

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2023 - Thèse n° 101

ETAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES SUR LA LATERALITE DES CHEVAUX
DE SPORT ET INFLUENCE DE L'ÉQUITATION DE DRESSAGE CLASSIQUE SUR
CETTE DERNIERE

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 13 novembre 2023
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

MAILLET Claire

CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2023 - Thèse n° 101

ETAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES SUR LA LATERALITE DES CHEVAUX
DE SPORT ET INFLUENCE DE L'EQUITATION DE DRESSAGE CLASSIQUE SUR
CETTE DERNIERE

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 13 novembre 2023
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

MAILLET Claire

Liste des enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (20-03-2023)

Pr	ABITBOL	Marie	Professeur
Dr	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
Pr	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Dr	AYRAL	Florence	Maître de conférences
Pr	BECKER	Claire	Professeur
Dr	BELLUCO	Sara	Maître de conférences
Dr	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences
Pr	BENOIT	Etienne	Professeur
Pr	BERNY	Philippe	Professeur
Pr	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur
Dr	BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
Dr	BRUTO	Maxime	Maître de conférences
Dr	BRUYERE	Pierre	Maître de conférences
Pr	BUFF	Samuel	Professeur
Pr	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
Dr	CACHON	Thibaut	Maître de conférences
Pr	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur
Pr	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
Pr	CHABANNE	Luc	Professeur
Pr	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
Dr	CHANOIT	Gillaume	Professeur
Dr	CHETOT	Thomas	Maître de conférences
Pr	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
Pr	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Pr	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Dr	ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
Dr	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences
Dr	GALIA	Wessam	Maître de conférences
Pr	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur
Dr	GONTHIER	Alain	Maître de conférences
Dr	GREZEL	Delphine	Maître de conférences
Dr	HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
Dr	JOSSON-SCHRAMME	Anne	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	JUNOT	Stéphane	Professeur
Pr	KODJO	Angeli	Professeur
Dr	KRAFFT	Emilie	Maître de conférences
Dr	LAABERKI	Maria-Halima	Maître de conférences
Dr	LAMBERT	Véronique	Maître de conférences
Pr	LE GRAND	Dominique	Professeur
Pr	LEBLOND	Agnès	Professeur
Dr	LEDOUX	Dorothee	Maître de conférences
Dr	LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
Dr	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences
Dr	LEGROS	Vincent	Maître de conférences
Pr	LEPAGE	Olivier	Professeur
Pr	LOUZIER	Vanessa	Professeur
Dr	LURIER	Thibaut	Maître de conférences
Dr	MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
Pr	MARCHAL	Thierry	Professeur
Dr	MOSCA	Marion	Maître de conférences
Pr	MOUNIER	Luc	Professeur
Dr	PEROZ	Carole	Maître de conférences
Pr	PIN	Didier	Professeur

Pr PONCE	Frédérique	Professeur
Pr PORTIER	Karine	Professeur
Pr POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
Pr PROUILLAC	Caroline	Professeur
Pr REMY	Denise	Professeur
Dr RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
Pr ROGER	Thierry	Professeur
Dr SAWAYA	Serge	Maître de conférences
Pr SCHRAMME	Michael	Professeur
Pr SERGENTET	Delphine	Professeur
Dr TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
Dr VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
Dr VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	Chargé d'enseignement contractuel
Pr ZENNER	Lionel	Professeur

Remerciements au jury

**A Monsieur le Professeur Didier PIN,
De VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon
Pour m’ avoir fait l’honneur d’accepter la présidence du jury de ma thèse,
Mes sincères remerciements.**

**A Madame le Docteur Monika GANGL,
De VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon,
Pour m’ avoir fait l’honneur d’encadrer ma thèse,
Pour son aide précieuse tout au long de ce travail,
Mes sincères remerciements.**

**A Monsieur le Professeur Jean-Luc CADORÉ,
De VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon,
Pour avoir accepté de faire partie du jury de ma thèse,
Pour son enthousiasme et sa bienveillance,
Mes sincères remerciements.**

**A Monsieur le Docteur Michaël Schramme ,
De VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon,
Pour avoir accepté de faire partie du jury de ma thèse,
Mes sincères remerciements.**

Table des matières

Liste des figures	9
Liste des abréviations	11
Introduction.....	13
Partie 1.....	15
Comment s'exprime la notion de « latéralité » chez le cheval ?	15
I. Premiers exemples de l'expression de la latéralité chez les chevaux	18
1. La posture naturelle au pâturage	18
2. La perception de l'environnement.....	18
3. La latéralité en lien avec les émotions et son rôle dans les interactions sociales : « la théorie de la valence »	21
4. Bilan tiré de ces premières observations.....	22
II. Origines de la latéralité.....	22
1. La latéralité : un caractère inné déterminé par le code génétique.....	22
2. Autres facteurs influençant la latéralité.....	23
3. La latéralité : un avantage sélectif ?	25
III. Les asymétries morphologiques du cheval	26
1. Mesures réalisées sur les sabots.....	26
2. Asymétries sur le squelette	29
3. Lien entre asymétries du squelette et conformation des sabots	30
4. Origine des asymétries morphologiques et anatomiques	31
5. Un point de vue ostéopathique	33
6. Conclusions sur les asymétries morphologiques du cheval.....	33
IV. La latéralité motrice du cheval	34
1. Expression de la latéralité au galop	34
2. Approche globale de la latéralité dans le mouvement : analyses qualitatives et quantitatives	37

3.	Asymétrie de l'avant main au pas.....	45
4.	Conséquences de la latéralité sur le cercle.....	46
V.	Conclusion de la première partie.....	49
Partie 2 : Enjeux de l'équitation classique pour composer avec la latéralité naturelle du cheval.....		51
I.	Le travail du cheval : un facteur à prendre en compte dans l'évaluation de sa santé.....	53
1.	Lien entre qualité du travail et longévité sportive.....	53
2.	Le respect des allures naturelles : importance pour le cavalier de comprendre la locomotion de son cheval	54
3.	Lien entre intégrité physique et santé mentale.....	56
II.	Conséquences d'une latéralité non corrigée sur le cheval monté : pourquoi recherche t'on la rectitude ?.....	57
1.	Expression de la latéralité sur le cheval monté.....	58
2.	Conséquences cliniques d'une augmentation de la latéralité naturelle dans le cadre des exigences sportives demandées au cheval	71
III.	Les enjeux pour le thérapeute	77
1.	Prise en compte de la latéralité naturelle dans le diagnostic de boiterie.....	77
2.	Pistes de réflexion pour améliorer la santé du cheval monté	79
	Conclusion.....	81
	Bibliographie	83

Liste des figures

Figure 1 : Communications nerveuses entre les yeux et le cerveau

Figure 2 : Asymétrie des sabots sur deux antérieurs

Figure 3 : Cheval au galop à gauche

Figure 4 : Schéma du fonctionnement du cheval droitier

Figure 5 : Compréhension des interactions entre l'assiette du cavalier et la latéralité du cheval

Figure 6 : Contact égal sur les deux rênes

Figure 7 : Compréhension des interactions entre le contact du cavalier et la latéralité du cheval

Figure 8 : Lien entre latéralité motrice et maladie naviculaire

Figure 9 : Cheval réalisant un appuyer à droite

Liste des abréviations

SI = index de symétrie

RLSP = Right Limb Stride Préférence

p(RLSP) = probabilité de partir au galop à main droite

AD = antérieur droit

PD = postérieur droit

AG = antérieur gauche

PG = postérieur gauche

IMU = Unités de mesure inertielle

KSI(Z) = indice de symétrie du déplacement vertical du marqueur au cours du temps

GRF = Ground reaction force

CantD = sommes des forces appliquées sur l'antérieur droit au canter

Tx = vertèbre thoracique numéro x

DDFT = tendon fléchisseur digital profond

DIP = articulation interphalangienne distale

Introduction

« *Calme, en avant, droit* ». C'est par ces mots que le général L'Hotte (1825-1904), écuyer en chef puis commandant du Cadre noir, désigne les buts à poursuivre en équitation. Et c'est sur le dernier mot, « droit », que se concentre le travail développé dans cette thèse. En effet, en équitation classique, il est demandé au cheval de réaliser des exercices vers la gauche ou vers la droite de manière parfaitement symétrique et de se déplacer en ligne droite sans dévier d'un côté ou de l'autre. Cela implique effectivement qu'il soit parfaitement « droit ». En équitation cette problématique est celle de la notion de « rectitude », qui est un élément central du travail du cheval, et un but à atteindre pour obtenir un dressage de qualité.

Pourtant, les difficultés liées à la recherche de la rectitude sont bien connues des cavaliers, et sont décrites depuis les commencements de l'équitation. En 1978, René Gogue écrit dans son ouvrage Problèmes équestres, « *la rectitude du cheval constitue, pour le dresseur, un des problèmes les plus ardues* ».

Or, la raison pour laquelle il est si compliqué d'obtenir la rectitude est que le cheval n'est pas, par nature, parfaitement droit. Tout comme un être humain peut être gaucher ou droitier, le cheval est latéralisé. L'objectif de cette thèse est donc dans une première partie de comprendre comment s'exprime la notion de latéralité chez le cheval, en expliquant quelles en sont ses origines et comment elle influence le comportement du cheval, en particulier sa locomotion.

Ensuite, la deuxième partie s'interroge sur l'importance de vouloir obtenir un cheval droit en équitation puisque cela impose de gommer sa latéralité locomotrice naturelle. Sont traitées en particulier les conséquences que peut avoir une mauvaise compréhension de la latéralité du cheval, qui montrent que la rectitude n'a pas qu'une vocation esthétique mais est au contraire d'une importance capitale pour préserver le cheval de certaines affections orthopédiques. La latéralité du cheval est donc à la fois une problématique prédominante en équitation mais aussi dans le domaine de la santé du cheval.

PARTIE 1
COMMENT S'EXPRIME LA NOTION DE
« LATERALITE » CHEZ LE CHEVAL ?

Il est aujourd'hui communément admis que les chevaux ne sont pas parfaitement symétriques. On entend ainsi souvent parler de chevaux « droitiers » ou « gauchers ». Quelle que soit la discipline, et qu'il s'agisse de travail monté ou à pied, les cavaliers sont régulièrement (pour ne pas dire constamment) confrontés au problème qu'un exercice, parfaitement exécuté par le cheval à une main donnée, devient extrêmement compliqué à l'autre main. Le cheval est donc asymétrique, ou plutôt, « latéralisé » (il présente un côté de prédilection pour la réalisation de chaque geste plutôt à droite ou plutôt à gauche) (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

Et pourtant, la latéralité fonctionnelle, résultante de l'asymétrie des hémisphères cérébraux, a longtemps été considérée comme une caractéristique propre à l'être humain. En effet, en 1865, Pierre Paul Broca affirme à la suite de ces travaux avec des patients présentant des problèmes de langage, que « nous parlons avec l'hémisphère gauche » et met ainsi fin au dogme scientifique du 19^{ième} siècle qui présentait le cerveau comme une structure holistique (dans laquelle chaque zone permet de réaliser toutes les fonctions) et parfaitement symétrique. Pourtant, pendant près d'un siècle après cette découverte, la recherche ne s'intéresse pas à la conformation corticale des espèces non humaines et apporte même des preuves suggérant que cette asymétrie ne se retrouve que chez l'homme (ou chez certaines espèces de primates qui nous sont proches d'un point de vue phylogénétique). Il faut attendre les années 70, avec notamment les travaux de Fernando Nottebohm sur les pinsons et les canaries, de Lesley Rogers sur les poulets, ou plus tard de Tsai et Maurer (1930) et Peterson (1934) sur les rongeurs, pour que l'asymétrie des hémisphères cérébraux et donc la latéralité soit reconnue chez les espèces non humaines, et donc chez les chevaux (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

Dans cette première partie nous allons nous intéresser à comprendre comment s'exprime la latéralité chez le cheval, quelle en est son origine et quels sont les facteurs qui influent sur cette dernière. Nous verrons ainsi que les chevaux se montrent asymétriques à la fois dans leur comportement, leur conformation, et surtout leur locomotion. Nous passerons en revue différentes méthodes d'analyse de l'allure permettant de comprendre ce qu'implique la latéralité dans la locomotion du cheval.

I. PREMIERS EXEMPLES DE L'EXPRESSION DE LA LATERALITE CHEZ LES CHEVAUX

La latéralité peut se définir par le fait de présenter un côté de prédilection pour la réalisation de certaines tâches (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020). Pour étudier la latéralité des chevaux un bon point de départ est l'observation de ces derniers au naturel, sans cavalier, pour savoir si dans leur comportement les chevaux montrent une différence dans leur manière d'utiliser leurs organes (qu'il s'agisse de leurs membres ou de leurs organes sensoriels) côté gauche et côté droit.

1. La posture naturelle au pâturage

L'étude de McGreevy et Rogers (McGreevy and Rogers, 2005) met en évidence une forme de latéralité chez les chevaux au cours d'un comportement naturel: le pâturage.

Méthode: Cent-six chevaux pur-sang sont observés toutes les 60 secondes pendant deux heures lorsqu'ils sont au pré. On relève la position relative des deux membres antérieurs lorsque le cheval broute.

Résultat: Cinquante-deux chevaux broutent en plaçant préférentiellement et de manière significative leur antérieur gauche en avant, 13 chevaux placent préférentiellement leur antérieur droit en avant et 41 chevaux ne montrent pas de préférence significative.

De plus, ce biais s'accroît avec l'âge des chevaux, ce qui suggère que soit il y a une influence de l'entraînement sur la manière dont le cheval se tient au pâturage (car tous les chevaux de l'étude sont entraînés de la même manière à la course de galop sur hippodrome), soit que la latéralité s'accroît avec l'âge, ce qui semble être l'hypothèse privilégiée par les auteurs.

Ce premier exemple montre que les chevaux ont un membre de prédilection pour s'appuyer lorsqu'ils broutent, et donc qu'ils sont latéralisés. Comme le membre qui n'est pas avancé est celui qui supporte le plus de poids lorsque le cheval broute, il semblerait que la majorité des chevaux préfèrent placer plus de poids sur leur antérieur droit.

2. La perception de l'environnement

Une autre manifestation de la latéralité des chevaux est leur manière de percevoir leur environnement.

Ainsi, il a été montré qu'un même stimulus n'entraînera pas la même réponse chez le cheval en fonction du côté par lequel il est perçu. L'étude suivante (Farmer, Krueger and Byrne, 2010) s'intéresse au fait de savoir si les chevaux présentent une différence de réactivité à un nouveau stimulus selon que ce dernier arrive de la gauche ou de la droite.

Méthode : La réaction de trente chevaux de loisirs face au même stimulus (un parapluie ouvert à cinq mètres du cheval puis s'approchant de ce dernier) est observée. Ce stimulus arrive de manière aléatoire par la droite, la gauche ou l'avant du cheval (vision binoculaire). On mesure la distance de fuite du cheval.

Résultat 1 : La distance de fuite est plus importante quand l'approche se fait à gauche plutôt qu'à droite. Or les informations visuelles perçues par l'œil gauche sont traitées par l'hémisphère droit du cerveau et inversement. (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020). D'après cette expérience il semblerait que le stimulus perçu par l'œil gauche soit responsable d'un sentiment de peur plus important par le cheval que lorsqu'il est perçu par l'œil droit (puisque la distance de fuite est plus importante). Ce premier résultat suggère donc que l'hémisphère droit du cerveau est celui responsable des comportements de fuite, résultat également suggéré par les études menées chez d'autres espèces (Farmer, Krueger and Byrne, 2010).

Résultat 2 : De plus, une asymétrie est détectée lorsque la vision binoculaire est testée : les chevaux testés initialement par la gauche montrent une réactivité plus importante lorsque le stimulus arrive à gauche la deuxième fois ($p < 0,01$), tandis que les chevaux initialement testés à droite ne montrent pas de différence de réactivité que le stimulus soit perçu la deuxième fois par l'œil gauche ou par l'œil droit. Ce résultat suggère que lorsqu'un stimulus est perçu par l'œil droit (et donc traité par l'hémisphère gauche, responsable de l'inhibition du comportement de fuite), le cheval apprend que ce stimulus est sans danger, et cette information est transmise à l'hémisphère droit. En revanche, la transmission d'information ne se ferait pas de l'hémisphère droit à l'hémisphère gauche, puisqu'un stimulus perçu par l'œil gauche déclenche une fuite moins importante lors de sa deuxième présentation au cheval si ce dernier le voit avec l'œil droit.

Remarque : Aucune tendance n'a été dégagée concernant le côté préférentiel de fuite lorsque le stimulus est vu en vision binoculaire, bien que les chevaux fuyant vers la droite fuient à une

distance plus importante que ceux fuyant vers la gauche. Cela montre que les résultats obtenus précédemment sont le résultat de la latéralisation des hémisphères cérébraux et non simplement une question de latéralité motrice.

Cette étude permet de réaliser que le cheval ne perçoit pas de la même manière son environnement selon qu'il l'observe avec son œil gauche ou son œil droit. La vision est un paramètre intéressant à étudier car on sait que les informations perçues par un œil sont traitées par l'hémisphère cérébral controlatéral correspondant, comme illustré sur la figure ci-dessous (figure 1).

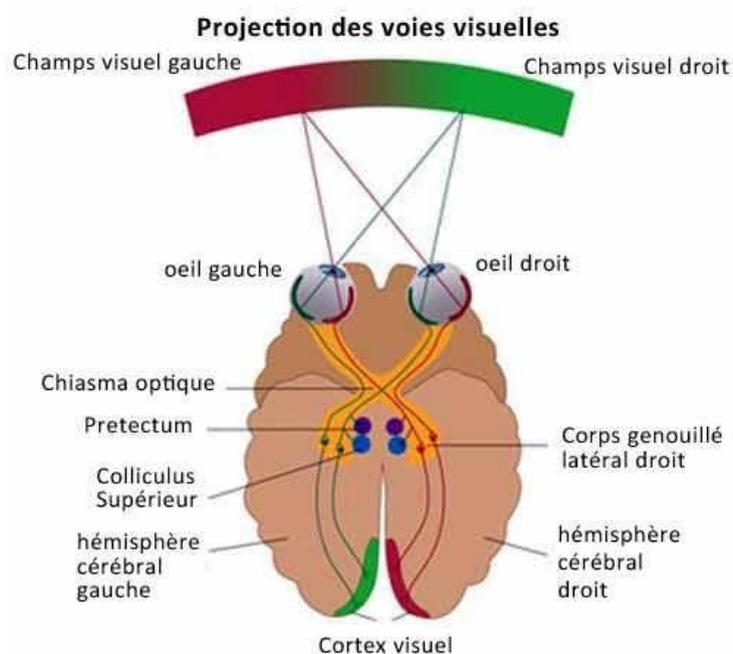


Figure 1 : Communications nerveuses entre les yeux et le cerveau

D'après Guide-vue.fr, société Cydonia

Ainsi, la perception différente de chaque œil est le miroir de la latéralisation des hémisphères cérébraux, qui est la cause de la latéralité du cheval, comme nous le verrons plus tard.

3. La latéralité en lien avec les émotions et son rôle dans les interactions sociales : « la théorie de la valence »

L'étude d'Alice De Boyer Des Roches *et al* (De Boyer Des Roches *et al.*, 2008) montre que les chevaux abordent un objet ayant une valence émotionnelle positive avec leur vision binoculaire. En revanche, ils regardent un objet à valence émotionnelle négative de préférence avec leur œil gauche et un nouvel objet de préférence avec leur œil droit. A nouveau, on retrouve l'idée que c'est « le cerveau droit » qui est sollicité lorsque le cheval identifie un objet comme potentiellement dangereux tandis que « le cerveau gauche » permet au cheval l'exploration de son environnement par l'inhibition du comportement de fuite.

On peut noter que si la latéralité visuelle est une composante majeure de la perception du monde par le cheval, cette étude n'a pas mis en évidence une asymétrie dans l'exploration olfactive (pas de différence entre le naseau droit ou le naseau gauche lorsque le cheval renifle les objets, quelles que soient leurs valences émotionnelles).

Les résultats de ces deux études ((De Boyer Des Roches *et al.*, 2008) (Farmer, Krueger and Byrne, 2010)) montrent que le cerveau gauche est dominant pour traiter les émotions positives tandis que le cerveau droit est dominant pour traiter les émotions négatives, comme la peur.

