléments qui méritent d'être travaillés, les principaux défauts à chaque stade et les handicaps qui expliquent soit l'abandon de l'équitation, soit le refus de passer au stade suivant ;
- Les différents niveaux de licence et les compétitions qui s'y rapportent ;
- Les apports technico pédagogiques qui peuvent intervenir à chaque niveau ;
- Les zones actuelles (ou celles qui mériteraient) de voir notre étude d'impliquer le plus ;
- Les éléments qui peuvent parasiter ces phases.

5.1.4 - APPRENDRE L'EQUITATION, C'EST S'ENTRAINER A MIEUX PERCEVOIR.

Le cavalier assis sur son cheval paraît relâché, mais au final il agit sur sa monture. Son activité est musculaire certes, mais aussi cognitive par l'interprétation des informations multiples reçues et des choix à exercer, et perceptive ; en effet il est élémentaire de considérer que le cavalier expert ne fait que réagir aux actions, résistances et contractions du cheval en fonction principalement de ce qu'il ressent et l'effet auquel il aspire. En effet comme dans toutes les activités où il y a une notion d'équilibre, les informations tactiles, ici pour le cavalier, proviennent des capteurs sensoriels disposés sur les surfaces de contact de l'animal (le plat des cuisses, les fessiers pour le cavalier assis). Les informations kinesthésiques informent le SNC sur les mouvements du cheval et sur le positionnement segmentaire corporel du cavalier. La vue permet quant à elle d'apprécier le mouvement des objets, de l'environnement mais aussi des mouvements du corps. Cette combinaison à double entrée explique pourquoi, les débutants se focalisent sur les informations visuelles au détriment des kinesthésiques. C'est ce qui les différencie des experts qui, centrés sur la proprioception, sont à l'écoute en permanence des mouvements du cheval pour l'accompagner de façon la plus juste et la plus souple. C'est là qu'intervient la notion d'assiette, évoquée au chapitre 1 ; c'est à la fois la surface d'appui et la base de sustentation du cavalier, ce qui nous pousse à affirmer que posture, assiette et équilibre ne font finalement qu'un. C'est à travers, l'affinement de cette assiette que va dépendre la qualité de la communication homme-cheval.

5.1.4.1 - Apprentissage et perception.

L'apprentissage peut se définir selon PERSYN* (2006) comme un « ensemble de modifications adaptatives du comportement par l'utilisation de connaissances innées en fonction de celles acquises par l'expérience ». C'est pour CAMUS* (1996), le traitement attentif de l'information qui influe de façon bénéfique sur la conduite en permettant de réagir vite et précisément, il améliore l'efficacité des activités. C'est pourquoi il nous semble logique que la volonté d'amélioration de la performance passe par un travail sur l'attention, c'est donc l'axe directeur qui est nécessaire de suivre plus parti-

culièrement pour l'encadrement des cavaliers confirmés chez qui l'esprit semble se focaliser sur la performance (technique ou esthétique) au détriment de l'attention.

Tout modèle d'apprentissage nécessite un subtil dosage entre la prise de conscience de l'intégration des informations dans le système cognitif et leur maintien pour un traitement durable. C'est par un apprentissage du codage de l'information que les cavaliers novices et confirmés doivent passer pour espérer franchir un cap. Cet élément s'avère indispensable à la prise de conscience de son schéma corporel. Chez le novice, l'essentiel sera d'obtenir une décontraction totale qui devra trancher avec la crispation permanente engendrée par le sentiment de peur. Cette dernière va comme nous l'avons mis en évidence, positionner le sujet en projection antérieure, c'est pourquoi il lui sera peut-être proposé un travail sur ballon, avec, puis sans contrôle visuel, afin d'accentuer le travail du codage des informations. Ensuite, un travail en longe sera envisagé, le cheval est alors canalisé par l'enseignant, le cavalier n'ayant qu'à se focaliser sur l'intégration de toutes les informations qui arrivent en tous sens. La progression sera la même que sur le ballon avec les yeux ouverts puis fermés. Ces différentes situations vont permettre au cavalier débutant de réduire sa peur en intégrant les mouvements du cheval et en les comprenant, considérant que chaque chose comprise est mieux appréhendée et contrôlée. Le confirmé, lui, a dominé la peur induite par les mouvements du cheval, puis est parvenu à définir un protocole de « fonctionnement » sans trop se préoccuper de la méthode. L'enseignement sera axé sur le concept « action – réaction », c'est-à-dire qu'à chaque geste du cavalier doit correspondre une motricité de sa monture. Mais la grande difficulté pour ces sujets, se situe dans le fait, que généralement, ils se satisfont simplement de faire... sans pour autant porter attention à la manière d'y parvenir. A travers un travail de dissociation de ceintures sur ballon, il sera possible, compte tenu de la spécificité fonctionnelle (adaptation posturale essentiellement faite par la modification de la lordose lombaire) mise en évidence par nos capteurs inertiels, de conduire le sujet à polariser son attention sur les déséquilibres engendrés par le ballon et surtout sur le mécanisme nécessaire pour le maîtriser. Nous serons donc dans une logique d'ébauche technique qui lui permettra en fonction des informations sensorielles, qu'il aura reçues et décodées, d'envisager un protocole technologique utile à la poursuite de sa progression. Enfin, pour l'expert, il s'agit plus de peaufiner, perfectionner plutôt que d'apprendre. Exacerber la capacité d'intégration des informations sensorielles sera l'enjeu majeur d'un hypothétique enseignement ; pour cela l'utilisation d'un simulateur pourra être un atout considérable en optant toujours pour une progression dans laquelle les informations kinesthésiques doivent prendre le dessus sur le contrôle visuel.

5.1.4.2 - Enseignement mais aussi entraînement et méthodes

L'enseignement que l'on peut ici qualifier d'entraînement, puisqu'il s'adresse à des sportifs potentiels (ce qui ne veut pas signifier qu'il y a nécessairement un objectif de performance car le côté sportif peut équivocal à une « dépense musculaire de qualité », est la préparation d'un sujet (humain et équin car le concept initial est identique) à l'exécution d'une performance au moyen d'exercices appropriés structurés autour d'un objectif clairement défini. Ceci signifie donc qu'il y a obligatoirement non seulement un projet mais aussi et surtout un cheminement pour y parvenir. Améliorer le ressenti, telle est la mission de l'entraînement. Mais il existe un différentiel entre ce qui est disponible à la perception et ce qui est réellement perçu par le sujet car toutes les informations selon COURRAUD* (2002) ne sont pas traitées ; il existe alors une possibilité de transformation de ce rapport sensible que le cavalier entretient avec sa gestuelle. Cela sera possible grâce à

l'entraînement qui permet l'augmentation du champ des perceptions conscientes en incitant le sujet à porter une attention très soutenue et orientée vers la kinesthésie en évitant le piratage par les informations visuelles lors de mouvements effectués lentement. Cette modification que BERGER* (2000) nomme plasticité perceptive peut s'envisager avec une progression selon trois aspects :

- Quantitatif : plus il avance dans l'acquisition des connaissances, plus le cavalier perçoit de choses et surtout il découvre des sensations nouvelles (qui donc lui étaient inconnues auparavant) ;
- Qualitatif : les perceptions qui sont connues du sujet sont de mieux en mieux définies et intégrées ;
- Relationnel : les perceptions selon BERGER* (2000), sont d'autant mieux intégrées que le sujet est touché par ce qu'il ressent.

En nous inspirant donc, des travaux de COURRAUD* (2002), nous pouvons proposer un programme à destination des enseignants, où partant de la constatation cinématique rachidienne, il sera demandé au cavalier de travailler son attention selon trois axes : premièrement, poser une attention soutenue sur chaque modalité kinesthésique ; deuxièmement, être en mesure de déplacer l'attention de manière cohérente en fonction des différentes modalités, et enfin, délayer l'attention sur plusieurs modalités perspectives en même temps. Ceci nous amène à considérer que l'éducation (voire la rééducation pour certains cavaliers) de la perception est envisageable et peut s'apparenter à une éducation de l'attention. Le concept d'ATTENTION qui, selon MIALARET* (1999) qui considère que l'attention est un facteur essentiel de l'homme dans son environnement, peut nous aider à affirmer qu'elle s'avère être primordiale pour l'adaptation du cavalier à sa monture. La qualité et son orientation est la clef de voûte d'un perfectionnement tactile. L'enseignement qu'il sera possible de proposer en fonction des conclusions issues de nos études cherchera à faire progresser le cavalier dans le domaine du ressenti. Pour cela, le travail de l'attention, qui en sera un des éléments principaux, devra envisager une éducation kinesthésique qui l'amènera à une meilleure connaissance de soi mais aussi à une éducation plus générale.

Pour conclure, nous pourrions affirmer que le désir de bien enseigner passe d'abord par le bien-être du cheval, car il existe toujours une parade aux défauts du cavalier.

5.2 - ASPECT SPORTIF avec OPTIMISATION GESTUELLE

5.2.1 - INTRODUCTION

Après avoir envisagé les applications sur le plan pédagogique, il est nécessaire maintenant de se tourner vers l'aspect purement équestre et ainsi d'étudier les conséquences de l'utilisation de nos enregistrements sur le comportement à cheval de chaque catégorie de cavaliers testés. Il est bien évident que les constatations faites sur les novices n'auront rien en commun ou presque avec celles rencontrées chez les experts ; toutefois, il conviendra d'élaborer une stratégie de coaching qui permette à chacun de donner le meilleur de lui-même lors des épreuves équestres qu'il aura à surmonter. Cependant, nous devons émettre une réserve sur ce fil conducteur, puisque si nous reprenons notre modèle schématique de l'équitation, les compétitions ne débiteront pas avant la phase 2 dite FONCTIONNELLE ; même si la population débutante n'est pas concernée par l'aspect compétition, il

nous a semblé primordial pour un coach d'amener ce cavalier débutant dans un schéma de progression tel, qu'il puisse assez rapidement parvenir à envisager la participation à la compétition ; c'est pour cette raison qu'il nous a paru important de développer le protocole de suivi en sachant que le coaching idéal serait de parvenir dès l'étape EMOTIONNELLE à intégrer la notion de « bonne position », c'est-à-dire, de faire prendre conscience au cavalier,, via notre étude, que le comportement de son appareil locomoteur est perfectible et qu'il génère des gestes et attitudes compensatoires parasites. En se référant à notre travail, l'idéal serait d'intégrer la notion d'auto grandissement par un travail des érecteurs rachidiens en le couplant avec une sollicitation ventilatoire, et cela dès l'étape FONCTIONNELLE. En effet aujourd'hui, comme nous l'avons envisagé plus en amont dans ce chapitre, notre étude ne peut manifestement pas être proposée avant l'étape CONTEXTUELLE (voire éventuellement TECHNIQUE), car elle est envisagée en position assise, ce qui avant est impossible puisque le cavalier use, volontairement ou pas, d'artifice tels que le trot enlevé, la selle western ou les pony-games.

5.2.2 - LES NOVICES

La caractéristique majeure de la population novice en équitation se situe au niveau de deux situations particulières mais en inter relation l'une vis-à-vis de l'autre. En effet, cette population présente premièrement une très grande fixité de l'ensemble membres inférieurs/complexe pelvien et deuxièmement par voie de conséquence une très grande mobilité globale de l'axe rachidien. Si nous nous référons à notre schématisation conative issue des travaux de BUI-XUAN* (1993), les sujets du groupe A se situe au niveau EMOTIONNEL, c'est-à-dire que la peur de la chute va guider leur comportement à cheval, ce qui induira cette hyper rigidité inférieure contrastant avec l'hyper mobilité rachidienne. Alors que la littérature nous enseigne que « le cheval est tenu entre le haut des épaules et les mollets », le groupe A rigidifie intensément la partie corporelle inférieure. Alors qu'il est enseigné de « fixer » notamment les épaules, c'est-à-dire en langage équestre : suivre, accompagner les mouvements du cheval, le sujet A assimilera cela à un devoir de blocage absolu.

Pour le familiariser avec cela, il est absolument nécessaire de lui faire prendre conscience de la mobilité du bassin. Ce bassin, qui est à l'origine du comportement rachidien, est totalement inexistant et immobile dans cette population ; cela est d'autant plus surprenant, surtout chez les femmes, que la mobilité pelvienne (avec les mouvements de nutation et contre nutation) est fondamentale lors de l'accouchement. Une méconnaissance flagrante du schéma corporel est le lot commun. Pour y parvenir, le « coach » aura tout le loisir de proposer un panel d'exercices tous aussi variés les uns que les autres mais où nous aurons le même dénominateur commun : la mobilité pelvienne.

✓ Travail au sol

Nonobstant les considérations économiques, nous pourrions proposer pour les individus désireux de poursuivre leur parcours d'initiation équestre, un travail sur ballon ; le sujet est assis, pieds ancrés au sol, le coach vient bloquer les épaules et imprimer des mouvements de circumduction à l'axe rachidien ; ceci sera générateur de mouvements au niveau de la ceinture pelvienne, ce qui sera progressivement mis en évidence pour le cavalier. Nous pourrions donc envisager des mouvements de mobilisations du bassin par rapport aux épaules si le point fixe est supérieur et à l'inverse, une mobilisation des épaules vis-à-vis du bassin en cas de point fixe inférieur. Le protocole de réalisation sera de partir de petits mouvements circulaires qui progressivement seront agrandis jusqu'au moment où le rachis

entrera en action, dès lors nous stopperons l'exercice. Le but recherché est de repousser l'apparition des premiers mouvements réactionnels compensatoires du tronc, ce qui sera synonyme d'une plus grande mobilité pelvienne. La progression sera visualisée à travers l'amplitude des mouvements et le temps t retardé de l'apparition de cette mobilité de l'axe rachidien. L'avantage supplémentaire sera de pouvoir envisager à travers ce protocole un travail de finesse, d'adresse vis-à-vis de ce positionnement pelvien. C'est ce que confirme REDON* (1978) lorsqu'il affirme qu'une séance gymnique d'environ 45mn réalisée 2 fois par semaine permet de visualiser de manière notoire une diminution de la dangerosité de l'équitation et en parallèle la rend plus corrective puisque peu de signes rachidiens ont été observés chez les jeunes cavaliers qui l'ont intégrée dans le programme équestre.

Ce travail peut se référer à ce qui est fait aux Ecuries de la CIOTAT (13) depuis quelques années où indépendamment des considérations économiques, un programme de travail en salle est systématiquement envisagé avant chaque séance d'équitation montée. Elaboré conjointement par un professeur EPS et un BPJEPS⁵² Equitation, ce programme destiné à une population de 44 cavaliers essentiellement débutants pour laquelle le constat initial, similaire en tout point aux analyses issues de BioVal®, était le suivant :

- Une condition physique générale moyenne à faible ;
- Un manque de tonicité musculaire au niveau de la ceinture abdominale d'où la posture dite « fœtale » à cheval accompagnée d'un tassement de la colonne vertébrale et d'un regard non dégagé ;
- Un manque de réactivité, des appuis peu solides. Le membre inférieur est raide, peu d'amplitude articulaire au niveau du bassin essentiellement et un genou verrouillé parasitant la descente de la jambe ;
- Une conscience du corps peu développée, une coordination des aides perturbées ;
- Une respiration très souvent désorganisée. Mis à part les cavaliers de 4/7 ans qui ont des cycles respiratoires spontanés et justes ;

Autant d'éléments qui viennent perturber le rapport : EQUILIBRE du cavalier/LOCOMOTION du cheval. Ce travail d'une durée de 30mn sur un cursus de 2h d'équitation a montré une amélioration de la situation de façon notoire. Il leur a été proposé une orientation du travail pour laquelle nous pouvons dégager des profils de cavalier variés pour lesquels l'orientation de la préparation physique est différente car les besoins ne sont pas les mêmes :

- Les baby poneys : « je découvre mon corps en jouant », travail axé sur une organisation corporelle globale ;
- Les adultes : « je redécouvre mon corps en développant la confiance de mes sensations », travail axé sur le ressenti et la rééducation de ses perceptions ;

⁵² Brevet Professionnel de la Jeunesse de l'Education Populaire et du Sport

- La classe poney des 7/14 ans : « j'apprends à mieux connaître mon corps et à organiser mes actions », travail axé sur la qualité de la présence corporelle (appuis-respiration-organisation motrice).

Le contenu des séances avait pour axe directeur, l'amélioration de la position d'équilibre (qualité des appuis en position debout puis assise), l'augmentation de la capacité à être plus tonique et réactif à partir de situations de jeux à visée compétitive, la découverte du mode ventilatoire et de ses conséquences fonctionnelles et enfin l'apprentissage de la protection en cas de chute. Au final, ce qui au début a été envisagé et vécu comme étant une expérience a finalement été institutionnalisé au sein du centre et cela s'est avéré positif puisque selon les auteurs de ce programme, L. FRICKER* et M. LINDER* (2012)⁵³, le comportement équestres de ces cavaliers débutants s'en est trouvé amélioré et surtout la fréquence et la gravité des chutes a considérablement diminué.

✓ Travail en longe

Ce type de pratique ne suscite pas un intérêt formidable tant au niveau des cavaliers que des responsables de centres équestres, et pourtant il est indéniable que cette technique devrait servir de base à tout apprentissage équestre. N'oublions pas que les écuyers de l'Ecole Espagnole d'Equitation de Vienne passent une année complète à travailler de la sorte avant d'envisager de travailler un cheval monté. Le cavalier est assis sur un cheval qui est dirigé à la longe par un instructeur, sur un cercle. Toutes les allures du cheval peuvent être envisagées, l'essentiel est de travailler sur la régularité et le calme de la locomotion du cheval. L'idée est de parvenir à ce que le débutant fixe son attention uniquement sur le fonctionnement corporel en faisant abstraction du cheval ; l'intérêt est que les mouvements sont cycliques puisque reproduits régulièrement, le cheval évoluant sur un cercle. Cela lui permet également de ne pas porter attention, ni à la direction, ni à la vitesse. Si le comportement de l'individu est satisfaisant, il lui sera proposé de faire un programme d'exercices non plus au pas, ni au trot mais au petit galop, ce qui lui donnera la possibilité là encore d'affiner cette perception sensorielle, et cela d'autant mieux que l'allure est chaloupée avec une phase de suspension durant laquelle, le cheval n'a plus aucun contact avec le sol.

La progression peut se faire à travers l'adjonction ou pas du filet, ce qui permettra d'insister sur le travail de dissociation des ceintures, mettant en évidence pour le sujet la possibilité d'exécuter des mouvements avec l'étage supérieur tout en conservant aussi une mobilité inférieure (et non un blocage comme c'est le cas pour cette catégorie de cavaliers); très vite nous notons que l'équitation est alors inverse aux principes de base. Ensuite, nous pouvons proposer dans l'optique de solliciter encore un peu plus, la perception sensorielle proprioceptive, un travail en longe en aveugle et en double, le second cavalier donnant les directives au premier ; le problème vient alors très vite avec le parasitage des informations par la parole du donneur d'ordre. Une fois intégrée cette notion de mobilité pelvienne et de dissociation des ceintures, le prochain défi à relever chez les novices sera la position « coudes au corps » permanente qui entraîne obligatoirement un jeu de flexion/extension du tronc, mis en évidence par notre étude.

⁵³ Professeur EPS et BPJEPS Equitation.

- ✓ Travail à cheval classique.

Une fois réalisé le protocole à pied, nous pourrions envisager une didactique sur le cheval avec toujours le même objectif de découvrir et renforcer cette mobilité pelvienne qui fait tant défaut à cette catégorie de cavaliers. Sur le cheval, nous allons au pas, demander au sujet de nous indiquer s'il perçoit un déplacement du bassin lorsque le cheval est en mouvement ; à partir de là, nous le sollicitons afin qu'il nous renseigne précisément sur cette position pelvienne vers l'avant (antéversion) ou vers l'arrière (rétroversion) et cela en même temps que le cheval lève un membre antérieur ou postérieur. Nous répétons cela sur une ligne droite assez conséquente de façon à percevoir la justesse ou non de l'appréciation de la mobilité pelvienne par le cavalier ; cette dernière s'évaluera par la cadence car le sujet en énonçant la position de son bassin doit être en phase avec son cheval. A partir de ce moment le novice doit être en mesure d'appréhender un changement de position du bassin en fonction de la locomotion du cheval, c'est seulement là que le coach pourra expliquer ce qu'est l'antéversion et la rétroversion pelvienne, en faisant référence, à des schématisations caricaturales. L'antéversion est à l'hyper cambrure féminine des années 50/60 et la rétroversion peut s'illustrer à travers la position avachie des jeunes adolescents sur le canapé. Ensuite, une fois que l'intégration de cette mobilité pelvienne est acquise, l'entraîneur pourra proposer un travail d'alternance pas/trot où le départ au trot va imposer une projection ombilicale antéro supérieure, le retour au pas permettra de varier l'amplitude du cheval ce qui se traduira par une accentuation de la mobilité pelvienne. A un stade un peu plus avancé, le cavalier pourra affiner sa capacité d'intégration et d'analyse sensorielle kinesthésique par un travail au petit galop, le cheval étant stable, en laissant pendre le long du corps un membre supérieur, les deux rennes dans l'autre main, à ce moment là, la perception d'une grande mobilité va s'intensifier et cela donnera à ce débutant la possibilité de l'améliorer.

5.2.3 - LES CONFIRMES

Cette population se situe sur notre représentation schématique à la jonction entre la phase 3 « TECHNIQUE » et 4 « CONTEXTUELLE ». Cela signifie que ces sujets possèdent maintenant une certaine base technique qui leur permet d'être autonomes et qui, s'ils le souhaitent, pourra leur servir dans les compétitions qui débiteront à ce stade là. L'émotion issue de la PEUR est maîtrisée et les enregistrements montrent une évolution vers une stabilité plus marquée des étages supérieures mais avec encore une tendance à la fixité des membres supérieurs, même si nous constatons une augmentation de la mobilité pelvienne. Cette dernière est certes acquise, mais l'adaptation du sujet à sa monture s'effectue essentiellement via le jeu de la lordose lombaire, ce qui n'est pas sans poser des soucis ostéo-articulaires à ce niveau. Poursuivant, ce que nous avons évoqué chez les novices, nous pourrions proposer la même schématisation du suivi équestre chez ces sujets. Notre logique est de mettre en évidence, pour le cavalier, la mobilité du bassin donc de travailler la qualité de son assiette (qui pour rappel a une double signification : surface de contact du cavalier sur le cheval et qualité de maintien en position assise du cavalier), c'est donc à la fois un élément statique et dynamique en équitation.

Pour y parvenir facilement et faire en sorte que le cavalier profite pleinement de sa séance, HUMBERT* (2000) dans sa thèse insiste sur la nécessité absolue d'avoir recours à ce qu'elle appelle « la gymnastique préparatoire » qui consiste à exécuter des exercices de mise en selle qui ont pour but de :

- donner une assiette souple, ferme et liante qui se traduit par une complète liberté des mouvements ;
- éliminer les zones de contractures musculaires, permettant ainsi d'assouplir les articulations, c'est-à-dire d'améliorer la mobilité articulaire compte tenu de l'absence de forces limitatrices ;
- combattre les défauts de position résultant d'un manque de souplesse articulaire et musculaire ;
- obtenir une complète indépendance des différentes parties du corps, pour laquelle nous employons le terme de « dissociation des ceintures » ;
- augmenter la confiance du cavalier et donc influencer son psychisme en réduisant l'appréhension surtout de la chute.

Tous ces éléments se pratiquent par:

- le travail sans étrier qui doit être exécuté le plus souvent possible (l'idéal étant, quelques minutes au début et à la fin de chaque reprise) au pas et surtout au galop. S'il est pratiqué au trot, il doit toujours l'être à une allure très lente, le petit trot de travail étant considéré comme l'allure d'instruction par excellence ;
- des assouplissements au pas et au trot, puis au galop, le cavalier devant impérativement être placé en bonne position par l'enseignant ; c'est ainsi que la parfaite connaissance de la cinématique de l'élève permettra à l'instructeur de corriger le positionnement du sujet en selle, tenant compte en cela de ses points perfectibles (visualisés en 3D au préalable). Ces exercices n'ont de valeur que s'ils sont adaptés au cavalier, exécutés correctement et sous le contrôle permanent de son enseignant. Constitués de mouvements isolés de la colonne lombaire, d'un héli-bassin, d'une cuisse, ces exercices vont contribuer à faire chuter les tensions musculaires mais aussi à initialiser la prise de conscience corporelle.

Puis une fois que tout cela semble être acquis, nous envisagerons de développer la mobilité des membres inférieurs qui est inexistante chez le Groupe A, puis enfin, nous terminerons en portant notre attention sur la libération des membres supérieurs. Ce concept est défini comme étant l'équitation centrée, mis en évidence par Sally SWIFT* (2012) et à travers la méthode ALEXANDER, nous rajouterons la composante frontale pour palier le manque d'appréciation des mouvements latéraux et rotatoires de la ceinture pelvienne. Pour illustrer ce protocole, nous pouvons encourager à se rappeler la condition du cavalier paraplégique qui, bien évidemment, ne peut compter sur ses membres inférieurs, ce qui évoque l'ultra mobilité inférieure des cavaliers experts ; de fait, ce sujet, ne peut compter que sur la qualité de son assiette. Cette situation montre à quel point, l'équilibre du cavalier est tributaire principalement de la mobilité pelvienne ; ceci vient renforcer la constatation issue des enregistrements, qui montre que le modèle de fonctionnement d'efficacité maximale s'apparente à un modèle avec un point fixe supérieur, telle une marionnette à fils. En parallèle de ceci, nous devons en plus aborder l'érection rachidienne avec un travail d'auto grandissement, le problème est de veiller à ce que le cavalier ne vienne pas se bloquer en antéversion pelvienne et par voie de conséquence, accroître à l'excès la lordose lombaire. L'exercice idéal consiste à inciter le cavalier, au trot enlevé, à imaginer une « traction » de la tête vers le haut et des talons vers le bas ; nous pouvons associer ce travail avec un programme musical qui aura pour vocation d'entraîner un

relâchement à la fois physique que psychique. Le protocole de prédilection pour parvenir à faire travailler les confirmés de manière optimale s'effectue au galop assis, ce qui permet de faire varier le comportement du cheval sans avoir de modification ni de la position, ni de l'équilibre du cavalier. C'est l'élément primordial dans l'optique de participation aux compétitions et qui nécessite une capacité d'adaptation maximale de façon à optimiser le geste du cavalier par rapport au comportement du cheval, ce qui reprend ainsi les conclusions de BIAU* (2007) qui mettent en avant la synergie et l'adaptabilité réciproque du couple homme/cheval. Grâce au travail du galop assis avec variation d'amplitude du galop, c'est-à-dire que la vitesse reste la même mais que la foulée du cheval varie (à la hausse comme à la baisse), nous assisterons donc à l'évolution comportementale vers la tendance à une mobilité des hanches plus grande mais avec un début de fixité du tronc, confirmant ainsi notre étude ; en effet, nous nous sommes aperçus que certains cavaliers confirmés avaient un comportement qui tendait à se rapprocher de celui des experts ; informations prises, nous vîmes qu'ils étaient certes confirmés car titulaires du Galop 5, mais leur pratique équestre était bien supérieure à celle du reste du groupe. Ce travail centré sur la variation du rythme du galop, présente un grand avantage à travers la possibilité d'affiner la dissociation des ceintures épaules/bassin et cela en suivant une progression prédéfinie au départ en fonction des objectifs recherchés :

- galop avec allongement des foulées puis en les réduisant ;
- d'abord en ligne droite, puis en variant la position (assise ou en équilibre) ;
- ensuite galop en équilibre sur des petits cercles suivi d'un galop assis sur des grands cercles et inverser les situations de manière à ce que le cavalier soit en permanence en recherche de son équilibre, donc en sollicitant à l'extrême sa capacité de réaction à s'adapter aux situations externes (sollicitation des mécano récepteurs même si les exercices sont réalisés avec contrôle visuel) ;
- Enfin, il sera alors envisagé de proposer des exercices avec barres au sol pour obliger le cavalier à établir des contrats de foulées, c'est-à-dire de calculer en amont le nombre de foulées qu'il faut idéalement pour amener son cheval à franchir ces obstacles dans les conditions d'efficacité maximale, en termes de performance sportive certes mais aussi au niveau de l'équilibre de l'ensemble homme/cheval.

Dès lors, à l'issue de ces programmes de préparation spécifique, nous aurons amené le cavalier confirmé à envisager le franchissement du dernier palier qui le sépare techniquement du niveau 5 dit de l'EXPERTISE. Si nous voulons au final, résumer cette phase c'est l'utilisation des techniques à bon escient, d'où un subtil dosage entre la technique et la situation personnelle du cavalier ; c'est ici que la capacité fonctionnelle du cavalier intervient ce qui signifie que c'est à ce stade que notre intervention se situe à ce jour.

5.2.4 - LES EXPERTS

Cette catégorie représente l'excellence de l'équitation, ce que notre étude a mis en valeur par rapport aux autres catégories. La transition vers la phase 5 – EXPERTISE nécessite de la part du cavalier une perpétuelle remise en question avec une importante soif de progresser. Le problème est qu'à ce stade, beaucoup de coaches éprouvent ou ont éprouvé des difficultés à franchir ce cap ; très peu y sont parvenus et n'ont pas succombé à la facilité de changer de cheval, de méthode de travail ou

même de club. Certains même se contentent de rester au niveau CONTEXTUEL. Le dernier stade dit d'EXPERTISE, est celui de l'innovation car le cavalier non satisfait de reproduire avec qualité les gestes techniques enseignés depuis des années, cherche à créer lui-même des gestes, des techniques, des méthodes de travail en parfaite adéquation avec son propre comportement à cheval. C'est à ce moment précis où intervient une notion, longtemps discutée et contestée, le PLAISIR. A la base, le plaisir en équitation est synonyme de régression de la peur. Élément fondamental pour le cavalier expert, il est l'émanation d'un geste bien accompli et ce d'autant plus qu'il a été créé par le cavalier lui-même. Cela implique un changement de fonctionnement car le plaisir s'efface par rapport à la technique comme l'a décrit BUI XUAN* (1993) ; cela induit une volonté personnelle de franchir le cap pour progresser, ce qui entraînera une autre forme de plaisir. C'est LA problématique de l'équitation : accepter de se remettre en question en manifestant une volonté de progresser en franchissant ces niveaux.

Ces cavaliers experts, se caractérisent donc par une rigidité du tronc, une grande mobilité de la ceinture pelvienne, ce qui laisse entrevoir une importante liberté des membres inférieurs. Répondant ainsi positivement au vieil adage de l'équitation qui veut que le bon cavalier doit tenir le cheval entre les mollets et le haut des épaules, ce qui l'oblige à avoir une charnière lombo sacrée particulièrement mobile. Le coaching du cavalier expert va avoir un unique objectif : libérer les membres supérieurs de façon à alléger considérablement la main, entraînant le cheval en permanence à s'équilibrer.

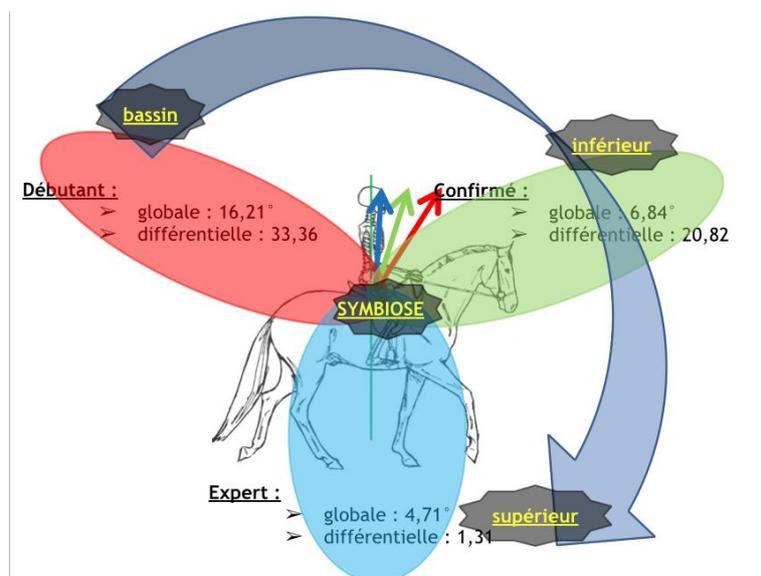


Schéma 5.1. Schématisation de la problématique rachidienne du cavalier selon son niveau d'expérience.

Des trois groupes de cavaliers, les experts sont ceux pour lesquels, il est juste d'utiliser le terme « sportifs de haut niveau », même si l'imagerie populaire a longtemps considéré que seul le cheval était en activité dans les sports équestres. A ce titre, c'est tout naturellement que nous pourrions proposer un réel programme de préparation sportive pour ces sujets qui doivent bénéficier de toutes leurs facultés physiques et psychiques, et cela dans un niveau optimal. C'est ainsi que nous sommes séduit par l'idée de dispenser des séances d'une éducation physique proprement dite, qui a pour vocation de faciliter l'adaptation physiologique indispensable à tous les cavaliers et qui permet aux experts de s'entretenir physiquement avec un maximum d'efficacité. Ces séquences gymniques organisées de manière didactique ont des objectifs bien déterminés :

- Permettre les mouvements d'affaissement et de grandissement du buste sur lui-même ; cette auto mobilisation en auto grandissement impliquera un recrutement des groupes intrinsèques profonds, érecteurs rachidiens ;
- Permettre la "descente des cuisses" par assouplissement des articulations coxo- fémorales. Pour y parvenir, il conviendra d'orienter le sujet vers la pratique autonome régulière d'exercices d'étirements (cf paragraphe « suivi physiothérapique du cavalier »). Deux groupes musculaires sont plus particulièrement à étirer : les ischio-jambiers et le psoas tout en conservant une rectitude rachidienne car ces muscles, qui s'ils sont rétractés, auront tendance à figer la mobilité pelvienne d'une part, et d'autre part à induire des contraintes énormes sur la colonne lombaire (pour le groupe ilio psoas) ;
- Favoriser le développement harmonieux et équilibré des muscles adducteurs des cuisses, des quadriceps, des muscles abdominaux et dorso-lombaires; chacun ayant un rôle bien précis dans la statique du cavalier ;
- Faire travailler les autres articulations et les autres muscles. Ainsi une bonne mobilité des épaules évitera par exemple, entre autre chose, de trop se cambrer.

La gymnastique préparatoire doit être considérée et réalisée, soit comme une mise en condition à l'instar de ce qui est proposé dans toutes les autres activités sportives, comme le souligne GEOFROY* (2012), avant une séance d'équitation, soit comme protocole d'entretien de la souplesse et de la mobilité, entre deux séances de travail. De même, les phases de travail monté peuvent être précédées de courtes séquences d'éducation proprioceptive globale puis centrée surtout sur le rachis lombaire de façon à accentuer la prise de conscience de la position du bassin afin d'éviter les déformations extrêmes du geste sportif et adopter ainsi une position personnelle, confortable et juste.

En complément de ces programmes de préparation physique, nous recommandons de compléter tout ce travail spécifique autour de la position en selle par la pratique d'autres sports. Car même si, AUVINET* (1977) et TEYSSANDIER* (1997) considèrent que par l'amélioration de la tonicité des muscles para- vertébraux, certains troubles peuvent être corrigés par la pratique de l'équitation, il devient indispensable de nos jours (compte tenu des exigences techniques croissantes des épreuves) que le cavalier pratique certains sports régulièrement (au moins une fois par semaine) en complément de l'équitation ; ceci notamment pour favoriser l'auto grandissement rachidien et le travail des deux caissons thoracique et abdominal. N'oublions pas que les cavaliers entretiennent à cheval une statique et une musculature qui leur est spécifique ; c'est pourquoi l'intensification d'un travail exclusif de l'équitation développe la musculature et la souplesse rachidienne grâce auxquelles les lésions dégénératives disco- vertébrales sont peu douloureuses. Mais à l'inverse, la diminution de l'entraînement va entraîner une modification de la statique et de la musculature, ce qui sera source de douleurs. Pour les cavaliers porteurs de troubles de la statique vertébrale, la synergie entre la pratique de certains sports appropriés et l'équitation peut être considérablement améliorée. A contrario, ceux qui ne pratiquent rien d'autre en dehors des activités équestres, vont voir leurs douleurs s'accroître de façon récurrente et importante, et seront d'autant plus augmentées à cheval. La natation qui a d'ordinaire, une excellente réputation doit être conseillée, car le milieu aquatique, via la poussée d'Archimède diminue toutes les contraintes et notamment discales, et va donc favoriser le renforcement harmonieux des groupes musculaires abdominaux et extenseurs du rachis. Nous privilégierons le dos crawlé par rapport au crawl ou la brasse considérés comme hyper lordosantes, surtout chez un patient souffrant d'arthrose inter apophysaire postérieure. La marche à pied, et même la course (à condition de bénéficier d'un très bon chaussage) sont considérées comme bénéfiques

pour le dos, malgré les microtraumatismes du disque induits par la réaction au sol lors de l'impact du pied, qui cependant, restent minimales par rapport au bénéfice du travail musculaire. Le cyclisme sur de courtes distances permet de lutter contre une trop forte cambrure lombaire, toutefois, nous conseillons d'éviter de longs parcours en vélo tout terrain.

Comme le souligne LAM* (2008) dans son étude, outre les améliorations techniques et réglementaires, l'équitation de haut niveau passe, avant toute chose, par une prise de conscience effective de la part du cavalier de sa condition d'athlète de haut niveau, nécessitant une préparation physique en adéquation avec les exigences des épreuves auxquelles il participe.

5.3 - ASPECT COMPORTEMENTAL EQUIN

Notre étude a permis de mettre en évidence l'implication de la cinématique rachidienne sur le comportement équin. En effet, dans chacun des trois groupes, chaque cavalier de par sa posture a une incidence sur le fonctionnement mécanique ou comportemental du cheval. Il n'est pas dans notre propos de faire une analyse détaillée des influences du cavalier sur sa monture, mais nous tenons toutefois à dresser deux axes de réflexion qui permettent de comprendre combien notre étude peut avoir des répercussions conséquentes sur les sujets quel que soit leur niveau de compétence :

- C'est ainsi que la position en projection antérieure des novices va entraîner une rupture de l'équilibre du cheval, celui-ci se situant naturellement à l'aplomb du membre antérieur. Donc lorsque le cavalier adopte une position fœtale, protectrice, il modifie l'équilibre même du cheval en surchargeant l'avant main (c'est-à-dire la partie antérieure), ce qui va entraîner un maximum de contraintes au niveau des épaules créant de ce fait une limitation de ses possibilités fonctionnelles aussi bien antéro postérieures que latérales. En effet si le cheval est en appui sur l'avant, il lui sera alors impossible d'avoir une aisance pour mobiliser les membres antérieurs et donc de se déplacer correctement ;
- Cette attitude de projection antérieure du cavalier va placer le cheval « sur les épaules », ce qui va alourdir la main du cavalier. Cela va entraîner l'appui du cheval sur le mors, échappant ainsi à tout contrôle, car plus le cavalier se penchera, plus il chargera l'avant main, plus le cheval va s'appuyer sur le mors et en ayant de fait un point fixe, il va bloquer le fonctionnement des rennes, privant le cavalier de toute action sur celles-ci;
- Cette position « fœtale » va aussi provoquer des réactions de défense de la part du cheval, puisqu'à cause de la surcharge encaissée sur les épaules, il n'a pas la possibilité de se mouvoir aisément et va déclencher un comportement rétif. Si le cavalier ne modifie pas sa technique, il y a peu de chance pour que le cheval devienne coopératif ;
- Le cavalier confirmé connaîtra une situation proche de celle des novices, puisque l'accompagnement du rythme du cheval par la variation de la lordose lombaire va s'il n'y prend pas garde, avoir tendance à lui aussi déséquilibrer son cheval vers l'avant, surchargeant l'avant main et générant la même problématique que le cavalier novice. La différence entre les deux sujets se situe au niveau de la technique que possède le confirmé, qui lui permettra à plus ou moins longue échéance, de modifier ce phénomène. A un degré moindre par rapport au novice, le manque de mobilité de la ceinture pelvienne, et donc des membres

inférieurs, va impliquer une gêne sur le cheval puisque cela viendra quelque peu parasiter la locomotion de la monture ;

- Pour l'expert, la qualité de sa mobilité pelvienne couplée à la parfaite rigidité rachidienne lui confère une capacité à ajuster au mieux l'équilibre de son cheval ; la finesse de ses gestes sera une des cartes maîtresses, de son équitation. A contrario des deux autres groupes, il pourra, grâce à la grande mobilité combinée pelvienne et membres inférieurs, assurer une fluidité pour la locomotion du cheval qui ne se trouvera pas entravée par des mouvements parasites. Sa rectitude rachidienne n'influencera pas l'équilibre du cheval et bien au contraire facilitera son déplacement en réduisant considérablement les déplacements du centre de gravité en dehors de sa zone de projection de celui de l'équidé. Il parviendra ainsi à faire ce que FAVORY* (2011) énonce avec la juxtaposition des centres de gravité du cheval et de l'homme, l'un étant en équilibre par rapport à l'autre, le tout étant en mouvement. Cette liberté donnée au cheval, n'induera pas comme chez les sujets des deux autres groupes de comportements contraires de sa part ; bien au contraire, la complicité en sera alors renforcée.

Comme le souligne le manuel officiel de préparation aux brevets fédéraux de la FFE, la complicité avec son cheval, qui est issue d'une pratique équestre de qualité, induira la maîtrise de soi, le respect de l'autre (à commencer par le cheval), la confiance en soi et surtout l'humilité ; en effet, tout cavalier, y compris l'expert, doit rester humble face au sol car le rapport poids/taille est toujours en faveur du cheval. C'est ce qui anime en permanence le sujet expert dans sa pratique quotidienne.

5.4 - ASPECT MEDICAL ou APPLICATIONS sur le SUIVI du CAVALIER

Tenant compte de notre statut de clinicien, nous avons, dès le début de ce parcours doctoral, envisagé une application sanitaire à cette étude. Notre idée initiale était de parvenir à montrer que l'outil de diagnostic et d'évaluation fonctionnelle, qui est proposé pour la pratique quotidienne dans nos cabinets, nous offre la possibilité d'utiliser cette technique dans un domaine très spécifique comme les sports équestres. Les travaux de GERONIMI* (2007) avaient déjà permis de voir une application quotidienne dans le monde du sport avec l'étude biomécanique du mouvement de pédalage du coureur cycliste professionnel de l'équipe COFIDIS⁵⁴. Ici cette étude nous a donné la possibilité de démontrer que cette technique issue de la haute technologie, via les capteurs inertiels Motion Pod™ est, au final, assez prometteuse et nous permet d'envisager un suivi du cavalier en physiothérapie de haute lignée. La connaissance cinématique rachidienne du cavalier a l'avantage de permettre au staff médical d'élaborer des protocoles personnalisés, établis uniquement en fonction des données recueillies par les capteurs inertiels. Pour ce faire, il convient de définir les zones à risques sur le plan osseux, musculaire, ligamentaire et discal. Ensuite, nous pourrions définir deux aspects de ce suivi, l'un en amont de la problématique et l'autre en aval, après sa survenue. Nous ne détaillerons pas la partie purement médicale pour laquelle nous n'avons aucune prérogative, préférant nous concentrer sur l'aspect physiothérapique. Bien que VIVES* (2009) ait dans ses travaux mis en évidence l'importance des chutes dans les pathologies issues des sports équestres, notre orientation sera plus à destination des souffrances subies par le rachis du cavalier au quotidien sans pour autant qu'il y ait eu accident. Concernant la localisation des pathologies, une étude australienne de 1999, estime que

⁵⁴ Equipe cycliste professionnel de classe PRO TOUR pour l'Union Cycliste Internationale

le rachis est touché dans 12.5% des cas, alors que l'anglais WHITLOCK* (1999) minore cet aspect avec un chiffre à moins de 5% des situations. Concernant la fréquence et l'importance de la traumatologie, la relation compétence du cavalier et taux de chute est sujet à controverse selon VIVES* (2009), puisque s'il est logique de considérer que l'expérience du cavalier « expert » permet d'éviter les chutes (confortant ainsi l'adage « jeune cavalier/vieux cheval »), il est raisonnable de penser que ce dernier avec son savoir faire, ait tendance à prendre plus de risques que ses collègues moins expérimentés et que finalement, les conséquences deviennent alors plus graves. Même si, nous n'avons pas axé notre étude sur la traumatologie pure, nous avons tenu à raisonner notre prise en charge de façon sélective en fonction des compétences du sujet de manière à l'adapter au mieux à chaque cavalier.

5.4.1 - INTEGRATION DES ZONES A RISQUES EN FONCTION DES CAVALIERS

Dans la perspective d'une prise en charge optimale du cavalier à travers la parfaite connaissance et maîtrise de sa biomécanique rachidienne, il nous a semblé intéressant d'étudier en plus de ce qui a été fait, dans le chapitre IV, le comportement rachidien des cavaliers des trois groupes du point de vue général sans distinguer les phases et les positions (haute, basse et statique). Tenant compte de ce que disait N.TOUZAIN* (2011) « *Pour que le cheval fonctionne au mieux, il est nécessaire que son cavalier fonctionne juste, c'est-à-dire symétrique, en équilibre et décontracté* », il nous est dès lors clairement apparu que la conséquence directe de notre étude se trouvait au niveau de l'approche fonctionnelle du cavalier. En effet pour en apprécier la qualité dynamique, il convient d'en connaître parfaitement les points forts mais aussi et surtout les points faibles ; c'est à ce titre que notre protocole d'enregistrement via les capteurs inertiels présente un intérêt majeur pour le suivi du cavalier (professionnel ou non, sportif ou de loisirs).

Pour ce faire, nous avons extrait des valeurs instantanées données par les capteurs le long de la séquence d'enregistrement de 20s. Nous avons répertorié les valeurs pour tous les cavaliers puis nous avons déterminé les moyennes, les maximales et les minimales ; ensuite nous avons déterminé les moyennes de chaque valeur pour chaque groupe. Comme nous l'avons mis en avant dans le précédent chapitre, la population du Groupe A présente une projection antérieure globale la plus marquée et à l'opposé, les sujets du Groupe C adoptent une position proche de la rectitude par rapport à la verticale ; entre ces deux situations le Groupe B vient s'intercaler. D'emblée notre regard se portera sur les incidences différentes de ces trois attitudes exclusivement du point de vue rachidien qui est le sujet de notre étude. Le membre inférieur qui présente un rôle et un comportement particulier comme le laisse penser nos enregistrements, fera l'objet d'une analyse plus détaillée a posteriori.

Rachis GLOBAL	Groupe A - NO- VICES		Groupe B - CON- FIRMES		Groupe C - EX- PERTS	
Moyenne	16°21		6°84		4°71	
Maximum	34°80		18°14		14°63	
Minimum	1°44	33°36	-2°68	20°82	13°31	1°32

Tableau 5.1. Positionnement rachidien global des cavaliers au cours de l'enregistrement sans distinction de position (valeurs moyennes).

C'est pourquoi, nous pouvons cibler nos recherches principalement avec :

5.4.1.1 - Mise en évidence de contraintes osseuses

L'étude des trois groupes de cavaliers nous donne la possibilité de définir des zones de contraintes variables, en fonction des profils d'utilisation différentes de ces sujets. Dans le Groupe A, nous constatons un aspect figé de la charnière lombo-pelvienne, qui ne sera pas sans causer des soucis sur le plan de la mobilité articulaire, puisque la moindre utilisation sera synonyme à long terme de diminution potentielle d'amplitude articulaire. La principale localisation de contraintes osseuses va se situer au niveau cervical et lombaire puisque l'augmentation de la cyphose qui va induire sur ces deux étages une accentuation des courbures, ayant pour conséquence, une augmentation de la convergence des apophyses articulaires postérieures, source de phénomènes inflammatoires réactionnels. Cela se traduira par des lombalgies basses d'origine mécanique. Nous notons qu'il y a une région qui aura à souffrir de ce positionnement thoracique, c'est la ceinture scapulaire qui aura tendance à se projeter en avant avec pour impact au niveau gléno-humérale, l'ascension de la tête humérale sous la voûte acromiale ; il y aura *de facto* ce que nous nommons une rupture du cintre scapulo-huméral, témoignage de la non congruence des surfaces articulaires. Ceci provoque une réduction de l'espace sous acromial, responsable d'une détérioration future des tendons de la coiffe des rotateurs articulaires qui suffit selon MAYER* et coll (2002) à entraîner une sur-sollicitation musculaire, elle-même créatrice de surmenages et qui aboutit au final à des pathologies inflammatoires et dégénératives. Cela se traduit également par un enroulement des épaules avec plus ou moins de composante élévatrice, l'ensemble vient également placer l'humérus en rotation médiale, ce qui entraîne une situation difficile pour les rotateurs latéraux dans leur fonction de stabilité rotatoire de l'épaule comme l'a montré SEIDLER* et coll (2002). Dans cette configuration, les mouvements réalisés dans le cône de révolution antéro-supéro-latéral comme le décrivent DUFOUR* et PILLU* (2002) sont soumis à un déséquilibre dynamique qui obligent les muscles faibles à se surpasser de façon à lutter contre des résistances trop fortes. Ceci entraîne un déplacement articulaire non physiologique par défaut d'abaissement et d'ouverture latérale, ce qui à plus ou moins longue échéance sera équivalent à des surmenages articulaires avec potentiellement risque accidentogène. Même si la situation n'arrive pas à cet extrême, n'oublions pas que MAYER* et coll (1994) estiment que la mauvaise efficacité gestuelle sera génératrice d'un surcoût énergétique, lui-même à l'origine d'absence de fluidité du mouvement, ce qui ici se traduira par l'adoption d'une posture moins performante et elle-même créatrice de dysfonctionnement chez le cheval. Cette épaule qui est si souvent sollicitée dans la pratique équestre quotidienne, peut devenir elle aussi un lieu de surmenage conduisant selon ELLEUCH* et coll (2002) le plus souvent à des tableaux cliniques inflammatoires et dégénératifs majeurs et cela d'autant plus, que le rythme scapulo huméral sera perturbé, ce qui est généralement le cas ici. Extraire une cause particulière s'avère délicat, car pour DUBERT* (2002), ce sont des pathologies qui s'auto entretiennent avec deux mécanismes bien définis : premièrement, la multiplication des contraintes (suite aux déséquilibres articulaires, eux-mêmes issus d'un geste ou d'une posture mal réalisé) qui risquent d'être mal ajustées car il y a à chaque fois fatigue des structures (osseuses, musculo tendineuses, ligamentaires et capsulaires) ; deuxièmement, des phénomènes inflammatoires générateurs d'œdèmes, donc d'augmentation de la pression interne et de moins bonne vascularisation, ce qui installe un cercle infernal – répétition du geste > phénomène congestif > œdème > compression > blocage vasculaire > nécrose.

