

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE, AGROALIMENTAIRE
ET DE L'ALIMENTATION NANTES ATLANTIQUE - ONIRIS

ANNEE 2014

**EFFETS DE LA DENTISTERIE
SUR LA LOCOMOTION DU CHEVAL :
ETUDE SUR HUIT CHEVAUX**

THESE
pour le
diplôme d'Etat
de
DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement
le 31 janvier 2014
devant
la Faculté de Médecine de Nantes
par

Alice DUBOIS

Née le 4 février 1988 à Thouars (79)

JURY

Président :	Monsieur Julien NIZARD Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes
Rapporteur :	Monsieur Eric GOYENVALLE Maître de Conférences à Oniris
Assesseur :	Madame Claire DOUART Maître de Conférences à Oniris
Membre invité :	Monsieur Patrick LECOLLINET Docteur Vétérinaire

ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DE ONIRIS

Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique

Directeur Général : Pierre SAI (Pr)

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE, PATHOLOGIE ET SCIENCES DE L'ALIMENT		
NUTRITION et ENDOCRINOLOGIE	Patrick NGUYEN (Pr) Henri DUMON (Pr)	Brigitte SILIART (Pr) Lucile MARTIN (Pr)
PHARMACOLOGIE et TOXICOLOGIE	Yassine MALLEM (MCC) Martine KAMMERER (Pr) Jean-Dominique PUYT (Pr)	Hervé POULIQUEN (Pr) Jean-Claude DESFONTIS (Pr)
PHYSIOLOGIE FONCTIONNELLE, CELLULAIRE et MOLECULAIRE	Lionel MARTIGNAT (MC) Jean-Marie BACH (Pr)	Julie HERVE (MC)
HISTOLOGIE ET ANATOMIE PATHOLOGIQUE	Yan CHEREL (Pr) Jérôme ABADIE (MC)	Frédérique NGUYEN (MC) Marie-Anne COLLE (Pr)
PATHOLOGIE GENERALE, MICROBIOLOGIE et IMMUNOLOGIE	Jean-Marc PERSON (Pr) Jean-Louis PELLERIN (Pr)	Hervé SEBBAG (MC) Emmanuelle MOREAU (MC)
BIOCHIMIE ALIMENTAIRE INDUSTRIELLE	Laurent LE THUAUT (MC) Thierry SEROT (Pr) Joëlle GRUA (MC)	Carole PROST (Pr) Florence TEXIER (MC) Mathilde MOSSER (MCC)
MICROBIOLOGIE ALIMENTAIRE INDUSTRIELLE	Xavier DOUSSET (Pr) Bénédicte SORIN (Chef de travaux) Bernard ONNO (MC)	Hervé PREVOST (Pr) Emmanuel JAFFRES (MC) Nabila Haddad (MC)
DEPARTEMENT DE SANTE DES ANIMAUX D'ELEVAGE ET SANTE PUBLIQUE		
HYGIENE ET QUALITE DES ALIMENTS	Michel FEDERIGHI (Pr) Bruno LE BIZEC (Pr) Catherine MAGRAS-RESCH (Pr)	Eric DROMIGNY (MC) Marie-France PILET (MC) Jean-Michel CAPPELLIER (MC)
MEDECINE DES ANIMAUX D'ELEVAGE	Arlette LAVAL (Pr émérite) Catherine BELLOC (MC) Isabelle BREYTON (MC) Christophe CHARTIER (Pr)	Alain DOUART (MC) Sébastien ASSIE (MC) Raphaël GUATTEO (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MCC)
PARASITOLOGIE GENERALE, PARASITOLOGIE DES ANIMAUX DE RENDE, FAUNE SAUVAGE et PATHOLOGIE AQUACOLE	Monique L'HOSTIS (Pr) Alain CHAUVIN (Pr) Albert AGOULON (MC))	Guillaume BLANC (MC) Ségolène CALVEZ (MC)
MALADIE REGLEMENTEE, ZONOSSES et REGLEMENTATION SANITAIRE	Jean-Pierre GANIERE (Pr émérite) Suzanne BASTIAN-ORANGE (MC)	Nathalie RUVOEN-CLOUET (MC) Carole PEROZ (MC)
ZOOTECHE, ECONOMIE	Aurélien MADOUASSE (MCC) Xavier MALHER (Pr) François BEAUDEAU (Pr)	Christine FOURICHON (MC) Nathalie BAREILLE (Pr)
DEPARTEMENT DE SCIENCES CLINIQUES		
ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES	Patrick COSTIOU (Pr) Eric BETTI (MC)	Claire DOUART (MC) Claude GUINTARD (MC)
PATHOLOGIE CHIRURGICALE et ANESTHÉSIOLOGIE	Olivier GAUTHIER (Pr) Béatrice LIJOUR (MC) Eric AGUADO (MC) Caroline TESSIER (MCC)	Gwenola TOUZOT-JOURDE (MCC) Olivier GEFFROY (Pr) Eric GOYENVALLE (MC)
DERMATOLOGIE, PARASITOLOGIE DES CARNIVORES ET DES EQUIDES, MYCOLOGIE	Patrick BOURDEAU (Pr)	Vincent BRUET (MCC)
MEDECINE INTERNE, IMAGERIE MÉDICALE et LEGISLATION PROFESSIONNELLE VÉTÉRINAIRE	Yves LEGEAY (Pr) Dominique FANUEL (Pr) Anne COUROUCE-MALBLANC (MC)	Marion FUSELLIER (MC) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Odile SENECAT (MC)

	Catherine IBISCH (MC) Nicolas CHOUIN (MC)	Françoise ROUX (MC)
BIOTECHNOLOGIES et PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION	Daniel TAINURIER (Pr) Francis FIENI (Pr) Jean-François BRUYAS (Pr)	Lamia BRIAND (MC) Djemil BENCHARIF (MC)

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES ALIMENTAIRES

Lionel BOILLEREAUX (Pr) Dominique COLIN (MC) Sébastien CURET PLOQUIN (MC) Marie DE LAMBALLERIE (Pr) Dominique DELLA VALLE (MC) Francine FAYOLLE (Pr) Michel HAVET (Pr) Laurence POTTIER (MC)	Vanessa JURY (MC) Alain LEBAIL (Pr) Catherine LOISEL (MC) Jean-Yves MONTEAU (MC) Denis PONCELET (Pr) Olivier ROUAUD (MC) Hélène SIMONIN (MC)
---	--

DEPARTEMENT DE MANAGEMENT, STATISTIQUE ET COMMUNICATION

SENSOMÉTRIE - CHIMIOMÉTRIE	Véronique CARIOU (MC) Philippe COURCOUX (MC) El Mostafa QANNARI (Pr)	Michel SEMENOU (MC) Chantal THORIN (PCEA) Evelyne VIGNEAU (Pr)
ECONOMIE – GESTION - COMMUNICATION	Pascal BARILLOT (MC) Yvan DUFEU (MC) Marie-Josée LORRAIN (MC) Florence BEAUGRAND (MC)	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Samia ROUSSELIÈRE (MC) Vincent HOVLAQUE (Pr)
LANGUES	Franck INSIGNARES (PCEA) Linda MORRIS (PCEA)	Marc BRIDOU (PCEA) Fabiola ASENCIO (PCEA)

Pr : Professeur,

Pr A : Professeur Associé,

Pr I : Professeur Invité,

MC : Maître de Conférences,

MCC : Maître de Conférences Contractuel,

AERC : Assistant d'enseignement et de recherches,

PLEA : Professeur Lycée Enseignement Agricole,

PCEA : Professeur certifié enseignement agricole

La reproduction d'extraits est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée comme suit :

DUBOIS, A. (2014). Effets de la dentisterie sur la locomotion du Cheval : étude sur huit chevaux. Thèse de doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine, Nantes. Oniris : Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de L'alimentation Nantes Atlantique, 163 p.

Le défaut de citation est considéré comme du plagiat. Ce dernier est puni par la loi française et passible de sanctions allant jusqu'à 3 ans d'emprisonnement et 300 000 € d'amende.

Remerciements

A Monsieur Julien Nizard

Professeur à la faculté de médecine de Nantes,

Pour m'avoir fait l'honneur de bien vouloir accepter la présidence du jury de cette thèse

Hommages respectueux

A Monsieur Eric Goyenvalle

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes - Oniris,

Pour m'avoir proposé cette thèse et m'avoir guidée dans sa réalisation

Sincères remerciements

A Madame Claire Douart

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes - Oniris,

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer au jury de cette thèse

Pour m'avoir aidée dans ce travail, et l'avoir patiemment relu et corrigé

Remerciements chaleureux

A Monsieur Patrick Lecollinet

Docteur Vétérinaire, dentiste et ostéopathe équin

Pour avoir été à l'origine de ce travail, et m'avoir fait confiance dans sa réalisation

Pour son enthousiasme et sa passion communicative

Un grand merci

A Sophie Biau, pour avoir accepté de participer à ce travail et y avoir apporté sa précieuse contribution

A Isabelle Burgaud, pour avoir permis la réalisation de cette étude et pour avoir longuement relu et corrigé sa rédaction, mais aussi pour sa gentillesse et son savoir

A toute l'équipe de la clinique vétérinaire de l'ENE: les Drs Xavier Goupil et Mathieu Bez, Philippe Mottier, Jack Pointreau, Gilles Samson, Sandra Bernard et Nathalie Brault: pour m'avoir aidée lors de l'étude, mais aussi pour m'avoir guidée, avec patience (et humour) dans mes débuts de vétérinaire

A ma famille, Papa, Maman, Pascaline, Cécile et Pierre

A mon Lucas,

A mes amis de longue date, Elise, Matthieu, Mathilde et Johan, Cécile et Olivier, Pierre, Véro

Aux super Topines de prépa, Laura et Maëlle

A mes amis de l'école véto : Pika, Alexia, Charlotte, Valentine, Marion ; au super groupe de 4A avec JP, Thomas et Morgane; aux poufs équines Agnès, Marion, Clémence, Alexandra et Léa

A Michelle et Patrick

Et à tous ces animaux qui ont aussi compté pour moi, mon Ito, Polo, Falcon et Val d'Or, Rodéo, Kiwi, Hamilton, Hermès, Doriane et ma belle Obélia...

Merci pour tout !

Sommaire

Introduction	13
Première partie : rappels anatomiques	15
I. Les dents du Cheval	15
A – Morphologie des dents	15
1. <u>Terminologie utilisée</u>	15
a/ <u>Caractéristiques des dents</u>	15
b/ <u>Orientation</u>	15
c/ <u>Formules dentaires</u>	17
d/ <u>Système de Triadan</u>	17
2. <u>Composition des dents</u>	18
a/ <u>Tissus durs</u>	18
b/ <u>Tissus mous</u>	19
3. <u>Conformation des incisives</u>	19
a/ <u>Conformation extérieure des incisives</u>	19
i. <i>Incisives définitives</i>	20
ii. <i>Incisives déciduales</i>	21
b/ <u>Conformation intérieure des incisives</u>	21
4. <u>Conformation des canines</u>	22
a/ <u>Conformation extérieure des canines</u>	22
b/ <u>Conformation intérieure des canines</u>	22
5. <u>Conformation des molaires et prémolaires</u>	22
a/ <u>Conformation extérieure des molaires et prémolaires</u>	22
i. <i>Molaires et prémolaires définitives</i>	23
o <u>Supérieures</u>	23
o <u>Inférieures</u>	24
o <u>Dents de loup et dents de cochon</u>	26
ii. <i>Molaires et prémolaires déciduales</i>	27
b/ <u>Conformation intérieure des molaires et prémolaires</u>	27
B – Emplacement des dents dans la cavité buccale	28
1. <u>La dent dans son alvéole</u>	28
2. <u>Les dents sur les arcades</u>	29

a/ <u>Incisives</u>	30
b/ <u>Molaires et prémolaires</u>	31
3. <u>Les dents non émergées</u>	34
C – <u>Croissance et usure des dents</u>	35
1. <u>Dates d'éruptions</u>	35
2. <u>Croissance des dents</u>	35
a/ <u>Mécanisme général de l'éruption dentaire</u>	35
b/ <u>Incisives</u>	37
c/ <u>Molaires et prémolaires</u>	37
3. <u>Conséquences de la croissance et de l'usure sur la conformation et l'emplacement des dents</u>	38
a/ <u>Incisives</u>	38
b/ <u>Molaires et prémolaires</u>	39
D – <u>L'occlusion</u>	40
1. <u>Occlusion normale</u>	40
2. <u>Evaluation de l'occlusion des molaires et prémolaires</u>	41
3. <u>Défauts d'occlusion</u>	41
II. <u>L'articulation temporo-mandibulaire</u>	45
A – <u>Anatomie</u>	45
1. <u>Os et surfaces articulaires</u>	45
a/ <u>La mandibule</u>	45
b/ <u>L'os temporal</u>	45
2. <u>Disque articulaire</u>	48
3. <u>Synoviales</u>	49
4. <u>Moyens d'union</u>	49
a/ <u>Capsule articulaire</u>	49
b/ <u>Ligaments</u>	49
c/ <u>Muscles masticateurs</u>	50
5. <u>Rapports</u>	51
B - <u>Fonctionnement</u>	51
1. <u>Mouvements et muscles masticateurs</u>	51
a/ <u>Le muscle masséter</u>	53
i. <u>Trajet</u>	53
ii. <u>Conformation</u>	53

iii. Insertions.....	53
iv. Rôles	53
v. Rapports et fascias	53
b/ <u>Le muscle temporal</u>	53
i. Trajet	53
ii. Conformation	54
iii. Insertions.....	54
iv. Rôles	54
v. Rapports et fascias	54
c/ <u>Le muscle ptérygoïdien médial</u>	54
i. Trajet	54
ii. Conformation	54
iii. Insertions.....	54
iv. Rôles	55
d/ <u>Le muscle ptérygoïdien latéral</u>	55
i. Trajet	55
ii. Conformation	55
iii. Insertions.....	55
iv. Rôles	55
c/ <u>Le muscle digastrique</u>	55
i. Trajet	55
ii. Conformation	55
iii. Insertions.....	56
iv. Rôles	56
v. Rapports et fascias	56
2. <u>Cycle masticatoire</u>	56
III. Le bassin	58
A – Anatomie	58
1. <u>Os</u>	58
a/ <u>Le coxal</u>	58
b/ <u>Le sacrum</u>	60
2. <u>Articulation sacro-iliaque</u>	63
a/ <u>Surfaces articulaires</u>	63
b/ <u>Moyens d'union</u>	63
c/ <u>Synoviale</u>	65
d/ <u>Mouvements</u>	65

3. <u>Muscles mobilisateurs</u>	65
B – Fonctionnement	68
1. <u>Région sacro-iliaque</u>	68
a/ <u>Forces mises en jeu</u>	68
b/ <u>Mobilité sacro-iliaque</u>	69
2. <u>Région lombo-sacrée</u>	70
Deuxième partie : étude expérimentale	71
I. Matériel et méthodes	71
A – Les chevaux d'étude	71
B – Les mesures d'accélérométrie	72
1. <u>Le matériel d'accélérométrie</u>	72
2. <u>Principe du fonctionnement et de l'analyse informatique</u>	73
3. <u>Paramètres obtenus</u>	74
C – Le matériel et les techniques de dentisterie	74
D – Réalisation des mesures	76
E – Analyse statistique	76
II. Résultats	78
A – Population étudiée	78
B – Au pas	78
1. <u>Allure globale</u>	78
2. <u>Antérieurs</u>	79
3. <u>Postérieurs</u>	80
C – Au trot	81
1. <u>Allure globale</u>	81
2. <u>Antérieurs</u>	82
3. <u>Postérieurs</u>	83
III. Discussion	85
A – Sur le matériel et les méthodes	85
B – Sur les résultats	87
1. <u>Lien entre malocclusion et ATM</u>	88
2. <u>Approche biomécanique</u>	90

a/ <u>Région cervicale</u>	90
b/ <u>Région thoraco-lombaire</u>	91
c/ <u>Aspects synthétiques</u>	94
d/ <u>Application à l'étude</u>	95
3. Approche ostéopathique	98
a/ <u>Chaînes musculaires</u>	99
b/ <u>Système crânio-sacré</u>	101
i. <i>Bases anatomiques</i>	101
o <u>Os de la tête</u>	101
o <u>Méninges</u>	101
ii. <i>Le MRP</i>	103
iii. <i>Mobilité du système crânio-sacré</i>	103
o <u>Mobilité des os du crâne</u>	103
o <u>Mobilité du sacrum</u>	104
o <u>Lien crâne-sacrum et mobilité</u>	104
iv. <i>Dysfonctions du MRP</i>	106
v. <i>Applications à l'ATM</i>	106
vi. <i>Application à l'étude</i>	108
c/ <u>La force de traction médullaire</u>	109
Conclusion	111
Annexes	113
Liste des figures	153
Liste des tableaux	157
Liste des abréviations	159
Bibliographie	161

Introduction

La dentisterie équine semble dater de l'antiquité [14]. Depuis, elle s'est fortement développée pour atteindre son apogée au début du XX^{ème} siècle. Avec la fin de l'utilisation du cheval dans les armées et pour l'agriculture, elle a perdu de son intérêt. Elle a alors connu un deuxième renouveau dans les années 80. Actuellement, elle est largement répandue, pratiquée par de nombreux vétérinaires et techniciens, avec une demande importante de la part des cavaliers, entraîneurs et propriétaires. Elle vise à établir un équilibre satisfaisant entre les tables dentaires, donc une bonne occlusion, pour permettre une mastication efficace. Par ailleurs, le Cheval est généralement travaillé avec un mors dans la bouche, qui transmet les demandes des mains du cavalier. Une autre attente vis à vis de la dentisterie est donc d'apporter du confort dans la bouche du Cheval, et ainsi de permettre une meilleure décontraction et une meilleure réceptivité aux demandes du cavalier.

Cependant l'importance de la dentisterie est controversée. Les problèmes de dents sont souvent cités comme cause d'amaigrissement, de baisse de performance, de coliques, de problèmes comportementaux et d'intolérance au mors. Pourtant peu d'études sur le sujet sont disponibles. D'après une revue de 2006 [32], aucune étude n'a évalué le rôle des problèmes de dents sur les douleurs orales. Concernant les coliques, une étude n'a pas montré de corrélation entre l'apparition des coliques et le fait que le cheval n'ait pas eu de soins dentaires récents. Deux études ont évalué le rôle de la dentisterie sur l'amaigrissement. L'une a montré une corrélation positive, l'autre non. Enfin plusieurs auteurs ont tenté d'évaluer les performances de chevaux traités ou non traités en dentisterie. La difficulté est de juger de façon fiable et objective les performances. Une étude sur des chevaux de dressage [13] s'est basée sur la notation d'une reprise (figures imposées) par des juges qualifiés. Les notes des chevaux n'étaient pas améliorées par la dentisterie, mais la cavalière a pu identifier, grâce à ses sensations à cheval, la plupart des chevaux traités, alors que l'étude était menée en aveugle. Au sujet de la mastication et de la digestion, dans une étude sur 8 chevaux [Ralston 2001], des tests de digestion ont été effectués avant et après soins dentaires. Aucune différence significative n'a été rapportée.

L'étude des dents et de l'occlusion peut se faire d'un point de vue ostéopathique. L'ostéopathie considère le corps comme une unité, dans laquelle la structure et la fonction sont en interdépendance [21]. Une dysfonction ostéopathique est définie comme "une restriction de mobilité à même de conditionner la vascularisation et de perturber l'action des neurones" (Still, d'après [10]). La structure en dysfonction est "maintenue" dans une de ses positions physiologiques. Le but du traitement ostéopathique est de trouver la cause de la dysfonction et de réajuster les structures pour leur redonner de la mobilité et ainsi lever la dysfonction. Une anomalie dentaire peut donc être vue comme la cause d'une dysfonction de la mandibule, puisqu'elle peut restreindre sa mobilité. Ainsi l'articulation temporo-mandibulaire se trouve perturbée dans son fonctionnement. Cela peut se répercuter à l'ensemble du corps. La dentisterie permettrait de lever cette dysfonction. Très peu d'études expérimentales basées sur l'ostéopathie équine ont été menées. En **2008, Gomez-Alvarez** a montré sur 10 chevaux qu'un traitement chiropractique (technique de manipulation se rapprochant de l'ostéopathie) provoque des modifications significatives de la locomotion (extension thoracique, inclinaison du bassin, symétrie du bassin...). L'étude de **Burgaud, Biau et al (2013)** [10] a évalué 26 chevaux présentant des dysfonctions de l'arrière-main. Les auteurs montrent que le traitement ostéopathique de ces chevaux modifie significativement leur locomotion (rebond, symétrie au trot, propulsion au trot et au galop...). Un temps d'adaptation serait nécessaire suite à la manipulation.

D'après le Dr Patrick Lecollinet (vétérinaire pratiquant la dentisterie et l'ostéopathie), les soins dentaires font partie des techniques ostéopathiques [communication personnelle]. En effet, les défauts d'occlusion créent des dysfonctions des ATM qui se répercutent sur l'ensemble du corps, créant notamment des restrictions de mobilité dans la région du bassin (fonctionnement asymétrique). Il a pu constater chez de nombreux chevaux une amélioration de la locomotion (fonctionnement symétrique du bassin) après la dentisterie. A l'inverse, certains problèmes ne se règlent pas totalement avec des traitements allopathiques ou ostéopathiques seuls, et il met alors en évidence sur un nombre importants de chevaux des défauts d'occlusion. Il lui est apparu intéressant de faire une étude expérimentale pour valider l'hypothèse empirique que la dentisterie améliore la locomotion des chevaux présentant des malocclusions, créant le point de départ de la présente étude.

Ce travail présente, dans une première partie, des éléments d'anatomie sur les dents du Cheval, l'articulation temporo-mandibulaire et le bassin. La deuxième partie expose une étude expérimentale menée sur huit chevaux de sport. L'objectif est de montrer, grâce à des mesures d'accélérométrie, que la dentisterie, en corrigeant des malocclusions, a un effet sur la locomotion du Cheval. Cette partie présente tout d'abord le matériel et les méthodes, puis les résultats et enfin une discussion sur l'étude.

Première partie : rappels anatomiques

I. Les dents du Cheval

Les dents des Mammifères sont des formations dures, portées par les gencives dans la cavité buccale. Elles permettent la préhension et la mastication des aliments, point de départ du passage dans le tube digestif. Il existe quatre types morphologiques de dents : les incisives, les canines, les prémolaires et les molaires. Elles grandissent et s'usent au cours de la vie, selon des mécanismes complexes qui s'adaptent aux contraintes subies par les dents. Après avoir détaillé leur morphologie interne et externe, ainsi que leur disposition dans la cavité buccale, nous verrons les mécanismes de la croissance et de l'usure des dents, pour enfin expliquer ce qu'est l'occlusion, quels défauts peuvent l'affecter et avec quelles conséquences.

A – Morphologie des dents

1. Terminologie utilisée

[19], [25], [36]

a/ Caractéristiques des dents

Les différentes parties des dents sont les suivantes [figure 1]: la **couronne** correspond à la partie supérieure de la dent recouverte de l'émail, la **racine** à la partie inférieure, qui en est dépourvue. La racine clinique est la partie invisible de la dent du vivant de l'animal, et la couronne clinique la partie qui dépasse de la gencive.

Une dent est dite **plexodonte** lorsque sa forme est complexe (plusieurs tubercules), par opposition à une dent **haplodonte**, qui n'en possède qu'un. Concernant les générations dentaires, une dent **monophyodonte** n'a qu'une génération alors qu'une dent **diphyodonte** en a deux : la dent **déciduale** ou **lactéale** et la dent **permanente**.

Selon leur type de croissance se distinguent les dents hypsodontes des dents brachyodontes. Les dents **brachyodontes** ont une croissance limitée, et l'on reconnaît ainsi la racine, la couronne, et le **collet** qui les sépare. Pour les dents **hypsodontes** à croissance prolongée, la racine met longtemps à s'édifier, en même temps que commence à s'user la couronne. C'est le cas des dents définitives du Cheval, à l'exception des canines. Enfin il existe des dents hypsodontes à croissance continue.

b/ Orientation

Les termes d'orientation utilisés pour la description des dents sont les suivants [figure 2] :

- La partie de la dent qui se situe dans l'alvéole est appelée **extrémité enchâssée**
- La partie libre, à l'opposée, est dite **extrémité** ou **bord occlusal**, et sa surface est appelée **table d'usure**
- La face de la dent qui se trouve en regard du vestibule buccal est la **face** ou **bord vestibulaire**
- Tandis que la face qui regarde vers la langue est dite **face** ou **bord lingual**.
- Enfin les dents possèdent une **face** ou **bord mésial**, et une **face** ou **bord distal**, par rapport

à l'orientation rostrale ou caudale dans la cavité buccale.

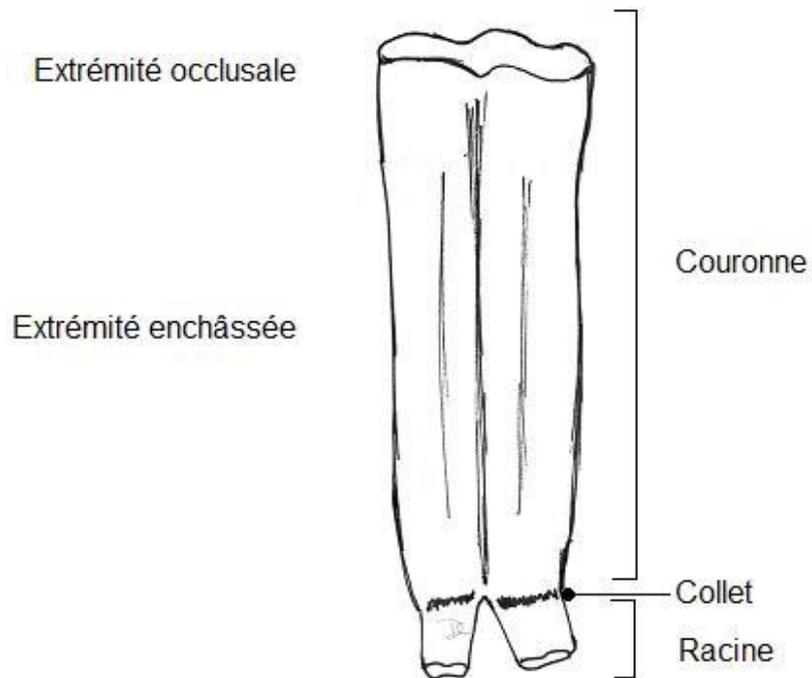


Figure 1 : parties des dents, face vestibulaire d'une molaire, d'après [19]

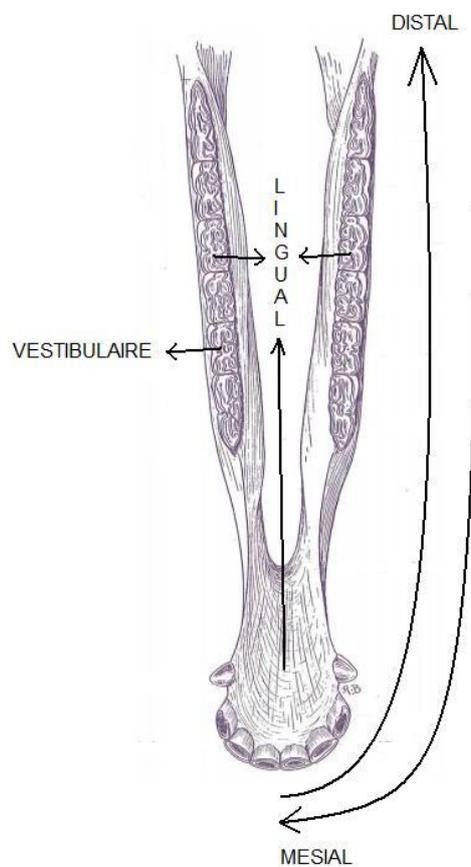


Figure 2 : termes d'orientation, vue dorsale d'une mandibule, d'après [36]

c/ Formules dentaires

[19], [25]

La nomenclature anatomique désigne les dents par les abréviations suivantes : « i » pour incisive, « c » pour canine, « pm » pour prémolaire et « m » pour molaire, en minuscule pour les dents lactéales et en majuscule pour les dents définitives. Ensuite un chiffre indique leur ordre dans la cavité buccale, en débutant à 1 pour la plus mésiale. Par exemple « PM2 » désigne la deuxième prémolaire définitive. Dans la formule dentaire, le nombre de chaque type de dent pour chaque arcade est donné de la façon suivante : x/y, avec x représentant l'arcade supérieure et y l'arcade inférieure.

Les formules dentaires du Cheval sont les suivantes :

Denture déciduale : i 3/3 c 0/0 pm 4/3 soit 26 dents

Denture permanente chez le mâle : I 3/3 C 1/1 PM 4/3 M 3/3 soit 42 dents.

Denture permanente chez la femelle : I 3/3 C 0/0 PM 4/3 M 3/3 soit 38 dents.

Il existe des variations individuelles. Certaines juments, dites bréhaignes, possèdent des canines, alors que certains mâles n'en ont pas quatre. La proportion de juments bréhaignes serait de 28% [25]. La première prémolaire supérieure, appelée dent de loup, n'est pas toujours présente. Elle existe encore plus rarement sur l'arcade inférieure (dent de cochon). Leur incidence est, selon les études, de 24,4% à 31,9% chez les juments et de 13% à 14,9% chez les mâles [12].

Selon les études, il existe une dent canine déciduale, parfois visible à la radiographie. [12]

d/ Système de Triadan

Les dents peuvent être nommées individuellement à l'aide du système de **Triadan** [figure 3]. Un premier chiffre désigne l'arcade sur laquelle se trouve la dent. L'arcade supérieure droite est numérotée 1, l'arcade supérieure gauche 2, l'arcade inférieure gauche 3 et l'arcade inférieure droite 4. Ensuite un numéro indique le rang de la dent sur l'arcade, en partant de 01 pour la dent la plus mésiale à 11 pour la dent la plus distale. Toutes les dents potentiellement présentes chez le Cheval possèdent leur chiffre qui reste le même, quelle que soit la formule dentaire du cheval considéré. Par exemple, un cheval qui ne possède pas de canine n'aura pas de dent x04 et les dents suivantes seront des x05.



Figure 3 : système de Triadan, d'après [25]; a : numérotation des arcades (bouche ouverte vue de face), b : numérotation des dents sur une arcade (mandibule vue dorsale)

Pour les dents déciduales, les arcades sont numérotées de 5 à 8 (5 à la place de 1, 6 à la place de 2, 7 à la place de 3 et 8 à la place de 4).

2. Composition des dents

[2], [9], [15], [19], [25], [28], [36]

Les dents sont composées de deux types de tissus : les **tissus durs**, extérieurement, et les **tissus mous**, en profondeur.

a/ Tissus durs

En partant de l'extérieur de la dent se trouve tout d'abord l'**émail**. Il s'agit d'un tissu conjonctif translucide, le plus dur du corps. Il est produit par les améloblastes. Ces cellules dégénèrent après la formation de l'émail, ce qui en fait un tissu mort, incapable de régénération. Il est composé à plus de 95% de minéraux (cristaux impurs d'hydroxyapatite). Ses composants organiques sont principalement des protéines de la famille des kératines. Sa structure le rend très rigide et peu élastique, donc particulièrement cassant. Les tissus plus compressibles qui l'entourent, ciment extérieurement et dentine intérieurement, permettent d'amortir les pressions liées à la mastication. Il existe trois types d'émail qui diffèrent entre eux par l'organisation des cristaux. L'emplacement et la proportion de chaque type d'émail varie selon les dents. L'émail n'est présent que sur la couronne des dents.

Le **cément** est un tissu conjonctif proche de l'os, jaunâtre à blanc-grisâtre et opaque. Sa composition est semblable à celle de l'os, avec une substance fondamentale creusée de canalicules dans lesquels se logent des cellules de type ostéocytes, les cémentocytes. Mais contrairement à l'os, les cellules n'ont pas d'organisation lamellaire. Le ciment est produit par les cémentoblastes, présents dans le ligament périodontal situé dans l'alvéole dentaire. Il recouvre l'émail au niveau de la couronne et la dentine au niveau des racines, et il emplit les infundibulums des molaires et prémolaires [cf. infra]. Il possède des fibres conjonctives qui l'unissent à l'os alvéolaire. Là où il est suffisamment épais, il est vascularisé et innervé. Il adhère étroitement à la dentine, moins à l'émail.

A l'intérieur de ces tissus, tapissant la cavité dentaire, se trouve la **dentine**. C'est un tissu dur, blanc-jaunâtre, semblable à l'os calcifié. Il est produit par les odontoblastes, qui tapissent la cavité dentaire. Il comporte des fibres de collagène dans une substance fondamentale de glycoprotéines, minéralisée (hydroxyapatite, carbonate de calcium, magnésium et ions fluor). Cette structure est creusée de travées parallèles dans lesquelles se trouvent les expansions des odontoblastes. Il existe différents types de dentine. La dentine primaire est produite pendant la formation de la dent et dans les premières années suivant son éruption [28]. La dentine secondaire, plus sombre, se dépose sur la périphérie de la cavité dentaire durant la vie de l'animal. La dentine tertiaire et la dentine sclérotique sont produites en réponse à des traumatismes, une usure excessive ou lorsque la dent devient très âgée. La dentine contient également des terminaisons nerveuses qui lui procurent une fonction sensorielle.

Les tissus durs délimitent la cavité dentaire. Ils forment à l'extrémité apicale de la dent une ouverture appelée **foramen apical**.

b/ Tissus mous

Les tissus mous se situent dans la cavité dentaire. Ils sont regroupés sous le nom de **pulpe**. Il s'agit d'un tissu conjonctif rouge, gélatineux, en continuité avec le tissu conjonctif de l'alvéole dentaire, via le foramen apical. Sa substance fondamentale est fluide. Elle contient des fibres collagéniques isolées (non liées) et des fibres de réticuline. Les cellules présentes sont des fibroblastes, des leucocytes et des hématies. La pulpe est très vascularisée et innervée dans sa partie centrale. Elle possède un rôle sensoriel, nutritif et réparateur de la dent. Sa face externe est entièrement tapissée par les odontoblastes qui la séparent de la dentine.

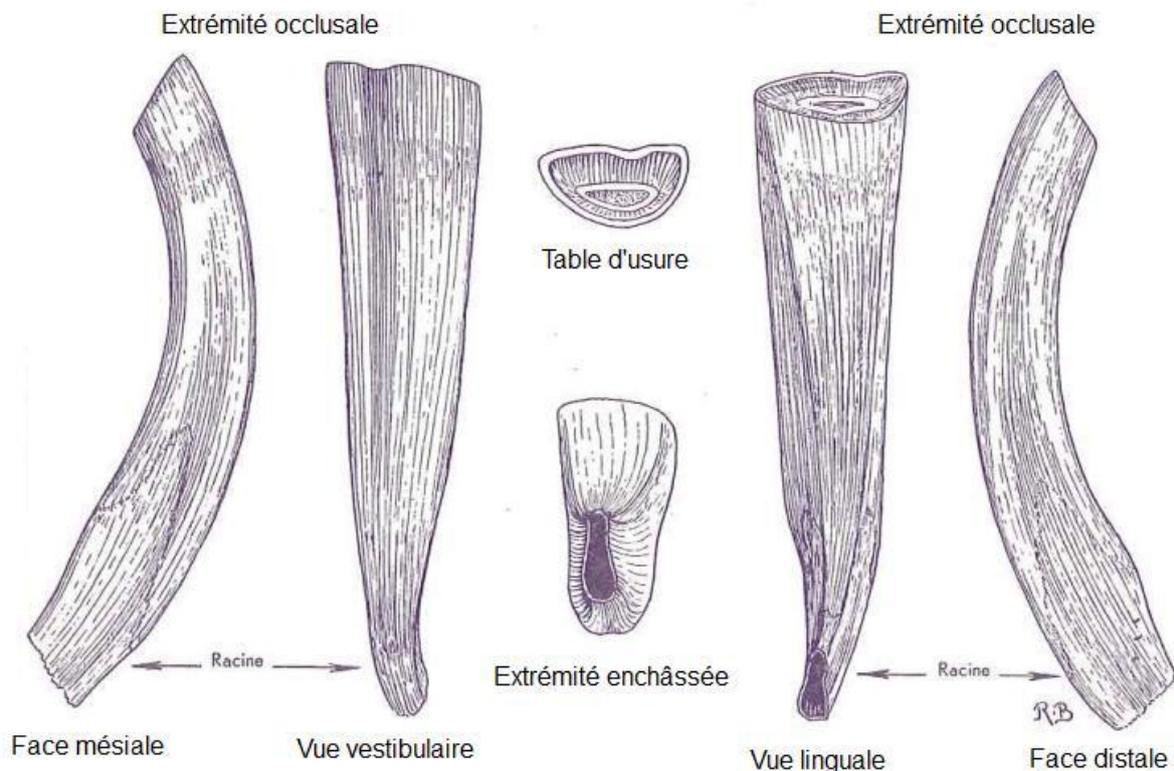
3. Conformation des incisives

a/ Conformation extérieure des incisives

Les incisives sont au nombre de 3 par arcade dentaire. Dans le sens méso-distal, elles sont traditionnellement appelées **pinc**es, **mitoyennes** et **coins**, ou 01, 02 et 03 dans le système de Triadan. Ce sont des dents spécialisées dans la préhension et la coupe des aliments.

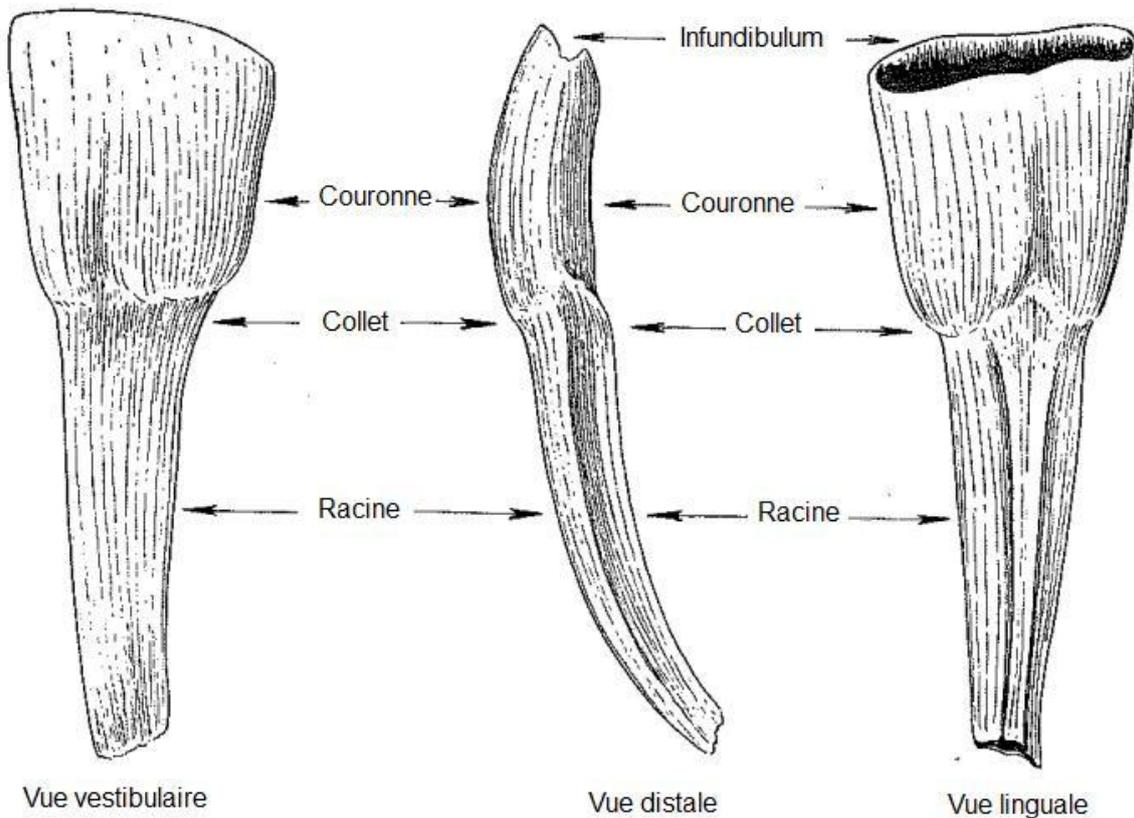
Ce sont des dents plexodontes à 2 tubercules, et diphyodontes.

Dans chaque génération dentaire, elles sont assez similaires entre elles, mais les incisives supérieures sont plus larges que les incisives inférieures.



Pince inférieure gauche d'un cheval de 6 ans

Figure 4 : conformation extérieure des incisives permanentes, d'après [36]



Pince inférieure gauche lactéale non usée

Figure 5 : conformation extérieure des incisives lactéales, d'après [36]

i. Incisives définitives

Les incisives permanentes mesurent 6 à 8 cm de longueur [figure 4]. Leur forme est décrite comme celle d'un berlingot allongé. Cela détermine **quatre faces et deux extrémités**. Ainsi, dans la dent non usée, l'extrémité libre est aplatie dans le sens vestibulo-lingual alors que la partie enchâssée est aplatie dans le sens méso-distal.

La face vestibulaire possède de fines stries longitudinales et une cannelure sur le bord libre.

Les faces distales et mésiales possèdent aussi une cannelure, mais celle-ci est essentiellement marquée sur la partie enchâssée.

Elle est creusée d'un **infundibulum** en forme de cône, plus ou moins rempli de ciment.

Du fait de la forme de berlingot, l'extrémité libre évolue avec l'âge, passant d'un **aplatissement vestibulo-lingual à un aplatissement méso-distal**. Lorsque la dent commence à s'user, il apparaît une zone appelée **étoile dentaire**, entre l'infundibulum et le bord vestibulaire [figure 6]. Celle-ci correspond à la dentine secondaire qui emplit la cavité dentaire et est mise à nu par l'usure de la dent. Suivant la forme générale de la dent, l'étoile dentaire est d'abord allongée dans le sens méso-distal, puis devient plus ronde et plus centrale quand le cheval vieillit et que l'infundibulum a disparu.

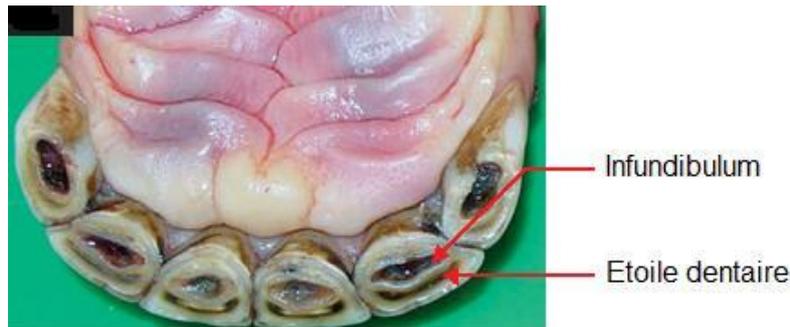


Figure 6 : extrémité occlusale d'une incisive montrant l'étoile dentaire et l'infundibulum, d'après [25]

ii. Incisives déciduales

Ce sont des dents brachyodontes, il apparaît donc nettement trois parties : la couronne, le collet et la racine [figure 5]. La couronne est aplatie dans le sens vestibulo-lingual. Sa face vestibulaire est finement striée. Le bord occlusal est peu profond et peu rempli de ciment. Le collet est bien marqué. La racine est étroite et longue, de section triangulaire. Elle possède une cannelure sur chaque face.

b/ Conformation intérieure des incisives

Les dents incisives du Cheval sont conformes à la description générale de la conformation interne des dents [figure 7]. Mais la dentine délimite une cavité supplémentaire, l'infundibulum, situé lingualement à la cavité dentaire et s'ouvrant sur l'extrémité occlusale de la dent. L'émail recouvre le pourtour de la couronne en tapissant l'infundibulum. Avec l'usure, il se retrouve anatomiquement séparé en un émail central, celui de l'infundibulum, et un émail périphérique sur la couronne. Le ciment emplit la cannelure de la face vestibulaire et partiellement l'infundibulum. Avec l'âge, et donc la construction de la racine, il s'en dépose également sur la racine.

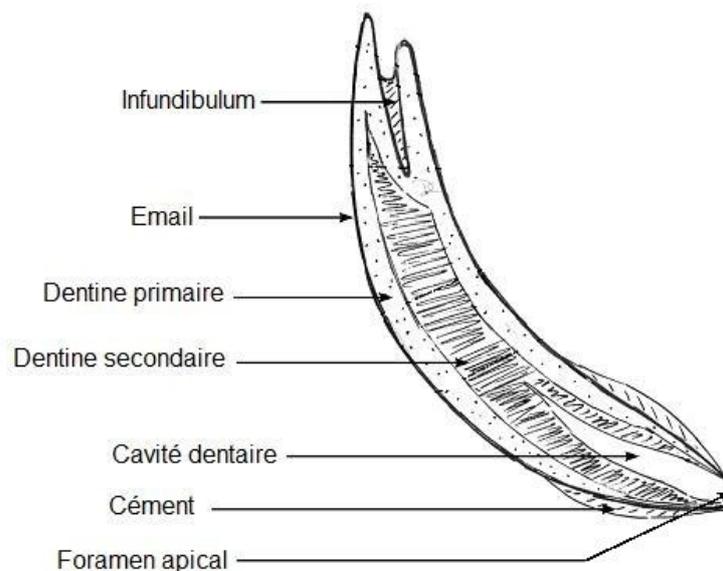


Figure 7 : conformation intérieure des incisives, coupe longitudinale d'une incisive permanente, d'après [19]

4. Conformation des canines

a/ Conformation extérieure des canines

Les canines, parfois appelées **crochets**, se trouvent dans le **diastème** de l'arcade (cf infra). Les canines supérieures sont plus distales que les inférieures. Elles mesurent 5 à 6 cm de longueur [figure 8].

Ce sont des dents haplodontes et, selon les auteurs, monophyodontes appartenant à la denture permanente, ou bien diphyodontes avec une première génération dentaire très rudimentaire. Leur face vestibulaire est convexe, leur face linguale plane. Les deux faces sont unies par deux bords très minces, aussi l'extrémité libre est-elle tranchante.

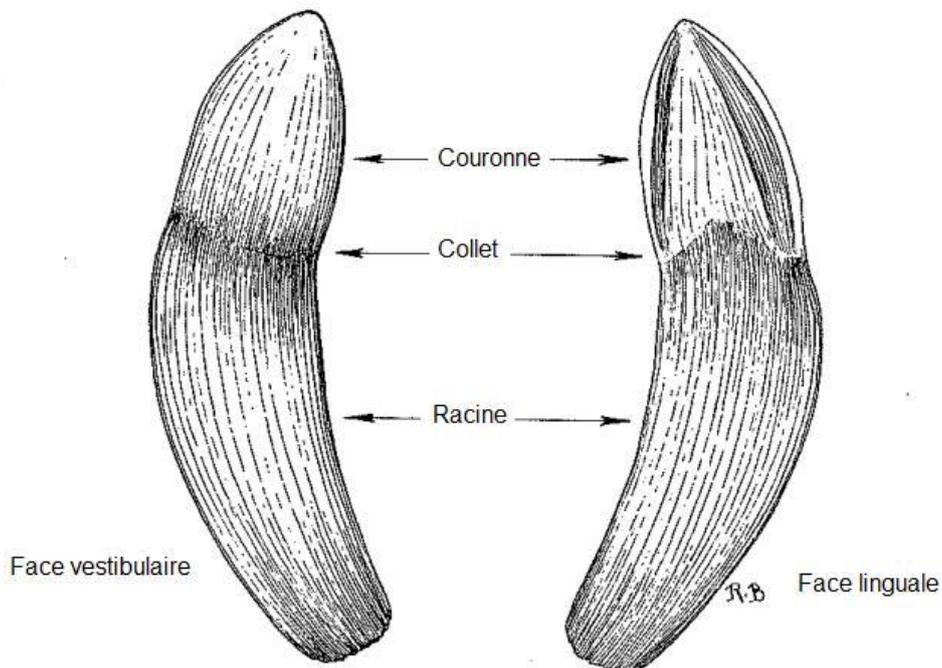


Figure 8 : conformation extérieure des canines, canine inférieure gauche, d'après [36]

b/ Conformation intérieure des canines

La conformation des canines est plus simple : ce sont des dents brachyodontes - au collet marqué - et ne possédant qu'un seul tubercule au niveau de la couronne. L'émail recouvre la couronne, alors que le cément est très peu abondant, sauf sur la racine des canines très âgées [36].