Cette latéralisation des émotions est observée chez d'autres animaux, par exemple chez les singes de Brazza (Chrétien, Jozet-Alves and Blois-Heulin, 2016) et s'inscrit dans « la théorie de la valence », qui stipule que les émotions négatives sont traitées par l'hémisphère droit tandis que les émotions positives sont traitées par l'hémisphère gauche (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020). Cette théorie a été complétée chez l'homme par d'autres modèles proposant un schéma de latéralisation émotionnelle, comme le BIS/BAS modèle (Behavioral Inhibition system/ Behavioral activation system) ou le « motivational direction model » (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020). Nous ne détaillerons pas ici ces modèles, mais nous retiendrons de ce paragraphe qu'il existe à l'intérieur du cerveau des schémas d'analyse des stimuli externes directement liés à la valence émotionnelle de ces stimuli, et se traduisant par une latéralité dans l'usage des organes sensoriels.

Par ailleurs, à la lumière de la théorie des valences, nous pouvons questionner la convention qui veut que nous abordions toujours un cheval par sa gauche, sollicitant son hémisphère cérébral droit, étant en charge des émotions négatives comme la peur...

Pour Kate Farmer, la prédominance de l'hémisphère droit pour analyser des nouvelles situations ne serait pas forcément liée au fait que le cerveau droit soit associé aux situations stressantes, mais plutôt au fait que cette spécialisation est la norme pour l'analyse de toutes les interactions sociales. Ainsi, si le cerveau des chevaux est latéralisé ce n'est pas pour une analyse négative/positive des situations mais pour répondre rapidement et pertinemment à des situations données (Farmer *et al.*, 2018).

4. Bilan tiré de ces premières observations

Nous retenons de ces premières études que le cheval a naturellement un fonctionnement « asymétrique » : il présente un membre de prédilection pour s'appuyer lorsqu'il broute, il n'observe pas son environnement de la même manière avec son œil droit ou son œil gauche... Pour ce qui est de la perception de l'environnement nous pouvons parler de « latéralité sensorielle ». Elle est directement liée à la spécialisation des hémisphères cérébraux et est en lien avec les émotions ressenties par le cheval : le sentiment de danger engendrant un comportement de fuite, l'analyse d'un nouveau stimulus, les interactions avec les congénères...

II. ORIGINES DE LA LATERALITE

Maintenant que nous avons vu que le cheval est un animal latéralisé, tout comme l'être humain, nous allons nous intéresser aux origines de cette latéralité.

1. La latéralité: un caractère inné déterminé par le code génétique

L'asymétrie gauche-droite se met en place dès le développement embryonnaire, avec la latéralisation du mésoderme, induite par l'activation de la cascade du facteur nodal à gauche mais pas à droite (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020). Chez les mammifères, la mise en place de cette cascade est initiée par le « Nodal flow » : la genèse d'un écoulement de fluide vers la gauche sous l'impulsion des cils nodaux (Brennan, Norris and Robertson, 2002).

Des études sur les poissons zèbres d'abord puis sur les souris ou les grenouilles ont permis de caractériser cette cascade nodale. Lors de l'ontogenèse, le devenir des cellules est

déterminé par l'expression ou non de certains gènes, ou par l'intensité de leur expression, contrôlée par des protéines produites par les cellules inductrices. Ces protéines sont des facteurs de transcription (facteur trans) qui se lient à des séquences d'ADN spécifiques (facteurs cis) pour soit augmenter l'expression du gène (« amplificateur ») soit la diminuer ou l'empêcher (« silencer »). Le signal nodal est ainsi responsable de l'expression du gène *Pitx2* dans le mésoderme de la plaque latérale, par fixation du facteur nodal FAST sur un « amplificateur » spécifique du côté gauche (ASE). Une fois initiée, l'expression de *Pitx2* est maintenue en absence de signal nodal par la fixation du facteur *Nkx2* sur l'ASE (Shiratori *et al.*, 2001). Le fait que l'on retrouve la même séquence d'ADN composant l'amplificateur ASE chez les souris et les grenouilles suggère que la relation entre le signal nodal et l'expression de *Pitx2* est conservée parmi les vertébrés (Shiratori *et al.*, 2001).

L'expression asymétrique de *Pitx2* permet de comprendre la manière dont se mettent en place les asymétries lors de la morphogenèse, bien qu'elle soit loin de l'expliquer de manière exhaustive. Chez l'homme, au moins trois autres gènes semblent être impliqués dans l'acquisition du caractère gaucher ou droitier : les gènes *PCBK6*, *LRRTM1* et *MAP2* (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

De plus, la génétique seule ne permet pas d'expliquer la latéralité chez les vertébrés et donc chez les chevaux. Une étude faite sur des jumeaux humains a ainsi montré que le fait d'être droitier ou gaucher était déterminé à 25% par des facteurs génétiques et à 75% par d'autres facteurs (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020). Nous allons voir quels sont ces autres facteurs qui influent sur la latéralité.

2. Autres facteurs influençant la latéralité.

Il a été montré que les têtards *Bufo balearicus* expriment une latéralité dans leur manière de nager en bande et d'échapper aux prédateurs, et surtout que cette latéralité est d'autant plus marquée que la menace des prédateurs est forte (Gazzola *et al.*, 2022). Cela suggère que la latéralité d'un animal dépend aussi de son environnement. Les poissons cichlidés *Perissodus microlepis* présentent la particularité d'avoir une bouche asymétrique avec un côté plus fort que l'autre. Or une étude a montré que les poissons naïfs (on ne parle pas des jeunes mais de ceux n'ayant jamais chassé) ne présentent pas de côté préférentiel pour attaquer. Après plusieurs attaques les poissons montrent un côté de prédilection pour

attaquer leur proie, qui correspond au côté où leur bouche est la plus large et forte. D'après cette étude, ce comportement de chasse asymétrique n'est pas dû à des facteurs endogènes (se mettant en place avec la croissance), mais à un facteur externe qui est l'apprentissage par l'animal (Takeuchi and Oda, 2017).

Les pigeons adultes (*Columbia livia*) et les poulets (*Gallus domesticus*) présentent des asymétries comportementales pour de nombreuses tâches visuelles comme la navigation spatiale. Or des études ont montré que cette latéralité était en partie due au fait que dans l'œuf seul l'œil droit de l'embryon est exposé à la lumière tandis que l'œil gauche est à l'obscurité car caché par le corps de l'embryon (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

Des études récentes ont également mis en évidence les effets de l'épigénétique sur l'apparition de la latéralité. Chez l'homme, le degré de méthylation de l'ADN serait corrélé au degré d'asymétrie entre la main droite et la main gauche. De plus, d'un point de vue anatomique, on observe une profonde asymétrie de la méthylation de l'ADN dans les cellules des embryons humains. Chez le nématode *C. elegans*., les organes sensoriels sont répartis de manière asymétrique de chaque côté du corps. Cette asymétrie se met en place dès le développement embryonnaire car seules les cellules issues des neurones du côté gauche expriment un microARN qui induit un changement de conformation de la chromatine. L'asymétrie se transmet donc de cellules en cellules pendant le développement, les cellules du côté gauche acquièrent des spécialisations différentes de celles du côté droit, sans qu'il n'y ait de différence de génotype entre ces cellules (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

Pour finir, des études de neuroimagerie ont montré des changements dans l'asymétrie du cerveau en fonction du cycle menstruel. Ainsi les hormones, comme les œstrogènes et la progestérone, auraient une action sur le degré de latéralisation, certainement en influençant le transfert d'informations entre les deux hémisphères (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

On retient de ce paragraphe que la latéralité en générale, et donc la latéralité du cheval, est le résultat de l'interaction complexe entre expression du code génétique, épigénétique, et facteurs environnementaux. La latéralité du cheval, caractère inné et non figé, est présente dès sa naissance mais évolue tout au long de sa vie. Ainsi, pour Agnès Beaufile, vétérinaire-ostéopathe, « *la latéralisation est concomitante de la maturation physique et neurologique du*

poulain mais les asymétries motrices et sensorielles ne sont objectivables qu'à partir de l'âge de un an » (*la_lateralite_motrice_du_cheval*, Agnes Beaufiles, 2013).

3. La latéralité : un avantage sélectif ?

Des reconstitutions fossiles ont été réalisées pour étudier la méthode de chasse de *Anomalocaris*, un arthropode de l'ère Paléozoïque (il y a environ 500 Ma). D'après les traces de morsure fossilisées, ce prédateur attaquait des trilobites en mordant leurs extrémités arrière droite, utilisait son membre gauche pour maintenir le trilobite en position tout en fléchissant à plusieurs reprises avec son membre droit sa victime de haut en bas jusqu'à ce que la cuticule craque. Si cette reconstruction est exacte, la technique de chasse d'*Anomalocaris* serait le premier exemple connu de latéralité et pourrait remonter à plus de 500 millions d'années. Ainsi, la latéralisation n'est très probablement pas une caractéristique évolutive récente, mais à peu près aussi ancienne que l'évolution des animaux (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

Nous pouvons constater que la latéralité a ensuite été sélectionnée positivement puisqu'on la retrouve chez des espèces éloignées d'un point de vue phylogénétique et soumis à des pressions écologiques différentes, comme par exemple les têtards *Bufo balearicus*, les poissons cichlidés *Perissodus microlepis*, les poulets, le cheval, et bien sûr l'homme. Ainsi nous pouvons nous interroger sur le fait que la latéralité, puisqu'elle semble avoir été sauvegardée au cours de l'évolution, présente un avantage sélectif. L'étude de Lesley *et al.* suggère que le fait de posséder un cerveau latéralisé permet de réaliser deux tâches simultanément, à savoir la recherche de nourriture et la surveillance des prédateurs, et donc confère un avantage sélectif aux oiseaux fortement latéralisés (Rogers, Zucca and Vallortigara, 2004).

Finalement, à l'échelle individuelle la latéralisation cérébrale permettrait des meilleures performances de chacun des deux hémisphères et la réalisation de deux tâches simultanément par un fonctionnement indépendant de chacun des hémisphères. A l'échelle de l'espèce, il semblerait que la stratégie évolutive la plus intéressante est d'avoir une majorité possédant une certaine latéralité et une minorité présentant la latéralité opposée. En effet, dans un banc de poissons, si la majorité des individus échappent au prédateur en tournant toujours dans le même sens, ce dernier va apprendre et pourra en attraper une

grande partie, mais la minorité possédant la latéralité opposée pourrait survivre en évitant le prédateur en fuyant dans la direction opposée. Ces théories évolutives permettent d'ailleurs d'expliquer que dans la population humaine on retrouve environ 90% de droitiers et une minorité de gauchers (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020).

III. LES ASYMETRIES MORPHOLOGIQUES DU CHEVAL

De nombreuses études se sont intéressées à la conformation du cheval, car en effet, comprendre la conformation du cheval est un bon point de départ pour comprendre sa locomotion, à laquelle nous nous intéresserons par la suite. Ces études révèlent de nombreuses asymétries tant dans la morphologie (ce qui se rapporte à la forme extérieure du cheval) que dans l'anatomie (qui se rapporte à la structure interne des organes).

1. Mesures réalisées sur les sabots

a) *Asymétrie des sabots*

L'étude de Wilson *et al.* (Wilson *et al.*, 2016a) s'intéresse à la relation entre la conformation du sabot, son placement au sol et les asymétries dans la locomotion du cheval. En effet, si les chevaux sont parés et ferrés régulièrement, c'est pour améliorer l'équilibre du sabot car on considère qu'une mauvaise conformation du pied entraîne des asymétries et des irrégularités dans l'allure. Cette étude permet donc d'étudier cette relation de causalité, en étudiant à la fois la conformation des sabots antérieurs (à partir de mesures faites sur des photographies), le placement du pied pour les membres antérieurs (à partir de vidéos au pas et au trot) et l'asymétrie de l'allure grâce à des capteurs enregistrant les mouvements de la tête au pas et au trot, cela sur 43 chevaux considérés comme non boiteux. Les chevaux sont de différentes tailles, de différents âges et avec une intensité de travail variable. Sur les 43 chevaux, 22 sont ferrés des antérieurs, tous sont parés régulièrement (en moyenne toutes les six semaines).

Concernant la conformation des sabots, les paramètres mesurés (à partir de trois photographies du pied (vue palmaire dorsale, vue latéro médiale et vue de la sole) sont : l'angle dorsal et l'angle palmaire du sabot, les hauteurs des talons médiaux et latéraux, la largeur maximale de la sole, la longueur de la plus grande diagonale de la sole, et la longueur de la sole du côté médial et latéral.

Les ratios suivants ont ensuite été calculés:

- le ratio HHR est obtenu en divisant la hauteur du talon latéral par la hauteur du talon médial
- le ratio HSR en divisant la largeur de la sole latérale par la largeur de la sole médiale
- le ratio DHLHWR en divisant la longueur de la sole par sa largeur
- le ratio DPAR en divisant l'angle dorsal par l'angle palmaire.

Résultat : Des différences significatives ont été mesurées entre l'antérieur gauche et l'antérieur droit pour : la hauteur du talon latéral, le ratio des hauteurs des talons (HHR), la longueur de la diagonale de la sole, la largeur de la sole, et les largeurs des soles médiales et latérales ($p < 0,001$). L'angle dorsal est significativement plus grand que l'angle palmaire pour l'antérieur droit mais pas pour l'antérieur gauche. La hauteur du talon médial est significativement plus grande que la hauteur du talon latéral pour l'antérieur droit ($p < 0,01$) mais pas pour l'antérieur gauche ($p = 0,9$).

En revanche, les différences entre les deux antérieurs pour les angles dorsaux et palmaires, le ratio des angles (DPAR), la hauteur du talon médiale, les ratios DHLHWR et HSR ne sont pas significatives.

Conclusion 1 : Cette étude met donc en évidence des différences de conformation sur les sabots des membres antérieurs droits et gauches d'un même cheval, avec des différences significatives mesurées pour 50% des paramètres de conformation. Finalement, même sur des chevaux régulièrement parés, il est très rare d'avoir des sabots parfaitement équilibrés et identiques sur les membres gauches et droits. Cette asymétrie des sabots est d'ailleurs connue sous le nom de syndrome « high/low », avec des chevaux présentant un sabot antérieur plat avec une pince longue (« low ») et l'autre sabot antérieur plus haut et plus serré (« high »).

On observe par exemple sur l'image ci-dessous (figure 2) la différence de hauteur de talons entre les deux antérieurs de ce cheval.



Figure 2 : Asymétrie des sabots sur deux antérieurs

Source : Monika Gangl

b) Lien entre asymétrie et travail du cheval ?

L'étude précédente (Wilson *et al.*, 2016b) montre qu'il existe des différences de conformation de sabots entre le membre antérieur droit et le membre antérieur gauche. Toutefois, l'étude de Casanova *et al.* (Pares i Casanova and Oosterlinck, 2012) concernant la conformation des sabots de jeunes chevaux pyrénéens ne met pas en évidence une telle asymétrie. D'après les auteurs, cette différence pourrait s'expliquer par le fait que l'étude de Casanova n'inclut que des chevaux de un an, non suivis par un maréchal et surtout qui ne sont pas travaillés. De plus, les auteurs notent une corrélation entre trois des 12 paramètres de conformation et l'âge. Comme les chevaux sont au travail, on peut supposer que plus les chevaux sont âgés plus ils ont été travaillés, et donc qu'il existe une corrélation entre travail et asymétrie de conformation des sabots.

Conclusion 2 : On peut donc noter à ce stade qu'il est possible que l'asymétrie de conformation entre sabot de l'antérieur droit et sabot de l'antérieur gauche soit provoquée, ou accentuée, par le travail.

c) Lien entre asymétries des sabots et asymétrie de l'allure

Dans l'étude de Wilson *et al.* (Wilson *et al.*, 2016a), le poser du pied est évalué sur 12 essais pour chaque antérieur de chaque cheval. Si le poser de pied est le même sur neuf essais ou plus, ce poser est considéré comme dominant. Si moins de neuf essais montrent le même

poser de pied, on qualifie le poser de pied de ce cheval de « mixte ». Le poser peut être, dans l'axe médio latéral du pied, « médial », « latéral » ou « plat » et dans l'axe dorso palmaire du pied « en talon », « en pince », ou « plat ».

L'étude montre qu'au pas le poser prédominant est « latéral en talon » (30% des essais sur l'antérieur gauche et l'antérieur droit) et qu'au trot il s'agit du poser « latéral » (26% des essais sur l'antérieur gauche et 25% des essais sur l'antérieur droit). Toutefois, l'étude ne montre ni de différence significative du poser du pied entre l'antérieur gauche et l'antérieur droit ni de corrélation entre le poser de pied et la conformation du sabot (excepté un placer « latéral en pince » significativement associé avec un angle dorsal et palmaire plus marqué) ou entre le poser de pied et l'asymétrie de l'allure. Les auteurs précisent cependant qu'ils n'ont pas exploré de manière exhaustive la conformation du pied et que le poser du pied pourrait être influencé par d'autres paramètres de conformation non pris en compte ici, et notamment par l'angle et l'orientation des segments les plus distaux des membres.

L'asymétrie de l'allure est objectivée grâce à un index de symétrie (SI) obtenu à partir des mesures du capteur placé sur la tête du cheval : un SI de 1 indique un mouvement symétrique, un SI < 1 indique une asymétrie sur le membre antérieur droit et un SI > 1 indique une asymétrie du membre antérieur gauche.

Conclusion 3 : Les résultats montrent une corrélation négative entre la longueur de la plus grande diagonale de la sole et les hauteurs des talons médiaux et latéraux, et l'index de symétrie. Autrement dit, les sabots plus étroits et courts seraient associés à une allure plus asymétrique. Toutefois on ne peut pas savoir si c'est la conformation des sabots qui entraîne une allure asymétrique ou l'inverse. On retient toutefois que la conformation des sabots du cheval peut être un indicateur intéressant de la symétrie de son allure : l'étude de la conformation du cheval nous aide à comprendre sa locomotion

2. Asymétries sur le squelette

Certaines études mettent en évidence des asymétries de l'appareil locomoteur comme des différences dans les dimensions des os.

L'étude de Watson *et al.* (Watson, Stitson and Davies, 2003) mesure la longueur du troisième métacarpe de 46 chevaux de course australiens (états de Victoria et Australie du

Sud) à partir de radiographies en vue latéro-médiale et médio-latérale (pas de différence significative des mesures selon le type de vue choisi). Les mesures montrent que 76% des chevaux de l'étude ont un métacarpe droit plus long.

Les asymétries anatomiques se retrouvent également sur les membres postérieurs. L'étude de Pearce *et al.* (Pearce, May-Davis and Greaves, 2005) explore la survenue d'asymétries dans l'anatomie du cheval en comparant 37 éléments caractéristiques de fémur de chevaux de courses Australiens (11 chevaux euthanasiés pour des raisons non liées à l'étude). Les mesures sont réalisées sur des surfaces articulaires et des sites d'attachement de muscles ou de ligaments connus pour avoir une influence sur la locomotion des postérieurs.

Cinq régions montrent des mesures significativement plus grandes sur le fémur gauche que sur le fémur droit ($p < 0,05$) : les largeurs proximale crâniale et médio-latérale de la tête fémorale, la profondeur du grand trochanter et de la fosse de la tête fémorale (fovée capitis) et la largeur entre l'épicondyle latéral et médial.

Pour les auteurs de plus amples recherches sont requises pour comprendre l'origine de cette asymétrie. Ils émettent l'hypothèse que les asymétries observées sont la conséquence de contraintes asymétriques sur les postérieurs en particulier car ces chevaux sont toujours entraînés dans le sens horaire. Ainsi le postérieur gauche reçoit beaucoup plus de contraintes que le postérieur droit ce qui explique un épaissement des os du côté gauche comparativement au côté droit.

3. Lien entre asymétries du squelette et conformation des sabots

Une deuxième étude de Wilson *et al.* (Wilson, McDonald and O'Connell, 2009) a pour objectif d'étudier les relations entre la conformation des sabots et l'existence d'asymétries sur le squelette, avec l'hypothèse suivante : le sabot étant une structure dynamique capable de modifier sa conformation selon les charges qu'il subit, ce sont des asymétries dans la longueur des différents segments des membres antérieurs qui provoquent des modifications sur la conformation des sabots, que ce soit en terme de taille ou de forme.