Les conflits ostéo-articulaires et les dysfonctionnements trouvent souvent une solution dans une meilleure gestion du complexe de l'épaule, lui-même tributaire d'une amélioration de la posture combinée à l'optimisation du geste. C'est pourquoi, bien que d'origine rachidienne, cette perturbation de la posture sera génératrice de problématiques à distance ; toute modification d'attitude chez le cavalier aura de multiples répercussions et il est impératif d'avoir un regard global pour aborder ces sujets car la vision trop locale ou purement analytique, exclura toutes appréciations des problématiques annexes. A l'inverse les sujets du Groupe B vont utiliser de façon majeure la variabilité de la lordose lombaire, ce qui aura pour incidence principale sur le plan osseux, d'engendrer une augmentation des contraintes au niveau des apophyses articulaires postérieures lombaires. DE SEZE* se plaisait à dire que « *tout le monde a eu, a ou aura mal aux reins un jour* ». Les contraintes sont telles que la colonne lombaire, déjà soumise à l'action combinée des forces compressives résultantes d'une part de la gravité terrestre et d'autre part des oscillations verticales du cheval associées à la réaction au sol, a en plus à absorber l'hyper mobilité liée à cette trop grande utilisation par ces cavaliers « confirmés ». Les PAP sont des trochoïdes de morphologie variable et dont les surfaces sont rarement en congruence pour VIEL* (1989), ce qui explique pourquoi ce comportement dynamique est lui aussi générateur de processus algiques, avec outre l'aspect mécanique, des répercussions neurologiques à type de radiculalgies (sciatiques, cruralgies) ou même le syndrome de la queue de cheval. Cette lordose peut ne pas être répartie sur l'ensemble de la colonne lombaire, ce qui alors, lui conférera un caractère plus préjudiciable (SHIRAZI-ADL*, 1994). Cette grande mobilité, est majorée pour HARADA* et coll (2000) au niveau des deux derniers étages, ce qui aura pour LE ROUX* et DESMARETS* (1992), un impact sur l'importance du contrôle du ligament ilio lombaire qui empêche le glissement antérieur de L5 sans gêner son pivotement sagittal selon METTE* et DEMIAUTTE* (1996). Il convient également de noter que les femmes présentent physiologiquement une plus grande aptitude à l'extension lombaire que les hommes. Par contre l'évolution vers une plus grande rectitude de l'axe vertébral va réduire d'autant les manifestations délicates au niveau des ceintures scapulaires. Enfin, les sujets du Groupe C, vont réduire considérablement les risques de contraintes osseuses grâce à la posture proche de la verticale (environ 4° de flexion antérieure du tronc).

5.2.1.2 - Mise en évidence des zones de tensions musculaires

Elles sont maximales en fonction du type de travail musculaire. Sur le plan musculaire, il est donc important d'analyser le type de travail (Concentrique, Statique ou Excentrique) car les risques lésionnels seront différents. Chez les sujets A, la projection antérieure du rachis va être consécutive d'un travail concentrique des chaînes antérieures mais aussi et surtout excentrique du plan postérieur avec une implication majeure des zones « sensibles » Cette projection antérieure va être à l'origine d'un travail statique voire excentrique du plan musculaire postérieur comme le souligne DUFOUR* et PILLU* (2002) avec leur description du modèle de stabilité rachidienne avec le système de haubanage musculaire. Ici, les principaux groupes musculaires qui seront soumis à de fortes contraintes se situent au niveau des para-vertébraux (muscles rachidiens intrinsèques), les groupes des stabilisateurs d'omoplate (rhomboïdes, petits dentelés postérieurs, élévateurs de la scapula), le groupe trapèze, le grand dorsal et la masse ilio-lombaire. De même au niveau de la ceinture scapulaire, la stabilité de cette situation de déséquilibre antérieure sera assurée par un travail excentrique des groupes infra-épineux, petit et grand rond et des parties moyennes et inférieures du trapèze. A l'inverse cette attitude va entraîner une composante de rétraction des groupes musculaires antérieurs, surtout au niveau des groupes pectoraux (petit et grand pectoral) car le haut de la scapula est alors incliné vers

l'avant comme l'ont montré DUFOUR* et PENINO* (1985). Ceci sera aussi accompagné pour SELDLER* et coll (2002) d'une mise en tension douloureuse des élévateurs (trapèze supérieur et élévateur de la scapula) et des rotateurs latéraux (infra épineux, petit et grand rond, grand dorsal) à cause du placement de la tête humérale en rotation médiale. Cette attitude d'enroulement des épaules va également susciter un schéma en flexion globale du membre supérieur avec raccourcissement de la chaîne antérieure (fléchisseurs) et une mise en tension de la chaîne postérieure (extenseurs). Dans la pratique équestre, cette situation qui favorise le recrutement des fléchisseurs aura pour conséquence, d'entraîner le « ramener » vers soi, ce qui ne sera pas sans induire la mise sur les épaules du cheval et lui déclenchera des réactions de défense. Il convient également de tenir compte des conséquences ventilatoires engendrées par l'augmentation de la courbure thoracique, surtout chez les cavaliers « novices ». Chez les sujets du Groupe B, la caractéristique majeure se situe au niveau de l'utilisation importante, voire excessive, de la variation de la cambrure lombaire. Dès lors, le système d'équilibre actif consiste en une co-contraction des groupes postérieurs (mêlés et compacts) et antérieurs pour assurer le maintien de la courbure lombaire. Considérant la tendance naturelle à propulser vers l'avant le pubis, décrite par COQUILLOU* et VIEL* (1984), lorsque se penche le tronc en arrière, ici nous constatons que la stabilité est obtenue par une antéversion majorée du bassin accompagnée d'une forte cambrure des reins. Dans cette situation, il y aura automatiquement une propulsion de la masse abdominale vers l'avant, ceci risque à terme de mettre à mal la tonicité de ces groupes musculaires. C'est pourquoi, il est impératif de veiller à ce que le cavalier soit parfaitement en possession d'une poutre composite la plus performante possible. A l'inverse de la co-contraction musculaire précédente, elle associe os et muscles, ici vertèbres et psoas selon SIMON* et coll (2001). DOLTO* (1973) faisait même de cette poutre composite une nécessité absolue qui devait être mémorisée parfaitement par le sujet. Ceci est à rapporter au rôle du caisson abdominal à géométrie et à pression variable, comme le caisson pneumatique thoracique, structure qui sera mis en tension lors d'une accentuation de la lordose lombaire. Cet étirement de la façade antérieure abdominale sera concomitant d'un raccourcissement des groupes postérieurs et du psoas. Par conséquent, plus nous « irons » vers les sujets « experts », moins le déséquilibre sera marqué et cela aboutira à un quasi équilibre chez le cavalier « expert » où la déviation antérieure est de 4°3. Dans ce cas de figure, il y a une attention particulière à veiller à ce que cet équilibre musculo-tendineux soit le plus performant possible et surveiller la moindre déviance pour y remédier de suite.

5.4.1.3 - Mise en évidence d'éventuelles perturbations ventilatoires

La ventilation est la mobilité la plus spontanée, bien que souvent réduite en amplitude, elle ne devient réellement active que par l'action concentrique des muscles inspireurs. L'inspiration est donc un phénomène actif alors que l'expiration est le fruit du relâchement musculaire, donc peut être considérée comme passive donc économique.

Le premier mécanisme responsable est celui du parenchyme pulmonaire dont la tendance naturelle est la rétraction (ce qui est mis en évidence dans les pneumothorax).

Le second est le mécanisme des arcs costaux qui ayant emmagasiné de l'énergie durant l'inspiration vont la restituer grâce à leur déformation.

La variation de la ventilation au quotidien est faible puisqu'au cours des activités de la vie quotidienne, nul besoin d'une ventilation ample. Toutefois, CREPON* et coll (1997) ont montré que le

maximum de ventilation est obtenu grâce à la mobilité du thorax inférieur, or chez les cavaliers du Groupe A, l'enroulement des épaules consécutif à la projection antérieure de la ceinture scapulaire va venir placer la cage thoracique en position expiratoire, c'est-à-dire dans une situation d'une part de relâchement total et d'autre part de moindre contenance, ce qui se traduira *in fine* par une perturbation à la fois des volumes ventilatoires, essentiellement inspiratoires à cause de la diminution du contenant. Il s'en suivra donc une diminution de l'ampliation thoracique. Il va s'en suivre une diminution des mobilités costo-vertébrale, sterno-chondro-costale, par positionnement en situation expiratrice. Dès cet instant, la position expiratrice issue du positionnement cyphotique du rachis thoracique, va déclencher une ventilation paradoxale par dysfonctionnement des muscles inspireurs et surtout du diaphragme.

Or il convient de ne pas perdre de vue que la stabilité thoracique est assurée par l'inspiration qui rigidifie la paroi thoracique. D'autre part, la position expiratoire thoracique chez ces cavaliers peut également venir perturber le rôle du caisson pneumatique à géométrie et à pression variable dans sa capacité à lutter contre le risque de cisaillement comme l'ont démontré DE PERETTI* et ARGENSON* (1986). Cela met alors en action les parois du caisson abdominal avec le réglage du caisson thoracique sus jacent par l'entrecroisement des piliers diaphragme/psoas.

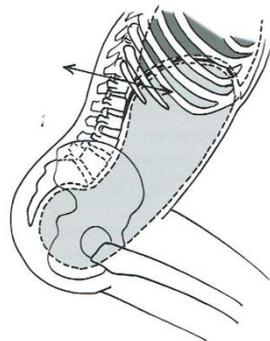


Schéma 5.2. L'interpénétration des caissons thoracique et abdominal est un élément majeur dans la stabilité lombo pelvienne – DUFOUR et PILLU (2002)

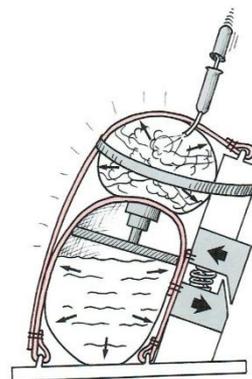


Schéma 5.3. Les caissons à géométrie et à pression variables et leurs parois permettent un bon amarrage de T12 sur L1 – DUFOUR et PILLU (2002)

Pour LEE* et coll (1998), la stabilité thoracique est tributaire de l'équilibre des caissons pneumatiques et abdominal et de leur synergie. Toute modification de cet ensemble aura une répercussion sur l'équilibre musculaire périphérique. Comme le souligne le Dr FAVORY* (2011), la ventilation ample, lente est le trait d'union entre le corps et l'esprit.

5.4.1.4 - Mise en évidence de contraintes ligamentaires

Tous les cas de figure sont observés chez nos cavaliers des trois groupes. Chez les novices du groupe A, le positionnement antérieur du tronc avec une accentuation de la cyphose va entraîner une mise en tension des groupes ligamentaires postérieurs au niveau rachidien (ligament longitudinal postérieur, ligament jaune, ligament inter épineux et inter-transversaire et ligament supra épineux). Au niveau de la cage thoracique, la situation positionnelle expiratrice met en tension les groupes liga-

mentaires postérieurs costo-vertébraux. Chez les confirmés du Groupe B, la variation de la lordose va mettre en tension de manière alternative les groupes ligamentaires antérieurs (ligament longitudinal antérieur) et postérieurs. Par contre les experts qui possèdent une mobilité accrue de la charnière lombo sacrée vont susciter des contraintes alternativement antérieures et postérieures au niveau des ligaments sacro iliaques, ilio-transversaires et ilio-lombaires.

5.4.1.5 - Mise en évidence de contraintes discales

Au niveau lombaire et cervical, les contraintes au niveau du DIV seront essentiellement postérieures (pincement postérieur avec bâillement antérieur et mise en tension du 1/3 antérieur des fibres de l'annulus) alors que pour les sujets des Groupe A (et à un degré moindre du Groupe B), au niveau thoracique, les contraintes seront antérieures avec un pincement antérieur (une diminution de la hauteur antérieure) et un bâillement postérieur, qui risque de mettre à mal le 1/3 postérieur des fibres de l'annulus, ouvrant la voie à d'éventuels épisodes protrusifs discaux. En effet, la position spatiale de la vertèbre modifie la répartition des composantes de compression et de cisaillement au sein du tripode. En flexion, c'est la situation des novices au niveau thoracique, la compression concerne plus particulièrement les AAP. En position intermédiaire, qui concerne les experts (à peu de chose près puisqu'une inclinaison antérieure minime de 4° est observée, ce qui s'avère n'avoir aucune incidence sur l'équilibre au niveau du tripode), elle concerne plus le DIV alors qu'en extension, qui concerne les confirmés, les AAP sont plus sollicitées en glissement pur.

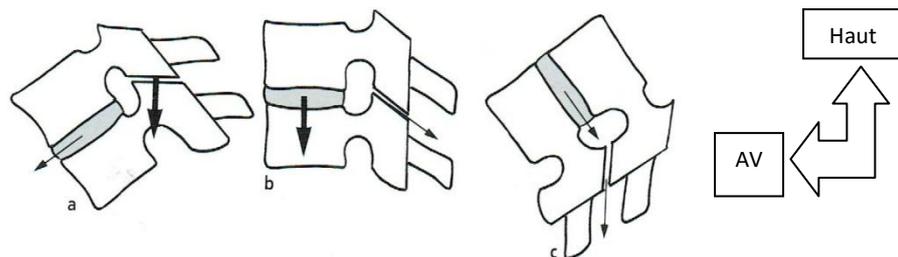


Schéma 5.4. Répartition des contraintes sur la vertèbre en fonction de son positionnement

5.4.2 - AU NIVEAU DU SUIVI MEDICAL DU CAVALIER

L'aspect médical du cavalier, n'est bien évidemment pas de notre compétence donc il ne nous revient pas de le définir ni de le détailler ; toutefois il convient de rappeler qu'à la lecture des enregistrements et de leurs conséquences, la prise en charge sera à visée antalgique, anti inflammatoire et décontracturante musculaire. C'est pourquoi, nous pouvons tout de même, sans entrer dans les détails, exposer les lignes majeures de l'aspect médical du suivi du cavalier. Comme nous le rappelle VIVES* (2011), il est un élément primaire pour le cavalier, celui de fournir chaque année, avec sa demande de licence fédérale de compétition, un certificat de non contre indication à la pratique de l'équitation datant de moins de 4 mois. Par contre dans le cadre du suivi des athlètes inscrits sur la liste HN⁵⁵ du Ministère Jeunesse et Sports, un protocole a été instauré suite à une modification légi-

⁵⁵ Haut Niveau – liste éditée chaque année au 1^{er} novembre qui répertorie par activité sportive la liste des athlètes considérés comme étant de haut niveau, ceci pour leur permettre de bénéficier d'aides pour mener à bien leur parcours sportif.

slative ; en effet l'arrêté du 11 février 2004, modifié par celui du 16 juin 2006, fixe la nature et la périodicité des examens prévus aux articles R.3621-2 et R.3621-3 du Code de la Santé Publique. La loi indique de façon détaillée le type d'examens médicaux nécessaires à l'inscription sur la liste de haut niveau ou sur la liste espoirs. De plus elle insiste sur la nature et sur la réalisation du suivi longitudinal dans la mesure où le but fixé par les autorités administratives est d'assurer dans les meilleures conditions possibles, la prévention des risques médicaux liés à la pratique d'une activité sportive intensive. A cet effet, il est demandé :

- Examen médical avec entretien, examen clinique, mesures anthropométriques, bilan diététique et psychologique : 2 fois par an ;
- Une bandelette urinaire (protéinurie, glycosurie, hématurie, nitrites) : 2 fois par an ;
- Examen biologique (NFS – Plaquettes – Réticulocytes – Ferritine) : 1 fois par an ;
- Examen dentaire : 1 fois par an ;
- ECG de repos : 1 fois par an ;
- Echographie trans-thoracique : 1 fois / carrière après l'âge de 18 ans ;
- Epreuve d'effort maximale : 1 fois tous les 4 ans.

Un médecin coordonnateur au sein des instances fédérales aura pour mission de recueillir les examens, de manière à dresser un bilan du suivi médical du cavalier. Une synthèse sera présentée lors de l'assemblée générale fédérale. Il est également prévu que le Ministre des sports soit lui aussi tenu informé du suivi des athlètes de haut niveau français. Pour assister les médecins dans la réalisation de la visite de non contre indication, la Société Française de Médecine du Sport a proposé un modèle standardisé d'examen clinique. Cette VNCI⁵⁶ a pour vocation de déceler d'éventuelles contre-indications, celles-ci doivent être discutées au cas par cas. Toutefois, il est acté que l'équitation soit contre-indiquée de façon formelle en cas de : maladie de Scheuermann, Spondylolisthésis stade II, Insuffisance cardiaque, Infarctus du myocarde de moins de 3 mois, Asthme allergique (poils et squames de chevaux). La pratique équestre sera déconseillée si le sujet est porteur d'arthrose rachidienne sévère et lors d'une grossesse. BROOKS* et BIXBY-HAMMETT* (1998) quant à eux la déconseillaient en cas de traumatismes crâniens répétés ou si le sujet est porteur d'une hernie discale. Ils excluaient totalement les patients porteurs de lésion neurologique ou d'anomalies vertébrales potentiellement instable (absence congénitale de processus odontoïde, antécédent de fracture ou luxation vertébrale), la paralysie temporaire qu'elle qu'en soit la cause, les séquelles permanentes d'un traumatisme crânien (dysfonction visuelle, déficit cognitif, épilepsie post traumatique) et enfin les traumatismes lombaires ou cervicaux répétés, en particulier en cas de canal lombaire étroit congénital ou dégénératif documenté. Nous pourrions ajouter qu'une attention toute particulière sera accordée aux sujets souffrant d'ostéoporose aux conséquences potentiellement catastrophiques lors des chutes ou de l'apprentissage des techniques « tuck and roll » (techniques qui permettent aux cavaliers de mieux appréhender la chute, comme chez le judoka, et d'en diminuer les incidences).

⁵⁶ Visite de Non Contre Indication médicale à la pratique sportive

5.4.3 - SUIVI PHYSIOTHERAPIQUE DU CAVALIER

Nous avons, au cours de nos séances d'analyses et d'enregistrements des mouvements des cavaliers, dialogué avec eux pour s'apercevoir que finalement le souhait majeur de ceux-ci s'oriente plus vers un accompagnement préparatoire pour logiquement éviter la survenue d'épisodes aigus. Partant de cette constatation, nous nous sommes attachés à aborder les différents aspects dédiés au cavalier sous un angle prophylactique, néanmoins l'aspect curatif sera envisagé ensuite avec un passage en revue des différentes pathologies pouvant survenir chez ces sujets. Notre propos n'est pas ici de faire un catalogue exhaustif de toutes les techniques et autres exercices, que nous serions à même de présenter à nos cavaliers en fonction de leur niveau de compétences équestres. Il s'agit plutôt de tracer les grands axes de réflexion et de travail que nous pourrions proposer à ces athlètes ; certes, nous nous laisserons aller à présenter, de ci delà, quelques techniques qui ont particulièrement retenues notre attention et qui méritaient d'être mises en avant. Mais nous nous devons de mettre en garde le lecteur sur le caractère généraliste de cette réflexion ; notre finalité est de mettre en exergue les éléments de réflexion qui méritent d'être intégrés dans une proposition de protocole de suivi d'un cavalier.

5.4.3.1 - Importance des caissons thoracique et abdominal.

Le rachis selon DUFOR* et PILLU* (2002) n'est qu'une composante de la mécanique du tronc, qui inclut les caissons thoracique et abdominal. Ces deux entités ont deux actions complémentaires : l'une statique dans le maintien rachidien et celui des deux caissons, et l'autre dynamique par rapport au thorax (au niveau de la ventilation) et également un rôle abdominal avec les mouvements du thorax sur le bassin et aussi dans les phénomènes d'expulsion (miction, défécation et accouchement).

Le caisson thoracique est composé des muscles postérieurs, des intercostaux, du diaphragme et des petits muscles annexes (petit pectoral, transverse du thorax, subcostaux). C'est un volume pneumatique à géométrie et à pression variable. Son contenu est le siège du « respir » qui a la même étymologie qu'esprit, ce qui renforce la liaison communément faite entre ces deux éléments car bon nombre d'expressions populaires tendent à venir confirmer cet état de fait : « être gonflé » ou à l'inverse « être un dégonflé », « rendre le dernier soupir ». Il conviendra d'en tenir compte dans l'approche que nous aurons vis-à-vis notamment pour les cavaliers du Groupe A, chez qui le manque d'assurance se traduit cliniquement par un repli sur soi (avec augmentation de la cyphose thoracique avec enroulement des épaules et attitude expiratrice). Le contenant fait référence à la partie antérieure du thorax, musculaire chez l'homme (avec toutes les conséquences psychologiques qui lui sont associées au niveau de la mise en valeur et du désir de paraître), et mammaire chez la femme (avec toute la valeur séductrice que cela peut induire). Il est inconcevable d'ignorer ces deux aspects si nous voulons aborder la prise en charge globale des cavaliers ; aussi éloignés que cela semble, ces considérations comportementales seront nécessaire pour assoir notre protocole de suivi chez ces sujets. La valorisation au plus juste de ces comportements va, toujours selon DUFOR* et PILLU* (2002), potentialiser les efforts de reconditionnement de la posture par le sujet lui-même, et savoir les utiliser représente un avantage maximal sans toutefois renier les considérations techniques du praticien clinicien.

Le caisson abdominal est quant à lui un volume hydropneumatique, à géométrie et pression variables, dont le contenu est viscéral et le contenant est musculo squelettique. Le caisson abdominal

est quant à lui assuré par les muscles abdominaux pour lesquels deux conceptions s'opposent : celle de RABISCHONG* et AVRIL* (1965) qui envisage une poutre composite pré vertébrale qui, comme contrefort antérieur, agit en poussée postérieure sur le rachis lombaire par l'interposition viscérale, et celle de DOLTO* (1977) qui évoquait de façon impropre des trois diaphragmes de l'abdomen. Là encore, indépendamment de ces considérations technico biomécaniques, il est judicieux de faire référence à l'investissement psychologique de cette zone pour une meilleure approche du cavalier. C'est d'abord la considération du centre géométrique du corps, d'où émerge la vie via le nombril, puis le centre de l'âme placé par les anciens. Les orientaux y placent la « conscience de l'être » pour lequel des expressions populaires révèlent le vécu : « cela prend aux tripes » ou « c'est viscéral » !!! Sur le plan pathologique, cela est mis en évidence par les perturbations neurovégétatives de type psychosomatiques qui se traduisent par des crises de foie, constipations, diarrhées, etc,... Cette zone estimée comme étant le centre de gravité pour GRANDJEAN* et coll (1985), détient et oriente la force physique de l'individu. Il s'agit aussi du centre de la force, puisque l'homme qui se sent fort, propulse son ventre vers l'avant.

Au final, c'est le jeu actif d'adaptations permanentes des caissons pneumatique et abdominal qui va contribuer à assurer une prise en charge correcte des contraintes rachidiennes, celles-ci variant selon les activités. NACHEMSON* et ELFSTROM* (1970) ont les premiers mis en évidence l'importance des contraintes encaissées par ces deux caissons. Qui plus est, le caisson abdominal sous tension va permettre les efforts ; à l'inverse, le relâchement de celui-ci expose au lâchage des structures et ont comme point commun selon l'INSERM* (1995) l'aggravation des contraintes. Les faiblesses musculaires de ce caisson abdominal (risque de survenue de hernie discale) ont pour conséquence pour BAUM* et ESSELFELD* (1999) de fragiliser le comportement de l'étage lombaire. Dans cette optique, une prise en charge prophylactique cohérente devra s'attacher à privilégier les sollicitations du tonus musculaire, puis le travail de renforcement en course interne et en statique. D'aucuns pourraient considérer que ces aspects psychologiques comme étant secondaires dans le suivi du cavalier et il ressort des quelques études menées par notamment l'University Britannique de COVENTRY que les comportements anti sociaux, anxieux ou à la recherche de sensations fortes présentaient un risque traumatique potentiellement plus élevé que le reste de la population de cavaliers.

Concernant l'aspect physique et la dépense énergétique du cavalier lors de sa pratique équestre peu d'études ont été menées dans ce domaine, cependant nous devons faire référence aux recommandations faites par la FN Allemande sur la condition physique du cavalier, lors du séminaire de sa Commission de sécurité de Harpur. Compte tenu des résultats excellents des cavaliers allemands et britanniques dans les sports équestres et notamment en CCE, il convient de s'interroger sur la relation entre performance et condition physique, telle qu'elle est évoquée par DEVIENNE* et GUEZENEC* (2000). A ce sujet, les rares études menées sur le cavalier de loisir par DE NARROS SOUZA et al* (2008), sur les cavaliers confirmés par WESTERLING et al*(1983) ou plus spécifiquement sur les cavaliers de CSO par RINCON et al* (1992) ont tous mis en avant que la seule pratique de l'équitation comme unique moyen de travail d'endurance s'avère être insuffisante. En effet, les sollicitations métaboliques et cardio respiratoires (avec 65 à 75% de la VO2 max et une lactatémie comprise entre 3.5 et 15mmol/l) ne suffisent pas à améliorer la capacité de travail aérobie. Dès lors il est souhaitable d'y associer une activité physique complémentaire. C'est ce que MEYERS* (2006) a mis en évidence avec son étude basée uniquement sur une préparation essentiellement équestre des cavaliers qui au final s'est avérée insuffisante sur les performances aérobies des sujets. C'est pourquoi il faut noter

l'initiative de la Fédération Equestre Britannique qui a édité un livret destiné aux cavaliers, meneurs et voltigeurs appelé « *Long Term Athlete Development* ». Il se compose d'une partie générale et d'une autre consacrée à la préparation spécifique dans la discipline et se termine par des exemples de planification du travail spécifique à chaque type de compétiteur.

La compétition nécessite un long travail en amont pour faire en sorte de se construire en tant qu'athlète de haut niveau et cela passe par la préparation physique, mentale, technique, personnelle et par une modification comportementale si besoin est, au niveau de l'hygiène de vie. Pour toutes ces raisons, la pratique en parallèle d'une activité du monde de l'athlétisme semble être la meilleure des solutions pour parvenir à développer de manière concomitante la coordination, l'équilibre, la vitesse, la précision, la souplesse et l'endurance. C'est à ce prix que le comportement en compétition s'améliorera et ceci est envisageable à n'importe quel niveau de compétences du cavalier, du novice à l'expert ; chacun pourra bénéficier du même axe directeur dans le travail avec par contre des spécificités techniques en rapport avec le niveau d'exigences dans lequel le cavalier évolue.

5.4.3.2 - Prophylaxie de l'appareil locomoteur.

Quel que soit le niveau de compétences du cavalier, l'appareil locomoteur nécessite que nous nous y intéressions de façon globale et harmonieuse ; certes il existe des caractéristiques fonctionnelles propres à chaque groupe de cavaliers qui nécessiteront un ajustement permanent et individualisé. Nous ne détaillerons pas toutes les techniques, méthodes ou autres protocoles de préparation physique destinés aux cavaliers mais nous axerons notre propos sur les axes de travail que nous considérons comme majeurs pour le cavalier. Nous en profiterons également pour apporter des touches plus spécifiques selon le type de population abordée. Nous diviserons notre approche en deux parties : la première à orientation orthopédique sera plus particulièrement consacrée à l'aspect orthopédique du cavalier avec un abord un peu plus analytique et cela en fonction des aspects traités (articulaires, musculaires, tendino-ligamentaire) ; la seconde aura plus une vocation globaliste en considérant le cavalier comme une entité en évolution permanente dans un espace tri dimensionnel et surtout par rapport à un autre élément en mouvement donc par définition instable.

5.4.3.2.1 - Aspect Orthopédique

Le principe d'action de cette prise en charge prophylactique du cavalier est de lui permettre de disposer d'outils capables de placer l'appareil locomoteur dans des conditions d'efficacité proches du maximal. A cela s'ajoute le côté préventif qui fait que les techniques utilisées et proposées aux cavaliers ont également vocation à éviter les traumatismes directs ou indirects et toutes les pathologies annexes ou associées à la pratique de l'équitation. Tout ceci est essentiellement basé sur des principes de stimulations cutanées et verbales comme le montre BAILLET* (2015) et ceci de manière à ce que le sujet (quel que soit son niveau de compétence équestre) polarise son attention sur les sensations que renvoient les exercices. Cependant, pour qu'il intègre parfaitement le concept et qu'il puisse s'y investir totalement, des explications lui seront fournies de façon continue. Un rythme de 2 fois/semaine serait idéal durant la période des compétitions et cela pourrait être intensifié durant la saison hivernale pour que le cavalier puisse au début de la future saison bénéficier d'un état de forme physique déjà conséquent, ce qui se traduira par un risque accidentogène diminué et bien sûr par des performances en augmentation puisqu'à ce moment là, le sujet pourra utiliser sans retenue

aucune, son appareil locomoteur pour lequel, il avait quelques inquiétudes auparavant. L'idéal serait de coupler tout ceci avec de la balnéothérapie ou tout simplement des séances de natation.

Le corps est donc une entité indivisible, chaque structure qu'elle soit osseuse, musculaire ou fibreuse est en permanence liée à une autre. Si d'aventure, l'une venait à défaillir, il convient de la rétablir dans sa fonction normale, puis d'envisager une ré-harmonisation pour éliminer d'une part les éventuelles compensations qui ont pu s'installer mais aussi pour permettre à l'ensemble de ces structures de réapprendre à fonctionner de façon synchronisée. L'approche sera donc individualisée sur chaque structure tout en conservant un schéma fonctionnel global dans l'aboutissement final.

5.4.3.2.1.1 - Mobilisation des structures ostéo-articulaires vertébrales

Tous les cavaliers présentent des zones de raideur articulaires voire des restrictions du point de vue articulaire ; il est dès lors concevable de pouvoir dans un premier temps, avant même de s'intéresser aux dysfonctionnements plus spécifiques, s'assurer que la mobilité articulaire est présente de manière à permettre l'utilisation par le cavalier de toutes les amplitudes articulaires possibles tant au niveau rachidien, qu'au niveau des membres. Une préparation par des mobilisations passives facettaires douces et non douloureuses serait idéale dans l'optique d'une ré-harmonisation articulaire locale. Il est certain que le cavalier novice présentera un tableau plus conséquent sur le plan raideur que l'expert, mais il conviendra de s'assurer que ce dernier conserve cette capacité de souplesse articulaire au risque de régresser dans son attitude si une altération survenait. FAVORY* (2011) considère l'équitation comme étant un travail d'adaptation en régulation fine qui peut s'apparenter aux sports de glisse ; c'est pourquoi, nous pourrions alors constater, selon les niveaux, des zones articulaires où siègent plus facilement des raideurs ; c'est le cas notamment des ceintures scapulaires ou pelviennes des cavaliers novices qui viennent figer ces deux régions, de peur de chuter. *A contrario*, l'hyper mobilité lombaire des confirmés requerra une attention toute particulière compte tenu des contraintes importants qui pourront siéger suite aux frottements intenses des surfaces articulaires, effectives lors de la réalisation des mouvements.

5.4.3.2.1.2 - Prise en charge des douleurs et TMS⁵⁷ du tronc.

Les douleurs rencontrées chez le cavalier, quelque soit le groupe dans lequel il se situe, sont pour la majeure partie issues d'attitudes compensatrices, antalgiques, elles-mêmes résultantes de mauvaises attitudes ou postures. Bien que notre vision des choses soit plus dans l'appréhension des causes des problèmes plutôt que dans la de lutte contre les conséquences, il nous apparaît cependant opportun d'atténuer ces douleurs en considérant que leur sédation devrait nous permettre de corriger *a posteriori* les attitudes et postures antalgiques et non physiologiques mises en place par le sujet. Notons qu'à cet effet, le traitement des « triggers points » sera particulièrement intéressant pour se débarrasser de toutes ces tensions musculaires localisées sur des endroits bien spécifiques. Par exemple, le cavalier novice qui se projette en avant avec un enroulement des ceintures scapulaires aura en plus une nette tendance à ascensionner les épaules ce qui va induire des zones de tension massive au niveau de la partie horizontale des trapèzes supérieurs. Ceci va placer le sujet dans un schéma destructeur, tant sur le plan analytique que global puisque ces « triggers points » douloureux vont modifier sa posture et risquer d'accentuer les attitudes compensatrices car plus la douleur sera présente,

⁵⁷ Troubles Musculo Squelettiques

plus le cavalier aura tendance à élever les épaule dans l'espoir d'une réduction de ces phénomènes. Au final, c'est le contraire qui advient puisque son attitude compensatrice va s'accroître et entraîner d'autres sus et sous jacentes, par ricochet. Par conséquent, l'abord de ces « triggers points » va permettre au cavalier de constater une sédation de la douleur qui elle-même sera génératrice d'une modification posturale avec l'atténuation voire la disparition de ces positions compensatrices, et pour finir, le schéma moteur global sera amélioré par une disponibilité plus grande des différentes zones concernées.

5.4.3.2.1.3 - Techniques d'énergie musculaires et d'étirements ciblés.

Cet aspect représente un élément important dans la compréhension du schéma moteur du cavalier. La station assise sur un élément mobile, le cheval, sera créatrice de postures d'adaptation, elles-mêmes à l'origine de raideurs articulaires et musculaires, ceci en fonction du niveau du cavalier. Toutefois, quel que soit le type de cavalier, il est impératif de veiller à ce qu'un élément majeur soit en permanence présent : la MOBILITE. Cette dernière peut être définie selon WEINECK* (2003) comme étant « *la capacité et la propriété qu'à l'homme d'exécuter, par lui-même ou avec une aide extérieure, des mouvements de grande amplitude faisant jouer une ou plusieurs articulations* ». Elle est essentielle au niveau des articulations, des tissus musculaires et de la peau, mais est intimement liée à la souplesse, qui est la qualité physique qui permet d'atteindre de grandes amplitudes articulaires dans un mouvement simple. Mais c'est une notion assez aléatoire et chaque individu pourra se décrire comme étant souple ou pas. A cet effet, nous distinguerons trois types de souplesse : la souplesse générale utile qui correspond aux amplitudes dont nous avons besoin au quotidien.

. La souplesse spécifique qui correspond aux besoins supplémentaires d'amplitude articulaire utile dans certaines activités particulières. Le but est de pouvoir réaliser des gestes sportifs avec un maximum d'efficacité et un minimum de pénibilité et fatigabilité ;

. La souplesse dite « inutile » qui est en fait le phénomène d'hyper laxité, c'est-à-dire le dépassement des amplitudes articulaires physiologiques ;

Cependant, gardons à l'esprit le fait que la souplesse passive est toujours supérieure à la souplesse active. Ceci est dû au fait que les besoins d'amplitudes extrêmes sont rarement nécessaires et que le tonus musculaire est présent en permanence. Enfin, ne sous estimons pas l'effet protecteur du SNC qui protège d'éventuelles blessures, si les amplitudes physiologiques sont dépassées. Mais toutefois, il est un aspect que nous devons considérer : la RAIDEUR, que GEOFFROY* (2014) décrit comme étant la force de résistance générée par un tissu (peau, fascia, tendon, muscle et composants d'une articulation) en opposition à leur allongement. Elle est toujours nuisible car à l'origine de nombreuses compensations, qui elles-mêmes entraînent des attitudes vicieuses et antalgiques. Tout le monde n'est pas à égalité face à la raideur.

Au final, face à ces phénomènes délétères, des techniques mobilisatrices peuvent contribuer à contrecarrer ces raideurs et à développer la souplesse sous tous ces aspects. Il s'agit des ETIREMENTS, techniques qui consistent à éloigner les deux extrémités d'un muscle ou d'un groupe musculaire ; ceci contribue à améliorer la qualité des tissus, leur mobilité et leur capacité d'extensibilité, tout cela est garant d'une amplitude articulaire convenable. Il existe plusieurs moyens de réaliser des étirements selon l'objectif à atteindre:

- La souplesse et le gain d'amplitude vont requérir l'utilisation d'étirements passifs de longue durée, que nous pourrions coupler à du « contracté relâché étiré », ce dernier permettant de recouvrer une amplitude articulaire de façon très rapide, tout en respectant la propriété cinésiologique des groupes musculaires ;
- Le but thérapeutique avec la lutte contre les tensions musculaires nécessitera la mise en œuvre des méthodes activo-passive comme le « contracté relâché étiré » mais aussi passives comme les postures passives. A noter la possibilité d'utiliser dans les cas de tensions musculaires très localisées, la technique de crochetage, qui permet un étirement tissulaire transversal (à l'aide d'un crochet). Cette technique est une méthode de traitement ayant pour origine Kurt EKMAN, kinésithérapeute suédois, collaborateur du Docteur J.CYRIAX. La technique consiste à libérer les plans de glissement inter-aponévrotique tendineux ou ligamentaires des tissus difficiles à accéder précisément avec les doigts.



Figure 5.1. Crochets de EKMAN (d'après kiné et formations.com)

- La préparation de l'appareil locomoteur à l'effort, va nécessiter un protocole que nous pouvons diviser en 4 phases :
 - 1) Echauffement qui permet l'activation et la préparation musculaire ;
 - 2) Sollicitations et préparation articulaire de façon à obtenir des amplitudes complètes sans aucune restriction ;
 - 3) Renforcement de la fonction musculaire dans l'optique de permettre au cavalier de pouvoir réaliser ses gestes sportifs avec un minimum de pénibilité mais avec un maximum de performance ;
 - 4) Prévention des lésions myo-aponévrotiques par diminution de la visco-élasticité et l'élévation de la température musculaire.
- Récupération après effort qui pour bon nombre de cavaliers semble être quelque chose de facultatif aussi bien pour le cheval que pour eux-mêmes. Là encore il est possible d'envisager 3 axes de travail avec :
 - 1) Récupération après effort par une rééquilibration des tensions tissulaires, en luttant de concert contre les douleurs musculaires ;
 - 2) Récupération des amplitudes articulaires qui auraient pu être diminuées durant le geste sportif uniquement à cause d'une mauvaise exécution, qui elle-même est la conséquence d'une mauvaise préparation ;
 - 3) détente et retour au calme.

- Enfin, nous pourrons dans le cadre d'une prise en charge globale du cavalier, sur une longue période, avoir la possibilité d'organiser et de planifier ensemble des périodes de détente et de bien-être qu'il ne faut surtout pas considérer comme étant des temps « oisifs » mais bien au contraire, ces phases de bien-être seront facilitatrices d'activités musculaires futures grâce à la conservation du potentiel musculo-articulaire dans un état des plus performant. Il s'agit en définitive d'un précieux temps gagné sur le travail futur.

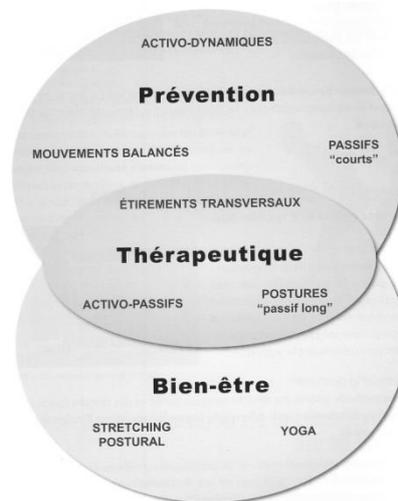


Schéma 5.5. Les différents objectifs des étirements et les méthodes employées selon C.GEOFFROY (2014)*

GEOFFROY* (2014) propose une schématisation cohérente des effets intéressants de la réalisation des étirements et cela quelque soit le domaine ; toutefois, c'est dans le domaine du sport, qu'ils sont utilisés de manière systématique et intensive. C'est pour cette raison qu'il nous a semblé cohérent et judicieux de les proposer chez nos cavaliers car au final, ils sont relativement faciles à réaliser et présentent d'énormes avantages à tout point de vue. Les étirements sont donc :

- Considérés comme une gymnastique instinctive qui permet le rétablissement des tensions entre les différents composants du muscle. De plus, ils sont assimilés à un « dérouillage matinal » ;
- Nécessaires à la lutte contre les raideurs articulaires, ils permettent de développer les flux vasculaires et nerveux, de réduire l'hyperpression interne et les tensions fibrillaires. C'est l'élément majeur qui permet d'améliorer de façon qualitative et quantitative la réalisation des mouvements sans la moindre compensation ;
- Une solution thérapeutique en : récupérant les déficits d'amplitude, en orientant la cicatrisation des fibres après une lésion musculaire, en luttant contre les déséquilibres, en levant les tensions musculaires et enfin en éduquant et en responsabilisant les sujets ;
- Une solution dans l'amélioration des possibilités physiques avec deux types d'utilisation, soit de façon isolée en dehors de toute activité physique ou de manière intégrée dans des activités physiques et sportives ;

- Une bonne préparation et récupération des blessures face à l'effort physique en diminuant la visco-élasticité (ce qui permet un meilleur coulissage des fibres musculaires), en augmentant la température des muscles donc en instaurant une meilleure irrigation.

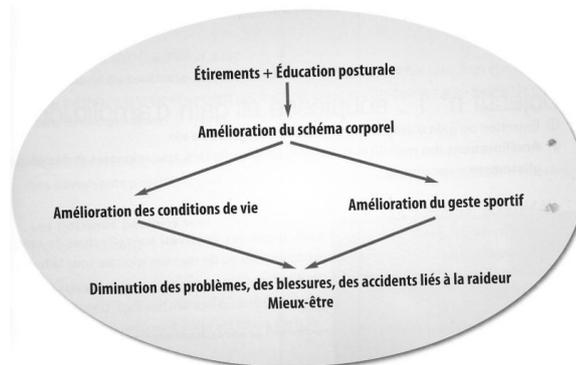


Schéma 5.6. Effets de la réalisation d'étirements sur appareil locomoteur selon C.GEOFFROY*(2014)

En tant que praticien clinicien, nous avons un éventail de techniques qui permettent de réaliser des étirements dans des conditions maximales d'efficacité. La base de ces techniques est caractérisé par le « contracté relâché », qui a pour objectif de parvenir à relâcher de manière analytique les muscles qui du fait de leur rétraction sont en souffrance permanente. Cela assure la récupération de la souplesse musculaire et tissulaire, nécessaire à la récupération d'une fluidité d'un mouvement indolore. Un groupe musculaire peut illustrer ce propos, c'est l'ilio psoas qui ici chez nos cavaliers novices et confirmés aura tendance à se rétracter à cause d'une part de la position de flexion de la hanche mais aussi par la tendance à l'accentuation de la lordose lombaire, qui de fait, aura tendance à rapprocher les insertions de ce muscle ilio psoas et donc à entraîner des processus de retractions. Nous proposons donc à titre d'exemple, une technique qui permettra dans un premier temps de lutter contre cette tendance à la rétraction et dans un second, aboutira à la récupération d'une souplesse à la fois musculaire, articulaire et tissulaire. Par cette technique, nous parvenons à relâcher de manière analytique ces groupes musculaires qui souffrent à cause de leur état de rétraction, ce qui nous permet de recouvrer une souplesse musculaire et tissulaire indispensable pour la réalisation d'un mouvement ample, fluide et indolore. Dans cet exemple, la levée de la rétraction de l'ilio psoas nous permettra une meilleure prise de conscience de la mobilité lombo-pelvienne, car cette dernière ne sera plus limitée dans son amplitude ; de même nous obtiendrons une libéralisation de la colonne lombaire compte tenu du fait que l'ilio psoas étant relâché, sa composante de traction antérieure sera moindre donc le contrôle postural immédiatement amélioré pour le cavalier.



Figure 5.2. Etirement de l'ilio psoas gauche selon BAILLET* (2015)

Cette méthodologie sera de la même façon reproduite pour chaque groupe musculaire que nous avons évalué comme étant rétracté. Mais, convenons tout de même qu'hormis l'aspect thérapeutique, qui fait suite à un état considéré par le staff médical comme étant pathologique, donc potentiellement en mesure d'altérer le comportement du cavalier et de fait aussi sa progression dans le travail, il est tout aussi fondamental d'envisager avec l'athlète un protocole spécifique selon les besoins et les circonstances, dans lequel les techniques d'étirement auront une place majeure.

Si nous devons résumer, il conviendrait de mettre en avant les techniques d'étirements musculaires comme moyen principal d'appréhender le cavalier, quel que soit son niveau de compétence et cela indépendamment de la présence plus ou moins hypothétique de situations pathologiques.

5.4.3.2.1.4 - Assouplissement des chaînes musculaires postérieures du tronc.

Nous avons vu que la caractéristique principale des cavaliers des groupes A et B est la projection antérieure du tronc qui entraîne automatiquement une réponse protectrice du plan musculaire postérieur, caractérisée par une activité motrice excentrique quasi permanente durant la pratique équestre. Il convient de garder à l'esprit que les chaînes musculaires antérieures et postérieures sont différentes:

- les chaînes antérieures possèdent un pourcentage plus élevé de "fibres rapides" à contraction dynamique. Elles favorisent l'impulsion et le mouvement ;
- Les chaînes postérieures possèdent un pourcentage plus élevé de "fibres lentes". Elles luttent contre la pesanteur et jouent un rôle de maintien de la statique du squelette. Leur opposition assure l'équilibre postural du corps. Nous avons pu constater que ce n'était pas le seul point délicat, mais il nous semble intéressant de cibler cette zone « conflictuelle » particulière, qui s'avère tout de même être le dénominateur commun de deux populations de cavaliers sur trois, pour mettre en avant notre schéma interventionniste prophylactique. Nous avons évoqué l'aspect analytique d'une partie de la prise en charge du sujet de façon à permettre une réponse la plus adaptée possible à des situations précises. Cependant, nous nous devons d'évoquer l'aspect global ou fonctionnel de l'individu où il sera important de considérer les actions de groupes musculaires synergiques ou bien même dans certains cas, la possibilité d'avoir des actions antagonistes.

Cette considération est évoquée par DUFOR* et PILLU* (2002) dans l'exposé des systèmes de chaînes musculaires.

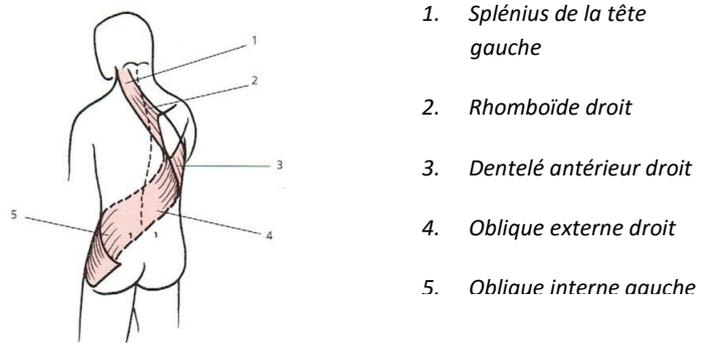
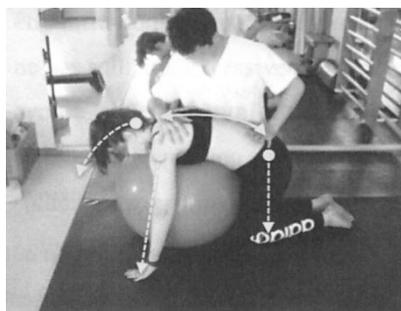


Schéma 5.7. Chaîne spiroïde du tronc selon DUFOR* et PILLU* (2002)

Au niveau du tronc, il existe des chaînes antérieure et postérieure qui s'inscrivent dans un schéma d'ouverture et de fermeture, avec une chaîne antérieure qui intègre les fibres verticales des muscles antérieurs du cou, du thorax et de l'abdomen, et une chaîne postérieure sollicitée dans les mouvements d'ouverture. A cela viennent s'ajouter les chaînes latérales qui comprennent les fibres latérales et verticales des muscles du tronc et qui répondent à des stimuli latéraux. Enfin, il faut rajouter à ce système, les chaînes croisées qui associent les muscles qui s'inscrivent dans une diagonale spiroïde enroulant le tronc de haut en bas selon LACOUR* (1999).

C'est pour toutes ces raisons qu'un muscle ne peut être abordé uniquement de façon individuelle pour le cavalier, car l'action équestre ne peut se satisfaire d'actions analytiques ; il faut que leur somme soit organisée globalement dans un esprit de fonctionnalité, faute de quoi, il n'y aura pas de synergie et donc absence d'efficacité au final. En effet, l'approche analytique ne saurait suffire à la prise en charge du cavalier compte tenu de la multiplicité et la complexité des tâches à assumer. C'est donc une prise en charge globale qui est envisagée sur le plan de l'assouplissement.



Figures 5.4. et 5.5. Assouplissement des chaînes longitudinales postérieures (à gauche) et de la chaîne croisée postérieure gauche (à droite) selon la technique de MEZIERES d'après Baillet* (2013)*

5.4.3.2.1.5 - Posture de mise en tension de la chaîne postérieure du tronc.

Le but affiché ici est différent de celui des étirements musculaires précédemment exposés ; il s'agit d'une ré-harmonisation morphologique qui est obtenue par la mise en tension de la chaîne statique postérieure et ceci dans les trois plans de l'espace. Nous devons nous assurer que l'allongement sera effectué en recherchant le fluage du système musculaire ; pour ce faire, il nous faut aller progressivement au-delà des limites d'élasticité des tissus. Outre l'élimination des points douloureux de fixation résiduels, cela nous permet de peaufiner une équilibration des tensions tissulaires.

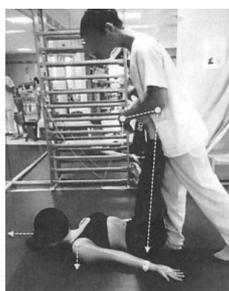


Figure 5.6. Posture globale en décubitus dorsal d'après Baillet (2014)



Figure 5.7. Posture globale en station debout dans eau d'après Baillet (2014)

5.4.3.2.2 - De la perception à l'utilisation du Corps.

Notre objectif principal dans ce suivi physiothérapique du cavalier est de lui permettre d'exploiter avec un maximum d'efficacité les effets de la position assise. Le travail postural, puisque c'est de cela dont il s'agit, implique autant le physique que le mental et c'est en cela qu'il est nécessaire d'avoir la participation pleine et entière du cavalier. Dans ce contexte, ce protocole doit donner la possibilité au cavalier de passer d'une situation de découverte (plus particulièrement chez le novice, voire le confirmé) à une situation d'utilisation, ce qui est le quotidien du Groupe C. Ce dernier n'est cependant pas le garant d'une utilisation maximale des capacités posturales rachidiennes mais les membres experts s'en approchent très fortement car au-delà des capacités physiques, ils bénéficient d'une faculté psychologique importante qui leur permet d'obtenir une adaptation posturale quasi permanente et en toute circonstance, et ceci grâce à une prise de conscience permanente de sa situation d'équilibre précaire par rapport au cheval ; c'est ce qui lui permet d'assurer le liant avec le cheval. Cette prise de conscience est particulièrement importante compte tenu de la pauvreté du dos en représentation motrice et sensitive.

5.4.3.2.2.1 - Prise de conscience du corps immobile

Le cavalier novice, et même confirmé, doit être en mesure d'appréhender au mieux son corps qu'il soit soumis ou non à des déséquilibres. Toutefois, avant d'aborder une maîtrise corporelle en dynamique, il est impératif d'y parvenir en statique. Pour y parvenir, notre rôle va être relativement basique, puisqu'il ne sera pas nécessaire d'appliquer une quelconque résistance, car le but recherché est une conscientisation de la correction posturale.

a) Prise de conscience de la verticale et des courbures physiologiques.

Il y a un réel besoin pour le cavalier de pouvoir se situer par rapport à la verticale et d'apprécier les courbures rachidiennes afin de parvenir à ajuster ces dernières en fonction des situations intrinsèques ou extrinsèques (comportement ou allures du cheval). C'est par des sollicitations axées sur l'auto-grandissement axial actif que le cavalier va apprécier la rectitude. Dans un premier temps, ce dernier va analyser le positionnement de son rachis dans les trois plans ; dans un second temps, une correction active est demandée, ce qui permet qu'en plus d'une prise de conscience, ce protocole aborde un travail du muscle transverse de l'abdomen dans sa mission principale d'appui hydropneumatique antérieur. Cela nous ramène à la notion des caissons thoracique et abdominal, qui implique une tonification maximale abdominale car le vieil adage populaire nous dit que « pas de bon dos sans abdominaux », ceci étant valable à la fois pour l'homme et pour le cheval.

b) Correction posturale segmentaire à visée globale.