5. Conformation des molaires et prémolaires

a/ Conformation extérieure des molaires et prémolaires

Les prémolaires sont des dents diphyodontes, ce qui les différencie des molaires. Elles sont nommées 05, 06, 07 et 08 dans le système de Triadan. Distalement à elles se trouvent les molaires (09, 10, 11), dents monophyodontes. Ce sont des dents spécialisées dans la mastication.

A l'exception des premières dents prémolaires (dents de loup et de cochon), pour

chaque arcade molaire et dans les deux générations dentaires, les prémolaires ont une forme très semblable aux molaires, ce phénomène étant appelé **molarisation des prémolaires**. Ces dents sont plexodontes, à 6 tubercules. Les molaires ont une forme droite ou incurvée. Les dents de loup et les dents de cochon ont une morphologie particulière et très variable selon les individus.

i. Molaires et prémolaires définitives

○ Supérieures

Ces dents ont une forme de prisme à base approximativement **carrée**. Elles mesurent 7 à 8 cm de longueur, dont 2 de couronne clinique. La table dentaire fait **3 cm de côté** environ [figure 9].

La face vestibulaire est plane et possède deux cannelures emplies de ciment délimitées par 3 reliefs d'émail.

La face linguale est plane avec un relief d'émail appelé **protocône**, entouré de deux légers sillons.

Les faces mésiales et distales sont planes.

En fin de croissance, l'extrémité enchâssée posséderait 3 à 4 racines, difficilement distinguables.

La face occlusale permet d'observer **6 tubercules** (formations en relief arrondies, constituées de dentine recouverte d'émail) coalescents, appelés **cuspidés**. Les cuspidés sont rapidement aplanies par l'usure. Les quatre principales cuspidés délimitent **2 infundibulums** (creux) partiellement remplis de ciment. Ainsi, sur la dent usée, l'émail dessine un «B» gothique majuscule. Ce sont encore les 2 cuspidés vestibulaires qui forment les reliefs d'émail sur les faces linguales et vestibulaires [figures 10 et 11].

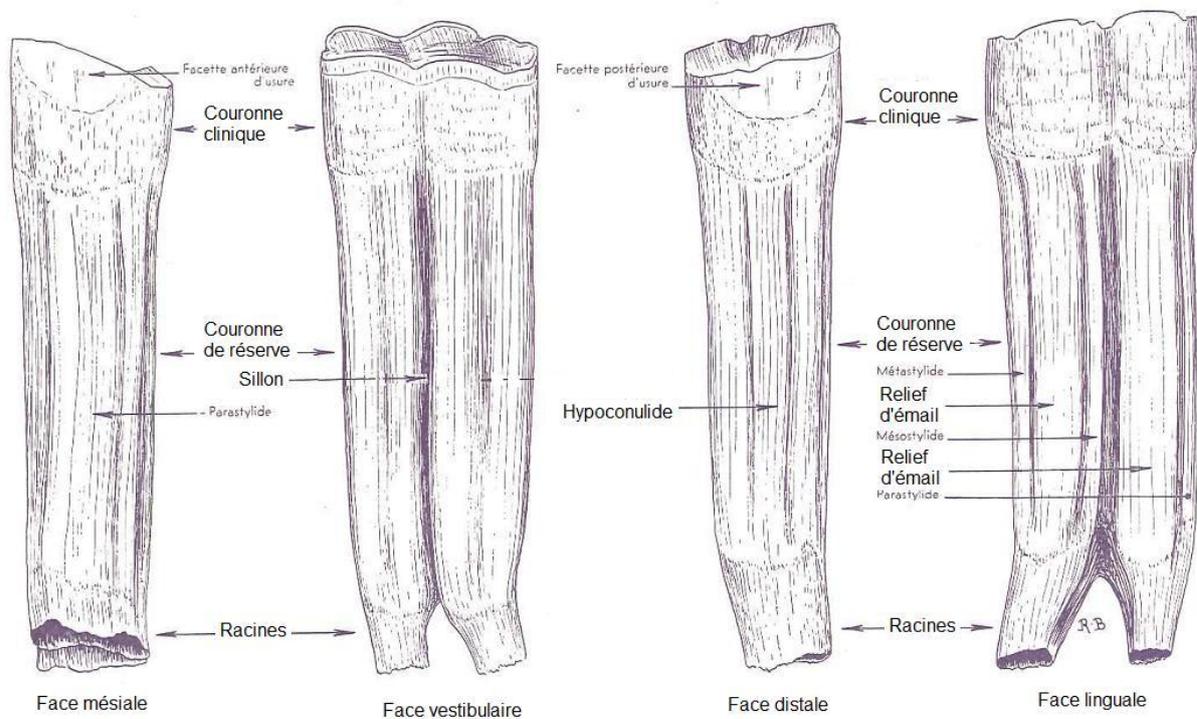


Figure 9 : conformation externe des molaires et prémolaires supérieures, dent 208 d'un cheval adulte, d'après [36]

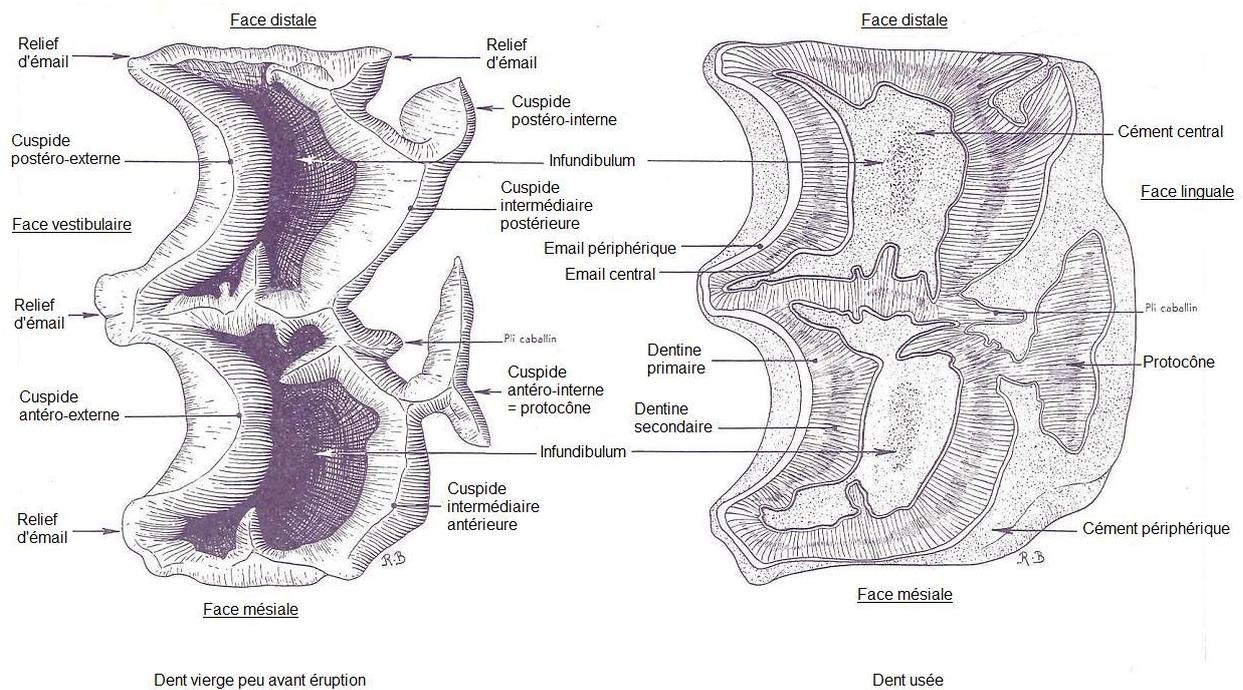


Figure 10 : schéma de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires supérieures, d'après [36]

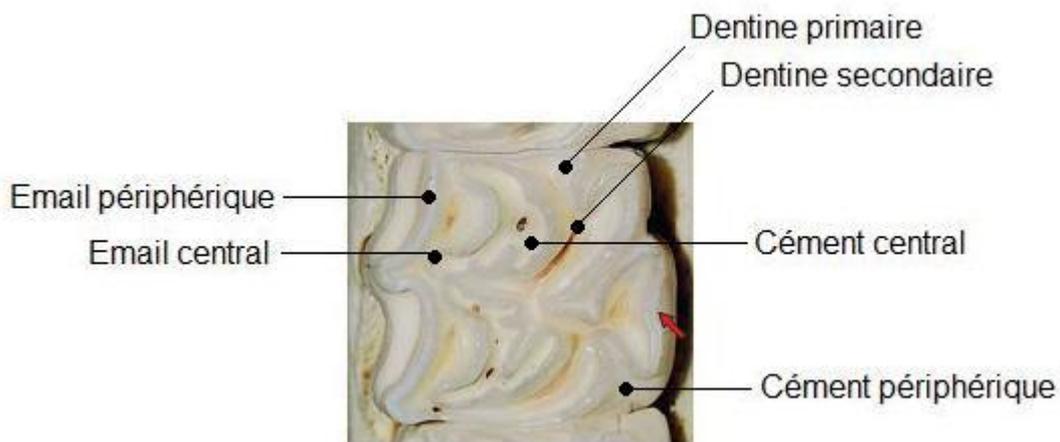


Figure 11 : photo de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires supérieures, d'après [25]

○ Inférieures

Les molaires et prémolaires inférieures ont, elles, une forme de prisme à base **rectangulaire**, allongé dans le sens méso-distal. Elles mesurent 7 cm de longueur dont 2 pour la couronne clinique, et la face occlusale mesure **2 cm sur 3 cm** environ [figure 12].

La face vestibulaire est plane, quoique pourvue d'un sillon unique de cément.

Il en va de même pour la face linguale, son sillon étant très marqué et séparant deux reliefs d'émail.

La face mésiale est plane.

La face distale également, elle possède de plus un tubercule aplati nommé hypoconulide.

Sur la dent usée, l'extrémité enchâssée comprend deux racines peu différenciables, une mésiale et une distale, sauf la 11 qui en possède trois. La partie enchâssée des molaires inférieures sont plus longues que celles de molaires supérieures.

Comme pour les dents molaires supérieures, la face occlusale permet d'observer un ou deux infundibulums délimités par les **6 tubercules**. Deux fissures côté lingual font **communiquer le cément périphérique avec le cément central**, ainsi l'émail semble dessiner un «E» majuscule d'imprimerie [figures 13 et 14].

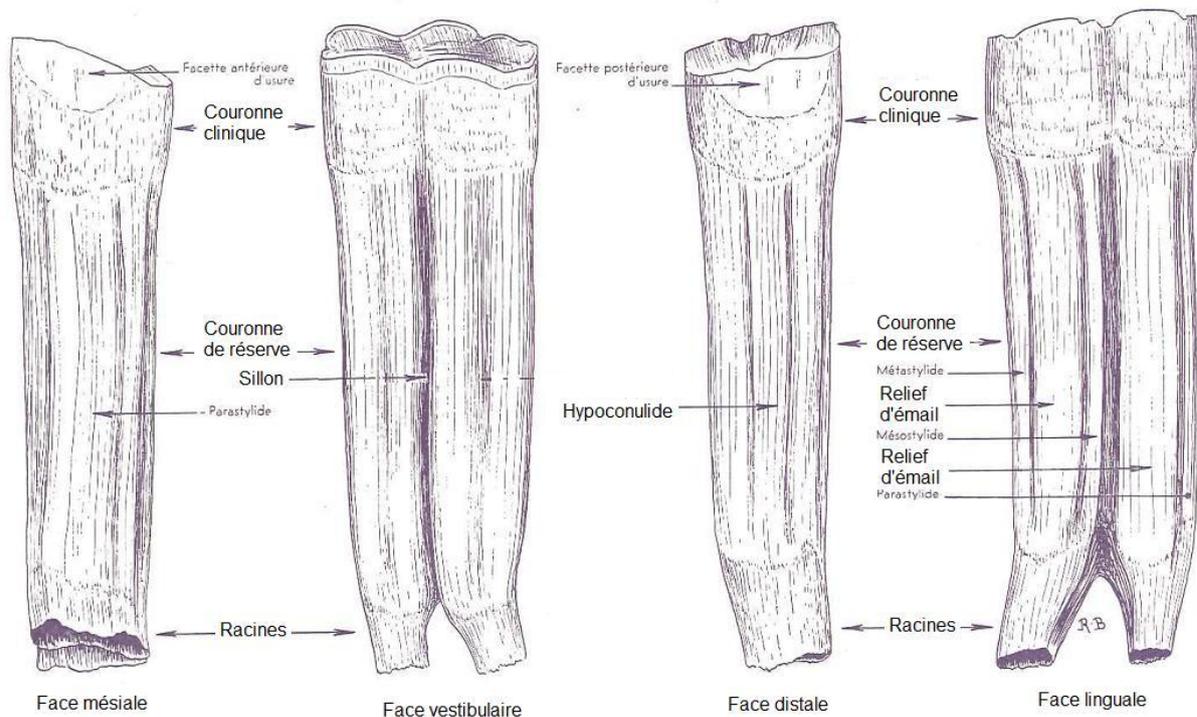


Figure 12 : conformation externe des molaires et prémolaires inférieures, dent 308 d'un cheval adulte, d'après [36]

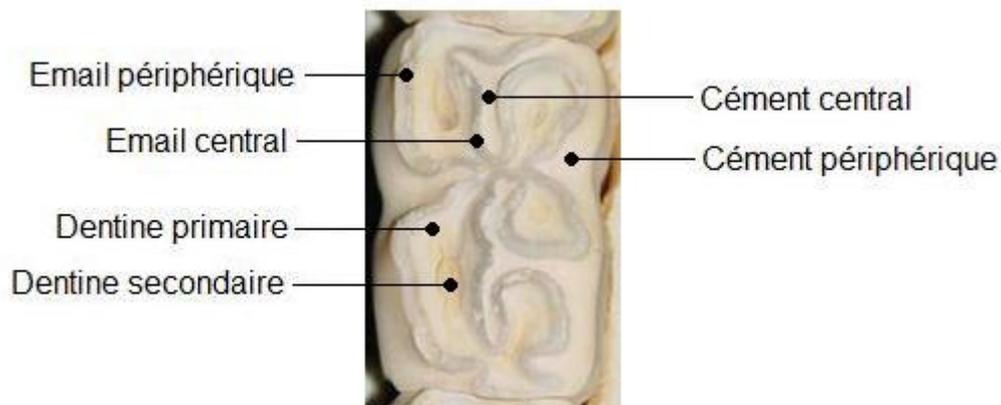


Figure 13 : photo de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires inférieures, d'après [25]

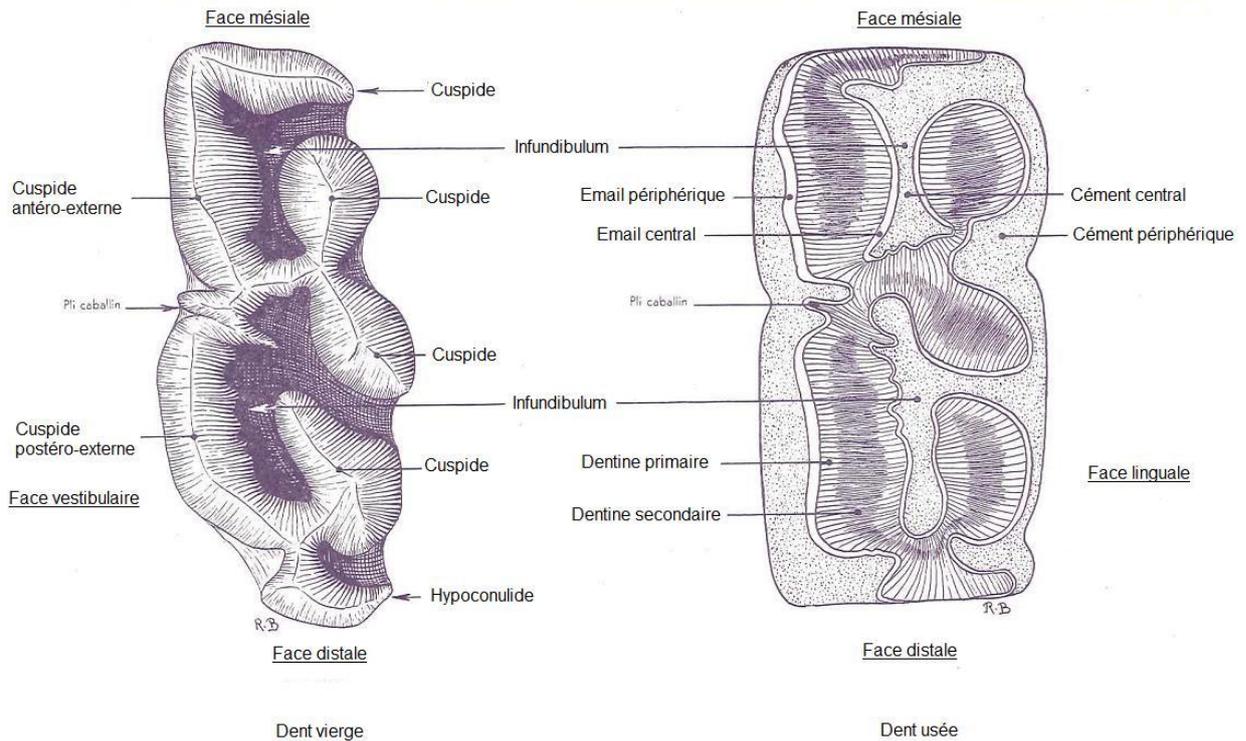


Figure 14 : schéma de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires inférieures, dent 308, d'après [36]

○ Dents de loup et dents de cochon

La dent de loup est la première prémolaire supérieure, elle correspond à la dent 05 dans le système de Triadan. Sa présence n'est pas constante, et lorsqu'elle existe, elle peut être non émergée (dans ce cas, elle ne se voit pas extérieurement mais elle est palpable sous la gencive). Sa position est variable, elle peut être accolée à la deuxième prémolaire ou bien distante de quelques centimètres, voire sur le palais. Sa forme est en général proche de celle des canines, avec des variations de taille importantes selon les individus (de 5 mm à 3 cm). Elle a parfois une forme molarisée. Elle n'est jamais remplacée [figure 15].

Une dent de cochon est l'équivalent d'une dent de loup, à une arcade inférieure. Elle est beaucoup plus rare. Elle a généralement une forme de cône étroit.

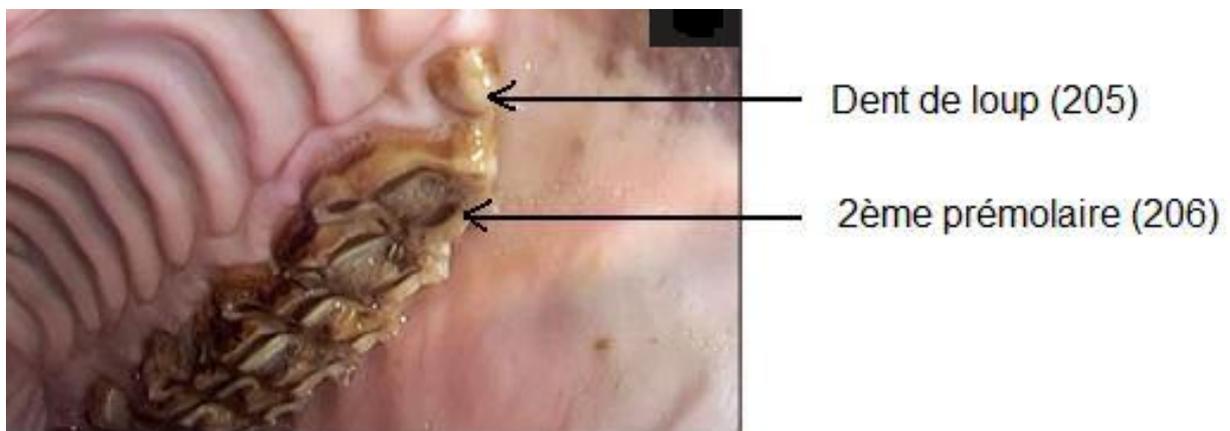


Figure 15 : photo d'une dent de loup à gauche, d'après [25]

ii. Molaires et prémolaires déciduales

Les molaires et prémolaires déciduales ont une conformation globalement semblable à celles des dents définitives. Cependant leur taille est plus réduite, par exemple la couronne mesure 3 à 4 cm pour les molaires supérieures (un peu moins pour les molaires déciduales inférieures), et leur croissance plus rapide. Elles appartiennent à un type de croissance intermédiaire entre la brachyodontie et l'hypsodontie [36]. Peu avant leur chute, du fait de l'usure de la couronne et des racines, elles apparaissent comme des formations aplaties, qu'on appelle alors des **coiffes**, au-dessus des dents définitives [figure 16].

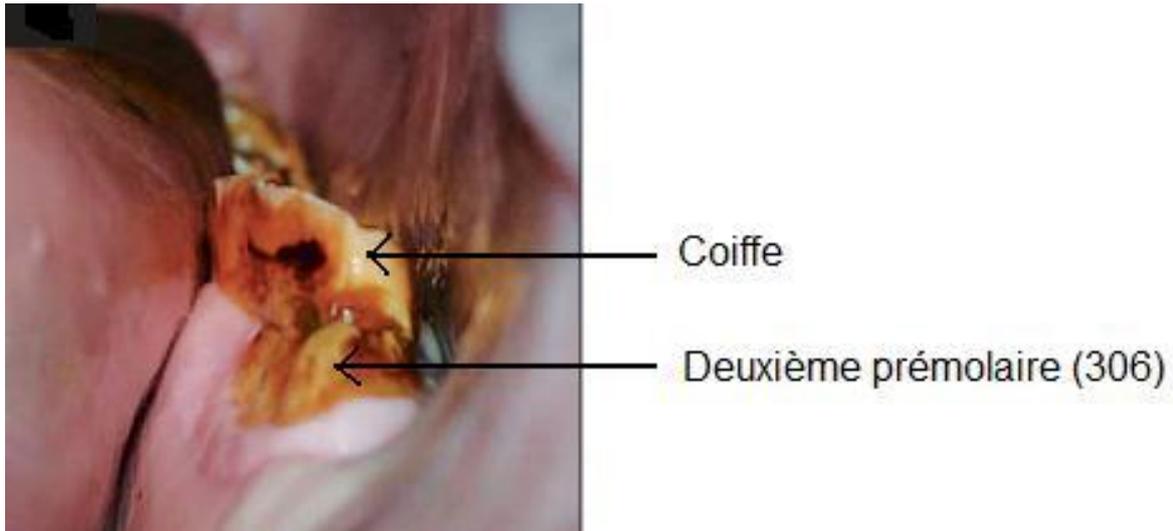


Figure 16 : photo d'une coiffe, d'après [25]

b/ Conformation intérieure des molaires et prémolaires

L'organisation des molaires et prémolaires est la plus complexe. Elles possèdent une cavité dentaire subdivisée en plusieurs parties, et des infundibulums. Ces différentes structures sont en fait déterminées par les tubercules [figure 17].

Les molaires et prémolaires supérieures comportent cinq expansions de la cavité dentaire, les inférieures deux. Ces expansions communiquent entre elles et se développent à la fois dans les racines et dans la couronne. Elles évoluent avec l'âge, ce qui rend leur étude d'autant plus complexe.

Les molaires et prémolaires possèdent en outre des infundibulums : deux pour les supérieures, et un ou deux (selon les auteurs) pour les inférieures.

L'émail recouvre la couronne extérieurement, et donc tapisse les infundibulums. Du ciment se dépose sur la couronne, dans les cannelures et fissures, ainsi que dans les infundibulums qu'il emplit presque entièrement. Il est peu présent sur la racine, sauf sur les dents âgées.

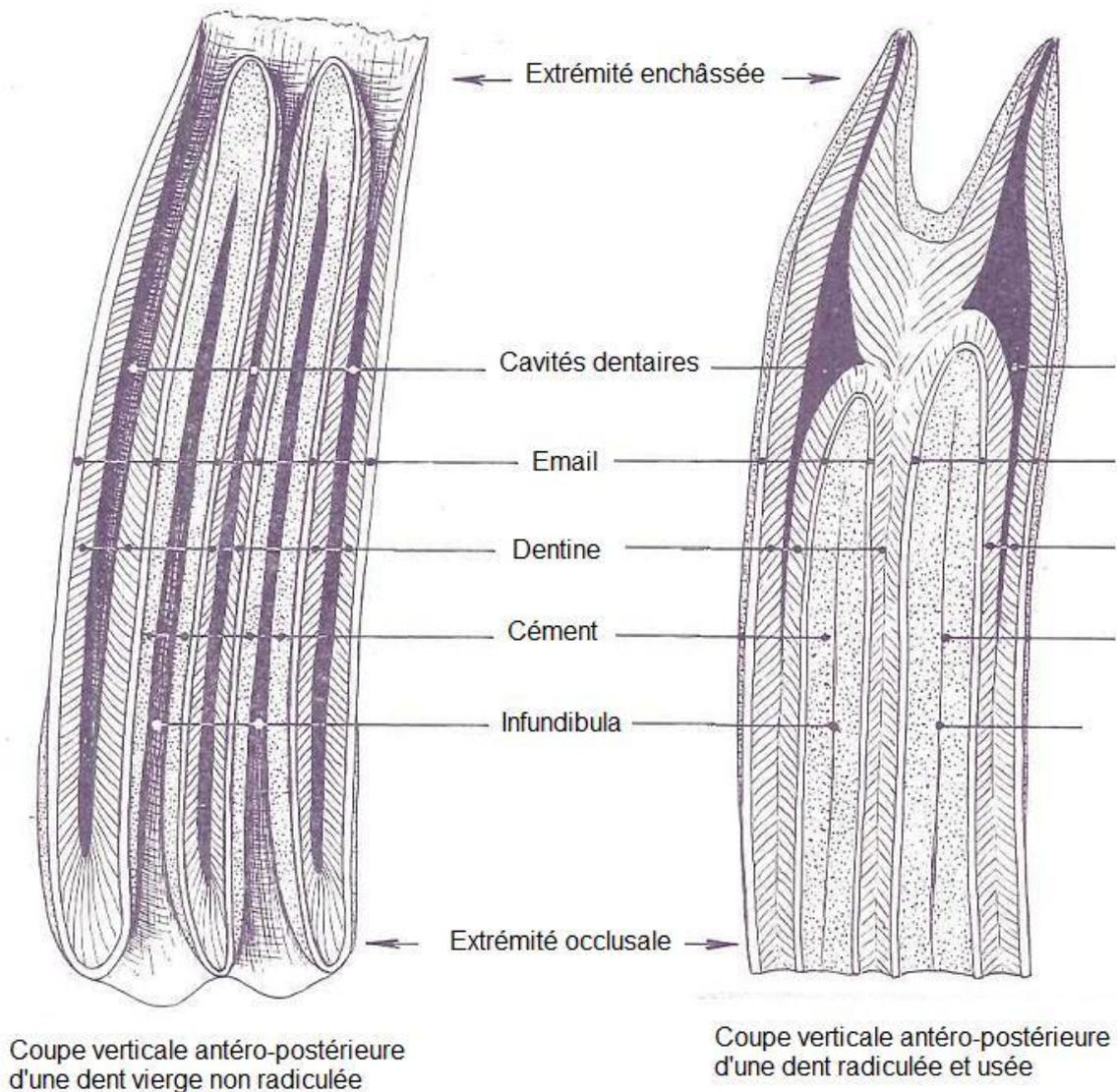


Figure 17 : conformation intérieure des molaires, coupe longitudinale d'une molaire permanente, d'après [36]

B – Emplacement des dents dans la cavité buccale

[2], [9], [15], [19], [25], [36]

1. La dent dans son alvéole

Chaque dent se trouve dans une alvéole délimitée par l'os de la tête qui la supporte. Une jointure est assurée entre l'os et le cément de la dent par le **ligament périodontal** ou **périodonte**, dont les fibres sont incrustées à la fois dans le cément et l'os alvéolaire. L'articulation dento-alvéolaire est appelée **gomphose**. Sa cohésion est renforcée par la muqueuse buccale, la gencive à cet endroit, qui recouvre l'os et une partie de la dent. La **couronne clinique** est la partie de la dent située au-dessus de la gencive et la **racine clinique** est la partie en-dessous.

Le ligament périodontal est un tissu conjonctif. Il comporte une substance fondamentale composée d'eau, de glycosaminoglycanes et de glucosamine. Dans celle-ci se

trouvent des fibres de collagène et des fibres élastiques. Les cellules présentes sont des fibroblastes, des cémentoblastes et cémentocytes, des ostéoblastes et ostéocytes, et des cellules immunitaires. Le ligament périodontal est richement irrigué et innervé.

Ce ligament possède plusieurs fonctions. Tout d'abord, il permet l'union de la dent à son alvéole. Par ailleurs il fonctionne comme un périoste en sécrétant le cément de la dent. Enfin il joue un rôle important dans la proprioception lors de la mastication, de sorte qu'il assure l'amortissement des chocs entre les dents et leurs alvéoles (il permet l'adéquation de la contraction des muscles masticateurs avec la consistance de l'aliment).

2. Les dents sur les arcades [figure 18]

Les dents des arcades inférieures se placent sur la mandibule. Les incisives sont sur la partie la plus rostrale, les molaires et prémolaires sur la partie allongée du corps de la mandibule. Entre les deux se trouve un espace dépourvu de dents appelé **diastème** ou **barre**. Si des canines sont présentes, elles se placent dans le **diastème**.

Sur les arcades supérieures, le placement des dents est semblable, le diastème est également présent. Les canines supérieures sont plus distales que les canines inférieures. De chaque côté, les molaires et prémolaires se placent sur l'os maxillaire, de même que les canines. En revanche, les incisives sont sur l'os incisif.

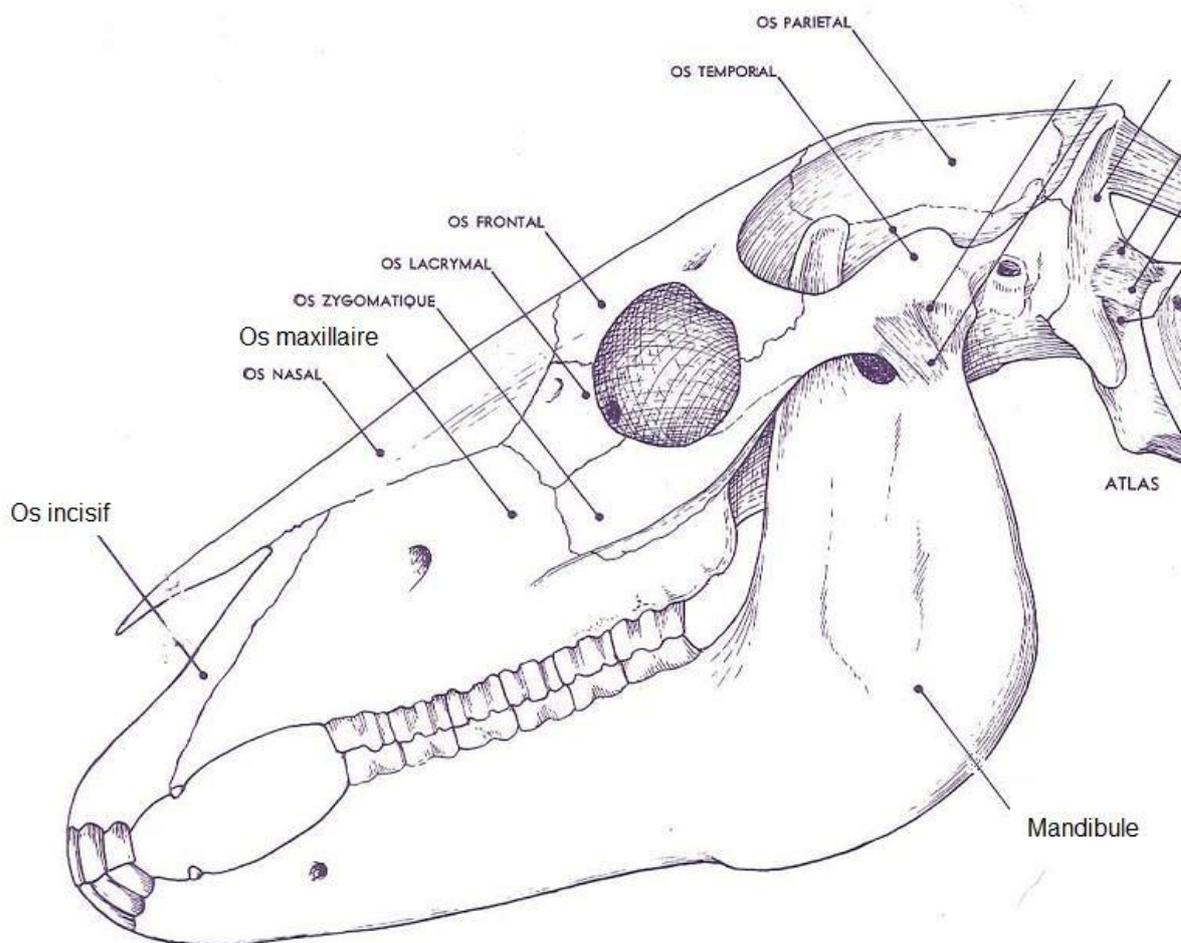


Figure 18 : dessin de la tête montrant les os qui portent les dents, d'après [3]

a/ Incisives

Du fait de leur forme variable avec le temps, les incisives vues du dessus forment une courbe dont l'incurvation change avec l'âge du Cheval. Ainsi elle est bien arrondie chez le jeune Cheval pour devenir progressivement linéaire chez le Cheval âgé [figure 19].

Pour les mêmes raisons, vu de profil, il existe une angulation entre les incisives supérieures et inférieures. Elle est peu marquée chez le jeune Cheval et devient un angle aigu chez l'animal âgé [figure 20].

Cependant l'angle d'occlusion des incisives, défini par l'horizontale et la ligne d'occlusion, ne change normalement pas avec l'âge : le prolongement de la ligne d'occlusion doit croiser l'œil et l'oreille du Cheval [figure 21]. Cette ligne ne doit pas être parallèle à la ligne d'occlusion des molaires et prémolaires (cf infra) mais avoir 10 à 15° de plus par rapport à l'horizontale.

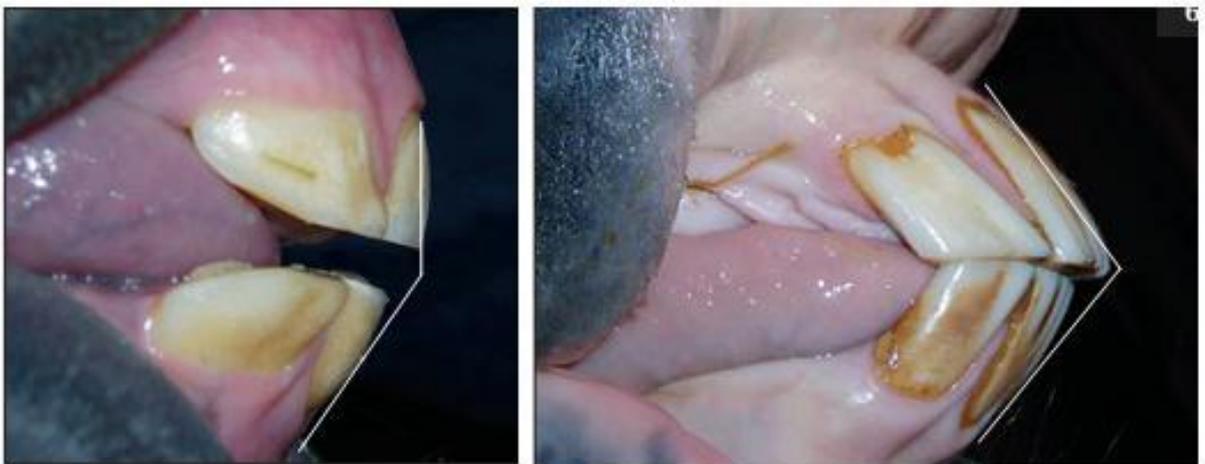
Les incisives supérieures étant plus larges que les incisives inférieures, la dernière incisive supérieure (coin) dépasse distalement la dernière incisive inférieure, pour chaque arcade. La partie distale des coins supérieurs ne s'use donc pas et il se forme une proéminence appelée **queue d'aronde**, dont le développement dépend de l'âge de l'animal.



Jeune cheval

Cheval plus âgé

Figure 19 : photo des incisives montrant l'évolution de la courbure, d'après [25]



Jeune cheval

Cheval plus âgé

Figure 20 : photo des incisives montrant l'évolution de l'angle, d'après [25]

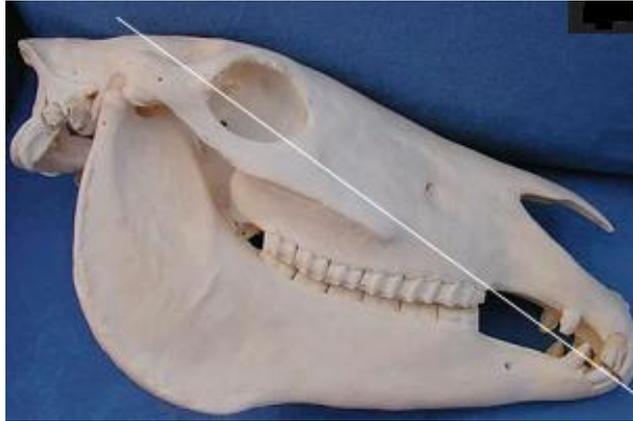


Figure 21 : ligne d'occlusion des incisives, mettant en évidence l'angle d'occlusion, d'après [25]

b/ Molaires et prémolaires

Les molaires et prémolaires occupent une longueur de 18 à 20 cm. Pour les arcades inférieures, elles forment une ligne droite qui suit l'axe du corps de la mandibule, avec parfois une incurvation légère en forme de S (vues de dessus). Elles convergent mésialement. Au niveau des arcades supérieures, les dents suivent une ligne légèrement courbe, de concavité linguale (plus ou moins marquée selon l'individu, la race et l'âge), et convergent aussi mésialement [figure 22].

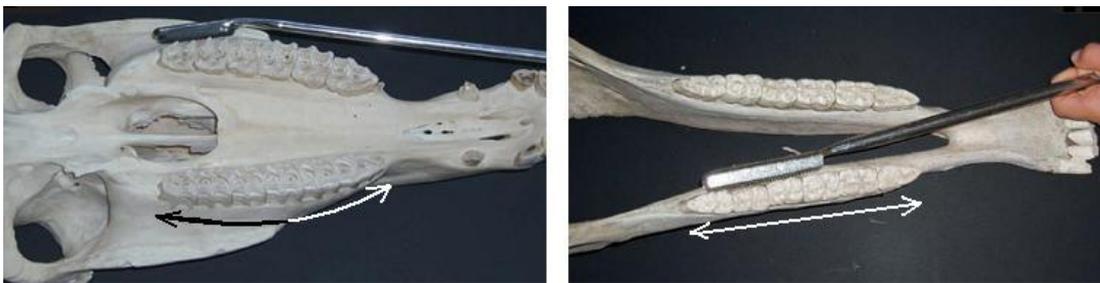


Figure 22 : comparaison de l'alignement des molaires supérieures (à gauche) et inférieures (à droite), d'après [25]

Vu de profil, les molaires et prémolaires ont une **inclinaison** qui varie avec leur rang : les 06 (système de Triadan) sont inclinées distalement, les 07, 08 et 09 sont globalement verticales et les 10 et 11 ont une inclinaison mésiale [figure 23].

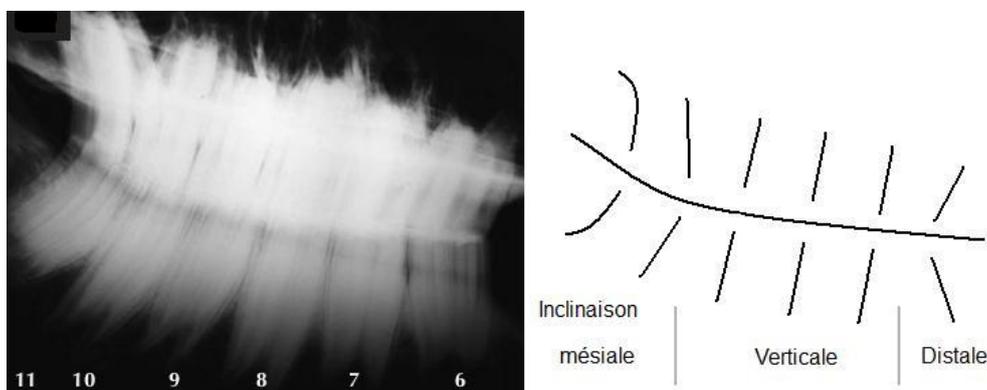


Figure 23 : inclinaison des molaires vue sur une radiographie et schéma explicatif, d'après [25]

Il existe une **anisognathie** chez le Cheval [figure 24] : les arcades supérieures sont plus larges que les arcades inférieures. En conséquence, quand la bouche est fermée et au repos, avec les incisives alignées, les molaires et prémolaires supérieures dépassent latéralement des molaires et prémolaires inférieures.

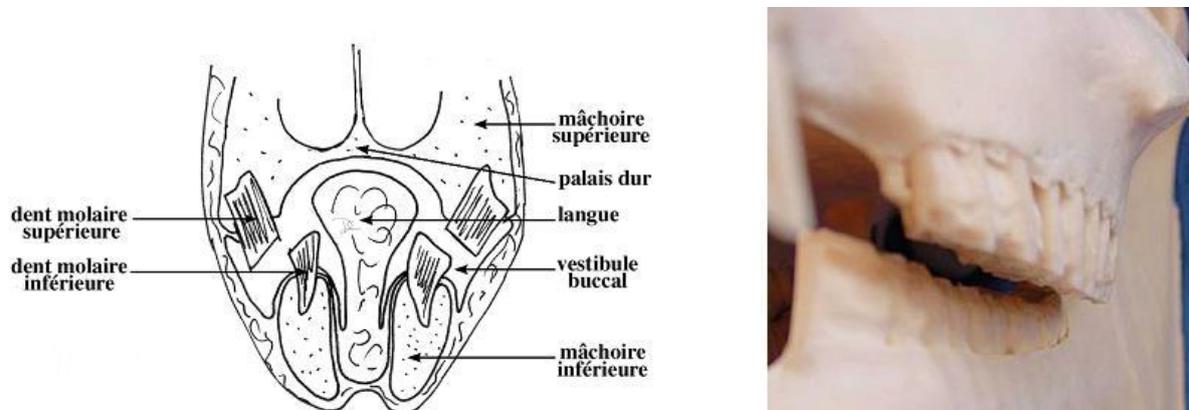


Figure 24 : schéma de la bouche en coupe frontale et photo d'un crâne, montrant l'anisognathie, schéma d'après [19] et photo d'après [25]

L'**angle d'occlusion** des molaires est évalué à 10° en comparant la surface occlusale avec l'axe longitudinal de la dent (vue de face) [figure 25]. Il augmente pour les dents plus distales.



Figure 25 : photo de bouche montrant l'angle d'occlusion (lignes blanches) des molaires, d'après [25]

On appelle **ligne de Spee** [figure 26] la ligne d'occlusion des molaires et prémolaires vue latéralement. Cette ligne forme une courbe qui remonte distalement. Cela est dû à l'incurvation de la mandibule et de l'os maxillaire sur lesquels sont placées les dents.

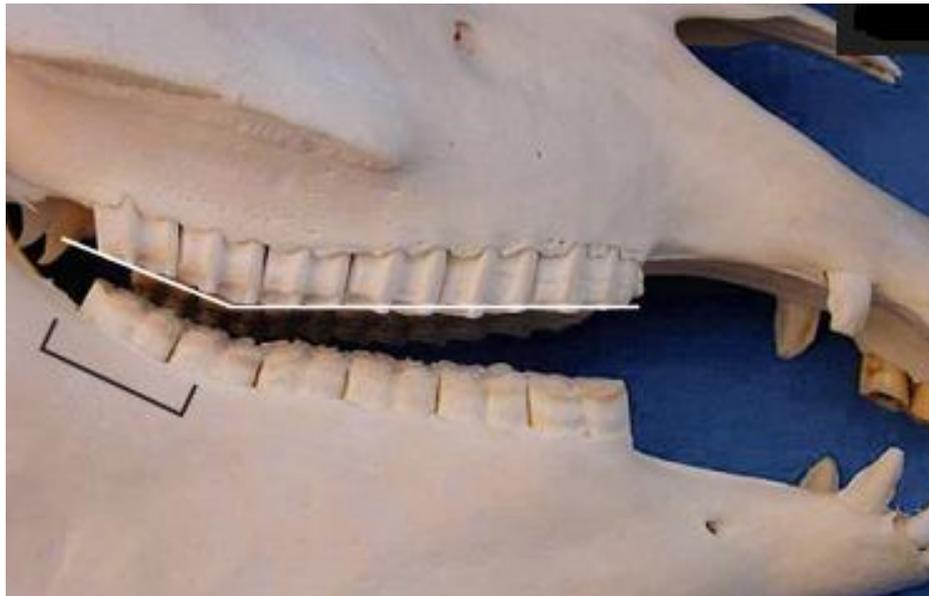


Figure 26 : photo d'un crâne montrant la courbe de Spee (trait blanc), d'après [25]

La partie enchâssée de certaines dents molaires supérieures occupe en partie les **sinus maxillaires** [figure 27] au travers de la fine couche osseuse qui constitue leur alvéole. Les dents 08 et 09 se placent dans les sinus maxillaires rostraux et les dents 10 et 11 dans les sinus maxillaires caudaux. Avec l'âge, la tête et les sinus croissent tandis que les dents émergent. En conséquence, leur position relative varie. Une infection d'une dent peut entraîner une sinusite après destruction de l'alvéole.