Sur 34 chevaux de loisirs les mesures des éléments suivants sont réalisées : largeur basse et haute du sabot, hauteur de la pince, hauteur du talon et du boulet, longueur du troisième métacarpe, hauteur du carpe, hauteur du coude, hauteur de la pointe de l'épaule, hauteur de

la scapula. Les données brutes sont analysées avec un modèle linéaire généralisé (GLM) qui a permis de calculer un index d'asymétrie, montrant à la fois le degré d'asymétrie et sa direction.

Une asymétrie significative a ainsi été mise en évidence pour la hauteur de la pointe de l'épaule et très significative pour la hauteur du talon et la longueur du troisième métacarpe, bien que cette étude ne permette finalement pas de caractériser précisément les interactions entre les longueurs des segments et la conformation du sabot puisque non seulement aucune tendance n'est dégagée (résultats différents pour le pied gauche ou le pied droit) et car le modèle ne prend pas en compte d'autres facteurs comme des douleurs, l'histoire individuelle du cheval, son degré d'entraînement etc.

4. Origine des asymétries morphologiques et anatomiques

Nous avons vu que ces asymétries dans la conformation du cheval comportent une part d'innée, avec une latéralité présente dès le développement embryonnaire. De plus, les asymétries motrices découlent de ces asymétries morphologiques et les accentuent en retour : en effet comme expliqué en première partie la latéralité n'est pas figée et est modifiée par « l'environnement » du cheval, et donc ses habitudes.

Ainsi, une difficulté majeure commune à l'ensemble des études présentées ci-dessus et de savoir quelle est la part de sélection liée à l'utilisation des chevaux dans l'apparition d'asymétries morphologiques.

Par exemple, les différences de mesures sur les fémurs de l'étude de Pearce *et al.* pourraient être le résultat d'une pression de sélection pour les performances de course sur des pistes en ellipse et/ou une adaptation de squelette aux différentes charges reçues de manière répétée par les postérieurs sur ce genre de piste (Pearce, May-Davis and Greaves, 2005). De même, dans l'étude de Watson *et al.* (2003) montrant que 76% des chevaux de l'étude ont un métacarpe droit plus long, on observe moins de valeurs extrêmes pour les chevaux entraînés à courir dans les deux sens (Australie du Sud) que pour chevaux entraînés exclusivement en sens anti-horaire (Victoria) (Watson, Stitson and Davies, 2003). Or on peut raisonnablement penser que pour la course en sens anti horaire un métacarpe droit plus long est un avantage et inversement. Ainsi, d'après les auteurs, soit l'entraînement dans un sens

unique a créé une pression de sélection sur les chevaux victoriens, soit l'asymétrie a été contre sélectionnée dans le cas d'un entraînement dans les deux sens (chevaux d'Australie du Sud), même si la première hypothèse semble la plus probable car la croissance du troisième métacarpe est terminée à sept mois d'âge.

L'étude de Lesniak (Leśniak, 2013) permet d'y voir plus clair sur l'origine de ces asymétries structurelles, car contrairement aux études précédentes, elle ne concerne pas seulement des pur sangs à l'entraînement mais une population de chevaux de selle et de poneys, et qu'elle mesure les dimensions de traits « fonctionnels », c'est à dire en relation avec l'appareil locomoteur, et de traits « non fonctionnels », sans relation directe avec la locomotion. La direction de l'asymétrie est donnée par la différence entre les moyennes des mesures à droite et les moyennes de mesures à gauche, mais le degré d'asymétrie n'est pas déterminé (un modèle statistique permet de savoir si la différence entre le côté gauche et le côté droit est significative). Leurs mesures montrent une longueur plus importante à droite pour le troisième métacarpe (chez 69% des chevaux et poneys de l'étude) et troisième métatarsaire (chez 65% des chevaux et poneys de l'étude) et une largeur plus importantes à gauche pour la première phalange des antérieurs (chez 52% des chevaux et poneys de l'étude), la première phalange des postérieurs (chez 50% des chevaux et poneys de l'étude), le troisième métacarpe (chez 38% des chevaux et poneys de l'étude) et le troisième métatarsaire (chez 48% des chevaux et poneys de l'étude). Les articulations inter carpiennes et inter tarsiennes sont plus larges sur le côté droit. Enfin, les asymétries se retrouvent aussi sur les traits « non fonctionnels », comme par exemple des éléments de la face plus longs et larges sur le côté gauche.

Conclusion : Finalement les résultats de cette étude font dire aux auteurs que les asymétries sur le squelette des chevaux ne sont pas le résultat d'une sélection lors de l'élevage ni de l'entraînement, mais sont bien une caractéristique naturelle de l'espèce. Bien que l'entraînement puisse accentuer les asymétries morphologiques, ces dernières seraient présentes dès le développement in utero. Il semblerait aussi que pour la majorité des chevaux les traits du côté droit soient plus longs, et les traits du côté gauche plus larges. Finalement, les auteurs concluent en attribuant les asymétries morphologiques du cheval au fait qu'il soit

latéralisé, et expliquent que les dimensions optimales de son corps lui permettant de fonctionner sont, par nature, asymétriques.

5. Un point de vue ostéopathique

Patrick Chêne, ostéopathe et vétérinaire, l'un des pionniers de l'ostéopathie animale, nous parle dans son livre Le Corps tenségritif de l'absurdité qu'il y a pour lui à vouloir considérer le corps humain ou animal comme symétrique (Chêne and Gardelle, 2022). Pour lui, les corps ont une structure par nature asymétrique, et il prend en compte cette asymétrie dans sa pratique thérapeutique: « *Il faut juste que nous ajustions nos concepts pour intégrer cette dissymétrie inextricable de n'importe quel étage du vivant et de la matière aux fondements de notre pratique, en oubliant le mirage de la symétrie droite/gauche* ». Par exemple, il considère qu'il ne sert à rien de rechercher la même mobilité des articulations sacro-iliaques gauches et droites en ostéopathie. Concrètement, Patrick Chêne utilise les concepts de « torsion physiologique » et « d'hélice fasciale », concepts qui permettent « *d'abolir le plan médian et d'intégrer pleinement la notion d'asymétrie dans le fonctionnement du vivant* ».

Il faut bien noter que pour lui cette asymétrie ne s'explique pas par la dualité gaucher/droitier, mais s'ajoute à celle-ci: « *cette dissymétrie est structurelle quand la notion droitier/gaucher fait appel au fonctionnement privilégié d'un des deux hémisphères du cerveau* ». Cette vision ostéopathique est un bel exemple d'intégration de la notion d'asymétrie dans le soin.

6. Conclusions sur les asymétries morphologiques du cheval

Les résultats des études citées dans cette partie montrent que les chevaux ne sont pas symétriques dans leur conformation, et ces asymétries sont visibles et mesurables tant au niveau des sabots que du squelette du cheval (Wilson *et al.*, 2016a) (Watson, Stitson and Davies, 2003) (Pearce, May-Davis and Greaves, 2005). Ces asymétries sont le résultat de la latéralité naturelle du cheval (Leśniak, 2013). Mais elles peuvent être accentuées par le travail du cheval, comme la course de galop dans un sens unique (Watson, Stitson and Davies, 2003) (Pearce, May-Davis and Greaves, 2005). Enfin, la conformation de cheval détermine sa locomotion, et inversement. Ainsi, les asymétries morphologiques d'un cheval sont le reflet de sa latéralité, et permettent de comprendre les asymétries de sa locomotion.

IV. LA LATERALITE MOTRICE DU CHEVAL

Nous avons montré dans la partie III que le cheval était loin d'être parfaitement symétrique dans sa conformation. Or une asymétrie dans la conformation est à la fois une cause et une conséquence d'une asymétrie dans le fonctionnement du cheval, dans sa locomotion, et c'est à ce paramètre que nous allons nous intéresser maintenant.

1. Expression de la latéralité au galop

Au galop, qui est une allure asymétrique, la première idée qui vient en tête pour savoir si les chevaux ont un côté de prédilection est de se demander s'ils ont une préférence pour partir au galop à droite (poser du postérieur gauche en premier) ou au galop à gauche (poser du postérieur droit en premier).

d) *Etude en sortie de Starting gates*

Ainsi, l'étude de Williams *et al.* (Williams and Norris, 2007) étudie le pied de départ pour 9 201 chevaux en sortie des starting-gates. L'étude comprend six groupes : des mâles et femelles pur-sang, des mâles et femelles arabes et des mâles et femelles Quarter Horse. La majorité des chevaux sont entraînés aux Etats Unis donc en sens anti-horaire, mais l'utilisation des Quarter Horse, qui sont entraînés en lignes droites, sert de groupe contrôle pour exclure l'hypothèse que le pied de prédilection soit lié au sens d'entraînement. L'étude met en évidence une valeur de $p(RLSP)$ (avec $RLSP = \text{Right Limb Stride Préférence}$ et $p(RLSP) = \text{probabilité de partir au galop à droite}$) différente de 0,5 ($p \leq 0,01$). Ainsi, les chevaux auraient bien une main de prédilection dans le départ au galop et dans cette étude il semblerait qu'il s'agisse de la main droite car 92% des chevaux partent à main droite. De plus, le pourcentage de chevaux préférant le galop à droite ne varie pas selon la race ou le sexe ($p = 0,99$).

A un niveau individuel, l'étude montre que la majorité des chevaux choisissent toujours le même pied de départ ($p \leq 0,01$). Chaque cheval semble avoir un pied de préférence dans le départ au galop.

Cette étude est la première montrant une forte latéralité des chevaux dans le départ au galop, aussi bien au niveau individuel qu'à l'échelle de la population. On peut toutefois lui reprocher de mener son étude sur des chevaux montés, car bien que le cavalier ne demande

pas un départ au galop à une main en particulier, il est difficile de savoir l'influence qu'ont son poids du corps et son équilibre sur la mécanique naturelle du cheval.

Les auteurs de cette étude émettent l'hypothèse que la main de prédilection du cheval soit directement liée à sa performance. En effet, l'inspiration se fait pendant la phase de suspension (à chaque foulée correspond une inspiration) et la surface pulmonaire est légèrement plus importante à droite qu'à gauche. Le galop à droite permet une ouverture maximale du champ pulmonaire droit, donc des échanges en oxygène facilités à droite, donc une meilleure oxygénation globale à chaque foulée. Ainsi le fait de galoper sur le pied droit permettrait une optimisation de la fonction respiratoire et donc de la performance. Cette hypothèse mérite de plus amples recherches pour être confirmée.

e) Résultats sur des Quarter Horse en ligne droite

Deuel et Lawrence (Deuel and Lawrence, 1987) se sont aussi intéressés à la mécanique du galop. Ils étudient l'allure de quatre chevaux Quarter Horse de deux ans montés au galop sur une ligne droite grâce à des caméras de capture de mouvement à grande vitesse.

Les chevaux sont choisis jeunes pour éviter un biais pouvant être lié à l'entraînement, et le cavalier doit intervenir le moins possible (pas de pression sur les rênes, position en suspension). On garde cependant en tête que l'on ne peut pas exclure le biais lié au cavalier lorsqu'on cherche à étudier la locomotion du cheval.

Nous définissons qu'au galop à gauche l'antérieur gauche est « le membre directeur » tandis que l'antérieur droit est « le membre contacteur », responsable de la propulsion. Une foulée de galop à gauche se décompose de la manière suivante :

- a. Contact piste-PG/PD bipodal
- b. Contact piste-PG unipodal
- c. Contact piste-PG/AD (diagonal) bipodal
- d. Contact piste-AD unipodal
- e. Contact piste-AD/AG bipodal
- f. Contact piste-AG unipodal
- g. Projection

(avec AD= antérieur droit, PD= postérieur droit, AG= antérieur gauche, PG=Postérieur gauche)

L'image ci-dessous montre un cheval au galop à gauche (figure 3).



Figure 3 : Cheval au galop à gauche

Source : Nicolas Gogotzi

Les auteurs observent que les chevaux montrent une nette préférence pour partir au galop à gauche (ils choisissent de partir au galop à gauche deux fois plus souvent qu'au galop à droite ($p < 0,025$)). De plus, ils observent une valeur significativement plus haute ($p < 0,01$) au galop à gauche qu'au galop à droite pour les paramètres suivants : la vitesse à chaque main, liée à la longueur de la foulée, la distance linéaire entre le point d'impact des deux antérieurs, le temps de contact de l'antérieur contacteur (pondéré par la vitesse), le ratio du contact du membre contacteur sur la totalité des contacts des membres, et le ratio de la totalité des contacts sur le contact des postérieurs.

Cette étude entre donc en contradiction avec l'étude précédente puisqu'ici les chevaux auraient une préférence pour le galop à main gauche. Toutefois, le faible échantillon choisi (quatre chevaux) ne permet pas de conclure sur une quelconque préférence à l'échelle de la population.

Les auteurs de cette étude tirent la conclusion que les chevaux ont une plus grande confiance et présentent une plus grande efficacité sur leur antérieur droit qui est donc choisi

comme membre contacteur, responsable de la propulsion, les amenant à galoper « à gauche ».

f) Conclusions tirées des deux études

On retient de ces études que les chevaux ont une main de préférence au galop, tout comme nous avons une main de prédilection. Toutefois il semble difficile d'établir une préférence à l'échelle de la population, puisque les études se contredisent. Le plus probable est qu'il existe des chevaux « droitiers » et des chevaux « gauchers », avec une répartition inégale des deux populations dans la population totale, comme chez l'homme. Ceci est d'ailleurs en accord avec la théorie vue plus haut selon laquelle la stratégie évolutive la plus intéressante pour l'espèce est d'avoir une majorité possédant une certaine latéralité et une minorité présentant la latéralité opposée. Chez le cheval il semblerait que la majorité de la population soit composée de chevaux droitiers, ce que l'on retrouve dans les résultats de l'étude de Williams qui est réalisée sur un effectif important.

Ces études nous montrent que la latéralité peut avoir une influence importante sur les caractéristiques de galop. Elle peut ainsi sans doute influencer les performances sportives et il est important de connaître les asymétries normales du mouvement, leur localisation et leur degré si on veut étudier le galop d'un cheval (Deuel and Lawrence, 1987).

2. Approche globale de la latéralité dans le mouvement : analyses qualitatives et quantitatives

a) Proposition d'une définition du cheval droitier.

Pierre Beaupère est un cavalier professionnel et professeur de dressage, formé notamment auprès d'Elisabeth De Walsche et du maître Nuno Oliveira. Il a travaillé sur les asymétries des chevaux et nous en propose sa compréhension dans le livre Equilibre et rectitude, paru en 2012.

Pierre Beaupère explique donc (Beaupère, 2012) :

Le cheval « droitier » est un cheval qui porte plus de poids sur son épaule droite et décale ses épaules pour les aligner sur cette jambe.

Au naturel, le cheval compense le fait qu' il surcharge ses antérieurs (70% de son poids) et en particulier son épaule droite en pliant son encolure dans l'autre direction.

Il découle de cela une asymétrie des muscles : le côté droit s'allonge tandis que le côté gauche se raccourcit. Les muscles du côté gauche sont contractés tandis que les muscles du côté droit sont, de par l'antagonisme des muscles, étirés.

Cette asymétrie va créer un déséquilibre dans la locomotion : « *Le fait que le cheval utilise de préférence son antérieur droit et place plus de poids sur cette jambe va provoquer un transfert du centre de gravité vers la droite et vers l'avant* ». Lorsque le cheval est en mouvement, et surtout si la vitesse est importante, il y a un risque que le centre de gravité sorte de la surface d'appui et que le cheval soit en déséquilibre.

De plus, lorsque l'asymétrie du cheval est marquée, en particulier lorsqu' il est monté et que son asymétrie n'est pas corrigée par le cavalier, si le cheval a tendance à mettre plus de poids sur son épaule droite, il va reposer son antérieur droit au sol plus rapidement, ce qui aboutit à une foulée de l'antérieur droit raccourcie. Ainsi, puisque le trajet de l'antérieur droit est raccourci, le postérieur droit n'a pas la place pour se poser, donc soit sa trajectoire sera raccourcie elle aussi soit les postérieurs vont se décaler vers la gauche. Dans les deux cas il résulte de cette locomotion une faiblesse du postérieur gauche, qui tend toujours à s'écarter de sous le ventre du cheval ce qui diminue la charge qu'il supporte. Le schéma ci-dessous, réalisé à partir des croquis de Pierre Beaupère (Beaupère, 2012), eux même inspirés de ceux du livre *Straightening the Crooked Horse* (Gabriele Rachen-Schöneich and Klaus Schöneich, 2007), résume les caractéristiques du cheval droitier.

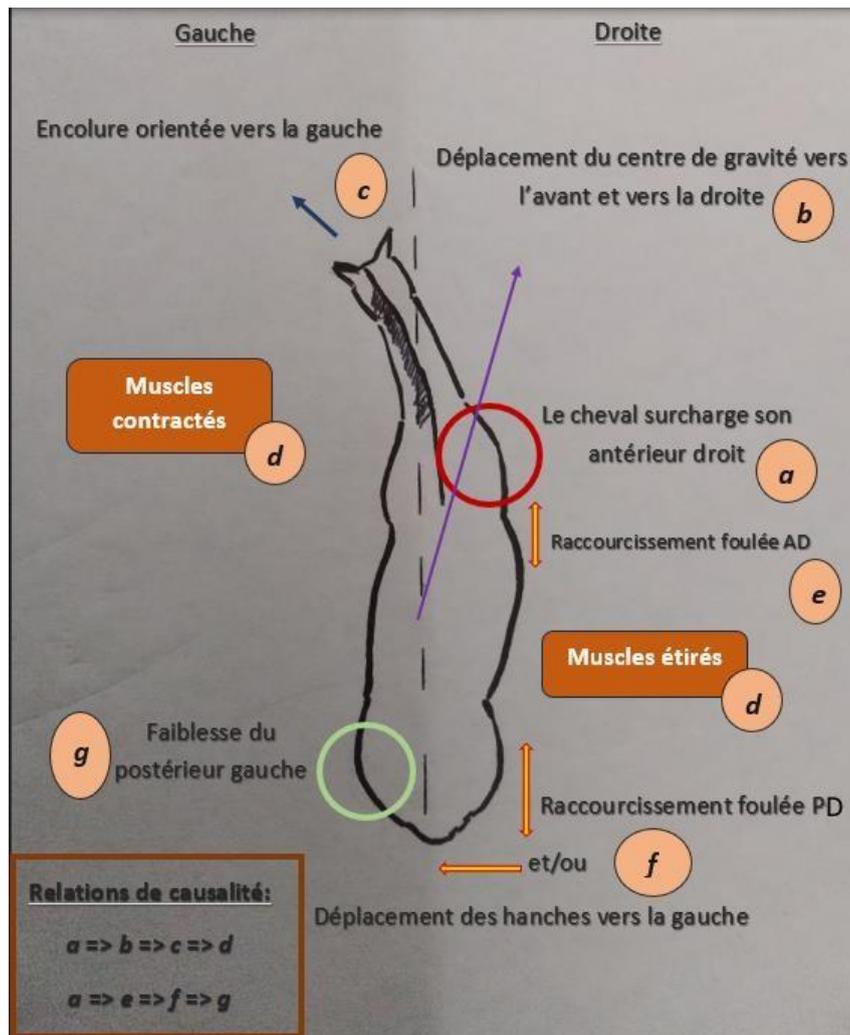


Figure 4 : Schéma du fonctionnement du cheval droitier

Crédit : Claire Maillet

Pierre Beaupère propose ici une excellente compréhension de la manière dont la latéralité du cheval influence sa locomotion. Si cette notion d'asymétrie du cheval a été largement décrite par les cavaliers et vétérinaires depuis les commencements de l'équitation (description qualitative du mouvement), ces dernières années ont permis de caractériser et de quantifier cette asymétrie grâce à l'utilisation de capteurs et de technologies embarquées.

b) Analyse objective de la locomotion du cheval par des méthodes cinétiques

La cinétique représente l'étude des forces à l'origine du mouvement et constitue une première méthode d'étude de la locomotion utilisée chez le cheval (Robert, 2003). Cette méthode repose sur l'utilisation de capteurs qui enregistrent les forces, comme les accéléromètres qui mesurent l'accélération de la surface sur laquelle ils sont attachés. Par exemple, placés sur la paroi des sabots, les accéléromètres permettent de mesurer les caractéristiques de la foulée et d'évaluer les propriétés d'absorption des ondes de choc consécutives au poser du pied (Robert, 2003).