Il est indispensable d'avoir un positionnement symétrique et adéquat des différents segments corporels pour obtenir une position équestre correcte. Grâce à des points clefs, le cavalier est déstabilisé dans différentes directions, ce qui va provoquer une correction consciente des segments déséquilibrés, ce qui au final aboutit à une stratégie de stabilisation globale. Le but ultime est de parvenir à l'automatisation posturale corrigée par une reconstruction active et consciente segmentaire sur le plan corporel.

5.4.3.2.2 - Prise de conscience du corps en mouvement.

Selon BUSQUET* (2000), les différentes mobilités de l'axe rachidien permettent aux unités périphériques d'exploiter au maximum les capacités d'orientation pour la tête, de déplacements pour les membres inférieurs et de capture dans l'espace en ce qui concerne les membres supérieurs, de façon fluide, avec un maximum d'économie et surtout indolore.

a) Prise de conscience de la mobilité lombo-pelvienne.

Chez les adeptes de l'équitation, les douleurs de l'axe rachidien amène à une limitation de l'utilisation de la mobilité lombo-pelvienne à tel point que des cavaliers arrivent à avoir une piètre perception de ces mouvements. Par conséquent, cette altération de la perception mobilisatrice amène automatiquement une diminution de la mobilité de cette zone. Bon nombre de sujets ont conscience de l'existence de cette région, ceci est dû au fait que le bassin est considéré comme le socle du rachis donc par conséquent, la notion de fixité lui est associée. De ce fait, l'objectif de notre prise en charge va constituer à faire prendre conscience aux sujets 1) de l'existence de cette entité fonctionnelle 2) de la possibilité mobilisatrice de cette région pour ensuite mieux en appréhender le contrôle et la correction. A l'aide de mobilisations passives, actives aidées et enfin actives pures, nous faisons en sorte d'amener le bassin en antéversion puis rétroversion sans oublier les inclinaisons latérales pures ou combinées à des rotations.

b) Prise de conscience de la mobilité rachidienne

La mobilité rachidienne chez le cavalier doit être synonyme d'indolence et de performance avec surtout une faculté d'adaptation optimale. C'est ainsi que les algies rachidiennes obligent aux adaptations posturales qui donneront priorité au confort mais en aucune façon à l'équilibre et à l'économie, mais c'est oublier qu'à l'instar du cheval, un rachis équilibré et économique dans la gestualité est obligatoirement confortable ; de ce fait les risques de compensations ou autres attitudes de défense chez le cheval deviennent très faibles. Le but de ce protocole est, pour le sujet, de parvenir à contrôler ses mouvements, dans un premier temps en analytique puis dans un second temps de manière globale afin de lui faire intégrer comme n'étant plus douloureux. Il les associe dès lors à des multiples possibilités d'exploration spatiale de son environnement quotidien. La progression ira classiquement des sollicitations localisées (à chaque étage) vers une mise en jeu rachidienne globale de façon à ce que le cavalier ait la meilleure perception possible de son schéma corporel.



Figures 5.8, 5.9 et 5.10. Exemples d'exercice de prise de conscience globale de flexion/extension en fondu et enchaîné et rythmé – BAILLET (2014)*

5.4.3.2.2.3 - Reprogrammation neuro motrice

L'élément principal qui active le développement neuromusculaire se situe au niveau de la capacité à équilibrer les rapports entre les différents groupes du tronc et des ceintures (scapulaires et pelviennes) au cours des activités équestres et cela en toute circonstance et quel que soit l'épreuve ou l'exercice effectué. Ce DNM sera un des paramètres analysables pour évaluer le niveau de compétences du cavalier par rapport au recrutement segmentaire au cours de ses évolutions sur le cheval. De plus pour VIEL* (1970) et DIAMANTIS* (2009), il amène à ce que le sujet ait une perception de plus en plus fine et précise de son image corporelle et qu'il s'en suive des réponses musculaires les plus adaptées possibles, à savoir précises, efficaces et indolores face aux exigences des gestes techniques à réaliser. C'est ce qui vient différencier les cavaliers novices des experts, car ces derniers ont la propriété affichée de posséder une image corporelle précise avec par voie de conséquence une capacité à l'ajustement de celle-ci particulièrement développée par rapport aux deux autres groupes.

a) Les voies neuro-motrices vecteur d'ajustement du schéma corporel

Par définition, ce que nous appelons « ajustements posturaux » est en fait, la résultante d'un ensemble d'actes moteurs permettant à tout moment d'adapter ou de maintenir une position quelles que soient les situations (avec ou sans sollicitation intrinsèque ou extrinsèque capable de venir perturber l'action concernée). Pour parvenir à la concrétisation de ces ajustements, l'organisme s'appuie sur des réseaux neuronaux posturaux qui, lorsqu'il y a déviance par rapport à la posture dite « idéale », agissent selon deux modes distincts : la réaction « post dérive » ou l'anticipation posturale, censée palier et réagir à cette « dérive ». Tout cela ne saurait fonctionner de manière autonome ou isolée, et est en étroite relation avec le tonus musculaire qui permet alors à l'appareil locomoteur de s'adapter à la situation et de s'orienter vers une posture dite idéale.

. Régulation et équilibration du tonus musculaire postural.

Une posture ne peut s'élaborer d'une part et se prolonger d'autre part sans participation active du tonus musculaire, qui en assure la préparation et la coordination ; c'est l'élément de base des activités posturales et motrices. Chez nos cavaliers, ce tonus musculaire s'avère être particulièrement différent selon les individus au point de s'interroger sur la relation entre niveau de compétences et tonus musculaire. Toujours est-il que la posture par définition, est régulée au niveau spinal par la boucle myotatique responsable des ajustements locaux. Considérant la nécessité pour le cavalier d'obtenir un équilibre constant et vigilant de l'ensemble des muscles du tronc, de façon à pouvoir en toute circonstance, s'adapter et adapter sa position pour conserver une attitude optimale capable d'engendrer une réaction la plus adéquate possible de la part du cheval ; c'est la relation réciproque qui a été développée par BIAU* (2007) où le cavalier s'adapte au cheval qui lui-même s'adapte au cavalier. Donc ici, nous aurons à cœur de cibler par exemple notre action sur un rééquilibrage des muscles posturaux du tronc afin d'obtenir une qualité d'ajustement postural la plus performante possible. Pour ce faire, le travail des muscles posturaux antérieurs (fléchisseurs du tronc) et postérieurs (extenseurs du tronc) constituera la base de notre prise en charge neuro-motrice. Il permet alors au cavalier d'avoir une régulation et un équilibre du tonus qui lui donnera la capacité de maintenir la station assise la plus pertinente possible avec un maximum d'efficacité et un minimum d'effets indésirables.



Figure 5.11. Travail des extenseurs du tronc – BAILLET* (2014)

. Contrôle de l'ajustement corporel par anticipation posturale.

Nous nous plaçons là dans une perspective future puisque le geste n'est pas encore réalisé mais il convient, pour y parvenir dans les meilleures conditions, d'adapter notre position en tenant compte des éventuelles contraintes qui viendront en quelque sorte parasiter notre action. Il s'agit donc d'une relation forte entre le mouvement volontaire ou intentionnel et la posture dans la perspective du geste à accomplir. Les mécanismes d'anticipation sont alors déclenchés avant l'exécution du geste susceptible d'engendrer une perturbation posturale. Nous sommes à ce moment précis dans un schéma prophylactique pur, qui laisse à penser que le cavalier expert aura cette possibilité d'anticipation, contrairement au novice qui subira l'action déstabilisatrice. Ces mécanismes d'anticipation, préparent l'appareil locomoteur du cavalier à une éventuelle ou hypothétique action perturbatrice et ne sont possibles qu'après un apprentissage de longue durée issu de la répétition gestuelle ; ceci est du domaine de « l'acquis », et donc soumis à la nécessité de répéter le geste pour parvenir à une automatisation parfaite, en opposition avec le domaine « inné ». L'objectif principal de ce protocole de travail est de parvenir à réduire la perturbation liée au mouvement sur le plan de l'équilibre et de l'orientation mais également de préparer ce même mouvement au niveau postural et de le suppléer en termes de force et de vélocité.

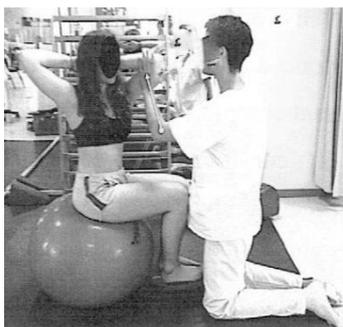


Figure 5.12. Déstabilisations rotatoires du rachis – BAILLET* (2014)

. Contrôle de l'ajustement corporel par réaction posturale

C'est à travers la qualité de la réponse musculaire, que nous allons également évaluer la bonne prise de conscience du verrouillage lombaire qu'il serait intéressant de voir travailler chez les cavaliers. Certes, la différence comportementale des cavaliers fait que son utilisation est à considérer de manière différente selon le type de sujet. La qualité d'ajustement postural du cavalier sera proportion-

nelle à la rapidité de réaction des réflexes posturaux. Pour augmenter leur vitesse de réaction, nous appliquerons des sollicitations déstabilisatrices de façon directe (sur le tronc ou les membres) ou indirecte via un artifice. Dans cette situation, nous souhaitons que les réponses aillent vers l'ouverture totale thoracique associée à une érection rachidienne, tout en conservant, malgré les aléas déstabilisateurs, un verrouillage lombaire et thoraco lombaire le plus performant possible. Cela va mettre en jeu ce que VAN GUSTEREN*, DE RICHEMONT*, VAN WERMESKERKEN* (1968) nomment la capacité à prendre conscience des réactions d'équilibration avec un point non négligeable, la corticalisation des ajustements posturaux en privilégiant à la fois les moins énergivores et les plus performants. A cela, viendront s'ajouter les exercices d'anticipation qui au final permettront d'obtenir un ajustement postural prophylactique, de grande qualité, à moindre coût sur le plan énergétique et en adéquation avec les actions envisagées par le couple homme/cheval.

5.4.3.2.2.4 - Ré intégration neuro moteur posturale et dynamique.

Pour terminer avec ce concept de prise en charge du cavalier, il nous faut envisager l'aspect dynamique, c'est-à-dire aborder l'appareil locomoteur dans une action motrice et non plus statique. Considérant donc le comportement du cavalier en action sur le cheval comme répondant à la notion de concept global qui met en action les chaînes musculaires, notamment au niveau rachidien, il nous semble cohérent de s'inspirer des techniques de facilitation neuro motrices de KABAT* décrites par VIEL* (1979) pour élaborer notre protocole spécifique à ce type de sujets. A ce titre nous allons donc solliciter les chaînes diago-no-spiralées. Grâce aux caractères neuro-sensitivo-moteurs et fonctionnels de cette méthode, cela nous donne la possibilité d'aborder deux composantes neuro motrices de manière simultanée. La première consiste en un réapprentissage musculaire d'une gestuelle adaptée avec des courses musculaires adéquates. Ceci permet d'aborder l'amélioration de la régulation de la contraction musculaire avec un maximum de qualité au niveau des mouvements. La seconde se concentrera sur la réintégration des réponses musculaires vers une position dite « corrigée » qui ici optera pour l'ouverture du tronc, le tout en adéquation avec les schémas moteurs fonctionnels. Cette double activité sera bien évidemment utile pour solliciter de manière sélective les différents groupes musculaires du tronc en fonction des particularismes de chacun vis-à-vis de leur constitution en fibres musculaires spécifiques (Fibre musculaire de Type I : force et vitesse de contraction faible selon BROOKE* et KAISER* (1970) – aérobie / Fibre musculaire de Type IIb : force et vitesse de contraction forte dite fibres blanches & faible résistance à la fatigue selon BROOKE* et KAISER* (1970) – anaérobie / Fibre musculaire de Type IIa : fibre intermédiaire dite fibre rouge, résistance moyenne à la fatigue).

5.4.3.2.2.5 - Mise en évidence de l'implication clinique de cette étude

En guise de conclusion, pour illustrer l'application médico-rééducation de cette étude et surtout pour mettre en évidence ce choix « clinique » pour cette thèse, nous aimerions vous présenter une conséquence directe de l'étude sagittale de la fonctionnalité rachidienne via les capteurs inertiels. Nous nous sommes aperçus, à posteriori, qu'un sujet du groupe C, c'est-à-dire des « experts » présentait un morphotype particulier puisque durant la marche, il affichait un angle $\alpha.2$ de 73 ° et que celui-ci se réduisait à 53° lors du passage à la station assise sur le cheval. Cependant, l'image virtuelle 3D nous a permis de constater la présence d'un spondylolisthésis stade 2 voire 3. Cette information fut communiquée au cavalier ainsi que le bilan BioVal® ; ceci a trouvé son utilité par le suivi médical qu'il s'est concrétisé car le sujet a bénéficié d'une part d'un programme de rééducation centré sur le tra-

vail du verrouillage lombaire avec sollicitation en délordose de la colonne lombaire puis en parallèle du renforcement du complexe lombo-pelvien par activation de la poutre composite. De manière concomitante, un avis chirurgical a été demandé de manière à envisager l'avenir à plus ou moins long terme de cette situation d'autant que ce cavalier se destine à une pratique de l'équitation, pour laquelle le spondylolisthésis est une contre indication majeure selon HUMBERT* (2000). Au final, c'est un arrêt de la pratique équestre qui a été décidé par le chirurgien, le pronostic fonctionnel du sujet étant compromis. Ce cas précis illustre parfaitement notre volonté initiale d'opter pour un regard « clinicien » pour notre thèse en privilégiant l'observation par rapport au traitement statistique des valeurs enregistrées par nos capteurs inertiels.

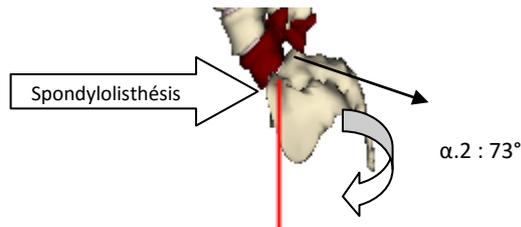


Figure 5.13 – Mise en évidence chez sujet « expert » d'un spondylolisthésis sur une antériorisation sacrée majeure 73°

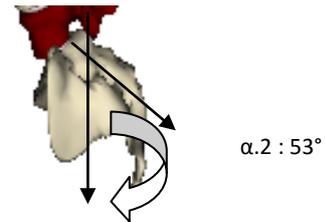


Figure 5.14 – Réduction de la verticalisation sacrée lors du passage en station assise sur le cheval.

Certes, ce spondylolisthésis aurait pu être mis en évidence par des clichés radiographiques mais la modélisation en 3D aura permis à l'ensemble de l'équipe médicale de juger, au regard du comportement dynamique rachidien, de la gravité de la situation et éviter à ce sujet de graves problèmes futurs. C'est en cela, que l'outil BioVal® peut s'avérer être une aide cruciale dans le comportement dynamique du rachis du cavalier. Dans l'absolu, il serait utile d'envisager (au moins pour les cavaliers de niveau national, c'est-à-dire, PRO Elite, de se soumettre à ce genre de tests en vue d'une meilleure prise en considération des facteurs de risques (sur le plan de l'appareil locomoteur) qui pourraient compromettre son intégrité physique.

5.4.3.3 - PRISE en CHARGE VENTILATOIRE.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, nous ne pouvons pas envisager d'appréhender le suivi d'un cavalier, juste par rapport à l'aspect orthopédique sans même avoir la moindre interrogation vis-à-vis des répercussions ventilatoires de sa posture rachidienne. Comme nous l'avons mis en évidence, par les enregistrements, les sujets des groupes A surtout (et B dans une moindre mesure) ont tendance à voir la cyphose dorsale augmenter de façon notable lors de la séquence équestre. Ceci aura donc pour conséquence, de placer le thorax en position dite « basse », c'est-à-dire en fermeture donc sur le mode expiratoire. A cela, il va s'en suivre une incidence majeure : le comportement ventilatoire restreint du cavalier qui l'handicamera lors de la pratique de ses activités équestres et qui ne sera pas sans lui poser des problèmes dans les situations délicates (type cross lors du CCE) où il aura besoin d'une ventilation ample et profonde. Nous sommes ici dans la configuration identique aux patients porteurs d'un syndrome ventilatoire restrictif, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un souci du contenant et non du contenu. Pourquoi ? Simplement par diminution de la structure thoracique qui en se plaçant en position de fermeture va diminuer tous ses diamètres et induire de fait une difficulté d'expansion donc par ricochet une grande difficulté à « faire entrer de l'air » c'est-à-dire qu'il sera très délicat pour les sujets d'effectuer des inspirations amples, longues et profondes donc efficaces.

Par voie de conséquence, cette altération de la capacité inspiratrice, va gêner le cavalier novice (mais aussi confirmé) car cela va diminuer sa possibilité ventilatoire en l'obligeant à en réduire l'amplitude, donc à voir une réduction du volume courant avec toutes les conséquences négatives que nous connaissons. Il faut se souvenir que le Dr FAVORY, évoque souvent les incidences de l'équitation sur l'appareil cardio-respiratoire car contrairement à ce que l'idée populaire qui prétend que le cavalier est totalement passif, seul le cheval étant l'athlète, les modifications tant sur le plan cardiaque que ventilatoire sont considérables. Pour BRIAND* et DEVIENNE* un cavalier standard confirmé qui présente une FC⁵⁸ au repos de 50/70 battements par minute (bpm) peut monter à 160/165bpm lors des galops et 165/180bpm lors d'un parcours de sauts d'obstacles ; même en dressage où tout le monde se plaît à dire que la discipline « n'est pas très physique », la FC sera de 165bpm. Notons la possibilité pour certains cavaliers, y compris chez les experts, de fonctionner avec des éventuelles apnées durant les épreuves. Ceci justifie donc pour FELLMAN* (date), la nécessité d'inclure, des phases spécifiquement consacrées à ces considérations cardio-respiratoires à l'entraînement avec un travail fractionné, en pyramidal avec FC à 140/150 bpm, à 50/70% de VO₂⁵⁹. Cela vient confirmer le handicap cardio-respiratoire des cavaliers novices. Concrètement, l'accentuation de la cyphose thoracique va donc diminuer le VC⁶⁰ ce qui va considérablement réduire les échanges *primo* ventilatoires et *secundo* respiratoires donc gazeux. Ici, la particularité sera donc le déséquilibre inspiration/expiration qui tend à évoluer vers 1/3 au lieu de 1/2 d'ordinaire. La perturbation du VC va perturber les échanges gazeux car le volume d'air vicié va avoir tendance à augmenter, ce qui se traduira par un moindre apport O₂, lui-même synonyme de mauvaise oxygénation tissulaire. Au niveau musculaire, il en résultera une moins bonne efficacité mais aussi et surtout une plus grande fatigabilité donc au final, la pénibilité sera accentuée ce qui impliquera pour le cavalier novice, une difficulté accrue à essayer de maintenir une posture convenable. Donc cette problématique vis-à-vis du maintien de la posture va compliquer la technicité du geste et cette dernière s'en trouvera altérée. Pour rompre ce cercle vicieux, la prise en charge des cavaliers sujets à cette augmentation de la cyphose thoracique aura deux axes majeurs : l'un orthopédique (analytique ou global) que nous avons vu précédemment et l'autre ventilatoire. Plusieurs pistes sont à envisager pour cette éducation ventilatoire pour certains ou rééducation pour d'autres. Premièrement, il nous importera de sensibiliser le cavalier sur le rythme ventilatoire avec d'abord en statique la réalisation de tout un protocole d'exercices, qui ensuite seront exécutés de la même façon à cheval. Principal objectif, ré-harmoniser le rythme inspiration/expiration en augmentant le temps inspiratoire filé puis fractionné et enfin contre résistance manuelle, ce qui nous permettra de faire une ventilation plus spécifiquement dirigée.

Compte tenu de la spécificité de la discipline équestre, qui est soumise à l'inter-action des deux entités, homme et cheval, il nous semble judicieux, de pouvoir faire travailler la ventilation du cavalier en mode « feed back » en utilisant pourquoi pas la spirométrie incitative qui aura le gros avantage de quantifier une progression, en plus d'analyser l'évolution des différents paramètres respiratoires (les volumes certes mais aussi les débits).

⁵⁸ Fréquence cardiaque

⁵⁹ Consommation Oxygène maximale

⁶⁰ Volume Courant

Tout cela pourra être ensuite couplé à un programme gymnique, type travail à l'espalier où nous chercherons en priorité à ouvrir l'un puis l'autre champ pulmonaire dans un souci d'expansion thoracique maximale. Cet aspect plus « quantitatif » de l'éducation respiratoire (c'est-à-dire parfaire musculairement parlant la capacité inspiratoire du cavalier en mettant l'accent sur un renforcement musculaire analytique précis des groupes musculaires inspireurs, principaux, mais aussi accessoires, qui ici peuvent être particulièrement touchés par l'enroulement des épaules) va être proposé ensuite de façon « qualitatif ». Là le sujet aura la possibilité de tester ses capacités ventilatoires, en maintenant un protocole d'exercices axé sur l'inspiration tout en étant sollicité par des « agressions » extérieures, le but étant alors de parvenir à poursuivre son programme sans aucune altération dans la qualité de sa réalisation. Après la phase statique, là encore, nous proposerons ultérieurement ces types d'exercices sur le cheval.

5.4.3.4 - PRISE en CHARGE PSYCHOLOGIQUE

Ce domaine qui n'est pas spécifiquement le notre mérite toutefois d'être évoqué car souvent l'échec de cavaliers novices se situe plus sur le terrain psychologique de la relation au cheval ou même encore de la prise de conscience du fonctionnement du couple homme/cheval. Le problème de position est en partie lié aux peurs du cavalier et notamment celle de tomber ou d'être déséquilibré. Parfois même inconsciente, elle verrouille certains axes articulaires, en particulier l'articulation coxo-fémorale, véritable clef de voûte du système. La problématique se situe donc sur le fait que dans l'absolu, le cavalier novice devrait accepter de lâcher prise dans son psychique, pour commencer véritablement un travail sur soi et sa posture. Cela nécessite pour le débutant d'avoir en tête l'influence de sa gestuelle et de sa posture sur le comportement de l'équidé. Chaque modification de position, de prise de rennes, se traduira de façon quasi immédiate par une réaction et un changement de l'attitude du cheval. Dans l'équitation, bien sûr, il y a une attention de tous les instants du cavalier pour sa monture mais n'oublions pas que la réciproque est de mise et en permanence le cheval sera à l'écoute des ordres, des gestes et des positions utilisés par le cavalier durant la séquence de travail. Enfin, l'élément principal selon nous, qu'il est indispensable de prendre en considération, c'est le risque de chute ! Il est inévitable, tous les cavaliers même les plus grands ont un jour chuté et il est important que le novice (comme les sujets des autres Groupes B et aussi C) ait de suite intégré le fait, qu'il se trouve sur un élément mobile qui contribue à accroître cette possibilité traumatique ; c'est pourquoi dans certains centres, il est enseigné très tôt, des « cours de chute » où l'enseignant dédramatise le phénomène.

5.4.3.5 - GESTION des RISQUES.

Paradoxalement, cette gestion des risques est peut être plus destinée aux cavaliers confirmés et même experts pour qui l'équitation est devenue parfois automatique (de la même façon que l'automobiliste conduit sa voiture sur le même chemin tous les jours pour se rendre au travail), ce qui conduit à une minimisation des risques. VIVES* (2009) mentionne que même si aucune relation n'a pu être envisagée entre le niveau de compétences et la fréquence des chutes, il n'en demeure pas moins que la gravité des blessures a été mise en évidence de façon significativement plus élevée dans les catégories élevées françaises. Il faut en déduire non pas que les experts sont moins prudents que les novices mais qu'au contraire, le niveau de difficultés imposé pour les épreuves de haut niveau est tel que le risque de chute est majoré, sans pour autant remettre en cause le niveau de compétences et la prudence des cavaliers. Parallèlement aux activités équestres pures, une étude menée conjointement

tement par la MSA⁶¹ et l'ENE a mis en évidence le caractère accidentogène des travaux autour du cheval, dans les écuries, dans les zones de soins aux chevaux. Dans cette optique, l'accent devra être mis sur l'implication physique du cavalier dans ces travaux quotidiens, réelle source d'accidents au quotidien. Il a été mis en évidence que les activités « péri cheval » sont sources d'accident. De même, ces tâches quotidiennes entraînent une dépense physique particulièrement importante, qu'il convient de prendre en considération afin d'éviter tout problème. Il est un exemple à méditer, celui de la variation du rythme cardio-vasculaire durant les activités autour du cheval pour le couple homme/cheval. Cela met en évidence que l'athlète n'est pas seulement le cheval.

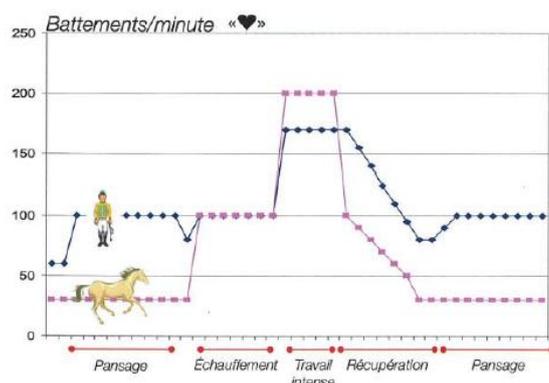


Schéma 5.8. Comparaison des FC du cheval et de l'homme dans un cycle de travail en écurie de galop, d'après MSA 49 et ENE (2012).

Pour cela, cette étude a montré qu'il est nécessaire d'avoir recours à une gestion des tâches, des risques, à l'issue de laquelle il sera important de prévoir une préparation physique et mentale. C'est aussi en cela que peut aisément aider notre étude, car pour chaque type de cavalier, avec la connaissance optimale de son comportement rachidien, l'approche « à pied » autour du cheval sera différente mais méritera d'être ajustée au plus près afin là encore de pouvoir optimiser le geste ce qui signifie obtenir un geste plus performant avec moins de dépense énergétique, donc économe.



Attendre d'être à cheval pour s'échauffer n'est pas suffisant pour réagir en cas de nécessité. C'est pourquoi les activités de pansage, curage, marche... sont primordiales pour s'échauffer dès le début du travail.

Schéma 5.9. Influence des tâches effectuées autour du cheval sur l'organisme humain selon l'étude conjointe de la MSA 49 et de l'ENE.

Ceci se traduira inévitablement par une longévité accrue grâce à cette gestion « économe » des gestes à accomplir à la fois sur le cheval mais aussi autour car garder sa santé est devenu un enjeu de carrière dans notre monde moderne, le métier de cavalier devenant de plus en plus exigeant à la fois

⁶¹ Mutualité Sociale Agricole

physiquement mais aussi mentalement. C'est pourquoi il est indéniable maintenant que la relation existe entre les capacités de maîtrise du cavalier et les performances de l'équidé.



Schéma 5.10. Activité physique humaine induite par le suivi d'un cheval (Etude MSA 49 -ENE)

CHAPITRE VI : DISCUSSION, PERSPECTIVES et CONCLUSION

6.1 - DISCUSSION de la METHODE d'ENREGISTREMENT

6.1.1 - PERTINENCE DU CHOIX DE LA METHODOLOGIE

Les précédents chapitres étaient consacrés à la description de la méthode générale utilisée puis des résultats obtenus pour justifier notre regard différencié sur la cinématique rachidienne en fonction du degré de compétences du cavalier. Ce sixième chapitre a pour vocation dans un premier temps de discuter de la méthode utilisée et des résultats enregistrés en termes de pertinence, de contribution scientifique et d'améliorations possibles ; dans un second temps, ce chapitre exposera les perspectives ouvertes par ce travail.

Notre but initial était de mettre en évidence le comportement différencié des cavaliers selon le niveau de compétences. En effet, même si des études telles que celles menées par AUVINET* (1971) ont montré une ébauche de réflexion par rapport à la différence d'utilisation du rachis au cours de l'exercice équestre, peu d'auteurs sont parvenus à quantifier les déplacements segmentaires rachidiens. GALLOUX* et BIAU* (2007) ont montré l'importance de l'adaptation du cavalier vis-à-vis de sa monture, mais aussi l'inverse. Alors que de nombreuses études se sont intéressées aux pathologies du cavalier issues de l'activité équestre, comme AUVINET* (1972) sur les lombalgies ou TEYSSANDIER* (2003) sur les rachialgies communes et l'équitation, ou encore la thèse de HUMBERT (2000) de manière plus générale, peu se sont intéressées à l'étude analytique du rachis lors de la pratique équestre. Les travaux de GIRARD* (1996) furent consacrés à l'étude de l'attitude et au fonctionnement du cavalier de dressage. Sur le plan purement biomécanique, FOUQUET* (1996) a travaillé sur le rachis lombaire alors que MORELLE* (1983) avait basé son travail sur l'étude qualitative des sollicitations vertébrales chez le cavalier, en fonction des variations de son centre de gravité. Même les travaux de GALLOUX*, AUVINET*, BIAU*, LACOUTURE* et JEDDI* en 1997 ont porté sur les adaptations biomécaniques du cavalier mais à notre connaissance peu ou pas d'étude ont porté sur le fonctionnement analytique du rachis avec quantification objective des déplacements globaux ou segmentaires. C'est en cela déjà que ce travail est novateur, puisqu'il ne peut pas se référer aux travaux existants en la matière. Notre choix s'est donc porté sur une étude tendancielle des déplacements du rachis uniquement dans le plan sagittal, compte tenu de l'omniprésence des références qui y sont faites dans la littérature notamment par rapport aux travaux de MÜSELER (1963) qui font encore référence aujourd'hui.

Notre objectif secondaire était qu'au sortir de ces séances d'enregistrement, en s'appuyant sur les données personnalisées, l'enseignant, le coach sportif, le staff médical et le dresseur de chevaux aient la possibilité d'adapter leur prise en charge respective du cavalier en tenant compte de la spécificité rachidienne mise en évidence par la comptabilisation des observations fournies par les capteurs inertiels. Tout ceci nous permet d'apprécier les propriétés spécifiques des courbures rachidiennes de chaque cavalier et c'est ainsi que les enregistrements ont révélé chez les novices une exagération de la cyphose thoracique, ce qui, si l'on se réfère à la notion d'axialité d'ensemble de PANJABI* et WHITE* (1980), sera compensé par une augmentation des autres courbures. Dès lors, il conviendra par exemple d'envisager un protocole de sollicitation musculaire des érecteurs du rachis puisque le

niveau maximal d'activité électro myographique se situe en Th6, sommet de la cyphose. PEACH* et coll (1998) nous indique, que ces muscles ont un rôle majeur dans la stabilisation, ce qu'il conviendra de prendre en considération. De même la méthodologie d'enregistrement rachidien (global ou segmentaire) via les capteurs inertiels nous a montré que le bassin avait, chez le groupe des experts, un rôle majeur dans leur posture avec la plus grande mobilité des trois groupes. Cela nous rapproche des considérations de KANAYAMA* et coll (1996) par rapport au rôle dictatorial du bassin « envers ce qui est sus jacent », c'est-à-dire que la mobilité du bassin influe sur les courbures rachidiennes, tout comme il a un impact sur les « éléments sous jacents » et notamment sur l'influence de l'équilibre corporel. Il nous importait donc, que ce travail puisse déboucher sur des applications quotidiennes et qu'il ne se cantonne pas à être simplement un élément expérimental en totale déconnection par rapport à la pratique quotidienne de l'équitation. Notre volonté première de proposer une étude à vocation clinique s'en trouvait donc confortée. L'autre aspect de notre méthode expérimentale, pour lequel notre choix s'est trouvé conforté a été la sélection de trois populations de sujets (novices, confirmés et experts) reprenant ainsi ce qui avait déjà été fait par GALLOUX* (1997) notamment. C'est pourquoi de suite, nous avons cerné quatre directions principales pour élaborer nos futures applications :

- la pédagogie ;
- le coaching sportif ;
- l'encadrement médical ;
- l'approche comportementale du cheval.

Quelque soit le champ d'application, le choix de notre méthode s'est trouvé conforté, par la praticité des enregistrements avec une observation simple, rapide et objective des valeurs enregistrées par les capteurs. Dès lors, avec la connaissance à la fois des données biomécaniques personnelles du cavalier et de son niveau équestre, il est plus pertinent d'envisager d'abord une tendance fonctionnelle, qui nous permet définir un profil-type, qui lui-même doit aboutir à un programme de suivi adapté à chaque situation, car comme se plaît à rappeler FAVORY* (2011) en parlant non pas d'une mais de plusieurs équitations, en fonction du niveau du cavalier et de ses attentes. L'attitude du cavalier en suspension lors de l'épreuve de cross du CCE avec des phases d'apnée sur les obstacles, avec un caisson abdominal (et thoracique) qui se doit d'être d'une efficacité maximale, avec une lordose cervicale exagérée pour respecter en cela l'horizontalité du regard (référence à l'automatisme oculocéphalogyre cher à DOLTO* (1976), repris par REVEL* et coll. en 1983). La réflexion peut également se poursuivre en intégrant la conséquence ventilatoire de la posture du cavalier selon son niveau, à savoir, qu'elles seront plus importantes chez le novice (et à un degré moindre chez le confirmé) que chez l'expert ; le premier nécessitera réellement une prise en charge spécifique à cet aspect ventilatoire, le second aura besoin d'une surveillance de la bonne coordination et synchronisation de tous les composants participant à cette action. Le simple fait de connaître les tendances générales du positionnement du cavalier sur son cheval va de suite permettre d'envisager un panel d'applications qui au final sont positives pour l'ensemble du couple homme/cheval.

Enfin notre dernier objectif était de montrer l'intérêt que pouvait représenter l'utilisation du système d'analyse et d'enregistrement du mouvement BioVal® dans un projet de recherche. Nous en avons l'expérience dans notre pratique quotidienne en kinésithérapie, et nous savions que le système était cohérent et qu'il était pourvoyeur d'une plus value appréciable au niveau de nos bilans diagnostics. Rajoutons à cela qu'il représente un atout majeur dans le domaine de l'évaluation fonc-

tionnelle, dans le monde de l'expertise (judiciaire, de partie ou conseil). Si nous pouvions scinder cette réflexion quant à la pertinence du choix de cette méthode, il conviendrait certainement d'évaluer les points positifs et ceux qui le sont moins de façon, à, pourquoi pas, envisager un nouveau protocole avec encore plus d'efficacité statistique dans l'analyse de nos résultats. Nous avons choisi d'utiliser la configuration classique avec quatre capteurs alors que RM Ingénierie propose une version plus élaborée avec l'utilisation de huit capteurs maximum.

6.1.1.1 – Aspects positifs de la méthodologie

Notre premier objectif était de mettre en avant la possibilité de réaliser, avec du matériel d'utilisation commune, une étude scientifique à coût réduit ; c'est pour cela que l'élément positif majeur réside dans le fait que le matériel usuel soit facile à transporter ; d'un encombrement réduit, il est opérationnel quasiment partout et peut, dès lors, participer à de nombreuses études de terrain. D'autre part, l'attrait de ce système BioVal® est qu'il est totalement autonome, sans fil donc entièrement indépendant d'une source d'énergie (hormis pour recharger les capteurs après l'analyse) ; ceci tranche beaucoup avec les systèmes optoélectroniques, dont la fiabilité est excellente, mais qui présentent l'inconvénient majeur de nécessiter un matériel volumineux, lourd, encombrant et d'une mobilité réduite. Ensuite, il nous fallait étudier la fiabilité de ce système, justement par rapport à ce côté réduit (miniaturisation à l'extrême des MotionPod™). C'est en grande partie ce qui a guidé notre raisonnement dans cette étude.

- L'élément novateur, sur le plan de la mesure du déplacement rachidien, a joué un rôle important, car jusqu'à présent les moyens d'en mesurer les déplacements dans l'espace, hormis le goniomètre traditionnel, étaient quelque peu limités. Les systèmes optoélectroniques nous permettaient d'apprécier les déplacements segmentaires rachidiens sans toutefois permettre une quantification nécessaire avec ce genre d'étude. C'est pour cette raison que nous nous sommes orientés vers cette technologie d'utilisation avec des capteurs inertiels sans fil. La littérature nous avait permis de constater la fiabilité des travaux effectués et le bien fondé de cette technologie, notamment les études de MARC*, GAUDIN*, TEISSIER* et BONNEL* sur l'épaule douloureuse. Ils étaient parvenus à valider l'utilisation des capteurs inertiels pour évaluer de manière analytique, répétitive et avec des opérateurs différents, les mobilités de l'épaule y compris le jeu scapulo-thoracique. De la même façon, nous nous étions appuyés sur les travaux réalisés à Genève et Lausanne par CUVELIER*, STERJNA*, DE COULON*, BERCHOLDT*, ALLET*, pour travailler sur la faisabilité de cette étude. Au final, la technique, quoique perfectible est séduisante.

- Un autre élément important à mettre au bénéfice de cette méthodologie réside dans la visualisation des résultats avec surtout la schématisation 3D du rachis. Cette dernière s'est avérée être un véritable miroir, capable d'un effet « feed back » pour les cavaliers qui, après coup, ont la possibilité de visualiser leur posture à cheval. L'expérience a montré que bon nombre de cavaliers, quel que soit leur niveau de compétence, avait une piètre représentation de leur schéma moteur (statique d'abord puis en dynamique ensuite) ; c'est ainsi que cette représentation 3D, revêt un caractère particulier puisqu'ils ont eu, pour la première fois, l'occasion de voir leur rachis « en action » avec leurs caractéristiques posturales. L'aspect « image » certes, mais aussi et surtout la possibilité de le visionner en mouvement impacte mieux les esprits et donne l'occasion aux différents cavaliers d'objectiver leur posture avec les points délicats à travailler ; c'est l'exemple idéal d'un travail en « feed back visuel » que nous utilisons classiquement en rééducation fonctionnelle. C'est cette application quotidienne

clinique qui nous a conforté dans le choix de cet outil car il nous importait que cette thèse soit quelque par le reflet de notre activité diagnostique kinésithérapique journalière ; en effet, dans notre postulat de départ, BioVal® avec lequel nous officions tous les jours, devait nous permettre d'objectiver des tendances comportementales, ce qui au final, fut le cas.

- L'autre élément positif appréciable est la « régionalisation » des résultats car ce système est en mesure de nous proposer au choix un enregistrement global du rachis ou une étude étage par étage en dissociant à chaque fois le comportement d'un niveau rachidien dans les trois plans de l'espace. Cette propriété spécifique de BioVal® nous a donné la possibilité de proposer pour la première fois, une observation quantitative des déplacements rachidiens étage par étage, ce qui jusqu'à présent n'avait jamais été envisagé. Les travaux de GUILBERT* (2012), avaient d'une manière globale et novatrice, mis en évidence la mobilité rachidienne avec un système optoélectronique, mais sans toutefois l'objectiver par une mesure angulaire d'une précision à 1° près. Cette sectorisation des enregistrements nous confère la capacité d'analyser vertèbre par vertèbre dans les 3 plans de l'espace, ce qui nous a permis ainsi de conformer l'axe rachidien élément par élément. Ceci a l'avantage d'offrir au final, une précision redoutable dans une schématisation structurelle particulière car il convient de se rappeler ce qu'écrit FAVORY* (2011) sur l'équitation « monter à cheval c'est s'adapter à un support animé en 3D », tout est dit...

6.1.1.2 – Aspects perfectibles de la méthodologie

Les évolutions qui seraient souhaitables pour cette méthodologie se situent plus dans un choix plus restrictif ou plus sélectif des cavaliers avec une répartition égale entre hommes et femmes, de manière à, d'emblée envisager une comparaison comportementale selon le sexe, ce qui n'a pas été réellement possible dans cette étude, même si certains résultats laissent présager un différentiel comportemental hommes/femmes. Ce panel assez large de cavaliers a été intéressant pour mettre en évidence la différence notable qui existe entre le comportement équestre des novices vis-à-vis des experts ; toutefois, le regret est que pour la catégorie intermédiaire, cette étude ne nous a pas apporté les éléments que nous espérions ; c'est pour cela que, si étude nouvelle il y avait, le mode de sélection devrait être revu.

Un autre point sur lequel des modifications pourraient intervenir est la durée de captation de 20s qui pour certains cavaliers s'est avérée un peu juste dans la mesure, notamment pour les novices, où le mouvement du cheval mécanique devant être intégré, cela a engendré un temps de latence réactionnel de 5s environ.

Enfin, il conviendrait pour une future étude d'associer le comportement de l'articulation coxo-fémorale car notre travail a mis en avant le rôle primordial que devait jouer la hanche dans la posture du cavalier, surtout chez les cavaliers experts pour qui le membre inférieur s'avère être particulièrement mobile. Pour ce faire, il faudrait se doter de plus de capteurs, 6 voire 8, de façon à prendre en considération l'ensemble du membre inférieur. Certes, cela aurait l'inconvénient de multiplier les valeurs, donc de complexifier la tâche d'analyse ensuite, mais cela aurait l'avantage d'étudier le positionnement de la hanche pour chaque cavalier (ce qui nous permettrait de faire un parallèle avec les travaux de KEEGAN* en 1953) et surtout du mode d'utilisation de celle-ci. Notre étude a montré un antagonisme flagrant entre le complexe lombo-pelvien figé des cavaliers novices (issu du placage des

membres inférieurs sur les flancs du cheval) et la liberté pelvienne maximale induite par la mobilité accrue des membres inférieurs chez les experts.

Enfin, il convient d'ajouter au côté perfectible de la méthodologie, le besoin de compléter cette étude de comptabilisation d'observations par une analyse statistique fine qui nous permettra d'envisager une comparaison plus juste des comportements rachidiens, alors qu'ici, nous nous sommes contentés de juxtaposer des tendances comportementales, au demeurant indispensables pour notre mission clinique.

6.1.2 - CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE

C'est sur ce point précis que cette étude revêt un intérêt particulier car jusqu'à présent aucune étude chiffrée n'avait été envisagée sur la cinématique rachidienne du cavalier. Certes au niveau de la hanche par exemple, KEEGAN* en 1953 avait mis en évidence la position d'efficacité maximale avec moindre contrainte des muscles ischio-jambiers dans la position assise. MÜSELER (1963) avait quant à lui différencié les différents type « d'assiette » du cavalier en indiquant ce qui selon lui était bon et moins bon. AUVINET* (1977) avait pour sa part défini une utilisation correcte du complexe lombopelvien chez le cavalier et en avait déduit les principales pathologies qui se rapportaient à la pratique équestre. Bon nombre d'auteurs ont travaillé sur la question de la position du cavalier et de ses incidences sur le rachis du cavalier y compris donc sur les pathologies que cela peut induire, mais à ma connaissance, aucune étude, n'avait eu la possibilité de quantifier le déplacement de l'axe rachidien, que cela soit du point de vue global ou segmentaire.

Ce point de vue peut être appuyé par une notion essentielle lors de la réalisation d'une étude scientifique : la reproductibilité. Considérant la primauté de ce travail, il était donc inconvenable de l'envisager sur le cheval « réel » compte tenu des éléments inconstants aléatoires, qui auraient pu exister. Ces derniers auraient été trop nombreux, pour donner une crédibilité aux enregistrements. Les paramètres intrinsèques au cheval combinés aux éléments extérieurs du terrain (conditions climatiques, qualité du sol, topographie du lieu de l'étude) ne nous permettaient pas d'afficher une reproductibilité suffisante pour être acceptable dans un travail scientifique. L'utilisation du cheval mécanique aura permis de palier à cet inconvénient méthodologique. Élément basique, car beaucoup moins performant que son collègue PERSIVAL de l'ENE, il n'en présente pas moins l'avantage d'avoir une fréquence et une amplitude de mouvements constantes, ce qui a contribué à fournir des résultats reproductibles (extrinsèquement c'est-à-dire quel que soit le cavalier mais aussi intrinsèquement c'est-à-dire quel que soit l'opérateur qui officiait). La précaution principale pour utiliser ce cheval mécanique était de s'assurer d'être sur un sol plan de façon à éviter toute attitude initiale compensatrice qui aurait pu exister du fait d'une différence de niveau.

Enfin, la pertinence scientifique de ce travail peut se matérialiser par l'étude comparative des tendances du comportement rachidien, d'une population de 47 cavaliers de niveau équestre différent, répartie en trois groupes, ce qui ne s'était jamais produit auparavant. L'intérêt vient de l'aspect disparate de la population de cavaliers, ce qui était souhaitée initialement, puisque notre volonté affichée était de parvenir à visualiser une différence comportementale de la colonne vertébrale entre les trois groupes. Les conditions de réalisation de ces enregistrements étaient identiques, hormis le fait qu'ils n'étaient pas effectués le même jour, sinon les caractéristiques techniques ont été les mêmes répondant ainsi en permanence à la notion de reproductibilité. Les erreurs de manipulation ont été

réduites au maximum dans la mesure où dès le départ nous avons fixé notre attention sur les déplacements du rachis uniquement dans le plan sagittal, ce qui au niveau des capteurs, ne suscitait pas de déplacement par rapport à la peau, si ce n'est qu'un éventuel mouvement d'éloignement et de rapprochement du capteur vis-à-vis de la peau ; ceci s'est avéré n'avoir aucune incidence sur les résultats obtenus. La perfection absolue de réalisation eut été d'utiliser un système invasif, ce qui nous aurait causé d'énormes contraintes tant sur le plan méthodologique, que juridique ; l'autre solution était d'utiliser un exosquelette ; cela avait été envisagé au début mais là encore, les risques de multiplier les artéfacts d'enregistrement nous semblaient plus élevés qu'avec les capteurs inertiels. Le but initial était de valider l'utilisation de capteurs inertiels chez le cavalier afin de disposer d'un outil fiable, peu encombrant, d'utilisation facile et permettant d'obtenir des tendances quantifiables et objectives facilement exploitables ensuite par les différents intervenants évoluant autour du cavalier.

6.2 - DISCUSSION des RESULTATS et de leur UTILISATION

6.2.1 - PERTINENCE DES RESULTATS

C'était la grande inconnue au début de notre parcours doctoral car si notre idée directrice initiale, le fonctionnement rachidien différencié selon le niveau de compétence équestre, était cohérente, les résultats espérés l'étaient un peu moins tant la méthodologie était novatrice. En effet, les contacts pris avec la société RM ingénierie nous ont confirmé que cette étude allait revêtir un caractère novateur car si le système BioVal® avait déjà été utilisé chez le coureur cycliste en collaboration avec l'équipe professionnelle COFIDIS, mais jamais il ne l'avait été dans d'autres sports, à plus forte raison dans le domaine équestre. Les résultats furent à la hauteur de nos espoirs puisque nous sommes parvenus à objectiver les tendances du comportement rachidien des différents groupes de cavaliers de façon globale mais aussi et surtout étagées. Nos résultats ont permis d'abonder dans le sens de la littérature par rapport à l'utilisation de ce qui est appelé « rein » en langage équestre notamment chez MÜSELER* et AUVINET* (1970) mais tout en nuancant le contenu, car si le fait que l'adaptation du cavalier s'effectue à travers la mobilité pelvienne, cela reste du domaine de la généralité, car nos enregistrements ont montré des variantes notoires. Pour ces auteurs, la description des trois modes d'adaptation pelvienne du cavalier met en exergue le rôle moteur du bassin et de ses conséquences sur la colonne lombaire. Or notre étude a apporté une variante à cela, car si la mobilité pelvienne ne fait aucun doute pour les cavaliers experts, cela est différent pour les confirmés, chez qui, l'adaptation au cycle du cheval se fait principalement par la variation de la lordose lombaire, le tout effectivement avec une mobilité du pelvis. Par contre pour les novices, la littérature mettait en avant le travail de la colonne lombaire comme seul élément d'adaptation du cavalier ; or nos observations nous ont montré que l'étagement lombaire est loin d'être l'élément le plus mobile chez ces sujets ; en effet, alors que la littérature nous décrit pour la position haute, une tendance à l'antéversion du bassin, ici chez les novices nous constatons que la tendance du sacrum est à la fixité en extension, associée paradoxalement à une extension de la colonne lombaire. Ceci est dû à la rigidité maximale issue des membres inférieurs, qui vient bloquer le jeu des articulations coxo-fémorales, figeant ainsi le socle pelvien du cavalier, lui ôtant toute possibilité de mobilité. A l'inverse, la fixité de l'axe vertébral des sujets experts, d'une part tranche avec l'extrême mobilité des sujets du groupe A, mais est en opposition avec la grande mobilité de la charnière lombo sacrée, la colonne lombaire, quant à elle, restant relativement stable.

6.2.2 - CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE

Notre contribution scientifique peut s'appuyer sur la variante d'appréciation du comportement du cavalier et de son adaptation en selle. Les résultats qui ressortent de cette étude viennent donner une appréciation particulière par rapport à ce que la littérature a pu nous enseigner. En effet, même si la tendance générale est confortée, l'analyse par capteurs inertiels sans fil nous a permis à travers la comptabilisation de nos observations, de quantifier les variations posturales. Si nous devons retenir quelques données qui viennent corroborer notre hypothèse initiale (qui voulait qu'il y ait effectivement une différence comportementale rachidienne en fonction du niveau de compétence), c'est à travers l'utilisation de la grande variabilité de la lordose lombaire qui caractérise le cavalier confirmé. Car au-delà de voir repérer quelque confirmation ou infirmation des grandes idées directrices de l'équitation, notre étude a permis d'apprécier de manière plus précise et surtout segmentaire le comportement dynamique du rachis, ce qui jusqu'à présent n'avait pas été envisagé. De plus, ces résultats ont pu être observés pour chaque cavalier de manière intrinsèque, c'est-à-dire que pour chaque sujet, nous avons étudié la dynamique de son rachis durant la marche, puis en station assise statique sur le cheval mécanique, puis nous l'avons apprécié par rapport aux deux positions initialement définies (position basse qui peut s'apparenter au 1^{er} temps du galop et position haute, synonyme de 3^{ème} temps du galop assis). Une fois cette observation individuelle réalisée, nous avons comparé les résultats au sein du même groupe de façon à extraire une tendance générale fonctionnelle et enfin, nous avons terminé, en la comparant entre les trois groupes mais dans les mêmes situations, pour à chaque fois, avoir un repère intangible. C'est finalement une évolution d'une tendance individuelle, puis intra groupe et enfin inter groupes qui a été ainsi envisagée. C'est cette possibilité multiple de comptabilisation d'observations qui est venue affirmer la pertinence de nos résultats, lesquels, viennent non pas modifier l'appréciation littérale de la position du cavalier mais permettent de les affiner et de les moduler en fonction du profil, de chaque individu : c'est *in fine* une contribution que nous pourrions envisager au plan scientifique. L'apport de cette étude peut être important pour l'abord didactique de l'équitation, puisqu'auparavant, la transmission n'était qu'orale et basée essentiellement sur le ressenti sans jamais avoir de référence quantitative affichée. Avec ce travail, il est clair, que l'instructeur qui a en formation des élèves (quelque soit le niveau) aura la possibilité au regard des différentes valeurs affichées par l'enregistrement BioVal®, de proposer un protocole de travail individualisé et en adéquation avec la cinématique rachidienne de chaque cavalier. Cette utilisation de l'enregistrement cinématique rachidien par l'utilisation de capteurs inertiels nous permet d'observer, avec quantification, la tendance comportementale propre à chaque groupe de cavaliers mais aussi de voir à chaque fois, l'élément majeur sur lequel doit porter le travail ; c'est ainsi que pour les débutants, l'accent sera mis sur la découverte et la prise de conscience de la mobilité du bassin, les confirmés devront eux travailler en priorité la libération des membres inférieurs, et enfin les experts, devront finaliser leur parcours équestre par une intensification de la recherche de légèreté du membre supérieur ; nous avons pu synthétiser l'ensemble, dans une schématisation qui reprend l'intégralité de ce concept. Par rapport à la littérature, notre étude a permis, en partant d'une règle générale, de définir en fonction du niveau de compétence équestre, le comportement rachidien spécifique à chaque type de cavalier ; cela n'avait jusqu'à présent pas été ou très peu abordé, par exemple, MÜSELER (1963) avait dans sa description des différents types d'assiette, élaboré un modèle et une constatation unique du comportement du complexe pelvien sans pour autant différencier le phénomène par rapport au niveau de compétence du cavalier.