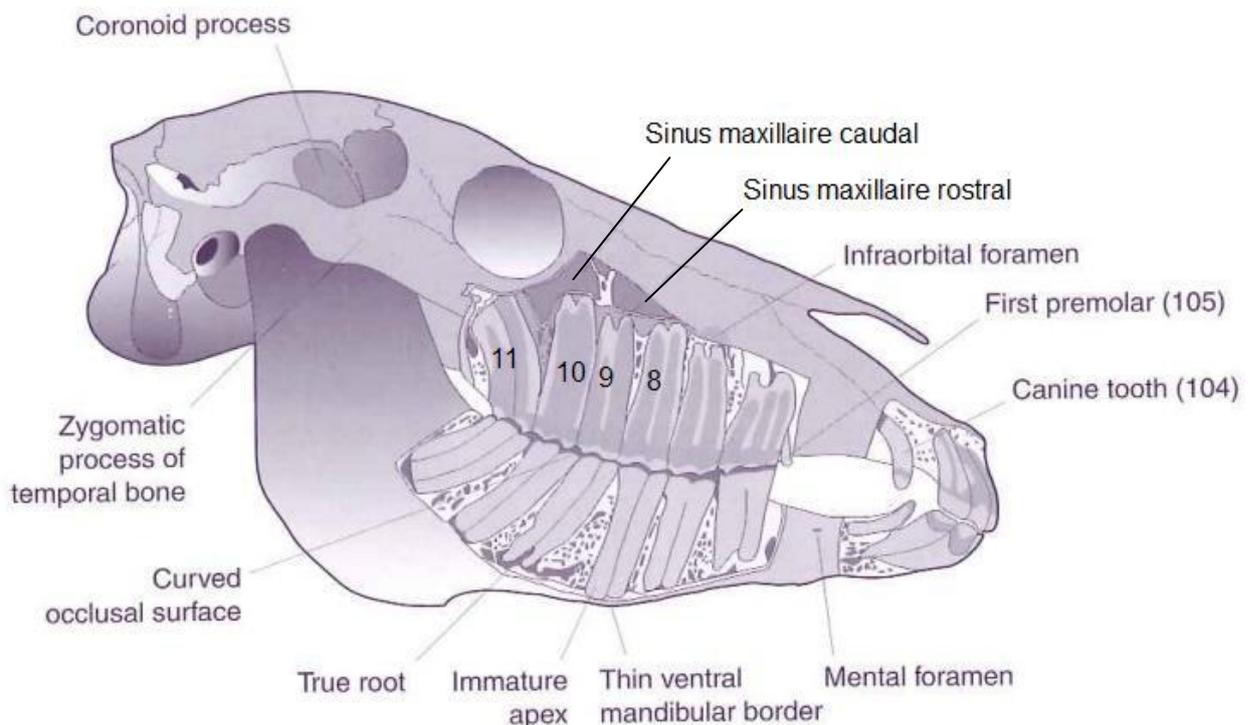


Figure 27 : dessin d'un crâne en vue latérale droite, montrant l'emplacement des racines dentaires par rapport aux sinus de la tête, d'après [2]

3. Les dents non émergées

La radiographie [figure 28] permet de visualiser les dents avant qu'elles n'émergent de la gencive. Elles se situent logiquement en regard de leur futur emplacement sur les mâchoires.

Notons que les molaires supérieures sont dirigées verticalement, avec leur face occlusale parallèle à la surface d'occlusion. En revanche, les molaires inférieures sont inclinées mésialement et se redressent au cours de la croissance de la mandibule.



Figure 28 : radiographie de tête montrant l'orientation des molaires non émergées (1 : première molaire supérieure, 2 : première molaire inférieure), d'après [25]

La position relative des dents permanentes non émergées par rapport aux dents déciduales est la suivante [figure 29] : pour les incisives, les dents permanentes sont plus linguales, tandis que pour les molaires, elles sont alignées.

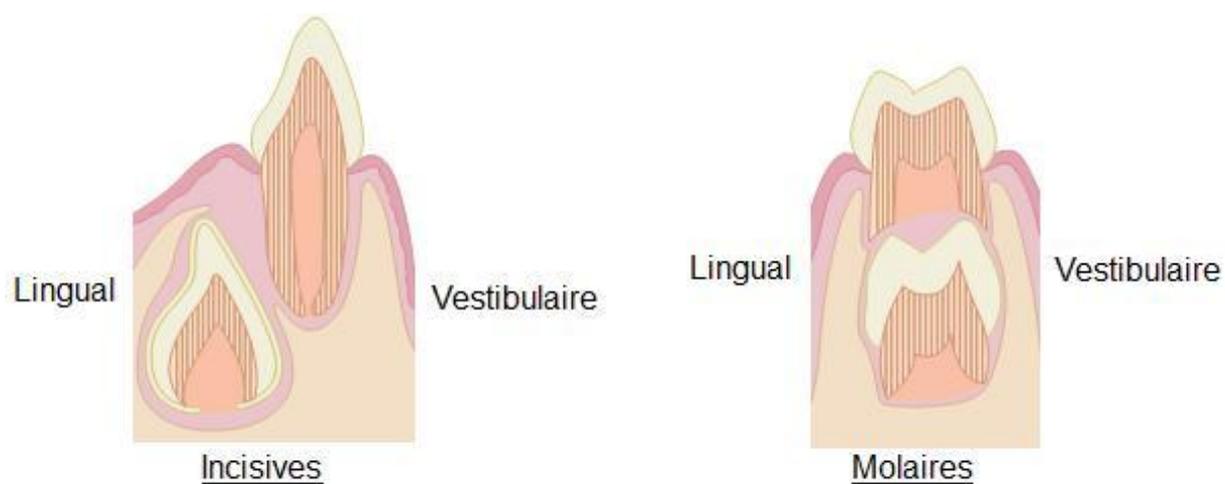


Figure 29 : emplacement des dents définitives par rapport aux dents déciduales, d'après [25]

C – Croissance et usure des dents

[25], [19], [2], [36]

Les dents permanentes du Cheval (excepté les canines) ont une croissance de type hypsodonte, c'est-à-dire une croissance qui se prolonge la majeure partie de la vie de l'animal. De façon concomitante, les dents s'usent par abrasion des unes sur les autres. Cela modifie profondément leur forme. Ces caractéristiques, avec les moments d'éruption, sont d'ailleurs utilisées pour déterminer l'âge approximatif du Cheval.

1. Dates d'éruptions

Tableau 1: dates d'éruption des dents déciduales et permanentes, d'après [19]

	Dents déciduales	Dents permanentes
Pinces	1 semaine	2,5 ans
Mitoyennes	4 à 6 semaines	3,5 ans
Coins	6 à 10 mois	4,5 ans
Canines	3,5 à 5 ans	
PM1 = 05	5 à 9 mois	
PM2 = 06	Durant les trois premières semaines de vie	2,5 ans
PM3 = 07		3 ans
PM4 = 08		4 ans
M1 = 09	9 à 15 mois	
M2 = 10	2 à 3 ans	
M3 = 11	4 ans	

Les dents émergent de la gencive à des âges déterminés [tableau 1], cependant sujets à quelques variations raciales et individuelles. Il est à noter pour les canines et les prémolaires qu'une dent inférieure sort plus tôt que son homologue sur l'arcade supérieure. A l'âge de cinq ans, la bouche du Cheval est faite.

2. Croissance des dents

[2], [19], [24], [25], [36], [39]

a/ Mécanisme général de l'éruption dentaire

Au cours du développement embryonnaire se forment des bourgeons dentaires qui évoluent en **follicules dentaires** contenant les organes responsables de la formation des tissus de la future dent. Tout d'abord est édifiée la couronne par la mise en place de dentine puis d'émail sur sa surface. Ensuite la racine commence à se former, elle croîtra durant plusieurs années. L'organe responsable de l'émail s'atrophie lorsque la couronne est achevée. La mise en place du cément débute plus tardivement et se prolongera longtemps.

L'éruption dentaire peut être divisée en trois phases.

La première est la **phase « pré-éruptive »**, au cours de laquelle le follicule croît et se déplace jusqu'à atteindre la gencive.

Ensuite a lieu la « **phase éruptive** » au cours de laquelle la dent émerge et s'installe dans sa position de mastication. Le mécanisme diffère pour les dents déciduales et les dents permanentes.

Pour les dents déciduales, il se crée une «voie de préparation» entre la dent et la muqueuse buccale par des modifications structurelles du tissu conjonctif et osseux. Cela est initié par des cytokines issues de la dent elle-même qui attirent des protéases et des ostéoclastes. La dent repousse ce tissu en émergeant, la gencive et la gomphose se forment, fixant la dent dans son alvéole. Parallèlement l'os «repousse» la dent en se remodelant.

Les dents permanentes se situent dans l'os maxillaire ou la mandibule, profondément aux dents déciduales. Leurs mouvements éruptifs provoquent une résorption de la racine des dents déciduales. Pour les incisives, du fait de leur position, les dents permanentes érodent surtout la face linguale des racines des dents déciduales. Les molaires, elles, provoquent la résorption de la majeure partie des dents déciduales. Cela induit le détachement et la chute des dents déciduales. Il arrive parfois que la résorption ne se fasse pas correctement suite à une malposition relative des dents déciduales et permanentes. Les dents permanentes ne peuvent alors pas occuper la place des déciduales et poussent à côté (lingualement pour les incisives). Il est à noter que la résorption des dents déciduales est génétiquement programmée et peut avoir lieu en l'absence de dents permanentes sous-jacentes, grâce à des phénomènes d'activation d'odontoclastes et d'apoptoses de fibroblastes du ligament périodontal. Mais l'éruption des dents permanentes accélère mécaniquement la chute des dents déciduales.

A la fin de la «phase éruptive», la dent émerge jusqu'à sa position de mastication. Le mécanisme de l'éruption des dents hypsodontes est assez complexe. Des études sur ces dents ont montré que les fibroblastes du ligament périodontal sont responsables de la force d'éruption [25]. A ce moment, la couronne est édifiée, et la racine commence à l'être.

La dernière phase de l'éruption des dents est appelée « **phase post-éruptive** ». Elle commence lorsque la dent a atteint le niveau d'occlusion. La croissance se poursuit par la synthèse de dentine. Les nouvelles couches se placent dans la cavité dentaire et plus profondément vers l'apex que les couches précédentes, d'où un allongement en longueur de la dent. Du cément se dépose sur la racine toute la vie de la dent. De plus, l'éruption se poursuit jusqu'à ce que la couronne soit totalement émergée.

Les principaux mécanismes de la phase post-éruptive sont liés à l'occlusion et à l'usure des dents. Plus une dent est usée, plus sa croissance est stimulée. En effet les forces de mastication stimulent le ligament périodontal qui répond en augmentant l'activité fibroblastique et donc l'éruption. Comme l'usure est liée aux forces de mastication, à mesure que la dent s'use par la face occlusale, elle croît par l'extrémité enchâssée.

La vitesse d'éruption des dents est évaluée à **2 à 3 mm par an**. Elle ralentit au cours de la vie du Cheval pour être proche de zéro chez les vieux animaux. Elle varie également avec le régime alimentaire et les soins dentaires réalisés. En effet si des phénomènes de malocclusion sont présents, les forces de mastication sont mal réparties et certaines dents sont plus usées que d'autres, ce qui modifie leur vitesse de croissance.

La dent s'adapte à trois types de contraintes : la croissance de la mâchoire, l'usure par la mastication (cf supra) et le maintien de l'accolement des dents entre elles.

En compensation de la croissance de la mâchoire, l'alvéole dentaire s'adapte pour maintenir la dent correctement fixée. Cela est permis par le remodelage de l'os alvéolaire et l'ajout de tissu osseux sur son plancher.

Le maintien de l'accolement des dents entre elles est permis par différents mécanismes. Les forces de mastication sont dirigées mésialement. Les fibres du ligament périodontal connectent les différentes alvéoles entre elles et provoquent des forces de traction

en direction mésiale. Enfin les forces éruptives et l'inclinaison des molaires distales sont elles aussi dirigées mésialement. Des études géométriques des dents permettent d'évaluer leur courbe et leur inclinaison [24]. Ainsi la courbure des dents est plus marquée distalement, et l'angle entre l'axe de la dent et la surface occlusale diminue distalement. Tout est fait comme si la dent 06 servait de base et que les autres dents poussaient en appuyant contre elle. Ainsi les dents restent parfaitement accolées [25].

b/ Incisives

La racine unique des incisives croît au cours de la vie du Cheval par l'extension de l'apex. En effet le cément s'étend grâce aux cémentoblastes du ligament périodontal qui se transforment en cémentocytes, puis se minéralisent. Parallèlement la couronne s'use. Les dents incisives ne sont donc jamais complètes: lorsque la couronne commence à s'user, la racine est peu édifiée, et quand elle sera complète, la couronne aura presque totalement disparu. La taille globale de l'incisive diminue avec le temps, car la vitesse d'éruption, quoique ralentie avec l'âge, reste plus importante que la vitesse de formation de la racine.

De plus, les odontoblastes produisent la dentine secondaire dans la cavité dentaire. Celle-ci croît donc en longueur et diminue en diamètre. Grâce à ce phénomène, la pulpe n'est jamais exposée à l'usure. Mais à terme, elle disparaît totalement (chez le Cheval très âgé,), alors la dent meurt puis chute, ou casse.

c/ Molaires et prémolaires

Le mécanisme est similaire pour les molaires et prémolaires. Il apparaît plus complexe en raison des racines et des cavités multiples. Les racines s'allongent au niveau de l'apex pendant les deux années qui suivent l'éruption, la couronne s'use à mesure que se produit l'éruption. Les cavités dentaires qui contiennent la pulpe s'emplissent progressivement de dentine secondaire. Les chambres pulpaire se retrouvent petit à petit séparées en une partie mésiale et une partie distale [figure 30].

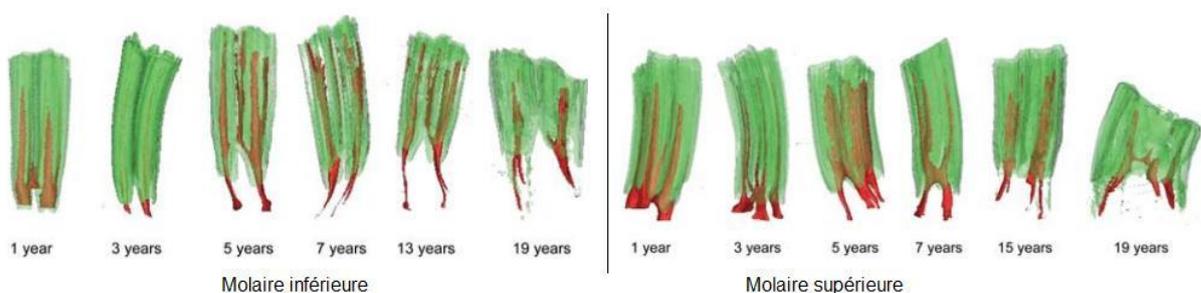


Figure 30 : évolution de la conformation interne des molaires avec l'âge (années post-éruption), vert : émail, rouge : pulpe (reconstitution 3D d'images de tomodensitométrie), d'après [39]

Lors du remplacement des dents, les molaires et prémolaires déciduales sont poussées vers l'extérieur par les permanentes, tandis que leur racine s'use. Finalement il n'en reste qu'une coiffe, qui se superpose aux dents permanentes avant de tomber.

3. Conséquences de la croissance et de l'usure sur la conformation et l'emplacement des dents

[2], [3], [14], [19], [25], [36]

Lorsque la mastication, ainsi que la structure et la composition des dents, sont normales, la vitesse d'usure est égale à la vitesse d'éruption, soit **deux à trois mm par an** (sauf sur les dents âgées où l'éruption ralentit). Deux facteurs peuvent modifier l'usure des dents : des anomalies du développement de la dentine, de l'émail ou leur minéralisation, et des forces de pression excessives. Le second cas est le plus fréquent. Comme vu précédemment, le taux d'éruption dépend des pressions exercées sur la dent et donc de l'usure qu'elle subit. C'est le ligament périodontal qui réagit à ces forces de pression en augmentant le nombre et la taille des fibres qui le composent. L'os alvéolaire réagit également. Lorsqu'une dent s'use trop et croît trop rapidement, sa longévité diminue.

a/ Incisives

Nous avons vu que la forme des incisives était en « berlingot allongé ». Il en résulte un changement dans la forme de la table d'usure au cours de la vie du Cheval. Elle apparaît au départ elliptique: allongée dans le sens mésio-distal, puis s'arrondit pour devenir successivement ovale, ronde, triangulaire, et finalement biangulaire: allongée dans le sens vestibulo-lingual [figure 31].

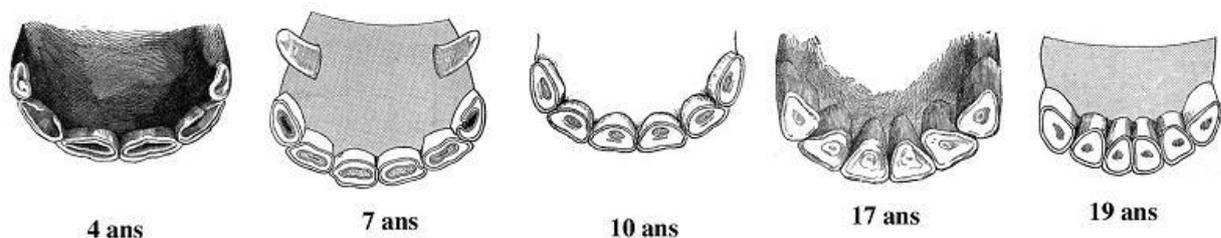


Figure 31 : évolution de la forme de la table dentaire des incisives, d'après [19]

De plus, le dessin de la table dentaire évolue: l'usure met progressivement à nu les différentes structures qui composent la dent [figure 32]:

- **Début d'usure** : la dentine qui entoure l'infundibulum apparaît, elle est elle-même entourée d'émail
- **Rasement** : l'usure a atteint le niveau du cément qui emplit l'infundibulum. L'étoile dentaire, qui correspond à la cavité dentaire comblée de dentine secondaire, apparaît.
- **Nivellement** : l'usure a dépassé le fond de l'infundibulum, le cément et l'émail centraux disparaissent.
- **Disparition de la couronne** : l'usure de la racine commence, il n'y a plus d'émail périphérique.

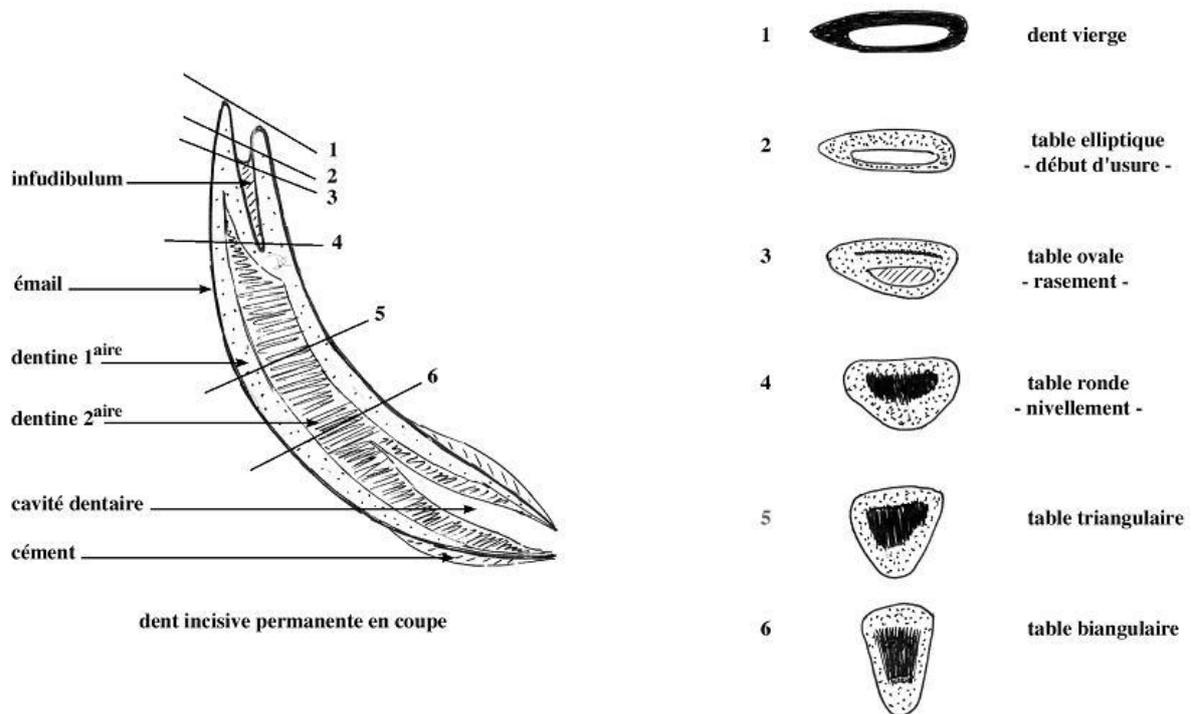


Figure 32 : évolution du dessin de la table dentaire des incisives, d'après [19]

L'étoile dentaire est au départ aplatie dans le sens vestibulo-lingual car la cavité dentaire est écrasée par l'infundibulum. Avec l'usure, la partie de la dent où l'infundibulum diminue de taille puis disparaît est atteinte, il laisse alors la place à la cavité qui apparaît plus ronde et plus centrée. A l'extrémité enchâssée, la cavité dentaire est ouverte, c'est l'orifice de l'apex. A mesure de la croissance de la racine et du comblement par la dentine secondaire, l'orifice s'amincit et s'aplatit dans le sens méso-distal. Il arrive que la cavité se sépare en plusieurs parties et donne deux foramen apicaux.

b/ Molaires et prémolaires

Du fait de l'anisognathie et des mouvements permis par la mandibule, avec la croissance et l'usure dentaires, la face vestibulaire des molaires et prémolaires supérieures subit une usure moindre. De plus, la dentine est moins résistante que l'émail. Il se forme alors très fréquemment, mais à titre anormal, à une vitesse variable selon les individus, des pointes d'émail saillantes, très connues sous le nom de **surdents** [figures 33 et 34]. De la même façon, ces pointes d'émail peuvent se retrouver en face linguale des molaires et prémolaires inférieures. Cela peut provoquer des gênes, voire des blessures de la langue et des joues. Des soins dentaires de râpage réguliers permettent d'éviter ces phénomènes.

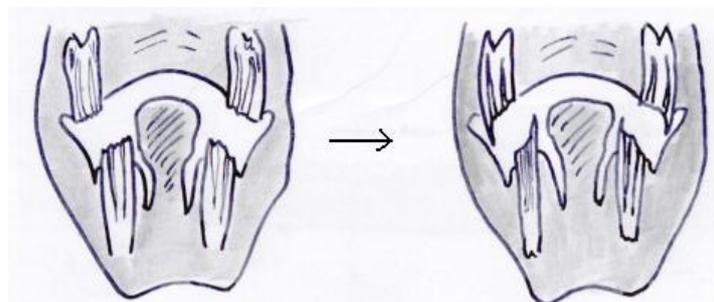


Figure 33 : schéma expliquant l'apparition de pointes d'émail, d'après [14]

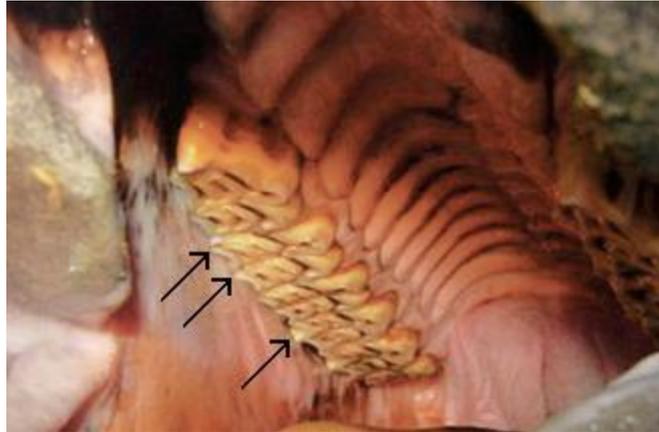


Figure 34 : photo de la bouche d'un cheval montrant des pointes d'émail saillantes sur les molaires supérieures droites, d'après [25]

Avec la croissance, les molaires et prémolaires subissent un déplacement vers l'avant [36]. En effet en comparant l'emplacement des molaires et prémolaires par rapport à certains points de la tête, il apparaît qu'elles avancent progressivement en direction rostrale. Cela est permis par des remodelages osseux permanents. Par ailleurs, avec l'éruption, les alvéoles dentaires sont peu à peu vidées, elles se rétractent et se combent d'os. Au niveau maxillaire, cela participe à l'augmentation de la taille des sinus, et au niveau de la mandibule, à l'affinement des ganaches.

D – L'occlusion

[1], [14], [25], [36]

1. Occlusion normale

Au repos, les incisives supérieures et inférieures sont en contact, les molaires et prémolaires ne le sont pas. Lors des mouvements de la mandibule, les molaires supérieures et inférieures entrent en contact. Leurs formes respectives permettent un accollement étroit : les reliefs d'émail et les cannelures s'emboîtent de façon relativement précise.

D'après Allen [1] et Klugh [25], une occlusion « normale » possède les caractéristiques suivantes :

- un mouvement latéral d'au moins 6 mm est possible entre la mandibule et le maxillaire
- les incisives forment une ligne horizontale vue de face
- l'angle d'occlusion des incisives est de 10 à 15° (cf supra)
- les molaires et prémolaires ont globalement toutes la même hauteur, légèrement augmentée pour les dents les plus rostrales
- leur ligne d'occlusion est régulière, suit la ligne de Spee, et est symétrique entre les arcades droites et gauches
- l'angle de la table molaire est de 12 à 15° par rapport à l'horizontale
- l'occlusion des molaires et prémolaires est de 90 à 100% des deux côtés (cf infra)
- sur une arcade donnée, toutes les molaires et prémolaires entrent en contact avec leurs homologues en même temps.

2. Evaluation de l'occlusion des molaires et prémolaires

Pour évaluer l'occlusion des molaires, la largeur de la table des molaires effectivement active dans l'occlusion lors de la mastication est évaluée. Normalement elle doit être de 90 à 100%. Deux tests peuvent être utilisés [1]:

- Test d'excursion latérale [figure 35]:

Prendre la mandibule avec une main et tenir le chanfrein avec l'autre. Soulever les lèvres pour visualiser les incisives. Faire glisser la mandibule vers un côté. Lorsque les molaires entrent en contact, les incisives supérieures perdent le contact avec les incisives inférieures. Ensuite poursuivre le glissement de la mandibule (les molaires et prémolaires sont alors toujours en contact) jusqu'à rencontrer une résistance : cela correspond à l'excursion maximale la mandibule. Il convient alors d'évaluer, sur toute la longueur du déplacement de la mandibule, le pourcentage pour lequel les molaires sont en contact (donc le pourcentage d'occlusion). A 100% d'occlusion, les molaires entrent en contact dès le début du déplacement, la séparation des incisives supérieures et inférieures se produit dès le début du déplacement de la mandibule. A 50% d'occlusion, la séparation des incisives se produit seulement à mi-chemin du déplacement total possible.

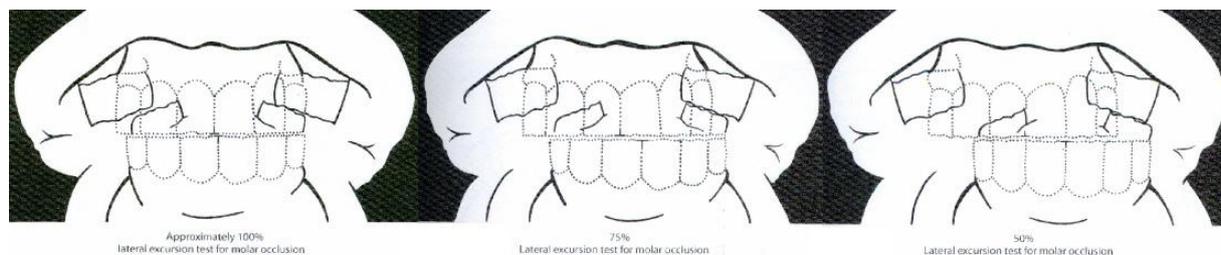


Figure 35 : test d'excursion latérale, de gauche à droite : 100% d'occlusion, 75% d'occlusion et 25% d'occlusion, d'après [1]

- Examen visuel du contact des molaires :

Il convient de regarder également le contact des molaires vu de profil, bouche fermée, en rétractant les lèvres. Normalement toutes les molaires et prémolaires sont en contact en même temps, il n'y a d'espace entre une molaire ou prémolaire inférieure et son homologue supérieure. De plus, la courbe de Spee doit être régulière. Si ce n'est pas le cas, l'occlusion n'est pas correcte et toutes les dents ne participent pas avec la même force à la mastication.

3. Défauts d'occlusion

Des défauts d'occlusion peuvent toucher les incisives, les molaires et les prémolaires ou bien les trois.

Concernant les incisives, il existe des **prognathies** ou des **brachygnathies**. Lorsque la mâchoire supérieure est plus courte que la mandibule, les incisives inférieures dépassent des supérieures, ce défaut étant appelé « mâchoire de bouledogue ». Le défaut contraire est un « bec de perroquet » avec les incisives supérieures qui se placent en avant des inférieures. Il existe également des **défauts d'alignement des incisives** avec des parties émergées de longueur inégale: dent en escalier, en arc ou en diagonale [figure 36]. Ces problèmes se compliquent et s'auto-amplifient par une usure anormale. Ils peuvent également affecter l'occlusion des molaires et prémolaires, en limitant mécaniquement les mouvements de la mandibule par rapport au crâne, et donc la surface de contact entre les tables molaires

supérieures et inférieures. En effet une prognathie ou brachygnathie limite le mouvement rostro-caudal de la mandibule, cela provoque alors une usure moindre des premières prémolaires et des dernières molaires. En revanche, un défaut d'alignement des incisives va limiter la mobilité latérale de la mandibule par rapport au maxillaire, et donc provoquer un défaut d'usure des faces linguales et vestibulaires des tables molaires.



Figure 36 : photos montrant des défauts d'occlusion des incisives, A : bec de perroquet, B : tête de bouledogue, C : incisives en diagonale, D : incisives en arc, d'après [25]

Concernant les molaires et les prémolaires, il existe des **dentures en escalier** et des **dentures ondulées** [figure 37]. Elles correspondent à des excès d'usure sur une arcade et des défauts d'usure des dents correspondantes sur l'autre arcade. Les causes peuvent être des caries, des fractures, une augmentation de l'espace inter-dentaire ou une dent manquante.

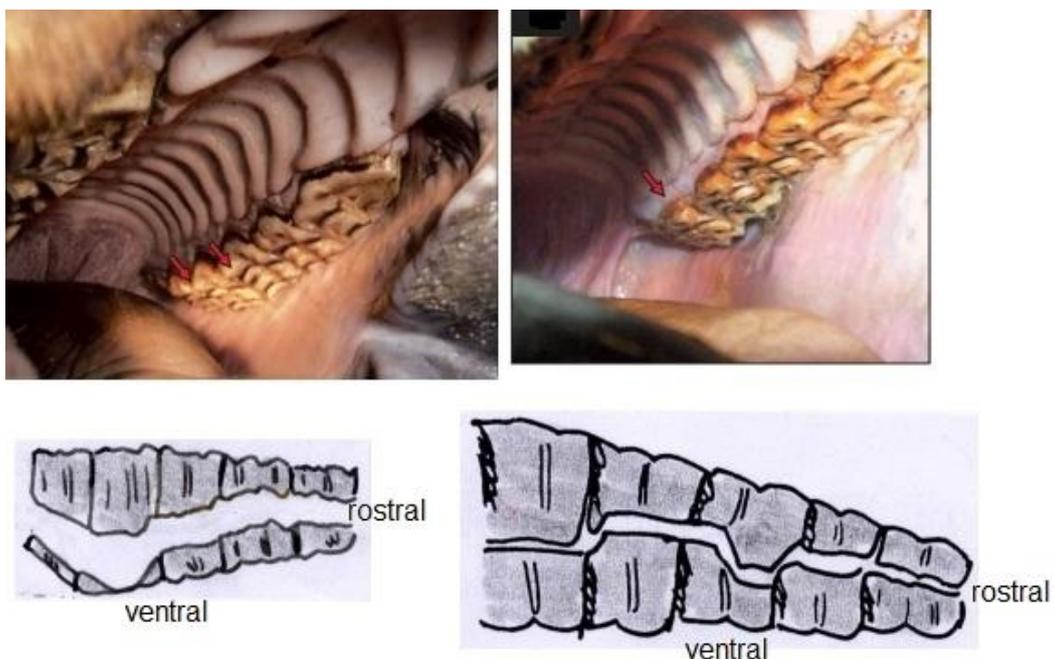


Figure 37 : photos (vue rostro-latérale) et schémas (vue latérale) montrant à gauche une table molaire ondulée et à droite une table molaire en escalier, d'après [25] (photos) et [14] (schémas)

On observe parfois aussi une **superposition incomplète des arcades**. Cela peut être en lien avec une prognathie ou une brachygnathie, mais ce n'est pas nécessairement le cas. Si l'arcade supérieure est en avant, les premières prémolaires supérieures 106 et 206 dépassent des inférieures. Elles subissent alors un défaut d'usure qui provoque l'apparition d'une pointe mésialement et qui entretient le phénomène. De plus les dernières molaires inférieures 311 et 411 seront elles aussi sans vis-vis d'où là aussi l'apparition de pointes. Le phénomène inverse existe avec une arcade inférieure en avant de l'arcade supérieure. Il y a alors une remontée des premières prémolaires inférieures 306 et 406 et une pointe sur la partie distale des dernières molaires supérieures 111 et 211. C'est ce défaut d'occlusion qui nous intéressera dans la partie expérimentale [figure 38].

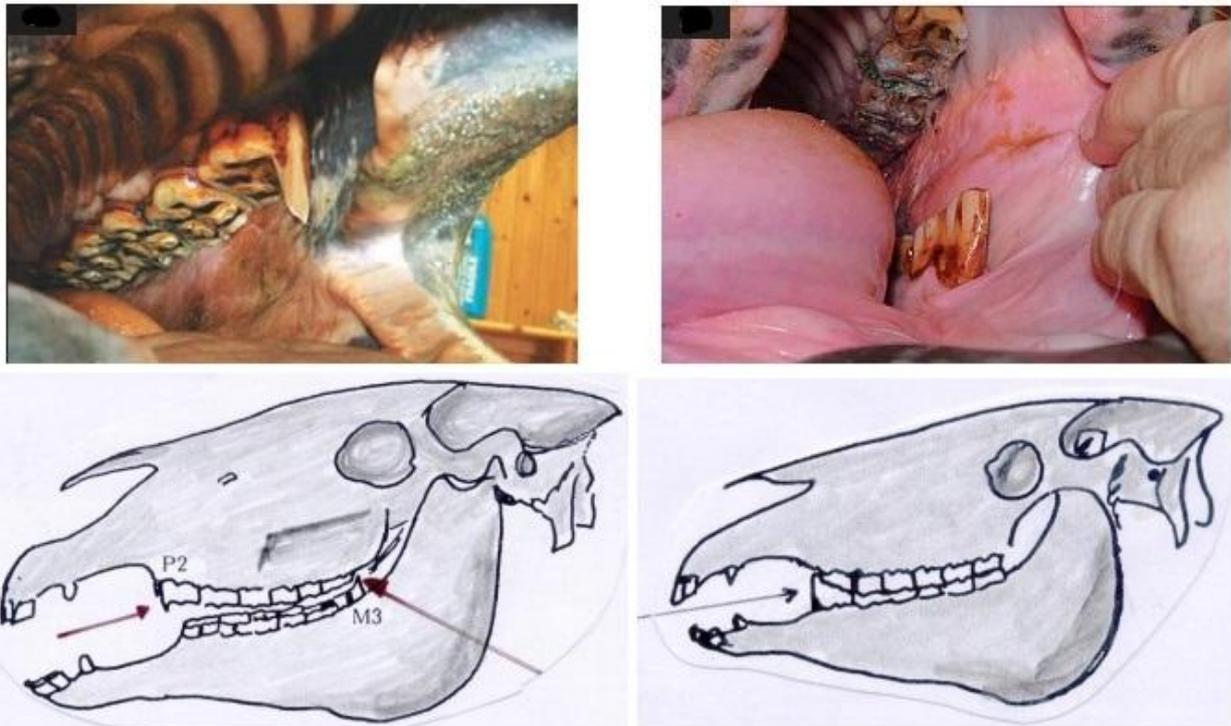


Figure 38 : photos et schémas montrant à gauche une procidence de 206 et à droite une procidence de 306, d'après [25] (photos) et [14] (schémas)

Nous avons vu qu'il pouvait exister des **surdents** sur la face vestibulaire des molaires et prémolaires supérieures et sur la face linguale des molaires et prémolaires inférieures. Du fait de la gêne et la douleur engendrées par les plaies jugales et linguales, les surdents peuvent provoquer une mobilisation moindre de la mandibule et créer ainsi des défauts d'usure puis d'occlusion.

Il peut également exister de graves défauts dans le développement de la tête avec des mâchoires en **torsion** qui impactent sévèrement l'occlusion.

Les malocclusions s'expliquent par la physiologie de la croissance et de l'usure des dents [25]. Normalement, le taux d'éruption compense l'usure des dents, et ce de façon homogène sur toutes les dents. Mais parfois l'adaptation physiologique est dépassée. Si une dent est trop longue, c'est que soit elle ne s'use pas assez, soit elle pousse trop, soit les deux phénomènes en même temps. Pour une dent trop petite, c'est l'inverse. Dès qu'une malocclusion apparaît, les forces sont augmentées sur certaines dents et diminuées sur d'autres. Il y a alors une gêne mécanique aux mouvements de la mandibule. Cela aggrave la

mauvaise répartition des forces. Il se crée donc un cercle vicieux dont la sortie n'est possible qu'en rééquilibrant l'occlusion par la dentisterie.

L'alimentation joue un rôle important dans l'occlusion. Selon le type d'aliment (sa dureté et son humidité, donc la force nécessaire à sa mastication), les mouvements de mastication seront plus ou moins amples donc les forces plus ou moins bien réparties et l'usure plus ou moins régulière [25]. Ainsi les mouvements latéraux et rostro-caudaux de la mandibule sont peu amples avec des céréales, un peu plus avec le foin, et très amples avec l'herbe.

II. L'articulation temporo-mandibulaire

A – Anatomie

[3], [4], [20], [33]

L'articulation temporo-mandibulaire (ATM) unit chaque mandibule à l'os temporal correspondant. Comme les deux mandibules sont liées par une symphyse, elles forment une unité fonctionnelle dont les mouvements sont synchrones. L'ATM est une articulation de type synoviale : elle possède deux surfaces articulaires, séparées par la synovie contenue par une capsule. Elle a la particularité de contenir également un disque articulaire.

1. Os et surfaces articulaires

a/ La mandibule

La surface articulaire est appelée **tête** de la mandibule. Elle est portée sur la partie dorsale de la branche de la mandibule, sur un relief appelé **processus condyloïde** ou **condyle**. Elle a une forme cylindrique allongée dans le sens médio-latéral, convexe médio-latéralement et très convexe rostro-caudalement. Les extrémités forment une saillie, plus marquée médialement. Son grand axe est légèrement oblique dans le sens médio-caudal (10° par rapport à l'axe bicondyloïde). La tête est rattachée à la branche de la mandibule par un **col**. Rostralement au condyle se trouve une échancrure, l'**incisure mandibulaire**, puis une autre éminence, le **processus coronoïde**. La surface articulaire est recouverte de cartilage [figures 39 et 40].

b/ L'os temporal

La surface articulaire de l'os temporal est la **fosse mandibulaire**, également recouverte de cartilage. La forme de l'os temporal est assez complexe. Il comporte trois parties : la partie pétreuse, la partie tympanique et la partie écailleuse. Sur la face latérale de la partie écailleuse, se trouve le processus zygomatique, qui rejoint l'os zygomatique pour former l'arcade zygomatique. A la base du processus zygomatique, ventralement, se situe la surface articulaire de l'ATM et ses annexes. Elle comporte dans le sens rostro-caudal le **tubercule articulaire**, la **fosse mandibulaire** et le **processus rétro-articulaire** [figures 41, 42 et 43].

Le tubercule articulaire a une forme allongée dans le sens médio-latéral avec une très légère inclinaison médio-caudale. Ses extrémités sont légèrement élargies. La fosse mandibulaire est peu profonde et est délimitée caudalement par le processus rétro-articulaire, épais et vertical. Le jeu de l'articulation est limité par ce processus qui forme une butée. L'ensemble tubercule articulaire – fosse mandibulaire – processus rétro-articulaire est recouvert de cartilage. Il en résulte que la surface articulaire de l'os temporal n'est pas vraiment concordante avec celle de la mandibule.

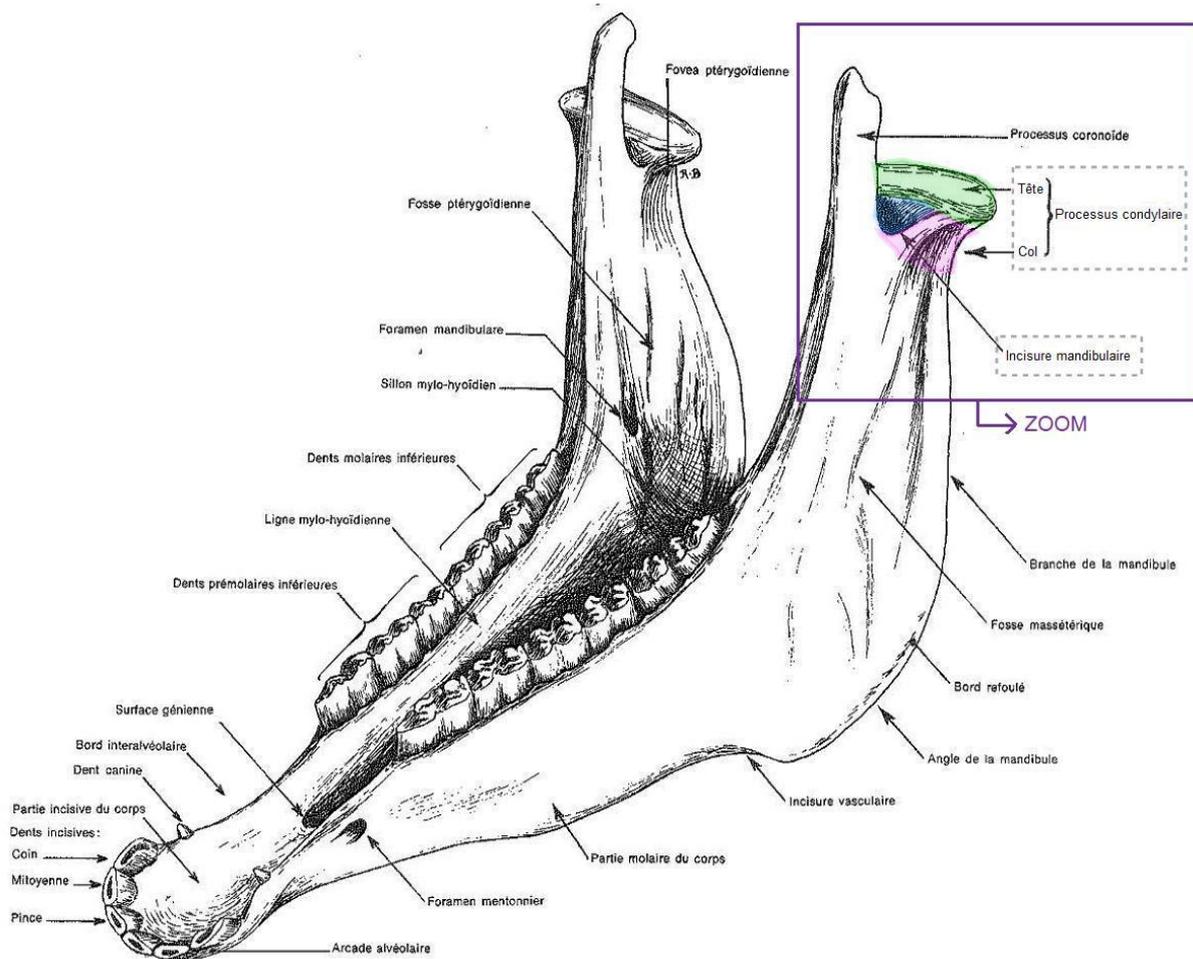


Figure 39 : dessin de la mandibule, d'après [3]

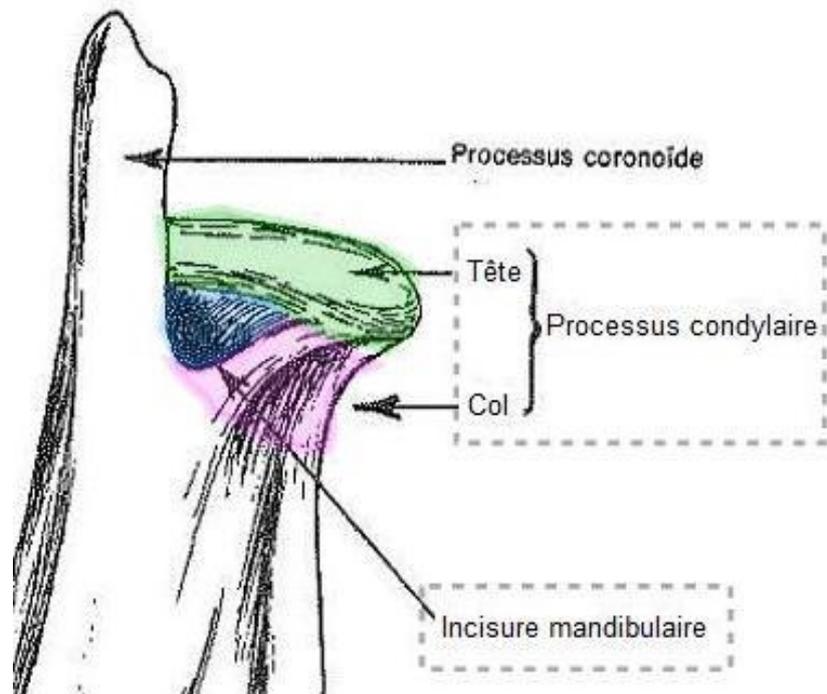


Figure 40 : détail de la mandibule montrant la surface articulaire de l'ATM, d'après [3]

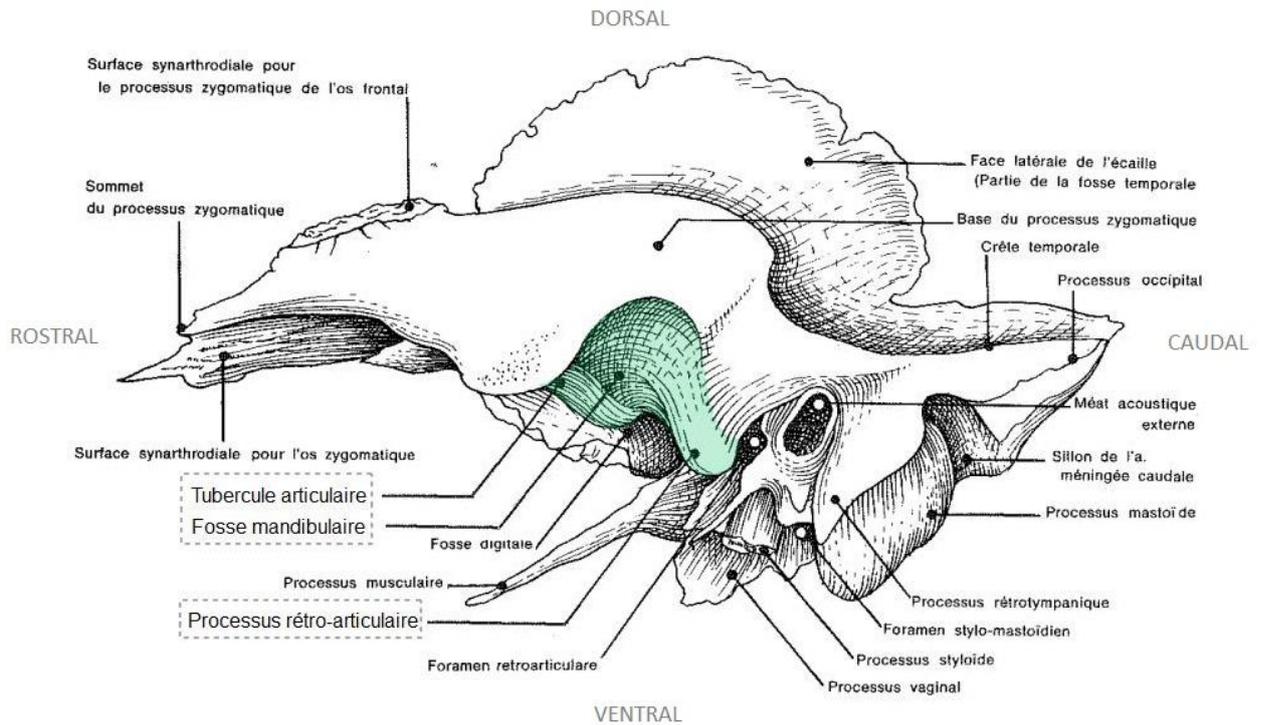


Figure 41 : os temporal gauche, vue latérale, d'après [3]

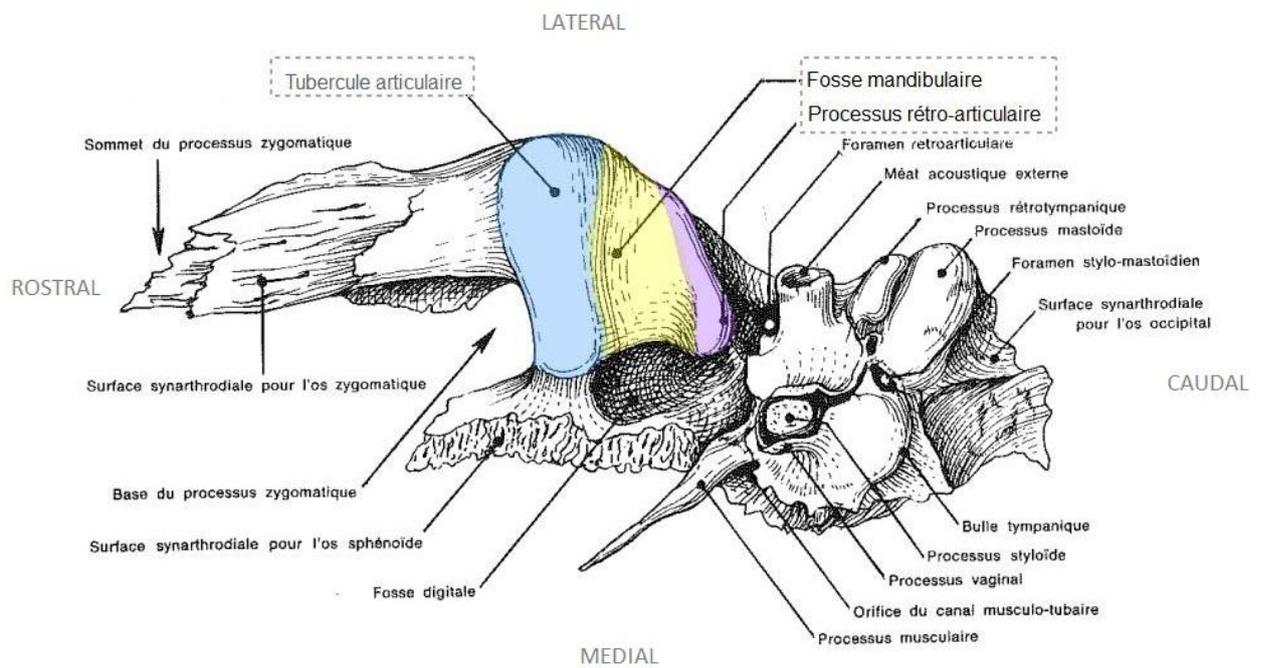


Figure 42 : os temporal gauche, vue ventrale, d'après [3]



Figure 43 : photo de l'os temporal gauche en vue latérale, montrant la surface articulaire, 1 : fosse mandibulaire, 2 : tubercule articulaire, 3 : processus rétro-articulaire, d'après [25]

2. Le disque articulaire

La particularité de l'ATM est de posséder un **disque articulaire** entre les deux surfaces articulaires. Il s'agit d'une lame fibrocartilagineuse, avec une partie centrale et une partie périphérique.