Description de la méthode accélérométrique de Barrey

Des accéléromètres peuvent également être fixés sur le garrot, le sternum ou la croupe pour mesurer les accélérations longitudinales et dorso-ventrales du tronc (Barrey *et al.*, 1994). Lorsque le cheval court à une allure stable, le signal de l'accélération dorsoventrale montre un motif périodique régulier. Pour évaluer la symétrie de l'allure au pas et au trot les auteurs utilisent une fonction d'autocorrélation du signal, c'est à dire une corrélation croisée du signal par lui-même qui permet de détecter les irrégularités de l'allure. L'analyse est faite en plusieurs points, et donne une corrélation parfaite du signal à chaque demi foulée si la démarche est parfaitement symétrique. Au contraire, si cette fonction (à valeurs dans [-1;1]) donne un résultat différent de 1 (corrélation idéale), l'asymétrie de l'allure est révélée.

Résultats obtenus avec la méthode accélérométrique

En 1995, E. Barrey, B. Auvinet et A. Couroucé réalisent une étude pour l'INRA qui étudie les corrélations entre les caractéristiques du trot de chevaux trotteurs français et leurs performances (Barrey, Auvinet and Couroucé, 1995). L'objectif est d'identifier des facteurs de performance, c'est-à-dire des paramètres de l'allure promettant le cheval à de bons résultats sportifs. D'après leurs résultats, sur les 24 chevaux de l'étude, huit présentent un degré d'asymétrie élevé de leur allure à leur vitesse maximale. Cette asymétrie est d'après les auteurs « *due à des problèmes orthopédiques ou à la latéralité du cheval du trot* ». Ainsi, les auteurs n'ont pas plus recherché l'origine de cette asymétrie car ils expliquent qu'elle peut être naturelle et propre à la locomotion du cheval. De plus, il est intéressant de noter que les auteurs n'établissent pas de lien entre la symétrie de l'allure et les performances du cheval, même s'ils précisent dans leur conclusion qu'il faut rechercher chez un cheval une somme des

coefficients de régularité et de symétrie élevée pour prévenir les problèmes orthopédiques. Nous reviendrons sur ce point dans la deuxième partie.

Description de la méthode utilisant des plateaux de mesure de pression

Une autre méthode cinétique permettant de caractériser de manière objective l'allure du cheval et donc d'évaluer sa symétrie est de mesurer les forces s'appliquant sur le pied du cheval lors de son déplacement, notées GRF (« Ground reaction force »). Le principe de mesure est exposé dans l'étude de Merkens *et al.* (Merkens *et al.*, 1986) : le cheval se déplace sur une plaque de métal posée sur des transducteurs de force permettant l'enregistrement des charges s'appliquant sur son sabot dans trois directions orthogonales ce qui permet de décomposer la force de réaction au sol (définie par la troisième loi de Newton) en coordonnées cartésiennes. Comme la variabilité de la force de réaction au sol entre les foulées d'un même cheval est très faible, un petit nombre de répétitions suffit à obtenir un échantillon représentatif (Timmerman, 2022). De plus, cette méthode permet de modéliser les contraintes s'exerçant sur le membre en utilisant des diagrammes représentant une composante de la force en fonction d'une autre (on obtient un « vectordynamogram »). Ainsi les vectordynamogram montrant les forces sur l'axe (y) en fonction des forces sur l'axe (z) ont une forme caractéristique et il est possible de superposer les graphes obtenus pour un membre et son controlatéral pour déceler des asymétries.

Résultats obtenus par les méthodes utilisant des plateaux de mesure de pression

Diverses études ont été réalisées pour mesurer les GRF aux différentes allures. Au pas et au trot les vectordynamogrammes sur des chevaux considérés comme sains sont relativement proches pour les quatre membres (Merkens *et al.*, 1986) (Clayton, Schamhardt and Hobbs, 2017).

Au galop, les résultats varient en fonction des études. Dans leur étude Merkens *et al.* (Merkens *et al.*, 1993) ont montré que les GRF lors du galop des chevaux de course étaient significativement différentes pour chacun des membres. En effet, en étudiant les GRF au galop à droite de 20 galopeurs cliniquement sains, ils ont comparé la charge totale (la somme des forces) sur chaque membre à celle appliquée sur l'antérieur droit, notée CantD. Ainsi ils ont montré que la charge totale sur l'antérieur gauche était de 25% supérieure à CantD, que la charge sur le postérieur droit était légèrement inférieure à CantD tandis que la charge sur le

postérieur gauche était égale à 80% de CantD. Au contraire, l'étude de Davis *et al.* (Self Davies, Spence and Wilson, 2019) montre que s'il existe une différence significative de l'amplitude maximale des GRF sur les postérieurs lors du galop des chevaux de courses cette différence n'est pas significative sur les antérieurs.

Application des méthodes utilisant des plateaux de mesure de pression

La mesure des GRF permet de proposer un profil des forces s'exerçant sur les membres d'un cheval sain aux trois allures. Ainsi l'intérêt est de comparer ce profil « standard » avec celui d'un cheval soupçonné d'être boiteux pour aider dans le diagnostic. Les vectordynamograms sont utiles pour détecter une asymétrie induite par une boiterie au pas et au trot (Merkens *et al.*, 1986). Il faut noter que si « à l'œil nu » le trot est l'allure de prédilection pour détecter une boiterie, le diagnostic de détection de boiterie en utilisant les GRF est plus efficace au pas qu'au trot (modification importante du profil des forces au pas en présence de n'importe quel type de boiterie (Merkens *et al.*, 1986) et que de nombreux essais sont nécessaires pour obtenir des données fiables (un essai réussi pour 20 tentatives en moyenne) (Merkens *et al.*, 1993). Enfin, l'étude des GRF au galop à grande vitesse permet d'enrichir nos connaissances sur la distribution des charges sur les membres à cette allure, pour comprendre quels sont les facteurs de risque pouvant conduire à des blessures ainsi qu'à des contre-performances sportives (Self Davies, Spence and Wilson, 2019) (Merkens *et al.*, 1993).

c) Analyse objective de la locomotion du cheval par des méthodes cinématiques

Description des méthodes cinématiques

L'analyse cinématique mesure la géométrie du mouvement sans considérer les forces qui en sont à l'origine. Les résultats sont exprimés sous forme de données temporelles (durée), linéaires (distance) et d'angles qui décrivent les mouvements des segments du corps et les angles articulaires. Une analyse plus poussée des données permet ensuite la représentation graphique du mouvement ou la détection d'asymétries de l'allure (Robert, 2003).

La majorité des études cinématiques utilisent un système vidéo, le plus souvent infra-rouge, qui traque et enregistre la position de marqueurs réfléchissants placés sur des zones d'intérêt sur le cheval (Timmerman, 2022).

Les systèmes utilisant les Unités de mesure inertielle (IMU) constituent une évolution des méthodes d'analyse cinématique du mouvement car ils sont capables, grâce aux accéléromètres et aux gyroscopes qui calculent respectivement l'accélération et la vitesse angulaire, de donner des informations d'orientation et de position dans l'espace, à partir d'un point de départ qui est connu, sans avoir besoin de caméra (Timmerman, 2022).

Bien que cette méthode n'en soit encore qu'à ses débuts et nécessite encore des niveaux de preuve supplémentaires pour montrer son efficacité sur le terrain, il existe déjà plusieurs systèmes basés sur cette technologie qui sont commercialisés pour aider les vétérinaires équinés dans leur évaluation des boiteries. Chacun d'entre eux a été validé en comparaison à la méthode de capture de mouvement avec caméra, considérée comme le gold standard des méthodes de mesure cinématiques (Timmerman, 2022).

Les systèmes basés sur l'utilisation des IMU sont le « Lameness Locator » qui permet notamment de déterminer l'asymétrie de la tête et de la croupe entre les deux moitiés de foulées, le système « Equigait », utilisant des capteurs « Xsens DOTs » validés de manière extensive pour l'étude de la locomotion humaine mais peu validés pour leur utilisation dans le cadre de la locomotion équine, ou encore le système « Equimoves » dans lequel les capteurs sont placés sur la nuque, le garrot, le pelvis, en regard du sacrum, et en partie distale des quatre membres (Timmerman, 2022).

Le système « Equisym » est particulièrement intéressant pour étudier l'asymétrie de l'allure. Il utilise sept capteurs équipés d'un gyroscope et d'un accéléromètre, puis les données sont traitées par le logiciel Equisym qui permet une représentation graphique des foulées enregistrées et le calcul d'indices d'asymétrie. Une foulée de cheval sain sera représentée par une courbe sinusoïde quasiment parfaite et symétrique, alors que pour un cheval boiteux l'amplitude sera plus faible sur le membre atteint, rendant la courbe asymétrique.

Résultats obtenus avec les méthodes cinématiques

En 1997 l'équipe associée INRA de biomécanique du cheval propose une étude pour quantifier la symétrie de la locomotion d'un groupe de chevaux sains sur les conditions d'examen de boiterie (Pourcelot *et al.*, 1997). Cette quantification est obtenue en utilisant un indice de symétrie gauche/droite calculé sur le déplacement vertical et les angles des articulations des membres au cours du mouvement.

Les auteurs étudient le mouvement au trot de travail de 13 chevaux français de selle adulte de la Garde Républicaine en aller-retour sur une piste de 20 de mètres de long et deux mètres de large, dans les conditions d'un examen de boiterie. Pour chaque articulation, on mesure le déplacement vertical et l'angle de l'articulation par rapport au plan sagittal, au cours du temps, après avoir synchronisé le mouvement des deux bipèdes diagonaux.

Sur cinq essais, les mesures ont révélé que les degrés de symétrie de déplacement vertical des marqueurs proximaux étaient très variables mais que leurs valeurs moyennes étaient très proches d'un cheval à l'autre. Cela montre que, en particulier du fait de la grande liberté du tronc, plusieurs essais sont nécessaires pour quantifier la symétrie d'un cheval donné.

De plus, les auteurs remarquent une augmentation proximo-distale des indices de symétrie du déplacement vertical des marqueurs au cours du temps (notés KSI(Z) dans l'article) sur les antérieurs mais pas sur les postérieurs. Sur les postérieurs les KSI(Z) du paturon et du sabot sont significativement inférieurs aux KSI(Z) des boulets eux-mêmes significativement inférieurs à ceux des KSI(Z) des antérieurs. On peut expliquer cela par une erreur méthodologique (la résolution du système est de 0,4 cm ce qui peut affecter la trajectoire des marqueurs) mais d'après les auteurs cette erreur méthodologique ne représente pas plus de 2% et ne permet pas d'expliquer les faibles valeurs de symétrie comparée aux antérieurs. De plus, cette asymétrie est plus particulièrement notable en fin de la phase de suspension. Ainsi, pour les auteurs, cette asymétrie physiologique de la partie distale des postérieurs est certainement une expression de la latéralité des chevaux.

Finalement, cette étude cinématique confirme que les chevaux sains présentent une asymétrie physiologique au trot. Sans postulat sur l'origine de cette asymétrie, elle montre que cette asymétrie est surtout visible sur les postérieurs en particulier en fin de phase de suspension, et en particulier sur les articulations les plus proximales car le tronc dispose d'un

degré supplémentaire de liberté par rapport aux parties distales des membres au cours de la locomotion.

3. Asymétrie de l'avant main au pas

Plus récemment, l'étude de Byström (Byström *et al.*, 2018) a repris les mêmes conditions expérimentales que les études précédemment décrites (Merkens *et al.*, 1986), c'est-à-dire des chevaux marchant sans cavalier en aller-retours sur une plaque de métal permettant l'enregistrement des charges s'appliquant sur son sabot dans trois directions possibles (GRF). Cette fois les chevaux étaient en plus équipés de marqueurs sur différentes parties du corps dont le mouvement dans le temps et dans l'espace était analysé grâce à un enregistrement par caméras infrarouges. Cette étude fait donc appel à plusieurs techniques complémentaires (méthodes cinétiques et cinématiques). Son but était de décrire le mouvement vertical du garrot lors du pas et de relier une asymétrie de ce mouvement avec d'autres valeurs cinématiques et avec les valeurs de GRF. L'étude a été réalisée sur sept chevaux de dressage cliniquement sains.

Sur les sept chevaux, cinq montraient un abaissement du garrot plus important avant que l'antérieur gauche ne se lève, un était à peu près symétrique et un autre montrait un abaissement du garrot plus important avant que l'antérieur droit ne se lève.

Pour les chevaux montrant un abaissement du garrot plus important avant que l'antérieur gauche ne se lève, ou autrement dit quand le cheval est en appui sur son antérieur droit, les mesures cinématiques ont mis en évidence les observations suivantes : l'antérieur controlatéral (l'antérieur droit) était plus rétracté, le postérieur ipsilatéral (postérieur gauche) montrait moins de protraction et de rétraction que le postérieur controlatéral (faiblesse du postérieur gauche) et les hanches sont déviées du côté opposé au membre en protraction (donc vers le gauche). On retrouve ici la description de la locomotion du cheval droitier donnée par Pierre Beaupère (voir IV.2.a)!

Cette étude mérite d'être complétée pour savoir si l'asymétrie révélée au pas se retrouve au trot, elle pourrait être réalisée sur un terrain varié car il est possible que la plaque de métal modifie la locomotion du cheval, et un plus grand échantillon de chevaux permettrait d'obtenir des résultats certainement plus représentatifs de la population en général.

Néanmoins les résultats révélés par cette étude sont extrêmement intéressants car ils corroborent les explications données par Pierre Beaupère sur la latéralité et donc constituent une illustration scientifique de ce qui est perçu par les cavaliers.

4. Conséquences de la latéralité sur le cercle

a) *Adaptation de la locomotion du cheval sur le cercle*

Les études biomécaniques suivantes (Starke *et al.*, 2012) (Buchner, Obermuller and Scheidl, 2003) ont étudié les mouvements de la tête, du tronc et du centre de gravité lorsque le cheval trotte sur le cercle. Les deux études utilisent la méthode cinématique, avec une caméra pour celle de Buchner *et al.* et avec des IMU pour celle de Starke *et al.* Elles ont révélé que le trot subit les adaptations suivantes lorsque le cheval est sur le cercle :

-> la tête et le garrot descendent plus bas lors de la phase d'appui de l'antérieur extérieur que lors de la phase d'appui de l'antérieur intérieur.

-> le sacrum descend plus bas lors de la phase d'appui du postérieur extérieur que lors de la phase d'appui du postérieur intérieur.

-> ainsi, le centre de gravité descend plus vers le bas et l'extérieur lors du déplacement et donc on retrouve des forces d'appui plus importantes sur l'antérieur extérieur que sur l' antérieur intérieur.

Nous pouvons maintenant nous demander quel est l'impact de la latéralité du cheval sur sa manière d'adapter sa locomotion à la mise sur le cercle.

Pour Pierre Beaupère, l'asymétrie physiologique du cheval et ses conséquences sur la locomotion sont particulièrement visibles sur le cercle. Il explique les ressentis que le cavalier est amené à expérimenter en travaillant son cheval à la longe, c'est-à -dire non monté sur un cercle :

➔ Le cheval droitier met plus de poids sur son épaule droite et bascule son encolure à gauche pour se rééquilibrer. Ainsi, longé sur un cercle sans cavalier, le cheval aura tendance à ne pas tendre sa longe à main droite. Au contraire, à main gauche, il va plier son encolure vers l'intérieur avec le reste de son corps qui se déplace vers l'extérieur donc la longe sera très tendue (Beaupère, 2012).

Pour Lucidi *et al.* (Lucidi *et al.*, 2013) il est possible de révéler la latéralité d' un cheval en observant à quelle main il « coupe le cercle » lorsqu'il est longé, c'est à dire à quelle main le cheval cesse de tendre sa longe et se rapproche de la personne qui est en train de le longer, au centre du cercle. Ils ont donc observé le comportement de chevaux à la longe, en demandant à deux observateurs (un placé au centre du cercle et un sur un échafaudage surélevé de un mètre), d'évaluer la trajectoire du cheval et en particulier de déterminer s'il coupait son cercle ou non. Les deux observateurs n'étaient pas au courant du but de l'étude.

Il semblerait que 59% des chevaux de deux ans coupent le cercle lorsqu'ils sont longé à main droite, mais pas à main gauche, ce qui suggère que ces chevaux sont droitiers si l'on suit l'explication donnée par Pierre Beaupère. L'expérience est aussi réalisée avec des poulains de neuf mois d'âge et il est intéressant de noter que cette fois seulement 39% des poulains coupent le cercle. La proportion de chevaux « coupant le cercle » augmente donc avec l'âge ce qui suggère que le fait de couper le cercle n'est pas dû seulement aux asymétries morphologiques présentes dès la naissance mais est dû à la latéralité motrice qui se développe avec l'âge. Enfin, l'explication donnée par Pierre Beaupère et cette étude nous montre que le cheval présente une latéralité motrice qui a des conséquences sur sa locomotion même sans cavalier sur le dos.

b) Etude du mouvement sur le cercle à l'aide de capteurs inertiels.

En 2012 une équipe nord-américaine a mené une étude sur la locomotion des chevaux sur le cercle au trot, visant à définir si l'angle d'inclinaison du corps pouvait être prédit à partir du rayon du cercle et de la vitesse et si une augmentation de cette inclinaison conduisait à une diminution de la symétrie du mouvement (Pfau *et al.*, 2012).

Sujets de l'étude: 11 chevaux de dressage de haut niveau, d'âge moyen et à l'entraînement. On étudie ici l'inclinaison du corps, la symétrie de la tête et la symétrie du tronc à l'aide de cinq capteurs mesurant les déplacements en trois dimensions de la tête, du garrot, du sacrum, et des tuber coxae gauche et droit.

Méthode: Un angle d'inclinaison théorique (prenant en compte les forces s'appliquant sur le cheval lors du cercle, comme la force centrifuge) est calculé en fonction de la vitesse et du rayon du cercle. Puis cet angle d'inclinaison est mesuré lorsque les chevaux sont longés au trot

aux deux mains. Les valeurs calculées et mesurées de l'angle d'inclinaison sont ensuite comparées par régression linéaire.

Résultats: On observe une bonne corrélation entre la valeur attendue de l'angle d'inclinaison du corps (la valeur calculée) et la valeur mesurée.

Cependant, pour un même cheval, on observe une différence significative de l'angle d'inclinaison en fonction que le cheval soit longé à main droite ou à main gauche.

Ainsi huit chevaux sur 11 ont un angle d'inclinaison qui diffère de manière significative de la valeur attendue lorsqu'il tourne à main droite, alors qu'à main gauche l'angle d'inclinaison ne varie jamais plus de 3° de l'angle de prédiction.

Conclusion: Cette étude montre une fois encore que les chevaux ne se comportent pas de la même manière à main gauche qu'à main droite, même si de plus amples recherches seraient nécessaires pour comprendre comment la latéralité influence l'angle d'inclinaison indépendamment de la vitesse et du rayon du cercle. Il est intéressant de noter que cette étude est réalisée avec des chevaux de dressage de haut niveau, et donc avec un équilibre correct, mais que même sur ces chevaux et sans l'influence du cavalier on remarque la différence d'aisance du cheval entre la main droite et la main gauche.

Pour les auteurs de l'étude, ce résultat est une illustration de la latéralité motrice du cheval : (le cheval « se couche » vers l'intérieur sur le cercle à droite s'il est droitier et inversement) mais pourrait également s'expliquer par la latéralité sensorielle. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les chevaux utiliseraient plus leur œil gauche pour analyser des situations nouvelles, et donc seraient plus à l'aise à main gauche car cette main leur permet de regarder avec leur œil gauche la personne qui les longe.

De même, Rhodin *et al.* (Rhodin *et al.*, 2016) ont cherché à évaluer l'effet du travail en longe sur des chevaux évalués comme symétriques en ligne droite grâce à l'utilisation d'IMU, pour connaître l'influence que peut avoir le travail en cercle en longe sur la symétrie des chevaux considérés. 94 chevaux ont donc été équipés et évalués en ligne droite puis en cercle. Il a été montré que l'évolution en cercle en longe induisait des asymétries significativement plus importantes qu'en ligne droite, et qu'il arrivait également fréquemment que ces

asymétries se présentent différemment à main droite et à main gauche. Il a été conclu que cette asymétrie « physiologique » pouvait possiblement masquer ou mimer une boiterie lors d'un examen locomoteur (Timmerman, 2022).

V. CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Les chevaux ont donc, comme l'être humain, un cerveau divisé en deux hémisphères cérébraux spécialisés, ce qui fait de lui un animal latéralisé. Cette latéralité est à la fois sensorielle, avec une utilisation différentes des organes sensoriels droits et gauches et une perception de l'environnement différente à droite et à gauche, morphologique (ou anatomique, avec des différences dans la conformation des sabots, la longueur des os...) et motrice avec une locomotion sensiblement différente selon que le cheval se déplace à main gauche ou à main droite.

Ces trois types de latéralité sont interdépendants et il est parfois difficile de savoir à quel type de latéralité imputer telle ou telle observation. Par exemple, la conformation du sabot droit va être modifiée par rapport à celle du sabot gauche si le poulain broute en s'appuyant toujours sur son antérieur droit. Mais il est difficile de savoir si ce sont des modifications morphologiques présentes dès la naissance qui induisent ce comportement de toujours s'appuyer sur la même jambe ou si c'est ce comportement, inné chez le poulain, qui va provoquer des modifications dans sa morphologie.

Les études utilisées pour démontrer cette latéralité ont pour sujets des pursangs de course, des poulains, des quarter horse ... ce qui montre que la latéralité concerne tous les chevaux quelles que soient leur race, leur conformation ou leur utilisation. Cependant, si cette étude bibliographique nous a convaincu de l'existence d'une latéralité propre à chaque cheval au niveau individuel, il nous manque encore des données pour établir une latéralité à l'échelle de la population. D'après certaines études la majorité des chevaux seraient droitiers, mais d'après d'autres études ils seraient gauchers... De plus, même à l'échelle individuelle il n'existe pas de protocole universel permettant de savoir si le cheval est droitier ou gaucher. La difficulté vient aussi du fait que la latéralité est non binaire. Un cheval défini comme droitier car il s'appuie plus sur son antérieur droit pourra se comporter comme un cheval gaucher sur certains exercices (on retrouve cela chez l'homme et chez le cheval cette ambiguïté est d'autant plus présente qu'il s'agit d'un quadrupède) (Beaupère, 2012). Enfin, la latéralité n'est

pas figée et peut évoluer lors de la vie du cheval. Certains chevaux peuvent être amenés à inverser complètement leur latéralité au fur et à mesure de leur avancée dans le dressage (Beaupère, 2012).

Finalement, l'important n'est pas tant de savoir si les chevaux sont droitiers ou gauchers, mais plutôt de comprendre que le cheval n'est pas ambidextre, et présente même au contraire une latéralité marquée. Pourtant, en équitation classique, la rectitude est une notion aussi complexe que primordiale... Selon Pierre Pradier, docteur vétérinaire et ancien vétérinaire fédéral des équipes de France (1968-1973), « *La recherche de la symétrie, recherche que l'on constate universelle et quasi préalable quelle que soit l'utilisation envisagée, est si fondamentale qu'elle pourrait logiquement faire partie de la définition même de l'équitation* » (Pradier, 1996). Selon Pierre Beaupère « *le travail de la rectitude n'est pas l'aboutissement du dressage d'un cheval mais doit être effectué le plus tôt possible* », et pourtant comme le dit maître Nuno Oliveira lui-même, l'exercice le plus difficile à cheval est « *de marcher droit* » (Beaupère, 2012).

Les chevaux ne sont pas plus ambidextres que nous humains. Or, s'il ne nous viendrait pas à l'idée de demander à Novak Djokovic de gagner Roland Garros en tenant sa raquette dans la main gauche, nous demandons à nos chevaux d'exécuter avec la même souplesse, la même fluidité et la même précision des exercices à main droite ou à main gauche. A quel point cela est-il difficile pour les chevaux ? Quelles sont les conséquences de nos exigences sportives sur leur locomotion ? Pourquoi est-il absolument nécessaire d'obtenir la rectitude pour réaliser un travail juste et respectueux de la santé et du bien-être du cheval ? Nous allons voir dans cette seconde partie quelles peuvent être les conséquences d'une mauvaise compréhension ou d'une mauvaise considération de la latéralité du cheval en équitation classique, et les enjeux pour le thérapeute qui en découlent.

PARTIE 2 : ENJEUX DE L'EQUITATION
CLASSIQUE POUR COMPOSER AVEC LA
LATERALITE NATURELLE DU CHEVAL

I. LE TRAVAIL DU CHEVAL : UN FACTEUR A PRENDRE EN COMPTE DANS L'ÉVALUATION DE SA SANTE

1. Lien entre qualité du travail et longévité sportive

L'étude de Solé et al (Solé *et al.*, 2017) s'intéresse aux facteurs qui déterminent la longévité de la carrière sportive d'un cheval de dressage.

L'étude se concentre sur des chevaux pur-race espagnols dont le niveau de dressage est évalué par des tests de dressage, c'est-à-dire une série de mouvements réalisée par le cheval monté et évaluée par des juges experts, en fonction de critères de qualités définis par la fédération espagnole d'équitation. Il a été montré que les notes attribuées lors de test de dressage par des juges experts étaient corrélées à des caractéristiques de l'allure mesurées par des capteurs accélérométriques comme la fréquence de la foulée, la régularité ou la symétrie (Biau and Barrey, 2004).

Bien que la longévité soit influencée par des facteurs génétiques (avec une héritabilité estimée entre 0,10 et 0,12 par une étude précédente (Braam *et al.*, 2011)), elle est aussi dépendante de facteurs non génétiques et environnementaux. Dans cette étude, la longévité est ainsi évaluée en fonction du niveau du cheval et de celui de son cavalier. L'expérience du cavalier est classée en quatre classes en fonction du nombre de chevaux montés pendant la période analysée (un cheval, deux à cinq chevaux, six à dix chevaux et au-delà de dix chevaux). La qualité du dressage du cheval est classée en cinq classes (0% correspondant à une élimination, au-dessus de 55%, entre 56 et 65%, entre 66% et 75% et au-delà 75%). Les auteurs expriment leurs résultats sous la forme d'un « risque relatif », reflétant, pour chaque compétition, la probabilité pour le cheval de terminer sa carrière (c'est-à-dire arrêter les compétitions).

Les résultats de cette étude montrent qu'une plus grande expérience du cavalier est associée à une carrière sportive plus longue du cheval : le risque pour le cheval de terminer sa carrière sportive précocement est de 1,21 lorsqu'il est monté par un cavalier inexpérimenté alors qu'il est seulement de 0,69 lorsqu'il est monté par un cavalier très expérimenté.

De plus, les chevaux enregistrant des scores de dressage supérieurs à 76% sont moins enclins à terminer précocement leur carrière sportive que les chevaux scorant entre 1 et 55% (risque de 0,14 contre 1,78 pour les chevaux sous 55%).

Ces résultats montrent que le niveau du cavalier est un facteur déterminant du bien-être du cheval et confirment que l'équitation peut avoir un effet néfaste sur la santé du cheval lorsqu'elle est mal réalisée. Pierre Beaupère met en garde les cavaliers : « *sans l'équilibre, la décontraction physique et mentale, le contrôle, l'impulsion ou la rectitude, votre travail n'aura non seulement aucun effet positif mais il provoquera aussi des lésions ou un mal être chez le cheval que nous n'avons pas le droit de lui imposer* » (Beaupère, 2012).

2. Le respect des allures naturelles : importance pour le cavalier de comprendre la locomotion de son cheval

a) *Le but du dressage : « aider le cheval à se reconstruire sous l'homme »*

« Dresser un animal, c'est l'enseigner à agir dans la seule direction pour lui efficace »

Antoine de Saint Exupéry

Pour Pierre Pradier, « *les allures naturelles générées par les mécanismes innés locomoteurs doivent être considérées comme l'adéquation parfaite de la locomotion d'un individu aux contraintes du monde* » (Pradier, 1996). En effet, nous avons montré en première partie que la latéralité du cheval est un caractère inné, sélectionné, car elle apporte un avantage sélectif à l'espèce : le cheval n'est pas parfaitement symétrique dans sa locomotion, et c'est ce qui rend sa locomotion la plus efficace pour lui.

Mais alors qu'en est-il lorsque le cheval est monté ? Pour Pierre Pradier, le but du dressage du cheval est de « *l'aider à se reconstruire sous l'homme* » (Pradier, 1996). Cela suggère que le fait de monter un cheval modifie sa locomotion (on « déconstruit » la locomotion naturelle), et que cette modification peut avoir des répercussions négatives sur la santé du cheval, puisque nous modifions une locomotion qui était optimale pour lui. D'où l'importance de s'employer à monter « correctement » : le but du cavalier est de modifier les allures du cheval

mais en respectant ses caractéristiques biomécaniques propres afin de lui apprendre une locomotion qui, en se rapprochant de sa locomotion naturelle, sera respectueuse de sa santé physique et mentale.

b) S'employer à comprendre la locomotion de son cheval

Pour se rapprocher des allures naturelles du cheval et donc obtenir un dressage juste, le point de départ semblerait donc être de s'intéresser à la locomotion de son cheval et de chercher à la comprendre : « *Un cheval est un être vivant avec des comportements innés très importants et très nombreux. Il se mobilise selon un inné locomoteur très précis et pour lui très contraignant. Le cavalier-dresseur doit donc parfaitement connaître ces comportements innés, admettre leur importance, pour les utiliser ou les combattre dans sa recherche quotidienne de la convivialité. Le cavalier-dresseur doit également parfaitement maîtriser tout ce qui est en rapport avec la locomotion du cheval, la mécanique de ses allures et de leur modification progressive au cours du dressage - sachant que cette locomotion et ces allures sont sous la dépendance d'un inné locomoteur qu'il doit respecter avec précision s'il veut rester dans le cadre des allures naturelles, c'est à dire de l'équitation classique* ».

Or, grâce aux études biomécaniques permettant de caractériser l'allure, nous avons montré en première partie qu'il n'y a pas deux chevaux qui se déplacent de la même manière : « *Chaque cheval a des allures naturelles qui lui sont propres* » (Pradier, 1996). Cette variabilité interindividuelle de la locomotion s'exprime également dans le degré de dissymétrie, comme l'écrit Pierre Beaupère « *il en va de même des humains et des chevaux : le fait d'être droitier ou gaucher va s'exprimer de manière plus prononcée chez certains individus que chez d'autres. De plus, il peut parfois s'avérer compliqué de déterminer si son cheval est droitier ou gaucher car la locomotion sera aussi impactée par des tensions musculaires ou par une surcharge de l'avant main* » (Beaupère, 2012). De plus, il semblerait que les ressentis du cavaliers ne soient pas toujours fiables, et il est rare que ce que ressentent les cavaliers concernant les asymétries de leurs chevaux correspondent à ce que révèlent les mesures biomécaniques, ce qui pourrait s'expliquer par les propres tensions du cavalier qui brouillent son analyse de la locomotion de son cheval (Bystrom *et al.*, 2020)(Krueger *et al.*, 2022). Ainsi, une part importante des cavaliers et entraîneurs peuvent passer à côté d'une boiterie : dans

l'étude de Greve et Dyson seulement 29% des cavaliers participant à l'étude ont ressenti un glissement de la selle et aucun n'a reconnu la boiterie de leur monture (Greve and Dyson, 2014). Enfin, la perception qu'ont les cavaliers de la tension qu'ils ont dans les rênes s'est révélée très différente des données obtenues par des mesures de tensiométrie (Warren-Smith et al., 2007).

L'importante singularité de la locomotion de chaque cheval, et la difficulté pour le cavalier d'avoir des ressentis justes, font que comprendre la locomotion de son cheval n'est pas si évident. Dans ce cadre, l'utilisation de capteurs connectés pourrait être une piste pour aider les cavaliers. Mais surtout cela montre l'importance de se faire encadrer par des professionnels lorsque l'on cherche à progresser avec son cheval.

3. Lien entre intégrité physique et santé mentale

Pierre Pradier accorde autant d'importance au physique du cheval qu'à son mental dans sa vision du dressage. En expliquant les bienfaits du rassembler, il écrit qu'il (le rassembler) est « *le seul garant d'un développement physique optimal et d'un développement psychique harmonieux* » (Pradier, 1996). Effectivement, il paraît évident que le dressage d'un cheval réalisé sans respect de sa locomotion naturelle conduira à terme à un épuisement mental de ce dernier, qui se manifestera par l'apparition de résistances, de défenses, un manque de motivation... Le cavalier doit être attentif aux signes que lui envoie son cheval « *il faut être conscient des rapports intimes et constants de l'inné locomoteur du cheval avec ses comportements psychiques. Ils permettent de dire qu'un cheval « s'exprime par ses allures », extériorisant ses joyeusetés en trottant haut, la « queue sur le dos », son manque de motivation en traînant les pieds dans la sciure, son absence de d'enthousiasme en se mobilisant, tête basses, oreilles couchées, etc...* » (Pradier, 1996).

Le rôle du cavalier, et par extension du vétérinaire, est de permettre au cheval de progresser dans son travail en préservant son bien-être physique et mental, et ce quel que soit le niveau sportif du couple cavalier-cheval. Un mental altéré aura nécessairement à terme des répercussions sur la biomécanique de l'allure, et donc des répercussions musculosquelettiques. Au contraire, un travail bien mené, respectant les capacités physiques de cheval, mettra le cheval dans un état mental propice à une bonne mobilisation de son corps et permettra de limiter les douleurs musculosquelettiques : « *Le respect des allures naturelles*

met le cheval dans des dispositions psychologiques favorables au développement même de l'impulsion » (Pradier, 1996).

Nous allons développer les conséquences que peut avoir une mauvaise compréhension de la latéralité du cheval sur sa santé physique et mentale, mais il est intéressant de mentionner ici que des études récentes suggèrent que l'on puisse se baser sur la latéralité du cheval pour évaluer son bien-être psychique. En effet, comme nous l'avons vu en première partie, l'hémisphère cérébral droit du cheval et donc ses organes sensoriels gauches seraient associés à des émotions négatives, comme la peur (Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020). Ainsi, en comparant la latéralité avec des marqueurs de stress comme certaines hormones (les glucocorticoïdes par exemple), l'étude de Esch *et al.* a montré que les chevaux avec un taux d'hormones de stress élevé dans leur matières fécales exprimaient une préférence pour utiliser leurs organes du côté gauche à la fois dans leur latéralité motrice et sensorielle (Esch *et al.*, 2019). Marr *et al.* ont observé une corrélation significative entre le choix préférentiel d'un antérieur avancé en premier lors du démarrage au pas et l'état cognitif du cheval, avec l'antérieur gauche choisi préférentiellement quand le cheval était en situation de peur ou d'inconfort (Marr, Farmer and Krueger, 2018). Ainsi, pour certains auteurs, une tendance générale du cheval à présenter une latéralité à gauche serait le signe d'un certain mal-être et devrait susciter une réévaluation du mode de vie du cheval (Krueger *et al.*, 2022).

II. CONSEQUENCES D'UNE LATERALITE NON CORRIGEE SUR LE CHEVAL MONTE : POURQUOI RECHERCHE T'ON LA RECTITUDE ?

Les principes de l'entraînement en dressage classique sont rassemblés dans « une pyramide de progression » qui liste six qualités de la posture et du mouvement du cheval que le cavalier doit rechercher. Ces qualités s'obtiennent les unes après les autres, l'une permettant l'acquisition de la suivante, de manière logique. On retrouve dans cette pyramide, dans l'ordre logique d'obtention : le rythme (correction de l'allure), la souplesse et la décontraction, la qualité du contact, l'impulsion, la rectitude, puis le rassembler (Bystrom *et al.*, 2020). On remarque que la rectitude est une des qualités du sommet de la pyramide, donc

une des plus difficiles à obtenir, mais aussi qu'elle constitue la base qui mènera au rassembler et donc à un dressage de qualité.

Pourtant nous avons vu que le dressage, pour être respectueux de la santé physique et mentale du cheval, devait chercher à se rapprocher des allures naturelles de ce dernier. Or nous avons montré en première partie que le cheval était naturellement asymétrique... Nous pouvons donc légitimement nous demander pourquoi il est si important de rechercher la rectitude, qui ne semble pourtant pas faire partie de l'innée locomoteur du cheval. Pour répondre à cette question nous allons dans un premier temps montrer que le cavalier a une influence sur la latéralité du cheval puis que cette latéralité peut avoir des conséquences cliniques désastreuses si elle n'est pas corrigée dans le cadre des exercices demandés aux chevaux en équitation classique.

1. Expression de la latéralité sur le cheval monté

Un point à garder en tête est que l'équitation ne fait pas partie de l'inné du cheval : il faut apprendre à celui-ci à se déplacer en équilibre avec le cavalier sur le dos (Beaupère, 2012). Ainsi, pour montrer l'importance d'une bonne équitation sur la santé du cheval, nous allons tout d'abord nous concentrer sur les modifications, (pour ne pas dire les perturbations), dont le cavalier est responsable sur la locomotion du cheval, en particulier sur sa latéralité. Ainsi, pour Pierre Beaupère « *le cavalier peut aggraver la dissymétrie naturelle, par son manque d'équilibre, sa propre dissymétrie mais aussi par des réactions inappropriées* » (Beaupère, 2012).

a) Effet du cavalier sur la latéralité du cheval

L'étude de Schwarz *et al.* s'intéresse à savoir si le cavalier a une influence sur la latéralité motrice du cheval, on observant quel antérieur est choisi par le cheval pour franchir une barre au sol, sans puis avec un cavalier sur le dos.

Sujet de l'étude : 23 chevaux régulièrement montés (en moyenne six fois par semaine, une heure par jour). Tous en bonne santé, âgés de quatre à 29 ans (âge médian de 13 ans), et de différentes races : trois purs sangs, 13 chevaux de selles, cinq poneys, et deux chevaux de trait.

Méthode : Pour chaque cheval 20 essais sont réalisés : le cheval est conduit devant la barre au sol, arrêté au carré, puis on relève l'antérieur qui franchit la barre en premier lorsqu'on demande au cheval de repasser au pas.

Sur les 20 essais, dix sont conduits sans cavaliers sur le dos (cinq en étant mené en main par la droite, et cinq en étant mené en main par la gauche), et dix avec un cavaliers sur le dos (à nouveau cinq en étant mené en main par la droite, et cinq en étant mené en main par la gauche).

Le cavalier se montre le plus neutre possible : les rênes sont détendues, l'assiette se veut neutre, il n'utilise pas sa voix, son regard est tourné en face loin devant lui, et il n'utilise les jambes que pour demander au cheval d'avancer pour franchir la barre.

Deux éléments sont testés:

- ➔ La latéralité motrice change-t-elle en intensité ? C'est à dire y a-t-il un changement dans la fréquence d'utilisation d'un membre plutôt que l'autre?
- ➔ La latéralité motrice change-t-elle en direction? C'est-à-dire, est-ce que la préférence du cheval change d'une préférence à droite vers une préférence à gauche ou inversement?

Résultats:

- ➔ La médiane d'utilisation de l'antérieur droit ou gauche sur l'ensemble des essais était de zéro ce qui montre que cette étude comprenait autant de chevaux préférant utiliser leur antérieur droit pour franchir la barre au sol que de chevaux préférant utiliser leur antérieur gauche.
- ➔ Aucune différence significative n'a été trouvée concernant la direction de la latéralité motrice entre les essais « sans cavaliers » et « avec cavaliers » ($p = 0,7$).
- ➔ Une différence significative d'intensité de la latéralité motrice a été révélée entre les essais « sans cavalier » et « avec cavalier » ($p = 0,01$).

Conclusion: Dans cette étude les chevaux montrent une latéralité motrice (révélée par le choix de l'antérieur lors du passage de la barre au sol) augmentée lorsqu'ils sont montés par un cavalier, même si ce dernier se montre très neutre. Toutefois le cheval ne modifie par son antérieur de prédilection selon qu'il soit monté ou pas (pas de changement de direction de la latéralité).