6.3 - PERSPECTIVES

Suite à ce travail, différentes perspectives de recherche se présentent à nous ; c'est pourquoi, nous avons déjà envisagé trois axes futurs de travail, mais avant de les envisager directement, il nous semble impérieux de donner un prolongement immédiat à cette thèse avec cette fois, l'analyse statistique d'une population, pourquoi pas revue à la hausse (de façon à parvenir à traiter les informations d'une centaine de cavaliers, ce qui du point de vue statistique permettrait d'affiner nos conclusions). Passer d'une étude d'observations, qui était indispensable dans la mesure où ce travail avec des capteurs inertiels n'avait jamais été envisagé sur une population de cavaliers, à une analyse mathématique et statistique nous semblait dès le départ relativement cohérent dans la démarche intellectuelle. La première phase s'achevant, nous pouvons envisager la seconde avec des profils de cavaliers semblables aux précédents. Cette phase d'observation a été cruciale pour mieux appréhender le comportement rachidien du cavalier, du point de vue général et a répondu à notre attente initiale, dans la mesure où nous nous sommes aperçu que notre hypothèse initiale était fondée, avec réellement une tendance générale qui semble l'accréditer complètement. Ceci nous a donc permis de constater que chacun des trois groupes présente un fonctionnement particulier, ce qui d'emblée nous a conduit à dégager un profil-type spécifique à chaque population de cavaliers avec surtout en ligne de mire, un objectif spécifique vers lequel notre suivi devrait s'orienter. C'est en cela, que notre représentation schématique du cavalier (cf. « suivi sportif » en fin de chapitre 5) s'avère être pertinente, car en fonction des tendances définies pour chaque groupe, un profil-type de cavalier s'est dessiné puis *de facto*, un élément majeur s'est dégagé avec par exemple pour le groupe A : le bassin ; en effet, après avoir observé le comportement de la population novice, nous avons pu définir que la tendance principale de ces cavaliers se situait au niveau de la fixité du bassin, avec pour la plupart d'entre eux, une méconnaissance totale de la mobilité pelvienne ; c'est pour cela qu'il conviendra pour l'équipe pluri disciplinaire qui aura à prendre en charge ce type de cavaliers, de centrer les efforts, sur la prise de conscience de la mobilité pelvienne, faute de quoi, l'évolution dans l'acquisition de « la bonne équitation » sera vouée à l'échec.

. **1^{er} axe de travail** : vers une prise en considération du rôle du membre inférieur dans la posture du cavalier : Notre étude a laissé entrevoir l'importance du rôle de la coxo-fémorale dans la posture du cavalier et dans l'activation du cheval. Elle a mis en évidence chez l'expert la grande mobilité pelvienne qui influe directement sur la rectitude rachidienne. Dans cette optique, notre recherche future sera orientée vers le comportement de cette articulation de la hanche dans la posture du cavalier. Pour cela, nous nous attacherons les services de 2 capteurs supplémentaires maximum, ce qui nous permettra en temps réel de savoir si l'articulation proximale du membre inférieur a comme nous le supputons une action majeure chez le cavalier. Reprenant les travaux de BIAU* (2007) et de GALLOUX* (1997) sur l'adaptation du couple cavalier/cheval, cette étude va nous permettre de quantifier l'action de cette articulation car là se situe la particularité de notre moyen d'investigation : la capacité à quantifier la mobilité articulaire. Cela nous permettra d'analyser le degré de flexion de hanche usuel des différents types de cavaliers (novices – confirmés – experts) que KEEGAN* (1953) avait tenté de définir.

. **2^{ème} axe de travail** : vers une prise en considération de l'influence du type de selle dans la cinématique rachidienne du cavalier. Un autre point intéressant à étudier sera l'influence du type de selle sur le comportement rachidien du cavalier. En effet, chaque discipline ou presque possède un type

de selle particulier ; celle utilisée en dressage par exemple possède un troussequin particulièrement relevé, qui aura tendance en théorie à projeter le pubis vers l'avant, *a contrario* de ce qui est observé en saut d'obstacle, voire en endurance où la seule vocation sera d'assurer un confort optimal à la fois pour le cavalier mais aussi pour le cheval, car les épreuves (en international) se courent sur 160 km. Là encore, l'avantage de notre système d'enregistrement par capteurs inertiels sans fil, nous permettra outre la quantification des déplacements segmentaires déjà observée ici dans notre étude, de bénéficier d'une visualisation en 3D. Compte tenu de la perspective d'étude sus-citée, nous aurons à cœur d'y adjoindre l'analyse des hanches avec deux capteurs supplémentaires. Dans le même esprit que notre présente étude, l'intérêt sera de visualiser les zones sensibles du cavalier, pour lesquelles il conviendra de porter une surveillance des plus assidues. En connaissant précisément cet état, l'entourage des cavaliers aura la possibilité de prévoir un programme de préparation en parfaite adéquation avec la tendance cinématique rachidienne du cavalier. Ce travail pourra être un prolongement des travaux menés par le passé dans différentes conditions par GALLOUX* (1997) ou GIRARD* (1996).

. **3^{ème} axe de travail** : vers une prise en considération de la discipline équestre sur le comportement rachidien du cavalier. C'est un domaine qu'il nous tient à cœur, car si dans cette étude, nous nous sommes attachés à mentionner uniquement les disciplines équestres classiques (CSO, CCE, Dressage, Endurance voire Attelage), nous portons un intérêt majeur à pouvoir analyser la différence comportementale rachidienne qui peut exister chez le jockey de courses hippiques par rapport au cavalier de sports équestres. Bien sûr, l'attitude générale de ces deux sportifs est très éloignée mais il nous semble très judicieux d'analyser du point de vue cinématique, le comportement rachidien de chacun. Pour ce faire, il nous paraît opportun d'utiliser de nouveau le cheval mécanique de façon à rester dans une logique de reproductibilité des enregistrements. Pour pouvoir étudier de façon spécifique la cinématique rachidienne, il convient de pouvoir éliminer tout mouvement ou attitude compensateurs parasites ; c'est pourquoi le choix d'utiliser le cheval mécanique s'impose. Ce projet nous permettra d'envisager l'étude comportementale rachidienne dans les plans frontaux et horizontaux.

6.4 - CONCLUSION GENERALE

Ne dit-on pas que poser une question, c'est déjà y répondre !

L'ambition initiale de notre étude était effectivement de parvenir à mettre en évidence la différenciation comportementale rachidienne des cavaliers selon leur niveau de compétence équestre. En matière de cinématique rachidienne, peu de publications y font référence et notre interrogation fut de savoir s'il fallait ou pas s'inspirer des travaux existants ou s'en démarquer totalement au risque de heurter certaines consciences. Le parti fut pris de bousculer les consciences mais alors que pouvait-on proposer comme nouveauté pour cette étude ? La pratique quotidienne de la rééducation nous apporta la réponse par l'intermédiaire du système BioVal®. En effet, avec ce système d'analyse et d'enregistrement du mouvement, nous allions pouvoir donner un côté « clinicien » à cette thèse en adoptant un raisonnement qui est usuel dans nos cabinets : faire une étude de mouvements, puis en observer les mesures qui détermineront une tendance fonctionnelle globale ; cette dernière nous donnera la possibilité de définir un profil-type de chaque individu à partir duquel, l'équipe pluri disciplinaire qui a en charge le sujet pourra élaborer un protocole d'action en adéquation totale avec sa typicité. BioVal®, outil d'analyse et d'enregistrement du mouvement utilisant des capteurs inertiels

sans fil, possède l'avantage d'être autonome, pratique, peu encombrant, avec une utilisation validée scientifiquement et fiable (avec des mesures angulaires de 1 à 2° près). Adjuvant en service régulièrement dans nos cabinets, il s'est avéré être une mine d'informations dans ce travail de recherche. Il présentait un énorme avantage par rapport à ce qui était employé dans les travaux précédents : la visualisation et la quantification du déplacement vertébral où chaque élément osseux est étudié individuellement. Ceci nous permettait d'objectiver nos observations en les quantifiant, chose qui était difficilement réalisable auparavant. Ce travail trouvait dès lors sa finalité par les applications qui allaient en découler.

Notre priorité majeure était de parvenir à maîtriser la reproductibilité extrinsèque et intrinsèque des enregistrements, et il était hors de question d'envisager le cheval réel ; c'est pourquoi nous fûmes séduits par le cheval mécanique de P.KLAVINS, outil simple mais qui répondait à bon nombre de critères que nous avons pris en considération. Nous nous sommes ensuite attachés les services de 47 cavaliers (ou futurs cavaliers) intéressés par la démarche, qui ont été, répartis en trois groupes selon leur niveau de compétence équestre. Cependant, compte tenu de l'hétérogénéité de ces groupes, il nous a semblé judicieux de travailler avec les moyennes de la population de chaque groupe.

Notre travail a permis de passer en revue ce que la littérature équestre nous enseignait sur la position assise du cavalier ; en perpétuelle évolution, adaptation, elle a été décrite par certains auteurs, comme MÜSELER* (1963) qui a défini trois types de positionnements principaux sans tenir compte du niveau des cavaliers étudiés ; AUVINET* (1977) a dans les années 1980, de la même façon, travaillé à analyser entre autres choses, le comportement de la colonne lombaire du cavalier en s'appuyant sur l'étude de sujets issus de l'ENE ou du CADRE NOIR de SAUMUR. Tout cela nous confortait dans le souhait de pouvoir mettre en évidence, le comportement rachidien à travers le déplacement segmentaire de chaque élément vertébral.

Dans un deuxième temps, toujours dans la littérature, nous avons étudié, quelle pouvait être l'influence de l'équitation sur le rachis et son fonctionnement. Cela nous a conduit vers les travaux de BIAU* (2007) sur les pathologies du cavalier, TEYSSANDIER* (2006) sur les problèmes liés à la croissance rachidienne, ou encore ceux de GOUPIL* (1997), HUMBERT* (2000) et bien sûr ceux de FAVORY* (2011) qui répertorient les pathologies liées à l'équitation en fonction de la fréquence de survenue. Après un rappel de physiopathologie, nous avons dessiné les contours biomécaniques rachidiens du cavalier λ dans sa globalité.

Après avoir détaillé notre méthodologie dans un troisième chapitre, nous avons dans le chapitre quatre, pu mettre en évidence, les résultats de nos observations, en se remémorant d'une part, l'hypothèse initiale qui était de savoir si le niveau de compétence équestre influençait le comportement rachidien du cavalier et d'autre part, l'esprit même de cette thèse qui se voulait être la résultante d'observations mesurées. Certes ces dernières l'ont été, de manière ciblée (durant la marche, la station assise sur cheval statique, la position basse et la position haute) en les abordant *primo* à l'intérieur de chaque groupe puis en les comparants entre eux, mais au final, elles nous ont donné la possibilité de dégager des tendances au sein de chaque groupe de cavaliers. Tout ceci nous a donné l'occasion de dessiner un profil-type du cavalier novice, puis du confirmé et enfin de l'expert, à partir desquels il nous a été possible de tracer les grandes lignes directrices des futures applications de l'équipe pluri disciplinaire qui peut officier autour de ces sportifs. Certes, cela peut paraître limité

comme résultat, mais notre volonté initiale était claire, objectiver un comportement rachidien différent chez le cavalier et cela en fonction de son niveau de compétence. Que l'on ne se méprenne pas, loin de nous l'idée de confirmer ou d'infirmer tel propos ou telle théorie sur le positionnement du bassin ou tel autre sur le positionnement des épaules durant la phase ascendante ; non, notre volonté première, était de pouvoir, à partir d'observations, mesurées pour la première fois à l'aide de capteurs inertiels sans fil, établir des tendances comportementales rachidiennes, à partir desquelles, nous pourrions dresser le portrait type du cavalier. C'est ce à quoi nous sommes parvenus et le résultat est assez cohérent, même s'il demande à être affiné du point de vue statistique (ce qui sera réalisé en post thèse). C'est en cela, que notre représentation schématique du cavalier s'avère être pertinente car en fonction des tendances définies pour chaque groupe, un profil-type de cavalier s'est dessiné puis *de facto*, un élément majeur s'est dégagé.

Le cinquième chapitre nous a permis de détailler les différentes applications qui pouvaient émaner de cette étude et quatre ont retenu notre attention : pédagogique, médicale, sportive et relative au comportement équin. Un élément important est venu conforter la pertinence de ce travail dans le domaine didactique notamment, car depuis toujours, l'équitation est transmise uniquement à travers le ressenti des cavaliers, alors qu'ici il nous a été possible d'appuyer nos constatations sur des éléments chiffrés, visibles et tangibles ce qui, sur ce point s'avère être novateur. C'est ainsi que cette étude aura mis en avant l'intérêt :

- pour le cavalier novice d'axer le travail sur le développement de la perception et le développement de la mobilité pelvienne. En effet, après avoir observé le comportement de la population novice, nous avons pu définir que la tendance principale de ces cavaliers se situait au niveau de la fixité du bassin avec pour la plupart d'entre eux, une méconnaissance totale de la mobilité pelvienne ; c'est pour cela qu'il conviendra pour l'équipe qui aura à prendre en charge ce type de cavalier, de centrer ses efforts, sur la prise de conscience de la mobilité pelvienne, faute de quoi, l'évolution dans l'acquisition de « la bonne équitation » sera vouée à l'échec.
- pour le cavalier confirmé, de travailler à la libération du membre inférieur avec une sollicitation accrue des dissociations des ceintures. Nos observations ont permis de constater que les cavaliers du groupe B parvenaient à s'adapter aux sollicitations du cheval mécanique essentiellement par la variation de la cambrure lombaire ; ceci est la conséquence d'une grande fixité des membres inférieurs ; c'est pourquoi, l'accent doit être mis sur la libération de ceux-ci afin de permettre l'acquisition du « liant » cher au Général DECARPENTRY.
- Pour le cavalier expert, chez qui, à ce stade, il ne s'agit plus d'un apprentissage au sens littéral du terme mais plus d'un ajustement, mettre l'accent sur la recherche d'une liberté accrue au niveau des ceintures scapulaires, ce qui lui assurera une finesse du geste sur les rennes et par voie de conséquence sur la bouche du cheval. Autant, la capacité équestre de ces sujets est maximale autant l'accent sera ici mis sur la perfection du geste pour obtenir ce qui caractérise « l'équitation à la française », c'est-à-dire la légèreté. Cette dernière s'obtient, comme nous l'ont montré nos observations, par un dégagement de la ceinture scapulaire, qui va engendrer une extrême légèreté des membres supérieurs donc de la main. Cela trouvera sa conclusion dans la bouche du cheval, qui s'en trouvant respectée, permettra à celui-ci de te-

nir son équilibre (et non pas de se planter sur les épaules lorsqu'à cause d'un excès d'appui des membres supérieurs, le cavalier fait plonger sa monture, lui ôtant toute possibilité de mobilité et de légèreté).

Une discussion par rapport à la méthodologie et aux résultats a bien sûr été envisagée dans un sixième chapitre avec des axes de réflexion sur de futures études, lesquelles sont déjà en cours de réalisation (pour certaines d'entre elles).

Au final, comme nous le supposions initialement, le comportement cinématique rachidien est tributaire du niveau de compétence du cavalier et il conviendra alors à tout instructeur de l'intégrer, lorsqu'il aura pour mission de former à l'art équestre. Enfin, le prolongement idéal ou le rêve « fou » serait de pouvoir coupler à la fois l'enregistrement de l'appareil locomoteur du cavalier avec celui du cheval ; pour y parvenir, il conviendrait de pouvoir bénéficier d'une représentation schématique 3D équine. Alors seulement, il nous serait possible d'être totalement affirmatif quant à l'influence réciproque que peut avoir le cavalier par rapport au cheval.

Certes, comme dans toutes les études, d'aucuns pourront ne pas être d'accord avec les résultats obtenus, mais il s'agissait d'une « première » en la matière puisque ce genre de travail n'avait jamais été envisagé ; nous comprenons que le fait d'avoir utilisé le cheval mécanique peut en soi, être critiquable, mais il nous importait d'être irréprochable vis-à-vis de la reproductibilité intrinsèque et extrinsèque des enregistrements et il s'est trouvé que cet outil présentait un bon compromis ; de même avec le traitement des observations recueillies, il nous tenait à cœur de pouvoir à travers cette thèse poursuivre le travail accompli depuis maintenant 30 ans dans notre cabinet ; toutefois, une thèse devant, par définition vivre, nul doute qu'elle sera amenée à être utilisée pour appréhender LA problématique essentielle du cavalier, à savoir sa position à cheval. Quant à nous, ce travail nous a ouvert des perspectives qui nous étaient jusqu'alors inconnues et le simple fait d'évoquer la possibilité de donner une suite à cette étude, nous donne déjà grande satisfaction. Enfin, notre volonté de travailler avec un regard de clinicien s'est trouver renforcée par la mise en évidence via BioVal® d'un phénomène de spondylolisthésis chez un cavalier du groupe C « Experts » ; celui-ci ignorait totalement l'existence de tel problème et malheureusement (pour sa pratique équestre) ou heureusement pour son intégrité physique, cela a permis d'appréhender médicalement cet état de fait et d'en tirer les conséquences, qui pour ce sujet furent désastreuses puisqu'il s'est vu signifier l'arrêt total de l'équitation. C'est sur une note quelle que peu morose que nous terminons ce travail mais cela méritait d'être mis en avant car l'utilisation de pareil outil est aussi prometteur pour l'avenir dans le monde de l'équitation qu'il l'a été dans notre pratique kinésithérapique quotidienne.

GLOSSAIRE EQUESTRE.

1. **XENOPHON** : Philosophe, historien et chef militaire de la Grèce antique né à Erchia près d'Athènes vers 430 et mort vers 354. Esprit éclectique, il a beaucoup écrit, est à l'origine d'un des premiers traités d'équitation qui a longtemps fait référence dans le monde équestre : *L'Hipparque* ou *Le Commandant de cavalerie* est à un jeune officier devant prendre le commandement d'un corps de cavalerie athénienne, l'hipparchie. Disciple de Socrate à Athènes pendant trois ans, il a participé à l'expédition de Cyrus le Jeune en Perse en tant qu'hoplite puis stratège.

2. **AIDES** : moyens de communication dont dispose le cavalier pour établir un dialogue avec son cheval. Elles permettent de lui transmettre la volonté du cavalier et pour ce dernier, de sentir comment sont exécutées ses directives. Elles sont divisées en deux catégories : 1) Les aides naturelles sont les jambes, les mains, le poids du corps qui intervient par l'intermédiaire de l'assiette, la voix et le regard car il est dit que « le cavalier emmène son cheval du regard ». 2) Les aides artificielles sont représentées par la cravache ou stick de dressage, les éperons, les rennes ou la chambrière.

3. **EPAULES EN ARRIERE** : Position souvent demandée dans les centres équestres où le cavalier généralement débutant doit parvenir à projeter et à maintenir ses deux épaules en arrière de l'axe transversal du corps.

4. **ENE** : Ecole Nationale d'Equitation - S'est constituée autour du Cadre Noir de Saumur en 1972. Elle sous la tutelle du Ministère de la Santé, de la Jeunesse, et des Sports, elle agit de concert avec la Fédération Française d'Equitation, mais aussi avec le soutien indispensable des Ministères de la Défense et de l'Agriculture. Elargissant leurs missions originelles au sein de cette école qui succède à Saumur, à ses aînées militaires, les Ecuyers du Cadre Noir de Saumur, corps des professeurs de cette école, forment et perfectionnent les cadres supérieurs de l'équitation. L'Ecole accueille de nombreux stages pour les enseignants et compétiteurs français et étrangers, en étant le siège d'un des Pôles France Equitation et du Pôle Espoir. Un département « Recherche et Documentation » vient compléter cette institution qui avec le Cadre Noir et les Haras Nationaux forment maintenant l'organisme public appelé IFCE : Institut français du cheval et de l'équitation.

5. **GALOP ASSIS** : est un des différents de galop que le cavalier utilise dans sa pratique équestre. Ce dernier reste alors en permanence assis dans la selle à contrario des autres formes de galop.

6. **ETRIVIERES** : lanière de cuir, le plus souvent, qui unit l'étrier à la selle du cavalier. Elles s'attachent au niveau

7. **SAUT D'OBSTACLES, DRESSAGE, CONCOURS COMPLET** : Disciplines des sports équestres présentes aux Jeux Olympiques depuis 1924. Le *Saut d'Obstacles* ou *CSO* consiste pour le couple cavalier/cheval, à franchir des obstacles d'une hauteur variable selon le niveau d'épreuves (1m65 pour les Jeux Olympiques par exemple), le tout devant s'effectuer dans un temps imparti. Le *Dressage* consiste à exécuter des figures imposées dans un programme mémorisé par le cavalier sans puis avec musique, le tout se déroulant sous les yeux de 5 juges qui attribuent pour chaque figure une note comprise entre 0 et 10. Le *Concours Complet* ou *CCE* est une compétition qui comprend une épreuve de dressage, un cross c'est-à-dire un parcours en extérieur parsemé d'un certain nombre d'obstacles (plus ou moins naturels et d'une hauteur et largeur variable selon le niveau des épreuves) et enfin

pour terminer un parcours de saut d'obstacles (là encore hauteur variable selon le niveau des épreuves). Pour ces trois disciplines, est déclaré vainqueur le cavalier qui totalise le moins de point de pénalité.

8. **ASSIETTE** : Terme de base en équitation qui a une double signification, à la fois
1) statique lorsqu'il est désigné la surface d'appui du cavalier sur la selle qui correspond à la partie du corps du sujet en contact avec le cheval

2) dynamique lorsque l'on désigne la capacité du cavalier à se maintenir en équilibre sur le dos du cheval en toutes circonstances.

9. **Antoine DE PLUVINEL** : né en 1552 à Crest et mort le 22 ou 23 août 1620 à Paris, est l'un des précurseurs de l'école d'équitation française. Il part en Italie à l'âge de 10 ans pour travailler à l'Académie de Naples. Il rentre en France à l'âge de 20 ans et devient l'écuyer d'Henri III. En 1594, il fonde l'Académie d'équitation de Paris où il importe les techniques italiennes. Son académie constitue le premier foyer de l'école classique d'équitation. Il va adoucir les fondements posant les bases d'une équitation qui s'intéresse davantage à la "cervelle" qu'aux "muscles" du cheval. Il crée ainsi une règle simple : « *Il faut être avare des coups et prodiguer des caresses afin ... d'obliger le cheval à obéir et à manier plutôt pour le plaisir que pour le mal.* » À sa mort, il laisse une œuvre appelée "Le Manège Royale". Ce traité est écrit sous la forme d'entretiens à l'attention du jeune Louis XIII. Il ressort de son ouvrage deux principes fondamentaux : "*Le cheval doit être considéré comme un être sensible et intelligent*" et "*La psychologie du cheval ne doit pas être négligée*".

10. **Général LHOTE** : Général de division français, né en 1825, mort en 1904, il est Ecuyer en chef de 1864 à 1870. Il enrichit beaucoup la tradition française en lui donnant un style qui fit ensuite son originalité. Il retourne ensuite à Saumur comme général commandant l'Ecole de Cavalerie. Il est une des gloires de l'Equitation française, mais surtout de l'équitation de manège. Personne jusque là, pas même Baucher, n'a poussé cette équitation aussi loin et n'a obtenu de plus merveilleux résultats. Disciple et admirateur de Baucher dont la méthode fut proscrite dans l'armée, L'Hotte est resté un soldat discipliné. Mais pour ce qui est de la partie militaire, il ne se ménageait plus et fut un remarquable officier de cavalerie. Faisant la synthèse des travaux de Baucher et du Comte d'Aure qui s'opposaient, le Général L'Hotte fixa magistralement la doctrine de Saumur : "en avant, calme, droit". C'est à celle-ci, fondée sur la flexibilité des ressorts du cheval, que se réfère encore aujourd'hui, le Cadre Noir.

11. **POSITION A L'ANGLAISE** : Position que le cavalier adopte lors de la pratique du trot enlevé (voir ci-dessous). La caractéristique de cette position réside dans le fait que le cavalier ne doit pas s'élever de trop pour lui conserver un côté gracieux.

12. **TROT ENLEVE** : Un des aspects du trot, allure symétrique où les bipèdes diagonaux avancent alternativement. Ici, le cavalier, pour économiser sa monture et lui-même, adopte une activité qui lui permet d'échapper à une secousse sur deux. Le trot enlevé a été introduit en France par le général L'Hotte (1825 -1904) pour le soulagement des hommes et des chevaux de l'armée. Selon l'enseignement fédéral, "*le cavalier penche son buste en avant et décolle les fesses de la selle en prenant seulement appui sur ses étriers. C'est la poussée d'un bipède qui l'enlève de la selle. Le cavalier répartit alors son poids entre son talon et son genou. Il se rassoit près de la selle quand le même bipède re-*

prend contact avec le sol. " Le trot enlevé est surtout utilisé en extérieur. Dans le manège, lors des reprises, il n'est essentiellement pratiqué que pour détendre le cheval ou demander des allongements car l'assiette n'est assurée que pendant un bref instant. En effet, l'amélioration de l'équilibre au trot enlevé passe, entre autre, par l'allègement du temps assis, or le travail « indoor », est surtout axé sur l'amélioration de l'assiette par le trot assis.

13. **HYKSOS** : en grec ancien : Ὑκῶς ce qui signifie chefs des pays étrangers, formaient autrefois un groupe pluriethnique vivant dans l'Asie de l'ouest, et qui arriva à l'est du delta du Nil au cours de la seconde période intermédiaire. Ils chassèrent les dirigeants de la XIV^e dynastie, et fondèrent les XV^e et XVI^e dynasties d'Égypte (entre -1674 et -1548 av JC), et régnèrent sur la Basse et la Moyenne-Égypte durant plus d'un siècle. Traditionnellement, seuls six dirigeants de la XV^e dynastie sont appelés « Hyksôs ». Les Hyksôs introduisirent de nouveaux armements en Égypte, notamment l'arc composite, le cheval et le char.

14. **SUMERIENS** : **Sumer** est une vaste plaine comblée par le Tigre et l'Euphrate, une région de la Mésopotamie antique (actuel Irak), située à son extrême sud, bordant le golfe Persique. Le peuple sumérien, occupe cette région à la fin du IV^e millénaire av. J.-C. et durant le III^e millénaire av. J.-C. Cette période couvre plusieurs phases majeures de l'histoire de la Mésopotamie du Sud : la période d'Uruk finale (v. 3400-3100 av. J.-C.), la période des dynasties archaïques (v. 2900-2340 av. J.-C.), l'empire d'Akkad (v. 2340-2190 av. J.-C.) et la troisième dynastie d'Ur (v. 2112-2004 av. J.-C.).

15. **PTOLEMES** : La dynastie des Lagides ou dynastie des Ptolémées (ou ptolémaïque) est une dynastie pharaonique de l'Égypte antique, issue du général macédonien Ptolémée, fils de Lagos (d'où l'appellation « lagide ») qui règne de 323 à 30 avant notre ère. Elle correspond à la XXXII^e dynastie égyptienne.

16. **HIPPOBOTES** : Peuple de Grèce antique, de l'île d'Eubée au nord est d'Athènes, qui faute de bras, ont décidé de convertir les terres à cultiver en pâture pour nourrir les chevaux, d'où leur nom qui signifie « nourrisseurs de chevaux ».

17. **HERODOTE** : né vers 484 av. J.-C. à Halicarnasse en Carie (actuellement Bodrum en Turquie), mort vers 420 av. J.-C. à Thourioi, est un historien grec. Il est considéré comme le premier historien, il a été surnommé le « Père de l'histoire » par Cicéron, est l'auteur d'une grande œuvre historique, les *Histoires* — également appelée *l'Enquête* —, dont l'axe principal est ciblé sur les guerres médiques: Hérodote expose les causes de la guerre et fait de nombreuses digressions, appelées *logoi*, sur l'histoire, les coutumes et les pays des belligérants et de dizaines d'autres peuples tout autour de la Méditerranée, ce qui fait de lui un des précurseurs de l'histoire universelle. Par la réalisation de ses différents voyages, il est aussi décrit comme le premier géographe et a également participé à l'élaboration de la liste des Sept merveilles du monde . Il dit notamment de l'enceinte de Babylone (dans son Histoire) : « *Elle est si magnifique que nous ne connaissons pas une qu'on puisse lui comparer* », et à propos de Babylone : « *Cette ville, située dans une grande plaine, est de forme carrée ; chacun de ses côtés a cent vingt stades de long, ce qui fait pour l'enceinte de la place quatre cent quatre-vingts stades.* »

18. **ETRUSQUES** : du latin « *Etrusci* » sont un peuple qui vivait depuis l'âge du fer en Étrurie, territoire qui correspond à peu près à l'actuelle Toscane et au nord du Latium, soit le centre de la péninsule

italienne, jusqu'à leur assimilation définitive comme citoyens de la République romaine, au I^{er} siècle av. J.-C., après le vote de la Lex Iulia (- 90 av JC) pendant la guerre sociale. Ils furent les principaux adversaires des débuts de Rome. Les Romains les appelaient « *Etrusci* » ou « *Tusci* » et les Grecs les nommaient Tyrrhéniens ou Tyrsènes, c'est d'ailleurs le nom qui a été donné à la mer des côtes occidentales de l'Italie.

19. **ECOLE NAPOLITAINE** : C'est au XV^{ème} siècle dans le sud de ce qui sera plus tard l'Italie, dans les villes de Naples et de Ferrare, qu'apparurent les premières académies équestres de renom. Le royaume de Naples, à l'époque carrefour de plusieurs traditions, passé sous le contrôle des byzantins après la chute de l'Empire romain d'Occident, conservait l'héritage de la Grèce antique. Le royaume de Naples fut conquis par Alphonse V d'Aragon dès 1442. Les espagnols y importent l'équitation à la genette et le genêt d'Espagne concurrent du cheval napolitain. À cette époque en Espagne et au Portugal l'aristocratie pratique, dans les tournois, des combats contre le taureau nécessitant une équitation basée sur la vélocité et la maniabilité du cheval. Jusqu'au XIV^{ème} siècle, le cheval n'avait été utilisé que comme un instrument au service de l'homme. Le XV^{ème} siècle, va voir l'équitation créer une nouvelle forme d'expression avec la « réincarnation du mythe du Centaure » à Naples avec les seigneurs espagnols de la suite de Ferdinand d'Aragon qui offre offrent aux écuyers napolitains l'éblouissante vision d'une équitation dont la beauté égalait l'efficacité. Le regretté Michel HENRI-QUET* nous dit que la subtilité de quelques hommes conjuguée à l'adresse du cheval d'Espagne révéla les débuts de l'art équestre. C'est encore en Italie, sous la protection des grands ducs de Toscane que sera exploré le domaine de l'équitation formelle. Les académies napolitaines et florentines influençaient leurs voisines, particulièrement la France. Bénéficiant de vastes ressources, les académies de ces états atteindront leur plein épanouissement et deviendront une des expressions de la monarchie classique.

20. **HIUNG NU** : En chinois pinyin : *xiōngnú*, autrefois également transcrit en *Hsiung-nuou* **Hunnu** est une confédération de peuples nomades turcs vivant en Mongolie, en Transbaïkalie et dans le Nord de la Chine. Xiongnu est le nom que leur ont donné les Chinois dans l'Antiquité. Les Xiongnu entrèrent dans l'histoire en -245, à l'occasion d'un affrontement contre le royaume de Zhao. La Chine était alors divisée en royaumes en conflit permanent. L'unification fut l'œuvre du roi de Qin, qui prit en -221 le nom de Qin Shi Huang. À cette époque, les Xiongnu semblent avoir été gouvernés par un homme que les Chinois appelaient Touman . Ce nom propre était apparenté au turco-mongol *tümen* « dix mille » : ce serait à l'origine un titre militaire (général d'une armée de dix mille hommes) interprété comme un nom propre par les Chinois de l'époque. Les attaques que Touman lança contre la Chine motivèrent la construction de la Grande Muraille. Mais les Chinois adoptèrent également contre eux une stratégie offensive : les Xiongnu furent vaincus par le général Meng Tian en -214. Pour certains, les huns d'Attila seraient leurs descendants.

21. **HIPPOSANDALES** : Les Grecs et les Romains utilisaient parfois, pour protéger les sabots de leurs montures, des sortes de chaussures de fer appelées *hipposandales*, qu'on attachait au paturon (partie du pied du cheval juste au dessus du sabot) par des lacets. Elles étaient assez lourdes et gênaient les chevaux pour courir, si bien que leur emploi était limité à la protection des sabots lors des marches en terrain rocailleux. Elles ne pouvaient en aucun cas être portées en permanence. Malgré toutes ces précautions, les boiteries étaient extrêmement fréquentes. Hannibal, lors des Guerres Puniques, perdit ainsi une grande partie de ses chevaux lors de son périple italien. Alexandre le

Grand, lors de ses campagnes militaires en Asie, connut les mêmes problèmes ; de ce fait, il était très difficile pour un général antique de pouvoir compter sur sa cavalerie lorsqu'il se lançait dans une expédition militaire.

22. **SIMON D'ATHENES** : Auteur très peu connu, hippiatre grec antique du VIII^e siècle av JC. Il est l'auteur d'un traité d'hippologie « *Sur l'extérieur et le choix des chevaux* » dont il ne reste que quelques fragments et est considéré comme l'un des plus anciens traités équestres qui nous soit parvenu. C'est grâce à son disciple Xénophon qu'il nous est connu aujourd'hui.

23. **OLYMPIADE(S)** : est une unité de temps, constituée par la période de quatre années s'écoulant entre deux Jeux Olympiques. Elle est la base de la chronologie du monde grec à partir d'Alexandre le Grand. Au pluriel le terme Olympiades est synonyme de Jeux Olympiques. Les premières olympiades datent de 776 av JC. Les Jeux Olympiques, en grec ancien, οἱ Ὀλυμπιακοὶ ἀγῶνες (*hoi Olympiakoi agōnes*) se tiennent tous les quatre ans, les années paires, en alternant Jeux olympiques d'été et Jeux olympiques d'hiver : quatre ans entre deux éditions des Jeux olympiques d'été ou d'hiver et deux ans entre les Jeux olympiques d'été et ceux d'hiver. Originellement tenus dans le centre religieux d'Olympie, dans la Grèce antique du VIII^e siècle av. J.-C. au V^e de notre ère, les Jeux ont été rénovés par le baron Pierre de Coubertin en 1894 lorsqu'il fonda le Comité international olympique (CIO), les premiers Jeux olympiques modernes s'étant déroulés en 1896 à Athènes. Depuis lors, le CIO est devenu l'organisation gouvernant le mouvement olympique dont la structure et les décisions sont définies par la Charte olympique. Les Sports Equestres ont fait leur apparition pour la première fois aux JO de PARIS en 1900, absents des éditions de 1904 et 1908, ils réapparaissent en 1912 et font depuis toujours partie des disciplines olympiques. Jusqu'aux JO de LONDRES en 1948, seuls les hommes participaient puis les femmes ont été admises depuis les JO d'HELSINKI en 1952. Il est à noter qu'en 1900 aux JO de PARIS, pas moins de 5 épreuves équestres étaient présentes : saut d'obstacles, saut en longueur, saut en hauteur, chevaux de selle et attelage à 4 chevaux. Aujourd'hui seules 3 disciplines demeurent olympiques : Saut d'Obstacle (CSO), Concours Complet (CCE) et Dressage.

24. **ALLURES** : Définies comme étant les modes de déplacement du cheval. Trois sont classiquement décrites, le pas, le trot et le galop. Une quatrième peut être également évoquée avec le *Tölt*, allure spécifique au poney islandais à mi chemin entre le trot à l'amble et le galop. Au sein de l'appellation générique des allures, il existe différentes variantes au sein même d'une allure, c'est ainsi que l'on parlera de trot rassemblé, trot allongé, de canter pour un petit galop, de galop de chasse pour un galop un peu plus soutenu etc...

25. **TRIPUDIUM** : Allure utilisée dans l'Antiquité par les romains qui ressemblait à l'actuel *piaffer*, c'est-à-dire une allure où les membres antérieurs du cheval s'élèvent de façon importante avec une flexion des genoux (articulation intermédiaire du membre du cheval) et où les postérieurs s'élèvent de la même façon entre ayant au final une base de sustentation raccourcie.

26. **AMBULATORIUM** : Allure utilisée dans l'antiquité par les romains qui se rapprocherait de l'actuel *trot à l'amble*, c'est à dire que le cheval trotte en déplaçant alternativement les membres latéraux et non pas en diagonale. Il va par exemple avancer l'ensemble membre antérieur gauche/postérieur gauche puis antérieur droit/postérieur droit.

27. **CANTERIUS** : Allure utilisée dans l'Antiquité par les romains qui ressemblerait au petit galop appelé *canter* de nos jours où la vitesse n'étant pas élevée, le cheval pouvait parcourir des distances appréciables avec une moindre fatigue.

28. **NACERI** : est un célèbre traité d'hippologie rédigé en l'an 1333, par Abou Bakr Ibn Badr Eddîn Ibn El Moundir El Baïtar, à la demande du sultan mamelouk Mohamed Ibn Qalâoun, autrement appelé sultan Ennâcer (victorieux), d'où le nom de Naceri (relatif à Nacer). De tous les traités d'hippiatrique, le *Nâçerî* est probablement le plus connu, en raison de l'attention que lui a portée le docteur Perron qui publia, entre 1852 et 1960, trois volumes de commentaires de la traduction du manuscrit n° 2814 de la Bibliothèque nationale de France. Ceci devait apporter aux professionnels de l'époque les éléments appuyant une croyance déjà forte en la qualité des « vétérinaires » arabes. Le contenu du *Nâçerî* est divisé en douze exposés, chacun comprenant un nombre de courts chapitres allant de 10 à 71. L'auteur évoque tout d'abord les écrits à la gloire du cheval, puis il passe à la description des chevaux (morphologie, robe, comportement) et enfin, il traite de la pathologie équine et de la thérapeutique. Si les vétérinaires d'aujourd'hui reconnaissent quelque valeur au *Nâçerî*, et même quelque « subtilité » et « originalité » à certains des diagnostics et interventions qu'il propose (notamment par rapport à l'hippiatrie grecque ancienne), pour le reste, il s'agit d'un texte fort déroutant pour un lecteur occidental de ce début du XXIème siècle.

29. **HIPPIATRE** : L'hippiatrie est la science relative à la santé du cheval, incluant la connaissance des maladies des équidés et les traitements à leur appliquer. L'hippiatre est donc le praticien qui officie auprès des chevaux, c'est un terme qui était fortement utilisé autrefois et qui de nos jours est remplacé par l'appellation *vétérinaire équin*.

30. **FREDERIC II DE HOHENSTAUFFEN** : Frédéric II, en tant qu'empereur des Romains, est né en 1194 à Jesi près d'Ancône et mort en 1250, il régna sur le Saint-Empire de 1220 à 1250. Il fut roi de Germanie, roi de Sicile et roi de Jérusalem. Il connut des conflits permanents avec la papauté et se vit excommunié par deux fois. Le pape Grégoire IX l'appelait « l'Antéchrist ». Il parlait au moins six langues : le latin, le grec, le sicilien, l'arabe, le normand, l'allemand. Il accueillait des savants du monde entier à sa cour, portait un grand intérêt aux mathématiques et aux beaux-arts, se livrait à des expériences scientifiques (parfois sur des êtres vivants), édifiait des châteaux dont il traçait parfois les plans. De par ses bonnes relations avec le monde musulman, il mena à bien la sixième croisade — la seule croisade pacifique — et fut le second à reconquérir les lieux saints de la chrétienté, après Godefroy de Bouillon. Passionné de fauconnerie, qui en Europe, à partir du V^e siècle, était l'apanage des nobles et du clergé, il s'intéressa au cheval, élément central de l'équipage. Le cheval est, dès lors, omniprésent dans les représentations de la fauconnerie. C'est pourquoi il élabore un traité de chasse au faucon dans lequel le cheval tient une place importante, *De arte venandi cum avibus*.

31. **MONTE A LA GENETTE** (GINETA) : Introduite probablement au XIIIème siècle par les Zenetes, cavaliers de la tribu berbère des Bénumérines lors de la conquête arabe dans la péninsule ibérique. Etymologiquement, gineta provient du mot arabe zanâta qui signifie cavalier. Cette équitation d'essence orientale a été définie par le premier écuyer portugais, le roi Dom Duarte en 1434. L'équitation à la gineta s'oppose à l'équitation à la brida qui était pratiquée dans le nord de l'Europe

par les chevaliers chrétiens. Monter à la gineta consiste à monter à cheval avec des étriers chaussés courts.

32. **FREDERICO GRISONE** : Gentilhomme napolitain du milieu du XVI^e siècle, Federico Grisone est l'un des écuyers les plus célèbres de la Renaissance italienne. La réputation de l'Académie de Naples lui est due en grande partie. Il était, paraît-il, " doué de tous les avantages recherchés dans un cavalier , il est l'un des fondateurs de l'équitation italienne de la Renaissance qui est à l'origine des équitations européennes de cette période. Il était mentionné en son temps comme "le père de l'art de l'équitation". Son livre "*Ordini di cavalcare...*" publié, en 1550, traité d'équitation et d'embouchures en italien, a obtenu un succès prodigieux, et a eu de très nombreuses éditions dans toutes les langues de l'Europe. Il a été publié la première fois en français sous le titre "*L'écurie du Sir Frederic Grison...*" en 1559.

33. **DOM DUARTE** : Roi du Portugal et des Algarves, seigneur de Céuta, il possédait des qualités d'écuyer exceptionnelles pour son époque et peu connues aujourd'hui. Il fût l'aîné d'une fratrie qui se distingua au début du XV^e siècle par l'élévation de l'esprit, la curiosité intellectuelle et le courage physique. Comme son père Jean 1er, il avait un goût pour les activités cynégétiques et un don pour l'écriture de livres didactiques sur les pratiques sportives médiévales. La psychologie du cavalier est au cœur de sa pédagogie. Le cavalier doit travailler la maîtrise de soi. Il doit contrôler ses émotions et notamment la peur. Il nous offre une véritable typologie des situations d'anxiété vécues à cheval. Par ailleurs, il préconise un enseignement qui respecte l'élève. Homme très sensible et intelligent, il insiste sur la nécessité de tenir compte d'une part, du tempérament des chevaux que l'on doit maîtriser par la douceur, d'autre part de la psychologie de l'apprenti cavalier et de ses craintes : il faut dit-il louer plus et culpabiliser moins. Son écrit *Livro de Ensinança de Bem Cavalgar* est l'un des plus vieux écrits post-antiques connus traitant de l'équitation et de l'hippiatrie, il fût composée approximativement en 1434.

34. **HAUTE ECOLE** : Partie intégrante du dressage du cheval, est considérée comme l'aspect le plus abouti de l'Art Equestre. Elle donne au cheval la possibilité de montrer la grâce, la beauté, l'équilibre et la légèreté dans ses déplacements. Le maître mot est l'équilibre qui doit être parfait et l'expression de ceci doit s'afficher dans le rassembler et la légèreté. Longtemps l'apanage des équitations espagnoles et portugaises, la haute école a ensuite été (et est toujours) la base des écoles d'équitation à la française dont le Cadre Noir de SAUMUR en est le plus bel exemple.

35. **BYZANTIN** : Est le nom de convention donné par les historiens à tout ce qui se rapporte à l'empire de Byzance, à la partie orientale de l'Empire romain, issue du partage de pouvoir impérial au IV^e siècle entre deux empereurs, l'un régnant sur l'orient avec pour capitale Constantinople (anciennement appelée Byzance), l'autre sur la partie occidentale avec comme capitale Rome. Celui-ci subsistera presque mille ans de plus, jusqu'à la prise de Constantinople par les Ottomans en 1453 et la mort de l'empereur Constantin.

36. **BRIDE, FILET, EPERON** : La bride est un ensemble de lanières qui se place sur la tête d'un cheval afin de maintenir deux mors en place (le mors de bride et le mors de filet). Elle permet de combiner deux actions distinctes que sont l'action du mors de filet, ayant un effet "releveur", préserve un contact franc avec la monture, et l'action du mors de bride, ayant un rôle "abaisseur", qui permet de fermer l'angle tête/encolure et de faciliter la mise en main du cheval ou du poney. Le filet est un

ensemble de lanières, en cuir ou en synthétique, qui sert à maintenir le mors en place dans la bouche du cheval. Il est formé d'un ou deux montants (le montant du filet, auquel s'ajoute généralement le montant de la muserolle), d'un frontal, d'une sous-gorge et d'un mors. La muserolle empêche le cheval d'ouvrir sa bouche démesurément pour se soustraire à l'action du mors. La sous-gorge empêche le filet de passer par-dessus les oreilles, tandis que le frontal empêche la bride de reculer derrière les oreilles. L'éperon est un instrument de cavalier qui se fixe sur la cheville . Il s'agit d'une aide artificielle qui prolonge l'action de la jambe en la renforçant et en la rendant plus précise. L'éperon est utilisé dans chaque discipline équestre. Un éperon est formé de deux branches en forme de U avec une tige à sa base et maintenu par une courroie au niveau de la cheville du cavalier, sur la botte ou la chaussure.

37. **Cesare FIASCHI** : Né en 1523, est issu d'une famille de la noblesse de Ferrara en Italie. Il fonda une école d'équitation et publia un traité sur les mors et la ferrure en 1556. Il y décrivait en détail la bouche, les mors et les brides des chevaux. Les illustrations étaient nombreuses et parfois complexes en ce qui concerne les mors. Il y exposa également ses idées sur le dressage et l'entraînement des chevaux : il considérait que la voix et ses modulations de fréquence ainsi que les sons musicaux étaient des instruments efficaces pour pouvoir communiquer au cheval la direction que le cavalier veut lui faire prendre. La partie qui traite de la ferrure présente des gravures des différentes sortes de fers alors utilisés et des conseils et informations utiles pour les maréchaux-ferrants.

38. **Gianbatista PIGNATELLI** : Ecuyer italien du XVIème siècle, né à NAPLES en 1528 et mort en 1558. Issu d'une noble famille napolitaine fonde une académie à Naples, près de son palais dans le quartier de l'actuel musée national. Sa notoriété est telle qu'on y vient de l'Europe entière. Il eut comme élèves les écuyers français Salomon de La Broue et Antoine de Pluvinel. Avant lui, la forme du mors variait pour pallier les défauts de structure du cheval, il fut donc le premier à préconiser le mors le plus simple pour tous les chevaux. *«Si les brides avaient par elles-mêmes la propriété miraculeuse de faire la bouche d'un cheval et de le rendre obéissant, le cavalier et le cheval seraient habiles au sortir de la boutique d'un éperonnier»*. On lui attribue aussi, l'invention du caveçon ainsi que d'avoir lancé l'idée du travail au pilier (d'après ses disciples, affaibli par l'âge utilisait un arbre pour compenser son manque de force physique).

39. **Salomon DE LA BROUE** : Né en Gascogne en 1552 et mort vers 1610, est un écuyer français XVI^e siècle. Il est page dans la maison de Monseigneur le Conte d'Aubijoux qu'il suit aux armées, à la cour et ensuite il voyage à l'étranger, notamment en Italie où il devient l'élève du fameux écuyer Gianbatista PIGNATELLI, qui fut aussi le maître d'Antoine de Pluvinel. Il dit de son maître i qu'il *« rendoit les chevaux si obeyssans et manians si justement et de si beaux airs qu'on les a veus à son escole sans toutefois se servir communement d'autres mords que d'un canon ordinaire avec le caveçon commun. »* Il devient écuyer du duc d'Épernon et écuyer ordinaire de la Grande Ecurie du Roi. Il se décide, sur la fin de sa vie à écrire un traité d'équitation, *« Des Préceptes du Cavalerice françois »* (1593), fruit de sa longue expérience et de ses observations. C'est le premier traité d'équitation écrit par un écuyer français, mais non en français, car les traductions de Federico GRISONE et de Cesare FIASCHI sont antérieures à la publication de son ouvrage qui lui vaut, déjà de son vivant, une certaine célébrité. Introduisant le terme italien de *cavalerice* pour le différencier de l'*écuyer*, homme de guerre, il dépasse le modèle de ses prédécesseurs

presque exclusivement destiné au dressage du cheval de guerre. Il inaugure en France l'équitation académique et rejette l'emploi de la force et la contrainte.

40. **Antoine DE PLUVINEL** : Né en 1552 à Crest et mort en 1620 à Paris, est l'un des précurseurs de l'école d'équitation française, avec Salomon de La Broue. C'est âgé d'environ dix ans, qu'il est envoyé par son père, Jean de Pluvinel, en Italie, à Naples, où il va travailler dans l'Académie fondée par Federico GRISONE et dirigée par Gianbatista PIGNATELLI, jusqu'en 1571 ou 1572. À cette date, il rentre en France où il est présenté au roi Charles IX, par son premier écuyer, M. de Sourdis. Il a fait évoluer les techniques équestres utilisées en Italie à la fin du XVI^e siècle. Auteur d'un célèbre manuel d'équitation, *L'Instruction du Roy en l'Exercice de Monter à Cheval*, il forma Louis XIII et eut également comme élève Richelieu. Son enseignement se distingue en effet de celui de ses maîtres italiens par l'affirmation de deux principes fondamentaux :

- la psychologie du cheval ne soit pas négligée
- le cheval doit être considéré comme un être sensible et intelligent

41. **TRAVAIL AUX PILIERS** : Permet d'assouplir le cheval, d'abord sans cavalier et sans selle, puis avec une selle mais toujours sans cavalier et enfin parfait le travail dans les piliers doubles de son invention qui permettent l'abaissement des hanches. Ils sont encore utilisés à VIENNE, dans le manège de la célèbre Ecole Espagnole.

42. **AIRS RELEVES** : Sont des figures de dressage de Haute Ecole en équitation au cours desquelles le cheval quitte le sol, soit seulement au niveau de son avant-main, c'est-à-dire que les membres antérieurs se lèvent (« levade » ou « pesade ») soit en totalité (« balotade », « cabriole »...). Particulièrement techniques, ils sont enseignés et codifiés depuis la Renaissance. De nos jours, les académies d'équitation comme le Cadre Noir de SAUMUR et l'Ecole Espagnole de VIENNE les présentent en spectacle

43. **PESADE, CABRIOLE etc...** : Figures de dressage de Haute Ecole présentées dans les Académies équestres (Cadre Noir de SAUMUR par exemple) qui consistent pour :

- Pour la levade, le cheval se tient uniquement sur ses membres postérieurs en formant un angle de 35 degrés avec le sol. La pesade est plus facile (car le porte-à-faux est moindre), le cheval doit former un angle de 45 degrés avec le sol.

- Pour la croupade, le cheval rue de pied ferme, les antérieurs à l'appui, n'est pas classique. Elle n'est pas exécutée à Vienne. La « croupade classique » ou « groupade » étaient pratiquées à l'École de VERSAILLES et à VIENNE. Dans ce mouvement le cheval bondit en l'air et lorsqu'il est à l'horizontale, regroupe ses postérieurs sous sa masse en les mettant à la même hauteur que les antérieurs.