Il a une forme globalement ovale, légèrement en «L» (du fait du processus rétro-articulaire), avec une concavité plus marquée en face ventrale. Il possède du tissu adipeux au bord caudal, qui vient se placer en regard de la partie caudale de la synoviale dorsale [figure 44].

Dans l'articulation, il se moule rostralement au tubercule articulaire de l'os temporal, et est très épais à cet endroit. Caudalement il forme une extension fibreuse qui se place entre la fosse mandibulaire et la base du processus rétro-articulaire d'une part, et le revers caudal de la tête de la mandibule d'autre part.

Le disque est inséré sur toute sa périphérie sur la capsule articulaire. Il délimite ainsi deux compartiments indépendants dans la cavité articulaire.

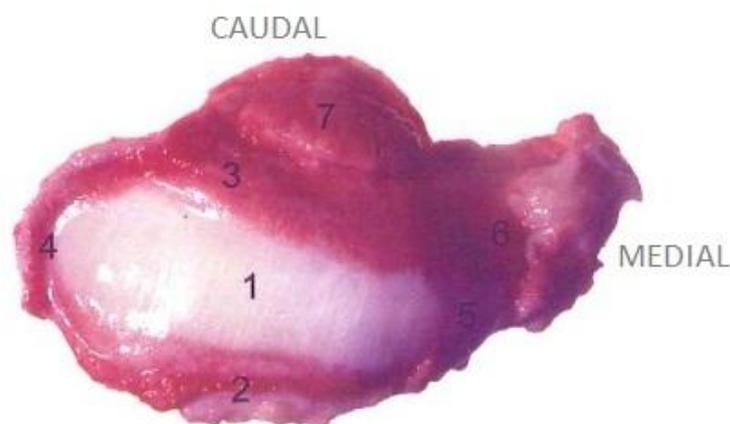


Figure 44 : photo du disque articulaire droit en vue dorsale après injection vasculaire, d'après [33], 1 : face dorsale, 2 : bord rostral, 3 : bord caudal, 4 : bord latéral, 5 : bord médial : 6 : extension fibreuse caudale, 7 : tissu adipeux intra-articulaire

3. Synoviales

Une membrane synoviale tapisse chaque cavité articulaire, constituant la face profonde de la capsule. La **synoviale dorsale** est plus étendue que la ventrale. Elle possède un large compartiment caudal et un petit compartiment rostral, car elle tapisse également le revers dorsal du processus rétro-articulaire et la partie adjacente de la fosse mandibulaire. La **synoviale ventrale**, plus petite, est également composée d'une partie rostrale prolongée par une partie caudale. Les synoviales produisent la synovie qui emplit les deux cavités articulaires et constitue dans chacune une sorte de coussinet qui se glisse entre l'os et le disque articulaire.

4. Moyens d'union

a/ Capsule articulaire

La capsule articulaire enveloppe l'articulation, en prenant appui sur les marges des surfaces articulaires, formant un manchon entre les deux. Elle est assez lâche et, de ce fait, ne plaque pas les deux os l'un sur l'autre. Elle est composée de deux couches : une couche fibreuse extérieurement qui s'attache au disque et une couche synoviale intérieurement qui limite chacune des deux cavités. La capsule est mince rostralement et médialement, et épaissie latéralement et caudalement pour donner les ligaments.

b/ Ligaments

L'ATM possède un ligament fibreux, blanc et relativement épais : le **ligament latéral**. Il part, sur l'os temporal, de la base du processus zgomatique et de l'extrémité latérale du tubercule articulaire. Il rejoint la mandibule sur le col.

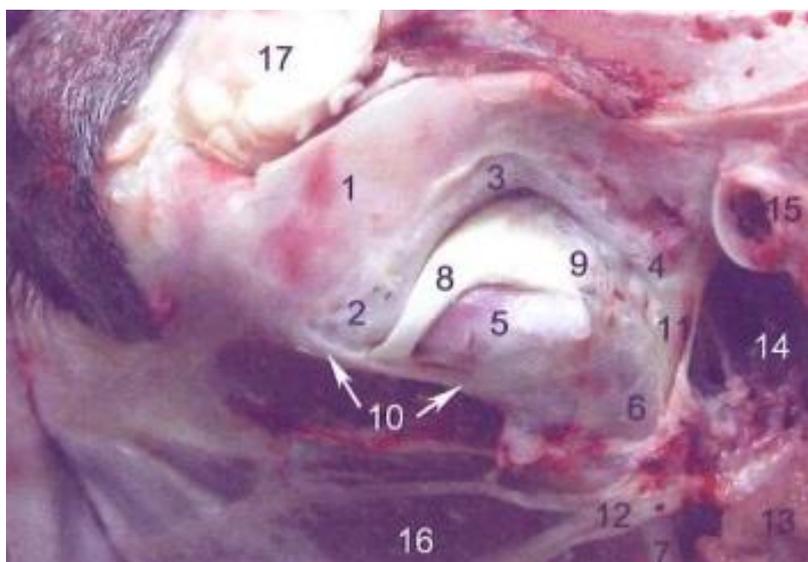


Figure 45 : photo de l'ATM gauche en vue dorso-caudale, vaisseaux et capsule articulaire retirés, d'après [33] 1 : processus zgomatique de l'os temporal, 2 : tubercule articulaire, 3 : fosse mandibulaire, 4 : processus rétro-articulaire, 5 : condyle mandibulaire, 6 : col de la mandibule, 7 : partie caudale de la branche mandibulaire, 8 : disque articulaire, 9 : extensions fibreuses caudales du disque, 10 : ligament latéral, 11 : ligament caudal, 12 : nerf facial, 13 : glande parotide, 14 : poche gutturale, 15 : méat acoustique externe, 16 : muscle masséter, 17 : tissu adipeux extra-orbitaire

c/ Muscles masticateurs

Les muscles masticateurs présents autour de l'ATM prennent également part à sa contention crânialement et médialement : ce sont eux qui plaquent la mandibule contre l'os temporal.

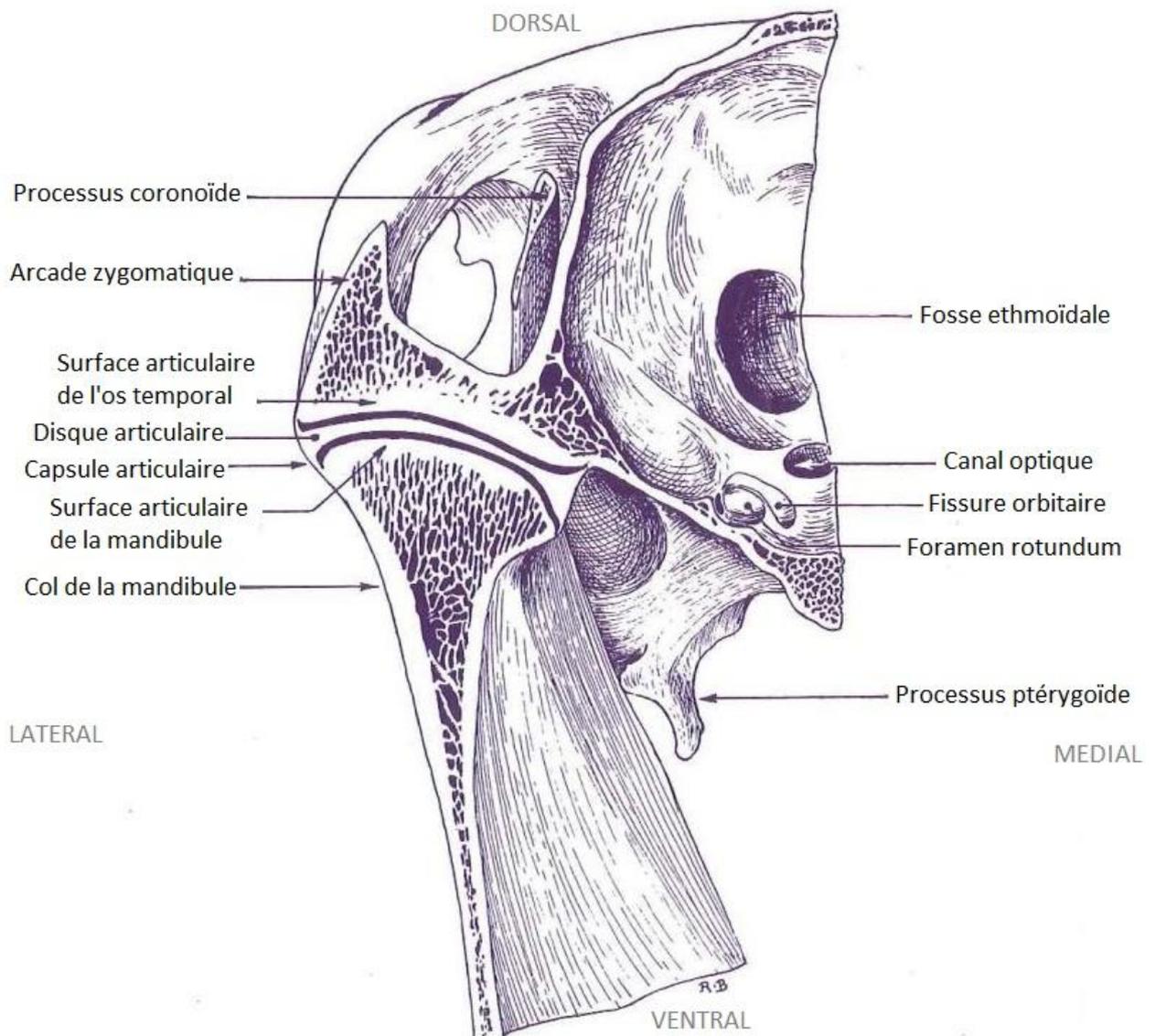


Figure 46 : ATM en coupe transversale, vue rostrale, d'après [3]

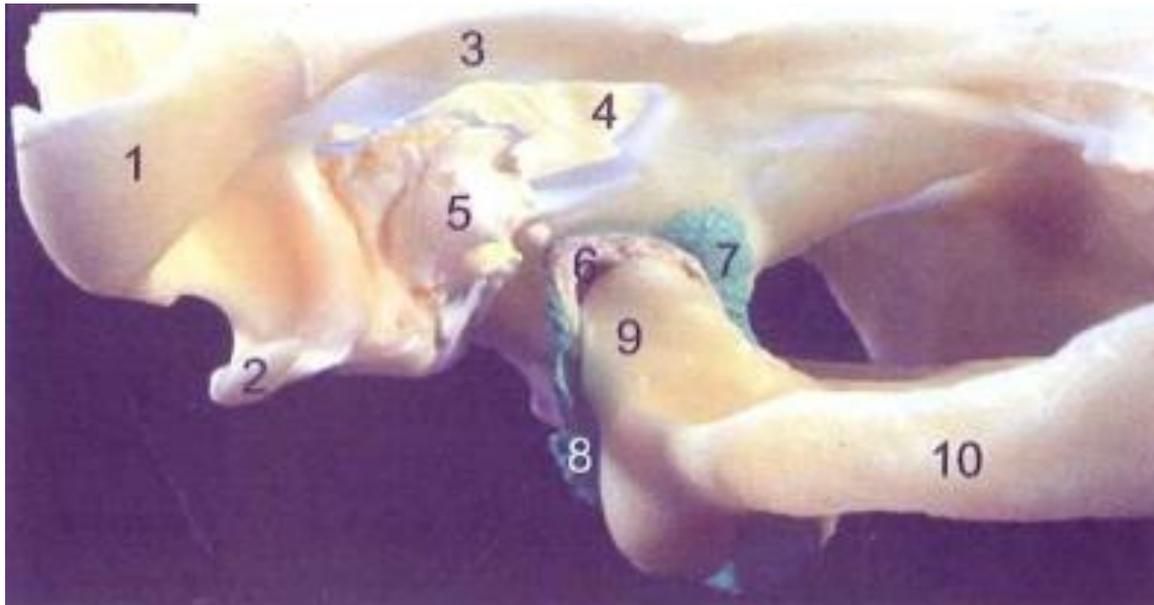


Figure 47 : photo de l'ATM gauche en vue ventro-médiale, montrant les reliefs osseux, le disque et les synoviales, d'après [33] ; 1 : condyle occipital, 2 : processus paracondylaire, 3 : base de l'os occipital, 4 : foramen lacerum, 5 : partie pétreuse et tympanique de l'os temporal, 6 : disque articulaire, 7 : synoviale dorsale, 8 : partie caudale de la synoviale dorsale, 9 : condyle mandibulaire, 10 : branche de la mandibule

5. Rapports

[33]

L'ATM entre en contact avec de nombreuses structures de la région.

Latéralement, elle est cachée par la **glande parotide** recouverte du très fin **muscle parotido-auriculaire**, et par le muscle **masséter** ; elle entre en rapport avec **l'artère et la veine transverses de la face**, ainsi que le rameau transverse de la face du **nerf auriculo-temporal** et le **nerf facial**.

Médialement, la capsule articulaire entre en contact caudalement avec le **nerf facial** et les **vaisseaux temporaux superficiels**. Le **nerf massétérique** passe dans l'incisure mandibulaire et s'entoure de fibres de la capsule articulaire. Médialement l'ATM est en relation avec l'**articulation temporo-hyoïdienne**, la partie dorsale de l'**os stylo-hyoïde**, le **méat acoustique externe** et le diverticule du tube auditif (plus couramment appelé **poche gutturale**) qui lui est associé, le **plexus veineux ptérygoïde**, le **nerf mandibulaire**. L'espace rétro-articulaire (caudalement au processus rétro-articulaire [figures 41 et 42]) est rempli par le ligament caudal, lui-même entouré du nerf facial, attaché de la capsule articulaire au méat acoustique externe et à la fissure pétro-tympanique.

B - Fonctionnement

1. Mouvements et muscles masticateurs

Les mouvements possibles de la mandibule par rapport au reste de la tête sont les suivants:

- **Opposition** : par élévation ou abaissement de la mandibule, ils sont de très faible amplitude chez le Cheval

- **Glissement** : par protraction ou rétraction de la mandibule, leur amplitude est assez faible
- **Diduction** : par abduction et adduction, ce sont eux qui ont la plus grande amplitude.

Les muscles masticateurs sont au nombre de **cinq** et prennent en sandwich la branche mandibulaire, il apparaît donc des muscles d'un plan profond et des muscles d'un plan superficiel [figures 48 et 49].

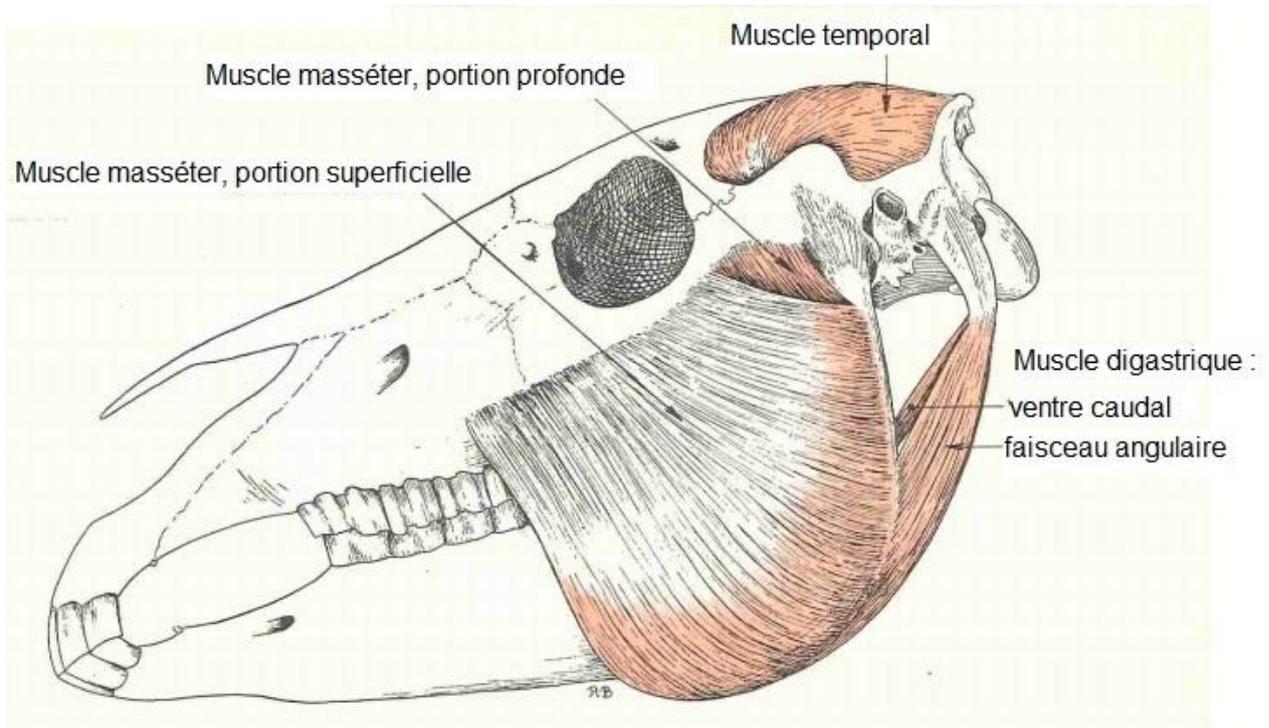


Figure 48 : muscles masticateurs, vue latérale gauche de la tête, d'après [4]

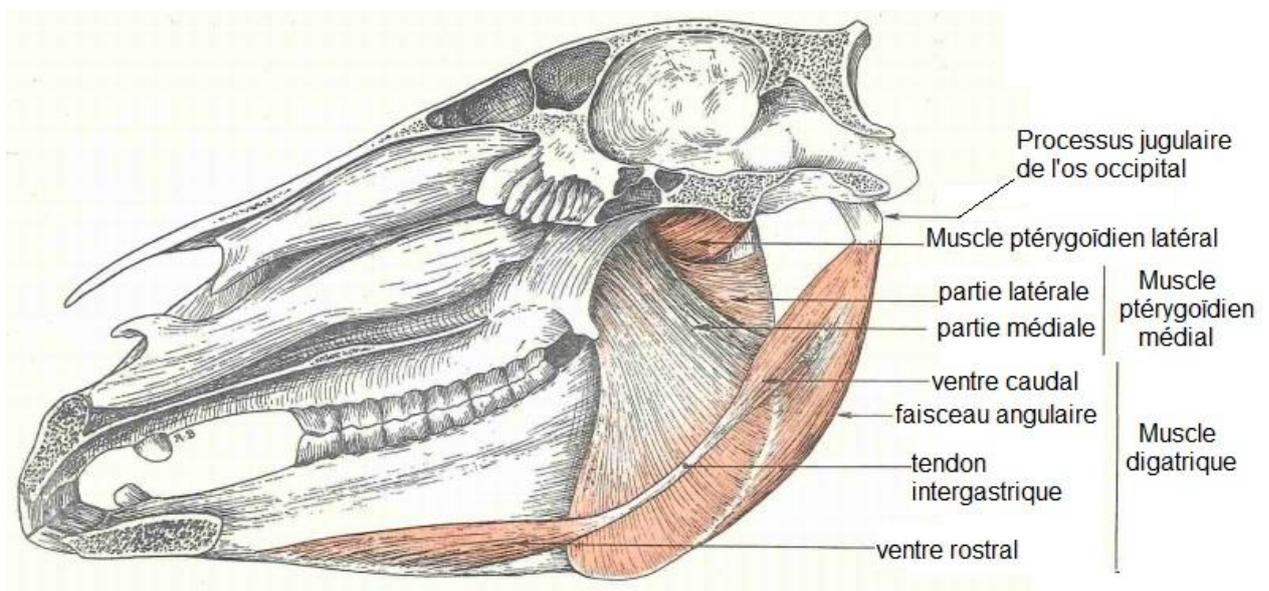


Figure 49 : muscles masticateurs, vue médiale gauche de la tête, d'après [4]

a/ Le muscle masséter

i. Trajet

Il va de l'arcade zygomatique à la mandibule, couvrant la branche de celle-ci. C'est un muscle **superficiel** qui correspond au plat de la joue.

ii. Conformation

Il a approximativement une forme de quadrilatère et est plutôt plat et large chez le Cheval. Il comprend deux parties, une superficielle et une profonde, moins large et s'étendant plus caudalement. Ces deux parties ne sont distinguables qu'au voisinage de l'ATM.

Les faisceaux de la partie superficielle sont très obliques, orientés dans le sens ventro-caudal. Les faisceaux de la partie profonde sont, eux, plutôt orientés dans le sens dorso-ventral.

iii. Insertions

L'insertion fixe est la face latérale de l'arcade zygomatique, la crête faciale jusqu'au tubercule facial. L'insertion mobile est la face latérale de la branche mandibulaire.

Plus précisément, la partie superficielle prend naissance sur la moitié rostrale de l'arcade zygomatique, toute la crête faciale et le tubercule facial. La partie profonde part de toute la longueur de l'arcade zygomatique et la crête faciale. L'insertion mobile de la partie superficielle comprend le bord caudal de la branche de la mandibule, la fosse massétérique et l'angle de la mandibule jusqu'à l'incisure des vaisseaux faciaux. En revanche l'insertion mobile de la partie profonde correspond uniquement à la fosse massétérique.

iv. Rôles

Le muscle masséter est un agent de **l'élévation** de la mandibule. Il est également **protracteur**.

v. Rapports et fascias

Le muscle masséter est recouvert par le **fascia massétérique**. Ce fascia part de la crête faciale et l'arcade zygomatique pour rejoindre le bord ventral de la mandibule. Il se prolonge caudalement par le **fascia parotidien** à la surface de la glande parotide. Il émet une lame profonde qui contourne le muscle masséter vers la face rostrale de la branche mandibulaire, et une lame superficielle en direction de la région buccale. Il s'unit également à l'expansion zygomatique du muscle cutané du cou (couramment appelé muscle zygomatique), l'unissant ainsi au **fascia superficiel de l'encolure**.

b/ Le muscle temporal

i. Trajet

Le muscle temporal est un muscle **superficiel** qui occupe la fosse temporale de la tête, qu'il relie au processus coronoïde de la mandibule.

ii. Conformation

Il prend la forme de la fosse temporale qu'il comble. Ses fibres convergent en une intersection tendineuse centrale qui se poursuit jusqu'au processus coronoïde.

iii. Insertions

L'insertion fixe correspond à toute la fosse temporale, la ligne temporale, la crête sagittale externe et la crête infratemporale. L'insertion mobile est le processus coronoïde (qui semble être la partie ossifiée de la lame tendineuse qui termine ce muscle) et le bord rostral de la branche mandibulaire.

iv. Rôles

C'est un muscle **élevateur** de la mandibule.

v. Rapports et fascias

Ses faisceaux les plus profonds s'attachent au **fascia temporal**. Ce fascia recouvre la fosse temporale, faisant d'elle une loge presque close. Il s'attache sur le pourtour de la fosse **temporale** : au niveau du ligament orbitaire, du bord caudal du processus zygomatique de l'os frontal, la ligne temporale, la crête **sagittale** externe, la crête nuchale et la crête temporale. Ventralement, il donne deux feuillets, un feuillet superficiel latéralement à l'arcade zygomatique et se rattachant au fascia massétérique, et un feuillet profond médialement à l'arcade zygomatique.

Ventralement, le muscle temporal sort de la loge délimitée par le fascia temporal, médialement à l'arcade zygomatique. Il est accompagné rostralement par le **corps adipeux** extra-périorbitaire qui amortit les mouvements des organes voisins au cours des mouvements de l'ATM. Ce corps adipeux occupe tout l'espace entre le périorbite et le muscle temporal, correspondant à la région de la salière - d'où son nom - et il est plus ou moins empli selon l'état d'embonpoint du Cheval.

c/ Le muscle ptérygoïdien médial

i. Trajet

Il s'agit d'un muscle masticateur **profond**. Il est situé médialement à la branche mandibulaire. Son trajet va de la base du crâne à la mandibule.

ii. Conformation

Le muscle ptérygoïdien médial a une forme d'éventail aplati, avec des fibres irradiant à partir de la base du crâne. Il est particulièrement fibreux en région ptérygoïdienne et s'élargit, devenant plus charnu, en région mandibulaire. Chez le Cheval, il se divise incomplètement en deux parties, une médiale et une latérale. Les fibres de la partie médiale, principale, ont une direction verticale, tandis que celles de la partie latérale sont obliques en direction caudo-ventrale.

iii. Insertions

L'insertion fixe est à la base du crâne, sur la fosse ptérygo-palatine; tandis que

l'insertion mobile est dans la fosse ptérygoïdienne de la branche mandibulaire et sur le bord caudal de l'angle mandibulaire.

iv. Rôles

Le muscle ptérygoïdien médial est la fois **élevateur**, **protracteur** de la mandibule, et **adducteur/abducteur**. En effet, en se contractant, il tire médialement la mandibule du côté homolatéral, et repousse latéralement la mandibule controlatérale.

d/ Le muscle ptérygoïdien latéral

i. Trajet

Comme le muscle ptérygoïdien médial, le muscle ptérygoïdien latéral s'étend de la base du crâne à la mandibule, rostro-médialement à l'ATM. C'est un muscle masticateur **profond**.

ii. Conformation

Il s'agit d'une masse charnue très réduite, courte et épaisse, bien distincte du muscle ptérygoïdien médial chez le Cheval. Il se sépare de celui-ci au niveau de l'insertion mobile, par le passage entre eux du faisceau vasculo-nerveux alvéolaire inférieur provenant de la base du crâne.

iii. Insertions

L'insertion fixe est celle du muscle ptérygoïdien médial, la fosse ptérygo-palatine. L'insertion mobile est la fossette ptérygoïdienne, juste rostralement à la tête de la mandibule, dorsalement au trou mandibulaire. Dans la pratique, les deux muscles ptérygoïdiens constituent une seule masse musculaire partiellement divisée en deux par le passage du paquet vasculo-nerveux alvéolaire inférieur qui s'étend de la base du crâne au trou mandibulaire.

iv. Rôles

Il agit de la même façon que le muscle ptérygoïdien médial.

c/ Le muscle digastrique

i. Trajet

Le muscle digastrique est un muscle **profond** qui s'étend de l'os occipital à la mandibule.

ii. Conformation

Il tient son nom de sa conformation en deux parties : un **ventre caudal** et un **ventre rostral** assez peu développés au regard des autres muscles masticateurs. Ces deux ventres sont reliés par un **tendon intergastrique** situé à la face médiale de la mandibule, possédant la particularité de perforer le tendon du muscle stylo-hyoïdien. Le ventre caudal développe également un **faisceau angulaire** très puissant qui rejoint l'angle de la mandibule en

s'élargissant de façon importante.

iii. Insertions

L'insertion fixe, qui concerne le ventre caudal, est le processus jugulaire de l'os occipital. Sur la mandibule, le ventre rostral s'insère au revers médial du bord ventral, sur presque toute la longueur de la partie molaire. Le faisceau angulaire rejoint l'angle de la mandibule.

iv. Rôles

C'est un muscle **rétracteur** de la mandibule. En théorie, il permet aussi l'abaissement de la mandibule, mais en pratique, cela se fait simplement par la gravité. De plus il possède une action sur l'**appareil hyoïdien** chez le Cheval, via le muscle stylo-hyoïdien. En effet le tendon intergastrique glisse dans une **gaine issue du tendon terminal du muscle stylo-hyoïdien**, et possède une petite **synoviale vaginale**.

v. Rapports et fascias

Les rapports entre les différentes structures de la région sont extrêmement complexes. Ils font intervenir notamment la glande parotide et la glande mandibulaire, les vaisseaux et nerfs du pharynx, la poche gutturale, les muscles de la langue, les muscles mylohyoïdiens, les conduits salivaires...

2. Cycle masticatoire

[1], [2], [4], [8], [25]

Lors de la mastication, le Cheval réalise des mouvements de la mâchoire inférieure par rapport au crâne, dans un ordre particulier, qui constitue le cycle masticatoire [figure 50]. A chaque fois, seules deux tables molaires (les droites ou les gauches) sont utilisées pour broyer la nourriture, et le Cheval change le côté employé régulièrement. Il utilise principalement le mouvement transverse, d'où le développement marqué des muscles masséter et ptérygoïdien médial.

La première phase, appelée «**opening stroke**» dans la littérature anglophone, est un abaissement de la mandibule du côté utilisé (l'autre suivant en sens inverse), accompagnée d'un mouvement latéral et en rétraction. La langue et les joues participent au placement de la nourriture entre les tables molaires correspondantes.

Ensuite la mandibule remonte, revient médialement et rostralement. La nourriture commence à être écrasée, c'est le «**closing stroke**».

Enfin, lors du «**power stroke**», la mandibule revient à sa position initiale en effectuant un mouvement diagonal : de latéral à médial et caudal à rostral. Cela broie la nourriture entre les molaires.

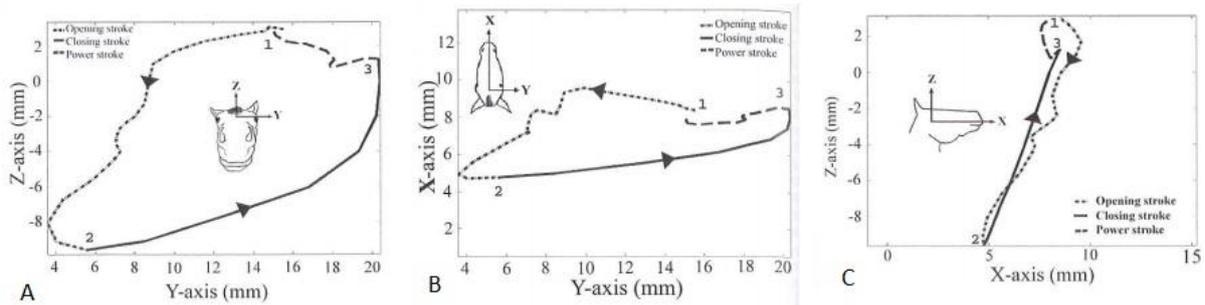


Figure 50 : mouvements de la mandibule lors d'un cycle masticatoire sur le côté gauche, d'après [8], A : vue rostrale, B : vue dorsale, C : vue latérale

Au cours de ces mouvements, la tête de la mandibule pivote autour de son extrémité latérale puis elle se porte en direction caudale et s'appuie fortement sur le processus rétro-articulaire de l'os temporal. Pour finir elle revient dans la fosse mandibulaire.

La direction de ce mouvement : **caudal vers rostral**, a une influence importante sur la croissance et l'usure des dents *via* les forces qu'elle leur applique. La courbe de Spee optimise le pouvoir de mastication dans le sens caudal vers rostral, puisque les tables dentaires inférieures viennent au contact des supérieures sur toute leur longueur.

Le cycle masticatoire dépend de nombreux facteurs comme l'état des dents, les douleurs musculaires ou osseuses et le type de nourriture. Des études ont montré que l'amplitude du mouvement caudal vers rostral de la mandibule était très élevée avec l'herbe, un peu moins avec le foin et encore moins avec les céréales. [25]

D'après Allen [1], la mobilité rostro-caudale de l'ATM peut être évaluée de façon simple. Pour cela, il convient de réaliser une tranquillisation du cheval. La position de la partie vestibulaire des pinces inférieures par rapport aux supérieures est notée, en laissant la tête du cheval se placer naturellement. Ensuite la tête du cheval est élevée au maximum pour étendre l'encolure. Cette même position relative des incisives est observée. Normalement, les incisives inférieures ont reculé de 6 à 8 mm par rapport aux supérieures. Si l'ATM a une restriction de mobilité rostro-caudale, le recul est diminué voire absent.

III. Le bassin

[4], [36], [37], [38]

Le bassin correspond au complexe osseux formé par les coxaux et le sacrum. Les coxaux forment la ceinture pelvienne qui unit les membres postérieurs à la colonne vertébrale. Les membres postérieurs sont responsables de la propulsion du Cheval. Le bassin est alors le moyen de transmission de cette propulsion au reste du corps. Cela explique que la ceinture soit faite par une union solide et profonde.

A – Anatomie

1. Os

a/ Le coxal

Le coxal est un os plat, pair, asymétrique, de forme irrégulière. Il est globalement orienté de façon oblique (15 à 30° sur l'horizontale) dans le sens crânio-dorsal vers caudo-ventral. Il est issu de 4 noyaux d'ossification : l'**ilium**, le **pubis** et l'**ischium**, ainsi que l'os acétabulaire [figures 51 et 52].

Sa description peut se faire schématiquement en trois parties : partie moyenne, extrémité crâniale, extrémité caudale.

La partie moyenne est centrée sur l'**acétabulum**, qui est la cavité articulaire recevant la tête du fémur. Elle est composée par une partie de chacun des trois os.

L'extrémité crâniale se compose totalement d'ilium. Elle possède une partie crâniale large et aplatie : l'**aile de l'ilium**, et une partie caudale, rattachée à la partie moyenne : le **col de l'ilium**. C'est en face médiale de l'aile de l'ilium que se trouve la facette articulaire de l'articulation sacro-iliaque. La partie la plus dorsale de l'aile de l'ilium forme le **tuber sacrale**, également appelé pointe ou angle de la croupe.

L'extrémité caudale comporte une partie de l'ischium et une partie du pubis. Elle est aplatie dorso-ventralement et creusée d'un large orifice : le **trou obturé**. Elle se termine caudalement par la **tubérosité ischiatique**. Médialement, elle s'attache à son homologue du côté opposé par la **symphyse pelvienne**. Cela forme le plancher du bassin.

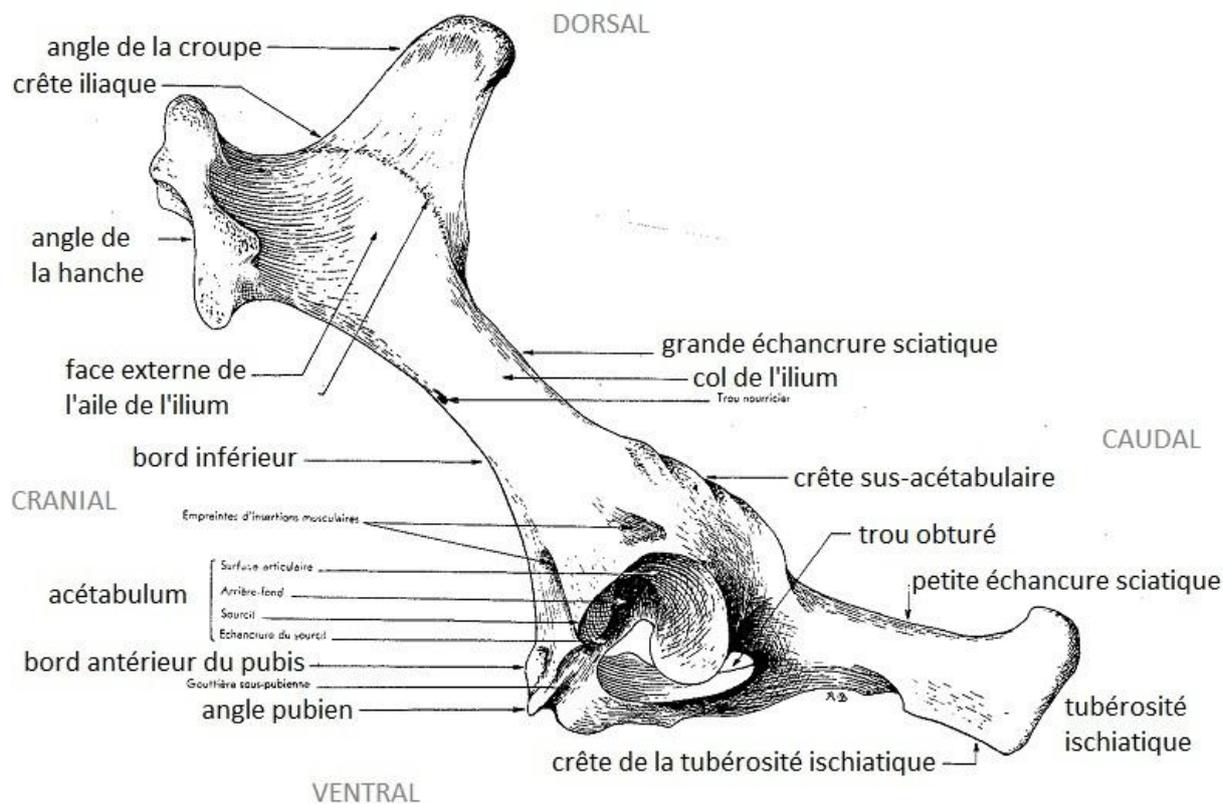


Figure 5151 : os coxal gauche, vue latérale, d'après [37]

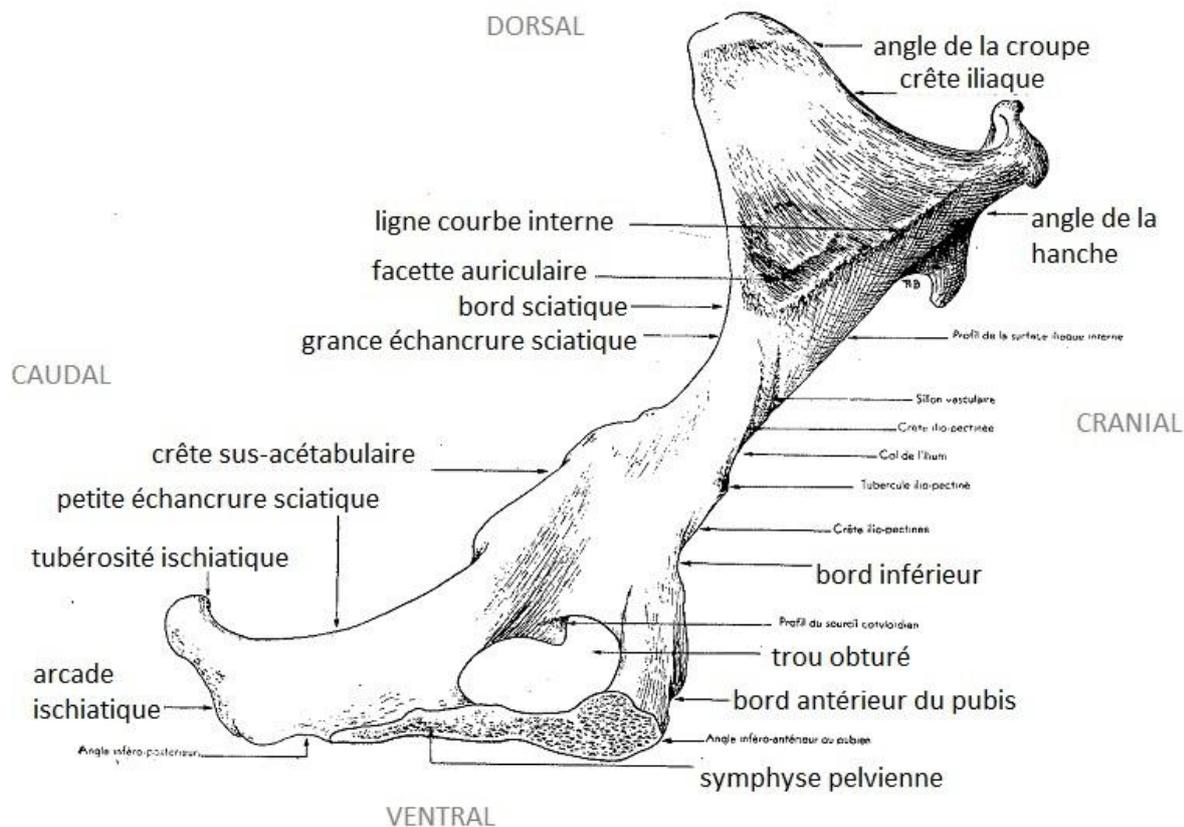


Figure 52 : os coxal gauche, vue médiale, d'après [37]

La symphyse pelvienne est l'union du coxal droit et gauche. Elle se fait sur le plan médian, au niveau de leurs bords internes respectifs. Elle fait donc intervenir le pubis et l'ischium. Chez le poulain, il s'agit d'une synarthrose cartilagineuse (**synchondrose**) : des fibres cartilagineuses se fixent sur les deux surfaces des coxaux et s'entrecroisent solidement. Chez l'adulte, ce cartilage s'ossifie totalement, créant ainsi une **synostose**. Sa mobilité est pratiquement nulle.

b/ Le sacrum

Le sacrum est fait des cinq vertèbres sacrées qui sont soudées [figure 53 et 54]. Cela forme une pièce osseuse médiane et impaire. Il s'articule crânialement avec la dernière vertèbre lombaire et caudalement avec la première vertèbre caudale. Les coxaux s'appuient sur ses bords latéraux [figure 55, 56, 57].

La face dorsale est coupée en deux parties latérales par la **crête sacrale médiane**, qui correspond aux processus épineux des vertèbres, soudées à leur base, libres à leur extrémité. Ces apophyses sont orientées en direction dorso-caudale. Leur hauteur diminue caudalement (de 7 cm à 4 cm). De part et d'autre se trouvent les 4 **trous sacraux dorsaux**, ouvert sur le canal vertébral.

La face pelvienne, concave, possède aussi 4 **trous sacraux pelviens** ouverts sur le canal vertébral.

Les bords latéraux sont épais et concaves, ils forment une lèvre rugueuse. Ceux de la première vertèbre sacrée possèdent chacun une surface articulaire planiforme, allongée transversalement, appelée **facette auriculaire**. Il s'agit de la surface articulaire pour le coxal correspondant.

La base, ou face crâniale, montre l'entrée du canal vertébral dans le sacrum. La tête, peu convexe, s'articule avec la dernière vertèbre lombaire. De chaque côté se trouvent les processus articulaires crâniens et les processus transverses. Ces derniers possèdent des facettes articulaires répondant à celles de la dernière vertèbre lombaire.

Le sommet porte la surface articulaire de la dernière vertèbre sacrée, dorsalement à laquelle apparaît la sortie du canal vertébral dans le sacrum.