Pour les auteurs, même si dans cette expérience le cavalier se montrait très neutre, il n'est pas impossible que ce soit la propre latéralité du cavalier, ou un déséquilibre dans son assiette, qui ait influencé la latéralité motrice du cheval.

b) Point sur l'effet du centre de gravité du cavalier et de son assiette sur la latéralité du cheval

L'assiette est ce qui assure la tenue en selle du cavalier et lui permet de fonctionner en équilibre avec son cheval. Elle a une influence considérable sur l'équilibre du cheval « *penché en arrière, le cavalier fait refluer le centre de gravité sur les hanches, penché en avant ou pesant sur les étriers il charge, au contraire, les épaules* ». De plus, « *l'assiette transmet au cheval l'état musculaire du cavalier, ses raideurs, ses contractions et très probablement ses « états d'âme », ses appréhensions* » (Pradier, 1996).

Flexion latérale de la colonne vertébrale

L'étude de de Cocq *et al.* (de Cocq *et al.*, 2009) permet d'étudier les interactions entre l'assiette du cavalier et sa monture et en particulier les conséquences de différentes positions du cavalier sur les mouvements du dos du cheval.

Les auteurs ont notamment voulu comparer les effets sur le dos du cheval de deux positions du cavalier au trot : le trot assis (le cavalier se ne lève pas de la selle) et le trot enlevé (le cavalier se lève de la selle durant la moitié du cycle de la foulée et s'assoit pendant la deuxième moitié).

La position de l'encolure et de la tête ayant un effet direct sur la cinématique du dos (Rhodin *et al.*, 2005), elles sont mesurées en parallèle des mouvements du dos en trois dimensions. L'étude est menée sur douze chevaux de selle, d'âge moyen de onze ans, sans problème de dos particulier, travaillés régulièrement et montés lors de l'expérience par un cavalier de 84kg de niveau intermédiaire.

Cette étude cinématique a révélé un degré de flexion latérale du dos au niveau de L3 et L5 plus important lorsque le cavalier était au trot enlevé que lorsque le cavalier était au trot assis ou que le cheval n'était pas monté. Le trot enlevé aurait donc un effet sur la flexion latérale du dos, ce qui semble logique puisque le trot enlevé suppose un mouvement asymétrique du cavalier sur une foulée. Cependant aucune différence n'a pu être mise en évidence entre une flexion vers la droite ou vers la gauche. Pour les auteurs il est possible que la différence soit trop faible pour être démontrée par cette étude, et ils suggèrent que si cette étude montre que le trot enlevé provoque une flexion latérale plus importante du dos du cheval, de plus amples recherches seraient nécessaires pour comprendre les implications cliniques de cette augmentation de flexion.

Remarque : Dans cette étude les auteurs ne parlent pas d'asymétrie de l'allure. Toutefois la flexion de la colonne vertébrale (avec une forme caractéristique en S) est à la fois un signe et une conséquence de l'asymétrie de l'allure, car elle est liée à la différence de longueur et de contraction des muscles des côtés gauche et droit (Beaupère, 2012). Donc cette étude nous permet de comprendre qu'une position asymétrique du cavalier (c'est le cas au trot enlevé durant une foulée) induira une locomotion asymétrique du cheval.

Résultat 1 : Une position asymétrique du cavalier augmente la flexion latérale de la colonne vertébrale du cheval et sa latéralité motrice.

Etude des glissements de la selle

L'étude de Greve et Dyson (Greve and Dyson, 2014) s'intéresse aux glissements de la selle et à leurs relations avec la forme et les asymétries du dos du cheval, des anomalies dans l'allure et les asymétries du cavaliers. L'étude est menée sur 506 chevaux de sports dans leurs conditions de travail habituelles.

Résultats concernant l'asymétrie du cavalier :

Dans cette étude, soixante-deux cavaliers (22,5 %) ont rapporté s'être déjà blessés et donc être plus forts d'un côté que de l'autre. De plus, les auteurs ont mis en évidence une corrélation positive ($p < 0.001$) entre les blessures antérieures du cavalier et une position asymétrique de ce dernier sur le cheval, caractérisée par un poids inégalement réparti sur les

deux ischions et une colonne vertébrale déviée de son axe verticale (ce qui concerne 37,3% des cavaliers inclus dans l'étude).

Or, sur les chevaux, de légères asymétries thoracolombaires gauche-droite (0,6 cm) en T8 et T13 étaient fréquentes et significativement associées au poids du cavalier, ainsi qu'à l'existence de blessures antérieures. Cela pourrait indiquer que la force répétitive appliquée par un cavalier lourd ayant une position asymétrique sur le cheval est susceptible d'exercer un stress anormal sur le dos du cheval et de contribuer à l'apparition d'une lésion de la colonne vertébrale et/ou de petites asymétries musculaires dans cette région du dos. Cela rejoint la conclusion donnée par l'étude de de Cocq *et al.* (de Cocq *et al.*, 2009) :

Résultat 1 : Une position asymétrique du cavalier augmente la flexion latérale de la colonne vertébrale du cheval et sa latéralité motrice.

Dans cette étude, 103 des 276 cavaliers ont une position asymétrique sur leur selle, ce qui pourrait logiquement provoquer un glissement de cette dernière. Cependant, la majorité des chevaux (78,6 %) montés par des cavaliers assis de travers ne présentaient pas de glissement de la selle. Pour les chevaux qui présentaient un glissement de la selle, les auteurs rapportent un degré variable d'asymétrie dans la position du cavalier. Cette asymétrie était d'autant plus forte que le cavalier était moins expérimenté. Cela s'explique probablement par le fait qu'un cavalier expérimenté est plus à même de stabiliser et maintenir une position droite sur le cheval indépendamment du mouvement de la selle et du cheval.

Les auteurs rapportent également que si la selle glisse vers la droite, le cavalier glisse lui aussi vers la droite, et, vu de derrière, son corps présente une concavité vers la gauche. Pierre Beaupère explique que puisque le cheval droitier s'appuie plus son antérieur droit et que sa colonne vertébrale est courbée par la différence de contraction des muscles du côté droit et gauche, le dos du cheval présente un basculement vers la droite et vers l'avant. Ainsi le cavalier aura systématiquement tendance à glisser vers l'épaule droite du cheval, car il va chercher le contact de la selle sous sa fesse. Pour se rééquilibrer son haut du corps sera orienté vers la gauche (tout comme le cheval oriente son encolure vers la gauche pour se rééquilibrer...) (Beaupère, 2012). Dans l'étude de Greve et Dyson ce phénomène était évident chez 12 cavaliers expérimentés, qui se tenaient tous bien assis lorsqu'ils changeaient de

monture. Cela fait dire aux auteurs qu'une position asymétrique du cavalier n'est pas nécessairement la cause du glissement de la selle, mais plutôt une conséquence de celui-ci.

Résultat 2 : Le glissement de la selle induit une position asymétrique du cavalier.

Résultat concernant l'asymétrie de l'allure : Dans cette étude la selle glissait systématiquement d'un côté chez 62 chevaux (12,3%), avec une forte corrélation positive entre le glissement de la selle et une boiterie des postérieurs ($p < 0,001$) et entre le glissement de la selle et une boiterie des postérieurs associée avec boiterie d'un antérieur ($p < 0,001$). Au contraire, une corrélation négative est révélée entre le glissement de la selle et l'absence de boiterie ($p < 0,001$) et entre le glissement de la selle et les chevaux présentant une boiterie des antérieurs ($p < 0,001$).

Ainsi, 36 chevaux présentaient un glissement de la selle et une boiterie des postérieurs, dont 25 présentaient soit une boiterie postérieure unilatérale, soit une boiterie postérieure bilatérale asymétrique. Les auteurs ont fait les observations suivantes :

- ➔ Pour la plupart des chevaux (15 sur 25 soit 60%), la selle glissait sur le côté du membre postérieur boiteux lorsque le cheval était en ligne droite ou sur un cercle de 20 mètres de diamètre, avec un glissement accentué sur le cercle.
- ➔ Pour 10 chevaux sur 25 (40%), la selle glissait du côté du membre postérieur moins boiteux.

Cela montre que les chevaux adaptent de manière différente leur locomotion à une boiterie des postérieurs, mais qu'un glissement de la selle est un signal d'alerte pouvant orienter le diagnostic vers une boiterie des postérieurs.

Sur les 62 chevaux présentant un glissement de la selle, 19 (30,6%) n'avait pas de boiterie des postérieurs détectable : quatre présentaient une boiterie des antérieurs et 15 étaient non boiteux. Il faut bien noter que dans cette étude la présence de boiterie était évaluée par un clinicien expert. Cependant plusieurs facteurs font que la présence ou non d'une boiterie n'est pas un paramètre dont on peut être surs à 100%. En effet, sur ces 19 chevaux sans boiterie postérieure évidente, 14 présentaient tout de même des irrégularités de l'allure en particulier au galop. De plus l'expérience du cavalier peut également influencer

la détection des boiteries : certains cavaliers ont la capacité de masquer la boiterie, tandis qu'un cavalier déséquilibré peut au contraire exagérer cette dernière. Finalement, cela fait dire aux auteurs qu'il est possible que les chevaux déclarés comme non boiteux mais avec un glissement de la selle présentent en réalité une boiterie de bas grade.

Résultat 3 : Une boiterie postérieure, même de bas grade, induit un glissement de la selle.

Conclusion

Ainsi, le glissement de la selle serait un indicateur fin permettant de révéler des asymétries discrètes du fonctionnement des postérieurs (résultat 3). La latéralité du cheval va provoquer comme nous l'avons vu précédemment un fonctionnement asymétrique des postérieurs : or sur le cheval monté cela se répercute sur la position de la selle qui a tendance à glisser, induisant alors une position asymétrique du cavalier (résultat 2). Cette position asymétrique du cavalier a des répercussions sur la santé du dos du cheval et sur sa locomotion (résultat 1) : il se met en place un cercle vicieux au sein duquel nous comprenons que le cavalier va **accentuer** l'asymétrie naturelle du cheval, au point qu'elle puisse devenir pathologique comme nous le verrons plus tard.

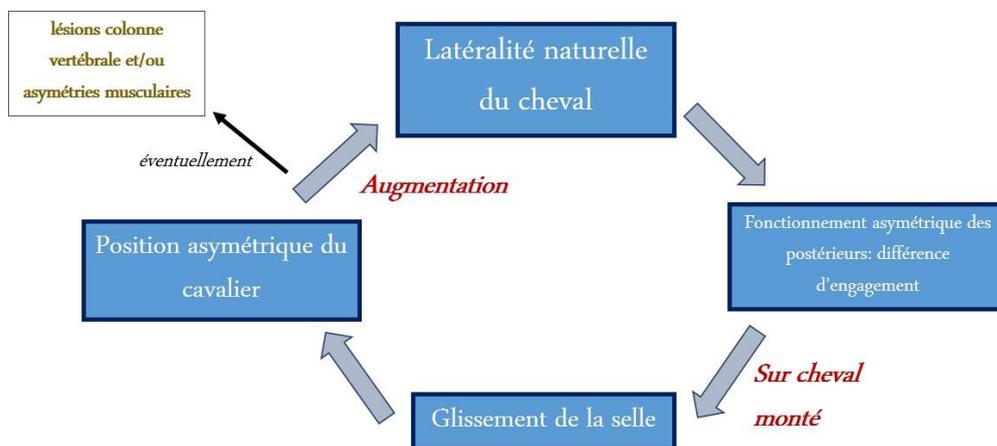


Figure 5 : Compréhension des interactions entre l'assiette du cavalier et la latéralité du cheval

Crédit : Claire Maillet

c) Point sur l'effet de la main du cavalier sur la latéralité du cheval

Le cavalier communique avec la bouche du cheval par l'intermédiaire des rênes dans un rapport qui se veut confiant, moelleux et permanent et que l'on nomme contact. Pour le cavalier Von Ziegner, dans la première phase du travail la première préoccupation du cavalier doit être d'obtenir un contact égal sur les deux rênes sans se soucier de la flexion et de la position de l'encolure (Beaupère, 2012). Autrement dit, sur un cheval avec une rectitude correcte, le cavalier devrait ressentir qu'il accepte la même tension sur la rêne gauche et la rêne droite. Ce contact égal est ce que le cavalier doit rechercher dans chaque exercice, voir à chaque foulée pour s'assurer que son cheval présente une rectitude correcte (Bystrom *et al.*, 2020). Sur l'image ci-dessous, le cavalier a ses mains à la même hauteur, il offre à son cheval une tension égale sur les deux rênes, donc un contact de qualité.



Figure 6 : Contact égal sur les deux rênes

Source : Nicolas Gogotzi

Pourtant ce contact égal est difficile à obtenir en pratique, comme nous l'explique Pierre Beaupère.

i) *Le ressenti du cavalier*

D'après Pierre Beaupère, sur un cheval droitier à l'arrêt, si le cavalier ajuste ses rênes à la même longueur, il sentira sa rêne droite plus tendue car le cheval a les muscles du côté gauche plus contractés.

Dans le mouvement, le cavalier aura beaucoup de mal à obtenir un pli à droite car le cheval ne peut pas étirer son côté contracté (son côté gauche). Au contraire le pli à gauche sera facile à obtenir mais sera un « faux pli » car « *le cheval va se plier volontiers vers la gauche mais pour éviter d'étendre son côté contracté (à gauche) il refusera le contact avec la rêne de ce côté et prendra un contact exagéré avec la rêne extérieure (droite)* ».

En conséquence, sur le cercle à droite le cavalier montant un cheval droitier aura tendance à « s'accrocher à la rêne droite » et offre alors « une béquille » au cheval ce qui le fait retomber d'autant plus vite sur son épaule droite et aggrave son asymétrie naturelle. Sur le cercle à gauche le cheval droitier s'appuie sur la rêne droite (il « se couche » sur celle-ci) et la légèreté apparente dans la rêne gauche est en réalité un abandon du contact de la part du cheval à gauche.

L'étude de Amanda K. Warren-Smith *et al.* (Warren-Smith *et al.*, 2007) s'intéresse à la tension exercée par la main du cavalier sur la bouche du cheval lorsque celui est monté ou travaillé avec des longues rênes, ce qui permet d'objectiver de manière plus précise les ressentis du cavalier concernant la tension sur les rênes.

Protocole : Des capteurs sont placés sur la rêne droite et gauche sur 22 chevaux (de niveau d'entraînement et d'âge différent) montés (ou menés en longues rênes) par des cavaliers de trois niveaux différents (du niveau 1 novice au niveau 3 confirmé) et auxquels il est demandé de réaliser différents exercices: marcher droit, l'arrêt, le virage à gauche et le virage à droite. Les exercices sont réalisés en longues rênes puis en travail monté.

Remarque : Dans cette étude rien n'est indiqué concernant le côté de prédilection des chevaux. Pour les interprétations suivantes, nous supposons que la majorité des chevaux de l'étude sont droitiers (mettent plus de poids préférentiellement sur leur antérieur droit) ((Williams and Norris, 2007),(Güntürkün, Ströckens and Ocklenburg, 2020)). En ayant posé

cette hypothèse, nous pouvons transposer ce que dit Pierre Beaupère des effets d'un cheval droitier sur le contact avec les résultats révélés par les capteurs.

Résultats obtenus en ligne droite :

La tension de la rêne gauche en ligne droite était inférieure à la tension de la rêne droite en tournant à gauche et supérieure à la tension de la rêne droite en tournant à droite ($p = 0,013$). La tension de la rêne droite en ligne droite était inférieure à la tension de la rêne droite en virage à droite ($p < 0,001$).

Les chevaux qui avaient été entraînés en dressage et en concours complet nécessitaient moins de tension sur la rêne droite lorsqu'ils allaient en ligne droite que les chevaux de course ($p = 0,003$). De plus, les chevaux au travail nécessitaient plus de tension sur la rêne gauche lorsqu'ils allaient en ligne droite que ceux qui n'étaient pas au travail ($p = 0.009$).

En longues rênes la tension dans la rêne droite pour aller en ligne droite est plus faible que lorsque le cheval est monté ($p = 0.006$), sans différence significative concernant la tension dans la rêne gauche.

Interprétation :

En ligne droite les cavaliers auraient de manière générale plus de tension dans la rêne gauche que dans la rêne droite. Cela peut s'expliquer par le fait que le cheval droitier « *dérive vers la droite* » (Beaupère, 2012) et cette tension plus importante dans la rêne gauche serait un moyen pour le cavalier de contrer cette dérive. Étonnamment, cette différence de tension est accentuée chez les chevaux entraînés en dressage et travaillant régulièrement mais est atténuée en longues rênes (car en longue rêne la tension dans la rêne droite serait augmentée). Une explication à ce résultat pourrait être que le cavalier utilise d'autres aides (ses jambes, son assiette) pour contrer une dérive vers la gauche, sans que nous puissions dire à ce stade si cela est volontaire ou involontaire, en lien avec une position asymétrique du cavalier notamment. Cette hypothèse est confortée par le fait que les tensions dans la rêne gauche lors d'un virage à gauche étaient plus importantes lors du test monté que lors du test en longues rênes, comme si le cavalier, de par sa position, empêchait involontairement le virage à gauche.

Résultats obtenus sur les cercles :

La tension dans la rêne gauche pour tourner à gauche était moins importante que la tension dans la rêne droite pour tourner à droite ($p = 0.01$).

Les cavaliers d'un niveau avancé utilisaient une tension plus importante sur leur rêne gauche pour tourner à gauche ($p=0,05$) et sur leur rêne gauche pour tourner à droite ($p = 0,05$) que les cavaliers débutants ou de niveau intermédiaire.

Interprétation: Comme l'écrit Pierre Beaupère, la cavalier prend de manière générale plus de tension sur la rêne droite que sur la rêne gauche sur un cheval droitier. Cette dissymétrie semble s'atténuer avec l'expérience du cavalier, ce qui est aussi cohérent avec ce qu'écrit Pierre Beaupère. En effet le cavalier expérimenté va inciter le cheval à prendre plus de contact sur sa rêne gauche pour avoir un contact plus symétrique (Beaupère, 2012).

Finalement, cette étude illustre bien la difficulté qu'il y a à avoir un contact symétrique, c'est à dire le même contact entre la rêne droite et la rêne gauche en ligne droite et le même rapport de tension rêne extérieure/rêne intérieure entre le cercle à droite et le cercle à gauche. Ce contact asymétrique accentue en retour la latéralité du cheval. Toutefois cette étude ne prend pas en compte la latéralité du cavalier lui-même, très importante quand nous parlons de contact puisque nous sommes nous-mêmes droitiers ou gauchers.

Le but de l'étude de Sandra Khunke *et al.* était d'étudier les effets de la latéralité du cheval sur la symétrie du contact pour des cavaliers droitiers.

Etude avec des cavaliers droitiers

Protocole : Onze cavaliers droitiers, de très bon niveau, ont monté un cheval latéralisé à droite (RL) et un cheval latéralisé à gauche (LL), tous les deux entraînés en dressage à haut niveau. La latéralité motrice des chevaux a été évaluée par les propriétaires et confirmée par un test de préférence de l'antérieur choisi par le cheval pour faire le premier pas vers un seau de nourriture depuis différentes distances. La tension des rênes a été mesurée pendant trois cercles au pas, au trot et au galop et quatre transitions pas-arrêt dans chaque direction. Les tensions ont été enregistrées en continu à l'aide d'un appareil de mesure de la tension des rênes.

Remarque : La définition du cheval droitier ou gaucher donnée dans cet article ne correspond pas à celle que nous utilisons depuis le début du développement. En effet, dans cet article, le cheval droitier est celui qui est « creux » à droite et qui a par conséquent plus de facilité à s'incurver vers la droite. Or nous avons choisi jusqu'à présent d'utiliser la définition de Pierre Beaupère du cheval droitier, qui est, de par l'asymétrie de contraction de ses muscles, « creux » vers le gauche et a beaucoup plus de facilité à étirer son encolure vers la gauche en tendant sa rêne droite que l'inverse (voir figure 4). Puisqu'il n'existe pas de consensus permettant d'établir la latéralité du cheval, la définition choisie dans l'article semble tout aussi cohérente que celle de Pierre Beaupère. Cependant, pour une meilleure compréhension de la suite du raisonnement, les résultats et interprétations de cette étude seront donnés en reprenant la définition de Pierre Beaupère (les chevaux latéralisés à droite dans l'étude deviennent donc gaucher ici et inversement).