- Pour la cabriole pratiquée tant à SAUMUR qu'à VIENNE, le cheval au terre-à-terre, lève haut l'avant-main, quitte le sol par la détente de ses postérieurs et détache avec force une ruade, postérieurs tendus horizontalement imitant le saut du cabri. C'est le saut le plus classique conservé au Cadre NOIR.

44. **François ROBICHON de LA GUERINIERE** : Né le 8 mai 1688 et mort le 2 juillet 1751, est un écuyer français du roi LOUIS XIV, il dirige l'académie des Tuileries. Il écrit et publie en 1751, *l'Ecole de cavalerie* qu'il dédit au prince CHARLES DE LORRAINE, Grand Ecuyer de France. Cette œuvre est un traité d'équitation qui est composé de trois parties. Il traite tout d'abord des différentes races de chevaux et de la ferrure, de la selle et de l'embouchure. Une deuxième partie est consacrée aux principes essentiels de dressage des chevaux, tant pour la guerre, que le manège, la chasse ou encore le carrosse où il prône des règles d'équitation académique dont les fondements reposent sur un dressage en manège. Une dernière partie étudie l'ostéologie du cheval, les différentes pathologies de l'animal et leurs traitements ainsi que quelques notions de chirurgie comme l'opération de castration. Le livre est complété d'une notice sur les haras et d'un traité sur les tournois, les carrousels et les joutes. L'Ecole de cavalerie sera traduite dans plusieurs langues telles que l'italien, l'allemand ou encore l'espagnol. Son succès tient surtout aux conceptions propres à l'auteur sur l'art du dressage qui repose essentiellement sur la recherche de l'harmonie, de l'élégance et de la légèreté. Le seul procédé dont LA GUERINIERE s'attribue la paternité est l'« *épaule en dedans* » : le cheval ayant été arrondi sur un cercle quitte ce cercle par une tangente et se déplace ensuite parallèlement à lui-même, tout en conservant l'inflexion latérale acquise sur le cercle. Il accorde à cette leçon trois avantages : assouplir les épaules, préparer le cheval à se mettre sur les hanches et le disposer à fuir les talons. Il indique qu'elle est inséparable de la « *croupe au mur* » qui en complète les effets. L'épaule en dedans ploie beaucoup dans le faux-ploiment, tandis que la croupe au mur ploie peu mais dans le juste pli. Le dressage du cheval repose chez lui sur l'inflexion latérale obtenue sur le cercle, perfectionnée dans l'épaule en dedans, et sur son application jusque dans les airs d'école issus du rassembler : le piaffer et le passage.

45. **Philippe DU PLESSIS MORNAY**: En réalité **Philippe de Mornay, seigneur du Plessis–Marly**, également appelé **Philippe Mornay Du Plessis**, né en 1549 et mort en 1623 était un théologien réformé, un écrivain et un homme d'État français, ami d'Henri IV, qui fut l'un des hommes les plus éminents du parti protestant à la fin du XVI^e siècle. Duplessis-Mornay créera également à SAUMUR une « *Académie d'Équitation* », qui donnera naissance au XVIII^e siècle à l'actuelle École de Cavalerie de SAUMUR dont sera issu le CADRE NOIR.

46. **VERNET DE LA VALLEE** : Un des trois principaux écuyers de l'Ecole de VERSAILLES, par qui cette dernière acquies une renommée internationale.

47. **Monsieur De la BROUE** : Né en 1552, mort en 1610. Ecuyer français du XVI^e siècle, élève de G. PIGNATELLI. Il devient écuyer ordinaire de la Grande Ecurie du Roi et consacre sa fin de vie à rédiger un traité d'équitation « *des préceptes du cavalier français* ».

48. **Gianbatista PIGNATELLI** : Né en 1525 et mort en 1558, c'est un écuyer napolitain. Issu d'une famille noble, il fonde la célèbre Ecole Napolitaine d'équitation qui reçoit des élèves de toute l'Europe, tellement sa renommée est grande.

49. **William CAVENDISH, DUC DE NEWCASTLE** : Né en 1593, mort en 1676), 1^{er} Comte puis Duc de Newcastle, fut un soldat, politicien et écrivain anglais. William Cavendish, qui était également un grand maître d'équitation, écrivit à propos du cheval andalou : « *S'il est bien choisi, c'est le plus noble cheval qui soit; le plus magnifique qui puisse être. Il est fougueux, robuste et très docile; il a un pas*

très fier, un trot très fier... un galop altier, et c'est le plus affectueux et le plus doux des chevaux, le mieux adapté qui soit pour un roi au Jour de Triomphe. »

50. **EPAULE EN DEDANS** : Est, comme le disait Nuno OLIVEIRA, « *l'aspirine de l'équitation* ». C'est un exercice que le cheval voit très tôt dans son éducation et qui participera toute sa vie à son entraînement. Dans cet exercice, le cheval se déplace, vers son côté convexe, sur une ligne droite. L'attitude du cheval favorise sa décontraction et l'engagement du postérieur interne améliore son équilibre. L'angle optimal est obtenu quand le cheval marche sur 3 pistes. Ainsi, lors d'une épaulement-dedans droite (comme sur le 1er exemple), l'antérieur droit trace une piste interne, l'antérieur gauche et le postérieur droit sont sur une piste intermédiaire et le postérieur gauche sur une piste externe. Cet exercice est réalisé aux trois allures : pas, trot et galop.

51. **DESCENTE DE LA MAIN** : Relâchement des doigts sur les rênes qui s'allongent progressivement tandis que le cheval conserve son allure et son attitude. Cela permet de lui donner plus d'aisance et plus de liberté. La descente de main et plus généralement la descente des aides sont un principe de l'équitation dans la légèreté. Attention, la descente d'encolure a également été appelé « descente de main » à certaines époques.

52. **ECOLE DE SAUMUR** : Les guerres de la Révolution et de l'Empire ont certes confirmé la bravoure légendaire de la cavalerie française mais elles ont aussi révélé l'insuffisance de sa formation équestre. Les maladies contagieuses, la férocité des combats et la mauvaise qualité de l'équitation militaire de l'époque ont anéanti ses troupes. Au lendemain des guerres napoléoniennes, la cavalerie française est décimée. Dès 1825, pour reformer les troupes à cheval, une école de Cavalerie fut créée à SAUMUR avec pour mission de normaliser l'emploi du cheval de guerre. Face à l'urgence de cette remonte en cavaliers et en chevaux, on y constitue un corps d'enseignants composés de quelques grands écuyers, civils, issus des Manèges de VERSAILLES, des TUILERIES ou de SAINT-GERMAIN. Considérés comme l'élite de l'époque, ils forment des élèves officiers de cavalerie : c'est la naissance du CADRE NOIR de SAUMUR. Ce recours aux meilleurs écuyers de l'Ancien Régime ou de l'Empire assure à l'équitation de tradition française la continuité de la transmission orale directe de maître à disciple.

53. **Colonel Jacques D'Auvergne** : Est un écuyer d'équitation de tradition française, né le 5 juillet 1729 à Poulmery. Le Général L'Hotte le tient pour le « fondateur de l'équitation militaire française ». Il entre en 1744 comme élève du manège des Chevaux-Légers de la maison du roi. En 1756, il est nommé écuyer en chef de l'école militaire de Paris à laquelle il enseigne jusqu'à sa fermeture, en 1788. En 1827, l'un de ses anciens élèves, le Chevalier de BOISDEFFRE, dédie ses *Principes de cavalerie* à d'Auvergne. Il instaure une équitation simplement utilitaire, en abandonnant les assouplissements académiques pour adapter l'équitation aux seuls besoins des troupes à cheval. En même temps, il modifie la position du cavalier, militaire appelé à faire de longues chevauchées, qui doit rester naturelle et aisée. L'objectif de ce grand artiste est la recherche constante du cheval droit. Les manuscrits de D'Auvergne possèdent peu de développements mais plusieurs de ses élèves ont été les interprètes de ses principes : BOISDEFFRE, BOHAN et DUCROC DE CHABANNES.

54. **Antoine CARTIER, Conte D'AURE** : Célèbre écuyer français, né en 1799 et mort en 1863. Sous-lieutenant en 1815, il entre aux Gardes du Corps et fut détaché au Manège de Versailles où ses dispositions le signalèrent au célèbre D'ABZAC, alors Ecuyer en chef des Ecuries du Roi. En 1817 il fut

nommé Ecuyer cavalcadour de Louis XVIII. En 1830, il donna sa démission et fonda à Paris, rue Duphot un manège qui devint célèbre et il y adjoignit ensuite une écurie de vente et un cercle d'équitation. Le but du Vicomte d'Aure était de mieux faire connaître les ressources de l'élevage français, alors à peu près délaissé par le commerce de luxe et de suppléer par un dressage suffisant à l'absence de toute préparation au service, justement reprochée aux chevaux français. Il 1847, il fut nommé Ecuyer en chef à SAUMUR. En 1855, il fut nommé Commandant des Ecuries de Napoléon III puis Ecuyer de l'Empereur, et enfin en 1861, Inspecteur Général des Haras. Pendant son séjours à SAUMUR, fidèle aux principes de toute sa vie, il fut surtout, tout en pratiquant et enseignant l'équitation d'école, l'apôtre de l'équitation d'extérieur, développant le travail de carrière, encourageant les chasses et les courses. Il donnait lui-même l'exemple d'un entrain, d'une vigueur et d'une hardiesse qui sont restées légendaires. Mais ce qui est resté légendaires se sont ses démêlés avec BAUCHER, de la personne et de la méthode duquel il était l'ennemi. Il fut certainement l'un des illustres écuyers de son siècle mais il enseignait plus par l'exemple que par une exposition claire de sa doctrine et de ses principes.

55. François **BAUCHER** : Ecuyer français né à Versailles en 1796 et mort à Paris en 1873. A l'âge de quatorze ans il rejoignit à Turin un de ses oncles, écuyer du prince Borghèse. A la chute de l'Empire il revint en France et exerça sa profession au Havre et à Rouen. Il s'associa avec Jules PELLIER vers 1834 et se fixa alors à Paris. Il acquit alors une grande réputation en présentant au public, au cirque des Champs-Élysées, de 1838 à 1848, des chevaux admirablement dressés, « stupéfiant les spectateurs par la précision avec laquelle il les montait. » Mais la méthode n'avait encore pénétré dans l'armée que par quelques officiers isolés. Le Général OUDINOT fit envoyer à Paris le commandant DE NOVITAL, Ecuyer en chef à SAUMUR, puis 26 officiers de cavalerie qui suivirent le cours de BAUCHER. Enfin, en 1843, BAUCHER vint à SAUMUR où sa méthode, sous l'impulsion du commandant de NOVITAL fut alors enseignée. Mais une Commission du Ministère de la Guerre rendit un avis défavorable qui fut suivi d'une interdiction d'appliquer la méthode dans l'armée. Le professorat de BAUCHER fut toujours très suivi, mais en 1855 le lustre du cirque où il s'apprêtait à monter une jument lui tomba sur le corps. Il ne se représenta jamais en public et jusqu'en 1870, il continua dans les matinées à diriger le dressage des chevaux et l'instruction des écuyers. Peu d'hommes ont été aussi violemment attaqués que lui. On peut attribuer cette violente opposition à l'hostilité que rencontrent tous les novateurs, à l'attachement respectable que des hommes considérables comme le Comte d'AURE, AUBERT et autres conservaient pour leurs vieux maîtres et pour leurs doctrines. Vers la fin de sa carrière il a introduit dans sa méthode d'importants perfectionnements aux procédés qu'il indique pour atteindre l'idéal qu'il a toujours exprimé, en cela il fut vraiment un novateur. A l'heure actuelle, les traditions qu'il a laissées servent de base, en France et à l'étranger, à l'équitation savante, au dressage raisonné du cheval de selle. Presque tous les ouvrages publiés depuis s'inspirent plus ou moins, et quelque fois inconsciemment d'ailleurs, des principes qu'il a posés et des moyens équestres dont l'ensemble est connu sous le nom de Méthode ou Système BAUCHER.

56. **Baron DE SIND** : Né en Moravie en 1709, mort en 1776, se dit « allemand » écrivant en français, Colonel de cavalier, il est un admirateur entre autre de LA GUERINIERE, apôtre de la douceur dans le dressage des chevaux. Il publie en 1767, SIND, le « *Manuel du Cavalier* », qui renferme *les connaissances nécessaires pour conserver le cheval en santé et pour le guérir en cas de maladie*.

57. **Gustav STEINBRECHT** : Ecuyer allemand, né en 1808 et mort en 1885, il est très peu connu en dehors des sphères germaniques où il est considéré comme l'un des maîtres du dressage équin. **Gustav Steinbrecht** (1808-1885) est considéré comme l'un des maîtres de dressage . Son enseignement était basé sur la notion de rectitude « avant et droite » qui sera ensuite l'un des piliers fondamentaux de l'équitation allemande. Il a étudié la médecine vétérinaire à Berlin avant de passer huit ans lors du manège à MOABIT sous la du célèbre dresseur célèbre Louis SEEGER . C'est là qu'il a rencontré sa femme, la nièce de SEEGER. De 1834 à 1842, il a dirigé un manège privé dans Magdebourg , et est ensuite retourné à Berlin pour travailler de nouveau avec SEEGER. En 1849, il lui succède comme directeur du manège et commence à travailler sur un livre sur l'équitation. En 1859, il a acquis son propre manège à DESSAU, mais est revenu une fois de plus à Berlin en 1865, où il a continué à entraîner des chevaux presque jusqu'à sa mort. Son ouvrage a été publié à titre posthume sous le titre « *Le Gymnase du cheval* » en 1886.

58. **Maximilian Ritter Von WEYROTHER** : Fut un cavalier ainsi que le directeur de l'École Espagnole de VIENNE de 1814 à 1833. Cavalier, il est promu « Ecuyer en Chef » (*Oberbereiter*) dès 1813 à l'École Espagnole. Son grand-père, Adam WEYROTHER, lui aussi Ecuyer en Chef à l'École Espagnole, aurait eu des contacts avec François ROBICHON DE LA GUERINIERE à Paris où il voyagea fréquemment. Son père et son frère Gottlieb furent eux aussi Ecuyers en Chef dans cette école. Sous sa direction, l'École Espagnole devient la référence en termes d'école d'équitation au XIX^e siècle en Europe centrale.

59. **ECOLE ESPAGNOLE DE VIENNE** : En allemand « *Spanische Hofreitschule* », en Autriche, connue également sous le nom École Espagnole de VIENNE, est une école d'équitation internationalement reconnue avec LE CADRE NOIR de SAUMUR, l'ECOLE ROYALE ANDALOUSE de JEREZ et l'ECOLE PORTUGAISE de LISBONNE. Les chevaux qui y sont dressés sont uniquement des étalons lipizzans et les représentations publiques ont lieu dans le manège d'hiver (*Winterreitschule*) situé près du palais impérial de la Hofburg. C'est une sorte de hall garni de fenêtres et qui mesure 55 mètres sur 18 pour une hauteur de 17 mètres. Peint principalement en blanc avec quelques pointes de beige et de gris clair, il est décoré d'un portrait de l'Empereur CHARLES VI situé dans la loge impériale face à l'entrée d'où entrent les cavaliers. Les cavaliers ont par tradition le devoir de saluer le portrait en entrant dans le manège avant de commencer leurs figures. Centre reconnu du dressage équestre, l'école est également une des principales attractions touristiques de la capitale autrichienne. L'École Espagnole est située dans plusieurs bâtiments proches du Palais impérial de la Hofburg au centre de VIENNE. Les méthodes de dressage employées par l'école sont fondées depuis le XVIII^e siècle sur les écrits de l'écuyer français FRANÇOIS ROBICHON DE LA GUERINIERE, *l'École de Cavalerie*, publié à Paris en 1729-1730. Un mythe veut que les mouvements aient été développés pour aider les cavaliers lors des combats. En fait, l'apprentissage des mouvements avait juste pour but de muscler les chevaux pour les renforcer lors des combats car ils n'étaient pas employés lors des batailles. Les méthodes se transmettent au fil des temps de l'instructeur à l'étudiant. Les étalons arrivent à l'école à l'âge de quatre ans. Un entraînement complet dure environ six ans et est composé de trois enseignements fondamentaux:

- La *Remontenschule* qui apprend au cheval à bien marcher droit; à avoir une bonne démarche et à répondre correctement au cavalier.
- La *Campagneschule* qui apprend au cheval à diminuer ou augmenter la taille de ses pas, de réaliser des déplacements latéraux et on commence à l'habituer à la double bride.

- La *Hohe Schule* (« Haute École ») qui perfectionne la maîtrise du cheval dans ses gestes et lui permet de réaliser des pas plus aériens. On lui apprend diverses figures comme la pirouette, le passage, le piaffer, etc.

60. **Capitaine Frédéric CAPRILLI** : Né le 8 avril 1868 à Livourne et mort le 6 décembre 1907 à Pinero-lo est un cavalier italien qui a révolutionné le saut d'obstacle en inventant la position « en équilibre » qui permet de passer un obstacle avec un impact minimum sur le mouvement du cheval. Observant que les chevaux sautant naturellement (sans cavalier ni selle) se réceptionnaient uniquement sur leurs antérieurs et avec un mouvement de bascule, imagina une position qui leur permettrait d'avoir un mouvement naturel. La position en équilibre permet au cheval d'allonger sa foulée avant l'obstacle et au cavalier d'accompagner le centre de gravité du cheval au cours du saut. Cela permet au cavalier d'être léger dans sa main et d'accompagner le mouvement naturel de l'encolure (qui fait balancier et s'allonge nécessairement vers l'avant et le bas pendant le saut), ce qui rend le saut sans douleur pour le cheval et rend le franchissement de tous types d'obstacles (gués, droits, oxers, etc.) possible.

61. **ACADEMIE D'EQUITATION DE NAPLES** : Est la première académie de dressage classique, fondée par Federico GRISONE en 1532, elle devient le principal foyer de diffusion de l'art équestre à la Renaissance. Gianbatista PIGNATELLI la dirige un temps.

62. **MANEGE DE VERSAILLES** : fut le berceau de l'équitation savante française jusqu'en 1830. L'école de Versailles était composée de la petite et de la grande écurie. Les bâtisses construites par Jules Hardouin-Mansart et achevée respectivement en 1681 et 1682, avait été réalisées du côté est, de telle manière que l'on puisse ainsi admirer le parc et les bois environnant des fenêtres du château, qui se trouvaient du côté ouest. La grande écurie abritait les chevaux de guerre, de manège, de parade et de chasse. Elle était dirigée par le Grand écuyer de France, dit « M. le Grand ». Elle était composée de trois catégories d'officiers : ceux qui servaient quotidiennement, ceux des haras du Roi et ceux qui faisaient le service des cérémonies. Dans cette dernière catégorie figuraient les hérauts d'armes, les poursuivants d'armes, les porte-épées de parement et le corps des musiciens. La petite écurie abritait les chevaux d'équipage et les voitures qu'ils tractaient. Elle était dirigée par le premier écuyer, dit « M. le Premier ». Elle était composée des vingt écuyers servant par quartier, des trente pages et des vingt-quatre petits valets de pied, sans compter les cochers, selliers, palefreniers, postillons. Les grands écuyers de l'école préconisèrent donc une position plus souple et plus naturelle, avec une utilisation plus fine et plus diversifiée des aides. C'est à ce moment que naît la notion de *tact équestre*. L'équitation devient un art :

- Dégager « *l'équitation de toutes les superfluités, de toutes les inutilités en vogue au temps de Pluvinet* » (d'Aure).

- Rechercher « *la régularité et l'élégance de la position, la finesse des aides, la douceur dans l'emploi des moyens de domination* » (L'Hotte).

- Rejeter « *tout ce qu'en équitation le bon goût réprouve* ».

- Obtenir la perfection de la position du cavalier : "*Dans ce manège, les plus grands soins étaient donnés à la rectitude, à l'élégance de la position, à ce point qu'il suffisait de voir passer un cavalier sortant de cette école pour pouvoir dire : « C'est un élève de Versailles. » À cette époque, on disait : « Celui qui n'est pas bel homme à cheval ne peut, être bon homme de cheval. »* (L'Hotte).

63. **Général DECARPENTRY** : Né en 1878, mort en 1956, Ecuyer au Cadre Noir de Saumur, instructeur de nombreux grands noms de l'équitation, notamment Xavier Lesage, futur Champion olympique, qui disait de lui : « il travaillait tranquillement, sans esbroufe, sans vouloir étonner la galerie ». Il prend ensuite le Commandement en second de l'Ecole de Cavalerie de Saumur de 1925 à 1931, il développera une équitation axée sur la « recherche du maintien de la position de la main de bride », toujours à la recherche de l'impulsion et de l'abaissement des hanches. C'est, aujourd'hui encore, un classicisme de l'équitation. Elève fervent des théories de François Baucher, il écrivit un ouvrage « *Baucher et son école* ». Il fut de surcroît Juge International de dressage de 1930 à 1939 et il présidera jusqu'à sa mort en 1956, la Fédération Equestre Internationale (FEI).

64. **Capitaine Etienne BEUDANT** : né en 1863, mort en 1949, surnommé « l'écuyer mirobolant » par le Général DECARPENTRY, est un écuyer français. Il étudie l'équitation de FAVEROT DE KERBRECH puis devient officier de cavalerie à SAUMUR, dans la lignée de François BAUCHER. Durant sa carrière militaire, il s'illustre par le dressage de nombreux chevaux difficiles, que personne d'autre que lui ne parvient à monter. Il publie notamment au sujet des chevaux d'Afrique du Nord pendant sa période de service dans cette région. Devenu capitaine puis gravement blessé en 1917, il prend sa retraite à Dax en 1920. Il y dresse sa jument Vallerine jusqu'à ne plus pouvoir monter. Son talent est plusieurs fois remarqué par d'autres écuyers, contemporains ou non, notamment par son élève René BACHARACH, par PATRICE FRANCHET D'ESPEREY ou encore par le général DONNIO qui va jusqu'à le qualifier de « sorcier », tant il montre de maîtrise dans le dressage des chevaux.

65. **Capitaine de SAINT PHALLE** : Né en 1867, le marquis de SAINT PHALLE, issu d'une bonne famille, fit des études brillantes et fut reçu à la fois à Saint-Cyr et à l'École polytechnique. Il choisit Saint-Cyr et la cavalerie, sans doute par passion. Il conserva toutefois l'esprit mathématique qui le distinguait et qui est perceptible dans ses ouvrages. Travailleur acharné et cavalier orgueilleux, il n'admettait pas l'échec. Il fut alors affecté au CADRE NOIR comme capitaine écuyer. Il travaillait énormément, passait de longues heures en selle en dehors des reprises et de l'enseignement. Il montait et dressait de nombreux chevaux — surtout des juments — qu'il amenait aux airs de haute école et aux airs de fantaisie, comme le trot ou le galop en arrière et le galop sur trois jambes. Il consacrait également du temps à l'étude, prenait beaucoup de notes pour un nouvel ouvrage. En publiant une méthode à trente deux ans, il avait fait preuve d'une certaine assurance, qu'on ne manqua pas de lui reprocher.

66. **Colonel DANLOUX** : Né en 1878, il mourra en 1965. Il commence de bonne heure sa carrière militaire. Cavalier du CADRE NOIR de SAUMUR il se montre très doué. Il est avide de travail et veut aller toujours plus loin. Il suit l'enseignement d'un maître émérite le commandant Montjou écuyer en chef qui a lui-même été formé par le Général L'HOTTE. Il devient sous-écuyer en 1905 puis après avoir accédé au grade de colonel, écuyer en chef de 1929 à 1933.

Tout au long de sa carrière, il a montré un remarquable talent de cavalier faisant preuve d'un véritable esprit créatif. Aidé de l'officier italien ALVISI, il revoit, corrige et approfondit la méthode de la position à l'obstacle qui avait été mise au point par le capitaine Frederico CAPRILLI. Le principe de la monte en suspension, buste fléchi vers l'avant avait déjà contribué à soulager le dos du cheval pendant le saut mais la position du cavalier à l'obstacle restait un peu raide. Le colonel

DANLOUX parvint à résoudre ce problème en insistant sur la souplesse des articulations (théorie du Z) qui permet aux cavaliers d'amortir beaucoup plus en douceur les principales phases du saut. Pour faciliter cette position et renforcer la stabilité du cavalier, en collaboration avec ALVISI, il met au point une selle d'un nouveau genre avec des taquets plus prononcés et un siège plus creux. Cette selle qui porte le nom de son créateur restera longtemps le modèle de référence pour les selles d'obstacle et les selles mixtes.

67. LE CADRE NOIR DE SAUMUR : Est un corps de cavaliers d'élite français, instructeurs à l'École Nationale d'Equitation (ou ENE) près de SAUMUR en Maine-et-Loire. La doctrine du Cadre noir, fixée par le général L'Hotte au XIX^e siècle, est « le cheval calme, en avant, et droit ». L'équitation de tradition française, exercée principalement au CADRE NOIR, a été inscrite en 2011 par l'UNESCO sur la liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité. Jusque récemment, le Cadre noir s'appelait pour l'armée française « les écuyers du Manège de SAUMUR » : c'est le 21 janvier 1986 que le CADRE NOIR gagne officiellement son nom en devenant un organisme officiel. Jusque là, le nom n'était pas déposé ni protégé, seulement un usage : pour illustration, en 1986, l'école demande à deux entreprises locales de lui verser des subsides pour leur utilisation de ce nom, ce qui lui est refusé.

L'utilisation du surnom est ancienne, sa première mention remonte à 1900, où un chroniqueur de la revue *Sport Universel Illustré* utilise le terme de « CADRE NOIR ». L'usage militaire est officialisé par le Lieutenant-Colonel de Saint-André, Ecuyer en Chef de 1964 à 1972, qui fit son papier à en-tête au nom de « CADRE NOIR, l'Ecuyer en Chef » en lieu et place de « l'Ecuyer en Chef du Manège » ou « Manège, l'Ecuyer en Chef. Le Manège effectue une sortie officielle à Paris devant le président Jules Ferry en 1886, Félix Faure se déclarant « enchanté » de sa visite à SAUMUR en 1895. Les ministères, n'ayant pas de réelles nouvelles du fonctionnement du Manège, diligentent le ministre de la guerre, le Général ANDRE, pour une inspection qui s'avère tout à l'honneur des écuyers. La couleur bleue des uniformes est remplacée en 1898 par le noir, à l'initiative du chef d'escadrons de CONTADE. Le nom de « CADRE NOIR » s'impose alors comme nom d'usage.

À partir de cette époque, l'école est le cadre presque exclusif des instructeurs d'équitation de l'École de Cavalerie plus tard devenue l'École d'application de l'arme blindée et de cavalerie. Avant les années 1970, l'école de SAUMUR n'est pas une école d'équitation pure comme l'est l'École de VERSAILLES ou comme l'École de VIENNE. C'est une école de cavalerie, où le cheval est utilisé surtout à des fins militaires. Le CADRE NOIR devient civil en 1968. En 1972, l'École Nationale d'Equitation est créée par décret (elle doit l'édification de sa doctrine à l'influence de deux chefs d'école du milieu du XIX^e siècle) et il est rattaché au ministère de la Jeunesse et des Sports et commence à former les cadres enseignants d'équitation. Au milieu des années 1970, il est envisagé de supprimer le Cadre noir, « jugé anachronique, inutile et trop coûteux ». L'État développe alors sa vocation diplomatique et promotionnelle, qui lui vaut d'être sauvé

En 1984, deux femmes font leur entrée au CADRE NOIR : Florence LABRAM, lauréate du cours de formation des instructeurs, et Mireille FRANÇOIS, professeur au cercle parisien de « l'Étrier » Elles sont les premières femmes à pouvoir bénéficier de l'enseignement du CADRE NOIR.

Le 21 janvier 1986, le CADRE NOIR devient un organisme officiel et le nom apparaît pour la première fois dans un document officiel. Jusque-là, l'armée française le nommait « les écuyers du Manège de Saumur ».

Depuis 1989, le directeur de l'école a toujours été un civil. Depuis 2010, cette école fait désormais partie de l'Institut français du cheval et de l'équitation. Ses membres sont composés majoritairement de civils mais aussi de militaires, neuf écuyers en 2006. Depuis 1996, le CADRE NOIR est décrit comme « l'ensemble du corps enseignant de l'Ecole Nationale d'Equitation », ses membres sont sélectionnés sur leurs performances en équitation sportive et l'obtention du brevet d'état d'éducateur sportif du deuxième degré.

Les écuyers forment un corps de cavaliers enseignants et formateurs, experts en techniques équestres, auprès de l'École Nationale d'Equitation. Leur rôle principal est la transmission technique et théorique aux élèves-stagiaires de l'ENE, formant ainsi les futurs cadres, managers et enseignants civils des centres équestres. En parallèle de leur mission d'enseignement, les écuyers s'occupent du dressage des chevaux de l'école. De plus, ils tiennent un rôle de chercheurs de par leurs recherches et approfondissement des connaissances équestres.

Enfin, ils ont également pour rôle la tenue des événements et des représentations publiques, et participent aux compétitions nationales et internationales afin de contribuer au maintien et au rayonnement de l'équitation de tradition française et à la mise en valeur de leurs savoir-faire. Ils soutiennent et participent au développement du haut-niveau dans les trois disciplines olympiques: dressage, saut d'obstacles et le concours complet d'équitation. Ils s'impliquent également dans la formation de l'équipe de France de Handisport.

Le ministère de la Défense nationale détache 7 militaires pour intégrer le corps des 43 écuyers, c'est le ministre des Sports, après consultation de son homologue de la Défense, qui nomme l'écuyer en chef. Fin 2011, les écuyers du CADRE NOIR sont quarante, parmi lesquels trois femmes. Ils revêtent la tenue noire, avec laquelle l'écuyer en chef leur remet aussi une cravache à trois viroles qu'ils sont les seuls à posséder.

68. AVOIR DU LIANT : C'est ce qui permet au cavalier d'accompagner sagement et en toutes circonstances les mouvements de son cheval .C'est donc à la fois de la souplesse, de la décontraction, de l'assiette et de la fermeté, et c'est une qualité qui s'acquiert progressivement. BEPA Activité Hip-pique donne la définition suivante : « cavalier souple et en parfait accord avec sa monture »

69. AVOIR LE GENOU FIXE OU PAS : La fixité de la jambe doit avant tout venir du relâchement de celle-ci. Le relâchement ne peut s'opérer que si le buste est en équilibre au dessus d'un bassin bien orienté, c'est à dire, tous deux dans la posture qu'ils ont chez le piéton. Une fois cet équilibre installé, les jambes ne servant plus à rétablir justement un quelconque déséquilibre, les hanches peuvent s'ouvrir, les adducteurs se décontracter, permettant ainsi aux cuisses et aux genoux de descendre, et de se rapprocher de la verticale. Il faut ensuite lâcher l'articulation du genou et laisser la jambe descendre. Il ne reste plus qu'une dernière partie du corps à relâcher qui n'est pas la plus facile : c'est l'ensemble cheville- pied- orteils. En effet, le cavalier passant plus de temps à marcher qu'à monter à cheval, il lui faut lutter contre le réflexe de contraction de cet ensemble, contraction qui contribue efficacement au fait de marcher. Si la décontraction est totale, la jambe dans sa

totalité “tombe” de tout son poids sans retenue aucune, poussant le talon vers le bas, mouvement permis par une cheville souple et des orteils complètement neutres. Ce relâchement de la jambe vers le bas obtenu par la maîtrise de la décontraction des différentes articulations et grands groupes musculaires assure donc quasiment entièrement la fixité de la jambe au pas et au galop.

70. **GUES, DROITS, OXER** : Différents types d'obstacles qui sont rencontrés dans les disciplines du CSO et CCE. Le gué est un passage d'eau à franchir, le droit est un obstacle vertical tandis que l'oxer est caractérisé par sa grande largeur.

71. **MICHEL HENRIQUET** : Né en 1924, mort en 2014 est un cavalier français de dressage. Il est un spécialiste reconnu du cheval ibérique. Président d'honneur et fondateur de l'Association française du cheval lusitanien, il a contribué à la redécouverte des chevaux ibériques dans les années 1960, par ses articles, ses ouvrages et ses dressages. Vice-président de l'Association pour La légèreté en équitation (Allege-Ideal) fondée en 2002 avec le colonel Christian CARDE, ex-Ecuyer en Chef du CADRE NOIR de SAUMUR, et le grand champion d'obstacle, Jean d'ORGEIX. Il est également le fondateur du mouvement pour la restauration de la Grande Écurie du Château de VERSAILLES et le vice-président de l'association pour l'Académie d'art équestre de VERSAILLES. Les fondements de sa doctrine sont de rendre le plus abordable et le plus clair possible un ensemble de concepts et de moyens d'exécution dont la valeur tient plus à la finesse avec laquelle ils sont appliqués qu'à leur technique elle-même. Élève sans interruption pendant 30 ans du maître portugais Nuno OLIVEIRA, « étudiant à vie » des maîtres classiques, sa doctrine repose, comme celle de son maître sur la synthèse des principes de l'École de VERSAILLES enrichie par certains des éléments novateurs de Baucher. Nuno OLIVEIRA a écrit au sujet de Michel HENRIQUET : « Son travail repose entièrement sur la décontraction et l'absence de force autant de sa part que de celle des chevaux. Je souhaite qu'il conserve et communique cet idéal de perfection. »

72. **Nuno OLIVEIRA** : Est un écuyer portugais, né à Lisbonne en 1925 et décédé, considéré comme le plus grand maître de l'art équestre au XX^e siècle. Formé à partir de onze ans à l'équitation, il est reconnu comme un maître écuyer dès l'âge de vingt-trois ans. Deux décennies plus tard, son influence dépasse largement les frontières de son Portugal natal. Il a peu côtoyé le monde de la compétition, ce qui ne lui permet pas ou peu de s'exprimer car non représentatif au vu de l'absence de palmarès sportif, il aborde l'équitation comme un art véritable, auquel il accorde une dimension spirituelle. Il décrit lui-même son équitation comme « *la sublimation de sa technique par l'amour* ». Nourri d'une immense culture équestre et de la musique des opéras, en particulier de VERDI, il donne des stages partout dans le monde. Réputé pour son côté excessif, il possède aussi de grands talents de pédagogue qu'il met à profit pour former des centaines de cavaliers. Le courant qu'il a initié se nomme l'« oliveirisme ». Un de ses plus fameux élèves fut le dresseur français Michel HENRIQUET.

73. **Lieutenant Colonel DE LAISSARDIERE** : Après la défaite de 1939, l'École de Cavalerie de SAUMUR se replia sur TARBES. Sous la conduite du Lieutenant-Colonel DE LAISSARDIERE, les chevaux rejoignirent la zone libre au terme d'un périple les ayant mené de Saumur à Poitiers par routes et chemins et de là par le train jusqu'au terminus *via* Montauban. Il a de plus dirigé le Centre de Préparation aux

Concours hippiques Internationaux créé en 1922, qui regroupait une dizaine - 8 en 1936 - de cavaliers exceptionnels, qui s'entraînent à plein temps pour les épreuves sportives de haut niveau.

74. Capitaine Xavier **BIZARD** : Cavalier de l'Ecole de Cavalerie de SAUMUR, Chef des Equipes de Concours Internationaux, qui sortait avec brio en compétition de saut d'obstacles, notamment sur des épreuves de puissance avec des hauteurs d'obstacles impressionnantes (quelque fois avoisinant les 2m).

75. Capitaine Pierre **CLAVE** : Champion du Monde de saut de saut d'Obstacles dans les années 1930, il est l'instigateur de l'apparition du Pato argentin en France Ce sport de balle argentin a rapidement été appelé "Pato indoor", car une réduction des dimensions du terrain était obligatoire pour organiser des rencontres. En 1936, le Capitaine Clave apporta quelques modifications aux règles qui lui paraissaient suffisamment importantes pour justifier le changement de nom de la discipline : le Pato devint le horse ball. A l'époque, l'activité n'était pas encore considérée comme un sport, mais comme un jeu à cheval présenté comme un "nouveau jeu français très sportif". Lors de concours hippiques, des matchs ont été organisés entre les différents régiments militaires. Malheureusement, le horse ball disparaît avec l'arrivée de la seconde guerre mondiale. Il resta pratiqué comme un exercice de mise en selle dans quelques clubs. C'est la FFE qui remettra au goût du jour le horse ball dans les années 1970, en l'inscrivant comme discipline officielle fédérale.

76. **Lieutenant Colonel GUDIN DE VALLERIN** : Cavalier militaire ayant participé aux JO de BERLIN en 1936, se classant 6^{ème} et auteur d'un ouvrage sur la technique à adopter lors des compétitions de saut d'obstacles.

77. **Jean D'ORGEIX** : Un des grands hommes de l'équitation française, de son nom complet **Jean-François DE THONEL, 5^e marquis d'ORGEIX**, est un acteur, cavalier et aviateur français, né en 1921 et décédé accidentellement en 2006. Il fut successivement cavalier puis entraîneur et aussi théoricien perspicace. Il devient peu à peu le numéro un français de l'équitation malgré une carrière courte de sept années seulement durant laquelle il gagna de nombreuses compétitions : Grands Prix de ROME, GENEVE, PARIS, BRUXELLES, LONDRES, DUBLIN... Il fut Médaillé de Bronze en saut d'obstacles aux Jeux Olympiques de 1948 à LONDRES. Il fût également Entraîneur National de C.S.O. de 1973 à 1977. Sous son ère, l'Equipe de France fût médaillée d'Or par Equipe aux J.O. de Montréal en 1976.

78. **Pierre JONQUERES D'ORIOLA** : Né en 1920 et mort le 19 juillet 2011 à l'âge de 91 ans, demeure le plus célèbre cavalier français. Il a notamment remporté deux fois le concours individuel de saut d'obstacles aux jeux Olympiques (1952, 1964) – un exploit unique encore aujourd'hui. Il fut aussi, à la fin des années 1960, le premier cavalier français sponsorisé par la marque de champagne Moët et Chandon. Bien que sa mère se montre réticente, son père, qui est un excellent cavalier, l'initie très jeune à l'équitation : avec lui, le garçonnet forge son style, fondé sur une équitation naturelle, rênes courtes et buste porté vers l'avant. À douze ans, il participe à sa première compétition équestre. Après la Seconde Guerre mondiale, il intègre l'équipe de France en 1946, et il remporte son premier concours, il en gagna plus de cinq cents au cours d'une carrière longue d'un demi-siècle. Le cavalier fait ses débuts olympiques aux Jeux d'HELSINKI, en 1952. Quelques jours avant son entrée en scène, son cousin, Christian d'Oriola, a remporté le concours individuel de fleuret, et les deux Catalans ont dignement fêté ensemble ce succès. Le 3 août, montant *Ali-Baba*, un cheval anglo-arabe, Pierre Jon-

quères d'Oriola effectue un premier parcours décevant ; mais, dans le second, il réalise le sans-faute et, après barrage, il s'adjuge la médaille d'or. Son second titre olympique, obtenu en 1964 à TOKYO, marque réellement les esprits. En effet, durant ces Jeux, la délégation française multiplie les contre-performances et cette Médaille D'Or sera la seule de la délégation française durant ces JO.

79. **Marcel ROZIER** : Né le 22 mars 1936, est un cavalier français de saut d'obstacles et Champion Olympique. Cavalier de haut niveau pendant de nombreuses années, il a été entraîneur national de l'Equipe de France de saut d'obstacles de 1977 à 1985, puis celui de l'Equipe d'Italie de 1986 à 1989, de l'Equipe des Émirats arabes unis de 1994 à 1995, puis à nouveau de l'Equipe de France de 1999 à 2000.

80. **Michel ROCHE** : Cavalier français, membre de l'Equipe de France de CSO, Championne Olympique à Montréal en 1976.

81. **Marc ROGUET** : Cavalier de CSO français, qui remporte aux JO de Montréal en 1976, la médaille d'Or par équipe avec M. Rozier, M. Roche et H. Parot.

82. **Hubert PAROT** : Né le 23 mai 1933, mort en 2015, est un cavalier CSO français. Il est le beau-frère de Marcel ROZIER. Il est médaillé d'or en saut d'obstacles par équipe en saut d'obstacles aux Jeux olympiques d'été de 1976 à MONTREAL avec son cheval Rivage (né en 1964). Jeux olympiques: Médaille d'or en saut d'obstacles par équipe aux Jeux olympiques d'été de 1976 à Montréal (Canada), Médaille de Bronze individuel aux Championnats d'Europe d'HICKSTEAD en 1973, Médaille de Bronze par équipe aux Championnats d'Europe de MUNICH en 1975, Recordman de France de saut en longueur, depuis 1970, avec son cheval Réséda (7,70 m). Il totalise 1 214 victoires notamment aux Grands Prix de MADRID, BARCELONE, LISBONNE, VICHY, DINARD, LA BAULE, PAU, OSTENDE, ROTTERDA, LÜZERN, VARSOVIE ET MOSCOU. Il a participé à plus de 60 Coupes des Nations.

83. **Eric NAVET** : Est un cavalier français de saut d'obstacles, né en 1959 en Normandie. Son père Alain, a été lui-même cavalier international, a remporté de nombreux Grand Prix Internationaux, mais une fracture de la cheville l'empêche malheureusement de participer aux JO de TOKYO en 1964. Alain Navet est également un éleveur de chevaux réputé, dont les produits portent l'affixe « de Baus-sy ». Éric a ainsi été sacré Champion du Monde 1990 avec Quito de Baus-sy, étalon issu de l'élevage familial. Formé par son père, Éric Navet commence la compétition officielle dès l'âge de 12 ans à poney. Originaire du Calvados (14), il choisit de s'installer avec sa famille dans l'Eure (27) à Panilleuse afin de se rapprocher de Paris. Plusieurs fois Champion de France, Champion d'Europe, Champion du monde, il lui reste à conquérir le titre Olympique. En 2004, sélectionné pour les Jeux d'ATHENES, son cheval *Dollar du Murier* a été victime d'une blessure au dos. Lors du 1^{er} tour du concours par équipes, il effectue un mauvais saut en s'échauffant ; il réussit tout de même à terminer son parcours avec quatre fautes mais le cavalier déclara forfait pour la suite des Jeux.

84. **Dominique D'ESME** : est une cavalière française de dressage, née en 1945. Elle commence l'équitation à 9 ans avec un cheval d'école puis, toute seule, elle se forme d'abord au CCE puis au dressage et enchaîne les succès au Championnat de France (14 fois) puis accroche plusieurs fois la

Médaille de Bronze aux Championnats d'Europe et termine 4^{ème} aux JO d'ATLANTA en 1996. Exigeante sur la qualité de ses chevaux, elle considère que la qualité majeure doit être la souplesse.

85. **André LE GOUPIL** : Cavalier de CCE, Membre de l'Equipe de France sous la direction du Colonel MARGOT, il devient, en 1961, Champion de France de Concours Complet sur sa jument Jacasse. Un titre qui lance sa carrière. Notamment vers les Jeux Olympiques de TOKYO en 1964 et de MEXICO en 1968, Championnats du Monde en Angleterre et en Hollande... Sa femme Bernadette l'a accompagné partout jusqu'en 1989 : « Il a eu un grave accident avec son cheval Mariachi et passé trois mois à l'hôpital. La fin de sa carrière de haut niveau. »

86. **Pr jean Marie DENOIX** : Né en 1954, Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de MAISON ALFORT, est une sommité mondiale dans le domaine de la pathologie de l'appareil locomoteur du cheval. En 1994, il est à l'origine de la création du CIRALE : Centre de Recherche et d'Imagerie des Affections Locomotrices Equines, qui sera construit à partir de 1999 à DOZULE (Calvados) et qui constitue un centre de référence de niveau mondial en matière de pathologie locomotrice des chevaux. Des cliniciens de première qualité, un matériel d'imagerie de haut niveau, des collaborations avec des équipes prestigieuses et une recherche reconnue en font un outil unique en son genre, au service des étudiants, des vétérinaires et des propriétaires de chevaux. Directeur de cette structure d'élite, il assure l'essentiel des consultations du centre et la formation continue des vétérinaires. Il supervise tous les examens de pathologie locomotrice réalisés au CIRALE et sur le site de Maisons-Alfort.

87. **VOLTIGE, ATTELAGE, ENDURANCE** : Ce sont des disciplines équestres qui font partie des 8 présentes aux Jeux Equestres Mondiaux, Championnats du Monde des Sports Equestres qui ont lieu tous les 4 ans et qui durant 15 jours réunissent différentes disciplines en un même lieu.

88. **Raids d'ENDURANCE** : compétition équestre qui allie performance sportive et gestion du cheval puisqu'il s'agit de réaliser des boucles de 20, 60, 90 et 160 km dans une fourchette de temps impartie avec des contrôles vétérinaires imposés qui permettent de suivre l'état physique du cheval ; lorsqu'il y a le moindre signe d'inquiétude, le couple homme/cheval n'est pas autorisé à poursuivre.

89. **Patrice FRANCHET D'ESPEREY** : Né en 1947, c'est un écrivain et écuyer français du CADRE NOIR de SAUMUR, spécialiste de l'équitation de tradition française d'expression baucheriste. Il est aussi Docteur en Sciences de l'Education, et a consacré sa thèse à l'héritage équestre français. Il est un ancien élève et un disciple de René BACHARACH, avec lequel il a étudié l'équitation baucheriste et les traités associés plus de vingt ans durant. Dans cette optique, il travaille à la recherche d'une « nouvelle équitation à la française », l'enseigne depuis 1972 et entre au CADRE NOIR de SAUMUR. Il est conseiller technique fédéral de voltige équestre entre 1987 et 1989, après avoir été Chef de l'Equipe de France au premier Championnat du Monde de la discipline à BULLE, en 1986. De 1989 à 2013, il dirige le Centre de documentation de l'École Nationale d'Equitation (ENE) et supervise la publication de ses actes de colloques. Il possède donc un Doctorat en Sciences de l'Education. Sa thèse, consacrée à l'héritage équestre français, est publiée par Odile Jacob en 2007 sous le titre *La Main du maître, réflexion sur l'héritage équestre*. Il est également conseiller technique de la revue en ligne *Cheval Savoir* et président du jury de l'Académie Pégase.

90. **LES GALOPS** : En France, on nomme **Galop** un diplôme fédéral d'équitation délivré par la Fédération Française d'Equitation (FFE) qui atteste d'un certain niveau équestre du cavalier. Depuis le 1er septembre 2012, il existe trois types de Galops : les Galops de Cavalier (Galops généraux de 1 à 7), les Galops de Spécialité (de 1 à 7) comme l'équitation de pleine nature ou l'équitation Western et les Galops de Compétition (de 5 à 7, mis en place le 1er janvier 2014).

91. **Compétitions AMATEUR** : La Fédération Française Equitation dans son règlement général des compétitions les définit comme étant « *destinées à offrir aux concurrents, une compétition répondant aux exigences du loisir sportif de tous niveaux et réunissant les exigences combinées de rigueur, d'animation et de convivialité. Cette Division est réservée aux concurrents détenteurs d'une Licence Fédérale de Compétition Amateur pour des cavaliers qui doivent être titulaires du Galop 7* ».

92. **Trot/ Galop – Galop/Trot = TRANSITIONS** : On les définit comme étant le passage d'une allure à une autre ou dans une même allure, changement de cadence et/ou d'amplitude. On parle de Transition montante ou descendante lorsqu'il y a passage d'une allure à une autre, montante (pas/trot, pas/galop, trot/galop) ou descendante. (trot/pas, galop/trot, galop/pas)

93. **SOUPLESSE et DECONTRACTION** : étroitement associées à la correction des allures, elles doivent faire l'objet d'une grande attention dès la première phase, car elles sont un élément primordial dans l'acquisition des bases de l'entraînement. La décontraction s'appuie sur l'état mental : calme, absence d'anxiété ou de nervosité. Elle conditionne la souplesse qui, elle, se réfère au physique du cheval : aisance des mouvements, absence de raideurs, de résistances musculaires, de douleurs. Le cheval souple donne l'impression de se déplacer de lui-même, répondant avec générosité aux demandes de son cavalier.

Les indices de la souplesse sont :

- L'aisance des mouvements, l'élasticité des foulées, un rythme régulier,
- Un dos élastique, la capacité à s'incurver et à se déplier,
- Une nuque perméable, permettant un contact agréable et une bouche décontractée,
- Une queue bien portée et se balançant symétriquement.

Les indices de la décontraction sont :

- Une expression sans anxiété,
- Des oreilles attentives et expressives,
- Une bouche décontractée mâchant calmement le mors,
- Une respiration calme et bien rythmée.

C'est seulement lorsque le cheval est physiquement et mentalement libéré de toute résistance et contrainte qu'il peut travailler dans la souplesse et se livrer pleinement. Un cheval doit se déplacer avec tout son corps. Une attention particulière est donc constamment portée au jeu élastique du dos, en l'absence duquel les allures sont raides. Le manque de souplesse/décontraction peut prendre plusieurs formes. Par exemple : raideur ou contractions du dos, queue raide contractée, fouaillements de queue, fautes de rythme, manque d'activité des postérieurs, foulées étriquées, grincements de dents, bouche crispée et sèche, tête basculée, mauvais pli, nuque raide, cheval traversé, etc. Une bonne confirmation de la souplesse et de la décontraction du cheval consiste à laisser filer les rênes et voir le cheval étendre l'encolure vers l'avant et vers le bas, sans augmentation de l'intensité du contact ni modification de l'allure et de l'équilibre.

94. **PROPULSION** : La propulsion correspond à un aspect particulier qui se perçoit par une projection nette et visible au trot et au galop. Le renforcement de la propulsion vise dans la progression du cheval vise à augmenter la puissance de poussée des postérieurs sur un dos souple. Autrement dit :

- la puissance et l'énergie nécessaires aux allongements ;
- ainsi que la capacité du cheval à maintenir l'activité rapide des postérieurs dans les transitions descendantes et les ralentissements.

La finalité étant d'accroître la capacité portante des postérieurs et le soutien de l'avant-main en vue du développement de l'expression du trot et du galop.

Le critère le plus important de la propulsion est la netteté de la projection qui résulte du mariage de l'impulsion et de la flexibilité ; on ne parle donc de propulsion que dans les allures qui ont une période de projection : dans le galop, le trot et, même si elle est moins marquée, au passage. Il ne peut pas y avoir cette manifestation particulière de l'impulsion dans le pas qui n'a pas de projection (FEI). C'est pourquoi, au pas, on préfère parler d'activité.

Les indices de la bonne propulsion sont :

- La netteté de la projection, sans précipitation au trot et au galop,
- Une poussée constante de l'arrière-main dans tous les mouvements et transitions,
- La franchise de la poussée des postérieurs dans les transitions montantes,
- Le maintien de la correction du rythme, de la souplesse et du contact,
- Le maintien de l'engagement associé à la vivacité du travail des postérieurs,
- La correction de l'équilibre et de la souplesse dans les transitions.