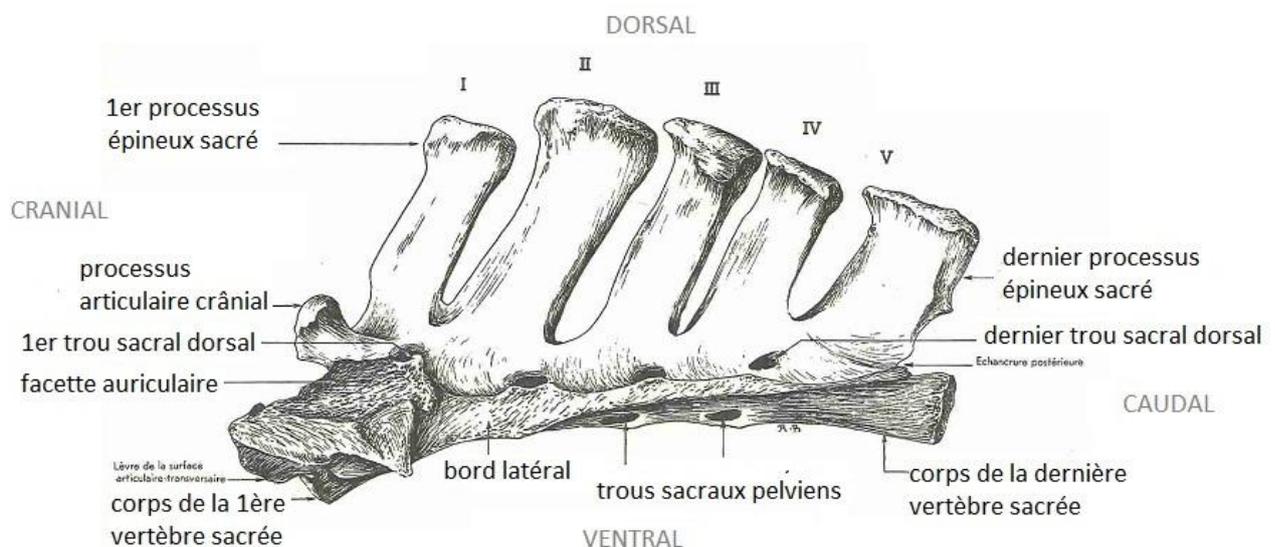


Figure 53 : sacrum en vue latérale gauche, d'après [36]

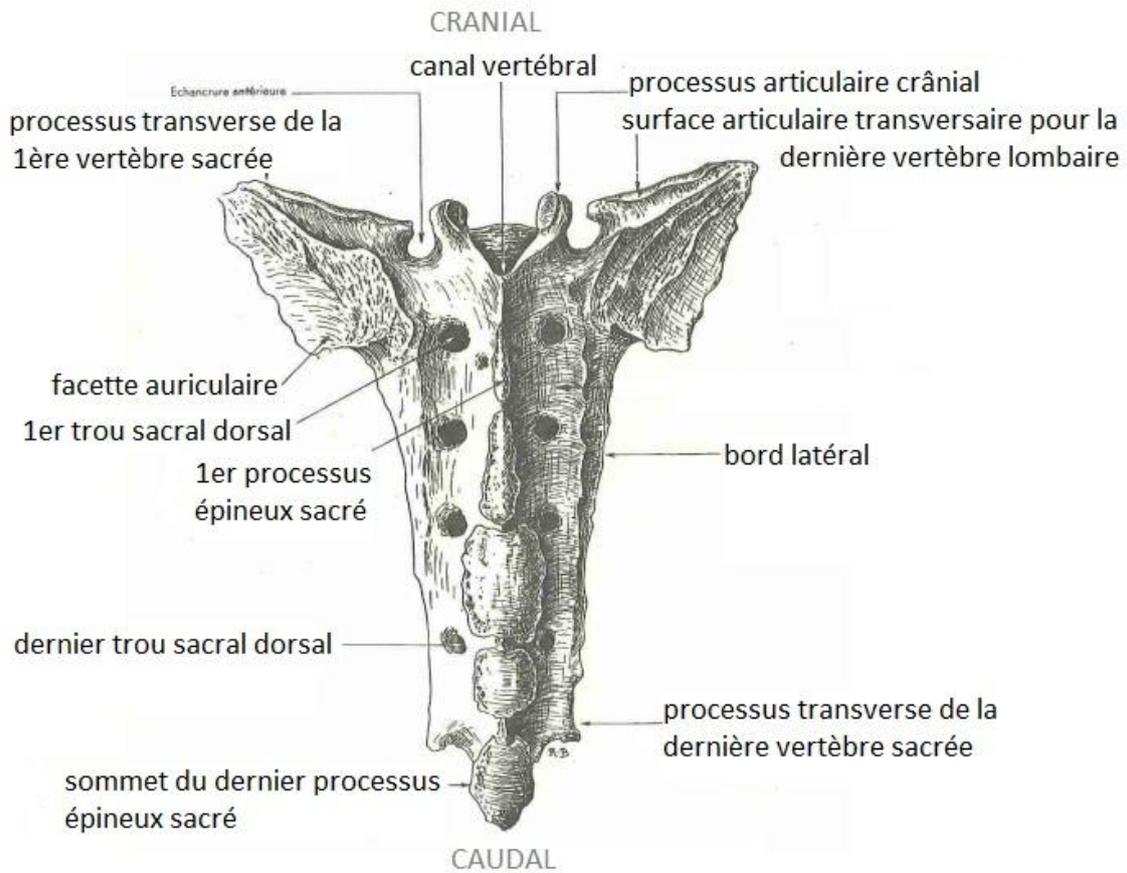


Figure 54 : sacrum en vue dorsale, d'après [36]

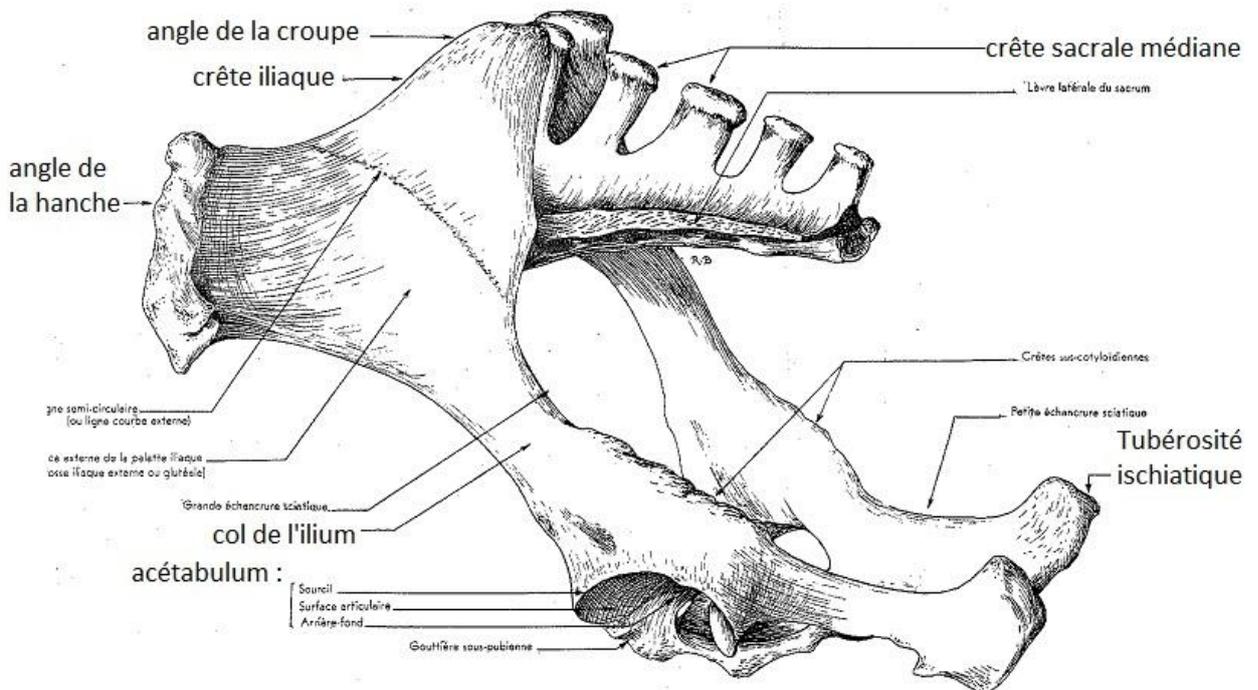


Figure 55 : bassin osseux dans son ensemble, vue latérale gauche, d'après [37]

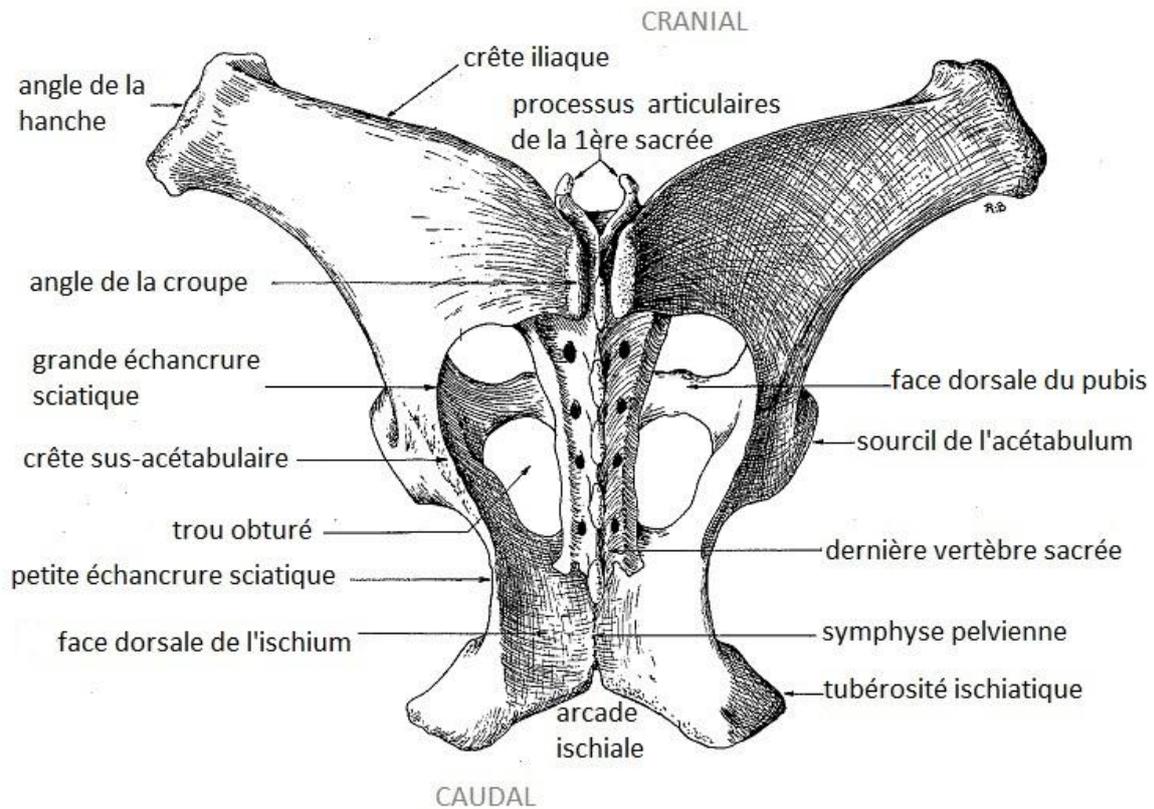


Figure 56 : bassin osseux dans son ensemble, vue dorsale, d'après [37]

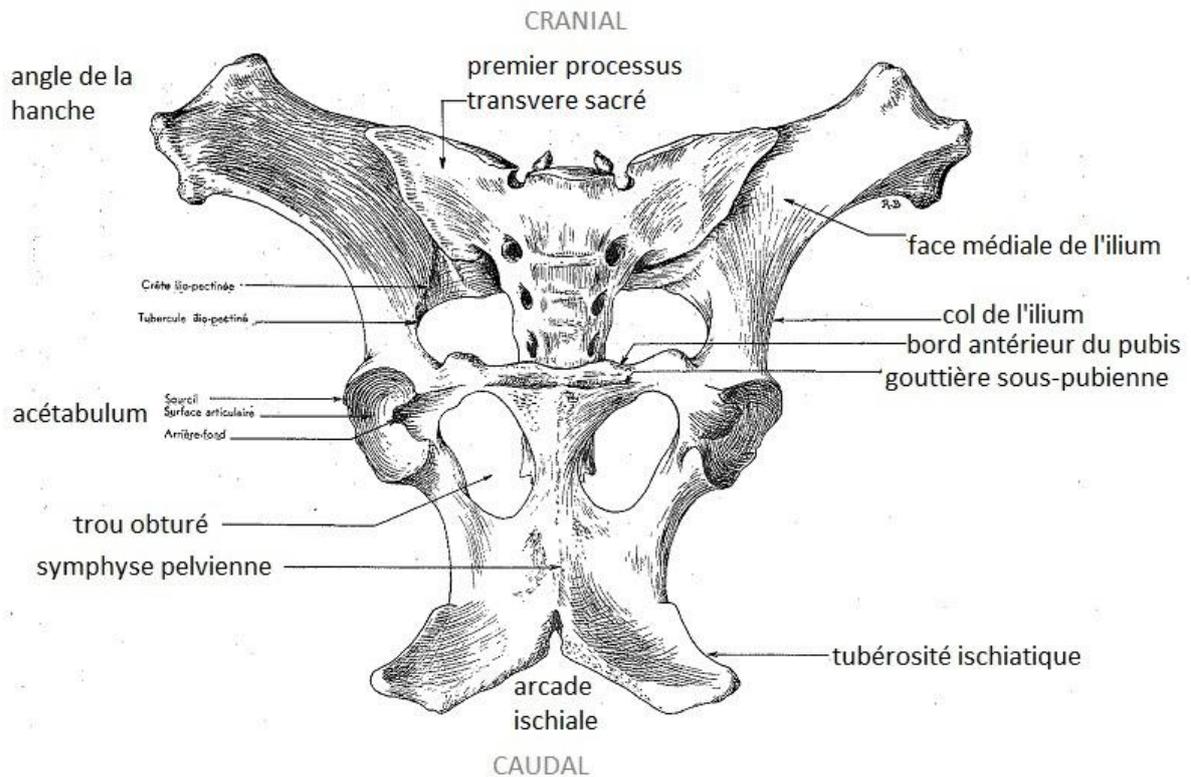


Figure 57 : bassin osseux dans son ensemble, vue ventrale, d'après [37]

2. Articulation sacro-iliaque

Les articulations sacro-iliaques droites et gauches réunissent les coxaux au sacrum. Il s'agit donc du lien entre la ceinture pelvienne et le rachis. C'est une articulation de type diarthrose planiforme, malgré le fait que sa mobilité soit très réduite.

a/ Surfaces articulaires

Le coxal présente une surface appelée **facette auriculaire** en face médiale de l'aile de l'ilium. Le sacrum en possède une semblable qui lui répond. Elle est située sur le bord latéral de la première vertèbre sacrée. Ces facettes ont une forme plane ou concavo-convexe, allongée, obliques caudalement et médialement. Elles ont un angle de 30° par rapport à l'horizontale. Leur forme varie, de celle d'un « C » à celle d'un « L ». Une des particularités de cette articulation est que la surface de l'ilium est couverte d'un fibro-cartilage, tandis que celle du sacrum est couverte d'un cartilage hyalin, plus épais et plus lisse [23].

b/ Moyens d'union

Les moyens d'union de l'articulation sacro-iliaque sont des ligaments, ainsi que l'action des muscles environnants.

Le **ligament sacro-iliaque ventral** est un puissant ligament fait de nombreux faisceaux fibreux [figure 58]. Il s'étend de la face ventrale du sacrum à celle de l'aile de l'ilium en recouvrant l'articulation ventralement.

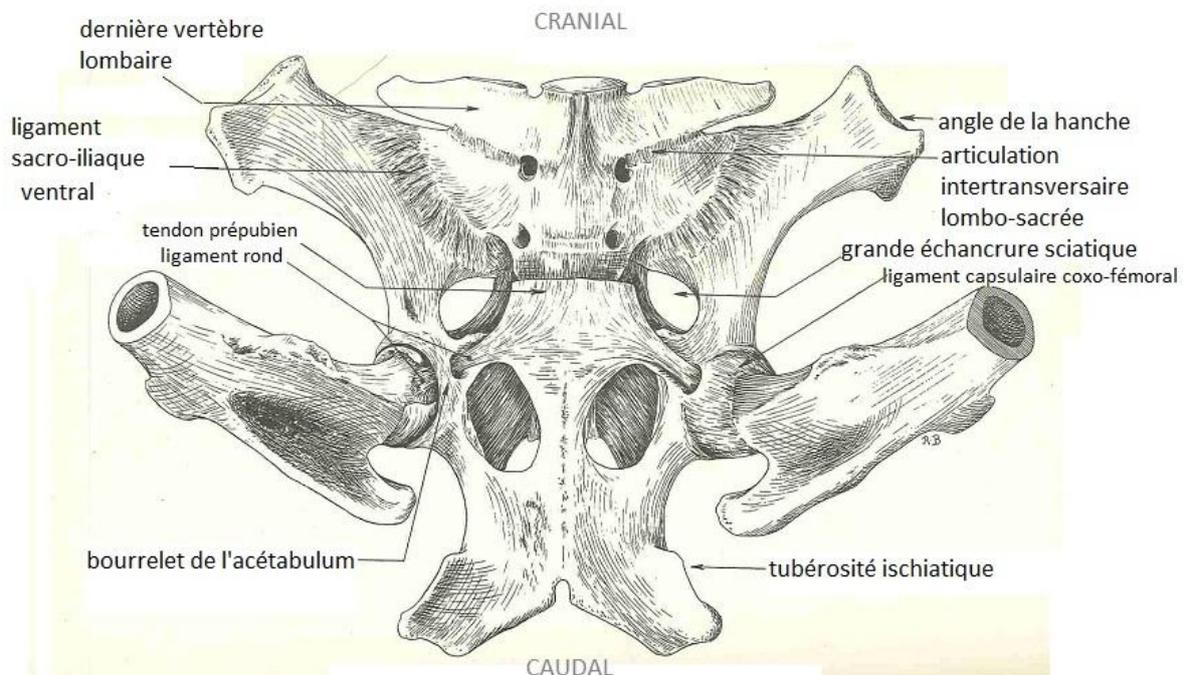


Figure 58 : articulations sacro-iliaque et coxo-fémorale, vue ventrale, d'après [38]

Le **ligament sacro-iliaque dorsal** est composé de deux parties [figure 59]. La **portion funiculaire** (ou dorsale), orientée horizontalement, part de l'angle dorso-médial de l'ilium (angle de la croupe) et rejoint la crête sacrale médiane. Il se prolonge alors en se confondant avec le ligament supra-épineux qui unit les vertèbres thoraciques à sacrales. La **portion membraneuse** est un fascia fibreux triangulaire, dirigé obliquement en direction caudo-ventrale. Son origine est l'angle de la croupe et le bord médial de l'ilium adjacent. Elle se confond avec la portion funiculaire. Ensuite elle rejoint le bord latéral du sacrum. Le ligament sacro-iliaque dorsal entre en contact latéralement avec les muscles fessiers superficiels et moyens. En face médiale, il rencontre l'origine du muscle sacro-caudal dorsal latéral. Il se poursuit caudalement par l'aponévrose coccygienne.

Le **ligament sacro-sciatique** ou **ischiatique** est une vaste surface membraneuse qui s'étend du sacrum au coxal [figure 59]. Il ferme latéralement la cavité pelvienne. Son rôle dans l'union de l'articulation sacro-iliaque semble moins important. Il est oblique du sens dorso-médial vers le sens ventro-latéral. Sa **face latérale** est recouverte par le muscle fessier moyen et une partie des muscles glutéo-biceps et du semi-tendineux. Il est également parcouru par le nerf sciatique. Sa **face médiale** est tapissée par le péritoine pariétal crânialement, et par le tissu conjonctif rétro-péritonéal en partie caudale. Elle entre en contact avec les muscles ischio-coccygiens. Le **bord dorsal** s'attache sur le bord latéral du sacrum et atteint le processus transverse de la première vertèbre caudale. Il se confond alors avec la portion membraneuse du ligament sacro-iliaque dorsal. Le **bord crânial** est attaché au bord caudal de l'ilium, avec lequel il délimite une ouverture appelée **grande échancrure sciaticque**, laquelle permet le passage de vaisseaux et nerfs fessiers. Il délimite aussi une ouverture appelée **petite échancrure ischiaticque**. Elle permet le passage du tendon du muscle obturateur interne. Enfin le **bord caudal** prend origine sur la tubérosité ischiaticque puis se dédouble en deux feuillets qui entourent le muscle semi-tendineux. Il se termine en se confondant dorsalement avec le fascia de la queue.

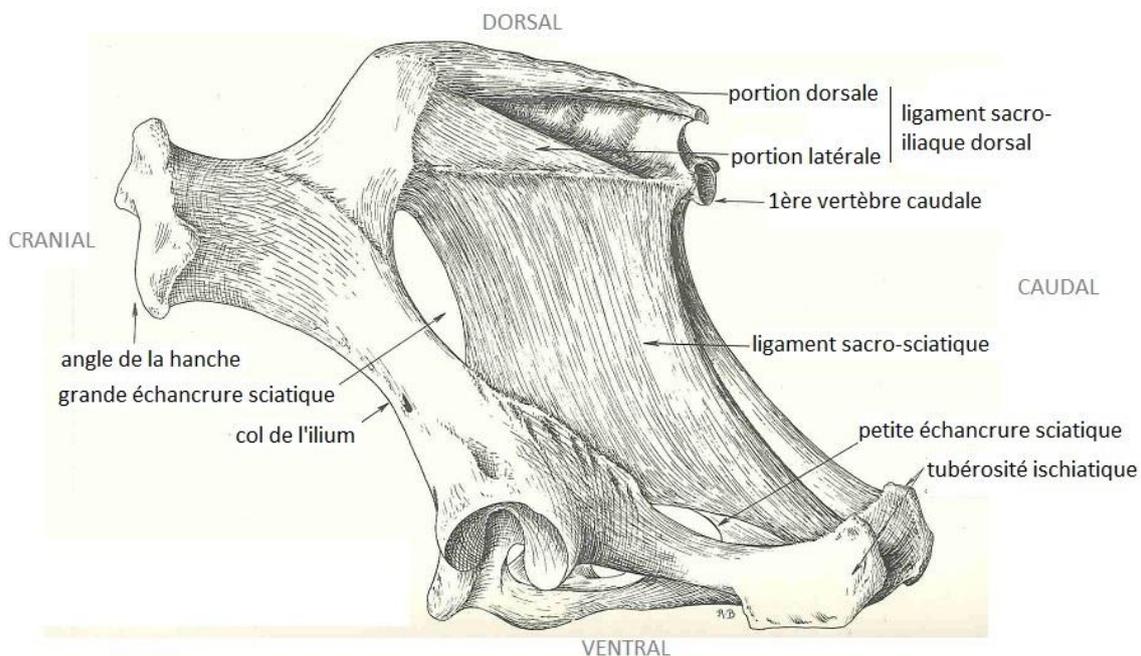


Figure 59 : articulation sacro-iliaque, vue latérale gauche, d'après [38]

Des muscles puissants permettent également d'unir les deux surfaces articulaires et d'assurer leur contention. Il s'agit principalement des muscles psoas, iliaque, ilio-lombaire, fessiers moyens et superficiels et ischio-tibiaux.

c/ Synoviale

L'articulation sacro-iliaque possède une petite synoviale, contenant peu de synovie. Elle est maintenue latéralement par le ligament sacro-iliaque ventral. Elle en tapisse les faisceaux profonds.

d/ Mouvements

Les mouvements de l'articulation sacro-iliaque sont très limités, à peine de légers glissements qui donnent de la souplesse à la région. Nous avons vu qu'elle permettait surtout de transmettre la propulsion créée par les membres postérieurs au rachis. Sa principale caractéristique est donc la solidité. Cette solidité est permise par l'architecture osseuse : large, longue et oblique, ainsi que par les ligaments courts et puissants. Le ligament sacro-iliaque dorsal notamment, associé au muscle petit psoas, limite le mouvement de bascule du coxal par rapport au sacrum (contre-nutation).

Cependant lors de la mise-bas, les ligaments sacro-sciatiques se relâchent, d'où un léger mouvement de rotation du bassin par rapport au rachis. Cela permet un agrandissement de l'ouverture de la cavité pelvienne, favorisant le passage du poulain.

3. Muscles mobilisateurs [figures 60 à 64]

On dénombre 27 muscles attachés à l'os coxal (28 chez le mâle avec le muscle ischio-caverneux) [4]. Ils peuvent être classés selon la région à laquelle ils appartiennent :

- région dorsale : muscle long dorsal
- région sous-lombaire : muscles petit psoas, iliaque, carré des lombes
- région abdominale ventrale : muscles obliques interne et externe, droit et transverse de l'abdomen
- région de la fesse : muscles fessier superficiel, fessier moyen et son muscle accessoire, fessier profond
- région ischio-tibiale : muscles glutéo-biceps, semi-tendineux, semi-membraneux
- région crurale crâniale : muscles tenseur du *fascia lata* et quadriceps fémoral
- région crurale médiale : muscles gracile, pectiné, grand adducteur de la cuisse, petit adducteur
- région pelvi-crurale profonde : muscles articulaire de la hanche, obturateur interne, obturateur externe, jumeaux du bassin, carré fémoral
- et le muscle coccygien.

Sur le sacrum, se trouve également l'insertion de nombreux muscles :

- en face dorsale : les muscles ilio-spinal, transversaire épineux, fessier superficiel (via le fascia glutéal), fessier moyen, glutéo-biceps (via sa partie sacrale), semi-tendineux, sacro-caudal dorsal latéral
- en face ventrale : les muscles obturateur interne, sacro-caudaux ventraux

Le grand nombre de structures rattachées au bassin explique en partie la complexité de cette région. Lors de l'étude fonctionnelle, nous nous intéresserons aux principales structure liées aux mouvements des coxaux et du sacrum, ainsi qu'à la mobilité de la région dorsale dans son ensemble.

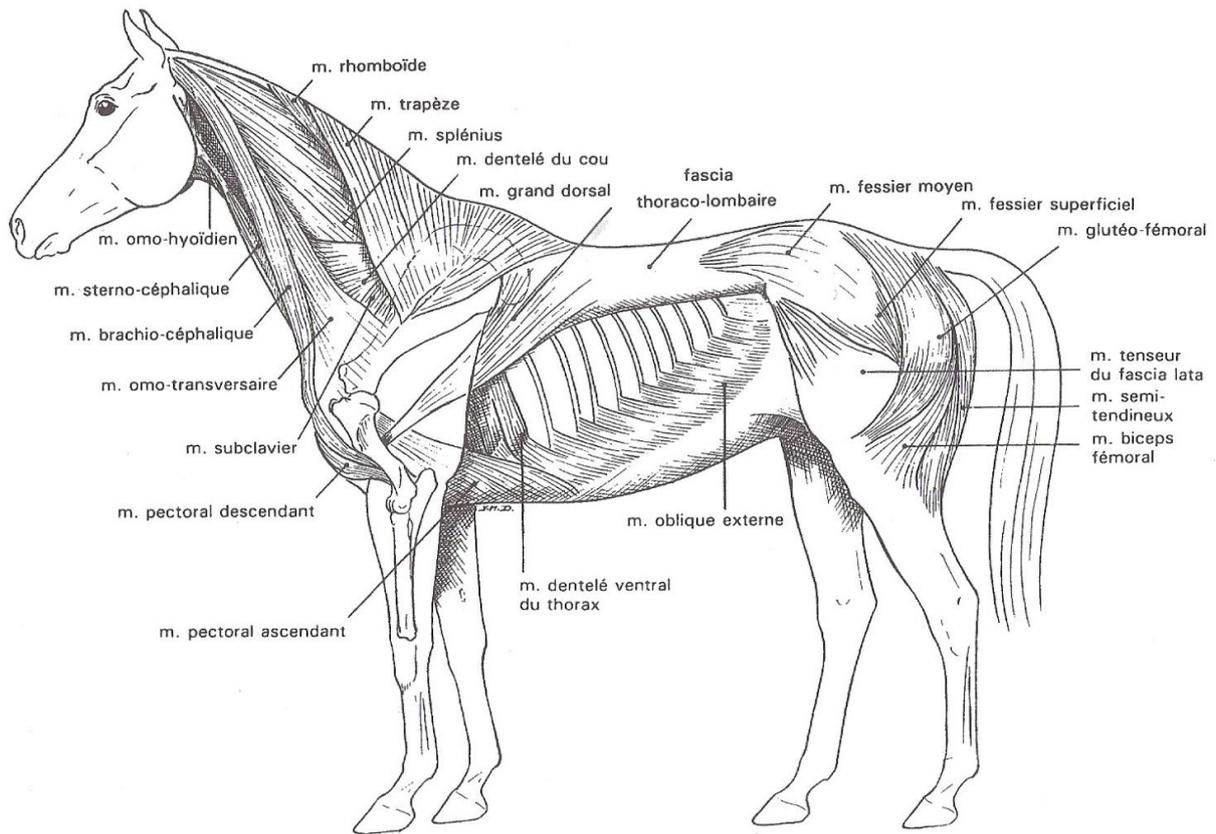


Figure 60 : muscles de l'encolure et du tronc, plan superficiel, vue latérale gauche, d'après [18]

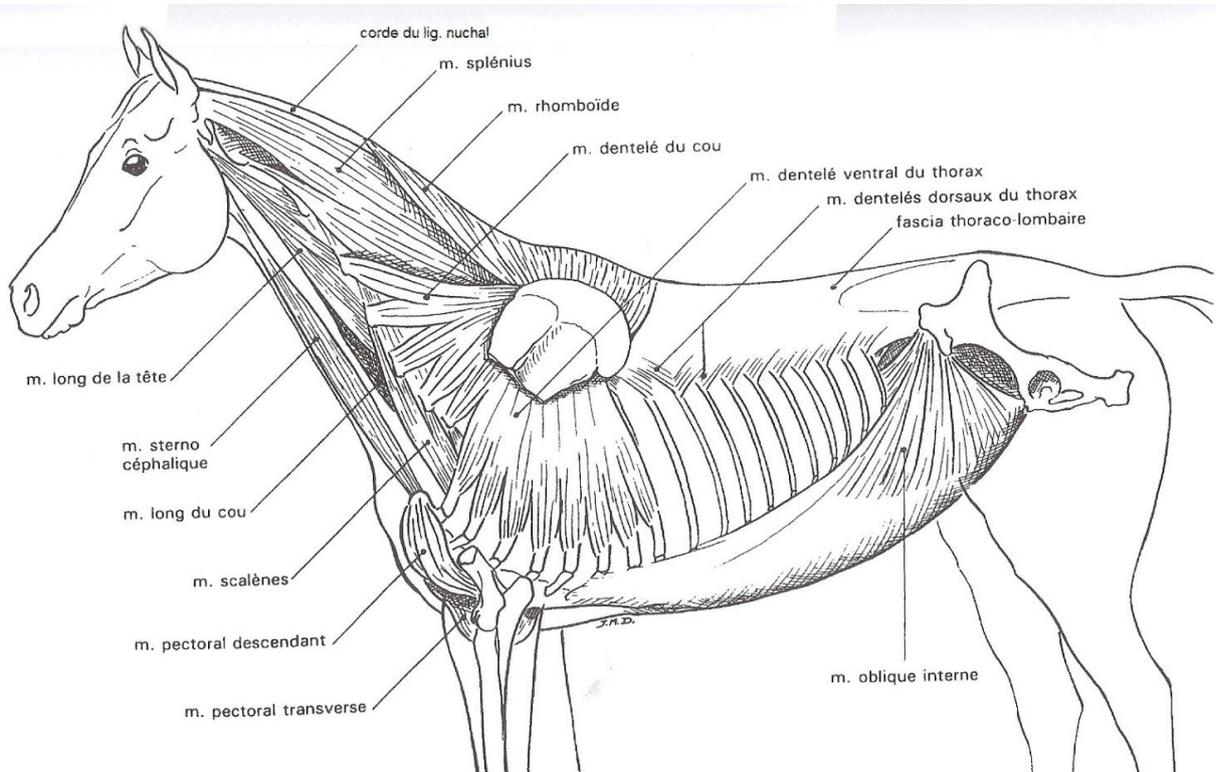


Figure 61 : muscles de l'encolure et du tronc, plan moyen, vue latérale gauche, d'après [18]

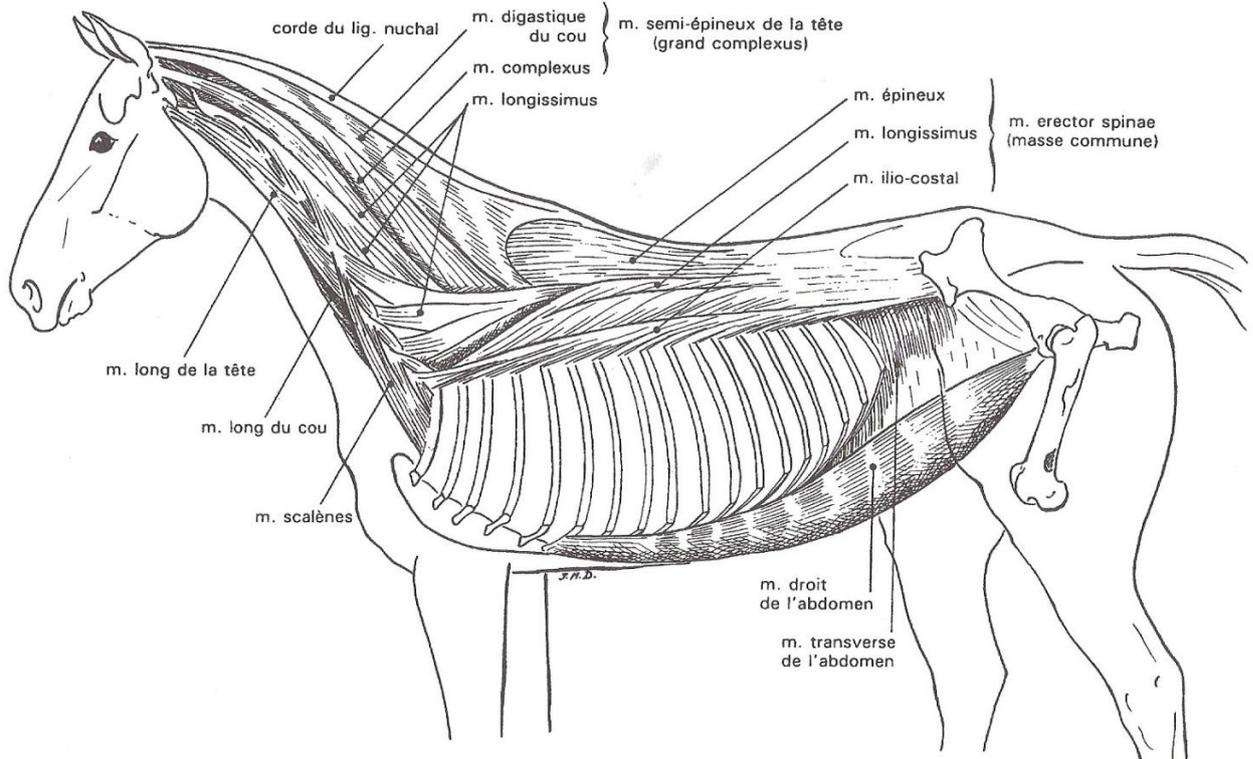


Figure 62 : muscles de l'encolure et du tronc, plan profond, vue latérale gauche, d'après [18]

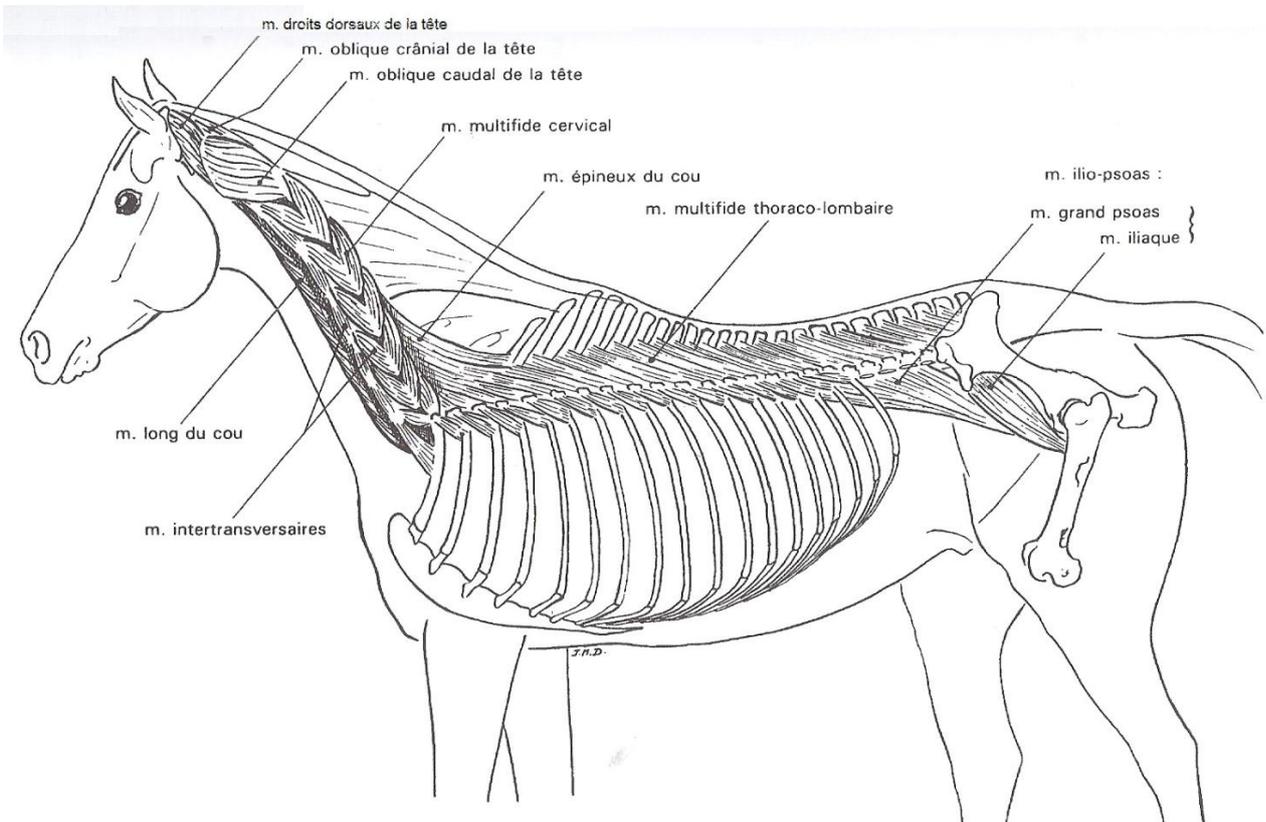


Figure 63 : muscles de l'encolure et du tronc, muscles juxta-vertébraux, vue latérale gauche, d'après [18]

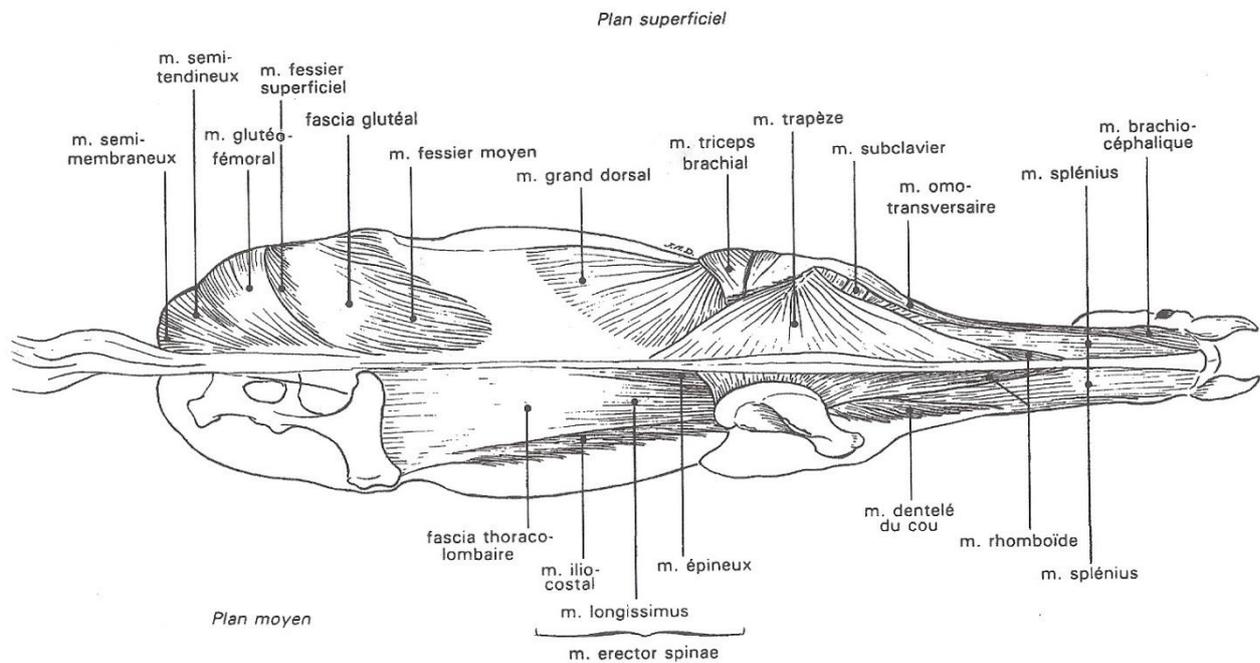


Figure 64 : muscles de l'encolure et du tronc, vue dorsale, d'après [18]

B – Fonctionnement

[16], [17]

1. Région sacro-iliaque

a/ Forces mises en jeu

Dans le plan transversal, pour le Cheval à l'arrêt en appui sur ses postérieurs, l'articulation sacro-iliaque est soumise aux forces du poids du corps et à la réaction du sol. Ces forces tendent à écarter les surfaces articulaires. Le maintien est principalement assuré par les **ligaments sacro-iliaques** et les **muscles fessiers, erector spinae et psoas**.

En appui monopodal, un seul des deux membres postérieurs supporte le poids de l'arrière-main. C'est le cas lors du pas et du trot, car il y a une dissociation des postérieurs. L'articulation sacro-iliaque à l'appui est alors soumise à des forces de rotation et de cisaillement. Les structures précédemment citées interviennent à nouveau dans la contention de l'articulation, ainsi que les **muscles obliques de l'abdomen**.

Dans un plan frontal, sont présentes de la même façon des forces de rotation lors d'appui monopodal.

Dans le plan médian, du fait de l'anatomie de la région, le coxal est soumis à une force de rotation passive par rapport au sacrum. Cette rotation, appelée **contre-nutation**, est telle que les ischiurs tendent à se rapprocher des vertèbres caudales [figure 65]. Elle est limitée par le tonus des muscles abdominaux : **muscles droit de l'abdomen, petit psoas, grand psoas et oblique externe**.

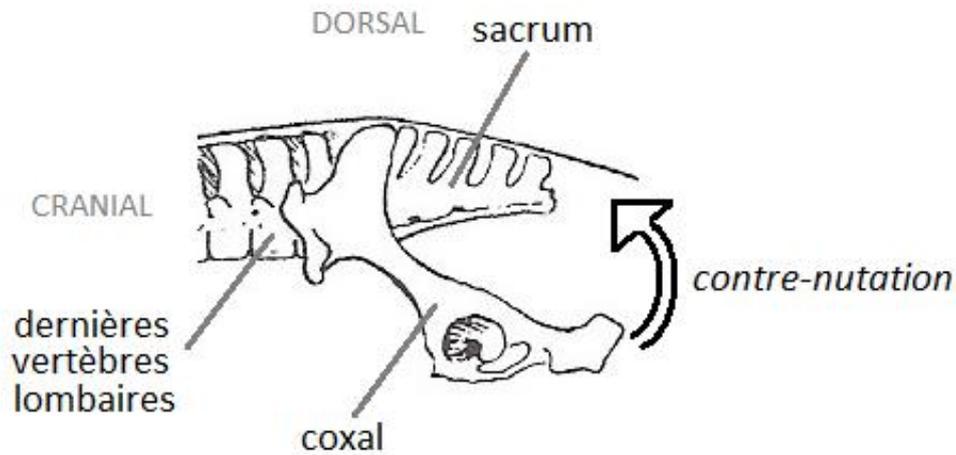


Figure 65 : mouvement de contre-nutation du bassin, vue latérale gauche d'après [16], [17], [18]

b/ Mobilité sacro-iliaque

Les mouvements des coxaux par rapport au sacrum sont assez limités. Des études sur des bassins isolés [16], [17] ont pu mettre en évidence que :

- lors de compression transversale [figure 66], les *tuber sacrale* glissent caudalement et s'élèvent dorsalement, donc les ailes de l'ilium se rapprochent du plan médian, les acétabulums se rapprochent et subissent une rotation, les coxaux basculent vers l'horizontale.
- lors de compression axiale [figure 66], les *tuber sacrale* subissent un écartement et une rotation, et les coxaux une nutation, mais globalement l'ensemble reste solide (résiste à des pressions très élevées) [17]
- les flexions et extensions lombo-sacrées induiraient un mouvement entre le sacrum et l'ilium : ainsi lors de la flexion lombo-sacrée, l'articulation sacro-iliaque subit une nutation; et lors du retour au point neutre de l'articulation lombo-sacrée, elle subit une contre-nutation. Ces mouvements seraient de l'ordre de 1°. Le ligament sacro-iliaque dorsal limite fortement la nutation, en effet s'il est sectionné, une plus grande amplitude de mouvement est observée. [16]

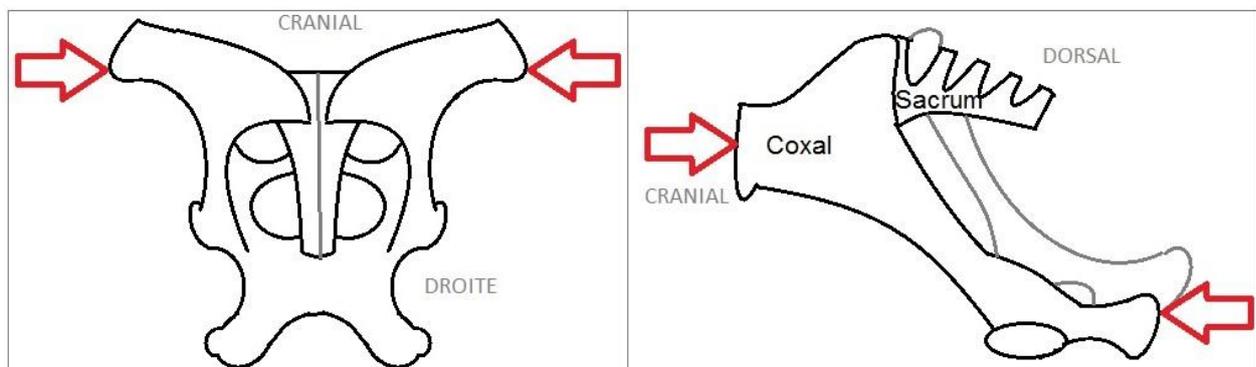


Figure 66 : à gauche : schéma d'un bassin en vue dorsale montrant la compression transversale, à droite : schéma d'un bassin en vue latérale gauche montrant la compression axiale, d'après [17]

Sur le Cheval en mouvement, le bassin est difficile à analyser car il est en profondeur, sous des masses musculaires importantes. Il ne peut être étudié que conjointement avec le reste de la colonne vertébrale. Ainsi, il est soumis à deux grands ensembles antagonistes : la **chaîne musculaire dorsale** et la **chaîne musculaire ventrale**, que nous détaillerons plus loin dans l'exposé.

Au niveau du bassin, la chaîne dorsale comprend les muscles fessiers et les muscles fémoraux caudaux. Ils permettent l'extension de la hanche. La chaîne ventrale comprend les muscles abdominaux et les muscles fémoraux crâniens, responsables entre autre de la flexion de la hanche et de la région lombo-sacrée.

2. Région lombo-sacrée

La région lombo-sacrée est particulièrement mobile [17]. Sur des pièces anatomiques isolées, la flexion peut dépasser 20° et l'extension 5 à 10° sur l'horizontale. Cela est permis par le disque intervertébral qui est épais crânio-caudalement et de faible hauteur dorso-ventrale, la divergence des processus transverses et la laxité du ligament interépineux.