Résultats et interprétations : Les données moyennes de tension sur les rênes révèlent qu'il n'y a pas de différence significative de contact entre la rêne gauche et la rêne droite chez le cheval gaucher, contrairement au cheval droitier. Ainsi, pour les auteurs, le fait que le cavalier tienne la rêne du côté où le cheval préfère se plier dans sa main la plus forte permet de compenser la latéralité du cheval et donc d'obtenir un contact plus égal sur les deux rênes. En effet, la latéralité du cavalier n'est pas neutre puisqu'il a été montré que chez l'humain la main dominante avait une force de préhension de 10% supérieure et était avantagée dans la réalisation de nombreuses tâches (Steele, 2000). Ainsi, on comprend bien que la latéralité du cavalier a nécessairement des conséquences sur la latéralité du cheval : par exemple, un cavalier droitier peut accentuer la latéralité d'un cheval droitier, en lui offrant un appui plus fort sur sa rêne droite (effet « béquille »).

Remarque : Cette étude révèle aussi qu'une plus grande différence de tension entre la rêne droite et la rêne gauche était mesurée lorsque les cavaliers ne connaissaient pas leur monture que lorsqu'ils avaient pu se familiariser avec (0.74 vs .0.36 kg, $p < 0.0001$). Ce résultat est cohérent avec le fait que le contact n'est jamais une aide employée seule et que les cavaliers expérimentés, une fois qu'ils connaissent la latéralité de leur cheval, utilisent aussi leurs jambes et leur assiette pour la corriger ce qui permet d'avoir un contact plus symétrique (avec notamment la jambe extérieure qui empêche les hanches de dérapier vers l'extérieur et la jambe intérieure qui cherche à ramener le postérieur intérieur « sous » le cheval).

ii) Conclusion

La latéralité naturelle du cheval fait qu'il est plus difficile à incurver d'un côté que de l'autre, puisqu'il est difficile pour lui d'étendre ses muscles du côté contracté, en particulier dans le mouvement en avant. Or cette difficulté d'incurvation va provoquer un contact asymétrique, que le cavalier peut aggraver de par sa latéralité propre (avec un ressenti différent entre sa main droite et sa main gauche) et son manque d'expérience. En effet, le cavalier non expérimenté qui n'a pas conscience de la latéralité de son cheval aura tendance à lui offrir une « béquille » avec sa rêne du côté ou la cheval prend naturellement plus de contact pour rechercher son équilibre, lui permettant de fonctionner de manière asymétrique (Bystrom *et al.*, 2020). Alors, comme c'était le cas pour les interactions entre l'assiette du cavalier et la latéralité du cheval, il se met en place un cercle vicieux dans lequel le cavalier augmente la latéralité naturelle de son cheval.

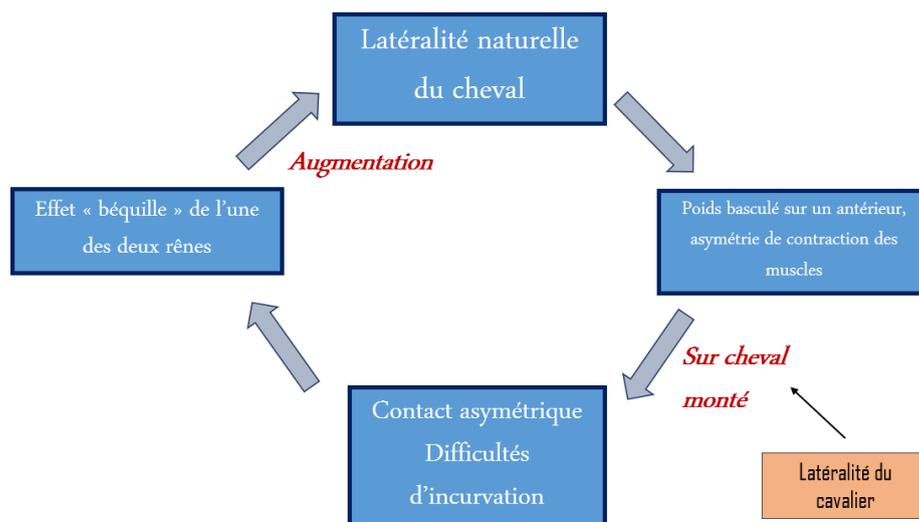


Figure 7 : Compréhension des interactions entre le contact du cavalier et la latéralité du cheval

Crédit : Claire Maillet

2. Conséquences cliniques d'une augmentation de la latéralité naturelle dans le cadre des exigences sportives demandées au cheval

Nous avons vu à travers l'étude de deux aides majeures qui sont l'assiette et le contact que le cavalier pouvait augmenter la latéralité naturelle du cheval. Nous allons maintenant nous concentrer sur les conséquences de cette augmentation de latéralité sur la locomotion du cheval, en particulier dans le cadre de son travail sous la selle.

a) *De la dissymétrie de l'allure à la boiterie*

Pierre Pradier écrit « *Tous les chevaux présentent une certaine dissymétrie, plus ou moins accentuée, caractérisée par une incurvation permanente et une activité inégale des postérieurs. Les Anciens parlaient du « côté long » et du « côté court » de leur cheval. Cette dissymétrie, conséquence supposée de la position fœtale, est plus vraisemblablement due au fait que, comme les hommes, les chevaux ne sont pas ambidextres, la plupart présentant une incurvation naturelle à gauche. La régularité et la symétrie des allures imposent absolument de recouvrer la rectitude, ce sera le but principal et permanent des assouplissements. L'importance du phénomène impose une analyse la plus précise possible : on constate en effet que l'absence de rectitude, cette incurvation latérale permanente de la colonne vertébrale, s'accompagne toujours d'une dissymétrie de l'allure (engagement et propulsion différents des deux postérieurs pouvant, dans les cas extrêmes, donner l'impression d'une véritable boiterie)* » (Pradier, 1996). Ainsi, pour Pierre Pradier, un cheval travaillé sans recherche de la rectitude verra sa locomotion se dégrader jusqu'à déclencher une véritable boiterie.

Pierre Beaupère abonde dans ce sens, pour lui « *80 % des chevaux déclarés naviculaires sont des chevaux qui pourraient travailler normalement et sans restriction si leur dissymétrie était corrigée ou leurs problèmes physiques soulagés par un travail correct* ». Il écrit aussi « *qu'en cas de boiterie dont l'origine n'est pas claire, il est possible que l'irrégularité de la locomotion soit due à une dissymétrie très marquée, pouvant disparaître grâce à un travail correct et dans l'équilibre (ou au contraire être accentuée par une mauvaise équitation)* ». En effet, l'excès de poids que le cheval droitier place sur son épaule droite va le faire retomber plus rapidement sur cet antérieur ce qui provoque un raccourcissement de l'arc de cercle que l'antérieur droit devrait théoriquement suivre, d'autant plus que le cavalier bloque aussi le mouvement de l'épaule droite avec un centre de gravité dévié vers l'avant et vers la droite et une rêne droite offerte « en béquille » au cheval (voir II.1). Alors, le fait que la trajectoire de

l'antérieur droit soit altérée va aussi altérer le poser du sabot qui ne va pas absorber l'onde de choc comme il le devrait, induisant des contraintes pathologiques au membre, et ce un nombre infini de fois lors du travail en manège. C'est donc « *la répétition un grand nombre de fois de cette inégale répartition de poids entre les deux antérieurs qui va, par un effet «marteau-piqueur», provoquer une boiterie* » (Beaupère, 2012). De plus, si la trajectoire de l'antérieur droit est raccourcie, le postérieur droit va aussi être bloqué dans son mouvement, ce qui provoquera le relèvement de la croupe et l'affaissement du garrot et du dos. Autrement dit, si le postérieur droit n'a pas la place de se poser, l'abaissement des hanches sera impossible ce qui empêchera le cheval d'utiliser sa ceinture abdominale, et donc de « monter son dos », pour travailler sans douleur avec un cavalier sur le dos (Beaupère, 2012).

b) Conséquences musculosquelettiques de la latéralité du cheval monté

Nous avons vu que la latéralité motrice va conduire à la répétition d'un différentiel de contraintes entre l'antérieur droit et l'antérieur gauche, et aussi entre le postérieur droit et le postérieur gauche. Or, au cours d'une séance de travail classique, cette inégale répartition des forces se répète un nombre incalculable de fois (à chaque foulée!). Nous pouvons donc nous demander quelles vont être les conséquences de cette inégale répartition des contraintes sur l'appareil musculosquelettique du cheval.

Adaptation du squelette aux contraintes biomécaniques

Une réponse de l'os à la contrainte est un épaississement de sa corticale. L'étude de Davis *et al.* (Davies and Watson, 2005), s'intéresse à cette épaisseur de la corticale des métacarpes, sur un effectif de 40 chevaux pur-sang à l'entraînement (course de galop), âgés de deux à six ans. Ils observent la variation d'épaisseur de la corticale dorsale des métacarpes en fonction de l'asymétrie de longueur de ces mêmes métacarpes, à l'aide de radiographies en vue latéro-médiale des deux métacarpes gauches et médio-latérale des métacarpes droits.

Chez les chevaux de course pour lesquels les membres sont soumis à de fortes contraintes à grande vitesse, une longueur des métacarpes située entre 25 et 30 cm est associée à une épaisseur donnée de la corticale, tant à gauche ($r^2 = 0,23$, $p = 0,002$) qu'à droite ($r^2 = 0,3$, $p = 0,0003$). Ainsi, on a une relation de linéarité entre la longueur des métacarpes et l'épaisseur de leur corticale. Les os longs subissent plus les contraintes de flexion dans l'axe dorso palmaire et par conséquent présentent un remodelage osseux plus important et

également une fragilité plus importante. Cela est en accord avec les résultats d'autres études montrant que des os canons plus courts sont moins sensibles aux lésions (shin lésions, fractures...).

Cependant, à l'échelle individuelle l'étude ne met en évidence aucune corrélation entre l'épaisseur du métacarpe et l'épaisseur de son cortex. De plus, il ne semble pas que les chevaux habitués à être entraînés à main gauche aient une différence d'épaisseur corticale entre les deux membres. D'après les auteurs, les différences d'épaisseur de cortex apparaissent avant l'entraînement et donc ne sont pas la conséquence des exercices auxquels sont soumis les chevaux mais plutôt la conséquence de l'existence d'une latéralité biomécanique permanente, propre à chaque cheval. Cette étude nous montre qu'indépendamment de l'exercice demandé au cheval, c'est la manière dont il utilise ses membres (encore une fois régie par sa latéralité propre), qui va moduler les contraintes qui s'appliquent sur ces derniers et les réponses osseuses qui en découlent. Cependant, l'exercice demandé au travail au cours de sa vie peut accentuer ces contraintes, et donc avoir des conséquences sur le squelette du cheval, comme le montre l'étude de Dyson *et al.* (Dyson *et al.*, 2003), qui a révélé par scintigraphie des asymétries de l'articulation sacro-iliaque plus importantes chez les chevaux de course que chez les autres chevaux. D'après les auteurs cela s'explique par les contraintes asymétriques qui s'appliquent sur les articulations des chevaux de course entraînés toujours dans le même sens, qui induisent un stress biomécanique important et entraînent un remodelage des articulations.

Rôle de la latéralité dans la physiopathologie du syndrome naviculaire

L'os naviculaire est un sésamoïde qui augmente le bras de levier du tendon fléchisseur digital profond (DDFT) sur l'articulation interphalangienne distale (DIP). En raison de ce rôle, l'os subit une force de compression lors de la phase d'appui. La maladie naviculaire est une affection dégénérative qui touche l'os naviculaire et ses structures environnantes, et se traduit par une boiterie généralement bilatérale, touchant en grande majorité les antérieurs, et caractérisée par une réception du pied en pince et un raccourcissement de la phase postérieure de la foulée. L'étiopathogénie de l'affection est incertaine et de nombreuses théories ont été proposées.

L'étude de Wilson *et al.* (Wilson *et al.*, 2001) se concentre sur l'une de ces théories, qui propose que c'est une surcharge mécanique de la région autour du naviculaire qui provoque des modifications sur l'os et les structures qui l'entourent, provoquant la boiterie. L'étude est réalisée sur deux groupes de chevaux : six chevaux cliniquement sains, avec un bon équilibre des sabots, et huit chevaux souffrant de la maladie naviculaire, c'est à dire présentant des signes scintigraphiques et/ou radiographiques de maladie naviculaire et dont la boiterie disparaissait après un bloc analgésique en région du naviculaire (nerf digital palmaire et bourse naviculaire). Sur ces deux groupes de chevaux, les auteurs ont comparé la contrainte qui s'exerce sur l'os naviculaire au cours d'une foulée de trot, dont les différents moments sont nommés en pourcentage de la durée totale de la foulée.

Résultats :

- ➔ Les courbes représentant les GRF au cours de la foulée avaient la même forme chez les chevaux normaux que chez les chevaux atteints de la maladie naviculaire. Cependant, ces forces étaient plus importantes lors des 25% du début de la foulée et des 10% de la fin de la foulée chez les chevaux atteints que chez les chevaux sains.
- ➔ La force s'appliquant sur le tendon fléchisseur profond du doigt (DDFT) était beaucoup plus importante au début et au milieu de la foulée chez les chevaux atteints que chez les chevaux sains. Chez les chevaux avec la maladie naviculaire, la force maximum sur le DDFT était de 9.15 ± 3.04 N/kg, et s'appliquait au 30% de la foulée. Chez les chevaux sains, la force s'appliquant sur le DDFT à ce moment de la foulée était significativement deux fois inférieure à cette valeur, à 4.17 ± 3.68 N/kg ($p = 0.0006$).
- ➔ Le graphique représentant la force compressive s'appliquant sur l'os naviculaire durant la foulée en fonction de la progression de la foulée était très différent entre chevaux sains et atteints. Chez les chevaux atteints de la maladie naviculaire les forces en début de foulée étaient très supérieures à celles des chevaux sains et les forces en fin de foulée de même intensité que chez les chevaux sains. Au milieu de la foulée, cette force était de 2.76 ± 1.67 N/kg chez les chevaux sains et de 4.52 ± 1.63 N/kg chez les chevaux atteints ($p = 0.007$).

Cette étude montre que la maladie naviculaire se traduit par une augmentation de la tension du DDFT et par une augmentation de la durée de sa mise en charge au cours de l'appui, résultant en une élévation des forces compressives sur l'os naviculaire. Cependant cette étude ne révèle pas ce qui est à l'origine de ces différentes tensions et contraintes.

L'étude de Eliashar *et al.* (Eliashar, McGUIGAN and Wilson, 2004) a étudié la relation entre la conformation du pied et les forces s'appliquant sur l'os naviculaire sur des chevaux sains au trot. Ils ont trouvé que les forces exercées sur l'os naviculaire étaient négativement corrélées ($p < 0,05$) à l'angle entre la dernière phalange et le sol et au ratio entre la hauteur des talons et la hauteur de la pince. D'après les auteurs cela s'explique par le fait qu'une conformation de pied avec un faible angle entre la troisième phalange et le sol et un ratio hauteur des talons sur hauteur de la pince faible permettait de réduire le bras de levier au niveau de l'articulation interphalangienne distale.

Or Van Heel *et al.* ont montré que les poulains qui expriment une asymétrie corporelle et une latéralité motrice à un jeune âge ont plus de chance de développer des pieds inégaux (c'est-à-dire avec une différence supérieure à $1,5^\circ$ entre les angles au sol des parois internes et externes du sabot). Ainsi, plus les chevaux présentent une latéralité motrice importante, caractérisée par les auteurs par une préférence marquée pour s'appuyer sur un membre plutôt que l'autre au pâturage, plus la conformation des sabots sera inégale de même que les forces sur les tendons et les articulations distales des membres, ce qui peut, à terme, entraîner une baisse des performances (van Heel *et al.*, 2010) (van Heel *et al.*, 2006).

On comprend donc qu'il existe des interdépendances entre la conformation des pieds, les contraintes s'appliquant sur les membres du cheval, les tensions dans les tendons, la locomotion du cheval.... Et donc avec sa latéralité motrice ! La latéralité motrice, exacerbée par le cavalier et dans le cadre d'exercices « non physiologiques » demandés au cheval (la répétition un grand nombre de fois de foulée de trot au cours d'une séance de dressage par exemple), conduit à la répétition de contraintes inégales sur les membres du cheval pouvant mener à des problèmes orthopédiques, comme ceux que l'on met sous le nom de « maladie naviculaire ».

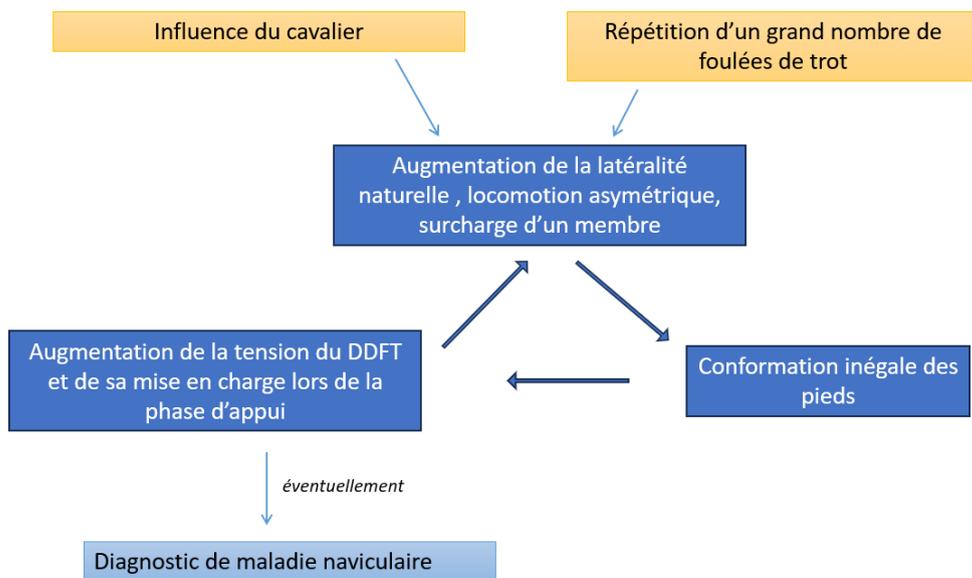


Figure 4 : Lien entre latéralité motrice et maladie naviculaire

Crédit : Claire MAILLET

III. LES ENJEUX POUR LE THERAPEUTE

Nous avons vu que la latéralité du cheval, si elle n'est pas corrigée lors du travail monté, n'est pas sans conséquence sur la santé locomotrice de ce dernier. Il apparait donc que la latéralité soit un élément important à prendre en compte lors du suivi orthopédique des chevaux. Le vétérinaire doit être amené à s'intéresser à la latéralité de son patient, aussi bien lors du diagnostic que du traitement d'affections orthopédiques.

1. Prise en compte de la latéralité naturelle dans le diagnostic de boiterie

Aujourd'hui les vétérinaires peuvent s'aider de systèmes de capteurs inertiels qui permettent d'obtenir des données sur la symétrie de l'allure. A la lumière de ce que nous savons sur la latéralité du cheval, qui est une caractéristique naturelle de sa locomotion, il convient pour le vétérinaire de faire la différence entre asymétries physiologiques et pathologiques. En effet, puisque la latéralité et la boiterie sont toutes deux associées à des asymétries de la fonction motrice, il est important de distinguer les causes physiologiques et pathologiques de l'asymétrie locomotrice afin de les traiter de la manière la plus appropriée (Bystrom *et al.*, 2020). De plus, il pourrait être intéressant d'utiliser ces capteurs à la fois sur un cheval non monté et sur le cheval monté, car certaines asymétries apparaissent lors du travail monté : de Cocq *et al.* (de Cocq *et al.*, 2009) ont constaté une asymétrie accrue (concernant la flexion latérale du dos), lorsque le cheval était monté comparativement à quand il ne l'était pas.