La propulsion va au-delà du seul désir d'aller en avant et de l'impulsion nécessaire à la correction des allures de base. Son expression correcte apparaît seulement lorsque l'activité des postérieurs arrive jusqu'au mors en passant par un dos souple. Elle est contrôlée par la main du cavalier, le contact reflétant une relation harmonieuse. *Le cheval dans l'harmonie musculaire, l'impulsion passe par le dos et la nuque.* Le développement de la propulsion est primordial pour la franchise du mouvement en avant, comme pour l'amélioration de la capacité portante des postérieurs, donc de l'équilibre et de l'expression. Il suppose le maintien de la correction de l'allure et de la souplesse. C'est un pré-requis pour un travail plus poussé de la rectitude du cheval et du rassembler. Si le cheval est envoyé (ou pousse) trop fort en avant, il précipite ses foulées et la cadence, il se durcit. La période de projection est raccourcie car le cheval pose ses pieds au sol trop rapidement, perdant de l'amplitude : il court. Dans ce cas, même si la symétrie est maintenue, la cadence devient rapide et l'impulsion comme l'équilibre en souffrent ; ne pas confondre impulsion et aller vite. Il ne faut pas confondre propulsion et action. L'action se réfère à la capacité innée du cheval à avoir des foulées amples et spectaculaires, notamment au trot, ce qui ne préjuge en rien de la qualité du dressage. Si le cheval travaille réellement dans l'impulsion, la période de projection sera accrue. Pourtant, cette période ne doit pas être exagérée, car elle pourrait provoquer des foulées incorrectes avec une élévation excessive des antérieurs par rapport aux postérieurs.

95. **ARRIERE MAIN** : C'est globalement tout ce qui se situe derrière le cavalier, c'est de l'arrière-main que provient l'impulsion du cheval. L'arrière-main se compose :

- de la croupe, des hanches

- des membres postérieurs : cuisse, fesse, pli des fesses, pointe des fesses, grasset, pli du grasset, jambe, rotule, jarret, corde du jarret, pli du jarret, pointe du jarret, creux du jarret, canon, tendons, châtaigne, boulet, ergots et leurs fanons, paturon, pli du paturon, couronne, talon, pied, sabot

96. **IMPULSION** : L'impulsion est la volonté et l'énergie que met le cheval dans le mouvement en avant, tout en restant contrôlé, donc soumis aux aides du cavalier. Elle se traduit, au cours de tout déplacement, par une activité énergique des forces propulsives, notamment des postérieurs, associée à une grande souplesse du corps, tout en conservant la qualité du contact. C'est l'impulsion qui donne de l'expression aux allures. La précipitation n'a rien à voir avec l'impulsion. C'est au contraire la projection bien marquée dans le trot et le galop qui témoignent de la correction de l'impulsion, et de l'allure. Le développement de la propulsion, point 4 de l'échelle de progression, suppose le maintien de la correction de l'allure, de la souplesse, de la transmission « par le dos », de la qualité du contact et de l'équilibre afin d'aller plus loin dans l'expression. « *L'impulsion est l'essence même du mouvement.* » Général L'Hotte.

97. **CONTACT** : Lien entre les aides du cavalier et le corps du cheval, principalement entre la bouche et la main du cavalier. Il doit être liant, doux et léger. Il est aussi possible de le définir comme étant le rapport confiant, moelleux et permanent qui doit exister entre la main du cavalier et la bouche du cheval. Il se fait par l'intermédiaire de rênes, ajustées par le cavalier et tendues par le cheval sous l'effet de l'impulsion.

98. **ENGAGEMENT** : peut être considéré comme une conséquence de la propulsion, puisque de la qualité de celle-ci dépend l'importance du déplacement des membres postérieurs sous la masse du cheval.

99. **RECTITUDE** : Le cheval est dit « droit » lorsque les pieds de derrière suivent exactement les lignes tracées par les pieds de devant. Il s'ensuit que les hanches et les épaules se présentent dans les conditions qui assurent la rectitude de leur jeu réciproque. Un cheval est droit est lorsqu'il s'inscrit parfaitement sur la trajectoire qu'il parcourt. En ligne droite, il sera géométriquement droit, sur le cercle, sa colonne vertébrale se confondra avec la courbe tracée.

100. **Compétition AMATEUR 1** : Compétition AMATEUR donc réservée aux titulaires d'un galop dont le cahier des charges techniques est un ton au dessus que dans les compétitions CLUB et Amateur 2

101. **Compétition PRO ELITE** : C'est le niveau le plus élevé des compétitions nationales, réservées exclusivement aux titulaires d'une licence compétition « PRO » c'est-à-dire que le cavalier est à même de sortir en PRO Elite et en International.

102. **EQUILIBRE** : Répartition du poids de l'ensemble « cheval-cavalier » entre les antérieurs et les postérieurs, équilibre longitudinal, et entre les membres des côtés gauche et droit, équilibre latéral. Le cheval est dans un bon équilibre quand le poids est distribué également entre gauche et droite et suffisamment pris en charge par les postérieurs. Ceci se traduit par la légèreté de l'avant-main et l'aisance dans la mobilité du cheval. Une perte d'équilibre signifie un accroissement du poids sur l'avant-main et/ou sur l'un des côtés, souvent associé à une précipitation ou un balancement. On note différents degrés dans la qualité de l'équilibre : sur les épaules, horizontal, rassemblé, rassem-

bler accentué. La recherche de l'équilibre vient conditionner pour le cavalier, l'acquisition ou pas du « rassembler », ce qui est le point 6 de l'échelle de progression de la FFE.

103. **RASSEMBLER** : Allure du cheval qui consiste à diminuer la base de sustentation en ramenant les postérieurs le plus près possible des antérieurs de façon à transformer l'énergie issue de la propulsion en une force non pas horizontale mais verticale mais ceci sans modifier la cadence, ni la vitesse du cheval. Ceci peut se faire au trot et au galop.

104. **BRILLANT** : Ce qui qualifie un travail équestre qui permet de mettre en évidence à la fois les qualités naturelles du cheval à travers sa locomotion mais aussi la légèreté de l'équitation du cavalier qui, au final doit présenter une certaine fierté de l'ensemble.

105. **Compétition Internationale** : Niveau suprême des compétitions équestres régies sous l'égide de la FEI (Fédération Equestre Internationale), nécessite le Galop 7 pour participer à ces compétitions.

106. **Nicolas TOUZAIN** : Né dans le monde de l'équitation, il est issu d'une famille déjà connue pour ses prestations dans le monde équestre : son père, Jean-Yves Touzaint, était champion de France de concours complet en 1975, 1976 et 1991 et son oncle, Thierry Touzaint, était entraîneur fédéral dans la même discipline. Il ne commence pourtant à s'intéresser à ce sport qu'à l'âge de 10 ans après avoir été un bon amateur de football et de tennis. Il commence son apprentissage de l'équitation sur un poney, Buck, avec lequel il surmontera son appréhension et remportera ses premiers concours. Bientôt Champion d'Europe junior par équipes et 3^e en individuel avec *Royal Reseda HN* en 1997, la suite de son parcours est plus connue et M^{me} Girard-Claudon, fidèle de la famille Touzaint, permettra à Nicolas d'étaler son talent au grand jour grâce à des chevaux à sa hauteur : *Cobra d'or* avec lequel il ira aux Jeux olympiques de Sydney en 2000 à l'âge de 20 ans, *Ciel d'Azur* avec qui il terminera 2^e du Concours complet international de BOEKELO et plus récemment Galan de Sauvagère (champion d'Europe, champion olympique par équipe, 1^{er} doublé 6 ans - 7 ans de l'histoire du Mondial du Lion d'Angers), Hildago de l'Île, Joker d'Helby (2^e doublé au Lion) ou encore Tatchou et Lesbos. A 22 ans, il devient le plus jeune champion d'Europe de l'histoire du complet avec son fidèle Galan de Sauvagère, performance qu'il renouvelle en 2007. Depuis, il accumule les performances, il devient donc le seul Français à avoir gagné le mythique complet de Badminton grâce à Hildago de L'île.

107. **TEMPS de SUSPENSION** : C'est le seul moment où les 4 membres du cheval sont décollés du sol, c'est notamment le cas dans le galop et dans le trot de haute école.

108. **Dressage Jeunes Chevaux** : Le dressage d'un jeune cheval est une activité gratifiante et passionnante. Calme, patient et ferme, un bon dresseur doit avant toute autre chose, comprendre les chevaux. Pour cela il doit travailler avec des animaux de types et de tempéraments différents, avant de pouvoir prétendre dresser entièrement un cheval ou un poney. Il n'est pas nécessaire d'être un cavalier avec grand palmarès, mais il convient d'être compétent, détendu et efficace. Il importe de posséder une bonne assiette, savoir quelles demandes formuler, et à quel moment, il faut le faire. Si le cavalier est novice, qu'il est habitué à monter et à soigner des chevaux débouffés, il est conseillé de travailler sous les directives d'une personne qui connaît les jeunes chevaux, pour obtenir de bons résultats. La SHF (Société Hippique Française) est en charge d'un circuit de compétitions spécifiquement réservées aux Jeunes Chevaux de 4 à 7 ans dans toutes les disciplines équestres ou presque.

109. **Trot Enlevé** : Le trot enlevé est une technique équestre originellement adoptée en équitation de style anglais. Pour le cavalier, cette technique consiste à se soulever de sa selle en rythme avec son cheval. Cette technique évite au cavalier d'être balloté dans tous les sens pendant le trot et permet également de protéger le dos du cheval des à-coups involontaires.

110. « **Tape Cul** » : Conséquence d'une mauvaise position à cheval, elle-même faisant suite à une mauvaise assiette, qui fait rebondir le cavalier dans la selle, lui donnant l'impression que tous les os de son dos subissent des chocs répétés

111. **VOUSSANT** : Terme équestre associé à l'attitude que peut prendre le rachis lombaire dans certaines positions en cheval. « Vousser le rein » consiste au final à réaliser une flexion de la colonne lombaire pour effacer la cambrure, ceci est associé en règle générale à une rétroversion pelvienne.

112 et 126. **Jean St FORT PAILLARD** : Cavalier français de dressage, né en 1913 et mort en 1990. Il fut Médaille d'Or en dressage par équipes aux Jeux Olympiques d'été de 1948 à LONDRES

113. **Jeu du rein** : Terme équestre qui signifie que la colonne lombaire soit sollicitée durant la pratique équestre soit en flexion (vousser le rein), soit en extension (creuser le rein).

114. **Différents types de galop** - On définit plusieurs types de galop :

- *Le galop à juste* : On parle de galop à juste lorsque le cheval utilise le galop à droite à main droite ou le galop à gauche à main gauche.

- *Le galop à faux ou contre galop* : On parle de galop à faux lorsque le cheval galope à droite à main gauche ou lorsqu'il galope à gauche à main droite.

- *Le galop rassemblée* : On parle de galop rassemblée lorsque le cheval galope en petites foulées très engagées sous la masse de son corps.

- *Le galop allongé* : On parle de galop allongé lorsque le cheval exécute de grandes foulées de galop.

- *Le galop désuni* : On parle de galop désuni lorsque le cheval galope à main droite des antérieurs et à main gauche des postérieurs et inversement.

- *Le canter* : On parle de canter lorsque les chevaux de course exécutent leurs détentes.

115. « **Cirer les fesses** » : Expression employée pour illustrer peut être à tort l'attitude que devrait adopter le cavalier lors du galop assis en rythme où il conviendrait d'accompagner les mouvements du dos du cheval en restant assis est sans décoller les fesses de la selle...Il faut alors s'imaginer entraîné de « cirer » la selle avec ses fesses ce qui vient avec beaucoup de pratique...Pour cela garde l'on conseille de garder son buste droit, ses épaules légèrement en arrière et de conserver ses jambes fixes, au contact de sa monture.

116. **Georges MORRIS** : Est un entraîneur américain, né en 1938 et juge de chevaux et de cavaliers dans les chasseurs et cavaliers disciplines. Il est considéré comme un « père fondateur » de Hunt Equitation de Seat .Il est également le Chef de l'Equipe US de Saut d'Obstacles.

117. **HOMERE** : En grec ancien Ὅμηρος / *Hómēros*, « otage » ou « celui qui est obligé de suivre », est réputé avoir été un aède (poète) de la fin du VIII^e siècle av. J.-C. Il était simplement surnommé « le Poète » (ὁ Ποιητής / *ho Poiētēs*) par les Anciens. Les deux premières œuvres de la littérature occidentale que sont *l'Iliade* et *l'Odyssee* lui sont attribuées. Il est encore difficile d'établir aujourd'hui avec certitude si Homère a été un individu historique ou une identité construite, et s'il est bien l'auteur des deux célèbres épopées qui sont au fondement de la littérature occidentale. Cependant plusieurs villes ioniennes (CHIOS, SMYRNE, CYME ou encore COLOPHON) se disputaient l'origine de l'aède et la tradition l'individualisait en répétant qu'Homère était aveugle. Ses évocations équestres sont nombreuses dans ses œuvres surtout à travers les épisodes du Cheval de TROIE où Ulysse prend la ville, cachés à l'intérieur de l'équidé de bois.

118. **Enlèvement de Rhésos** : Dans la mythologie grecque, **Rhésos** ou **Rhésus** (en grec Ῥῆσος / *Rhēsos*, en latin *Rhesus*) est un jeune roi de Thrace. Selon Homère, il est issu de la cité d'Éion et vient, lors de la guerre de Troie, au secours de Priam la dernière année du siège, amenant des chevaux « plus prompts que le vent » et « plus blancs que la neige ». La ville devait être sauvée si les coursiers de Rhésos buvaient l'eau du Xanthe, mais il est tué la nuit même de son arrivée par Diomède, qui le surprend pendant son sommeil, tandis qu'Ulysse dérobe ses chevaux. Cet épisode a servi de sujet à une tragédie grecque antique *Rhésos*, attribuée à Euripide. Également dans la pièce le héros meurt; mais dans les derniers vers on dit qu'il sera ressuscité et rendu immortel, après sa transformation en divinité souterraine. Le nom de *Rhésos* est un anthroponyme thrace, bâti sur la racine de « régner », ce qui semble confirmer l'origine que lui donne Homère, Éion étant située en Thrace occidentale, à l'embouchure du Strymon. On lui a attribué par la suite, notamment Euripide dans la pièce éponyme, des origines plus flatteuses, en prétendant que sa mère était une des Muses (Calliope, Euterpe ou Terpsichore), et son père le roi Strymon avant sa transformation dans l'homonyme fleuve. Parthénios de Nicée² attribue également au roi thrace Rhésos le mariage avec la chasseresse bithynienne Arganthon. Une rivière de Bithynie porte d'ailleurs le nom de Rhésos.

119. **MORS** : Est une pièce de harnachement, le plus souvent métallique, insérée dans la bouche du cheval. En complément avec le bridon ou la bride et les rênes, il permet à un cavalier de contrôler la vitesse et la direction de sa monture grâce à ses mains. Il existe de nombreux modèles de mors différents. Le mors est placé dans la bouche du cheval pour le conduire et régler son allure. En règle générale, il est recommandé d'utiliser les mors dont l'action est la plus douce possible, mais chaque cheval et chaque cavalier est différent. Selon le caractère de chacun et les objectifs équestres, la recherche de mors spécifiques peut s'avérer souhaitable. La langue du cheval se trouve sous le mors. Cependant, le cheval réussit parfois à passer sa langue par dessus pour éviter son action. Le plus souvent, les mors sont en acier, mais bien d'autres matériaux peuvent être utilisés. Le mors est maintenu grâce au bridon ou à la bride. Un mors se compose d'une partie droite, incurvée ou brisée se trouvant dans la bouche du cheval, appelée canon, et d'un anneau de chaque côté que l'on fixe aux montants du bridon. Les anneaux peuvent être de formes diverses, et se trouver à l'extrémité de branches. Dans le langage courant, l'ensemble bridon et mors de filet est aussi appelé « filet ».

120. **CATON** : **Marcus Porcius Cato**, dit **Caton l'Ancien** (*Cato Maior*) ou **Caton le Censeur** (*Cato Censorius*) par opposition à son arrière-petit-fils, Marcus Porcius Cato dit Caton le Jeune ou d'Utique, est un politicien, écrivain et militaire romain né en 234 av. J.C. dans le municpe de Tusculum et mort en 149 av. J.C. Militaire, il combat les Carthaginois, pendant la Deuxième guerre punique, de 217 à 207 av. J.C ; il participe notamment à la bataille décisive du Métaure, où meurt Hasdrubal. Proconsul de l'Hispanie citérieure, il dirige ses troupes avec habileté et dynamisme pour subjuguier les insurgés espagnols avec dureté. En 191 av. J.C, il intervient comme tribun militaire dans la campagne de Grèce contre l'empire séleucide d'Antiochos III Mégas et participe de façon décisive à la bataille des Thermopyles, qui marque la chute des Séleucides. Son traité agricole, *De l'agriculture* (*De agri cultura*), est le seul ouvrage qui nous soit parvenu en entier

121. **PLINE L'ANCIEN** : En latin *Gaius Plinius Secundus*, né en 23 après J.-C. dans le nord de l'Italie et mort en 79, près de Pompéi, lors de l'éruption du Vésuve, est un écrivain et naturaliste romain du I^{er} siècle, auteur d'une monumentale encyclopédie intitulée *Histoire naturelle* . Il adopta son neveu qui prit le nom de *Caius Plinius Caecilius Secundus*, Pline le Jeune, en 79 après J.-C. *L'Histoire naturelle* (*Naturalis historia*), qui compte trente-sept volumes, est le seul ouvrage qui soit parvenu jusqu'à nous. Ce document a longtemps été la référence en sciences et en techniques. Il a rassemblé le savoir de son époque sur des sujets aussi variés que les sciences naturelles, l'astronomie, l'anthropologie, la psychologie ou la métallurgie. Il servit sous les ordres de Gnaeus Domitius Corbulo en Germanie en 47, participant à la conquête romaine des Chauques, tribu germanique du littoral Nord-Ouest et à la construction du canal entre le Rhin et la Meuse. En tant que jeune commandant d'un corps de cavalerie (*praefectus alae*), il écrivit, dans ses quartiers d'hiver, un essai sur l'art de lancer le javelot à cheval (*de jaculatione equestri*).

122. **SELLE A LA FRANÇAISE** : Selle utilisée dans l'armée française à partir des guerres napoléoniennes et qui selon le corps d'armée avait une conformation différente.

123. **LEGERETE** : « La légèreté réside dans la flexibilité élastique et moelleuse de tous les ressorts ». Elle découle du mariage de l'impulsion et de la flexibilité par l'emploi « des seules forces utiles. » (Général L'Hotte).

124. **MYTHE DU CENTAURE** : Dans la mythologie grecque, un **centaure**, en grec ancien Κένταυροι / *Kéntauroi*, est une créature mi-homme, mi-cheval, que l'on disait issue soit d'IXION et de NEPHELE, soit de CENTAUROS et des juments de Magnésie. Si l'on excepte Pholos et Chiron, tous deux « avisés » (leur parenté est d'ailleurs différente des autres), les centaures symbolisaient pour les Grecs les appétits animaux (concupiscence et ivresse en sont les traits caractéristiques). Ainsi le combat contre les Lapithes peut se lire comme une parabole de l'affrontement des états civilisé et sauvage. L'origine de leur représentation est généralement expliquée ainsi : le cheval a été introduit en Grèce dès le XVI^e siècle av. J.-C., mais n'était alors utilisé que comme bête d'attelage ; les centaures représenteraient, dans les légendes de l'Âge héroïque, les premiers cavaliers.

125. **Aloïs PODHAJKY** : Est né à Mostar en 1898, au sein de l'Empire austro-hongrois, mort en 1973. Il était le directeur de l'Ecole Espagnole d'Equitation de VIENNE (Autriche), Médaillé Olympique en dressage, moniteur d'équitation et écrivain, c'était un officier supérieur au sein de l'armée autri-

chienne. Il a obtenu différents grades, jusqu'à celui de colonel. En 1939, il devient Président de l'académie de la Cavalerie classique, plus connue sous le nom d'Ecole Espagnole d'Equitation de VIENNE et l'a dirigé pendant la Seconde Guerre mondiale et après celle-ci, jusqu'à ce qu'il prenne sa retraite en 1965. Pendant la Seconde Guerre mondiale, la capitale autrichienne subit de violents bombardements. Inquiet pour la sécurité de l'école qu'il dirige et de ses chevaux, il fait évacuer la plupart des chevaux vers la ville de SAINT-MARTIN, en Haute-Autriche. Un certain nombre de juments inscrites au stud-book fédéral du PIBER, la ferme d'élevage de lipizzans qui fournissait l'école en chevaux, y ont également été évacués. Les chevaux étaient alors relativement en sécurité, mais d'autres dangers les menaçaient. Il n'y avait en effet pas suffisamment de nourriture pour les animaux et les hommes, des réfugiés affamés qui fuyaient les combats qui se déroulaient désormais sur le sol autrichien, ont fréquemment essayé de voler des chevaux dans lesquels ils voyaient une source de nourriture. Le Général américain Patton, commandant une armée sur le sol autrichien, est alors alerté de la présence des lipizzans à SAINT-MARTIN, par des envoyés de PODHAJSKY. Les deux hommes s'étaient connus lors d'épreuves équestres aux Jeux olympiques.

126. **Sauts d'école de SAUMUR:** L'ENE nous enseigne qu'ils sont apparus sous la Renaissance italienne et que ces airs relevés servaient à orner les chorégraphies des carrousels. Ils permettaient de prouver la valeur et la solidité des cavaliers en selle et représentaient l'aboutissement du dressage du cheval. Une origine militaire de ces sauts d'école est souvent évoquée. L'objectif majeur de ces sauts était d'obtenir une totale soumission des chevaux de guerre, permettant aux soldats de se préparer aux assauts des combats, lors des charges de cavalerie. Les sauts d'école n'étaient pas utilisés au combat. Ce qui est appelé « Les airs relevés », pratiqués à Saumur, sont la courbette (saut qui est préparé par un équilibre sur les hanches, le cheval élève les membres antérieurs, en prenant appui sur les postérieurs. Il reste en position quelques secondes), la croupade (à la demande du cavalier, le cheval monte la croupe. Dès que l'écuyer applique la cravache, le cheval détache une ruade énergique en étendant complètement les postérieurs), la cabriole (Le cheval lève haut les membres antérieurs, quitte le sol par la détente de ses postérieurs. Dès qu'il est touché par la cravache, il détache avec force une ruade, postérieurs tendus horizontalement imitant le saut du cabri). La cabriole est le saut le plus classique conservé à Saumur. Ces sauts d'écoles, sont pratiqués sans étriers.

TABLE DES MATIERES DES ILLUSTRATIONS

CHAPITRE 1.

➤ FIGURES.

- Figure 1.1. Equus Silvaticus (cheval des forêts) – (*Muséum d'histoire naturelle*). p 25.
- Figure 1.2. Cavalier sumérien, 1800 av JC – (*British Museum*). p 25.
- Figure 1.3. Spanish HofreitSchüle de Vienne. p 30.
- Figure 1.4. Spanish HofreitSchüle de Vienne. p 30.
- Figure 1.5. Cadre noir de Saumur, d'hier – (*collection privée*). p 30.
- Figure 1.6. Cadre noir de Saumur, d'hier – (*collection privée*). p 30.
- Figure 1.7. Cadre Noir de Saumur d'aujourd'hui – (*collection privée*). p 31.
- Figure 1.8. Cadre Noir de Saumur d'aujourd'hui – (*collection privée*). p 31.
- Figure 1.9. « Sauts anciens en arrière » - (*collection privée*). p 31.
- Figure 1.10. « Sauts anciens en arrière » - (*collection privée*). p 31.
- Figure 1.11. Sauts moderne selon Caprilli et Danloux – (*collection privé*). p 32.
- Figure 1.12. Ecuyers du Cadre noir devant l'Ecole de cavalerie de Saumur – (*collection privé*). p 32.
- Figure 1.13. Frise du Parthénon à Athènes par Phidias, 450/400 av JC. p 47.
- Figure 1.14. Equilibre dans le mouvement (*d'après Von Diecke, 2011*). p 48.
- Figure 1.15. Comparatif de la situation réelle et de la modélisation virtuelle 3D. p 55.
- Figure 1.16. Posture de yoga dite du « chameau » (*d'après yoga place de Liège*). p 60.
- Figure 1.17. Les différents types d'assiette (*selon Müsseler, 1963*). p 61.
- Figure 1.18 et 1.19. Les différentes situations lombo-pelviennes du cavalier (*selon Müsseler, 1963*). p 61.
- Figure 1.20. Activation du « liant » par l'activation de l'adaptation du cavalier (*d'après Chambry 1990*). p 64.

➤ SCHEMAS.

- Schéma 1.1. Pratiquants équestres en France – (*d'après étude TNS Sofrès, 1997*). p 35.
- Schéma 1.2. Forces exercées sur le cheval en déplacement (*d'après Cazaubon.*). p 38
- Schéma 1.3. Cycle du pas du cheval (*d'après le Manuel du Galop de 1 à 4, FFE*). p 38.

Schéma 1.4. Cycle du pas référencé sur le postérieur gauche et la base de sustentation (*d'après Malen, 1994*). p 39.

Schéma 1.5. Cycle du trot (*d'après le Manuel des Galops de 1 à 4, FFE*). p 40.

Schéma 1.6. Cycle du trot avec la base de sustentation (*d'après Malen, 1994*). p 40.

Schéma 1.7. Galop à droite (*d'après le Manuel des Galops de 1 à 4, FFE*). p 41.

Schéma 1.8. Différenciation des galops à droite et à gauche (*d'après Malen, 1994*). p 42.

Schéma 1.9. « Prise de la vague » par le cavalier (*d'après Swift 1998*). p 42.

Schéma 1.10. Le galop assis selon Weber (*d'après Humbert, 2000*). p 43.

Schéma 1.11. Fonctionnement du « rein » au galop assis (*selon Henry, 2011*) p 44.

Schéma 1.12. Position du cavalier (*d'après équipéda.info*) p 45.

Schéma 1.13. Position d'équilibre (*d'après Müseler, 1963*) p 45.

Schéma 1.14. Influences des positions du sujet sur la cambrure lombaire (*d'après Keegan, 1953*) p 51.

Schéma 1.15. Variations de l'angle tronc-fémur et position assise (*d'après Keegan, 1953*) p 52.

Schéma 1.16. Variations verticales et horizontales du DIV lors de la pression (*d'après Dufour et Pillu, 2002*) p 53.

Schéma 1.17. Visualisation de l'angle spino fémoral selon Keegan lors de la position assise du cavalier (*d'après Cazaubon.*) p 56.

Schéma 1.18. Influence des muscles péri articulaires de hanche sur le bassin avec angle tronc-fémur = 135° (*selon Keegan, 1953*) p 57.

Schéma 1.19. Influence des muscles péri articulaires de hanche sur le bassin avec angle tronc-fémur < 135° (*selon Keegan, 1953*) p 57.

Schéma 1.20. Influence des muscles péri articulaires de hanche sur le bassin avec angle tronc-fémur > 135° (*selon Keegan, 1953*) p 58.

Schéma 1.21. Valeurs angulaires de référence chez le cavalier corrigé d'après Keegan (*selon Nicholson, 2006*) p 58.

Schéma 1.22. Assiette dite « normale » avec visualisation radiologique (*d'après Auvinet, 1999*) p 62.

Schéma 1.23. Assiette dite « reins voussés » avec visualisation radiologique (*d'après Auvinet, 1999*) p 63.

Schéma 1.24. Assiette dite « reins creux » avec visualisation radiologique (*d'après Auvinet, 1999*) p 63.

Schémas 1.25 et 1.26. Croissance vertébrale (*d'après Rampon, 1982*) p 67.

Schéma 1.26. Lésions radiologiques sur DRC (*collection privée*) p 67.

➤ TABLEAUX.

Tableau 1.1. Variations des composantes horizontales du DIV (*selon Nachemson, 1970*). p 54.

Tableau 1.2. Localisations traumatiques dans les sports équestres selon différents auteurs p 68.

Tableau 1.3. Fréquence de survenue des différents types de lésions en équitation (*selon Auvinet.....*) p 69.

CHAPITRE 2

➤ FIGURES.

Figure 2.1. Axes et plans (*selon Poirier, 2012*) p 79.

Figure 2.2. Vues ostéologiques rachidiennes de face, de dos et de profil p 80.

Figure 2.3. Axe tragien (*selon Peninou, 1982*) p 81.

Figure 2.4. Vertèbres thoraciques et lombaires (*d'après Clinique St Luc, UCL de Bruxelles*) p 83.

Figure 2.5. Vertèbres cervicales (*d'après Clinique st Luc, UCL de Bruxelles*) p 83.

Figure 2.6. Les caissons abdominal et pelvien (*d'après Kapandji, 1980*) p 89.

Figure 2.7. Anatomie du bassin (*selon Olivier, 1994*) p 90.

Figure 2.8. Anatomie du fémur (*d'après Kapandji, 1996*) p 91.

Figure 2.9. Articulation sacro iliaque (*d'après Kapandji, 1980*) p 93.

Figure 2.10. Equilibre extrinsèque des cavités thoraciques et abdominales (*selon Kamina*) p 100.

Figure 2.11. Formes évolutives de hernies discales (*selon Fardon, 1977*) p 120.

Figure 2.12. Distribution des charges au niveau du DIV (*d'après Panagiotacopoulos, 1987*) p 120

Figure 2.13. Classification des spondylolisthésis (*selon Meyerding, 1932*) p 121.

Figure 2.14. Lésions radiologiques de la DRC ou maladie de Scheuermann (*d'après Rampon 1977*) p 123.

➤ SCHEMAS.

Schéma 2.1. Les facettes articulaires (*d'après Adams et Hutton, 1980*) p 76.

Schéma 2.2. Axialité et verticalité (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 81.

Schéma 2.3. Les bras de levier des processus épineux et transverses (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 82.

Schéma 2.4. Vertèbre type (*selon Kamina*) p 82.

Schéma 2.5. Apophyse Articulaires Postérieure (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 84.

Schéma 2.6. Structure du DIV (*selon Kapandji, 1980*) p 84.

- Schéma 2.7. Coupe sagittale vertébrale (*d'après Bouisset et Maton-Hermann, 1996*) p 85.
- Schéma 2.8.6 Système ligamentaire rachidien (*selon Gray, 2000-Kapandji 1986 et Larsson, 1989*) p 85.
- Schéma 2.9. Particularités de Th12 et L3 (*d'après Kapandji, 1980*) p 87.
- Schéma 2.10. Situation du muscle psoas (*d'après Kapandji, 1980*) p 88.
- Schéma 2.11. Les « quatre colonnes de Dolto » (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 88.
- Schéma 2.12. Chiasma trabéculaire (*d'après Dufour et Pillu, 2002*) p 91.
- Schéma 2.13. Différentes théories de la nutation (*d'après Kapandji, 1975*) p 94.
- Schéma 2.14. Rôle stabilisateur du muscle psoas (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 96.
- Schéma 2.15. Unité fonctionnelle vertébrale (*selon Kapandji, 1980*) p 98.
- Schéma 2.16. Résistance de l'axe rachidien (*d'après Kapandji, 1980*) p 99.
- Schéma 2.17. Contraintes dynamiques pelviennes (*selon Kapandji 1980 - Dufour et Pillu, 2002*) p 100.
- Schéma 2.18. Statique lombo sacrée (*d'après Kamina*) p 100.
- Schéma 2.19. Anneau pelvien (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 101.
- Schéma 2.20. Pourcentage de la mobilité lombaire sagittale (*selon Viel, 1979*) p 103.
- Schéma 2.21. Variation de la pression du DIV (*selon Kapandji, 1980*) p 105.
- Schéma 2.22. Transmission des charges au niveau du DIV (*selon White et Panjabi*) p 106.
- Schéma 2.23. Modélisation des efforts supportés par le rachis lombaire (*selon Morris et Kapandji, 1981*) p 108.
- Schéma 2.24. Travail de cisaillement des articulations sacro iliaques (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 109.
- Schéma 2.25. Zones de faiblesses des articulations sacro iliaques (*selon Kapandji, 1986*) p 110.

➤ TABLEAUX.

- Tableau 2.1. Variation de la pression des AAPostérieures en fonction de la localisation (*d'après Lellong, 1988*) p 75.
- Tableau 2.2. Variation de la pression intra discale en fonction des positions assises choisies (*d'après Lellon, 1988*) p 76.
- Tableau 2.3. Flèches rachidiennes (*selon Charrière et Roy, 1975*) p 80.
- Tableau 2.4. Mobilité articulaire de la colonne lombaire (*selon Kapandji, 1980*) p 104.
- Tableau 2.5. Variation de la pression intra discale avec la posture (*selon Nachemson, 1981*) p 107.

CHAPITRE 3

➤ FIGURES.

Figure 3.1. Etude des mouvements du bras, de l'avant bras, du pied et du cou (*d'après L. De Vinci, 1452-1519*) p 127.

Figure 3.2. Etude des mouvements de saut de cheval (*selon Muybridge, 1887*) p 128.

Figure 3.3. Kinogramme de Marey de Demery – 1882. p 129.

Figure 3.4. Fonctionnement d'un goniomètre à potentiomètre (*selon Winter, 1990*) p 138.

Figure 3.5. Goniomètre tridimensionnel hanche, genou et pied (*selon Whittle, 1996*) p 138.

Figure 3.6. Motion pod de BioVal© (*d'après RM Ingénierie*) p 144.

Figure 3.7. Mise en évidence des possibilités d'information à partir des courbes fournies par BioVal© p 147.

Figure 3.8. Enregistrement tridimensionnel du rachis complet avec le temps en abscisse et l'amplitude en ordonnée p 148.

Figure 3.9. Enregistrement tridimensionnel du bassin avec le temps en abscisse et l'amplitude en ordonnée p 148.

Figure 3.10. Enregistrement comparatif du rachis complet dans le plan sagittal lors de la marche et dans la station assise statique sur le cheval mécanique p 149.

Figure 3.11. Visualisation de la flexion/extension rachidienne en fonction du temps, toutes les 5s (abs) et amplitude, tous les 20° (ord) p 149.

Figure 3.12. Visualisation comparative du comportement rachidien sur le cheval mécanique, d'un cavalier représentatif de chaque groupe p 150.

Figure 3.13. Vue supérieure des capteurs inertiels de BioVal© p 151.

Figure 3.14. Aperçu de l'utilisation des capteurs inertiels, issu de la documentation de BioVal© p 151.

➤ SCHEMAS.

Schéma 3.1. Différentes contraintes auxquelles est soumis le corps humain (*cours STAPS, 2011*) p 126.

Schéma 3.2. Levier du 1^{er} genre, du point de vue mécanique (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 134.

Schéma 3.3. Levier du 1^{er} genre, au niveau du corps humain (*selon Dufour et Pillu*) p 135.

Schéma 3.4. Levier du 2^{ème} genre, du point de vue mécanique (*selon Dufour et Pillu*) p 135.

Schéma 3.5. Levier du 2^{ème} genre, au niveau du corps humain (*selon Dufour et Pillu*) p 135.

Schéma 3.6. Levier du 3^{ème} genre, du point de vue mécanique (*selon Dufour et Pillu*) p 135.

Schéma 3.7. Modèle standardisé de levier du 3^{ème} genre (*selon Dufour et Pillu*) p 135.

Schéma 3.8. Principe du système magnétique (*d'après An*) p 140.

Schéma 3.9. Différentes unités d'un capteur intelligent p 140.

Schéma 3.10. Représentation des phénomènes de lacet, tangage, roulis avec les Motion Pod™ p 152.

Schéma 3.10. Protocole de calibrage des capteurs (*selon RM Ingénierie*) p 152.

Schéma 3.11. Phénomène de calibrage des capteurs (*selon RM Ingénierie*) p 152.

➤ TABLEAUX.

Tableau 3.1. Comparaison comportementale rachidienne globale dans les trois groupes en fonction d'un sujet représentatif p 150.

CHAPITRE 4

➤ FIGURES.

Figure 4.1. Préparateur physique à l'équitation de Pétérís Klavins. p 155.

Figure 4.2. Visualisation parallèle d'un sujet sur simulateur équestre et son avatar rachidien. p 158.

Figure 4.3. Vue supérieure du capteur vert et de son positionnement sur L5. p 159.

Figure 4.4. Vue supérieure du capteur bleu et de son positionnement sur Th12. p 159.

Figure 4.5. Vue supérieure du capteur rouge et de son positionnement sur Th1. p 160.

Figure 4.6. Vue supérieure du capteur jaune et de son positionnement sur C4. p 160.

Figure 4.7. Vue supérieure du récepteur. p 160.

Figure 4.8. Visualisation du positionnement vertébral de L5 et Th12 sur la modélisation virtuelle p 168.

Figure 4.9. Visualisation du couplage image vidéo et virtuelle en position dite « basse ». p 177.

Figure 4.10. Visualisation du couplage image vidéo et virtuelle en position dite « haute ». p 177.

Figure 4.11. Visualisation d'un changement d'orientation vertébrale sur image modélisée- sujet 7. P179.

Figure 4.12. Modalité de mise en évidence de $\alpha.1$, pente sacrée. p 179

Figure 4.13. Figure 4.13. Vue modélisée 3D rachis sujet 16 lors de la MARCHE avec un sacrum à 34° inclinaison par rapport à la verticale ($\alpha.2$). p 195.

Figure 4.14. Figure 4.13. Vue modélisée 3D rachis sujet 16 lors de la MARCHE avec un sacrum à 28° inclinaison par rapport à la verticale ($\alpha.2$). p 195.

➤ SCHEMAS.

Schéma 4.1. Visualisation de l'angle $\alpha.1$ ou pente sacrée. p 170.

Schéma 4.2. Visualisation de l'angle $\alpha.2$. p 171.

Schéma 4.3. Visualisation de l'angle $\alpha.3$. p 171.

Schéma 4.4. Visualisation de l'angle $\alpha.4$. p 172.

Schéma 4.5. Visualisation de l'angle Ω . p 173.

Schéma 4.6. Impact de la flexion/extension lombaire sur la cambrure physiologique (*selon Kapandji, 1980*). p 182.

Schéma 4.7. Travail proprioceptif de l'automatisme oculocéphalogyre (*selon Dufour et Pillu, 2002*). p 184.

Schéma 4.8. La pesanteur tend à propulser le thorax vers l'arrière et l'abdomen vers l'avant (*selon Dufour et Pillu, 2002*) p 227.

➤ TABLEAUX.

Tableau 4.1. Tableau 4.1. Tableau Excel® avec les données brut (exprimées en degrés) fournies par BioVal©- sujet 7. p 174.

Tableau 4.2. Tableau 4.2. Tableau avec valeurs ramenées à deux décimales- sujet7. p 175.

Tableau 4.3. Exemple de mise en évidence de valeur moyenne, maximale et minimale – sujet 7. p 176.

Tableau 4.4. Récapitulatif des enregistrements vertébraux dans les différentes situations. p178.

Tableau 4.5. Exemple de détermination de l'amplitude de variation angulaire. p 180.

Tableau 4.6. Répartition de la population du groupe A selon l'âge et le sexe. p 180.

Tableau 4.7. Comportement du sacrum dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A. p 181

Tableau 4.8. Comportement de la colonne lombaire dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A. p 182.

Tableau 4.9. Comportement de la région thoracique dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A. p 183.

Tableau 4.10. Comportement de la colonne cervicale dans les différentes phases de l'étude pour le groupe A. p 184.

Tableau 4.11. Comportement du couple Th12/L3 pour le groupe A. p 186.

Tableau 4.12. Comportement du couple L5/S1 pour le groupe A. p 186.

Tableau 4.13. Aperçu du comportement rachidien global selon l'âge et le sexe des cavaliers du groupe A. p 187.

Tableau 4.14. Changement d'orientation vertébrale au niveau thoracique et lombaire pour le groupe A. p 188.

Tableau 4.15. Evolution de l'angle $\alpha.1$ dans le groupe A. p 189.

Tableau 4.16. Evolution de l'angle $\alpha.2$ dans le groupe A. p 189.

Tableau 4.17. Evolution de l'angle $\alpha.3$ dans le groupe A. p 190.

Tableau 4.18. Evolution de l'angle $\alpha.4$ dans le groupe A. p 190.

Tableau 4.19. Evolution de l'angle Ω dans le groupe A. p 191.

Tableau 4.20. Variation de la valeur angulaire moyenne du groupe A. p 191.

Tableau 4.21. Répartition de la population du groupe b selon l'âge et le sexe. p 194.

Tableau 4.22. Comportement du sacrum pour le groupe B. p 195.

Tableau 4.23. Comportement de la colonne lombaire pour le groupe B. p 196.

Tableau 4.24. Comportement de la région thoracique pour le groupe B. p 196.

Tableau 4.25. Comportement de la colonne cervicale pour le groupe B. p 197.

Tableau 4.26. Comportement du couple Th12/L3 pour le groupe B. p 198.

Tableau 4.27. Comportement du couple L5S1. p 199.

Tableau 4.28. Etude différentielle homme/femme pour le groupe B. p 200.

Tableau 4.29. Changement d'orientation vertébrale au niveau thoracique et lombaire pour le groupe B. p 201.

Tableau 4.30. Variation de l'angle $\alpha.1$ pour le groupe B. p 201.

Tableau 4.31. Variation de l'angle $\alpha.2$ pour le groupe B. p 202.

Tableau 4.32. Variation de l'angle $\alpha.3$ pour le groupe B. p 203.

Tableau 4.33. Variation de l'angle $\alpha.4$ pour le groupe B. p 203.

Tableau 4.34. Variation de l'angle Ω pour le groupe B. p 204.

Tableau 4.35. Variation de la valeur angulaire moyenne pour le groupe B. p 204.

Tableau 4.36. Répartition de la population du groupe C en fonction de l'âge et du sexe. p 209.

Tableau 4.37. Comportement sacré pour le groupe C. p 209.

Tableau 4.38. Comportement de la colonne lombaire pour le groupe C. p 210.

Tableau 4.39. Comportement de la région cervicale pour le groupe C. p 211.

Tableau 4.40. Comportement du couple Th12/L3. p 212.

Tableau 4.41. Comportement du couple L5S1. p 213.

Tableau 4.42. Etude différentielle homme/femme pour le groupe C. p 214.

Tableau 4.43. Visualisation du changement d'orientation vertébrale au niveau thoracique et lombaire pour le groupe C. p 215.

Tableau 4.44. Variation de la valeur angulaire moyenne du groupe C. p 215.

Tableau 4.45. Variation de l'angle $\alpha.1$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C. p 216.

Tableau 4.46. Variation de l'angle $\alpha.2$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C. p 217.

Tableau 4.47. Variation de l'angle $\alpha.3$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C. p 218.

Tableau 4.48. Variation de l'angle $\alpha.4$ dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C. p 219.

Tableau 4.49. Variation de l'angle Ω dans les différentes phases de l'étude pour le groupe C. p 219.

Tableau 4.50. Répartition de la population totale ayant participé à l'étude en fonction de l'âge et du sexe. p 220.

Tableau 4.51. Comportement sacré pour la population totale. p 221.

Tableau 4.52 Comportement de la colonne lombaire pour la population totale. p 224.

Tableau 4.53. Comportement de l'étage thoracique pour la population totale. p 228.

Tableau 4.54. Comportement de la colonne cervicale pour la population totale. p 230.

Tableau 4.55. Comportement du couple Th12/L3 pour la population globale. p 231.

Tableau 4.56. Comportement du couple L5S1 pour la population globale. p 231.

Tableau 4.57. Aperçu des variations du comportement sacré de la population globale durant la phase A. p 232.

Tableau 4.58. Aperçu des variations du comportement lombaire de la population globale durant la phase A. p 232.

Tableau 4.59. Aperçu des variations du comportement thoracique de la population globale durant la phase A. p 232.

Tableau 4.60. Aperçu des variations du comportement cervical de la population globale durant la phase A. p233.

Tableau 4.61. Aperçu des variations du comportement sacré de la population globale durant la phase B. p 233.

Tableau 4.62. Aperçu des variations du comportement lombaire de la population globale durant la phase B. p 233.

Tableau 4.63. Aperçu des variations du comportement thoracique de la population globale durant la phase B. p 234.

Tableau 4.64. Aperçu des variations du comportement cervical de la population globale durant la phase B. p 235.

Tableau 4.65. Aperçu des variations du comportement sacré de la population globale durant la phase C. p 235.

Tableau 4.66. Aperçu des variations du comportement lombaire de la population globale durant la phase C. p 236.

Tableau 4.67. Aperçu des variations du comportement thoracique de la population globale durant la phase C. p 236.

Tableau 4.68. Aperçu des variations du comportement cervical de la population globale durant la phase C. p 236.

Tableau 4.69. Aperçu du changement d'orientation thoracique et lombaire en fonction du groupe de cavaliers testé. p 237.

Tableau 4.70. Variation de la valeur angulaire moyenne pour la population totale en fonction des groupes et du niveau rachidien. p 239.

Tableau 4.71. Valeurs moyennes, maximales, minimales et les amplitudes du rachis global pour les trois groupes de cavaliers. p 242.

Tableau 4.72. Evolution des variations angulaires moyennes selon les différents groupes. p 242.

Tableau 4.73. Visualisation de la moyenne globale des valeurs moyennes, maximales, minimales. p 242.

CHAPITRE 5

➤ FIGURES.

Figure 5.1. Crochet de Ekman (*d'après kiné et formations.com*).p 278.

Figure 5.2. Etirement du muscle ilio psoas gauche (*selon Baillet, 2014*). p 280.

Figure 5.3. Chaînes spiroïdes du tronc (*selon Dufour et Pillu, 2002*). p 281.

Figure 5.4 et 5.5. Assouplissement des chaînes longitudinales et croisée postérieure gauche (*selon Baillet, 2014*). p 282.

Figure 5.6. Posture globale en décubitus dorsal (*selon Baillet, 2014*). p 282.

Figure 5.7. Posture globale en station debout dans eau (*selon Baillet,2014*). p 282.

Figure 5.8 – 5.9 – 5.10. Exemples de prise de conscience globale flexion/extension (*selon Baillet, 2014*). p 284.

Figure 5.11. Travail des extenseurs du tronc (*d'après Baillet, 2014*). p 285.

Figure 5.12. Déstabilisations rotatoires du tronc (*selon Baillet, 2014*). p 286.

Figure 5.13. Mise en évidence d'un spondylolisthésis sur un sujet « expert » avec antériorisation majeure du sacrum de 73°. P 288.

Figure 5.14. Mise en évidence de la verticalisation sacrée chez le même sujet à 53°. P 288.

➤ SCHEMAS.

Schéma 5.1. Schématisation de la problématique rachidienne du cavalier selon son niveau d'expérience. p 262.

Schéma 5.2. L'interpénétration des caissons thoracique et abdominal est un élément majeur dans la stabilité lombo-pelvienne (*d'après Dufour et Pillu, 2002*). p 270.

Schéma 5.3. Les caissons à géométrie et à pression variables et leurs parois permettent un bon amarage de T12 sur L1 (*d'après Dufour et Pillu, 2002*). p 270.

Schéma 5.4. Répartition des contraintes selon positionnement vertébral (*selon Dufour et Pillu*). p 271.

Schéma 5.5. Objectifs des étirements (*d'après Geoffroy, 2014*). p 279.

Schéma 5.6. Effets des étirements sur l'appareil locomoteur (*d'après Geoffroy, 2014*). 279.

Schéma 5.7. Chaînes spiroïdes du tronc (*d'après Dufour et Pillu, 2002*). p 281.

Schéma 5.8. Comparaison fréquence cardiaque homme/cheval dans un cycle de travail à l'écurie (*d'après MSA 49/ENE, 2012*). p 291.

Schéma 5.9. Influence des tâches effectuées autour du cheval sur appareil locomoteur (*d'après MSA 49 et ENE, 2012*). p 291.

Schéma 5.10. Activité physique humaine induite par les soins portés au cheval (*selon MSA 49 et ENE, 2012*). p 292.

➤ TABLEAUX.

Tableau 5.1. Positionnement rachidien global des cavaliers au cours de l'enregistrement sans distinction de position. p 266.

BIBLIOGRAPHIE

❖ BIBLIOGRAPHIE EQUESTRE

1. L'atlas des techniques de l'Équitation, Paris, Atlas, 1999.
2. AMOS-JACOB K – *Dressage. Technique et Apprentissage*, Amphora, 2000.
3. AUVINET B, Equitation assise : adaptation du cavalier, p., *Revue l'Equitation n°7*, Août 1994, Lavauzelle, 72-77.
4. AUVINET B, GUIHENEUC P, GINET. *Adaptation du cavalier dans la pratique de l'équitation académique: ses conséquences rachidiennes*. Med. Sport, 1978, 52, 3, 119-120.
5. AUVINET B., GUIHENEUC P., GINET. *Equitation académique, adaptation du cavalier: analyse du geste sportif* Med. Sport, 1978, 52, 6, 335-339.
6. AUVINET B. *Equitation académique, adaptation du cavalier: cavaliers professionnels, troubles statiques*. Med. Sport, 1978, 52, 6, 340-347.
7. AUVINET B. *Equitation académique, adaptation du cavalier: cavaliers professionnels, algies et lésions rachidiennes*. Med. Sport, 1978, 52, 6, 349-352.
8. AUVINET B. *Le rachis du cavalier*. Rhumatologie, 1980, 32, 5, 85-94.
9. AUVINET B. *La hanche du cavalier*. Sport Editions, 1980, 54, 281-285.
10. AUVINET B. *Analyse du geste sportif*. Sport Editions, 1982, 16, 40-41.
11. AUVINET B. *Analyse des répercussions des microtraumatismes sur la colonne lombaire et la hanche du cavalier*. Sport Editions, 1982, 16, 41-44.
12. AUVINET B. *Sports équestres: visite médicale d'aptitude*. Méd. du Sport, 1997,13, 27-28.
13. AUVINET B, ESTRADE M. *La santé du cavalier*. Paris: Chiron, 1998. 7-47, 81-93.
14. BAUCHER F. *Dictionnaire raisonné d'équitation*, Edition Emile Hazan, 1961 (réédition de 1851).
15. BAUCHER F. *Méthode d'équitation*, Edition Librairie de Mézières, 1974.
16. BIAU S. *Contribution à l'élaboration d'une selle handisport, Interaction biomécanique entre le cavalier et son cheval au trot*, 2007.

17. BOISSON JJ. Fonctionnement du cavalier sur le plat, *Revue l'Equitation n°16*, Juin 1999, 16-18.
18. BOGROS P. *Des hommes, des chevaux, des équitations*. Paris-Lausanne : Favre-Caracole, 1989.
19. BOGROS P. *Les chevaux de la Cavalerie française*.- Loudun : PSR éditions, 2001.
20. CAZAUBON G. *Contribution à l'étude des problèmes médico-physiologiques en matière d'équitation* (Equitation et décontraction). *Med. Sport*, 1975, 49, 4, 164-172.
21. CHRIS B. *L'art de monter à cheval*, Belin, 2003.
22. CHAMBRY P. *Equitation : Technique, dressage, perfectionnement*. Amphora, 1998.
23. CHAMBRY P. *Allures et sentiments*. Maloine. 1990.
24. COSTE F., DESPROGES-GOTTERON R. *Rhumatisme et équitation*. *Rev. Rhum.*, 1960, 27, 8, 254-258.
25. D'ORGEIX –*L'équitation « Angle et rythmes »*, R. Laffont, 1992.
26. DE PLUVINEL A. *L'instruction du roy, en l'exercice de monter à cheval*, Paris, Edition Grif, (réédition) 1976.
27. DE SEVY L –*De la position à cheval à travers les âges*, 1922.
28. DE SEVY L – *Assiette, allures*. Paris, (Réédition) JM Place, 1993.
29. DECARPENTRY Général – *Equitation académique*. Lavauzelle, (Réédition), 1991.
30. FAVORY E. *Santé et équitation*. Ed Chiron, 2011.
31. FOUQUET B. *Biomécanique du rachis lombaire*, *Revue l'Equitation n°9*, Juin 1995, 73-80.
32. HENRIQUET C ET M – *Comportements de dressage*, Belin, 2009
33. HENRIQUET M. – « *L'art Equestre* », Encyclopédia Universalis, 2011
34. Fédération Française des Sports Equestres – *Manuel d'équitation : instruction du cavalier, emploi et dressage du cheval*, Paris, Lavauzelle, 1969.
35. Fédération Française d'Equitation –*Règlement officiel des Galops*, FFE, 2002.
36. FORCE JL, *Enseigner l'équitation*, (Manuel à l'usage des enseignants et de leurs cavaliers), Paris, Lavauzelle, 2001.
37. GIRARD JF – *Attitude et fonctionnement du cavalier de dressage*, Mémoire de Maîtrise « enseignement et gestion de l'équitation » non paru, ESTHUA Angers, 1996.