En revanche, la latéroflexion est assez limitée du fait de la longueur des processus transverses et de la présence d'une articulation intertransversaire L6-S1. Les mouvements de rotation entre l'axe lombaire et le bassin sont limités aussi par l'articulation intertransversaire L6-S1 et par la conformation des articulations synoviales dorsales.

Les muscles mobilisateurs de la région lombo-sacrée peuvent être séparés en muscles fléchisseurs et muscles extenseurs lombo-sacrés [18]. Les muscles de la flexion sont les **muscles droits et obliques de l'abdomen** et le **muscle psoas** (région sous-lombaire). Les muscles de l'extension sont le **muscle *erector spinae*** et le **muscle fessier moyen** (grâce à son attache crâniale sur le fascia thoraco-lombaire).

Deuxième partie : étude expérimentale

L'objectif de notre étude est de montrer que la dentisterie pourrait avoir un effet sur la locomotion. L'hypothèse est qu'une malocclusion provoquerait un tiraillement sur l'ATM, lui-même à l'origine de déstabilisation du dos et des membres. C'est l'expérience de Patrick Lecollinet qui l'a amené à suspecter ce lien. Nous avons alors cherché une méthode objective pour mener une étude prospective sur des chevaux atteints de malocclusion. Il s'agit d'une étude préliminaire, l'idée étant de montrer que le lien entre l'occlusion et la locomotion mériterait d'être plus amplement étudié. La première partie détaillera la réalisation de l'expérimentation, la deuxième partie exposera les résultats obtenus, et la troisième partie sera une discussion sur cette étude.

I. Matériel et méthodes

A – Les chevaux d'étude

L'étude s'est déroulée à l'Ecole Nationale d'Equitation, à Saumur. Le choix des chevaux a été motivé par un examen dentaire et un examen ostéopathique. L'expérience de terrain montre qu'il existe un lien entre l'occlusion et la mobilité du bassin. Les chevaux retenus présentent donc des premières prémolaires inférieures (306-406) proéminentes, associées à des dysfonctions ostéopathiques du bassin et du crâne. Le même expérimentateur ostéopathe (Dr Patrick Lecollinet) a évalué ces chevaux, pour retenir les huit qui présentaient des dysfonctions similaires. Les lésions ostéopathiques sont ainsi décrites :

- Ressenti bassin : héli-bassin droit qui avance et descend, héli-bassin gauche qui remonte vers le haut,
- Ressenti crâne : "héli-crâne" droit qui avance et descend, "héli-crâne" gauche qui remonte vers le haut, avec une légère rotation vers la gauche (partie ventrale du crâne qui part vers la gauche)
- Correspondance entre les ressentis sur le crâne et le bassin



*Figure 67 : bouche de chevaux avec des proéminences des dents 306-406
(photos : Patrick Lecollinet)*

B – Les mesures d'accélérométrie

1. Le matériel d'accélérométrie

Les mesures d'accélérométrie ont été réalisées avec le matériel EquimetrixND. Il est composé de deux capteurs 2D reliés à un boîtier d'enregistrement. Une sangle est placée autour du thorax, juste en arrière du garrot. Le boîtier est fixé à cette sangle. Le capteur antérieur est placé dans la sangle, au niveau du sternum, dans le plan sagittal. Ce point est proche du centre de gravité du cheval. Le capteur postérieur est fixé sur la croupe par du papier adhésif double face, à mi-chemin entre les articulations lombo-sacrée et sacro-coccygienne, dans le plan sagittal [figures 68, 69]. Une marque est réalisée au rasoir dans le pelage pour repérer l'emplacement exact et fixer ainsi le capteur au même endroit à chaque mesure.

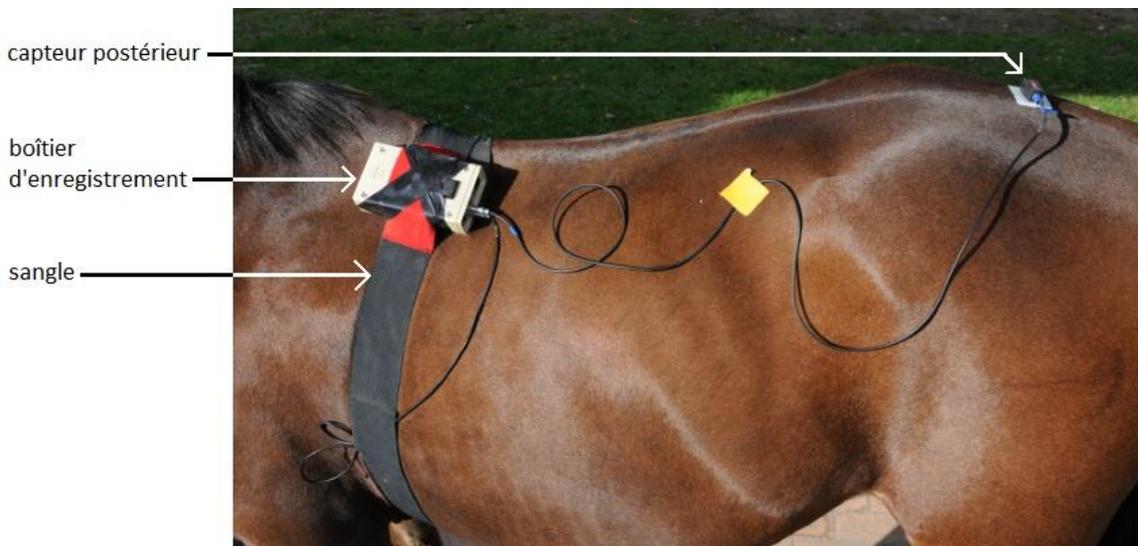


Figure 68 : photo d'un cheval équipé d'EquimetrixND en vue dorso-latérale gauche (photo : Alain Laurieux)

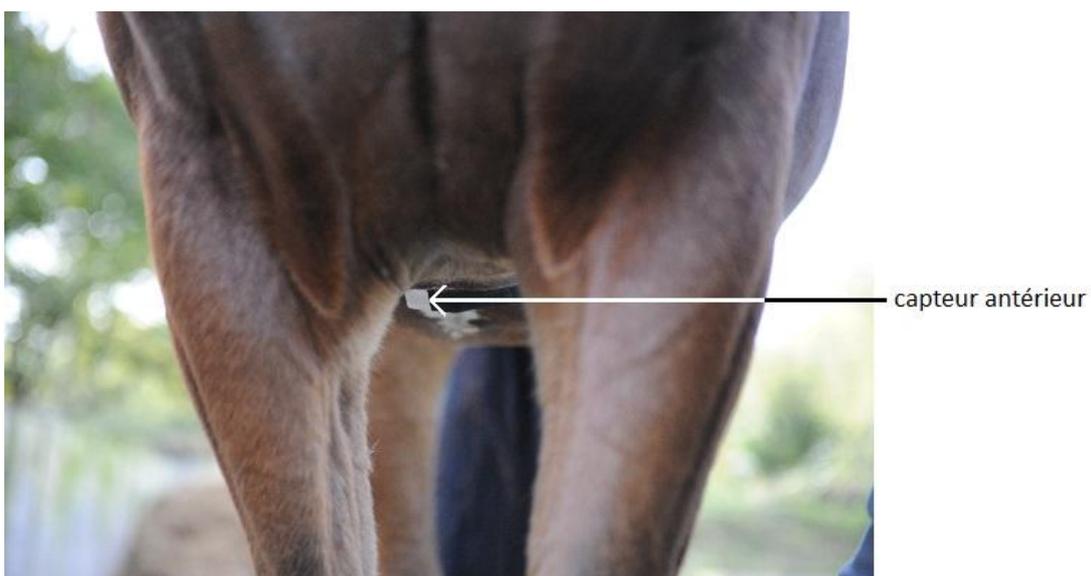


Figure 69 : photo d'un cheval équipé d'EquimetrixND vu de face (photo : Alain Laurieux)

Cet outil d'analyse a été validé, et utilisé dans de nombreuses publications sur la locomotion du cheval [5], [6], [10].

2. Principe du fonctionnement et de l'analyse informatique

Les capteurs enregistrent les variations de la vitesse (l'accélération) au cours du temps, le long d'un axe vertical (mouvement dorso-ventral) et d'un axe horizontal (latéral) [figure 70]. Il s'agit donc de mesures en 2 dimensions. Le signal est transmis au boîtier enregistreur puis transféré sur un ordinateur, dans un logiciel spécifique. Cela permet d'obtenir des courbes d'accélérations dorso-ventrales et latérales au cours du temps [figure 71], pour le capteur antérieur et le capteur postérieur.

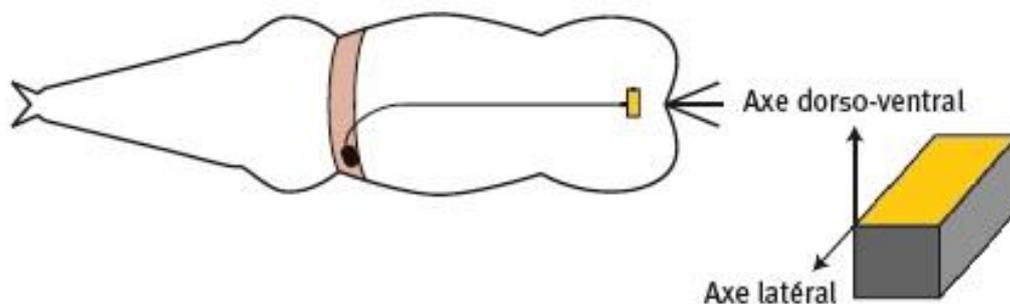


Figure 70 : orientation des capteurs, d'après [10]

L'accélération correspond à la dérivée seconde du déplacement, une double intégrale permet donc d'obtenir ce dernier. De plus, d'après les lois de la physique, le vecteur accélération est proportionnel à la force appliquée au point du capteur. Barrey et al (1994) [6] ont pu corréler chaque phase de la courbe d'accélération à une phase de la foulée, en comparant les courbes avec les vidéos du cheval filmé simultanément. Par des procédés informatiques basés sur des lois mathématiques, les paramètres de la foulée sont extraits de ces données brutes.

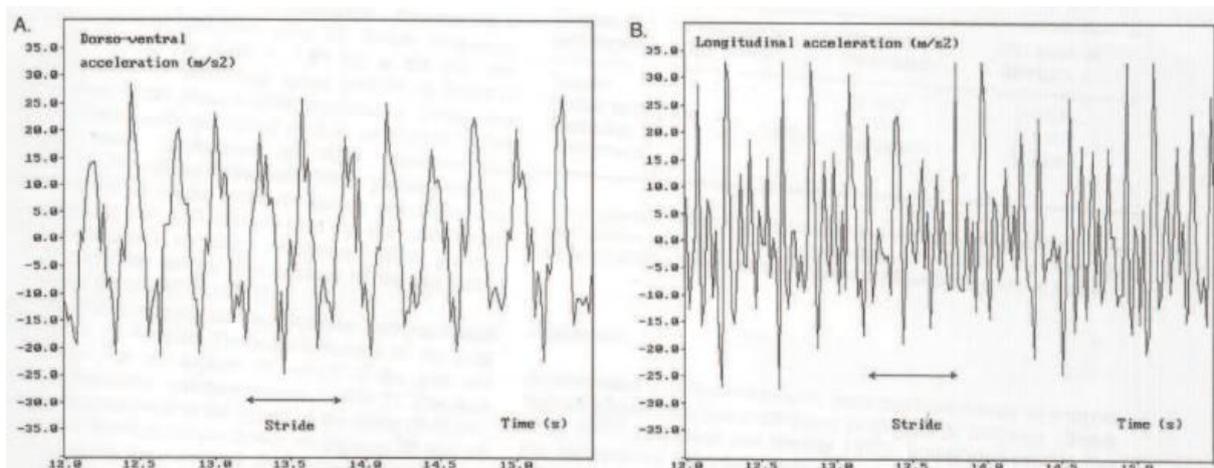


Figure 71 : exemple de courbes d'accélération d'un cheval au trot (A : accélération dorso-ventrale, B : accélération longitudinale) d'après [6]

3. Paramètres obtenus

Les paramètres obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : paramètres de la foulée utilisés dans l'étude

Paramètre	Signification	Unité	Notation
Fréquence	Cadence de l'allure	foulées/seconde	ff
Symétrie	Comparaison des composantes droite et gauche de la foulée	% (100% = symétrie parfaite)	sym
Régularité	Comparaison des foulées entre elles	valeur entre 0 et 200 (200 = régularité parfaite)	reg
Rebond	Amplitude du déplacement vertical	mètre	déplav
Déplacement latéral	Amplitude du déplacement latéral	mètre	déplalat
Activité dorso-ventrale	Effort du cheval à s'élever	g ² /Hz (avec g l'accélération de pesanteur = 9.8m/sec)	epsdv
Activité latérale	Effort du cheval vers la droite et vers la gauche	g ² /Hz (avec g l'accélération de pesanteur = 9.8m/sec)	epsdh
VAG	Vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical	g (unité d'accélération)	VAG
VAD	Vecteur d'appui droit sur l'axe vertical	g (unité d'accélération)	VAD
VLATG	Vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal	g (unité d'accélération)	VLATG
VLATD	Vecteur d'appui droit sur l'axe horizontal	g (unité d'accélération)	VLATD
Temps appui gauche	Durée de l'appui sur le côté gauche	% de la foulée	TG
Temps appui droit	Durée de l'appui sur le côté droit	% de la foulée	TD
Tangage	Rotation dans le plan sagittal (balancier avant-arrière)	degré	tang
Lacer	Rotation dans le plan transversal (balancier droite-gauche)	degré	lacer

La cadence, ainsi que le tangage et le lacer sont des paramètres de l'allure globale. Les autres paramètres sont calculés séparément pour les membres antérieurs et pour les membres postérieurs.

C – Le matériel et les techniques de dentisterie

Le matériel utilisé appartient à la gamme Horse Dental EquipmentND. Il s'agit de râpes manuelles et électroportatives avec des têtes diamantées classiquement utilisées en pratique équine [figure 72].

La dentisterie est réalisée sur tous les chevaux par le même expérimentateur (Dr Patrick Lecollinet). Les chevaux sont d'abord sédatés à l'aide de romifidine à la posologie de

0,01 mg/kg par voie intraveineuse (SedivetND). Un pas d'âne est mis en place. La bouche est rincée à l'eau puis inspectée. Les soins dentaires [figure 72 et 73] consistent en :

- l'élimination des surdents maxillaires et mandibulaires
- la correction des malocclusions molaires
- les suppression des procidences des molaires 06 et 11
- l'extraction éventuelle des dents de loup et de cochon
- la réalisation d'un "bit seat" (siège du mors), qui consiste à arrondir les parties mésiales des molaires 06 qui sont susceptibles d'être en contact avec le mors.

La bouche est finalement rincée à l'eau afin d'éliminer les particules dentaires issues du profilage. Les chevaux peuvent travailler dès le lendemain, s'il n'y a pas eu d'extraction dentaire. Dans ce cas, la consigne donnée est de ne pas utiliser le cheval avec un mors dans la bouche pendant 6 jours.



Figure 72 : réalisation de la dentisterie, à gauche: râpage dentaire (photo : Patrick Lecollinet), à droite : râpes électroportatives à têtes diamantées et moteur portable (photos : www.horse-dental-equipment.com)



Figure 73 : à gauche : bouche d'un cheval avant la dentisterie, à droite : bouche d'un cheval après la dentisterie (photos : Patrick Lecollinet)

D – Réalisation des mesures

Le protocole est le suivant [figure 74] :

- 1/ premières mesures d'accélérométrie (mesures témoins) = J0 dans la suite de l'exposé
- 2/ le lendemain : dentisterie
- 3/ 24 heures après la dentisterie : deuxièmes mesures d'accélérométrie = J1
- 4/ 10 jours après la dentisterie : troisièmes mesures d'accélérométrie = J10
- 5/ 30 jours après la dentisterie : quatrièmes mesures d'accélérométrie = J30

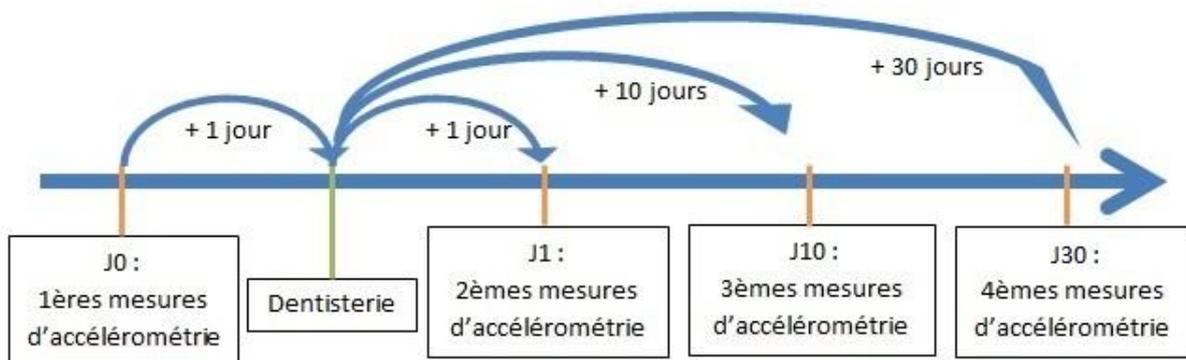


Figure 74 : chronologie du protocole de l'étude

Les mesures sont réalisées en ligne droite, sur une surface bétonnée, plane, de 50m. Pour chaque mesure d'accélérométrie, le cheval est équipé du matériel EquimetrixND. Il est tenu en longe et en licol par une personne expérimentée. Cette personne fait faire au cheval d'abord faire un aller-retour au pas puis un aller-retour au trot sans mettre en marche l'appareil, pour l'habituer à la sensation du port de la sangle et des capteurs. Ensuite l'appareil est mis en route. Le cheval fait à nouveau un aller-retour au pas puis un aller-retour au trot. La longe est tenue lâche pour éviter que l'expérimentateur influence la locomotion du cheval par une quelconque action de main sur le licol. Lorsqu'un passage est jugé trop irrégulier pour la future analyse (cheval qui secoue la tête, accélère brutalement, fait des bonds...), il est recommencé.

E – Analyse statistique

Les résultats ont été analysés en utilisant un modèle à effets mixtes. Un modèle à effets mixtes est un modèle hiérarchique dans lequel le premier niveau modélise la réponse individuelle, le deuxième niveau modélise le comportement des paramètres pour l'ensemble de la population.

Ainsi par exemple avec la cadence (notée FF) :

$$\text{Niveau individuel : } FF_{ij} = \alpha_i + \beta_{1i} \cdot \text{Temps}_{j1} + \beta_{2i} \cdot \text{Temps}_{j2} + \beta_{3i} \cdot \text{Temps}_{j3} + \varepsilon_{ij}$$

$$\text{Niveau de la population } \begin{cases} \alpha_i = \alpha + a_i \\ \beta_{1i} = \beta_1 + b_{1i} \\ \beta_{2i} = \beta_2 + b_{2i} \\ \beta_{3i} = \beta_3 + b_{3i} \end{cases}$$

ε_{ij} indépendamment et identiquement distribués selon la loi $N(0, \sigma^2)$

σ^2 est la variance résiduelle

α, β , sont les effets fixes

a_i, b_i sont les effets aléatoires distribués selon une loi normale

La normalité des résidus et des effets aléatoires ont été vérifiées et validées pour chaque modèle au moyen de graphiques préconisés par les auteurs des modèles à effets mixtes (JC Pinheiro and M D Bates, 2000) [29]. Pour les cas où un effet temps est décelable par le modèle à effets mixtes, les moyennes ont été comparées deux à deux par un test post-hoc de Tukey adapté aux modèles à effets mixtes.

Les calculs statistiques ont été réalisés sous le logiciel gratuit R en utilisant les packages nlme et multcomp (RCore Team, 2012) [31].

II. Résultats

Voir en annexe:

- les résultats bruts
- les graphiques des moyennes avec les erreurs-standards
- les graphiques des valeurs cheval par cheval
- les résultats de statistique explicative

Une première partie détaille les caractéristiques des chevaux utilisés. Ensuite nous verrons les résultats observés pour chaque paramètre, au pas puis au trot.

A – Population étudiée

Les chevaux retenus pour l'étude sont de race, d'âge et de sexe différents. Il s'agit de six chevaux Selle Français et deux Anglo-arabes : un cheval entier, quatre hongres et trois juments. Leur âge varie de 3 à 5 ans. Ils ne présentent pas de boiterie clinique, ni de maladies intercurrentes. Ils vivent dans les mêmes conditions (box, alimentation similaire) et sont tous au travail (dressage et/ou saut d'obstacle) [tableau 3].

Tableau 3 : chevaux utilisés dans l'étude

Cheval	Race	Sexe	Age	Discipline
A	Selle Français	Femelle	3 ans	Saut d'obstacle
B	Selle Français	Femelle	4 ans	Saut d'obstacle
C	Selle Français	Hongre	4 ans	Saut d'obstacle
D	Selle Français	Hongre	5 ans	Saut d'obstacle
E	Selle Français	Femelle	4 ans	Dressage et saut d'obstacle
F	Anglo Arabe	Hongre	5 ans	Dressage et saut d'obstacle
G	Selle Français	Hongre	5 ans	Saut d'obstacle
H	Anglo Arabe	Entier	3 ans	Saut d'obstacle

B – Au pas

1. Allure globale

Concernant la **cadence**, il y a peu de disparité entre les chevaux (toutes les valeurs sont comprises entre 0,7 et 1,03 foulées/seconde). Elle semble stable entre les différentes mesures : $0,83 \pm 0,3$ à J0, $0,84 \pm 0,2$ à J1, $0,85 \pm 0,3$ à J30 et $0,82 \pm 0,1$ à J4. Aucun effet significatif n'est mis en évidence par l'analyse statistique.

Le **tangage** montre une certaine disparité entre les chevaux (entre $1,98$ et $4,74^\circ$). Cependant la plupart présentent une augmentation entre J0 et J30. La comparaison des moyennes montre aussi cette augmentation avec un palier entre J1 et J10 : respectivement à $2,87 \pm 0,19$ et $3,56 \pm 0,3$. L'analyse statistique révèle une moyenne significativement plus élevée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

Pour le **lancer**, un effet palier est à nouveau présent entre J1 et J10, et il se retrouve à la fois pour chaque cheval individuellement, et pour les moyennes globales : $6,0 \pm 0,2$ à J0, $5,9 \pm 0,3$ à J1, $8,7 \pm 0,4$ à J10 et $8,2 \pm 0,3$ à J30. Il y a assez peu de disparité entre les chevaux. A nouveau, la moyenne est significativement plus élevée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

2. Antérieurs

La **symétrie** ne montre pas de tendance particulière, ni pour les chevaux pris un par un, ni pour les moyennes de tous les chevaux. Elle est extrêmement variable avec un cheval qui descend à 34% et un autre qui atteint presque 99%. Le modèle à effet mixtes montre un possible effet significatif du temps, mais la comparaison des moyennes deux à deux ne montre pas de différence significative.

Il en va de même pour la **régularité**. Le minimum toutes mesures confondues est de 53, le maximum 158. Le même cheval, F, présente les scores les plus bas à la fois pour la symétrie et pour la régularité. De même que pour la symétrie, la comparaison des moyennes deux à deux ne montre pas de différence significative.

Le **rebond** semble propre à chaque cheval, et ne pas être modifié aux différents jours. La moyenne reste donc comprise entre $0,036 \pm 0,003$ et $0,039 \pm 0,004$ m. L'analyse statistique ne révèle pas d'effet significatif du temps.

Pour le **déplacement latéral**, la moyenne semble augmenter de J0 à J30, mais les écarts-types sont assez importants : $0,033 \pm 0,002$ à J0, $0,034 \pm 0,002$ à J1, $0,038 \pm 0,003$ à J10 et $0,039 \pm 0,004$ à J30. Pour chaque cheval, elle reste assez stable avec des chevaux à valeurs basses (par exemple le cheval B avec une valeur toujours inférieure à 0,035m) et des chevaux à valeur élevée (comme le cheval E, valeur toujours supérieure à 0,04m). Cependant, aucun effet temps n'est mis en évidence par l'analyse statistique.

Les **activités dorso-ventrales et latérales** sont elles aussi assez fixes pour chaque cheval, avec des valeurs très différentes entre les chevaux. La moyenne globale varie peu : $1,04 \pm 0,13$ à J0, $1,11 \pm 0,13$ à J1, $1,07 \pm 0,06$ à J10 et $1,18 \pm 0,11$ à J30 pour l'activité dorso-ventrale, et $0,30 \pm 0,06$ à J0, $0,30 \pm 0,09$ à J1, $0,33 \pm 0,09$ à J10 et $0,28 \pm 0,05$ à J30 pour l'activité latérale. L'analyse statistique ne révèle pas d'effet significatif du temps.

Le **vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal** semble assez variable entre les chevaux et au cours du temps. Il y aurait possiblement une augmentation de J0 à J10 ($3,32 \pm 0,35$ à J0, $3,67 \pm 0,24$ à J1 et $4,25 \pm 0,44$ à J10). **Sur l'axe vertical**, une augmentation entre J1 et J10 est observée, respectivement à $2,54 \pm 0,18$ et $2,97 \pm 0,25$. Pour ces deux paramètres, aucun effet significatif n'est révélé par l'étude statistique.

Pour le **vecteur d'appui droit, sur l'axe vertical**, il existe une forte disparité entre les chevaux, mais tous semblent avoir une valeur diminuée à J10, ce qui se retrouve sur le graphique des moyennes : $3,01 \pm 0,11$ à J1 et $2,60 \pm 0,14$ à J10. **Sur l'axe horizontal**, cette tendance est également présente : $4,65 \pm 0,33$ à J1 et $3,82 \pm 0,18$ à J10. A nouveau, aucun effet statistiquement significatif n'est mis en évidence.

Le **temps d'appui gauche** varie selon les chevaux et ne reste pas stable au cours du temps. En regardant les moyennes, il ressort une augmentation à J10 et une diminution à J30

(de $25,9\pm 0,5$ à J1 à $29,2\pm 1,3$ à J10 puis $27,0\pm 1,0$ à J30). Le modèle à effets mixtes montre un possible effet significatif du temps, mais la comparaison des moyennes deux à deux ne montre pas de différence significative.

Pour le **temps d'appui droit**, les valeurs sont fortement dispersées entre les chevaux et au cours du temps. Il apparaît à J10 une tendance globale à la diminution ($27,4\pm 0,6$ contre $30,0\pm 1,6$ à J0) et des valeurs plus rapprochées entre les chevaux (amplitude de 5,6 à J10 vs 11,5 à J0). L'analyse statistique ne révèle pas d'effet significatif du temps.

Bilan : il ressort de cette première étude une tendance à la modification du mouvement des antérieurs par rapport à l'axe sagittal. En effet les vecteurs d'appui et le temps d'appui gauche semblent augmentés, alors que les droits tendent à diminuer, à partir de J10. De plus, également à partir de J10, une augmentation du tangage est mise en évidence. L'analyse statistique montre seulement une augmentation significative du tangage et du lacer à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

3. Postérieurs

Comme pour les antérieurs, l'étude de la **symétrie** donne peu d'informations. Certains chevaux sont très symétriques (cheval G avec des valeurs toujours supérieures à 90%) et d'autres très peu (le cheval F, avec la plus petite valeur de 73%), mais tous présentent des variations au cours du temps. Il semble ressortir une augmentation globale à J30 (moyenne de $96\pm 1,1\%$ à J30 contre $94,2\pm 1,4\%$ à J0). Cependant le modèle à effets mixtes ne montre pas d'effet significatif du temps.

La **régularité** est assez stable pour un cheval donné et au cours du temps, à l'exception du cheval F qui présente des valeurs extrêmement basses, et discutables, à J0, J1 et J10. Le graphique cheval par cheval semble indiquer une augmentation dès J1. Le graphique des moyennes montre une augmentation seulement à J30 (129 ± 3 contre 114 ± 11 à J0). Cette différence peut s'expliquer par les valeurs très basses du cheval F. L'analyse statistique révèle un possible effet temps, mais la normalité des résidus et des effets aléatoires n'est pas vérifiée, il n'est donc pas possible de conclure à une différence significative des moyennes.

Concernant le **rebond**, une forte augmentation de la moyenne entre J1 et J10 est observée. Elle passe ainsi de $0,085\pm 0,004\text{m}$ à J1 à $0,131\pm 0,005\text{m}$ à J10. Pour tous les chevaux, cette augmentation marquée est présente. L'étude statistique révèle une augmentation significative du rebond à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

Le **déplacement latéral** semble augmenter à J10, mais de façon beaucoup moins claire et seulement pour la moyenne des chevaux : $0,06\pm 0,01\text{m}$ à J1 et $0,10\pm 0,01\text{m}$ à J10. Cette augmentation n'est retrouvée que sur certains chevaux (par exemple pour le cheval B, mais pas pour le cheval H). Aucun effet temps n'est mis en évidence par l'analyse statistique.

L'**activité dorso-ventrale** montre une très nette tendance : elle est proche à J0 et J1 (respectivement $2,4\pm 0,23$ et $2,7\pm 0,21$) puis elle augmente fortement à J10 et reste stable à J30 ($6,1\pm 0,4$ et $6,4\pm 0,6$). Cette courbe est observée dans le graphique des moyennes mais aussi pour chaque cheval pris individuellement. L'**activité latérale** présente exactement la même évolution : $0,87\pm 0,09$ et $0,90\pm 0,06$ à J0 et J1 puis fort palier pour atteindre $2,2\pm 0,15$ et $2,3\pm 0,09$ à J10 et J30. Tous les chevaux présentent cette augmentation. Pour ces deux valeurs

d'activité, l'analyse statistique conclue à une augmentation significative à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

Le **vecteur d'appui gauche** sur l'**axe vertical** montre aussi un palier entre J1 et J10 où il passe de $3,5\pm 0,2$ à $5,7\pm 0,4$. Tous les chevaux ont cette augmentation. D'après l'analyse statistique, ce paramètre est significativement augmenté à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1. Sur l'**axe horizontal**, les valeurs sont très dispersées à J0 (avec un minimum de 1,3 et un maximum de 5,7) puis se resserrent. Une tendance à l'augmentation de la moyenne de J1 à J10 (respectivement $2,23\pm 0,2$ et $3,33\pm 0,3$) est observée, et est présente chez tous les chevaux sauf le cheval E. Cependant il n'y a pas d'effet temps statistiquement significatif.

Pour le **vecteur d'appui droit**, une évolution similaire est constatée. Sur l'**axe vertical**, les valeurs sont proches à J0 et J1 (comprises entre 3,03 et 4,74, avec des moyennes de $3,84\pm 0,2$ et $4,07\pm 0,1$ respectivement). Ensuite elles augmentent à J10 et à J30 : une moyenne de $5,59\pm 0,5$ puis $6,15\pm 0,4$ est atteinte. Un seul cheval, le F, montre une diminution à J10. D'après l'étude statistique, la moyenne est significativement plus élevée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1. Sur l'**axe horizontal**, l'évolution est similaire : une moyenne proche à J0 et J1 ($2,23\pm 0,2$ et $2,48\pm 0,1$) puis une augmentation ($4,34\pm 0,9$ à J10 et $4,12\pm 0,2$ à J30). A l'exception du cheval E à J10 qui présente une valeur extrêmement haute (10,58), les chevaux ont des valeurs peu dispersées. Cependant, même si un effet temps est mis en évidence par le modèle à effets mixtes, la normalité des résidus et des effets aléatoires n'est pas vérifiée, empêchant une éventuelle conclusion valable quant à la comparaison des moyennes deux à deux.

Concernant les **temps d'appui**, il ne se dégage pas de tendance globale. Les moyennes restent comprises entre 21 et 25 pour le temps d'appui gauche, et entre 19 et 21 pour le temps d'appui droit. Les valeurs individuelles présentent une forte dispersion : de 12 à 35 pour le temps d'appui gauche, et de 13 à 36 pour le temps d'appui droit. Aucun effet temps n'est mis en évidence par l'analyse statistique.

Bilan : à nouveau des modifications sont mises en évidence à partir de J10. Ainsi le rebond et les activités dorso-ventrales et latérales augmentent fortement, elles sont significativement supérieures à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1. Ce même effet temps est mis en évidence pour les vecteurs d'appui droit et gauche sur l'axe vertical.

C – Au trot

1. Allure globale

La **cadence** du trot semble diminuer à J10 : elle passe de $1,40\pm 0,03$ à $1,34\pm 0,02$. Elle ne semble pas modifiée entre J0 et J1, ni entre J10 et J30. Cette diminution se retrouve chez tous les chevaux sauf les chevaux D et C. L'analyse statistique montre une diminution significative à J10 et à J30 par rapport à J0.

Le **tangage** montre une évolution plus nette : pour tous les chevaux, il augmente à J10, et la moyenne passe de $6,5\pm 0,4^\circ$ à J1 à $9,8\pm 0,4^\circ$ à J10. Cette augmentation est statistiquement significative entre J0 et J10, J0 et J30, J1 et J10 et J1 et J30

Concernant le **lancer**, la même évolution est observée : les moyennes sont respectivement de $5,9\pm 0,2^\circ$ et $8,7\pm 0,2^\circ$, et tous les chevaux présentent une augmentation à

J10. L'analyse statistique montre à nouveau une moyenne plus élevée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

2. Antérieurs

La **symétrie** est très variable entre les chevaux et au cours de temps mais reste dans des valeurs comprises entre 90 et 100%. Il ne se dégage pas de tendance globale. Aucun effet temps n'est mis en évidence par l'analyse statistique.

Il en va de même pour la **régularité**.

Le **rebond** semble diminuer à J1 puis augmenter à J10, avec des moyennes de $0,108 \pm 0,006$ m à J0, $0,100 \pm 0,003$ m à J1 et $0,109 \pm 0,003$ m à J10. Cette évolution ne se retrouve que chez certains chevaux (cheval A, E et F) avec des valeurs les plus élevées. Cependant le modèle à effets mixtes ne montre pas d'effet significatif du temps.

L'étude du **déplacement latéral** ne permet pas de mettre en évidence un effet en particulier. Les valeurs sont extrêmement dispersées (de 0,03m à 0,1m) et les chevaux ont des évolutions différentes les uns des autres. De même que pour le rebond, l'analyse statistique ne permet pas de mettre en évidence de différences de moyennes significatives.

Concernant l'**activité dorso-ventrale**, la moyenne montre une diminution de J0 à J10 (respectivement $23,6 \pm 1,4$ et $20,6 \pm 1,2$) puis une augmentation à J30 ($22,9 \pm 1,9$). Cependant il existe une forte dispersion des valeurs, et seuls les chevaux B et F ont cette évolution. Un effet temps semble probable mais l'analyse statistique ne permet pas de montrer de différences significatives des moyennes deux à deux. L'**activité latérale** a une évolution plus claire : la moyenne augmente entre J1 et J10 puis entre J10 et J30 (respectivement $0,37 \pm 0,07$, $0,50 \pm 0,07$ et $0,85 \pm 0,16$). Malgré la valeur extrême du cheval D à J30 (1,7) qui augmente exagérément la moyenne, la plupart des chevaux montrent cette augmentation de J1 à J30. Cependant, même si un effet temps est mis en évidence par le modèle à effets mixtes, la normalité des résidus et des effets aléatoires n'est pas vérifiée, empêchant une éventuelle conclusion valable quant à la comparaison des moyennes deux à deux.

Le **vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical** semble aussi augmenter entre J1 et J30, la moyenne passant de $7,8 \pm 0,4$ à $8,6 \pm 0,4$ puis $8,9 \pm 0,5$, mais la dispersion des valeurs est assez importante (amplitude supérieure à 2,5 à chaque fois). L'analyse statistique ne permet pas de mettre en évidence de différences de moyennes significatives. Sur l'**axe horizontal** est à nouveau présente une forte dispersion des valeurs rendant l'interprétation délicate, les moyennes restent proches ($4,08 \pm 0,2$ à J0 à $4,9 \pm 0,3$ à J30). Pourtant le modèle statistique révèle un effet temps avec des moyennes à J10 et à J30 significativement supérieures à celle de J0 et à celle de J1.

Pour le **vecteur d'appui droit**, sur l'**axe vertical**, aucune tendance ne se dégage, les moyennes restent comprises entre $6,71 \pm 0,4$ (pour J10) et $7,14 \pm 0,6$ (J0), et les chevaux diffèrent fortement entre eux (avec des valeurs extrêmes de 4,40 et 9,54). Il en va de même pour le vecteur d'appui droit sur l'**axe horizontal**. Dans ce cas, certains chevaux restent très stables (chevaux G ou D) et d'autres varient énormément (cheval A ou C). Pour ces deux paramètres, aucun effet significatif du temps n'est mis en évidence par l'analyse statistique.

Les **temps d'appui** montrent des valeurs très dispersées (avec des extrêmes de 21 et 38 pour le temps d'appui gauche et de 18 et 29 pour le temps d'appui droit). La moyenne ne semble alors pas évoluer entre les différents moments. Par ailleurs dans les deux cas, la dispersion est très élevée à J0 (amplitude de 17 pour le temps d'appui gauche et 11 pour le temps d'appui droit), et moins aux moments suivants. Les chevaux ont alors des valeurs plus similaires entre elles. A nouveau l'analyse statistique ne révèle pas d'effet temps significatif.

Bilan : à partir de J10, il y a une augmentation du tangage et du lacer, l'analyse statistique montrant une augmentation significative de J10 et de J30 par rapport à J0 et par rapport à J1. La cadence, elle, est significativement diminuée à J10 et J30 par rapport à J0. Enfin, le vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal est augmenté à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

3. Postérieurs

La **symétrie** ne montre à nouveau aucune tendance globale : les moyennes sont comprises entre $94\pm 2\%$ et $96\pm 1\%$, le minimum est de 82 et le maximum de 99%. Certains chevaux (par exemple le cheval D) sont plutôt stables tandis que d'autres montrent de fortes variations (comme le cheval H). Le modèle à effet mixte ne montre pas d'influence significative du temps.

La **régularité**, elle, semble augmenter entre J0 et J10 avec des moyennes de $160\pm 5,5$, $171\pm 3,6$ et $175\pm 2,5$. Cette évolution concerne trois chevaux (chevaux H, C et B). Certains n'augmentent qu'entre J0 et J1 (cheval A et E). L'analyse statistique révèle un effet temps significatif avec une moyenne augmentée à J10 et à J30 par rapport à J0.

Les moyennes pour le **rebond** sont proches à J0 et J1 ($0,20\pm 0,02$ et $0,19\pm 0,02$), puis plus élevées à J10 et J30 ($0,22\pm 0,01$ et $0,22\pm 0,02$). Cependant les valeurs sont très dispersées (amplitude comprise entre 0,11 et 0,19) avec des chevaux montrant des valeurs très élevées (cheval B et E à J0, cheval F à J1 et cheval A à J10 et J30 ont des valeurs supérieures à 0,25). Aucune influence significative du temps n'est mise en évidence par le modèle à effets mixtes.

Le **déplacement latéral** ne semble pas évoluer : les moyennes sont comprises entre $0,49\pm 0,07$ à J30 et $0,53\pm 0,07$ à J0, et l'étude cheval par cheval révèle une dispersion très élevée (entre 0,49 et 0,58 d'amplitude) et différents profils d'évolution. Le modèle à effets mixtes ne montre pas d'influence significative du temps.

L'**activité dorso-ventrale** montre en revanche une évolution très nette, avec des valeurs peu dispersées, et avec tous les chevaux ayant la même évolution : une forte augmentation entre J1 et J10. Ainsi la moyenne passe de $13,9\pm 0,4$ à $30,6\pm 1,5$. L'analyse statistique révèle une moyenne significativement plus élevée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

Concernant l'**activité latérale**, les mêmes observations peuvent être faites, la moyenne passant de $3,2\pm 0,3$ à $7,3\pm 0,6$, avec le palier à J10 pour tous les chevaux. A nouveau l'effet temps est statistiquement significatif avec une augmentation à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

Le **vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical** montre à nouveau une forte augmentation à J10 avec une moyenne basse à J0 et J1 ($5,8\pm 0,4$ et $5,8\pm 0,3$) et une moyenne

plus élevée à J10 et J30 ($7,7\pm 0,3$ et $8,0\pm 0,5$). Elle concerne tous les chevaux (mais de façon peu marquée pour les chevaux G, A et E). D'après l'analyse statistique, la moyenne est significativement augmentée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1. Sur l'**axe horizontal**, le vecteur d'appui gauche semble diminuer à J1 puis augmenter (les moyennes sont respectivement de $3,4\pm 0,3$, $2,8\pm 0,1$, $3,2\pm 0,3$ et $3,6\pm 0,3$). Cependant la dispersion des valeurs est marquée avec des extrêmes de 2,1 et 5,3, et des chevaux qui présentent des profils différents. Le modèle à effets mixtes ne permet pas de mettre en évidence d'effet temps significatif.

Le **vecteur d'appui droit**, à la fois sur l'**axe horizontal** et sur l'**axe vertical**, semble de façon très nette augmenter entre J1 et J10. A nouveau, il y a un palier J0-J1 (moyennes de $5,1\pm 0,3$ et $5,7\pm 0,2$ pour l'axe horizontal et de $2,6\pm 0,2$ et $2,6\pm 0,2$ pour l'axe vertical) et un palier plus haut J10-J30 ($10,5\pm 0,6$ et $10,1\pm 0,6$ pour l'axe horizontal et de $5,5\pm 0,5$ et $5,2\pm 0,3$ pour l'axe vertical). Cette évolution concerne tous les chevaux. Cependant, pour le vecteur d'appui droit sur l'axe horizontal, la normalité des résidus et des effets aléatoires n'étant pas vérifiée, aucune conclusion ne peut être émise. Pour le vecteur d'appui droit sur l'axe vertical en revanche, l'analyse statistique montre une moyenne significativement plus élevée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1.

Le **temps d'appui gauche** semble au contraire diminuer jusqu'à J10: la moyenne passe de $28\pm 1,8$ à J0 à $25\pm 0,7$ à J1 puis $22\pm 1,1$ à J10. Elle augmente légèrement à J30 : $22,5\pm 0,8$. Tous les chevaux montrent cette évolution sauf les chevaux D et F. D'après l'analyse statistique, le temps d'appui gauche est significativement diminué à J10 et à J30 par rapport à J0.

Le **temps d'appui droit**, lui, semble suivre une augmentation avec un palier J0-J1 et un palier J10-J30. Ainsi la moyenne passe de $24,8\pm 0,7$ à $28,3\pm 1,2$ entre J1 et J10. Tous les chevaux sauf le cheval F augmentent à J10. L'analyste statistique met en évidence une augmentation significative à J10 par rapport à J0 et par rapport à J1.

Bilan : la régularité est significativement augmentée entre J0 et J10 et entre J0 et J30. Les activités (dorso-ventrale et latérale) ont une moyenne significativement augmentée à J10 et à J30 par rapport à J0 et par rapport à J1. Il en est de même pour les vecteurs d'appui (droit et gauche) sur l'axe vertical. Enfin un effet temps est mis en évidence pour les temps d'appui avec une diminution du temps d'appui gauche (à J10 et J30 par rapport à J0) associée à une augmentation du temps d'appui droit (à J10 par rapport à J0 et par rapport à J1).

III. Discussion

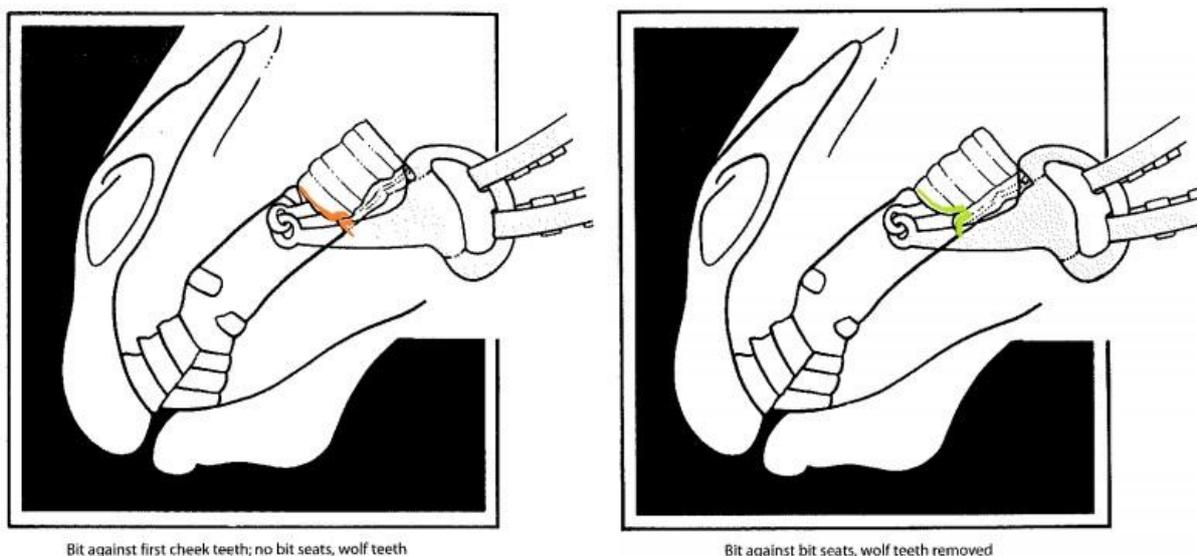
A – Sur le matériel et les méthodes

Selon Burgaud [10], l'effet d'un traitement ostéopathique diffère entre les deux groupes d'âge (jeunes *vs* âgés). En particulier, les chevaux âgés présentent souvent des anomalies de la locomotion, en raison d'une incidence plus importante de lésions ostéo-articulaires multiples et des dysfonctions ostéopathiques compensatoires. Nous avons donc choisi de n'utiliser que des jeunes chevaux (moins de 7 ans) pour avoir un groupe le plus homogène possible, et limiter le biais liés à l'âge.

L'analyse de la locomotion se fait classiquement « à l'œil nu » par les vétérinaires, lors d'examens d'orthopédie standardisés. Cependant cela reste subjectif et opérateur-dépendant. Il en est de même pour le ressenti ostéopathique, qui plus est plus difficile à comprendre pour un non-ostéopathe. Ces méthodes n'étaient pas adaptées à notre étude, car les résultats auraient été trop contestables. L'accélérométrie en revanche est une méthode d'analyse de la locomotion très utilisée dans les publications vétérinaires. C'est une méthode objective et répétable, qui a été validée pour l'étude de la locomotion, l'évaluation des jeunes chevaux et la quantification des boiteries [5], [6]. Elle présente également l'avantage d'être simple à utiliser, sur le terrain. Les capteurs sont de petite taille et ne gênent pas les chevaux. Elle fournit de nombreuses données très informatives (cadence, rebond...), à la fois pour les antérieurs et les postérieurs. Dans cette étude, seuls des capteurs 2D ont été utilisés, mais il existe des capteurs 3D qui permettent d'obtenir des données supplémentaires : en rajoutant une mesure sur l'axe crânio-caudal, des valeurs liées notamment à la propulsion sont exploitables.

Nous avons voulu mettre en évidence un effet de la dentisterie et voir s'il se prolongeait dans le temps. Il a ainsi été décidé de réaliser des mesures le lendemain de la dentisterie (J1), une semaine plus tard (J10) et un mois plus tard (J30). Le choix de ces moments est basé sur l'expérience de Patrick Lecollinet. Il a constaté sur les chevaux qu'il a manipulés, qu'un effet se ressent très rapidement après la correction des défauts d'occlusion. Il pense également que cet effet se maintient suffisamment longtemps pour présenter un réel intérêt pour le Cheval. La mesure à J1 permet donc de voir l'effet immédiat, celle à J10 l'effet à court terme et celle à J30 l'effet à moyen terme.