De même, lors d'un examen de boiterie, il peut s'avérer très intéressant de discuter avec le propriétaire de la latéralité de son cheval pour chercher à comprendre comment s'appliquent les contraintes sur les membres. Nous avons vu qu'il n'existe pas de consensus permettant de définir un cheval droitier ou un cheval gaucher, ce qui peut rendre la conversation avec le propriétaire compliquée. Cependant, lorsque le vétérinaire comprend comment la latéralité du cheval influence le travail de ce dernier, il peut obtenir des indices intéressants en discutant avec le propriétaire cavalier. Ainsi, Pierre Beaupère explique qu'un cheval droitier, parce qu'il aura toujours tendance à revenir à sa position d'origine et de confort, c'est-à-dire avec l'encolure et les postérieurs décalés vers la gauche et l'épaule droite vers la droite (position de « demi-lune »), présentera certaines difficultés au cours des exercices de dressage. « *Par exemple, dans l'épaule en dedans et la cession à la jambe gauche,*

le cheval va avoir tendance à donner beaucoup de pli, à garder son épaule droite collée au mur et à accélérer le mouvement. Il y aura très peu d'engagement du postérieur gauche et donc peu d'amplitude. Le contact sera trop fort sur la rêne extérieure et trop faible, voire inexistant, à l'intérieur. A droite, le cavalier aura moins de difficultés à obtenir un angle assez prononcé, mais sans réussir à obtenir un pli à droite ». De même, l'appuyer à droite (figure réalisée par le cheval sur la photo ci-dessous (figure 9)), puisqu'il s'oppose à la position de demi-lune naturelle du cheval, va être très compliqué à obtenir avec un cheval droitier contrairement à l'appuyer à gauche qui sera rapidement agréable à regarder. Enfin le galop à droite sera beaucoup plus facile que la galop à gauche pour le cheval droitier, car le galop à droite lui permet de soulager son postérieur gauche contrairement au galop à gauche (Beaupère, 2012).



Figure 9 : Cheval réalisant un appuyer à droite

Source : Gautier Gudefin

2. Pistes de réflexion pour améliorer la santé du cheval monté

Nous avons montré que la latéralité du cheval, bien qu'elle soit naturelle, pouvait lui porter préjudice lorsqu'il est monté et travaillé. Le cavalier est donc responsable de la manière dont le cheval va se déplacer en le portant sur son dos. Comme les athlètes humains, le cheval doit être capable d'utiliser les deux côtés de son corps, même si ces deux cotés ne sont pas symétriques (Krueger *et al.*, 2022). Ainsi, par « recherche de la rectitude », il convient de comprendre que l'on ne cherche pas à gommer la latéralité naturelle du cheval, mais à lui apprendre à répartir au mieux les contraintes sur ses membres pour limiter au maximum l'apparition de douleurs. Ainsi, il y aura toujours un certain degré d'asymétrie morphologique ainsi qu'une latéralité motrice, mais ceux-ci peuvent être minimisés par un entraînement et un développement musculaire corrects. L'objectif étant d'obtenir un cheval détendu et réceptif, à travers un entraînement axé sur l'équilibre à la fois longitudinal et latéral, tout en acceptant la latéralité naturelle du cheval (Krueger *et al.*, 2022). Le vétérinaire a un rôle de sensibilisation auprès du propriétaire : il peut l'aider à comprendre la locomotion de son cheval et réfléchir avec lui à un programme d'entraînement. Nous ne détaillerons pas ici les différents exercices et différentes méthodes permettant d'obtenir la rectitude (voir pour cela (Beaupère, 2012)). D'ailleurs, il est très compliqué de créer un programme d'entraînement personnalisé pour chaque cheval (Bystrom *et al.*, 2020). Mais l'idée développée dans cette thèse montre la nécessité de réfléchir au travail que fait le cheval quand on cherche à améliorer sa santé ou son bien être mental. L'intérêt est de soigner le cheval de manière holistique, ce qui passe par les conseils d'un grand nombre de professionnels, comme les maréchaux ferrants, les ostéopathes, les nutritionnistes... Et nous comprenons maintenant l'importance de l'entraîneur, ou instructeur, dans l'accompagnement du cheval au cours de carrière sportive, et ce quel que soit le niveau auquel performe le cheval. Le cavalier, par la recherche « du geste juste », peut permettre à son cheval de travailler d'une manière qui permet l'optimisation de ses performances, de sa carrière sportive et de son bien-être au travail, ce qui s'inscrit dans l'idée affirmée par Pierre Beaupère : « *la première médecine, c'est une bonne équitation* » (Beaupère, 2012)).

Conclusion

Bien que connue depuis toujours par les hommes de cheval, la latéralité des chevaux n'a été reconnue scientifiquement que récemment, dans les années 1970. Cette latéralité, liée à la spécialisation des hémisphères cérébraux, se décompose en latéralité sensorielle, morphologique et motrice. En particulier, les techniques récentes de biomécanique permettent de comprendre comment cette latéralité se manifeste dans la locomotion du cheval, et viennent compléter les ressentis rapportés par les cavaliers à ce sujet.

L'équitation impose au cheval de se déplacer de manière symétrique, ce qui interroge puisque cela s'oppose à sa locomotion naturelle, qui est asymétrique. Et pourtant, la recherche de l'équilibre latéral est absolument primordiale lorsque l'on demande au cheval un effort physique important, notamment en dressage. En effet, la latéralité naturelle du cheval est accentuée par le cavalier, et c'est cette augmentation de la latéralité naturelle, dans le cadre d'exercices sportifs exigeants, qui peut conduire à l'apparition d'affections orthopédiques, comme celles liées au syndrome naviculaire. De ce fait, la latéralité du cheval pose de réels enjeux aux thérapeutes (vétérinaires, ostéopathes, maréchaux...), qui peuvent sensibiliser le propriétaire au fait que la latéralité de leur cheval peut être la cause de l'apparition de certaines affections, si elle n'est pas suffisamment prise en considération lors de l'entraînement.

BIBLIOGRAPHIE

- Barrey, E. *et al.* (1994) 'Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis', *Equine Veterinary Journal*, 26(S17), pp. 7–12. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04864.x>.
- Beaufils A. (2013) *La latéralité motrice du cheval*.
- Beaupère, P. (2012) *Equilibre et rectitude*. PRBDressage.
- Biau, S. and Barrey, E. (2004) 'Relationship between stride characteristics and scores in dressage tests', *PFERDEHEILKUNDE*, 20(2), pp. 140–+. Disponible sur: <https://doi.org/10.21836/PEM20040205>.
- Braam, Å. *et al.* (2011) 'Genetic variation in durability of Swedish Warmblood horses using competition results', *Livestock Science*, 142(1), pp. 181–187. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.07.011>.
- Brennan, J., Norris, D.P. and Robertson, E.J. (2002) 'Nodal activity in the node governs left-right asymmetry', *GENES & DEVELOPMENT*, 16(18), pp. 2339–2344. Disponible sur: <https://doi.org/10.1101/gad.1016202>.
- Buchner, H.H.F., Obermuller, S. and Scheidl, M. (2003) 'Load distribution in equine lameness: a centre of mass analysis at the walk and the trot', *PFERDEHEILKUNDE*, 19(5), pp. 491–+. Disponible sur: <https://doi.org/10.21836/PEM20030506>.
- Byström, A. *et al.* (2018) 'Biomechanical findings in horses showing asymmetrical vertical excursions of the withers at walk', *PLOS ONE*. Edited by J.J. Loor, 13(9), p. e0204548. Disponible sur: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204548>.
- Bystrom, A. *et al.* (2020) 'Equestrian and biomechanical perspectives on laterality in the horse', *COMPARATIVE EXERCISE PHYSIOLOGY*, 16(1), pp. 35–45. Disponible sur: <https://doi.org/10.3920/CEP190022>.
- Chêne, P. and Gardelle, A. (2022) *Le Corps Tenségritif*. Sully.
- Chrétien, M., Jozet-Alves, C. and Blois-Heulin, C. (2016) 'La valence émotionnelle des stimuli influence la latéralisation visuelle chez les singes de Brazza (*Cercopithecus neglectus*)', in. *29e Colloque de la Société Francophone de Primatologie*. Disponible sur: <https://univ-rennes.hal.science/hal-01382424> (Accessed: 14 July 2023).
- Clayton, H.M., Schamhardt, H.C. and Hobbs, S.J. (2017) 'Ground reaction forces of elite dressage horses in collected trot and passage', *VETERINARY JOURNAL*, 221, pp. 30–33. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.01.016>.
- de Cocq, P. *et al.* (2009) 'The effect of rising and sitting trot on back movements and head-neck position of the horse', *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, 41(5), pp. 423–427. Disponible sur: <https://doi.org/10.2746/042516409X371387>.
- Davies, H. and Watson, K. (2005) 'Third metacarpal bone laterality asymmetry and midshaft dimensions in Thoroughbred racehorses', *Australian Veterinary Journal*, 83(4), pp. 224–226. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2005.tb11657.x>.

De Boyer Des Roches, A. *et al.* (2008) 'Laterality and emotions: Visual laterality in the domestic horse (*Equus caballus*) differs with objects' emotional value', *Physiology & Behavior*, 94(3), pp. 487–490. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.03.002>.

Deuel, N.R. and Lawrence, L.M. (1987) 'Laterality in the gallop gait of horses', *Journal of Biomechanics*, 20(6), pp. 645–649. Disponible sur: [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90285-5](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90285-5).

Dyson, S. *et al.* (2003) 'The sacroiliac joints: evaluation using nuclear scintigraphy. Part 2: Lamé horses', *Equine Veterinary Journal*, 35(3), pp. 233–239. Disponible sur: <https://doi.org/10.2746/042516403776148282>.

Eliashar, E., McGUIGAN, M.P. and Wilson, A.M. (2004) 'Relationship of foot conformation and force applied to the navicular bone of sound horses at the trot', *Equine Veterinary Journal*, 36(5), pp. 431–435. Disponible sur: <https://doi.org/10.2746/0425164044868378>.

Esch, L. *et al.* (2019) 'Horses' (*Equus Caballus*) Laterality, Stress Hormones, and Task Related Behavior in Innovative Problem-Solving', *Animals*, 9(5), p. 265. Disponible sur: <https://doi.org/10.3390/ani9050265>.

Farmer, K. *et al.* (2018) 'Sensory laterality in affiliative interactions in domestic horses and ponies (*Equus caballus*)', *Animal Cognition*, 21(5), pp. 631–637. Disponible sur: <https://doi.org/10.1007/s10071-018-1196-9>.

Farmer, K., Krueger, K. and Byrne, R.W. (2010) 'Visual laterality in the domestic horse (*Equus caballus*) interacting with humans', *Animal Cognition*, 13(2), pp. 229–238. Disponible sur: <https://doi.org/10.1007/s10071-009-0260-x>.

Gabriele Rachen-Schöneich and Schöneich, K. (2013) *Straightening the Crooked Horse: Correct Imbalance, Relieve Strain, and Encourage Free Movement with an Innovative System of Straightness Training*.

Gazzola, A. *et al.* (2022) 'Effects of predation risk on the sensory asymmetries and defensive strategies of *Bufo balearicus* tadpoles', *Animal Cognition* [Preprint]. Disponible sur: <https://doi.org/10.1007/s10071-022-01687-5>.

Greve, L. and Dyson, S.J. (2014) 'The interrelationship of lameness, saddle slip and back shape in the general sports horse population', *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, 46(6), pp. 687–694. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/evj.12222>.

Güntürkün, O., Ströckens, F. and Ocklenburg, S. (2020) 'Brain Lateralization: A Comparative Perspective', *Physiological Reviews*, 100(3), pp. 1019–1063. Disponible sur: <https://doi.org/10.1152/physrev.00006.2019>.

van Heel, M.C.V. *et al.* (2006) 'Uneven feet in a foal may develop as a consequence of lateral grazing behaviour induced by conformational traits', *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, 38(7), pp. 646–651. Disponible sur: <https://doi.org/10.2746/042516406X159070>.

van Heel, M.C.V. *et al.* (2010) 'Lateralised motor behaviour leads to increased unevenness in front feet and asymmetry in athletic performance in young mature Warmblood horses', *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, 42(5), pp. 444–450. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00064.x>.

- Krueger, K. *et al.* (2022) 'Laterality in Horse Training: Psychological and Physical Balance and Coordination and Strength Rather Than Straightness', *Animals*, 12(8), p. 1042. Disponible sur: <https://doi.org/10.3390/ani12081042>.
- Leśniak, K. (2013) 'Directional asymmetry of facial and limb traits in horses and ponies', *The Veterinary Journal*, 198, pp. e46–e51. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.032>.
- Lucidi, P. *et al.* (2013) 'Assessment of motor laterality in foals and young horses (*Equus caballus*) through an analysis of derailment at trot', *Physiology & Behavior*, 109, pp. 8–13. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.11.006>.
- Marr, I., Farmer, K. and Krueger, K. (2018) 'Evidence for Right-Sided Horses Being More Optimistic than Left-Sided Horses', *ANIMALS*, 8(12), p. 219. Disponible sur: <https://doi.org/10.3390/ani8120219>.
- McGreevy, P.D. and Rogers, L.J. (2005) 'Motor and sensory laterality in thoroughbred horses', *Applied Animal Behaviour Science*, 92(4), pp. 337–352. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.11.012>.
- Merkens, H. *et al.* (1993) 'Ground Reaction Force Patterns of Dutch Warmblood Horses at Normal Trot', *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, 25(2), pp. 134–137. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1993.tb02923.x>.
- Merkens, H.W. *et al.* (1986) 'Ground reaction force patterns of Dutch Warmblood horses at normal walk', *Equine Veterinary Journal*, 18(3), pp. 207–214. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1986.tb03600.x>.
- Pares i Casanova, P.-M. and Oosterlinck, M. (2012) 'Hoof Size and Symmetry in Young Catalan Pyrenean Horses Reared Under Semi-Extensive Conditions', *JOURNAL OF EQUINE VETERINARY SCIENCE*, 32(4), pp. 231–234. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2011.08.020>.
- Pearce, G., May-Davis, S. and Greaves, D. (2005) 'Femoral asymmetry in the Thoroughbred racehorse', *Australian Veterinary Journal*, 83(6), pp. 367–370. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2005.tb15636.x>.
- Pfau, T. *et al.* (2012) 'Effect of trotting speed and circle radius on movement symmetry in horses during lunging on a soft surface', *American Journal of Veterinary Research*, 73(12), pp. 1890–1899. Disponible sur: <https://doi.org/10.2460/ajvr.73.12.1890>.
- Pourcelot, P. *et al.* (1997) 'Kinematic analysis of the locomotion symmetry of sound horses at a slow trot', *Equine Veterinary Journal*, 29(S23), pp. 93–96. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1997.tb05063.x>.
- Pradier, P. (1996) *Mécanique équestre et équitation, réflexions d'un cavalier de la fin du XXième siècle sur l'équitation*. Belin.
- Rhodin, M. *et al.* (2005) 'The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot', *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, 37(1), pp. 7–11. Disponible sur: <https://doi.org/10.2746/0425164054406928>.
- Rhodin, M. *et al.* (2016) 'Head and pelvic movement asymmetry during lunging in horses with symmetrical movement on the straight', *Equine Veterinary Journal*, 48(3), pp. 315–320. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/evj.12446>.

- Robert, C. (2003) 'Etude de la locomotion du cheval par accélérométrie, électromyographie de surface et cinématique', *Bulletin de l'Académie vétérinaire de France*, 156, p. 25. Disponible sur: <https://doi.org/10.4267/2042/47615>.
- Rogers, L.J., Zucca, P. and Vallortigara, G. (2004) 'Advantages of having a lateralized brain', *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271(suppl_6), pp. S420–S422. Disponible sur: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2004.0200>.
- Self Davies, Z.T., Spence, A.J. and Wilson, A.M. (2019) 'Ground reaction forces of overground galloping in ridden Thoroughbred racehorses', *Journal of Experimental Biology*, 222(16), p. jeb204107. Disponible sur: <https://doi.org/10.1242/jeb.204107>.
- Shiratori, H. *et al.* (2001) 'Two-Step Regulation of Left–Right Asymmetric Expression of Pitx2: Initiation by Nodal Signaling and Maintenance by Nkx2', *Molecular Cell*, 7(1), pp. 137–149. Disponible sur: [https://doi.org/10.1016/S1097-2765\(01\)00162-9](https://doi.org/10.1016/S1097-2765(01)00162-9).
- Solé, M. *et al.* (2017) 'Assessment of sportive longevity in Pura Raza Español dressage horses', *Livestock Science*, 203, pp. 69–75. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.07.007>.
- Starke, S.D. *et al.* (2012) 'Vertical head and trunk movement adaptations of sound horses trotting in a circle on a hard surface', *VETERINARY JOURNAL*, 193(1), pp. 73–80. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.10.019>.
- Steele, J. (2000) 'Handedness in past human populations: Skeletal markers', *Laterality*, 5, pp. 193–220. Disponible sur: <https://doi.org/10.1080/713754380>.
- Takeuchi, Y. and Oda, Y. (2017) 'Lateralized scale-eating behaviour of cichlid is acquired by learning to use the naturally stronger side', *Scientific Reports*, 7(1), p. 8984. Disponible sur: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09342-7>.
- Timmerman, I. (2022) 'Étude de la qualité métrologique (reproductibilité inter-opérateurs) d'un système de quantification des asymétries locomotrices chez le cheval (EquiSym®)'.
- Warren-Smith, A.K. *et al.* (2007) 'Rein contact between horse and handler during specific equitation movements', *APPLIED ANIMAL BEHAVIOUR SCIENCE*, 108(1–2), pp. 157–169. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.11.017>.
- Watson, K.M., Stitson, D.J. and Davies, H.M.S. (2003) 'Third metacarpal bone length and skeletal asymmetry in the Thoroughbred racehorse', *Equine Veterinary Journal*, 35(7), pp. 712–714. Disponible sur: <https://doi.org/10.2746/042516403775696348>.
- Williams, D.E. and Norris, B.J. (2007) 'Laterality in stride pattern preferences in racehorses', *Animal Behaviour*, 74(4), pp. 941–950. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.01.014>.
- Wilson, A. *et al.* (2016a) 'Foot placement of the equine forelimb: Relationship between foot conformation, foot placement and movement asymmetry', *Equine Veterinary Journal*, 48(1), pp. 90–96. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/evj.12378>.
- Wilson, A. *et al.* (2016b) 'Foot placement of the equine forelimb: Relationship between foot conformation, foot placement and movement asymmetry', *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, 48(1), pp. 90–96. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/evj.12378>.

Wilson, A.M. *et al.* (2001) 'The force and contact stress on the navicular bone during trot locomotion in sound horses and horses with navicular disease', *Equine Veterinary Journal*, 33(2), pp. 159–165. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2001.tb00594.x>.

Wilson, G.H., McDonald, K. and O'Connell, M.J. (2009) 'Skeletal forelimb measurements and hoof spread in relation to asymmetry in the bilateral forelimb of horses', *Equine Veterinary Journal*, 41(3), pp. 238–241. Disponible sur: <https://doi.org/10.2746/042516409X395561>.

ETAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES SUR LA LATERALITE DES CHEVAUX DE SPORT ET INFLUENCE DE L'EQUITATION DE DRESSAGE CLASSIQUE SUR CETTE DERNIERE

Auteur

MAILLET Claire

Résumé

Les chevaux sont des êtres vivants latéralisés, c'est-à-dire qu'ils possèdent un côté de prédilection pour la réalisation de certaines tâches. En première partie, l'objectif de cette thèse est de comprendre quelles sont les origines de la latéralité du cheval et comment elle se manifeste dans son comportement. Sont détaillées différentes études biomécaniques qui permettent de comprendre comment la latéralité influence la locomotion du cheval.

La deuxième partie explique l'importance d'avoir un cheval droit en équitation, alors que cela semble contraire à sa locomotion naturelle. En effet, il est montré, à travers l'études de deux aides majeures qui sont l'assiette et le contact sur les rênes, que le cavalier augmente la latéralité naturelle du cheval. Puis que cette augmentation intervient dans la mise en place de processus pathologiques notamment des affections liées au syndrome naviculaire. Enfin, la thèse présente l'importance que revêt la latéralité du cheval pour le vétérinaire, tant dans le diagnostic que le traitement d'affections orthopédiques.

Mots-clés

latéralité, symétrie, cheval, dressage, locomotion

Jury

Président du jury : **Pr DIDIER Pin**
Directeur de thèse : **Dr GANGL Monika**
1er assesseur : **Pr CADORE Jean-Luc**
2ème assesseur : **Dr SCHRAMME Michaël**