38. GALLOUX P, BARREY. *Caractéristiques des foulées, de l'abord, de l'appel et du saut*. EquAthlon, 1995, 7 (26), 16-25.
39. GALLOUX P, JEDDI R, AUVINET B, BIAU S. *Adaptation biomécanique du cavalier à cheval : étude préliminaire*. Equathlon, 1997, n°29, 46-49.
40. GALLOUX P, BIAU S, AUVINET B, LACOUTURE P, JEDDI R. *Adaptation biomécanique du cavalier à cheval, au trot et au galop*. L'équitation, 2007.
41. GALLOUX P, JEDDI R, AUVINET B, BIAU S, LACOUTURE P. *adaptation biomécanique du cavalier à cheval, étude comparative entre deux simulateurs*. In : CR des 24èmes journées d'Etudes du CEREOPA, Paris, 1998.
42. GIRARD JF. *Attitudes et Fonctionnement du cavalier de dressage*, Revue l'Equitation n°16, Juin 1999, 13-15.
43. GUIOTAT JF. *Profession : instructeur d'équitation. commentaires généraux et pédagogiques des aides du cavalier*. AGF. 2002, 86p.
44. HENRY G. *Assiette et position*. Paris, Belin, 2011.
45. KEEGAN JJ. *Alteration of the lumbar curve related to posture and seating*. Bone and Joint Surg., 1953, 35.A, 579-603.
46. KIKKULI. *L'art de soigner et d'entraîner les chevaux – texte hittite (-1500 av JC) trad. et présenté par Emilia Masson*, 1998.
47. LA GUERINIERE F. *Traité d'équitation contenant l'art de monter à cheval d'après de La Guérinière (Éd.1879)*, Paris, Hachette livres, BNF.
48. LE GUILLOU JY – *Nouvelle équitation. A la recherche du Centaure*, Paris, Lavauzelle, 1988.
49. LHOTE Général. *Un officier de cavalerie. Souvenirs du général L'Hotte*. Paris: Hazan, 1976, 1 vol (réédition de 1905).
50. LIE, LUTH, AUVINET et al. *Fréquence et gravité des traumatismes crâniens dans les sports équestres (analyse bibliographique). Intérêt d'une protection céphalique adaptée: normes Afnor*. Science et sports. 1977, 3(1) : 57-62.
51. LICART Commandant - *Equitation raisonnée*, Edition J. Delmas, 1952.
52. MÜSELER W. *Equitation. La formation du cavalier. Le dressage du cheval*. JM Place, (Réédition) (traduit de *Equitation*, Müseler W, Berlin 1963), 1998.

53. MÜSELER W. *Équitation*. Paris: Berger-Levrault, 1967, 1 vol.
54. OLIVEIRA N. *Œuvres complètes*, Belin, 2006.
55. OLIVEIRA N. *Réflexions sur l'Art Equestre*, Edition Crépin-Leblond, 1965.
56. OLLIVER D. *La vérité sur l'équilibre*, Paris, Belin, 1999.
57. PAILLOUX J-P. *La préparation physique du cavalier*. Med. Sport, 1995, 69, hors série, p.217-221.
58. PRADIER P. *Mécanique équestre et équitation. réflexion d'un cavalier à la fin du XXème siècle*. Paris, Maloine, .7, 1995.
59. SAINT-FORT PAILLARD. *Comprendre l'équitation*. Paris: Chiron, 1989.
60. SWIFT S. *L'équitation centrée. Une nouvelle méthode « douce » pour améliorer la communication cavalier-cheval*. Crepin-Leblond, 1^{ère} édition, 1988.
61. TEYSSANDIER M-J, TEYSSANDIER M-T. *Courbures sagittales du rachis et longueur des étrivières en équitation académique*. J. Traumatol. Sport, 1991, 8, 98-103.
62. TEYSSANDIER M-J, TEYSSANDIER M-T. *Courbures sagittales du rachis et adaptation du geste sportif en équitation académique*. J. Traumatol. Sport, 1991, 8, 4, 206-214.
63. TEYSSANDIER M-J, RADAELLI E. *Efforts et contraintes de cisaillement subis par le rachis*. Riabilitazione, 1982, 15, 1,9-18.
64. THOLOT A-L, BIAU S, ROQUELAURE. *Bibliographie des pathologies inhérentes aux cavaliers professionnels*. LEEST, ENE-IFCE, 2012.
65. VANNEUVILLE G., SCHEYE T., DUCHER E. et al. *Biomécanique de la colonne vertébrale. Application au rachis du cavalier*. Sci. Sports, 1991,6, 133-134.
66. VON DIETZE S. *L'équilibre dans le mouvement. Comment développer une assiette parfaite*. Paris, Belin, 2002.
67. XENOPHON (trad. Pierre Chambry). *Œuvres complètes*, Flammarion, 1967.
68. XENOPHON. *De l'art équestre : texte grec et trad.* Édouard Delebecque, Les Belles Lettres, 1978.

❖ BIBLIOGRAPHIE SCIENTIFIQUE

69. ADAMS M.A, HUTTON W.C., (1985). *The effect of posture on the lumbar spine*. J. Bone Joint and Surgery. 1985, 67-B (9) : 625-629.
70. ALLARD P, BLANCHI JP. *Analyse du mouvement humain par la biomécanique*. Vigot-Décarie, Québec, 2000 : 30-43.
71. AN K.N, JACOBSON LJ, CHAO EY. *Application of a magnetic tracking device to kinesiological studies*. J. Biomech. 1988, 21: 613-620
72. ANDERSON GB, ORTENGREN R, NACHEMSON AL. *Intra-discal pressure, intra-abdominal pressure and myoelectric back muscles activity related to posture and loading*. Clin Orthop. 1977, 129: 156-164.
73. ANDERSON GB, SCHULTZ AB, NACHEMSON AL. *Intervertebral disc pressures during traction*. Scan J Rehabil Med suppl. 1983, 9:88-91.
74. ANDRIACCHI T.P. *Dynamics of knee malalignment*. Orthopaedic physical therapy clinics of North America. 1994, 25: 395-403.
75. ARNOLD AS, DELP SL. *Rotational moment arms of the medial hamstrings and adductors vary with femoral geometry and limb position: implications for treatment of internally rotated gait*. J. Biomech. 2001, 34(4): 437-444.
76. ASCH HL, LEWIS PJ, MORELAND DB, et al. *Prospective multiple outcomes study of outpatient lumbar microdiscectomy: should 75 to 80% success rates be the norm?* J Neurosurg. 2002, 96: 34-44.
77. AWNER T. - *Influence de la position de l'assise sur le complexe lombo-pelvi-fémoral de l'enfant*. Annales de kinésithérapie. 1990, 17 : 37-42.
78. BADELON BF. *Le complexe lombopelvi-fémoral: évaluation assistée par ordinateur. Cas cliniques : les dysfonctionnements*. Ann Réadapt Med Phys. 1992, 35 : 175-196.
79. BADLER N.I, PHILIPS CB, WEBER BL, *Simulating humans, Computer graphics animation and control*. Ed. Oxford University Press, Oxford. 1993, 270p.
80. BANKOFF ADP, MORAES AC, PELLEGRINOTTI IL, GALDI EHG. *Study of explosive strength of the rectus femoris muscle using electromyography*. Electromyogr Clin Neurophysiol. 2000, 40: 351-356.

81. BARBIER C, CAILLAT-MIOUSSE JL. *Etude préliminaire de l'influence de l'abaissement actif de la tête humérale sur la variation de l'espace sous-acromial*. Ann Kinésithér. Paris. Masson, 2000, 27: 12-20. – 1994 –
82. BASSEWITZ H, HERKOWITZ H. *Lumbar stenosis with spondylolisthesis: current concepts of surgical treatment*. Clin Orthop. Relat Res. 2001: 54-60.
83. BAUM K, ESSELFELD D. *Origin of back pain during bedrest : a new hypothesis*. Eur J Med Res. 1999, 4 (9) : 383-393.
84. BELL A, PEDERSEN D, BRAND R. *A comparison of accuracy of several hip center location prediction methods*. Journal of Biomechanics. 1990, 23, (6): 617-621.
85. BERGER. *Le développement de la plasticité perceptive*. Conférence donnée au Collège de France, 2000 in Courraud (2002) *Attention et performance*. Les cahiers de la Mdb.
86. BERGER W, TRIPPEL M, DISCHER M, DIETZ V. *Influence of subject's height on the stabilization of posture*. Acta Otolaryngol. 1992, 112 (1): 22-30.
87. BERTOZ A. *Le sens du mouvement*. ESF, 1997.
88. BLACK K.M, McCLURE P, POLANSKY M,(1996). *The influence of Different sitting positions on cervical and lumbar posture*. Spine. 1996, 21 (1): 65-70.
89. BLACKBURNE JS, VELIKAS EP. *Spondylolisthesis in children and adolescents*. J Bone Joint Surg Br. 1977, 59-B: 490-494.
90. BO K, LILLEAS F, TALSETH T, HEDLAND H. *Dynamic MRI of the pelvic floor muscles in an upright sitting position*. Neuroourol Urodyn. 2001, 20(2): 167-174.
91. Bogard E., Richards C.L. *Gait analysis and relearning of gait control in hemiplegic patient*. Physiotherapy Canada. 1981. (33): 223-230.
92. BOOKE MH, KAISER KK. *Muscle fiber types : how many and what kind ?* Arch Neurol. 1970, 23(4): 369-379.
93. BOUISSET S, MATON B. *Muscles, postures et mouvement. Bases et applications de la méthode électromyographique*. Hermann. Paris, 1995.
94. BRAY A, BARRATO G, LEVI R. *Theory and practice of force measurement*. Academic Press Harcourt Brace Jovanovich Publisher London. 1990.
95. BRIANT A, LAUDE M, VIEL E, PEYRANNE J. *Etude de l'accélération et des couples de rotation pied-sol au cours de la marche*. Ann Kinésithér. 1986, 20(6) : 289- 294.

96. BROOKS WH, BIXBY HAMETT, DORIS M. *Prevention of neurologic injuries in equestrian sports*. Physician and Sportmedecine. 1988, 16(11): 84-95.
97. BROWN D.D., KNOWLTON R.G., HAMILL J., SCHNEIDER T.L., HETZLER R.K. *Physiological and biomechanical differences between wheelchair-dependent and able-bodied subjects during wheelchair ergometry*. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1990, 60 : 179-82.
98. BUI-XUAN G. *Le corps mobilisé*, Paris, L'Harmattan, 1999.
99. BUTEL J, KLEIN A, PLAS F. *Etude de l'extensibilité des muscles ischio-jambiers sur 107 enfants de 9 à 14 ans scolarisés*. Ann. Kinésithér. 1980, 7 : 205-208.
100. BUSQUET L. *Les chaînes musculaires*. Tome 1. Paris, Frison Roche, 2000.
101. CAMUS JF. *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris, Armand Colin, 1996.
102. CAPPOZZO A, PAPA E. *Sit-to-stand motor strategies investigated in able-bodied young and elderly subjects*. J Biomech. 2000, 33: 1113-1122.
103. CARR JH, OW JEG, SHEPHERD RB. *Some biomechanical characteristics of standing up at three different speeds: implication for function training*. Physiotherapy theory and practice. 2002, 18: 47-53.
104. CASTAING J, SANTINI JJ. *Le Rachis. Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur*. Tome 7 : Le rachis. Vigot, Paris, 1960.
105. CHANUSSOT JC, DANOWSKI R-G. *Rééducation en traumatologie du sport. Membre inférieur et rachis*. Paris: Masson, 1997. (Abrégés de médecine).
106. CHAO EY, NELUHENI EV, HSU RW, PALEY D. *Biomechanics of mala-lignment*. Orthop Clin North Am. 1994, 25(3) : 379-386.
107. CHARRIERE L, ROY J. *Kinésithérapie des déviations antéro-postérieures du rachis*. Masson, Paris, 3^{ème} édition, 1975.
108. CHEZE L., FREGLY B.J., DIMNET J. *A solidification procedure to facilitate kinematic analyses based on video system data*. Journal of Biomechanics. 1995, 28: 879-84.
109. COQUILLOU P, VIEL E. *Mesure photographique du déport postérieur du bassin lors de la flexion antérieure du tronc*. Ann kinésithér. 1984, 11 (1-2) : 9-13.
110. COSTE – COSTE F., DESPROGES-GOTTERON R. *Rhumatisme et équitation*. Rev. Rhum., 1960, 27, 8, 254-258.

111. COURRAUD C. *Attention et performance*. Les cahiers de la Mdb, 2002.
112. COUTURE L. *Les problèmes de santé reliés à la posture debout, Soutien scientifique et technique*. Centre de référence de la CSST (CREF : 86082901). 1986, 44 p.
113. CREPON F, PIERRON G, CREPON B, MAJER L, CHEKKROUN MR. *Influence des mobilités thoraciques et abdominales sur les volumes ventilatoires*. Journées de Médecine Physique et de Rééducation. Expansion Scientifique française, Paris, 1997 : 145-149.
114. CUVELIER G. - Cours de biomécanique de la marche MK3. Haute Ecole Provinciale du Hainaut Occidental, Département Paramédical, Section de Kinésithérapie. Tournai (Belgique). 2006-2007.
115. DARGAUD J et GALLICHON V. *Etude de la structure trabéculaire interne de l'ilium australopithèque : histoire d'une bipédie*. Biom Hum et Antrhopol. 1997, 15(3-4) : 185-190.
116. DELLA CROCE U, RILEY PO, KERRIGAN DC. *Propulsive adaptation to changing gait speed*. J Biomech. 2001, 34: 197-202.
117. DELGADO A. *Force de traction sur les rênes d'élèves lads-jockeys de galop*. Sciences et Sports. 1993, 8: 81-82.
118. DELMAS A. *Types rachidiens de statique corporelle*. Rev Morpho-physiol Hum. 1951: 27-32.
119. DEMPSEY WT. *Mechanics of shoulder movement*. Arch Phys Med Rehabil. 1965, 46: 49-70.
120. DENIS F. *Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma*. Clin Orthop Relat Res. 1984: 65-74.
121. DENISKINA NV, LEVIK YS. *Relative contribution of ankle and hip muscles in regulation of human orthograde posture in a frontal plane*. Neurosci Lett. 2001, 310(2-3) : 165-168.
122. DEPERETTI F, ARGENSON C et al. *Biomechanics of lumbar spinal nerve roots and the first sacral root within the intervertebral foramina*. Surg Radiol Anat. 1989, 11 (3) : 221-225.
123. DE SEZE S. *Radio-diagnostic en rhumatologie*, ouvrage collectif. Expansion Scientifique Française. Paris. 1967.
124. DESPROGES GOTTERON R. *Rhumatismes et équitation*. Med. Ed. Phys. et Sport. 1966, 4012 : 102-105.

125. DEVIENNE et GUEZENNEC. *Energy expenditure of horse riding*. European Journal of Applied Physiology. 2000, 82 (5-6): 499-503.
126. DUBOUSSET JF, BARTHES X, WALTER B, ZELLER R. *Biomechanical behavior in vitro of the spine and lumbosacral junction*. Surg Radiol Anat. 1999, 21(6) : 377- 381.
127. DUFOUR M, PILLU M. *Biomécanique fonctionnelle – Membres, Tête, Tronc*. Paris, Masson, 2001.
128. DOLTO B. *La notion de « poutre composite » dans le traitement des lombalgies (par la médecine manuelle)*. Ann Med Phys. 1973, 16 (1) : 77-94.
129. DOLTO B. *Le corps entre les mains*. Herman, Paris, 1976.
130. DOLTO B. *Traitement manuel du ventre*. Entretiens de Bichat. Journée de Rééducation. Expansion scientifique, Paris, 1977.
131. DORIOT, N., WANG, X. A comparative study of the maximum voluntary range of motion of the upper limb joints in younger and older subjects. Ergonomics. 2006, 49 (3): 269 281.
132. DREVET JG, LELONG C, AUBERGE TH. *Les pressions intradiscales lombaires in vivo*. Ann Kinésithér. 1990, 17 (10) : 509-512.
133. DUJARDIN F. *Dynamique pelvienne durant la marche habituelle*. In La Marche Humaine et sa pathologie. Pelissier J et Brun V édés. Masson, Paris, 1994.
134. DUQUESNOY B., KONTZ J-L. *Spondylolyse, spondylolysthésis et lombalgie chronique*. Rev. Rhum, 1998, 65 (3 bis) : 27-31.
135. DUQUESNOY B. *Classification des lombalgies communes*. Rev. Rhum. 2001, 68(2): 145-9.
136. DVORAK J, LANZ C, KLEIN GN, MANNION AF. *Range of global motion of cervical spine : intraindividual reliability and the influence of measurement device*. Eur Spine J. 2000, 9(5): 379-385.
137. EDMONSTON SJ, SINGER KP, DAY RE, PRICE RI, BREIDAHN PD. *Ex vivo estimation of thoracolumbar vertebral body compressive strength: the relative contributions of bone densitometry and vertebral morphometry*. Osteoporos Int. 1997, 7 (2): 142-148.
138. EUKELKAMP & al. - *On the development of an artificial intervertebral disc – Dissertation_University of Groningen (Pays Bas)*. 2002 - <http://dissertations.ub.rug.nl>

139. ELLEUCH MH, GUERMAZI M, MEZGHANNI M, GHROUBI S, BALKOUTI S. *Etiologie des tendinopathies de la coiffe des rotateurs de l'épaule. A propos d'une série de 123 cas.* Journées de Médecine Orthopédique et de Rééducation. 2002, 15-19.
140. FABRIS D, COSTANTINI S, NENA U, et al. *Traumatic L5-S1 spondylolisthesis: report of three cases and a review of the literature.* Eur Spine J. 1999, 8: 290-295.
141. FARABOEUF LH. *Précis de manuel opérateur.* Masson. Paris, 1889.
142. FAUPIN, A., CAMPILLO, P., WEISLAND, T., GORCE, P. & THEVENON, A. (2004b) *Analyse cinématique et électromyographique de la propulsion en fauteuil roulant à manivelles selon différents braquets.* IIIème conférence Handicap 2004, pour l'essor des technologies d'assistance, Versailles, France, 2004.
143. FERRARIO V, SFORZA C, SERRAO G, GRASSI G, MOSSI E. *Active range of motion of the head and cervical spine : a three dimensional investigation in healthy of young adults.* J Orthop Res 2002, 20 (1): 122-129.
144. FLOYD WF, SILVER PH. *Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man.* J Anat. 1950, 84: 132-145.
145. FRENNERED AK, DANIELSON BI, NACHEMSON AL. *Natural history of symptomatic isthmic low-grade spondylolisthesis in children and adolescents: a seven-year follow-up study.* J Pediatr Orthop. 1991, 11: 209-213.
146. FRANCONI V. *L'écuyer* . Paris. Michel Lévy , 1860. (Réédition 1991).
147. FRANCINI V. *Le Cavalier : cours d'équitation pratique.* 2e éd. 1861. Paris. M. Lévy .
148. GAJDOSIK R, SIMPSON R, SMITH R, DONTIGNY RL. *Pelvic tilt, Intratester reliability of measuring the standing position and range of motion.* Phys Ther. 1985, 1.65 (2): 169-174.
149. GEOFFROY C. *Guide pratique des étirements.* Editions Geoffroy. 2012.
150. GERONIMI M., GORCE P. *Biomechanical analysis of the movement of prehension with obstacle : comparative study between elderly subjects and adults.* AMSE journals, modeling, measurement and control. 2007, 67: 137-47.
151. GIRAUDET G. *Biomécanique humaine appliquée à la rééducation.* Masson, Paris, 1976.

152. GORCE P., BOUGHIDEN M.L. *Biomechanical modelling of "seat to stand process" on electrical wheelchair*. AMSE journals, modelling, measurement and control. 2003, 63 : 58-71
153. GOUPILLE P, FREEMONT AJ. *Aspects nouveaux de la biochimie du disque intervertébral*. Rev Med Orthop. 1997, 49 : 5-8.
154. GRANDJEAN JL, PAPAREMBORDE M, BARON JB. *Etude des déplacements du centre de gravité en flexion antérieure du tronc et lors de soulèvement de charges*. Ann Kinésithér. 1985, 12 (3) : 65-72.
155. GRIEVE E. *Dysfonctionnement mécanique de l'articulation sacro-iliaque*. Ann Kinésithér. 1983, 10 (7-8) : 259-262.
156. GUIGUI P, CHOPIN D. *Bilan de l'utilisation de la ligamentoplastie de Graf dans le traitement chirurgical des sténoses lombaires. À propos d'une série de 26 patients*. RCO 1994, 80: 681-688.
157. GURFINKEL V.S., ELNER A.M. *On the relation between stability in a vertical position and respiration in patients with focal diseases of the brain in various localizations*. Zh Nevropatol Psikhiatr . 1968, **68**: 1014-8.
158. GURFINKEL V.S. *Physical foundations of stabilography*. Agressologie.1973, **14**, C, 9-14.
159. HARADA M, ABUMI K, ITO M, KANEDA K. *Cineradiographic motion analysis of normal lumbar spine during forward and backward flexion*. Spine, 2000, 25 (15): 1932-1937.
160. HARRIS W, FLEMING J, GERTZBEIN S. *Back Pain: The Workplace Safety and Insurance Appeals Tribunal*, 2003.
161. HARRISSON DE, HARRISSON DD, JANIK TJ, WILLIAM-JONES E al. *Comparison of axial and flexural stresses in lordosis and three buckled configurations of the cervical spine*. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2001, 16 (4): 276-284.
162. HARTVIGSEN J, LEBOEUF-YDE C, LINGS S, CORDER E.H. *Ooes sitting at work cause low back pain?* Ugeskr Laeger. 2002, 164: 759-761.
163. HEBRARD A. *EPS, réflexions et perspectives*, éditions Revue EPS, 1986.
164. HOLLANS MA, SORENSEN KL, PATLA AE *Effects of head immobilization on the coordination and control of head and body reorientation and translation during steering*. Exp Brain Res. 2001, 140(2): 222-223.
165. HORDEGEN K.M. *The influence of horse riding on the spine of the rider*. Clin. Sport Med, 1993.

166. INSERM. *Rachialgies en milieu professionnel. Quelles voies de prévention ?* (expertise collective). INSERM éditeur, Paris, 1995.
167. JORGE DO MARCO N, d'après NEWTON M, WADDEL G. *Mesurer la souplesse lombaire*. Kinésithérapie Scientifique 1993, 321 : 52-53.
168. KABAT H. *Studies of neuromuscular dysfunction new principles of neuromuscular reeducation*. PNF In Praticce ADET, BECKERS, BUCK. 1947.
169. KAMINA P. *Anatomie Générale*. In Maloine éd. *Anatomie, introduction à la clinique*: Maloine édition. 1997, 1-11.
170. KANAYAMA M, ABUMI K, KANEDA K, TADANO S, UKAI T. *Phase of lag of the intersegmental motion in flexion-extension of the lumbar and lumbosacral spine*. *Spine*. 1996, 21 (12): 1416-1422.
171. KAPANDJI IA. *Physiologie articulaire. Tronc et Rachis (5ème édition)*. Maloine, Paris, 1980.
172. KEEGAN JJ. *Alteration of the lumbar curve related to posture and seating*. *Bone and Joint Surg.*, 1953, 35.A, 579-603.
173. KISSLING R, JACOB HA, BRUNNER C. *The effects of morphology and histopathologic findings on the mobility of the sacroiliac joint*. *Spine*. 1991, 16(9): 1111-1117.
174. KITAOKA H.B, LUO Z.P, AN K.N. *Effect of posterior tibial tendon on the arch of the foot during simulated weightbearing: biomechanical analysis*. *Foot and Ankle International*. 1997, 18 (1) : 43-46.
175. KONIG A, VITZTHUM HE. *Functionnal MRI of the spine: different pattern of position of the forward flexed lumbar spine in healthy subjects*. *Eur Spine J*. 2001, 10 (5): 437-442.
176. KROEMER, K.H.E. *Seating in plant and office*. *American Industrial hygiene Association Journal*. 1971, 2 (2): 633-652.
177. KUMAGAÏ M, SHIBA N, HIGUCHI F, NISHIMURA H, INOUE A. *functional evaluation of hip abductor muscles with use of magnetic resonance imaging*. *J Orthop Res*. 1997, 15(6) : 888-893.
178. LABALUE, *L'Equitation*. Service Santé et Environnement de la Province de Liège – Département Médecine du Sport. 1982.
179. LACOUR M. *Posture et équilibre*. Sauramps Médical. Montpellier, 1999.

180. LACOUTURE P., JUNQUA P. *Plate-forme de forces et analyse du geste sportif*. Science et motricité. 1991, 15 : 41-51.
181. LAM S. S. K., JULL G., TRELEAVEN, J. *Lumbar spine kinesthesia in patients with low back pain*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 1999, 29: 294-299.
182. LAMANDE F. *Pédagogie par objectifs et rééducation de l'amputé du membre supérieur appareillé avec prothèse myoélectrique*. Ann Kinésithér. 2000, 27 : 49-53.
183. LAMY S, RICHETTE P, VICAUT E, DE VERNEJOUL M.C, ORCEL P, BARDIN T. *La densité minérale osseuse chez des patients ayant une coxarthrose commune ou une coxarthrose destructrice rapide est-elle différente? : résultats d'une étude prospective cas-contrôle*. Revue du rhumatisme. Elsevier Masson. 2006, 10 : 132.
184. LARSON B, KARLSSON S, GERDLE B. *Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque: a study of repetitive maximum isokinetic knee extensions*. J Electromy et Kinesio. 2000, 10: 225- 232.
185. LAVILLONNIERES et PLAS – 1991 – *Influence de la tension des ischio jambiers sur la position du rachis lombo sacré dans le plan sagittal* – Annales de Kinésithérapie, 1991, t.18, n°1-2, pp 35-44 ©Masson, Paris, 1991.
186. LECOCQ J, VAUTRAVERS Ph. *Traitement médical conservateur de la hernie discale chez le sportif*. In: SIMON L, RODINEAU J, SAILLANT G, BENEZIS Ch. Rachis et Sport. Masson. Paris. 1995, p.133.
187. LEE R, EVANS J. *Ann in vivo study of the intervertebral movements produced by posteroanterior mobilization*. Clin Biomech (Bristol, Avon). 1997, 12 (6): 400-408.
188. LE FLOCH P. *Position assise, ischion et bourse serreuse ischiatique*. J Biophys et Med Nucl. 1980, 4(3) : 155-158.
189. LELONG, DREVET, CHEVALLIER, PHELIP – 1989 – *Biomécanique des disques lombaires et station assise de travail* – Annales de Kinésithérapie, 1989. Masson. Paris. 1989, 16 (1-2) : 33-40.
190. LEROUX P, DESMARESTS JJ. *Réflexion sur les lois ostéopathiques de Fryette*. Ann Kinésithér. 1994, 21 (5) : 235-238.
191. LIS, A.M., BLACK, KM., KORN, H., NORDIN, M. (2007). *Association between sitting and occupational LBP*. European Spine Journal. 2007, 16: 283-298.
192. LOMBARD WP, ABBOTT FM. *The mechanical effect produced by the contraction of individual muscles of the thigh of the frog*. Am J Physiol. 1907, 20: 1-60.

193. LOUIS R. *Chirurgie du rachis*. Springer Verlag, Berlin, 1982.
194. LU CM, LI YK, ZHANG YK, ZHONG SZ. *Changes and implications of blood flow velocity of the vertebral artery during rotation and extension of the head*. J Manipulative Physiol Ther. 1999, 22(2): 91-95.
195. Mac GILL, KAVCIC, HARVEY - *Sitting on a chair or an exercise ball: various perspectives to guide decision making* - Clinical Biomechanics 21. 2006.
196. MAIGNE R. *Douleurs d'origine vertébrale et traitements par manipulations. Médecine orthopédique des dérangements inter-vertébraux mineurs*. Expansion Scientifique, Paris, 1972.
197. MAIGNE R, GUEDJ S. *Coccygodynies et clichés dynamiques du coccyx : mobilités comparées du coccyx normal et du coccyx douloureux. Analyse d'une série témoin*. Rev Med Orthop. 1993, 32 : 25-28.
198. MAITLAND J. *Spinal Manipulation Made Simple. A Manual of soft tissue*. North Atlantic Books. 2012, 184p.
199. MAJOR NM, HELMS CA, RICHARDSON WJ. *Imaging of fibrocartilaginous masses arising on the margins of spondylolysis defects*. AJR Am J Roentgenol. 1999, 173: 673-676.
200. MANDAL AC. *L'influence de la hauteur du mobilier sur la lombalgie*. Ann Kinésither. 1990, 17(4) : 151-156.
201. MANGIOME P, SENEGAS J. *L'équilibre rachidien dans le plan sagittal*. Rev Chir Orthop. 1997, 83 : 22-32.
202. MARTY C, LEGAYE J, DUVAL-BEAUPERE G. *Equilibre rachidien sagittal normal: ses relations avec les paramètres pelviens, ses dysfonctionnements: cause des lombalgies*. Résonances Européennes du Rachis. 1997, 15 : 21-26.
203. MATSUI H, KANAMORI M, ISHIHARA H, et al. *Familial predisposition for lumbar degenerative disc disease. A case-control study*. Spine. 1998, 23: 1029-1034.
204. MATSUURA A, TAKITA N, SHINGU Y, KONDO S, MATSUI A et al. *Rhythm analysis for movements of horse and rider on a treadmill by sequential skill VTR pictures*. J Equine Sci. 2003, 14(4): 125-131.
205. MAYER F, HORTSMANN T, ROCKER K, HEITKAMP HC, DICKHUTH HH. *Normal value of isokinetic maximum strength/velocity curve, and the angle of peak torque of all degrees of freedom in the shoulder*. Int J Sports Med. 1994, 15, Suppl 1 : 19-25.
206. MEIRIEU P. – *Apprendre, oui mais comment ?* ESF, 1990.

207. METTE F, DERIAUTTE S. *Etude de la mobilité du rachis lombaire dans le plan sagittal : comparaison et corrélation entre les mesures cliniques et radiologiques.* Ann Kinésithér. 1996, 23(6): 270-273.
208. MEYERDING H. *Spondylolisthesis.* Surg Gynecol Obstet. 1932, 54: 371-377.
209. MEYERDING H. *Spondylolisthesis ; surgical fusion of lumbosacral portion of spinal column and interarticular facets ; use of autogenous bone grafts for relief of disabling backache.* J Int Coll urg. 1956, 26 (5): 566- 591.
210. MIALARET JP. *L'attention.* Que sais-je? Paris. PUF,1999.
211. MORELLE R. *Le trot assis. Critères de capacité.* In: Congrès francophone de Médecine et Sports Equestres. Saumur, 1985. Laval: groupe d'étude de la médecine des sports équestres, 1985, 208-213.
212. MULTON F, DUFOUR M, DELAMARCHE P. *Anatomie, Physiologie, biomécanique en STAPS.* Masson, Paris, 2002.
213. NACHEMSON A, ELFSTROM G. *Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs. A study of common movements, manoeuvres and exercices.* Scand J Rehabil Med Suppl. 1970, 1: 1-40.
214. NADEAU G. (1997), *Lésions ostéoarticulaires et tendino-musculaires, syndromes canauxiers liés à l'usage du fauteuil roulant.* Dans: Péliissier J, Jacquot JM and Bernard PL eds, *Le fauteuil roulant.* Masson, Paris, 363-72.
215. OBERG T, KARSZNIA A, OBERG K. *Basic gait parameters : reference data for normal subjects, 10-79 years of age.* J Rehabil res Dev. 1993, 30(2) : 210-223.
216. PADGAONKAR A.J., KRIEGER K.W., KING A.I. *Measurement of angular acceleration of a rigid body using linear accelerometers.* Journal of Applied Mechanics, 1975, 42 : 552-556.
217. PAILLEX R, PAIX P-Y. *Analyse du comportement du rachis lombaire lors de la position assise prolongée sur deux types de sièges.* Ann Kinésithér. 1996, 23(6): 264-269.
218. PANAGIOTACOPULOS ND, POPE MH, BLOCH R, et al. *Water content in human intervertebral discs. Part II. Viscoelastic behavior.* Spine 1987, 12: 918-924.
219. PANDY M.G, ZAJAC FE, SIM E, LEVINE WS, *An optimal control model for maximum-height human jumping.* 1990,J. Biomech., 23: 1185-1198.
220. PANJABI MM, WHITE III AA, *Basic biomechanics of the spine.* Neurosurgery. 1980, 7 (1): 76-93.

221. PAUWELLS F. *Biomechanics of the normal and diseased hip*. Springer. Berlin, 1976.
222. PEACH JP, SUTARNO CG, MCGILL SM. *Three-dimensional kinematics and trunk muscle myoelectric activity in the young lumbar spine: a database*. Arch Phys Med Rehabil. 1998, 79 (6) : 663- 669.
223. PEARCY MJ, HINDLE RJ. *New method for non-invasive three-dimensional measurement of human back movement*. Clin Biomech.1989, 4 : 73-79.
224. PEHAM C, LICKA T, SCHOBESBERGER H, MESCHAM E. *Influence of rider on the variability of the equine gait*. Hum Mov Sci. 2004, 23(5) : 663-671.
225. PELISSIER J, BRUN V. *La marche humaine et sa pathologie : Explorations et Rééducation*. Masson, Paris, 1994.
226. PENINOU G. *Examen de la posture érigée. Position relative de la ligne de gravité et de l'axe tragien*. Ann kinésithérapie. 1982, 9 : 389-402.
227. PENNING L. *Psoas muscle and lumbar spine stability : a concept uniting existing controversies. Critical review and hypothesis*. Eur Spine J. 2000, 9 : 577-585.
228. PENNING L. *Spine stabilization by psoas muscle during walking and running*. Eur Spine J. 2002, 11 (1): 89-90.
229. PEYRANNE J, D'IVERNOIS JF. *Pratiques corporelles et évolution du mobilier scolaire du XIXème siècle à nos jours – Annales de Kinésithérapie*. Masson. Paris, 1998, 25(3) : 119-124.
230. POMERO P. *Adaptation de la musculature cervicale au pilotage automobile de compétition*. Rev Med Orthop. 1998, 53 : 33-38.
231. QUESNEL T. *L'antéversion fémorale relative chez l'homme: variations cinématiques pour un équilibre dynamique*. Biom Hum Anthropol. 2000 ; 18 : 125-129.
232. RABISCHONG P, AVRIL J. *Rôle biomécanique des poutres composites os-muscles*. Rev Chir Orthop. 1965, 51 (5): 437-458.
233. RAMPON S. *Maladie de l'appareil locomoteur*. Clermont-Ferrand: Bloc-Santé. 1982, 1 : 135-139.
234. REVEL M, APSIT E, AUGÉ R. *La cervicalgie commune, technique de rééducation*. Laboratoire Pfizer, Orsay (France), 1983.

235. REZZOUG N., GORCE P. *Manipulation d'objets en milieu encombré: application à l'assistance robotis*. Journal européen des systèmes automatisés. 2000, 34 : 817-34.
236. ROTHSTEIN J.M, MILLER PJ, ROETTGER RF. *Goniometric reliability in a clinical setting: Elbow and knee measurements*. Physical therapy. 1983, 63: 1611-1615.
237. SAAL JA. *Natural history and nonoperative treatment of lumbar disc herniation*. Spine. 1996, 21: 2S-9S.
238. SACHSE B. *Sur mes 4 jambes*. Edition du Rocher. 2015.
239. SALEH M. & G. MURDOCH, *In defence of gait analysis, Observation and measurement in gait assessment*. J. Bone Joint Surg. 1985, 67B : 237-241.
240. SAMUEL J, ANDRES JC, JUSSERAND J. *Electromyographie différentielle des muscles spinaux profonds et superficiels*. Entretiens de Bichats. Journée de Rééducation. Expansion Scientifique. Paris, 1977.
241. SAMUEL J *L'action du muscle pyramidal du bassin dans le plan sagittal*. Kinésithérapie Scientifique. 1989, 282 : 5-9.
242. SCANELL JP, Mac GILLIS SM. *Lumbar posture – should it, and can it, be modified? A study of passive tissue stiffness and lumbar position during activities of daily living*. Phys Ther. 2003, 83(10) : 903-917.
243. SCHAMHART HC. *Ground reaction force analysis of horse ridden at walk and trot*. Equine Exerc. Physiol. 1991, 3 : 120-121.
244. SCHMIDT R A. - *Apprentissage moteur et performance*. Collection sport + enseignement, 1993.
245. SCHÖBERT P. *Ledenwirbelsäule und Kreuzschmerzen*. Münchenen Medizinische Wochenschrift. 1937, 84 (9) : 336-338.
246. SEIDLER RD, ALBERTS JL, STELMACH GE. *Changes in multi-joint performance with age*. Motor Control. 2002, 6: 19-31.
247. SELIGMAN JV, GERTZBEIN SD, TILE M, et al. *Computer analysis of spinal segment motion in degenerative disc disease with and without axial loading*. Spine. 1984, 9: 566-573.
248. SHIRAZI –ADL A. *Nonlinear stress analysis of the whole lumbar spine in torsion-mechanics of facet articulation*. J Biomech. 1994, 27(3): 289-299.
249. SIMMONS DG, TRAVELL JG. *Douleurs et troubles fonctionnels myofasciaux*. Tome 2 : membre inférieur. Haug, Bruxelles, 1993.

250. SINGH AK, HOLLISTER AM, JATANA S, SULLIVAN WW, LUPICHUK A. *The axes of rotation of the knee*. Clin Orthop. 1993, 290: 259-268.
251. SLOBOUNOV S.M., SIMON R.F., BUSH J.A., KRAEMER W.J., SEBASTIANELLI W., SLOBOUNOVA E. *An alternate method of range of motion assessment*. Journal of Strength and Conditioning Research. 1999, 13 (4): 389-393.
252. SMIDT GL, McQUADE K, WEI SH, BARAKATT E. *Sacroiliac kinematics for reciprocal straddle positions*. Spine. 1995, 20(9): 1047-1054.
253. SMIDT GL, WEI SH, McQUADE K, BARAKATT E, SUN T, STANFORS W. *Sacroiliac motion for extreme hip positions*. Spine. 1999, 22(28): 2073-2082.
254. SOHIER R. *kinésithérapie analytique de la colonne vertébrale*. Tome 1 et 2. Kinésicences, 1986.
255. STAFFEL, F. *Zur Hygiene des sistzens*. Zbl F. Allg Gesundheitspflege. 1885, 3 : 3-421.
256. STAGNARA P. *Déviations et déformations sagittales du rachis*. Encycl. Méd. Chir., Appareil locomoteur, 1979, 4-1-01, 15 865 E10.
257. STEIB JP, OLHMANN AM. *Biomécanique du spondylolisthésis L5-S1*. Ann Kinésithér. 1989, 16 (1-2) : 21-31.
258. STEINBRECHT G. *Das Gymnasium des Pferde*. (traduction du Commandant Edouard). EPIAC (Impr SD). 1963, 324p.
259. STRANDEN. *Dynamic leg volumes changes when sitting in a locked and free-floating tilt office chair*. Ergonomic. 2000, 43: 421-433.
260. STURESSON B, UDEN A, VLEEMING. *A radiostereometric analysis of movements of the sacroiliac joints during the standing hip flexion test*. Spine. 2000, 25(3): 364-368.
261. SWEARING J.J, WHEELWRIGHT CD, GARNER J.O. *An analysis of sitting areas and pressure of man*. US Civil Aero-Medical Research Institute, Oklahoma, City. 1962, rapport no.62-1.
262. TAYLOR TK, AKESON WH. *Intervertebral disc prolapse: a review of morphologic and biochemic knowledge concerning the nature of prolapse*. Clin Orthop Relat Res. 1971, 76: 54-79.
263. TRIANO J, SCHULTZ AB. *Loads transmitted during lumbosacral spinal manipulative therapy*. Spine. 1997, 22(17): 1955-1964.

264. TROLARD. *Quelques articulations de la colonne vertébrale*. Paris. 1892
265. TSUJI H, HIRANO N, OHSHIMA H, et al. *Structural variation of the anterior and posterior annulus fibrosus in the development of human lumbar intervertebral disc. A risk factor for intervertebral disc rupture*. Spine. 1993, 18: 204-210.
266. VANEUVILLE G, ESCANDE G, GUILLOT M et al. *Eléments biomécaniques du rachis*. 63^{ème} congrès de l'Association des Anatomistes. Edit. Bloc-Santé, Clermont Ferrand, 1980.
267. VAN GUSTEREN, DE RICHEMONT et VAN WERMESKERKEN – 1968 –
268. VELDPAUS F. E., WOLTRING H. J., DORTMANS L. J. *A least-squares algorithm for the equiform transformation from spatial marker co-ordinates*. Journal of Biomechanics, 1988, 21 (1): 45-54.
269. VIDAL J, MARNAY T. *La morphologie et l'équilibre corporel antéro-postérieur dans le spondylolisthésis L5-S1*. Rev Chir Orthop. 1983, 69 : 17-28.
270. VIEL E, DESMAREST JJ. *Mechanical pull of the peroneal tendons on the fifth ray of the foot*. J Orthop et Sports Phys Ther. 1995, 7(3) : 102-106.
271. VITAL JM – *Anatomie fonctionnelle du rachis cervical : actualités*, Revue Française Dommage Corporel, 2001-3, 187 197.
272. VITAL JM, COQUET M, CERNIER A, SENEGAS J. *Les muscles para vertébraux et leurs rôles dans certaines affections du rachis*. Résonances Européennes du Rachis. 1998, 6 (20) : 851-859.
273. VIVES AL. *Etude épidémiologique des traumatismes survenus durant les CCE en France métropolitaine : la chute peut-elle être évitée ?* Mémoire DESC Médecine du Sport : Montpellier : 2009.
274. WAGENAAR R.C., BEEK W.J. *Hemiplegic gait: a kinematic analysis using walking speed as a basis*. Journal of Biomechanics. 1992, 25: 1007-1115.
275. WARD WT, FLEISCH ID, GANZ R. *Anatomy of iliocapsularis muscle. Relavance to surgery of the hip*. Clin Orthop. 2000, 374: 278-285.
276. WATERS RL, PERRY J, Mc DANIELS JM, HOUSE K. *The relative strength of the hamstrings during hip extension*. J Bone Jt Surg (Am). 1974, 56(8): 1592-1597.
277. WESTERLING. 1983. In *The Science of Equestrian Sports- Theory, practice and performance of equestrian rider*. Inga Wolframm. Routledge.2014.

278. WHITLOCK, MILLS. *Performance of horse-riding helmet in frontal and side impact*. Injury. 1989, 20: 189-192.
279. WILDER J. *Consideration biomécanique et physiopathologie des sciatalgies*. J Spinal Dis. 1988.
280. WILKE HJ, NEEF P, CAIMI M, HOOGLAND T, CLAS L. *Mesures in vivo des pressions intra discales au cours des différentes activités quotidiennes*. Rev Med Orthop. 1998, 54 : 8-9.
281. WINCKLER G. *Manuel d'anatomie topographique et fonctionnelle*. 2ème éd. Masson. Paris, 1974.
282. WINGSTAND H, WINGSTRAND A, KRANTZ P. *Intracapsular and atmospheric pressure in the dynamics and stability of the hip*. Acta Orthop Scand. 1990, 61: 231-235.
283. WINTER DA, QUANBURY AO, HOBSON DA et al. *Kinematics of normal locomotion – a statistical study based on TV data*. J Biomech. 1974, 7(6): 479-486.
284. WINTER DA, PATLA AE, PRINCE F, ISCHAC M et al. *Stiffness control of balance in quiet standing*. J Neurophysiol. 1998, 80(3): 1211-1221.
285. WOLTRING HJ, MARSOLAIS EB. *Optoelectric (Selspot) gait measurement in two- and threedimensional space – a preliminary report* », Bulletin of prosthetics research, 1980, 17: 46-52.
286. WOOD KB, SCHENDEL MJ, OGILVIE JW, BRAUN J, MAJOR MC, MALCOM JR. *Effect of sacral and iliac instrumentation on strains on the pelvis. A biomechanical study*. Spine. 1996, 21 (10): 1185-1191.
287. WOODBURN J, TURNER DE, HELLIWELL PS, BARKER S. *A preliminary study determining the feasibility of electromagnetic tracking for kinematics at the ankle joint complex*. Rheumatology. 1999, 38: 1260-1268.
288. YANG Y.S, KOONTZ A.M, TRIOLO R.J, MERCER J.L, BONINGER M.L. *Surface electromyography activity of trunk muscles during wheelchair propulsion*. Clinical Biomechanics. 2006, 21: 1032-41.
289. ZHOU Y, ABDI S. *Diagnosis and minimally invasive treatment of lumbar discogenic pain*. A review of the literature. Clin J Pain. 2006, 22: 468-8.

❖ THESES DOCTORAT et MEMOIRES de Fin d'ETUDES

290. ARMAND Stéphane, *Analyse Quantifiée de la Marche : extraction de connaissances à partir de données pour l'aide à l'interprétation clinique de la marche digitigrade*. Th : STAPS. : Valenciennes : 2005, 179p.
291. AUBIN Stéphane, *Capteurs de position innovants : Application aux Systèmes de Transport Intelligents dans le cadre d'un observatoire de trajectoires de véhicules*. Th : Electromagnétisme. : Institut National Polytechnique de Toulouse : 2009, 133p.
292. BAILLET Geoffrey, *Prise en charge kinésithérapique d'une adolescente présentant une scoliose et une maladie d'Osgood-Schlatter : de la perception à l'utilisation de son corps*. Mémoire de fin d'études : IFMK de BERCK sur MER. : 2014, 32p.
293. BALLAZ Laurent, *Développement d'un appareil d'auto-rééducation par mobilisation assistée et évaluation de son intérêt thérapeutique chez des personnes immobilisées en fauteuil*. Th : STAPS. : Rennes : 2007.
294. BARBIER F., 1994 "Modélisation biomécanique du corps humain et analyse de la marche normale et pathologique Application a la rééducation -", Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, 185p
295. BEGON M. *Analyse et simulation tridimensionnelle de mouvements cycliques sur un ergomètre spécifique au kayak* », Th : Biomécanique : Poitiers : 2006.
296. BLOUIN Jean Sébastien, *Mécanismes de stabilisation de la tête sur le tronc en posture assise. Contribution réflexe, cognitive et adaptabilité de ces mécanismes*. Th : Med. : Québec : 2004.
297. BOUGHIDEN ML. *Modélisation du mouvement de verticalisation d'un siège électrique : vers un outil d'évaluation pour l'instrumentation des aides techniques* », Th : Biomécanique : Paris XII, Créteil : 2002.
298. CAO Hua, *Modélisation et évaluation expérimentale de la relation entre le signal EMG de surface et la force musculaire*. Th : Bio-ingénierie. : Compiègne. 2010.
299. CASAL Hélène, *Etude d'un nouveau dispositif modulaire d'adaptation de la selle d'équitation aux personnes présentant des troubles moteurs*. Mémoire MASTER STAPS, 2^{ème} année : POITIERS : 2012, 89p.
300. CAZALOT Jordy, *Evaluation proprioceptive et isocinétique des muscles du tronc après position assise prolongée sur ballon Bobath*. Mémoire MASTER Kiné : EPHO de Tournai (Belgique). : 2008, 84p.

301. CHATEAUROUX Elodie, *Analyse du mouvement d'accessibilité au Poste de conduite d'une automobile en vue de La simulation - cas particulier des personnes âgées*. Th : Génie mécanique, biomécanique : INSA de Lyon.: 2009, 246p.
302. CHEVALOT Nicolas, *Caractérisation et simulation des mouvements d'atteinte par un opérateur humain en position assise en vue d'applications ergonomiques*. Th : Biomécanique et Ingénierie pour la santé. : ENSAM de Paris : 2006, 252p.
303. COTTANT Emmanuel, *Les tests de provocation de la douleur de l'articulation sacro-iliaque*. Mémoire Fin Etudes MK : IFMK de Nancy. : 2003, 32p.
304. DEDIEU Philippe, *Dynamique de coordination chez l'homme- De la coordination intra-membres à la coordination inter-membres*. Th : STAPS. : Toulouse : 2011.
305. DEMIAUTTE-DARRAS, *Etude de la mobilité du rachis lombaire dans le plan sagittal comparaison et corrélation entre les mesures cliniques et radiologiques*. Mémoire MCMK : Ecole des Cadres de Bois Larris : 1993. 26p.
306. DESLANDES Samuel, *Evaluation musculaire du cou et modélisation biomécanique. Première estimation de la fatigue du pilote en sports mécaniques*. Th : Génie Mécanique. : Université du Maine : 2008. 160p.
307. EL HAFI F. *Modélisation dynamique du mouvement : application à la marche et à l'enjambement d'obstacle*. Th : Biomécanique : Paris XII Val de Marne, Paris, 2000.
308. FAIVRE A. *Conception et validation d'un nouvel outil d'analyse de la marche*. Th : Biomécanique, Besançon : 2003.
309. GAGNON Séverine, *Evaluation et approche multicentrique de la prise en charge pluridisciplinaire du patient lombalgique chronique, à travers l'expérience du Réseau Nord-Pas de Calais du Dos (RENODOS)*. Th : STAPS. : LILLE II : 2008.
310. GERONIMI Marie, *Analyse biomécanique de la préhension chez la personne âgée : Effet des propriétés intrinsèques et extrinsèques de l'obstacle sur les phases du mouvement*. Th : Biomécanique : Toulon : 2008, 198p.
311. GILLET Christophe, *Analyse biomécanique de la marche et proposition de classes de marcheurs - application au portage de sacs à dos*. Th : STAPS. : Valenciennes : 2004, 149p.
312. GOUJON H. *Analyse de la marche de l'amputé fémoral*. Th : Biomécanique : ENSAM, Paris, 2006.