Le fait de créer un fort arrondi sur l'angle des premières prémolaires (106, 206, 306, 406) est appelé « bit seat » ou siège du mors. D'après Allen [1] il est important de réaliser un arrondi suffisamment marqué lors de la dentisterie [figure 75]. En effet le mors appuie les commissures des lèvres contre ces dents. Lorsque l'angle est trop marqué, les commissures sont alors blessées. Le râpage en arrondi permettrait d'améliorer le confort des chevaux lors des actions de main du cavalier, notamment lors d'intolérance au mors.



Bit against first cheek teeth; no bit seats, wolf teeth

Bit against bit seats, wolf teeth removed

Figure 75 : schéma montrant le contact du mors sur la commissure des lèvres et les premières prémolaires, sur des dents non faites (à gauche) et sur des dents avec un « bit seat » (à droite), d'après [1]

Cette étude possède plusieurs biais inévitables. Nous ne disposons pas de chevaux dédiés à l'expérimentation et devons donc nous adapter à l'activité de ces chevaux. Tous n'étaient donc pas montés par le même cavalier et ne faisaient pas le même travail. Il est probable que le travail des chevaux ait un impact sur la locomotion, puisqu'il va modifier la musculature, la proprioception, etc..., et ce de façon différente selon la discipline pratiquée. Le cavalier peut lui-même induire des lésions ostéopathiques s'il ne parvient pas à avoir un cheval dans un équilibre correct. De plus ses actions de main sur le mors peuvent générer un stress sur l'ATM. Le niveau du cavalier peut donc avoir un effet important sur la locomotion du cheval. Dans notre cas, quatre des chevaux étaient montés par un cavalier de concours de saut d'obstacle (cheval B, C, D et cheval A), deux par un autre cavalier de saut d'obstacle (chevaux G et H) et les deux autres étaient des chevaux d'instruction (chevaux E et F). A l'exception des chevaux E et F, les chevaux étaient travaillés par des cavaliers professionnels dont un niveau élevé en équitation est supposé, donc peut-être plus probablement un effet bénéfique du travail sur la locomotion des chevaux.

Par ailleurs, la disponibilité des chevaux ne nous permettait pas de réaliser les mesures au même moment de la journée à chaque fois. Un autre biais peut être le fait que l'état d'esprit du cheval ne soit pas le même à chaque mesure : les chevaux sont généralement plus excitable le matin et plus calmes dans la soirée, d'autant plus s'ils sont sortis avant les mesures. L'environnement pourrait également jouer sur les mesures, le passage de personnes et de véhicules à proximité pourrait distraire les chevaux et modifier ainsi leur locomotion. A l'extrême, l'état d'esprit de la personne qui tient le cheval pourrait aussi avoir une importance sur celui-ci. S'il est calme, le cheval sera aussi plus calme et concentré.

Enfin un biais majeur est que nous ne pouvions pas décider du moment de la ferrure des chevaux. Il est probable qu'un changement de ferrure (retrait de fers usés et mise en place de fers neufs) influe sur la locomotion des chevaux, car les appuis sont différents entre le début de la ferrure et la fin de la ferrure en place. Cependant ces chevaux n'avaient pas de problème locomoteur majeur, ils n'ont donc pas eu de changement dans le type de fer qu'ils portaient, ce qui limite le biais. Les chevaux ont été ferrés aux moments suivants :

- Cheval H : pas de ferrure au cours de l'étude
- Cheval B : ferrure à J0 avant les mesures
- Cheval D : ferrure à J1 après les mesures
- Cheval E, C, A : ferrure entre J1 et J10
- Cheval F : ferrure entre J10 et J30
- Cheval G : ferrure à J30 après les mesures

Pour les chevaux H, B et G, la ferrure ne semble pas avoir eu une influence majeure, seul l'effet fin de ferrure aurait pu être présent à J30. Pour le cheval D, un effet fin de ferrure est possible à J1. Pour les chevaux E, C et A, les modifications observées entre J1 et J10 peuvent être en relation avec le changement de ferrure. Enfin concernant le cheval F, la ferrure pourrait avoir modifié la locomotion entre J10 et J30.

Cette étude originale a pour objectif de montrer que la dentisterie peut avoir un effet sur la locomotion, hypothèse qui est loin de faire l'unanimité parmi les vétérinaires équins. Nous avons choisi de traiter huit chevaux, qui formaient alors leur propre témoin. Cela a permis de mettre en évidence un effet temps sur de nombreux paramètres de la locomotion, et ce de manière objective. Ces résultats encourageants semblent montrer que la dentisterie a bien un effet sur la locomotion. D'autres études seraient nécessaires pour confirmer cela, en utilisant des chevaux traités et des chevaux non traités (cas et témoins). De plus il serait intéressant de faire ce type d'études sur un plus grand nombre de cas.

B – Sur les résultats

Parmi les paramètres qui présentent des modifications statistiquement significatives, nous avons retenus les suivants, qui nous paraissent les plus intéressants, car liés à des qualités d'allure recherchées :

- Tangage et lacer au pas et au trot (augmentés à J10 et à J30 par rapport à J0 et J1)
- Activité dorso-ventrale et vecteurs d'appui sur l'axe vertical des postérieurs au pas et au trot (augmentés à J10 et à J30 par rapport à J0 et J1)
- Régularité des postérieurs au trot (augmentés à J10 et à J30 par rapport à J0)
- Cadence du trot (diminués à J10 et à J30 par rapport à J0)

Le **tangage** et le **lacer** représentent l'amplitude des mouvements de balancier du Cheval. Plus ils sont importants, plus l'allure du Cheval est souple et déliée. Concernant l'**activité dorso-ventrale** et les **vecteurs d'appui sur l'axe vertical des postérieurs**, il s'agit de paramètres en relation avec l'effort de propulsion du Cheval vers le haut. En équitation, le cavalier cherche à ce que le Cheval utilise son impulsion pour se propulser vers le haut (airs relevés en dressage, saut...). Ces deux paramètres sont donc intéressants dans le travail du Cheval. La **régularité** est une qualité d'allure qui conditionne l'équilibre. Enfin la **cadence** peut être interprétée de différentes façons. Elle dépend de la vitesse et de l'amplitude des foulées (distance parcourue par foulée), car la vitesse est égale au produit de la cadence par l'amplitude. Au cours de l'étude, la vitesse n'a pas été contrôlée de façon précise, mais l'expérimentateur tenant les chevaux a cherché à garder une vitesse constante pour chaque analyse. En supposant la vitesse constante (ou tout du moins assez peu variable), il semble donc que la diminution de la cadence reflète une augmentation de l'amplitude des foulées. Il s'agit aussi d'une amélioration de la propulsion du Cheval, cette fois vers l'avant.

Nous avons également constaté une modification de certains paramètres liés à l'axe latéral : le **vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal** des antérieurs au trot, le **temps d'appui gauche** et le **temps d'appui droit** des postérieurs au trot. Ces paramètres sont plus difficiles à interpréter, il semblerait que la présence d'une personne à la tête du Cheval puisse avoir une influence (le Cheval se « déporterait » du côté opposé à la personne). C'est ce qui ressort d'une étude non publiée menée en 2012 [d'après Sophie Biau, communication personnelle]. Concernant les temps d'appui des postérieurs au trot, il apparaît que le temps d'appui droit augmente tandis que le temps d'appui gauche diminue, comme si les chevaux reportaient leur poids du côté droit. Cela pourrait s'expliquer par une asymétrie du bassin qui serait corrigée par la dentisterie. Pourtant l'étude de la symétrie des postérieurs ne montre pas de modifications significatives. Il serait intéressant d'étudier la symétrie en lien avec les temps d'appui des postérieurs, et de comparer les temps d'appui droits et gauches, notamment sur des chevaux où une asymétrie de bassin serait objectivée cliniquement.

En s'intéressant au moment où des modifications significatives sont mises en évidence, il s'avère que toutes ces modifications sont visibles à J10, c'est-à-dire une semaine après la dentisterie. Aucune modification n'a pu être révélée à J1, ce qui suggère qu'un éventuel effet de la dentisterie n'est pas visible par les méthodes de mesures utilisées, ou bien que les chevaux mettraient plus d'une journée à adapter leur locomotion à leur nouvelle occlusion. En revanche, après une semaine, plusieurs paramètres sont significativement modifiés. A l'exception du temps d'appui droit des postérieurs au trot, tous les paramètres qui sont modifiés à J10 par rapport à J0 le sont aussi à J30 par rapport à J0. De plus aucun paramètre n'est statistiquement différent entre J10 et J30. Il semblerait donc que les modifications de la locomotion soient durables : elles demeurent présentes un mois après la dentisterie, et sont semblables entre une semaine et un mois après la dentisterie. Dans l'étude de Burgaud [10], des modifications de la locomotion suite au traitement ostéopathique étaient également visibles à 10 jours. L'auteur note entre autres une augmentation de la régularité des postérieurs au trot, ce qui est aussi le cas dans notre étude.

1. Lien entre malocclusion et ATM

Notre postulat de départ est qu'une malocclusion crée un stress sur l'ATM, que ce soit au repos, dans la mastication ou au travail. Ce lien, même s'il est intuitivement logique, est controversé. Dans un article de 2006 [32], l'auteur P.H.L.Ramzan explique que ce lien est seulement suspecté chez l'Homme et inconnu chez le Cheval. Il faudrait réaliser des études mais il n'existe pas de moyen suffisamment sensible pour mettre en évidence un état pathologique de l'ATM. De plus l'ATM posséderait une certaine capacité d'adaptation, donc toute malocclusion n'entraînerait pas systématiquement de douleur de l'ATM. Les problèmes d'occlusion peuvent provoquer des altérations de l'ATM telles que de l'arthrose [2]. Il est cependant difficile de déterminer si la malocclusion est la cause ou la conséquence de l'arthrose. Il est cependant possible d'évaluer la mobilité de l'ATM, sans lien avec une douleur ou un état pathologique. Une étude [12], a utilisé la mesure de la différence d'espacement entre les incisives inférieures et supérieures avec la tête fléchie et avec la tête tendue. Cette technique donne la mobilité rostrocaudale de la mandibule. Les auteurs ont ainsi mis en évidence une augmentation significative de la mobilité de l'ATM après la dentisterie sur 31 chevaux parmi les 33 traités, par rapport à un groupe témoin de 26 chevaux. Cette mobilité ne dépendait pas de l'âge des animaux ni du nombre de lésions dans la bouche. Dans un article de 1993 [34], l'auteur montre un lien entre une malocclusion et une douleur sur l'ATM : lorsque les premières prémolaires supérieures (106-206) s'avancent par rapport aux inférieures en formant une pointe, la mandibule est tirée caudalement, ce qui provoquerait un stress sur

l'ATM. Une autre étude [35] a utilisé des méthodes cinématiques pour évaluer les mouvements masticatoires. Elle a pu mettre en évidence une diminution significative des mouvements rostrocaudaux de la mandibule après la dentisterie. D'après les auteurs, cela s'expliquerait par le fait que les dents broient mieux les aliments, l'amplitude des mouvements n'a alors plus besoin d'être aussi importante qu'avant les soins. Il s'agit donc d'un effet bénéfique pour le Cheval.

Par rapport à la pratique de l'équitation, la dentisterie apporterait au Cheval un certain confort qui lui permet d'être plus réceptif aux demandes du cavalier. De nombreux entraîneurs et cavaliers sentent une différence dans le comportement de leur cheval après la dentisterie, mais aucune preuve n'a pu être apportée [1], [11]. Les auteurs supposent que des anomalies d'occlusion limitent la mobilité rostrocaudale de la mandibule et, dans certains cas, latéro-latérale. Or lorsque le Cheval change la position de sa tête, la mandibule glisse rostrocaudalement par rapport au crâne du fait de la mise en jeu, dans ce mouvement, des muscles cervicaux ventraux, qui s'insèrent sur l'angle mandibulaire, l'appareil hyoïdien et le larynx. Si ce mouvement est bloqué par les dents, lors de la flexion de la tête, une pression se crée sur l'ATM [figure 76]. Le Cheval est alors gêné dans ses mouvements, ce qui explique qu'il ne réponde pas correctement au cavalier. Cela est accentué avec le port d'une muserolle serrée, qui empêche le Cheval d'ouvrir la bouche et limite encore plus la possibilité de mouvement de la mandibule par rapport au crâne. Un autre article [27] corrobore cette hypothèse de difficulté à la flexion de la nuque causée par une malocclusion. L'équitation recherche une décontraction de la mâchoire [30], appelée "cession de mâchoire" qui se caractérise par une déglutition du mors. Le Cheval est alors relâché jusque dans son dos et peut se placer en équilibre (nuque fléchie, garrot remonté, abaissement des hanches et engagement des postérieurs). Ainsi une malocclusion peut nuire au travail du Cheval.

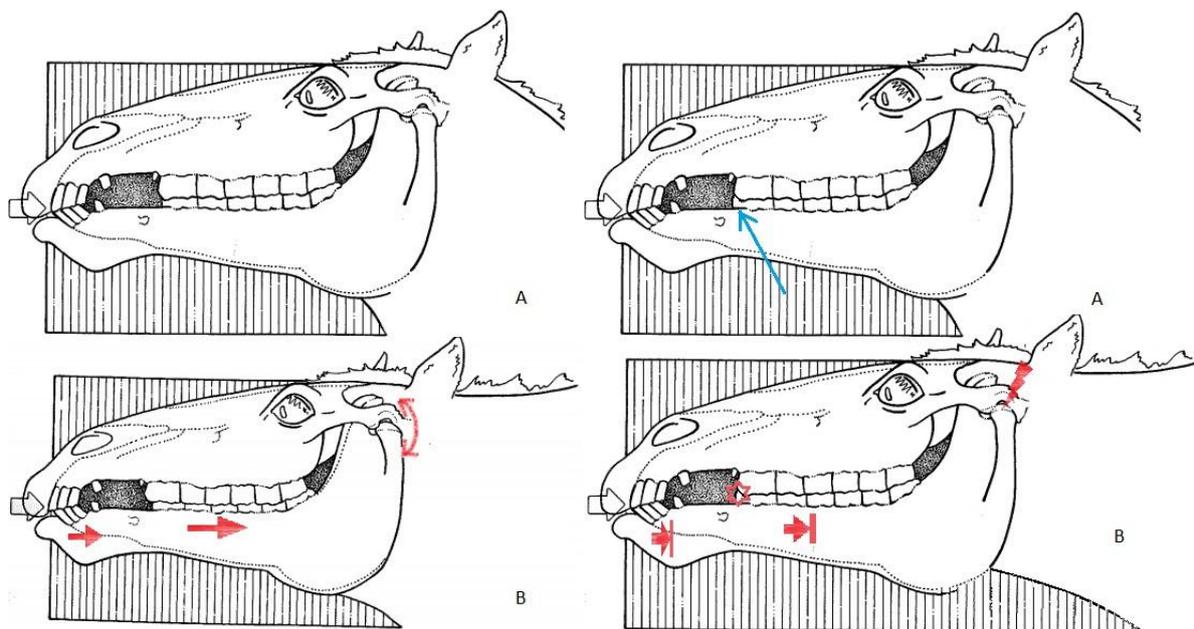


Figure 76 : schéma d'une extension de la tête, montrant le glissement des arcades dentaires supérieures et inférieures l'une sur l'autre, à gauche : cheval sans malocclusion, à droite cheval avec une malocclusion (procidence de 306), entraînant une pression sur l'ATM, d'après [1]

Les chevaux de notre étude ont été choisis pour leur procidence des dents 306-406 (comme sur la figure 76). La dentisterie a corrigé ce défaut. D'après les notions développées ci-dessus, les chevaux semblent montrer une amélioration de la mobilité rostro-caudale de la mandibule. Il s'agit notamment d'une facilitation du glissement caudal de la mandibule lors de l'extension de la tête.

Cette amélioration de la mobilité rostro-caudale de la mandibule peut se répercuter sur l'ensemble du corps par différents processus. Nous allons maintenant nous pencher d'une part sur les principes de biomécaniques pouvant s'appliquer à cette étude, et d'autre part sur les approches ostéopathiques de l'articulation temporo-mandibulaire.

2. Approche biomécanique [18], [30]

La biomécanique nous renseigne sur l'organisation musculo-squelettique et la mobilisation des différentes régions du corps.

a/ Région cervicale

La région cervicale est la plus mobile du rachis. Les articulations atlanto-occipitale et atlanto-axiales permettent au Cheval de bouger la tête dans toutes les directions. La jonction cervico-thoracique (de C5 à T2) permet le fonctionnement du balancier cervico-thoracique. Les mouvements de flexion et extension peuvent être hauts (région atlanto-occipitale) ou bas (C5 à T1). La flexion cervicale provoque l'étirement du ligament nuchal [figure 77], tandis que l'extension cervicale génère un relâchement du ligament nuchal [figures 78]. Les muscles responsables de ces mouvements sont cités dans le tableau 4.

Tableau 4 : *muscles mobilisateurs de la région cervicale (M = muscle), d'après [18]*

Flexion cervicale [figure 77]		Extension cervicale [figure 78]	
Haute	Basse	Haute	Basse
M. long de la tête	M. scalène	M. splénius	M. cervicaux dorsaux
M. long du cou	M. long du cou	M. semi-épineux de la tête	Terminaison du
M. sterno-céphalique	M. sterno-céphalique	M. droits dorsaux	m. <i>erector spinae</i>
		M. oblique crânial de la tête	

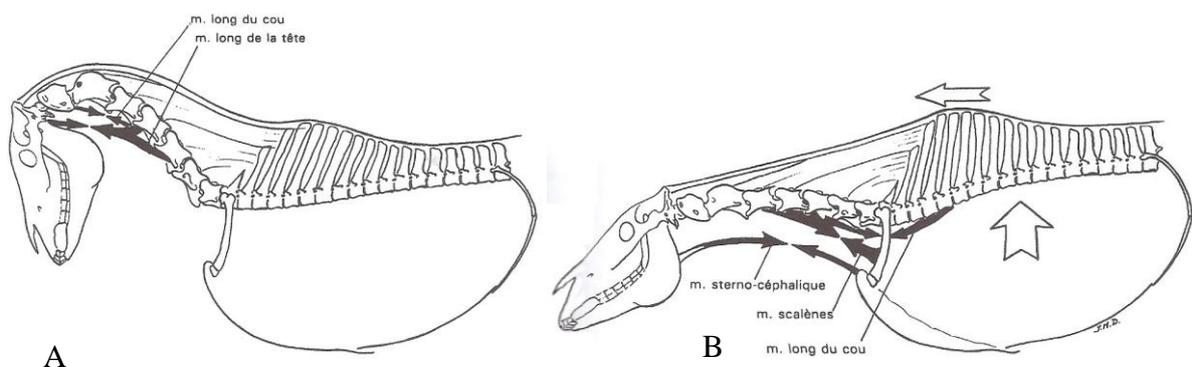


Figure 77 : A - flexion cervicale haute (nuchale), B - flexion cervicale basse (cervico-thoracique), vues latérales gauches, d'après [18]

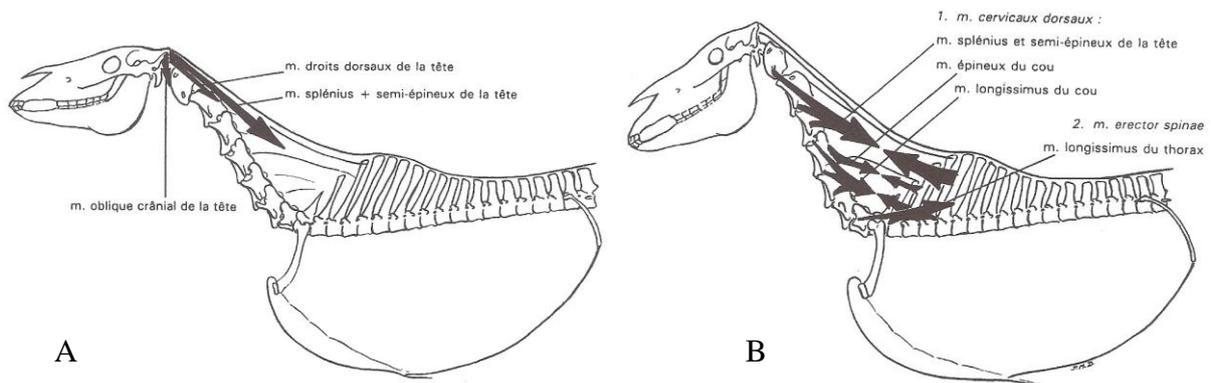


Figure 78 : A - extension cervico-céphalique, B - extension cervico-thoracique, vues latérales gauches, d'après [18]

b/ Région thoraco-lombaire

Les mouvements de flexion-extension de la colonne thoraco-lombaire siègent principalement au niveau de la **charnière thoraco-lombaire** (T17 à L2) et de la **charnière lombo-sacrale** (L5 à S1). Ces mouvements dépendent de la position de l'encolure. Une flexion cervico-thoracique (abaissement de l'encolure) entraîne une flexion de la colonne thoracique, par la traction qu'exerce alors le ligament nuchal sur les processus épineux des premières vertèbres thoraciques [figures 79 et 80]. Le ligament nuchal provoque une mise en tension du ligament supra-épineux, qui verrouille alors la région lombaire. Cette relative rigidité est normalement compensée par les articulations lombo-sacrées et coxo-fémorales qui permettent, avec les muscles abdominaux, l'engagement des membres postérieurs. Les articulations sacro-iliaques s'associent également à la charnière lombo-sacrale, avec de légers mouvements de nutation et contre-nutation.

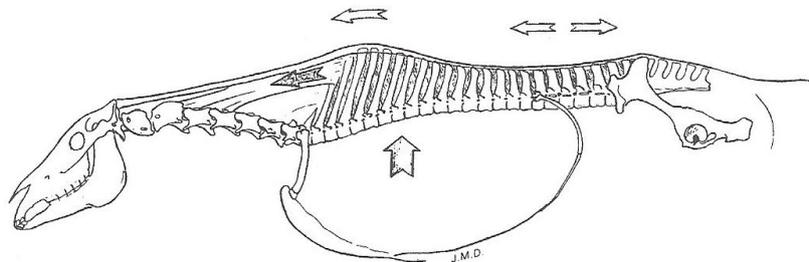


Figure 79 : abaissement de l'encolure et flexion cervico-thoracique, vue latérale gauche, d'après [18]

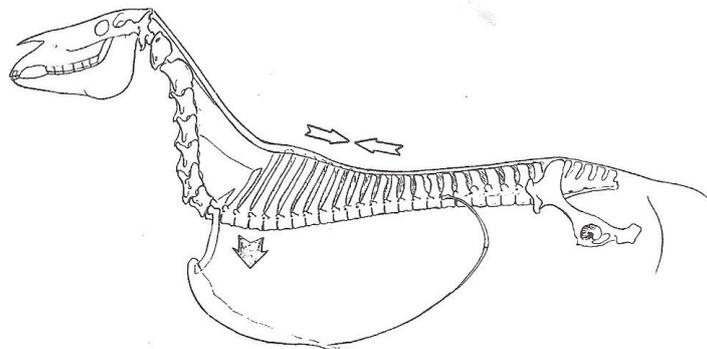


Figure 80 : relèvement de l'encolure et extension cervico-thoracique, vue latérale gauche, d'après [18]

Les muscles responsables de la flexion thoraco-lombaire sont répartis en deux groupes distincts : ceux de la paroi abdominale et ceux de la région sous-lombaire. Les muscles de l'extension thoraco-lombaire sont les muscles situés dorsalement aux vertèbres qui composent le muscle *erector spinae* [tableau 5], [figures 81 à 84].

Tableau 5 : muscles mobilisateurs de la région thoraco-lombaire, d'après [18]

Flexion thoraco-lombaire [figures 81 et 82]		Extension thoraco-lombaire [figures 83 et 84]
M. de la paroi abdominale	M. de la région sous-lombaire	M. <i>erector spinae</i> , composé de :
M. oblique externe M. oblique interne M. droit de l'abdomen	M. grand psoas M. petit psoas M. carré des lombes	m. ilio-costal (long costal) m. longissimus (long dorsal) m. long épineux

Les muscles extenseurs forment une masse musculaire contenue par le **fascia thoraco-lombaire**, qui peut être mis sous tension par les muscles dentelés dorsaux du thorax. Le muscle multifide permet également l'extension thoraco-lombaire. Enfin le muscle fessier moyen, par son attache au fascia thoraco-lombaire, permet l'extension lombo-sacrée.

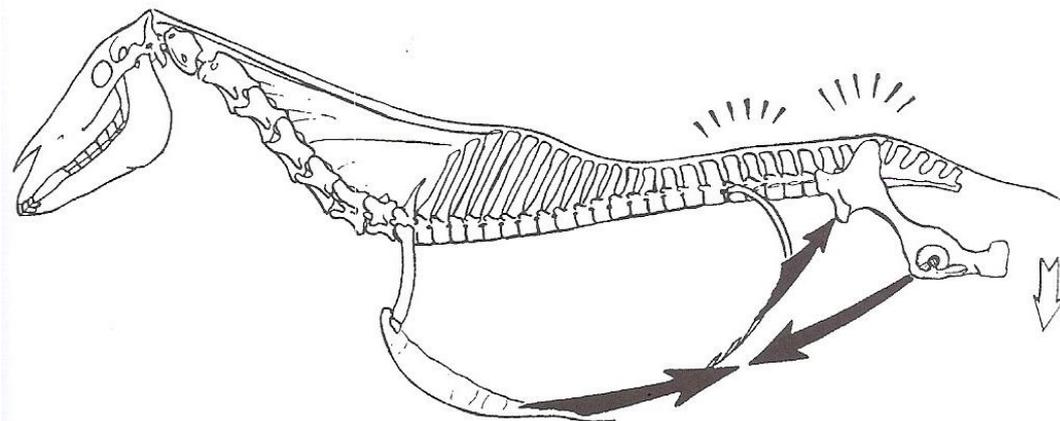


Figure 81 : flexion thoraco-lombaire et lombo-sacrée (contraction des muscles droit et oblique interne de l'abdomen), vue latérale gauche, d'après [18]

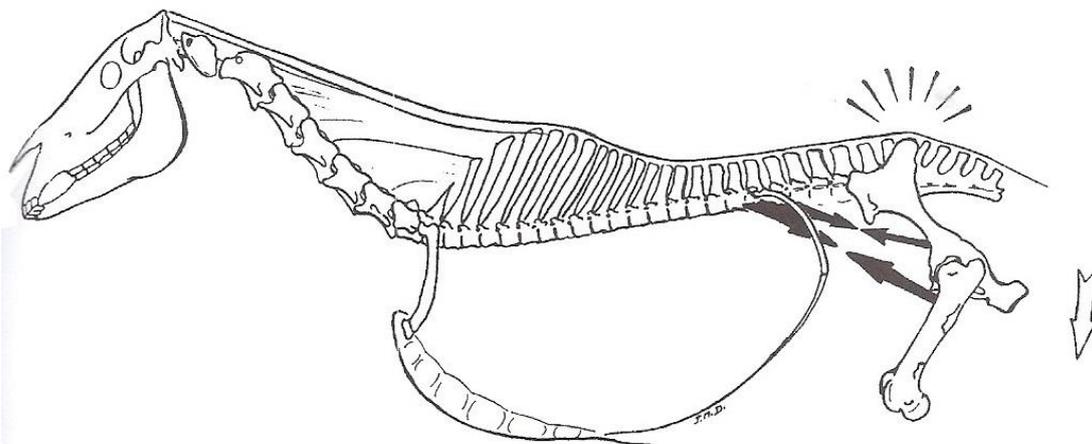


Figure 82 : flexion lombo-sacrée (contraction des deux muscles psoas), vue latérale gauche, d'après [18]

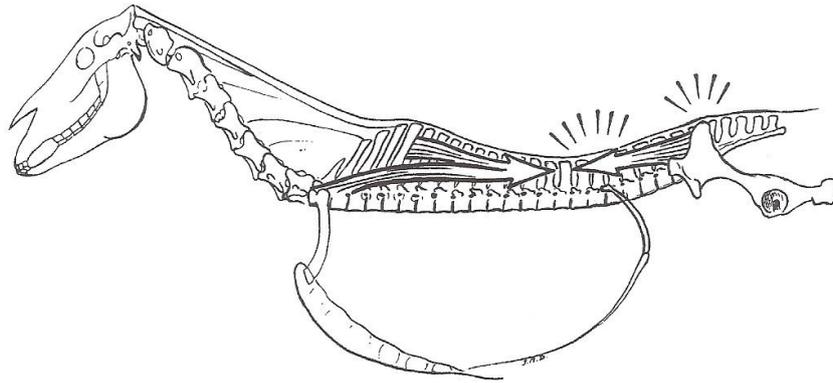


Figure 83 : extension thoraco-lombaire et lombo-sacrale (contraction des muscles longissimus et épineux), vue latérale gauche, d'après [18]

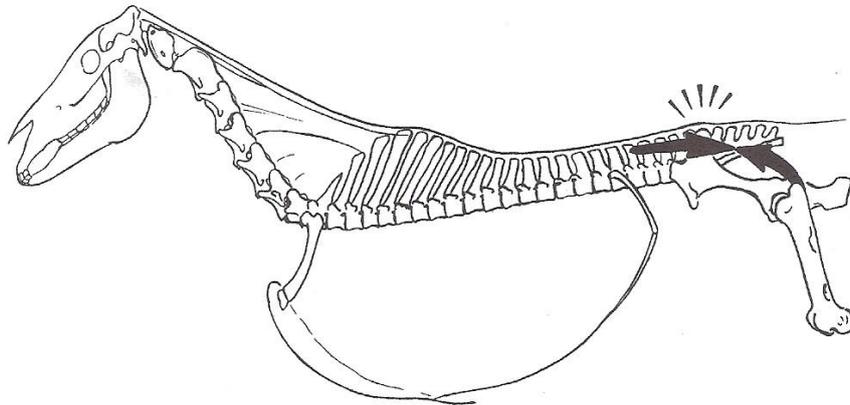


Figure 84 : extension lombo-sacrale (contraction du muscle fessier moyen), vue latérale gauche, d'après [18]

Les **mouvements latéraux et de rotation** ont principalement lieu dans la région de T9 à T14 [figure 85]. Ils sont permis par les parties latérales du muscle *erector spinae* (muscle ilio-costal et longissimus) et par les muscles abdominaux obliques. Les principaux muscles de la rotation thoraco-lombaire sont les muscles multifides et obliques de l'abdomen. Au cours de la latéro-flexion, les muscles oblique externe et oblique interne d'un côté agissent en synergie. En revanche lors d'une rotation, le muscle oblique interne d'un côté agit avec le muscle oblique externe et le muscle multifide controlatéraux.

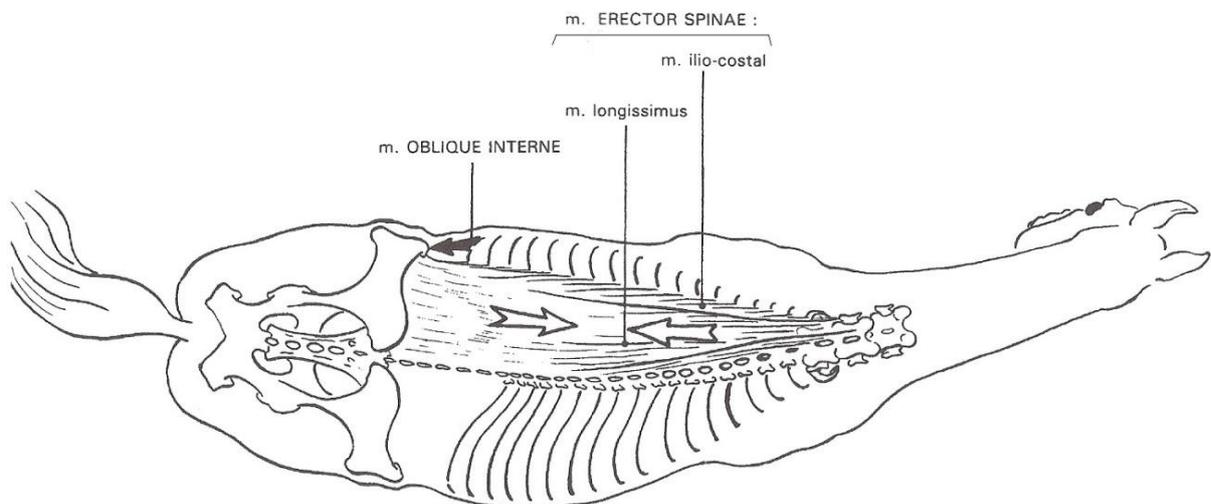


Figure 85 : latéro-flexion vertébrale gauche, vue dorsale, d'après [18]

c/ Aspects synthétiques

Schématiquement deux chaînes musculaires participent à la mobilisation du dos du Cheval [figure 86].

La **chaîne musculaire dorsale** comporte :

- les muscles cervicaux dorsaux qui provoquent le relever de l'encolure et l'extension de la charnière cervico-thoracique
- les muscles *erector spinae* et multifides, responsables de l'extension de la colonne thoraco-lombaire
- les muscles fessiers et fémoraux caudaux, pour l'extension de la hanche

Elle s'ancre en deux points principaux : au niveau de la charnière cervico-thoracique, avec les processus épineux des vertèbres du garrot, et au niveau du bassin, où elle permet la continuité avec la chaîne musculaire ischio-jambière.

Elle permet des mouvements comme la propulsion, le saut ou le cabrer.

La **chaîne musculaire ventrale** est composée des muscles suivants :

- les muscles cervicaux ventraux qui permettent la flexion de l'encolure
- les muscles abdominaux, responsables de la flexion de la colonne thoraco-lombaire, des articulations lombo-sacrées et coxo-fémorales
- les muscles fémoraux crâniens, qui provoquent la flexion de la hanche

Pour sa partie cervicale, ses points d'ancrage sont au niveau de la tête et au niveau sterno-costal. En région abdominale se trouvent un point d'ancrage costo-xyphoïdien et un point d'ancrage pubien et inguinal.

La chaîne musculaire ventrale apparaît comme l'assise de la chaîne musculaire dorsale. Elle permet aux chaînes musculaires dorsales et ischio-jambières de soulever l'avant-main du Cheval. C'est la chaîne de la flexion du rachis.

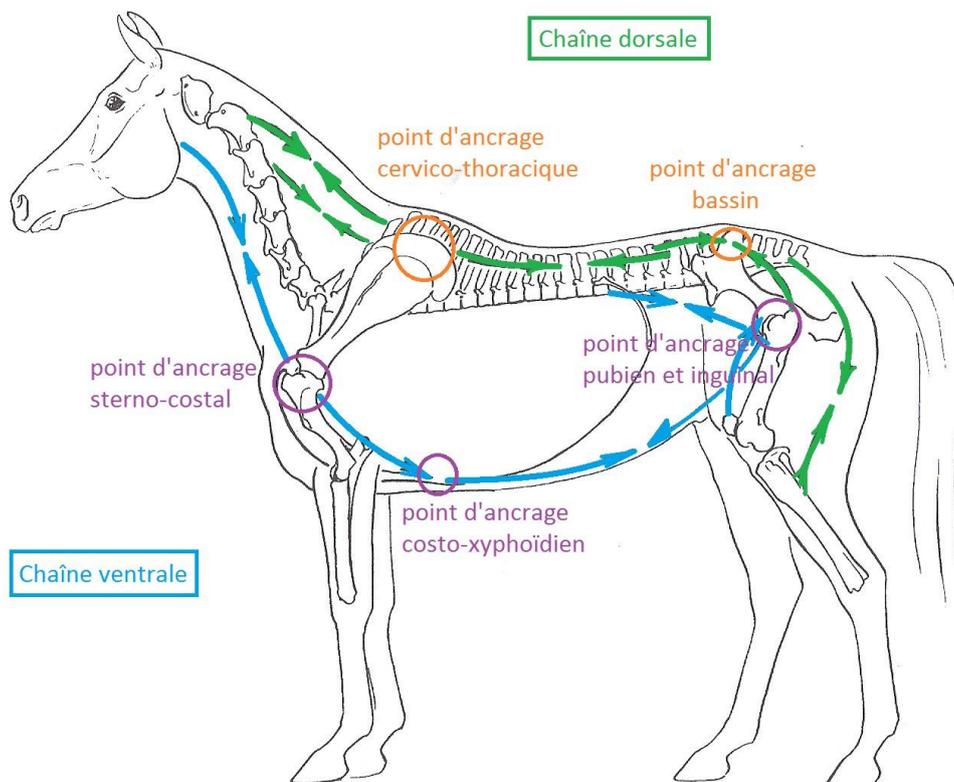


Figure 86 : chaînes musculaires, vue latérale gauche, d'après [18],[30]

Les chaînes musculaires sont recouvertes chacune par un **plan myofascial** (ou nappe aponévrotique) qui permet leur prolongement et leur contention. La nappe dorsale enveloppe la masse commune, partant de la base de l'encolure pour rejoindre l'articulation coxo-fémorale. Elle est mise en tension latéralement par les muscles dentelés dorsaux du thorax. La nappe ventrale, elle, prolonge les muscles obliques de l'abdomen. Elle est recouverte par une lame élastique, qui permet un soutien passif des viscères.

Les deux chaînes musculaires fonctionnent en synergie pour permettre une tonicité dorsale et un engagement correct des membres. La partie abdominale de la chaîne musculaire ventrale est essentielle à une locomotion correcte, en synergie avec la partie cervicale. C'est elle qui doit être renforcée prioritairement. Elle nécessite pour cela une décontraction correcte de la chaîne musculaire dorsale, sans quoi le dos se verrouille. En équitation, le point d'équilibre entre ces deux chaînes est recherché.

d/ Application à l'étude

Parmi les muscles de l'encolure se trouve le **muscle sterno-céphalique**, dont une des insertions est le bord de la mandibule, le **muscle long de la tête**, s'insérant à la jonction entre l'os occipital et l'os sphénoïde, le **muscle oblique crânial** de la tête, dont une des insertions est en partie sur l'os temporal et le **muscle splénius**, s'insérant en partie sur le processus mastoïde de l'os temporal. Ainsi, ces muscles sont en relation étroite avec l'ATM. En améliorant la mobilité rostro-caudale de la mandibule, il est possible que ces muscles se relâchent (la protubérance des dents 306-406 entraînant une mandibule « coincée » rostralement, ces muscles étaient étirés). Cela pourrait expliquer l'augmentation du tangage (balancier avant-arrière) à J10. En libérant les muscles de la flexion-extension cervicale, le Cheval peut plus aisément se servir de son balancier cervico-céphalique, d'où un tangage amélioré. Ceci est d'autant plus important que les mouvements de l'encolure se répercutent au rachis thoraco-lombaire via le ligament supra-épineux, d'où un **tangage** marqué également pour l'arrière-main.

Lors de la propulsion générée par l'arrière-main, les membres postérieurs du Cheval doivent d'abord s'engager sous le corps. Cela nécessite une contraction des muscles abdominaux de la chaîne ventrale, associée à un relâchement des muscles de la chaîne dorsale. Ensuite, les membres à l'appui propulsent le corps vers l'avant, grâce à une contraction des muscles fessiers et fémoraux caudaux. La propulsion est transmise au corps *via* le bassin. Elle n'est efficace que si les deux chaînes musculaires sont toniques. Une procidence des dents 306-406 peut se répercuter au point d'ancrage sterno-costal avec une déstabilisation des muscles cervicaux ventraux. Il semble possible qu'en conséquence, la tonicité de toute la chaîne ventrale soit modifiée, gênant l'engagement des membres postérieurs d'une part, et la force de propulsion d'autre part. Cela est cohérent avec l'augmentation de l'**activité dorso-ventrale** et des **vecteurs d'appui sur l'axe vertical** des postérieurs au pas et au trot, et la diminution de la **cadence** du trot (augmentation de l'amplitude des foulées) observés à J10 et à J30. La correction de l'occlusion aurait "libéré" les chaînes musculaires dorsale et ventrale.

Ces résultats semblent cohérents avec les résultats décrits dans la littérature. Excepté l'étude de Carmalt [13] (basée sur la performance des chevaux), l'effet de la dentisterie sur la locomotion n'a pas, à notre connaissance, été l'objet d'une étude expérimentale. Plusieurs auteurs ont étudié le lien entre la position de la tête et de l'encolure et les mouvements du dos ou des membres. Ainsi **Rhodin (2005)** montre sur huit chevaux de sport, par des mesures

cinématiques, qu'au pas, la position de la tête influe sur les mouvements de flexion-extension et de latéro-flexion de la colonne lombaire, ainsi que sur la longueur des foulées. Ces mouvements sont de moindre amplitude lorsque la tête est maintenue en position haute par rapport à une position basse ou libre. Une étude basée sur les mêmes techniques (**Gomez-Alvarez 2006**) montre également l'influence de la position de la tête sur la cinématique du dos. Ainsi l'élévation de la tête provoque une extension thoracique et une flexion lombaire, associée à une diminution de l'étendue des mouvements sagittaux. L'abaissement de la tête a l'effet inverse. Dans une étude de **2006, Weishaupt** utilise des mesures de force de réaction sur le sol pour évaluer la distribution des charges de chaque membre, chez des chevaux de dressage. Il montre une modification significative de nombreux paramètres (durée de la foulée, distance parcourue, impulsion, force...) selon la position de la tête demandée par le cavalier. L'étude de **Waldern (2009)** est basée sur ces calculs de forces de réaction du sol, sur le même type de chevaux et avec des positions de la tête similaires. Elle montre que par rapport à une tête libre, les positions d'élévation de l'encolure ou d'abaissement de l'encolure avec flexion de la nuque provoquent un report de poids vers l'arrière-main. Avec une encolure très haute, les antérieurs diminuent la durée de leur foulée et donnent moins d'impulsion. Dans une étude de **2009 par Rhodin et Gomez-Alvarez**, les auteurs concluent également à un effet marqué de la position haute de l'encolure, avec une augmentation des paramètres liés à l'attitude du rassembler, mais qui peut être néfaste à long terme. Dans l'étude de **Biau (2002)**, les auteurs utilisent des mesures d'accélérométrie pour comparer l'effet des différents enrênements (outils contrôlant le port de tête) sur la locomotion du Cheval. Ils concluent que ces enrênements modifient significativement le pas et le trot, chacun agissant soit sur l'activité des antérieurs, soit sur l'activité des postérieurs.

Tous ces résultats peuvent s'expliquer par la biomécanique. La position de la tête et de l'encolure semble bien avoir une influence sur la locomotion. Par extrapolation, il semble envisageable que l'occlusion ait aussi une influence, puisqu'elle commande à la position de l'ATM, elle-même en relation avec la tête du Cheval.

Chez l'Homme, le lien entre l'occlusion et non plus la locomotion, mais la posture, a été l'objet de nombreuses études. Certaines d'entre elles ont étudié les liens entre l'occlusion et la posture, d'autres l'ATM et le dos, d'autres enfin la pression des pieds en rapport avec l'occlusion. Les résultats sont contradictoires. Aucune théorie n'a pu être validée, mais certains praticiens restent convaincus de l'influence de l'occlusion et des dents sur le système postural et locomoteur.

Ainsi, **Wiesinger (2006)** a mis en évidence une prévalence statistiquement plus élevée des problèmes de face et/ou de mâchoire chez les personnes souffrant de dorsalgies que chez celles n'en souffrant pas. En **2008**, il a également montré une relation réciproque entre les dorsalgies et les problèmes d'ATM, dans une étude statistique sur 266 personnes. Il s'interroge alors sur la présence de causes communes à ces entités pathologiques ou bien de l'influence de l'une sur l'autre. Dans une étude de **Helsing (1987)** sur des enfants de 8 à 15 ans, l'inclinaison de la mandibule, l'extension de la tête et l'intensité de la lordose cervicale sont liées, de même que la position de la mandibule et la courbe thoracique. Il semblerait que la courbe de la colonne vertébrale soit compensée par une modification du centre de gravité du complexe crânio-facial. Cependant, une revue de **2006 par Armijo** dément toute preuve d'association entre la colonne cervicale, le système stomatognathique et les douleurs cranio-faciales, sa recherche par mot-clé n'ayant donné que des articles qui, selon lui, sont de mauvaise qualité ou insuffisants pour prouver quoi que ce soit. Des études supplémentaires sur le sujet seraient nécessaires.

Les études sur le lien entre l'occlusion et la pression sur les pieds sont également contradictoires. **Ferrario (1996)** teste la pression exercée sur les pieds chez 30 femmes. Il ne

trouve pas de relation significative entre les problèmes d'ATM, les malocclusions ou la position des dents et la pression sur les pieds. **Cuccia (2011)**, en étudiant 5 variables baropodométriques, ne montre pas de lien entre elles et la présence d'un problème d'ATM, mais, grâce à une modélisation par des morceaux de cotons placés entre les dents, il suspecte une influence de ces problèmes d'occlusion sur la posture. Contrairement à ces études, celles de **Marco et Cuccia (2010)** et **Tecco (2010)** montrent des différences significatives dans certains paramètres de pression sur les pieds selon la présence de problèmes d'ATM ou la position des dents et l'occlusion respectivement.

Concernant le lien entre l'occlusion et la posture, certains ont essayé de montrer une influence de l'occlusion sur la posture ou bien de la posture sur l'occlusion. Dans le premier cas, l'étude de **Bracco (2004)** montre une différence significative de certains paramètres posturométriques et stabilométriques selon la position de la mâchoire (95 sujets). De même **Nobili (1996)** a montré des différences de posture selon le type de malocclusion. D'après l'étude de **Tardieu (2008)**, l'occlusion n'affecterait la posture que sur des surfaces instables avec les yeux fermés. **Okubo (2010)** a montré chez des personnes âgées édentées que le port d'un dentier (offrant une dentition complète) améliore la stabilité à l'arrêt et en déplacement. De même, d'après **Milani (2000)** la présence d'un système de repositionnement de la mandibule affecterait de façon réversible la posture. En **2008**, **Bergamini** a montré que l'activité électrique des muscles de la posture diminuait après correction des malocclusions. L'étude de **Yoshino (2003)** montre, elle, que la distribution du poids sur les pieds change quand les dents se serrent ou quand l'occlusion devient unilatérale. Il semblerait donc que l'occlusion ait une influence sur la posture. Certaines études tendent cependant à réfuter cette hypothèse. Ainsi **Lippold (2006)** n'a pas mis en évidence de différences significatives des paramètres de la posture entre des groupes présentant des types d'occlusion différents. Le même type d'étude a été faite avec deux positions de mandibule sans montrer de différences significatives dans la posture (**Perinetti 2006**). **Michelotti (2006)** a étudié 26 personnes présentant une occlusion spécifique (« posterior crossbite ») et n'a pas vu d'influence de cette occlusion sur la stabilité posturale par rapport aux 52 sujets témoins.

Les études tendant à mettre en évidence une influence de la posture sur l'occlusion sont les suivantes. **Solow (1997)** a montré une corrélation entre la position de la tête par rapport à la colonne vertébrale et la hauteur dento-alvéolaire ainsi qu'avec l'inclinaison des surfaces occlusales (120 sujets). Une étude de **Valentino (1991)** a évalué l'occlusion selon le positionnement des pieds et montré une influence significative. **Tingey (2001)** a pu mettre en évidence une influence de la position de la tête et du corps sur les mouvements de la mandibule. En revanche une étude de **Makofsky (2000)** sur la posture de la tête n'a pas mis en évidence de corrélation significative avec l'occlusion.