313. GUILBERT Charlotte, *Pré-étude stéréoscopique du rachis du cavalier*. Mémoire de fin d'étude MK : IFMK de Berck sur Mer. : 2012, 32p.
314. HUMBERT Catherine, *L'équitation et ses conséquences sur le rachis lombaire du cavalier*. Th: Méd.: Nancy.: 2000.
315. JEANPIERRE Claude, *Etude des contraintes en position assise dans deux attitudes assis-écoute et assis-écrire*. Mémoire MCMK : Ecole des Cadres de Bois Larris. : 1993, 36p.
316. LAASSEL EM. *Analyse et modélisation multidimensionnelles de la marche humaine*. Th : Biomécanique. : Valenciennes : 1992.
317. LEMPEREUR M. *Simulation du mouvement d'entrée dans un véhicule automobile. Automatique et informatique des systèmes industriels et humains*. Th : Biomécanique. Valenciennes: 2006, 222p.
318. LEPOUTRE Jean Philippe, *Modélisation biomécanique du mouvement : Vers un outil d'évaluation pour l'instrumentation en orthopédie*. Th : Biomécanique. : Toulon : 2007.
319. LOUIS Nicolas, *Analyse biomécanique de la propulsion en fauteuil roulant à mains courantes : indices d'évaluation ergonomique*. Th : Biomécanique. : Toulon : 2010.
320. MENARDAIS S. *Fusion et adaptation temps réel de mouvements acquis pour l'animation d'humanoïdes synthétiques*. Th : Biomécanique : Rennes : 2003.
321. MARCOVSCHI CHAMPAIN Sabrina, *Corrélations entre les paramètres biomécaniques du rachis et les indices cliniques pour l'analyse quantitative des pathologies du rachis lombaire et de leur traitement chirurgical*. Th : Biomécanique. : ENSAM Paris : 2008.
322. MARTIN Tracy, *Le cheval, partenaire de l'ergothérapie, un pas vers l'autonomie de l'enfant autiste*. Mémoire Fin études Ergothérapie. : UFE de Créteil : 2003.
323. PERISSE Jocelyn, *Etude, conception et réalisation d'une suspension active d'un siège de véhicule routier pour l'amélioration du confort dynamique*. Th : Génie Mécanique. : Ecole Centrale de LYON : 1997. 296p.
324. PERSYN Hélène, *enseigner l'équitation académique de sensation ou favoriser l'éducation kinesthésique de l'élève au niveau de l'assiette par l'orientation de l'attention*. Mémoire MASTER STAPS. : ULCO de Calais : 2006, 110p.
325. PUDLO P. *Contribution à l'analyse et à l'optimisation du geste du rameur en aviron*. Th : Sciences du Sport et de l'Education Physique : Valenciennes : 1999.
326. REDON Gérard, *Le rachis du cavalier*. Th: Méd.: Limoges: 1973.

327. REGNIER Patrice, *Devenir cavalier : une expérience d'apprentissage par corps - Essai de socio anthropo-zoologie des pratiques et techniques_équestres*. Th : Sociologie. : Rennes : 2014, 312.
328. SAINT REMY Nicolas, *Modélisation et détermination des paramètres biomécaniques de la locomotion en fauteuil roulant manuel*. Th : Biomécanique. : Clermond Ferrand : 2005, 234p.
329. SOREL Anthony, *Gestion de la variabilité morphologique pour la reconnaissance de gestes naturels à partir de données 3D*. Th : STAPS. : Rennes : 2012, 155p.
330. TAILLEFER François, *Comparaison physiologique et biomécanique entre différentes postures assis-debout aux postures assis et debout*. Th : biologie. : Montréal (Canada) : 2011, 303p.
331. VANEL O. *Etude dynamique du contrôle postural* .Th : biomécanique : Université Paris Sud-Orsay, Paris XI, 1996.
332. VIGUIER Marion, *Influence du changement de l'angle d'incidence entre le vecteur gravitationnel terrestre et l'axe sagittal du rachis sur les performances posturales statiques et dynamiques d'un individu*. Th : STAPS. : Toulouse : 2009,

ANNEXES

Annexe n°1

Questionnaire initial adressé et rempli par les cavaliers qui ont participé à cette étude. Le but est de mieux appréhender la personnalité « équestre » du sujet de façon à premièrement, mieux organiser nos trois groupes, puis deuxièmement parvenir à cerner de manière la plus fine possible les possibilités de chaque cavalier en fonction de son niveau de compétence, de la discipline pratiquée et de sa propension à concourir en compétition. Tout cela nous donne la possibilité d'intégrer chaque cavalier dans notre organisation conative de l'équitation ; ceci revêt une importance majeure, puisqu'en fonction de l'étape conative dans laquelle se situe le sujet, les applications qui découleront des observations faites et du profil-type défini auront une orientation différente.

Questionnaire à soumettre aux cavaliers volontaires pour se prêter à une série de tests dans le cadre d'une recherche universitaire

- ◆ Acceptez-vous d'entrer dans le cadre d'une étude relative à la biomécanique rachidienne, en montant sur le cheval mécanique « TATOÏNE » ?

Oui

Non

Remarques éventuelles :

.....

- ◆ Dans le cas d'une réponse positive, pouvez-vous SVP remplir le questionnaire suivant

Nom :

Prénom :

Année de Naissance :

- ◆ Quel GALOP avez-vous ? Obtenu en quelle année ?

- ◆ Depuis quand montez vous à cheval ?

- ◆ Depuis quand avez-vous débuté l'équitation ?

- ◆ Pratiquez-vous l'équitation ?

En Club

De manière individuelle

- ◆ Combien d'heures par semaine consacrez-vous à la pratique de l'équitation ?

- ◆ Pratiquez-vous une activité physique supplémentaire ?

Si oui laquelle :

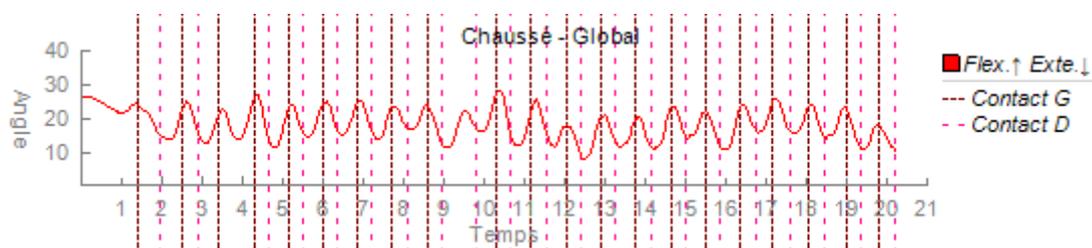
- ◆ Bénéficiez-vous d'un suivi :

Technico-sportif par un coach ?

Médical par médecin, kiné ou autre ?

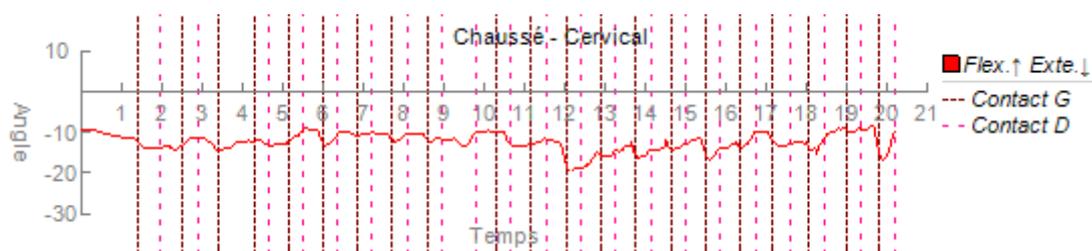
Annexe n°2

Pour le cavalier n°7 du Groupe A - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le rachis dans sa globalité réalisé par l'ensemble des capteurs.



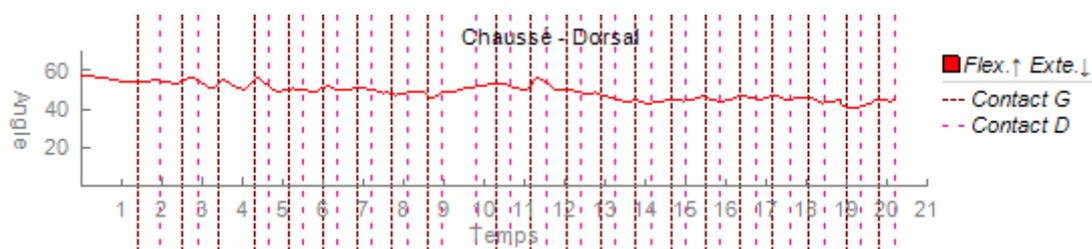
Annexe n°3

Pour le cavalier n°7 du Groupe A - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour la colonne cervicale réalisé par le capteur jaune en C4.



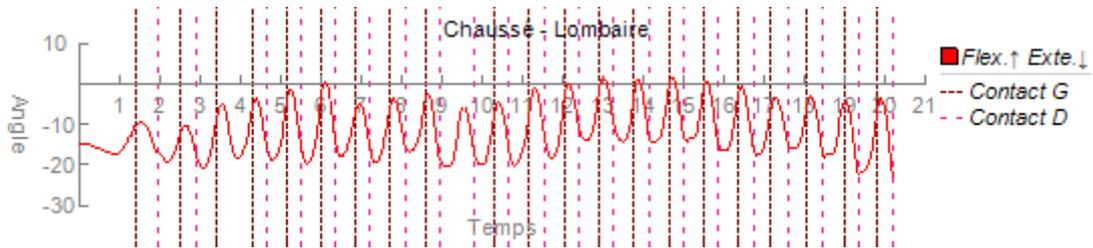
Annexe n°4

Pour le cavalier n°7 du Groupe A - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour la région thoracique réalisé à partir du capteur rouge positionné en Th1.



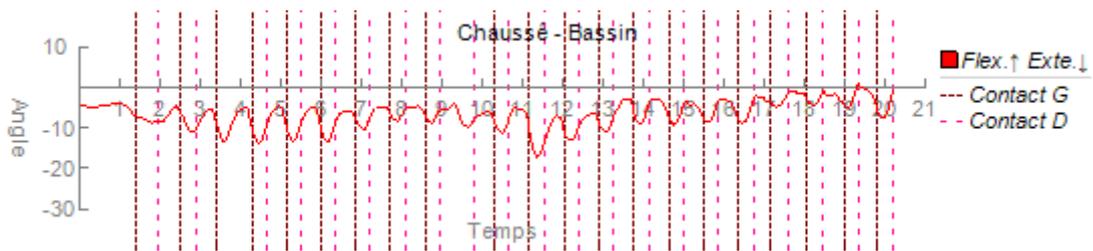
Annexe n°5

Pour le cavalier n°7 du Groupe A - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour la région lombaire réalisé à partir du capteur bleu situé en Th12.



Annexe n°6

Pour le cavalier n°7 du Groupe A - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le bassin réalisé à partir du capteur vert positionné en L5.



Annexe n°7

Tableau des valeurs « brut » instantanées fournies par l'ensemble des capteurs inertiels sans distinction de positionnement (ni du cavalier, ni du cheval mécanique). Est présentée ci-dessous la séquence comprise entre $t = 19.53s$ et $t_1 = 20.22s$; le positionnement rachidien est exprimé en valeur positive pour la flexion et négative pour l'extension. Pour rappel, la flexion est définie comme étant un déplacement du rachidien en avant de l'axe vertical terrestre. Sont également affichées, les valeurs maximales et minimales ainsi que la valeur moyenne de positionnement du rachis du cavalier.

Temps en secondes	Positionnement rachidien en degrés.
19,53	11,61
19,56	12,24
19,59	13,20
19,63	14,42
19,66	15,84
19,69	17,12
19,72	17,71
19,76	17,85
19,79	17,75
19,82	17,88
19,86	17,29
19,89	16,79
19,92	16,38
19,96	15,80
19,99	14,82
20,02	14,12
20,05	13,17
20,09	12,57
20,12	12,01
20,15	11,24
20,19	11,10
20,22	10,35
Moyenne	18,27
Maxi	28,05
Mini	8,03
Amplitude	20,02

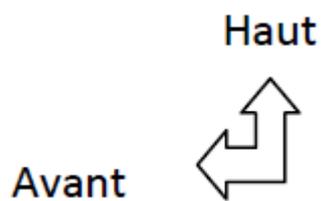
Annexe n°8

Tableau récapitulatif des valeurs angulaires pour chaque vertèbre du cavalier n°7 dans le plan sagittal dans les quatre situations définies initialement. La flexion est affichée en valeur positive et l'extension en négatif. Pour chaque niveau il est déterminé la différence angulaire, qui correspond à l'amplitude de mobilité vertébrale et ceci de manière globale (entre les quatre attitudes) ou uniquement durant la phase dynamique sur le cheval mécanique.

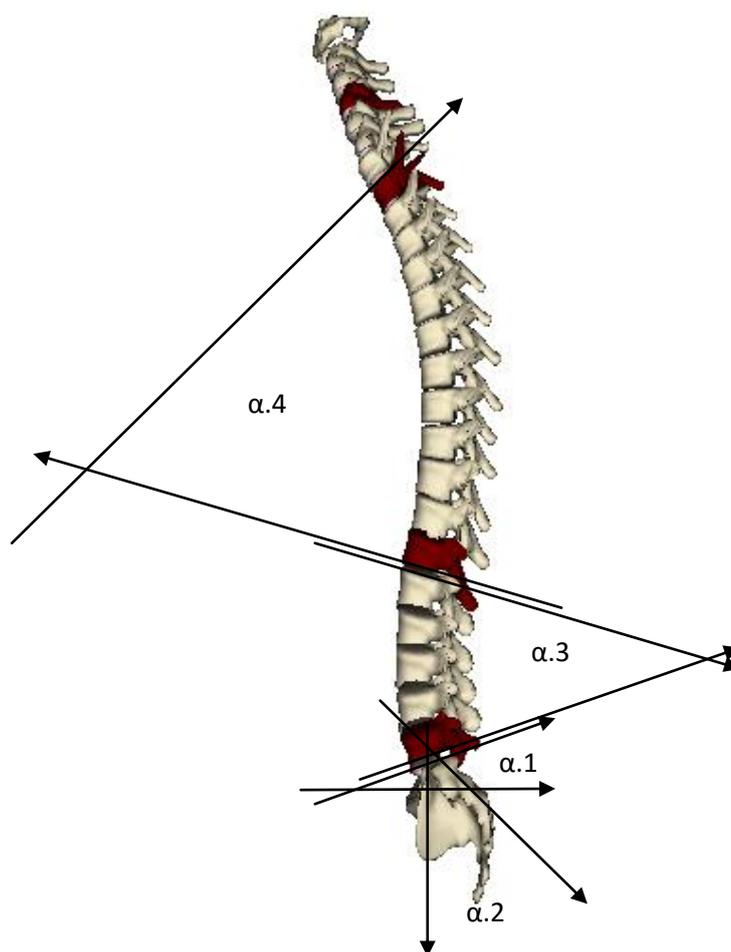
	MARCHE	Cheval STATIQUE	Ch. Position HAUTE	Ch. Position BASSE
C1	23	28	14	22
C2	23	28	14	22
C3	23	28	14	22
C4	23	28	14	22
C5	26	30	17	26
C6	30	32	21	29
C7	33	35	24	32
D1	36	37	27	36
D2	31	32	22	31
D3	26	27	18	26
D4	22	22	13	21
D5	17	16	8	16
D6	12	11	3	11
D7	7	6	-2	7
D8	2	1	-7	2
D9	-2	-4	-12	-3
D10	-7	-9	-17	-8
D11	-12	-14	-22	-13
D12	-17	-20	-27	-18
L1	-11	-17	-23	-16
L2	-5	-14	-19	-14
L3	1	-11	-15	-12
L4	7	-8	-11	-10
L5	13	-5	-7	-8
S1	45	27	25	24

Annexe n°9

Modélisation en 3D du rachis du cavalier n°7, lors de la marche avec matérialisation des différents angles $\alpha.1$, $\alpha.2$, $\alpha.3$, $\alpha.4$ que nous avons souhaité observer durant cette étude.

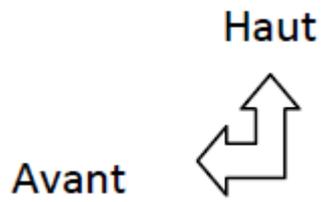


Flexion: 24°
Inclinaison gauche: 2°
Rotation à droite: 8°

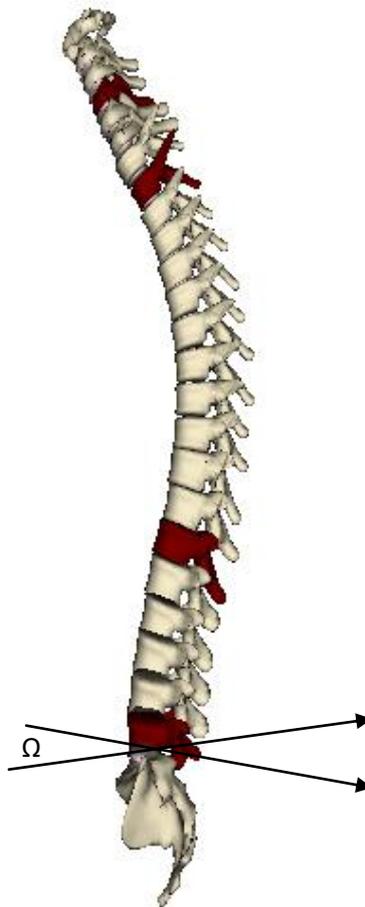


Annexe 10

Modélisation 3D du rachis du cavalier n°7 en station assise statique sur le cheval mécanique avec la matérialisation de l'angle Ω .

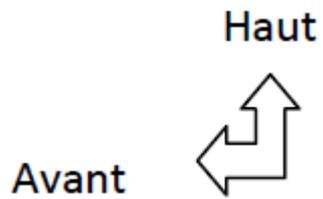


Flexion: 27°
Inclinaison gauche: 6°
Rotation à gauche: 10°



Annexe 11

Modélisation 3D du rachis du cavalier n°7 en position basse, qui correspond au premier temps du galop assis où le membre postérieur gauche (pour un galop à gauche) vient sous la masse du cheval entrer en contact avec le sol.

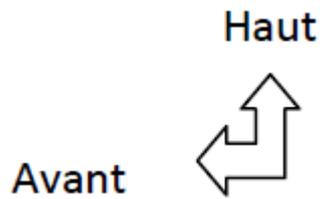


Flexion:22°
Inclinaison gauche:2°
Rotation à gauche:2°



Annexe 12

Modélisation 3D du rachis du cavalier n°7 lors de la position haute qui correspond au 3^{ème} temps du galop assis lorsque le membre antérieur droit (pour un galop à gauche) vient entrer en contact avec le sol.

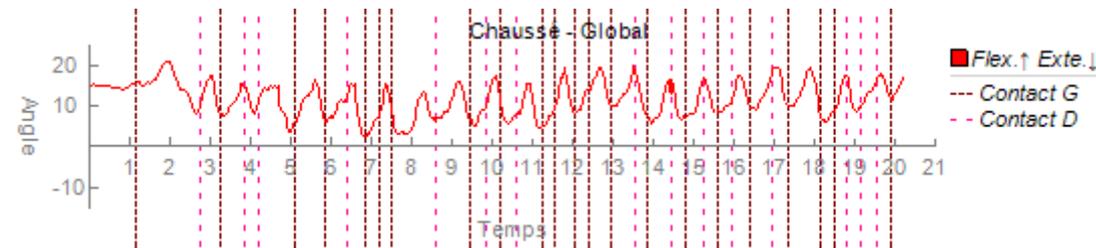


Flexion:14°
Inclinaison droite:1°
Rotation à gauche:7°



Annexe n°13

Pour le cavalier n°22 du Groupe B - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le rachis dans sa globalité réalisé par l'ensemble des capteurs. D'emblée, nous notons que le sujet n°22 se positionne globalement en flexion avec une amplitude moindre que le cavalier novice et ceci, de façon constante durant toute la séquence.



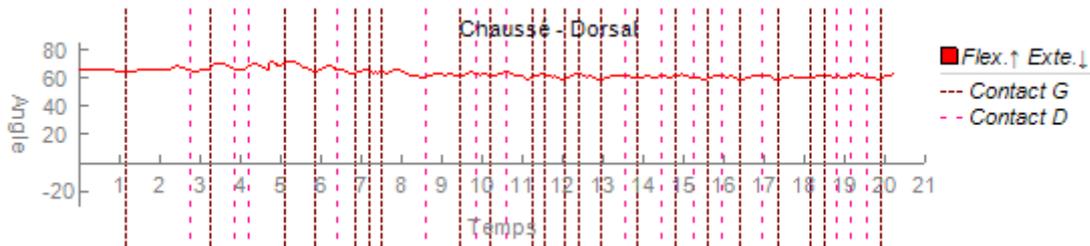
Annexe n°14

Pour le cavalier n°22 du Groupe B - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le rachis cervical réalisé par le capteur jaune situé en C4. Là encore, l'extension adoptée par la colonne cervicale est moindre par rapport à celle observée chez le sujet du groupe A.



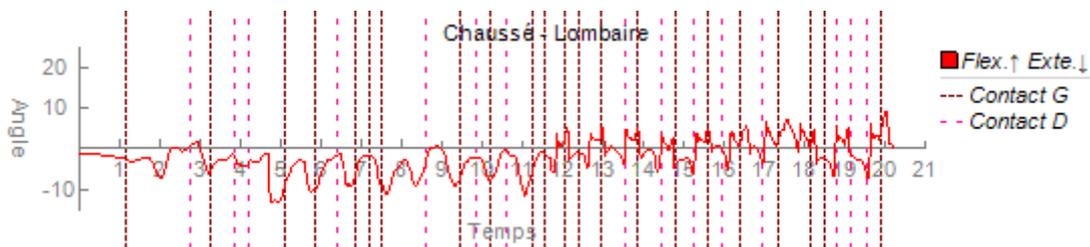
Annexe n°15

Pour le cavalier n°22 du Groupe B - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le rachis thoracique réalisé par le capteur rouge positionné en Th1. Ici, le niveau constant de positionnement en flexion du segment thoracique est majoré par rapport au cavalier du groupe A (maximum 70° contre 60° pour le novice).



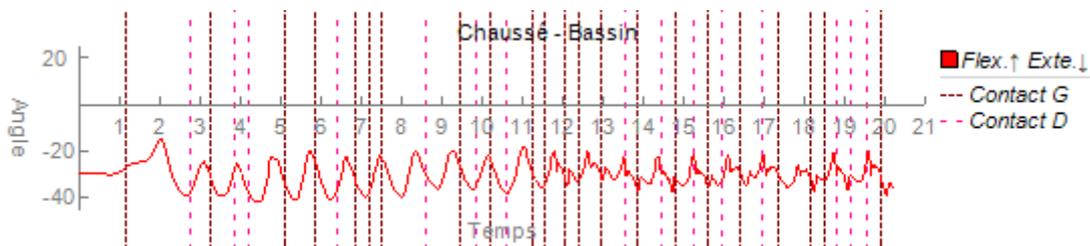
Annexe n°16

Pour le cavalier n°22 du Groupe B - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le rachis lombaire réalisé par le capteur bleu positionné en Th12. Notons de suite l'alternance de positionnement en flexion et extension de la colonne lombaire alors que celle-ci se plaçait constamment en extension chez le novice. Cela témoigne, comme l'étude nous l'a mis en évidence, que le cavalier « confirmé » s'adapte grâce à la variation de la cambrure physiologique.



Annexe n°17

Pour le cavalier n°22 du Groupe B - Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le bassin réalisé par le capteur vert positionné en L5. Par contre, le bassin adopte le même positionnement à ceci près que chez le « confirmé », l'angulation s'avère être minorée.



Annexe 18

Tableau récapitulatif des valeurs angulaires pour chaque vertèbre du cavalier n°22 dans le plan sagittal dans les quatre situations définies initialement. La flexion est affichée en valeur positive et l'extension en négatif. Pour chaque niveau il est déterminé la différence angulaire, qui correspond à l'amplitude de mobilité vertébrale et ceci de manière globale (entre les quatre attitudes) ou uniquement durant la phase dynamique sur le cheval mécanique.

Vertèbre	MARCHE	Cheval STATIQUE	Ch. Position HAUTE	Ch. Position BASSE
C1	16	16	8	20
C2	16	16	8	20
C3	16	16	8	20
C4	16	16	8	20
C5	22	21	12	25
C6	27	25	17	31
C7	33	30	22	37
D1	39	35	26	42
D2	33	29	20	36
D3	27	23	14	30
D4	22	17	8	24
D5	16	11	2	19
D6	10	5	-4	13
D7	5	-1	-10	7
D8	-1	-7	-16	1
D9	-7	-13	-22	-5
D10	-12	-19	-28	-11
D11	-18	-25	-34	-17
D12	-24	-31	-40	-23
L1	-19	-31	-40	-21
L2	-15	-31	-40	-20
L3	-10	-30	-40	-19
L4	-6	-30	-40	-17
L5	-1	-30	-39	-16
S1	31	2	7	16

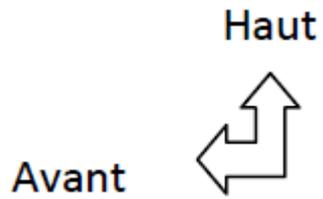
Annexe 19

Tableau Excel® des valeurs « brut » fournies par BioVal® (ici sont présentées les données de 19s47 à 20s26 d'enregistrement). Les valeurs maximales, minimales et moyennes qui sont mises en évidences sont différentes par rapport au sujet n°7 du groupe A. Il convient de noter que l'amplitude de la mobilité rachidienne globale, est déjà un élément majeur qui montre une évolution comportementale puisque de 20°02 chez le sujet du groupe A, nous constatons pour ce sujet 22 « confirmé » une valeur de 18°55. Ceci tend à envisager une évolution vers une fixité rachidienne confirmée par la valeur moyenne de 11°70 (au lieu de 18°27 chez le novice). Pour les besoins de l'étude et dans un souci de simplification, nous avons décidé de réduire les valeurs en gardant uniquement deux décimales

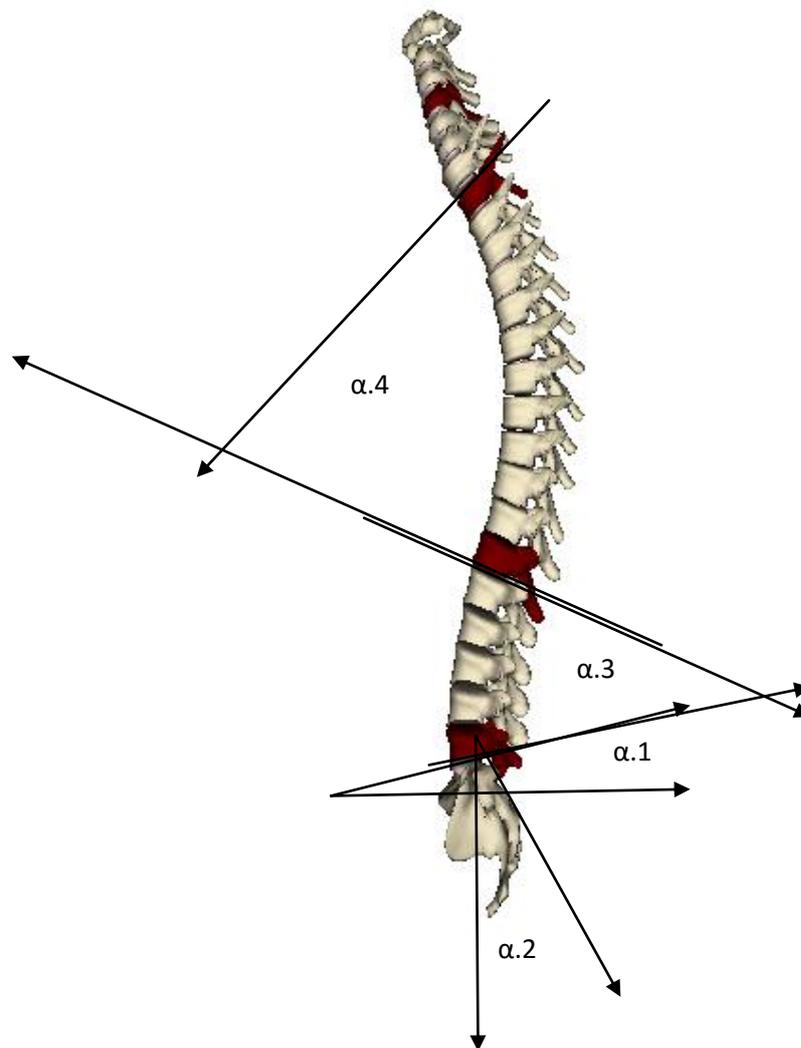
Temps Enregistre- ment en secondes	Valeur Angulaire en degrés
19,57	17,13
19,60	17,33
19,63	17,27
19,67	18,01
19,70	17,75
19,73	17,15
19,77	16,08
19,80	14,82
19,83	13,74
19,87	12,65
19,90	12,10
19,93	11,48
19,97	11,53
20,00	12,89
20,03	13,28
20,06	13,36
20,10	14,30
20,13	14,92
20,16	15,76
20,20	16,53
20,23	17,30
Moyenne	11,70
Maximale	20,90
Minimale	2,35
Amplitude	18,55

Annexe 20

Modélisation 3D de la colonne vertébrale du sujet n°22 durant la marche qui permet déjà de constater que les valeurs angulaires sont différentes de celles enregistrées chez le cavalier n°7.



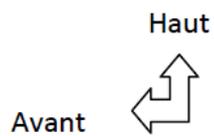
Flexion:15°
Inclinaison gauche:4°
Rotation à gauche:13°



Annexe 21

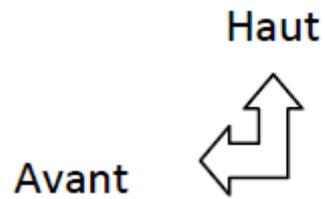
Vue virtuelle modélisée en 3D, du rachis du cavalier « confirmé » n°22, lors de la station assise statique sur le cheval mécanique.

Flexion:15°
Inclinaison gauche:0°
Rotation à gauche:12°

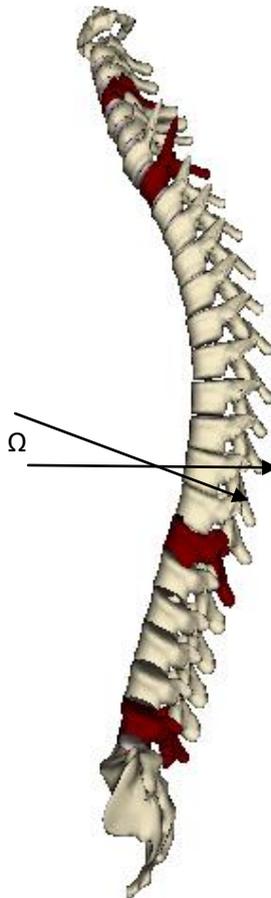


Annexe 22

Aperçu virtuel de la colonne vertébrale du sujet n°22 du groupe B, assis sur le cheval mécanique en position basse, c'est-à-dire lors du 1^{er} temps du galop où le membre postérieur gauche du cheval entre en contact avec le sol et où il y a un engagement sur la masse de l'équidé de façon à obtenir cette propulsion.

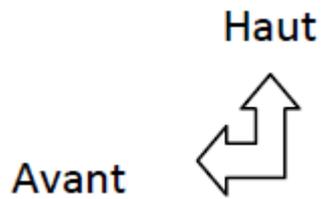


Flexion:19°
Inclinaison gauche:1°
Rotation à gauche:10°



Annexe 23

Visualisation rachidienne modélisée en 3D du cavalier « confirmé » n°22 lors de la station assise sur le cheval mécanique en position haute, c'est-à-dire, correspondant au 3^{ème} temps du galop assis, là où le membre antérieur droit (pour un galop à gauche) vient prendre contact avec le sol ; à cet instant un déséquilibre antérieur important s'opère, le cheval vient se basculer sur les épaules.

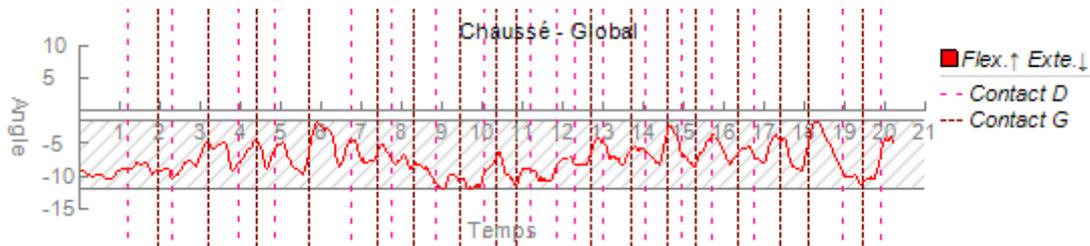


Flexion:8°
Inclinaison droite:4°
Rotation à gauche:13°



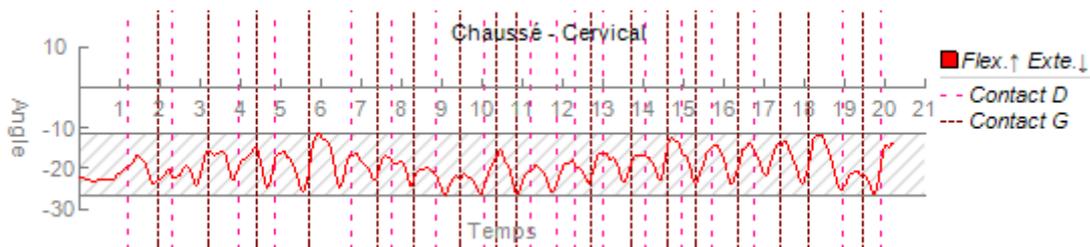
Annexe n°24

Sujet n°32 du Groupe C « experts ». Graphique fourni par BioVal® avec les valeurs enregistrées par les capteurs inertiels. Enregistrement dans le plan sagittal pour le rachis dans sa globalité réalisé par l'ensemble des capteurs. Nous constatons que globalement le rachis se positionne en extension constante avec un maximum de 15° d'extension.



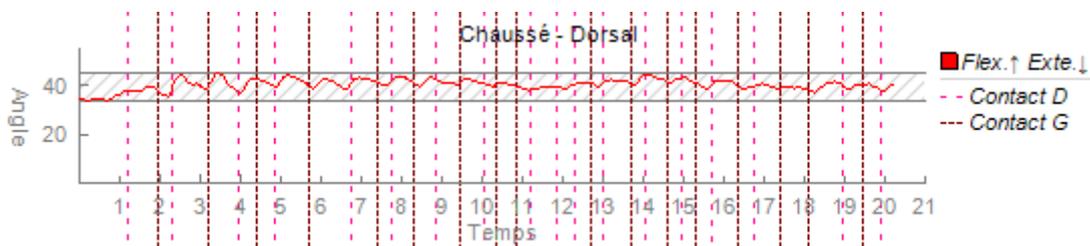
Annexe 25

Au niveau cervical, le capteur jaune placé sur C4 nous montre une extension majeure qui oscille entre 10 et 30° d'extension.



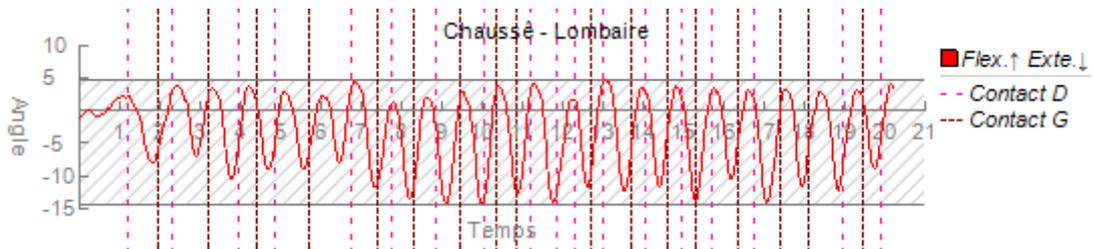
Annexe 26

Pour le segment thoracique, l'enregistrement sera fait grâce au capteur rouge situé sur l'apophyse épineuse de Th1. Il nous indique un positionnement constant en flexion d'environ 40°.



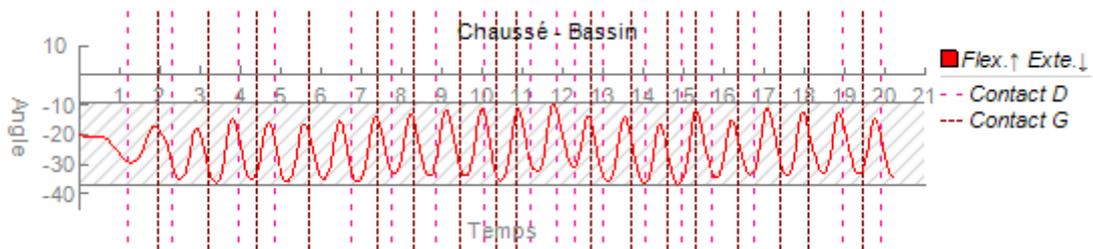
Annexe 27

La colonne lombaire, qui est testée par le capteur bleu positionné sur Th12, nous montre une grande mobilité avec une oscillation alternée en flexion – extension, avec cependant une plus grande amplitude en extension.



Annexe 28

Enfin le comportement du bassin sera enregistré par le capteur vert situé sur L5 ; il nous indique un placement du bassin en extension permanente avec une variation entre 10 et 40°.



Annexe 29

Tableau de variations angulaires du sujet n°32

Vertèbre	MARCHE	Cheval STATIQUE	Cheval en Position BASSE	Cheval en Position HAUTE
C1	-9	-9	-6	-7
C2	-9	-9	-6	-7
C3	-9	-9	-6	-7
C4	-9	-9	-6	-7
C5	-4	-3	-1	-2
C6	1	2	4	3
C7	6	8	10	7
D1	11	13	15	12
D2	9	10	12	9
D3	6	7	8	5
D4	3	3	5	2
D5	0	0	1	-2
D6	-3	-3	-2	-5
D7	-6	-7	-6	-9
D8	-9	-10	-10	-12
D9	-12	-14	-13	-16
D10	-15	-17	-17	-19
D11	-18	-20	-20	-23
D12	-21	-24	-24	-27
L1	-19	-22	-22	-27
L2	-18	-21	-20	-27
L3	-16	-20	-18	-27
L4	-14	-19	-16	-27
L5	-12	-18	-13	-28
S1	20	14	19	4

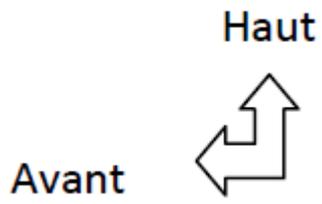
Annexe 30

Tableau Excel® des données « brut » enregistrées par BioVal® pour le cavalier n°32 du groupe C. Par rapport aux deux autres groupes, il est de suite, observable que la valeur moyenne, qui correspond au positionnement du rachis dans sa globalité, est nettement moindre d'une part et que d'autre part, ce cavalier « expert » se place en extension (-7°52). De même, l'amplitude qui témoigne de la mobilisation rachidienne durant l'activité équestre est la plus minime des trois catégories de cavaliers avec 10°48 de débattement angulaire.

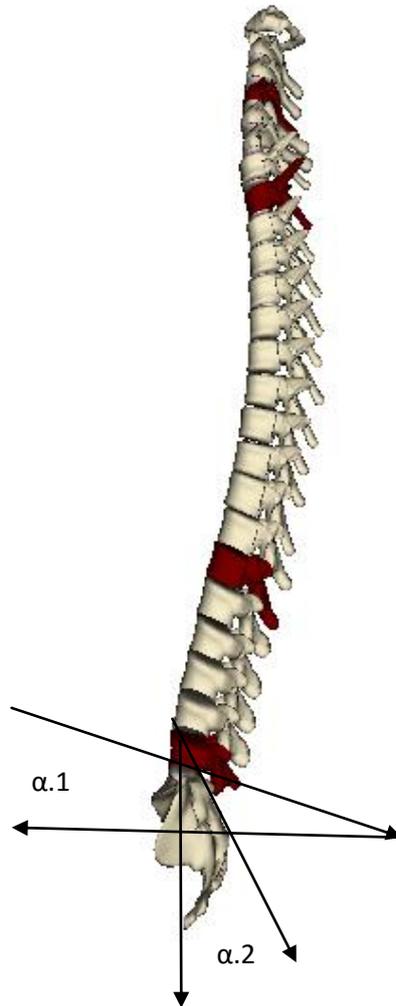
19,56	-10,63
19,59	-10,51
19,62	-10,41
19,66	-10,23
19,69	-10,45
19,72	-10,62
19,75	-10,44
19,79	-9,85
19,82	-9,26
19,85	-8,55
19,89	-7,58
19,92	-6,51
19,95	-5,37
19,99	-4,78
20,02	-4,22
20,05	-4,36
20,08	-4,60
20,12	-4,47
20,15	-4,08
20,18	-4,19
20,22	-4,77
Moyenne	-7,52
Maximale	-1,68
Minimale	-12,16
Amplitude	10,48

Annexe 31

Modélisation 3D de la colonne vertébrale, durant la marche.

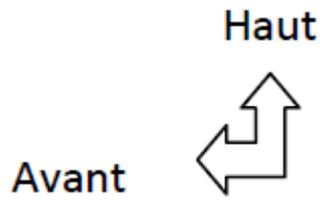


Extension: 9°
Inclinaison droite: 3°
Rotation à gauche: 2°

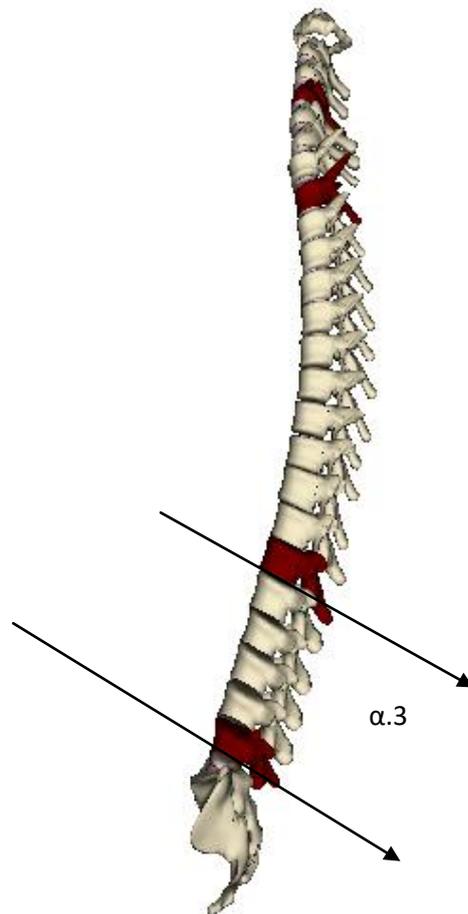


Annexe 32

Modélisation 3D assise statique du cavalier « expert » n°32. Il convient de noter le particularisme de l'angle $\alpha.3$ chez ce cavalier « expert » : il est inversé par rapport aux deux autres catégories.

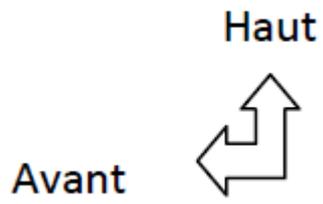


Extension:9°
Inclinaison droite:4°
Rotation à droite:2°

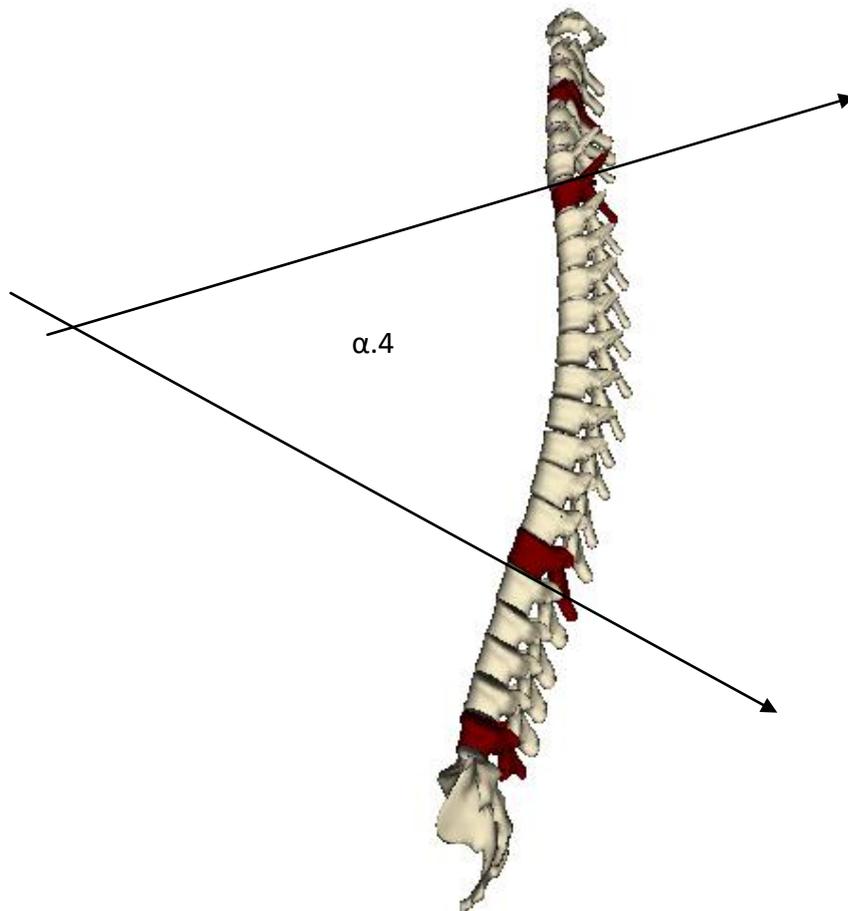


Annexe 33

Modélisation 3D du rachis du cavalier « expert » n°32 en position dite « basse ».

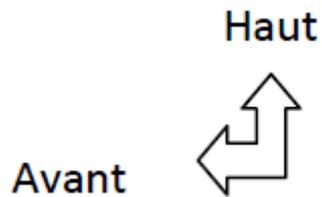


Extension: 7°
Inclinaison droite: 6°
Rotation à droite: 4°

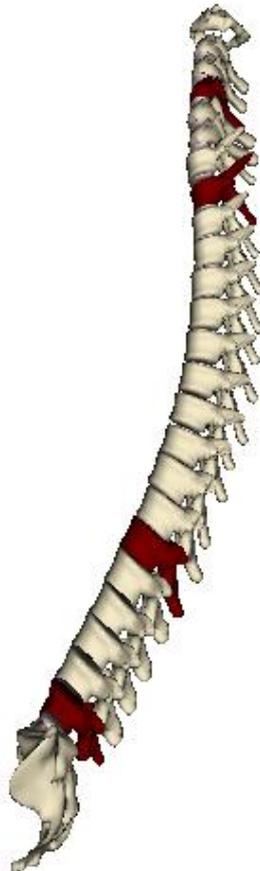


Annexe 34

Modélisation 3D de la colonne vertébrale du sujet n°32 du groupe C des « experts » en position dite « haute ». Il est de suite important de noter une quasi absence de l'angle Ω , formé par la tangente du plateau sacré et du plateau inférieur du corps vertébral de L5 ; ceci reflète l'unité fonctionnelle L5S1 que nous avons évoqué plus en amont dans cette étude. Cette particularité contribue à donner une grande liberté pelvienne tout en conservant une certaine rigidité lombaire.



Extension: 9°
Inclinaison droite: 8°
Rotation à droite: 5°



Annexe 35

Tableaux récapitulatifs du comportement rachidien global des trois groupes. Nous avons choisi de travailler sur les moyennes de chaque valeur pour ainsi pouvoir dégager une tendance générale pour chaque groupe ; celle-ci nous permettra de définir un profil-type du cavalier de chaque groupe, à partir duquel nous pourrions élaborer des applications pour une prise en charge la plus appropriée possible pour l'équipe multi-disciplinaire. Il convient d'observer, outre la valeur moyenne du positionnement rachidien, l'amplitude variation qui elle témoigne de la cinématique de la colonne vertébrale.

Groupe C "Experts" - Rachis Global (Valeurs exprimées en degrés)			
sujets	moyenne	maxi	mini
31	14,3	19,36	10,35
32	-6,27	-0,4	-7,12
33	-2,76	3,85	-2,79
34	3,84	11,21	1,89
35	8,01	13,75	-5,36
36	-0,32	9,86	6,61
37	11,93	21,46	13,31
38	17,51	21,89	-38,44
39	-11,71	10,22	2,86
40	7,95	12,3	1,48
41	12,48	31,03	-11,84
42	-4,58	2,89	-1,32
43	9,86	32,62	-12,31
44	-5,2	4,43	7,84
45	15,62	25,15	-16,5
46	-3,66	7,5	4,27
47	13,03	21,55	-2,94
MOYENNE	4,71	14,63	13,31
AMPLITUDE de 1°32			

Groupe B « Confirmés » - Rachis Global
(Valeurs exprimées en degrés)

Sujets n°	Moyenne	Maximale	Minimale
16	14,36	19,36	10,35
17	12,12	25,76	2,3
18	-4,69	6,22	-19,58
19	-10,2	1,65	-21,19
20	8,54	20,26	-2,11
21	13,03	21,55	4,27
22	11,84	20,25	4,91
23	1,6	12,65	-6,59
24	7,99	13,47	2,04
25	27,32	54,79	12,27
26	11,7	20,9	2,35
27	-11,22	-1,4	-19,33
28	1,13	12,03	-11,16
29	9,42	20,26	-1,45
30	9,75	24,36	2,68

MOYENNE

6,846

18,14

-2,68

AMPLITUDE de 20°82

Groupe A « Novices » - Rachis Global
(Valeurs exprimées en degrés)

Sujets n°	Moyenne	Maximale	Minimale
1	-18,48	2,11	-41,94
2	39,02	55,38	21,75
3	7,1	19,98	-7,26
4	18,98	40,54	2,73
5	15,17	39,36	9,59
6	-12,86	8,75	-27,06
7	18,27	28,05	8,03
8	23,5	36,19	14,1
9	1,53	12,42	-8,73
10	12,78	25,76	-3,69
11	61,48	130,46	28,01
12	2,97	16,73	-15,2
13	26,96	35,37	22,87
14	12,9	18,17	4,56
15	33,92	52,63	13,91
MOYENNE	16,216	34,79	1,44

AMPLITUDE de 33°35

RESUME

La problématique rachidienne, a, de tous temps, suscité un intérêt particulier dans les études qui ont été menées sur le cavalier. Cependant, si bon nombre de travaux ont porté sur les conséquences, pour l'axe rachidien de la pratique de l'équitation, peu ou pas se sont intéressés au différentiel comportemental de la colonne vertébrale du cavalier selon le niveau de compétence de celui-ci. L'hypothèse de départ propose qu'il existe une différence cinématique rachidienne selon que l'on ait affaire à une population équestre débutante ou confirmée. Pour le vérifier, des observations cliniques ont été réalisées à l'aide de l'équipement BioVal®, outil d'analyse et d'enregistrement des mouvements basé sur l'utilisation de capteurs inertiels sans fil. L'objectif était double : d'une part vérifier que la colonne vertébrale évolue de manière différente selon le niveau équestre du cavalier et d'autre mettre en évidence la pertinence de l'utilisation du système BioVal® dans une étude doctorale. L'hypothèse a été validée puisque l'étude a mis en évidence un comportement rachidien différent en fonction des compétences équestres de trois groupes homogènes de cavaliers. Les observations recueillies ont permis dégager une tendance cinématique propre à chaque cavalier, puis à chaque groupe et a donné la possibilité de définir un profil-type de cavalier pour chacun des trois groupes, de débutants, de confirmés ou d'experts. Les résultats permettent enfin de définir les applications différenciées, les plus appropriées, pour une équipe pluri-disciplinaire qui officierait autour du cavalier.

Mots clefs : rachis – cinématique – capteurs - assiette – galops - équitation.

ABSTRACT

Spine biomechanical has been a matter of interest for a long time. The subject has often been studied but only as regards the consequences of equestrian sport on rider's spine. The possibilities of spine movements on rider with different equestrian levels have never been looked into. For this thesis, we have considered that rider's spine movements differ because rider's levels are different. So at the beginning of this study, we thought spines of beginner riders couldn't move like high-level rider's spines. Leaving aside any mathematical or statistical analysis, we preferred to work from a clinical point of view as we do every day in our surgery. In order to do that, we have used MEMS technology to measure bone movements. We have organized three groups of 15 horse-riders: the first group, A was composed of riders who didn't practice. The second group, B, had riders of average level. The last group, C, was composed of confirmed riders, student teachers or professionals. Proving it was possible to analyze spine movements with MEMES technology was the aim of this study. So we are able to show spine movements depend on the rider's equestrian levels.

Key words: spinal – biomechanics – MEMS technology – horse riders – equestrian levels.