On trouve des études qui traitent des inter-relations entre la posture et l'occlusion. **Sakaguchi (2007)** a étudié d'une part l'occlusion selon la présence ou non d'un talon sous un pied et d'autre part la pression des pieds selon 5 positions de mandibule. Dans les deux cas, une corrélation significative est montrée. Une étude sur des enfants avec une dentition de lait ou mixte (**Kritsineli 1992**) a montré une relation significative entre les problèmes d'ATM et la position de la tête et entre les problèmes d'ATM et l'occlusion. Une autre étude, **Arntsen (2011)**, sur la dentition des enfants souffrant de malocclusions montre des associations entre le type de malocclusions et la morphologie de la colonne vertébrale et la posture de la tête. Une étude de **Contardo et Perinetti (2010)** donne des résultats moins probants. Sur 122 sujets présentant des malocclusions, des mesures de posturographie selon la position de la mandibule n'ont pas montré de corrélations significatives.

Il existe des revues systématiques sur le sujet. Celle de **Michelotti (1999)** conclue à une corrélation occlusion-posture limitée à la colonne cervicale haute. Il critique ainsi les traitements à visée à la fois occlusale et posturale. **Korbmacher (2004)** est moins catégorique

en mettant en avant l'absence de consensus malgré le nombre d'études. La coopération orthopédie-orthodontie resterait un champ d'étude intéressant. La revue de **Cuccia (2009)** va dans le sens d'une relation forte posture-occlusion. En effet, même si les études ne sont pas suffisantes pour conclure, il existe de nombreux liens anatomiques avérés, et l'expérience clinique va dans ce sens. Il explique que les structures impliquées dans la proprioception de la région de la mâchoire sont connectées aux structures nerveuses contrôlant la posture, et que le système myofacial aurait également un rôle important. Ainsi une mauvaise occlusion affecterait le contrôle de la posture. De même dans son article de **1991, Mannheimer** cherche à convaincre de la possibilité de douleurs faciales ou de l'ATM causées par des anomalies posturales, et vice-versa. Le rôle de la kinésithérapie serait essentiel pour restaurer des schémas mentaux corrects après des thérapies dentaires.

Une étude de **Fujimoto (2001)** s'est intéressée non plus à la posture mais à la démarche. Des différences significatives dans les paramètres de la locomotion ont été trouvées chez 12 sujets selon la position de la mandibule. Il semblerait que celle-ci affecte la démarche.

Il est difficile d'appliquer des résultats de médecine humaine au Cheval, étant donné la grande différence entre la bipédie et la quadrupédie. Certaines études semblables aux études réalisées en médecine humaine ont été faites sur des animaux. Par exemple dans celle de **D'Attilio (2005)**, le postulat de départ est qu'une malocclusion peut entraîner une scoliose. Un groupe de 15 rats reçoit une prothèse dentaire en résine d'un côté de la bouche. Après une semaine, tous ces rats présentent une déviation sévère de la colonne vertébrale (scoliose objectivée à la radiographie), ce qui n'est le cas d'aucun des rats du groupe témoin. Les auteurs vont plus loin en rajoutant une seconde résine pour rééquilibrer l'occlusion : 83% des rats récupèrent un alignement vertébral satisfaisant après une semaine.

Bilan : La biomécanique explique comment la position de la tête peut influencer la locomotion du Cheval. De nombreuses études valident cette théorie. En médecine humaine, certaines études tendent à prouver que l'occlusion joue sur la posture. Le rôle important de l'occlusion sur la position de la tête peut être supposé, et la locomotion peut être extrapolée à la posture. Cela expliquerait l'influence de l'occlusion sur la locomotion du Cheval, qui semble ressortir de notre étude.

3. Approche ostéopathique

Concernant l'ostéopathie équine, les études expérimentales sont très rares. En **2008, Gomez-Alvarez** a utilisé des mesures de cinématique sur 10 chevaux pour évaluer l'effet d'un traitement chiropractique (technique de manipulation se rapprochant de l'ostéopathie, très développée aux Etats-Unis). Il a pu mettre en évidence une diminution significative de l'extension thoracique, une diminution significative de l'inclinaison du bassin et une amélioration significative de la symétrie du bassin, à la suite de la manipulation. Des études supplémentaires seraient nécessaires.

L'étude de **Burgaud, Biau et al (2013)** sur l'ostéopathie est plus complète. Il s'agit d'une étude randomisée, en double aveugle, sur 26 chevaux présentant des dysfonctions de l'arrière-main mais non boiteux, réalisée avec des mesures d'accélérométrie. Les auteurs montrent ainsi que le traitement ostéopathique de ces chevaux modifie leur locomotion. Le rebond, la symétrie au trot et la propulsion au trot et au galop sont notamment améliorés. Un temps d'adaptation serait nécessaire à la suite de la manipulation. Chez les chevaux de plus de

7 ans, des adaptations aux dysfonctions font que la levée de ces dernières peut au départ perturber la locomotion du cheval.

D'après Patrick Lecollinet, les soins dentaires font partie des techniques ostéopathiques [communication personnelle], car il considère les malocclusions comme la cause de certaines dysfonctions, y compris à distance de la bouche, notamment des restriction de mobilité du bassin, avec un fonctionnement asymétrique. Cette hypothèse se base sur son expérience clinique. Parmi les nombreux chevaux qu'il a suivis, à la fois en ostéopathie et en dentisterie, il a fréquemment observé des liens entre l'occlusion et la locomotion. Ainsi de nombreux chevaux présentent une amélioration de la locomotion après la dentisterie. A l'inverse certains chevaux suivis pour des problèmes locomoteurs ne s'améliorent pas avec des traitements allopathiques ou ostéopathiques seuls. Ces chevaux ont fréquemment des défauts d'occlusion, dont la correction entraîne la résolution du défaut d'allure.

Différentes notions ostéopathiques permettent d'expliquer le lien entre l'occlusion et la locomotion. Nous détaillerons tout d'abord les chaînes musculaires liées à l'ATM, puis le système crânio-sacré, et enfin la force de traction médullaire (FTM).

a/ Chaînes musculaires

On distingue deux chaînes musculaires reliant l'ATM au bassin. Ces notions de chaînes musculaires recoupent en partie celles vue en biomécanique, mais elles intègrent en plus des structures non musculo-squelettiques comme le diaphragme ou les fascias. A la différence de l'approche biomécanique, l'ostéopathe perçoit des dysfonctions plutôt que des lésions cliniques. Une dysfonction d'une structure peut se répercuter à une autre structure en relation avec la première, et le praticien peut déterminer par la palpation ostéopathique la lésion primaire et les lésions compensatoires. La première chaîne est la **chaîne du muscle sterno-céphalique**, la deuxième la **chaîne du muscle brachio-céphalique** [figure 87] :

- Chaîne du muscle sterno-céphalique :
 - Le muscle sterno-céphalique s'insère sur l'angle de la mandibule et rejoint le manubrium sternal
 - Le muscle droit de l'abdomen s'insère sur le quatrième cartilage costal et rejoint le pubis
 - Une modification du port de la mandibule entraîne donc un tiraillement du muscle sterno-céphalique, lequel provoque alors une asymétrie du sternum. *Via* le muscle droit de l'abdomen, c'est ensuite le bassin qui se décale.
 - Le diaphragme s'insère sur le sternum et les côtes, ainsi que sur la 6ème vertèbre lombaire.
 - L'asymétrie du sternum a donc également des répercussions sur le diaphragme, qui entraîne lui aussi un tiraillement sur le bassin via les vertèbres lombaires

- Chaîne du muscle brachio-céphalique :
 - Le muscle brachio-céphalique s'insère sur le processus mastoïde de l'os temporal et rejoint la crête humérale
 - Le fascia parotidien lie le muscle sterno-céphalique au muscle brachio-céphalique
 - Une asymétrie du muscle sterno-céphalique peut donc déséquilibrer les muscles brachio-céphaliques droit et gauche. Cela provoque alors des problèmes aux membres antérieurs.

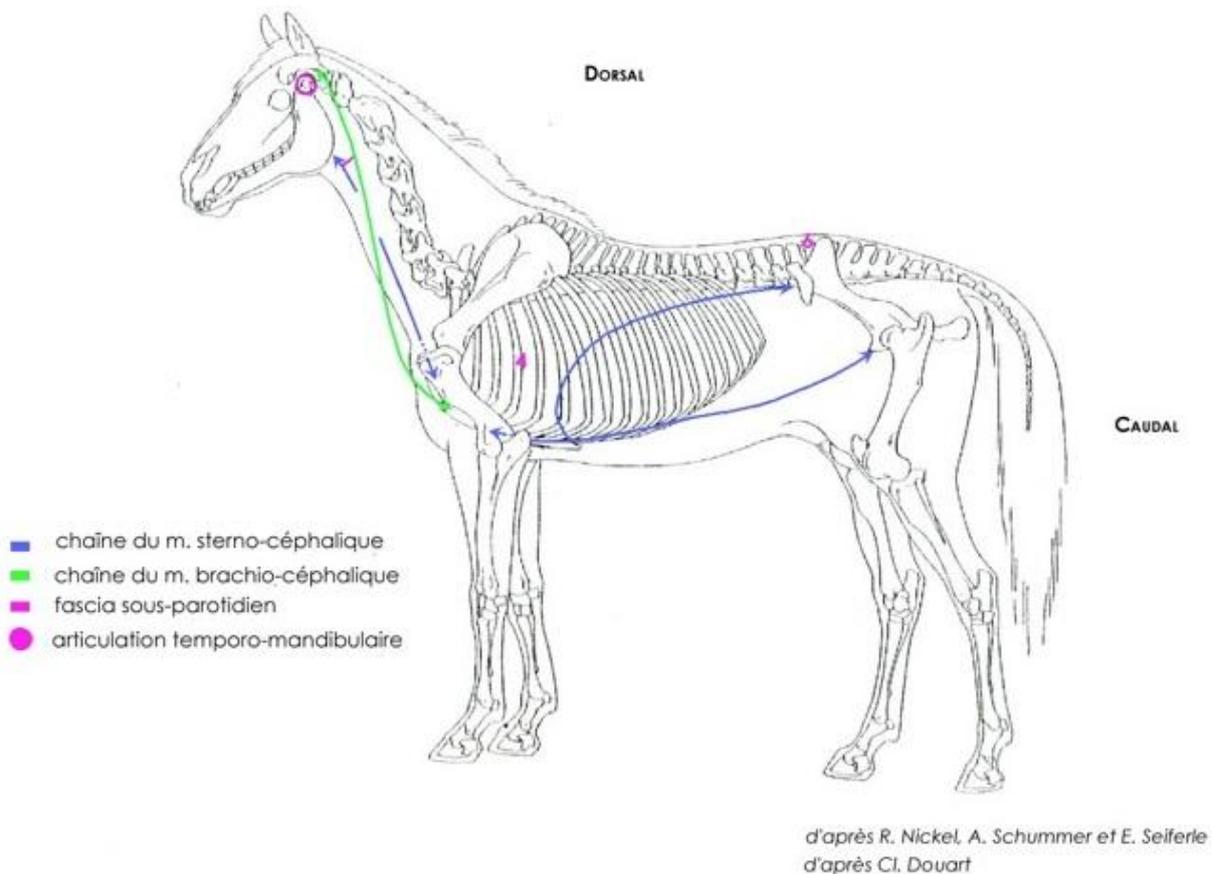


Figure 87 : schéma des chaînes musculaires en relation avec l'ATM, cheval en vue latérale gauche, d'après C.Douart

Dans notre étude, la correction de la procidence des dents 306-406 pourrait avoir permis à la mandibule une plus grande mobilité, notamment en direction caudale. Ainsi le sternum retrouve une symétrie correcte (par le muscle sterno-céphalique). Cependant nos résultats n'ont pas mis en évidence d'effet sur la symétrie des antérieurs. Ensuite, c'est le bassin qui peut avoir un fonctionnement modifié (par le muscle droit de l'abdomen et/ou par la diaphragme et les vertèbres lombaires).

Cela peut expliquer l'augmentation du **tangage** : la dentisterie aurait levé le tiraillement sur le sternum et sur le bassin, qui peuvent fonctionner avec plus d'amplitude dans le plan sagittal lors de la locomotion du Cheval.

Pour le **lacer**, il pourrait s'agir d'une asymétrie de la mandibule, avec une procidence des dents 306-406 plus marquée d'un côté que de l'autre. Ainsi le muscle sterno-céphalique du côté correspondant à la dent la plus proéminente provoquerait un tiraillement du sternum de ce côté. Par répercussion, cela déstabiliserait le bassin. Le Cheval aurait alors une mobilité moindre dans le plan latéral au cours de la locomotion.

Ce bassin déstabilisé (soit dans le plan latéral, soit dans le plan dorso-ventral) pourrait expliquer un défaut de régularité des postérieurs, avec un Cheval gêné dans son fonctionnement, d'où des foulées irrégulières. L'augmentation de la **régularité** des postérieurs objectivée à J10 et J30 par rapport à J0 serait due à la correction de l'occlusion.

De même la propulsion de postérieurs, décrite notamment par l'**activité dorso-ventrale** et les **vecteurs d'appui sur l'axe vertical**, dépend de la mobilité du bassin. Les chaînes musculaires liant l'ATM au sternum puis au bassin expliqueraient donc la modification de ces paramètres suite à la dentisterie.

b/ Système cranio-sacré

[22]

L'ostéopathie crânio-sacrée a été développée par Sutherland au début du XX^{ème} siècle. Elle part du principe que les os du crâne ne sont pas figés mais forment un système dynamique. Ce système est lié au sacrum par la dure-mère des méninges. Le crâne est animé d'un mouvement cyclique, appelé **mouvement respiratoire primaire** (MRP). Il est transmis au reste du corps par le liquide céphalo-rachidien (LCR) et les fascias. L'ostéopathe peut ressentir ce mouvement chez chaque animal.

i. Bases anatomiques

o Os de la tête [figure 88]

Deux parties peuvent être distinguées dans la tête osseuse : le crâne et la face. Le crâne comprend les os suivants : os sphénoïde, os occipital, os ethmoïde, os pariétaux, os temporaux et os frontaux. La face comporte : os vomer, os maxillaires, os incisifs, os palatins, os ptérygoïdiens, os zygomatiques, os lacrymaux, os nasaux ainsi que les mandibules. Les sutures entre les os, de type synarthrose puis synostose, permettent des mouvements entre les os de la tête et donc l'expression du MRP. Evrard [22] décrit deux sphères qui participent à la dynamique crânienne : la **sphère rostrale**, centrée sur l'os sphénoïde, et la **sphère caudale**, dépendant de l'os temporal et de l'os occipital. Ces deux sphères sont articulées entre elles par la **symphyse sphéno-basilaire (SSB)**.

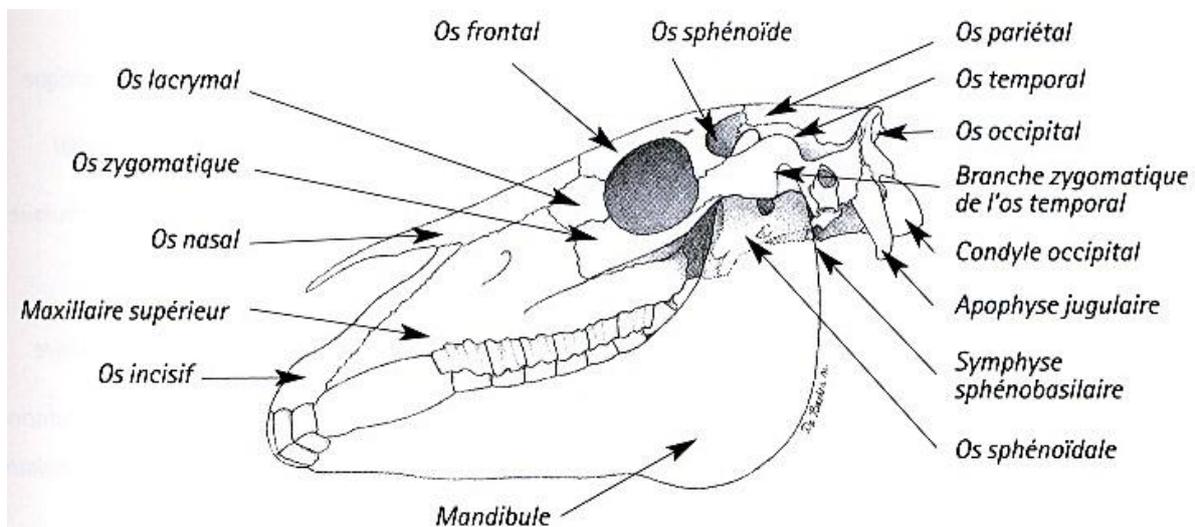


Figure 88 : os de la tête, vue latérale gauche, d'après [22]

o Méninges [figure 89]

Les méninges entourent le système nerveux central. Trois structures les composent : la **pie-mère**, l'**arachnoïde** et la **dure-mère**. Le LCR circule entre la pie-mère et l'arachnoïde. La dure-mère est la partie extérieure des méninges. Elle possède elle-même deux parties. La partie extérieure tapisse le périoste du crâne et du canal vertébral. Elle s'attache au canal vertébral au niveau du trou occipital, des deuxièmes et troisièmes vertèbres cervicales et enfin au niveau de la deuxième vertèbre sacrée. Elle forme caudalement la terminaison du **filum**

terminale [figure 90]. La partie interne, par endroits accolée à la partie extérieure, s'en sépare dans le crâne pour former la **faux du cerveau**, la **faux du cervelet** et la **tente du cervelet** [figure 91].

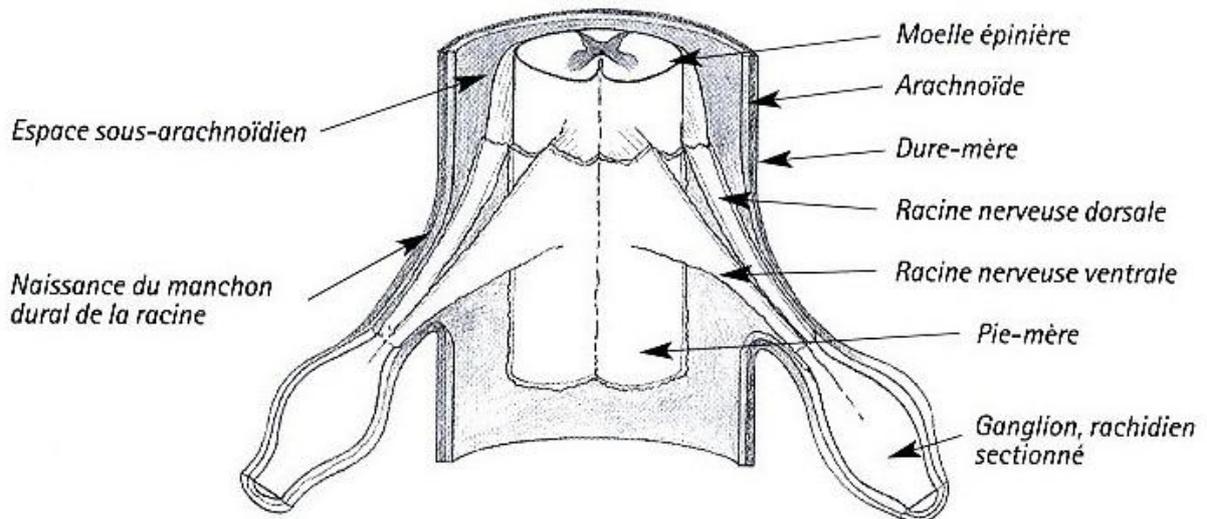


Figure 89 : disposition des méninges rachidiennes, vue ventrale du canal vertébral, d'après [22]

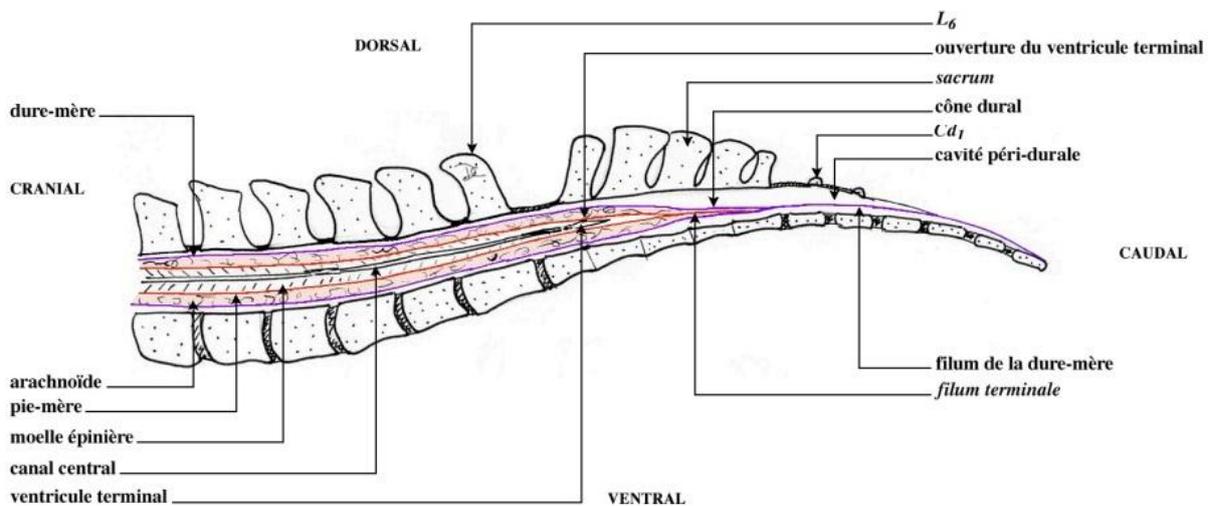


Figure 90 : terminaison de la moelle épinière, coupe longitudinale du canal vertébral, d'après C.Douart

La faux du cerveau et la tente du cervelet sont appelées **membranes de tension réciproques**. Elles dirigent les mouvements des os de la tête, en prenant un point d'appui suspendu. Ce point se situe, à l'équilibre, au croisement entre la faux du cerveau et la tente du cervelet. Il peut adapter sa place aux mouvements des os de la tête.

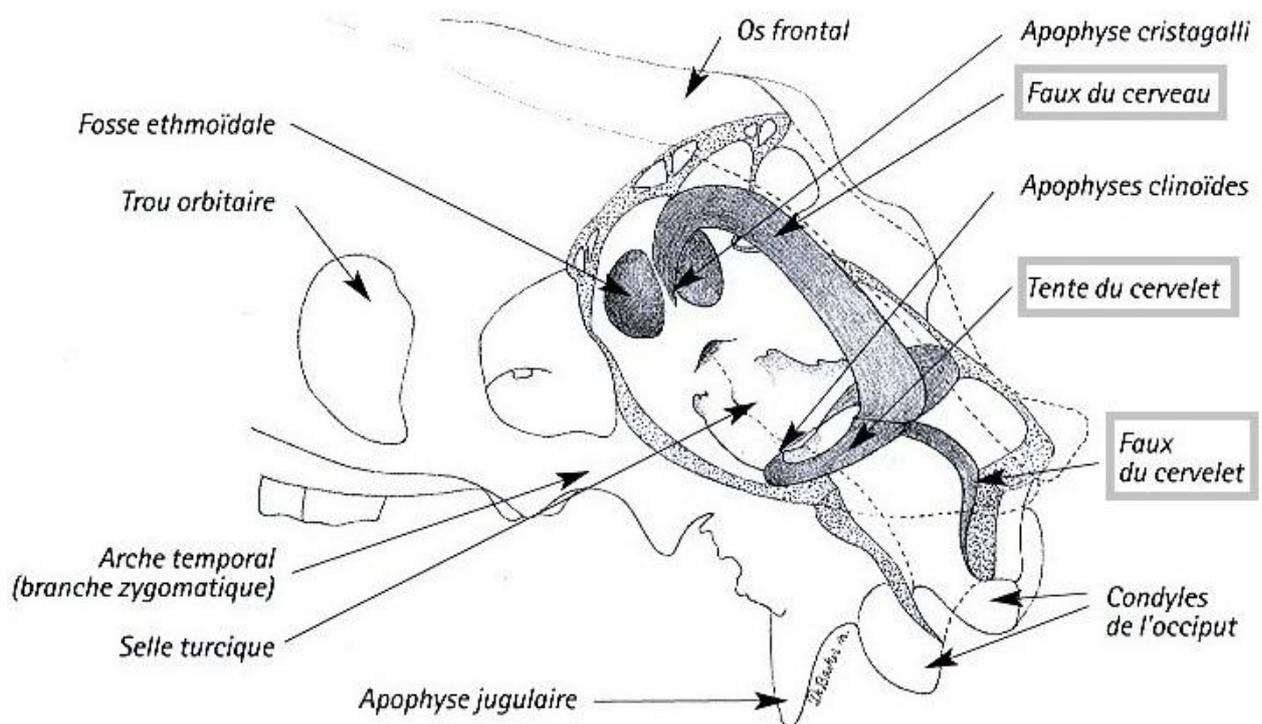


Figure 91 : dure-mère encéphalique, vue caudo-dorsale du crâne après résection du scalp, d'après [22]

ii. Le MRP

Le MRP se met en place au cours de la gestation. Il comporte deux phases, semblables à l'inspiration et l'expiration du système pulmonaire, et un rythme propre. Sa fréquence est de huit à douze mouvements par minute chez le Cheval. Il dépend des mouvements du cerveau, des fluctuations du LCR et de la mobilité des méninges. Il provoque le mouvement des os du crâne et le mouvement du sacrum entre les iliums.

La première phase, dite « **inspir** » correspond à un gonflement en largeur des hémisphères cérébraux et une diminution en longueur, avec une montée du troisième ventricule. La deuxième phase, « **expir** », correspond au mouvement inverse. Il se produit donc comme un enroulement puis un dénouement des hémisphères cérébraux avec un mouvement longitudinal de la moelle épinière. Cela provoque une fluctuation du LCR qui, baignant l'ensemble du corps, transmet le MRP.

iii. Mobilité du système crânio-sacré

o Mobilité des os du crâne

Le centre des mouvements des os du crâne correspond à la SSB. Elle provoque les mouvements des autres os du crâne. Elle peut avoir des mouvements principaux de **flexion-extension** [figures 92 et 93] et des mouvements secondaires de **rotation, latéroflexion** et **torsion**. Les flexion-extensions sont des mouvements des os de la ligne centrale (sphénoïde, occipital, ethmoïde et sacrum). Les rotations sont des mouvements des os pairs (frontaux, pariétaux, temporaux, os de la face et des membres), synchronisés avec la SSB et les os de la ligne centrale.

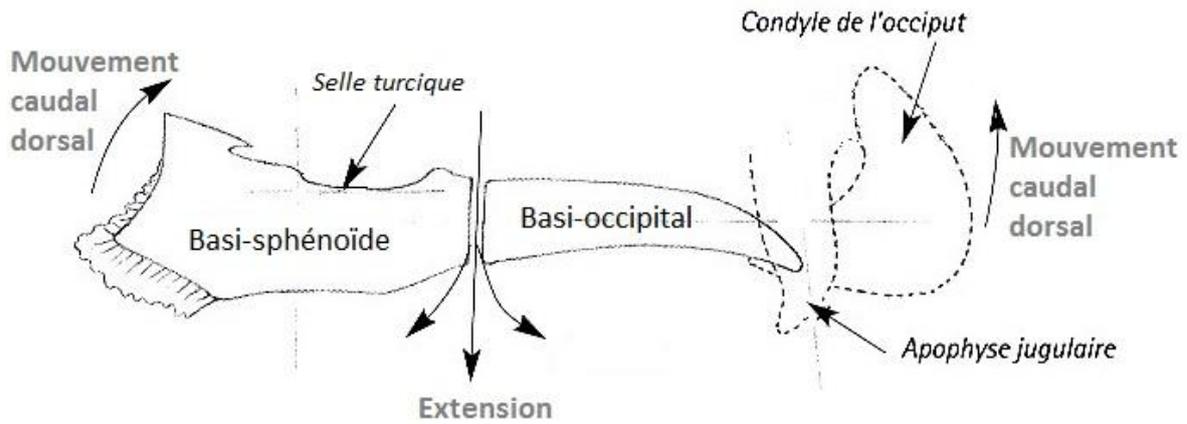


Figure 92 : symphyse sphéno-basilaire en extension, vue latérale gauche, d'après [22]

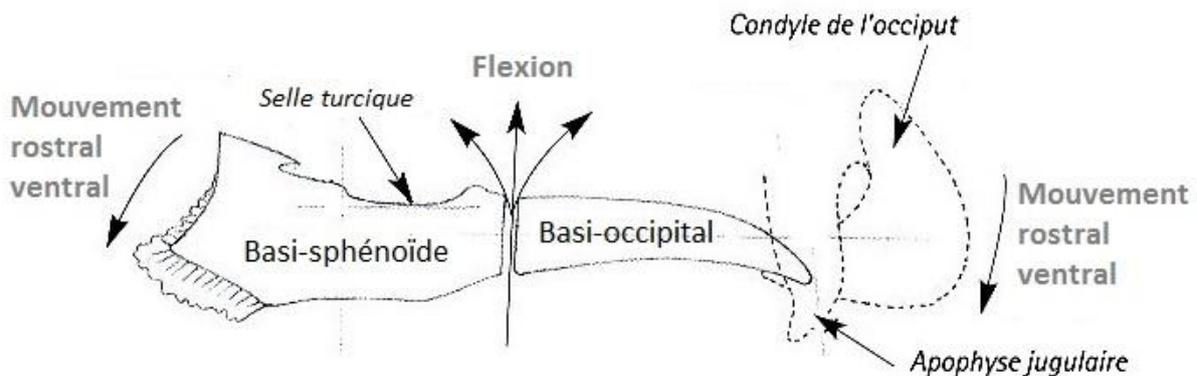


Figure 93 : symphyse sphéno-basilaire en flexion, vue latérale gauche, d'après [22]

- Mobilité du sacrum

Le sacrum est soumis à un mouvement involontaire, indépendant de la mobilité posturale. Il s'agit d'un mouvement de balancier, en arc de cercle, dont l'axe se situe au niveau de la deuxième vertèbre sacrée. Ce mouvement est initié par les mouvements de flexion-extension de la SSB, qui se transmet au sacrum par la dure-mère [figure 94].

- Lien crâne-sacrum et mobilité

Le MRP provoque des mouvements des os du crâne qui entraînent eux-mêmes une mobilité involontaire du sacrum, par l'intermédiaire de la dure-mère, fixée au trou occipital et au sacrum. Il s'agit des mouvements de flexion-extension.

Lors de la flexion de la SSB, appelée « **inspir** », le crâne gonfle latéro-latéralement et dégonfle rostro-caudalement, son toit s'abaisse, les os pairs subissent une rotation externe et le sacrum se verticalise (la base va en direction dorso-caudale et l'apex en direction crânio-ventrale) [figure 95].

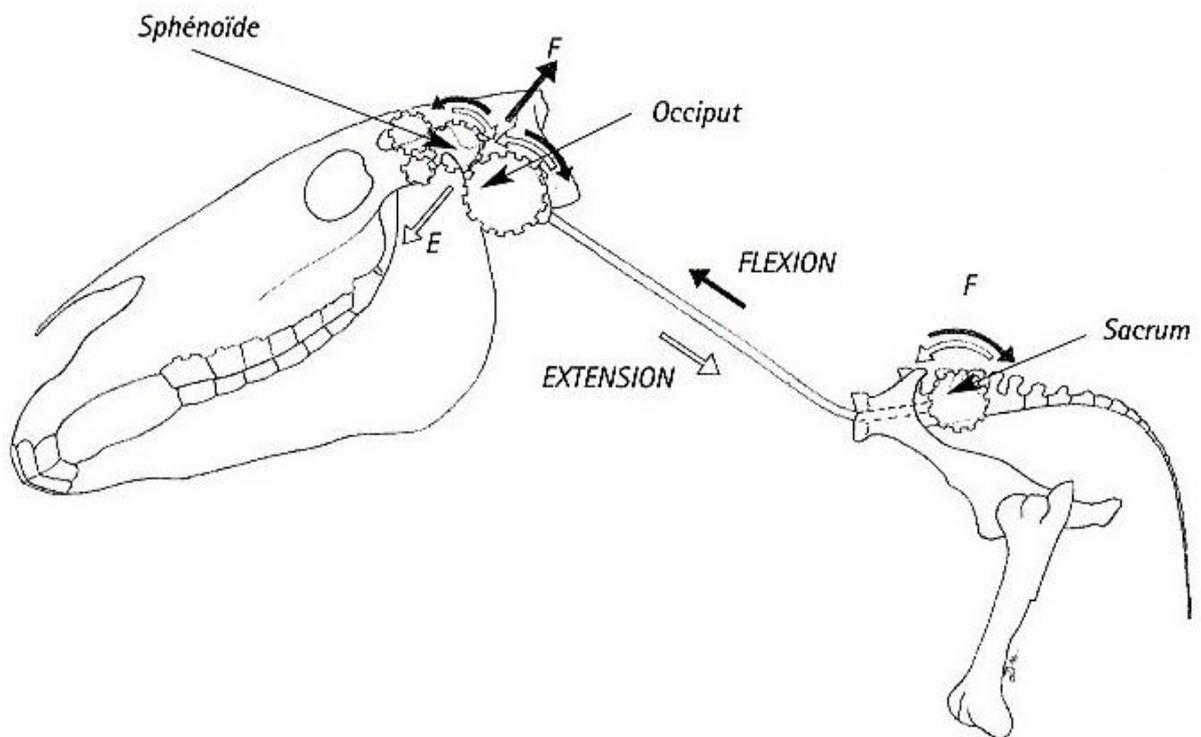


Figure 94 : lien entre le crâne et le sacrum, d'après [22]

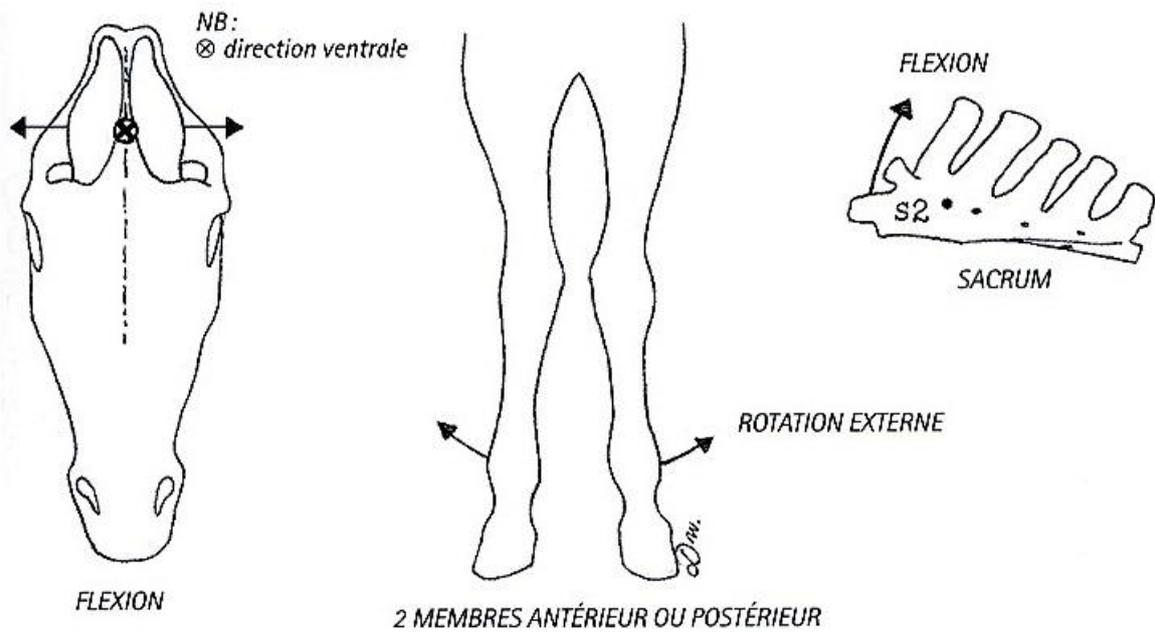


Figure 95 : flexion de la SSB et conséquences, d'après [22]

Pour l'extension de la SSB ou « **expir** », le mécanisme inverse se produit. Les hémisphères cérébraux se gonflent dans le sens crânio-caudal et se dégonflent latéro-latéralement. Une montée du toit du crâne, une rotation interne des os pairs et une horizontalisation du sacrum sont observées [figure 96].

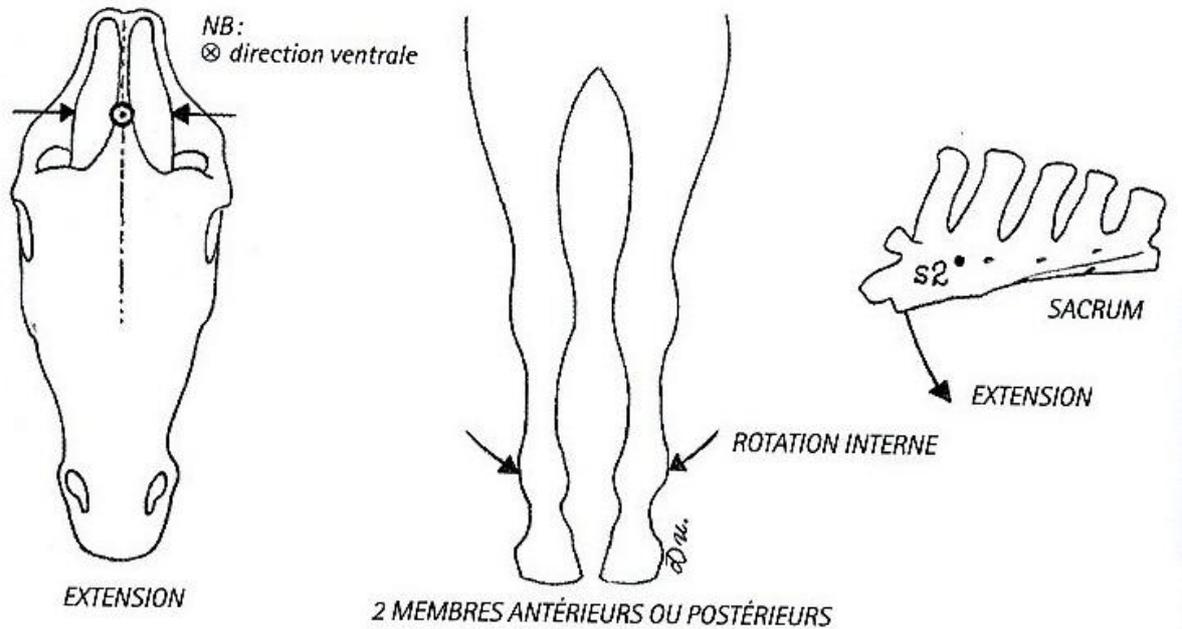


Figure 96 : extension de la SSB et conséquences, d'après [22]

iv. Dysfonctions du MRP

Les dysfonctions du MRP déstabilisent l'équilibre du corps et peuvent se manifester de différentes façons. Elles peuvent être causées par des dysfonctions internes (stress sur les membranes de tensions réciproques) ou externes (comme des tractions traumatiques ou posturales sur des muscles). Les dysfonctions du MRP sont également distinguées selon la structure touchée. Une dysfonction liquidienne est due à une anomalie dans le volume, le rythme ou le nombre de fluctuations du LCR. Une dysfonction osseuse est un défaut de structure, de position ou de mobilité d'un os. Enfin une dysfonction fasciale concerne les méninges, les fascias ou les voies nerveuses. Par ailleurs les dysfonctions du MRP peuvent être primaires ou être des compensations d'autres lésions.

v. Applications à l'ATM

L'ATM a une grande importance dans le système crânio-sacré. C'est une articulation active et très adaptative, *via* ses muscles mobilisateurs, qui peut déstabiliser le crâne comme un membre postérieur peut déstabiliser le bassin. De plus, le corps de la mandibule est proportionnellement long chez le Cheval, il agit comme un bras de levier puissant sur le reste de la mandibule. La mandibule s'articule avec les os temporaux, donc la **sphère caudale**. Le fonctionnement de l'ATM dépend de l'équilibre des os temporaux, mais aussi des tables dentaires. Or les molaires et prémolaires supérieures se trouvent sur l'os maxillaire, qui fait partie de la **sphère rostrale**. L'occlusion est en inter-relation étroite avec la SSB, donc le système crânio-sacré [figure 97].

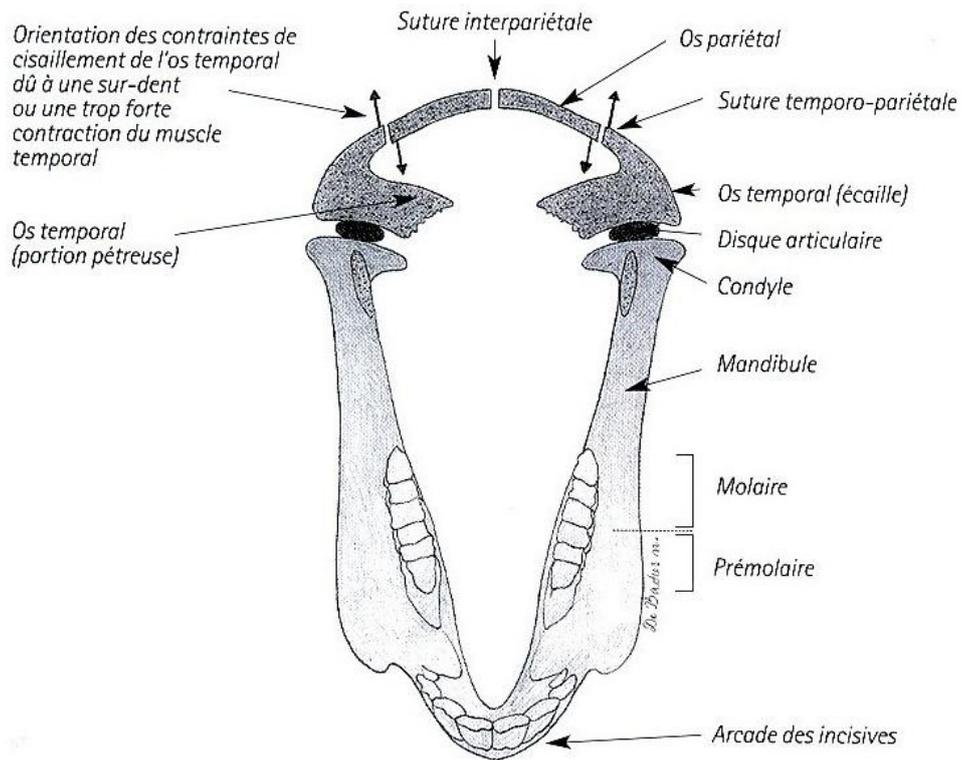


Figure 97 : relation mandibule - os temporaux - sutures, vue rostro-dorsale de la mandibule, d'après [22]

Lors des mouvements de flexion-extension de la SSB, l'ATM se comporte comme un os pair, qui subit donc des rotations, d'autant plus que son corps long a un effet « bras de levier ». En flexion de la SSB, l'ATM est en rotation externe : les condyles se dirigent vers le sens médial, caudal et ventral. L'angle de la mandibule se retrouve alors déporté latéralement, rostralement et ventralement. La partie postérieure de l'arcade inférieure s'élargit et s'abaisse. Lors de l'extension de la SSB, c'est le phénomène inverse [figure 98].

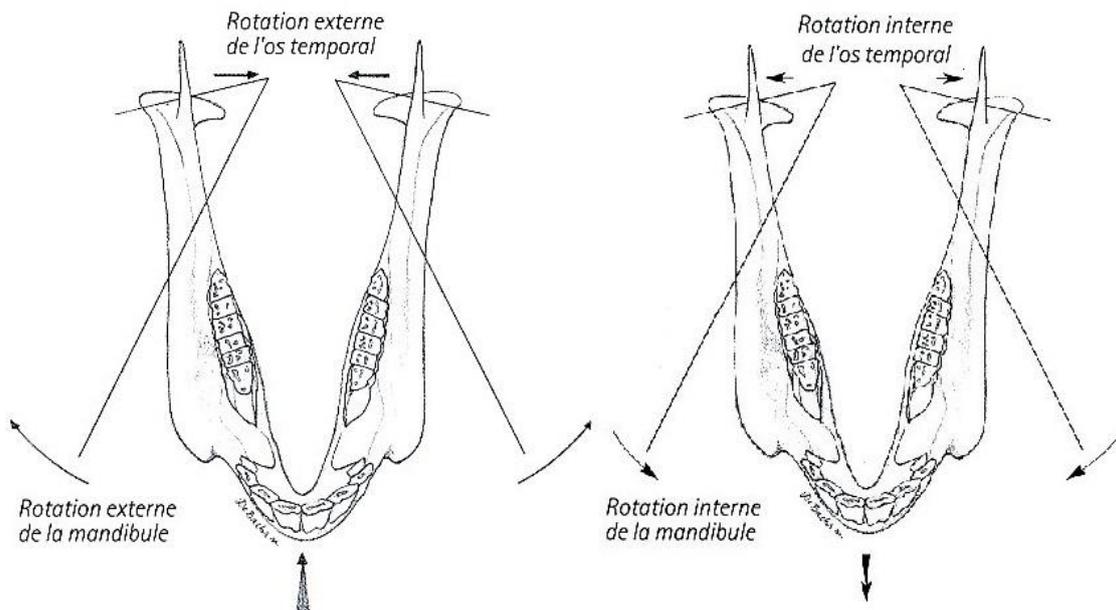


Figure 98 : flexion de la SSB et rotation externe de la mandibule (à gauche) ; extension de la SSB et rotation interne de la mandibule (à droite), d'après [22]

vi. Application à l'étude

Les malocclusions provoquent un défaut de mobilité de la mandibule. D'après les notions développées précédemment, cela pourrait entraîner une restriction de mobilité de l'ATM. Or l'ATM étant en étroite relation avec la SSB, elle pourrait aussi avoir un effet sur le MRP, lui-même à l'origine de dysfonctions à distance, notamment aux membres. Prenons le cas d'une procidence des dents 306-406 : la mandibule est restreinte dans sa rotation externe (les condyles ne pouvant plus se diriger rostralement). A cause de son long « bras de levier » cet effet se répercute aux os du crâne, notamment la SSB. Cela provoque donc une gêne à la flexion de la SSB, et par conséquent un défaut de mobilité de tout le corps : défaut de rotation externe des membres et défaut de flexion involontaire du bassin [figure 99]. La correction des malocclusions pourrait donc être un moyen de restaurer un MRP physiologique, nécessaire au fonctionnement de tout le corps, et donc aussi à la locomotion du Cheval. Ce fonctionnement restauré expliquerait les allures plus « déliées » observées à J10 et J30 par rapport à J0, avec notamment le **tangage** et le **lancer** augmentés. De même le bassin retrouvant une mobilité satisfaisante lors du MRP, cela pourrait expliquer à la fois la meilleure **régularité** des postérieurs et la meilleure propulsion (augmentation de **l'activité dorso-ventrale** et des **vecteurs d'appui sur l'axe vertical**). Le lien entre la mobilité involontaire du sacrum (due au MRP) et la mobilité volontaire lors de la locomotion n'est pas évident, mais nous avons vu, notamment avec l'étude de Burgaud [10], que la levée de dysfonctions ostéopathiques a des effets sur des éléments « cliniques ». La restauration d'un MRP physiologique pourrait de la même façon modifier la locomotion.

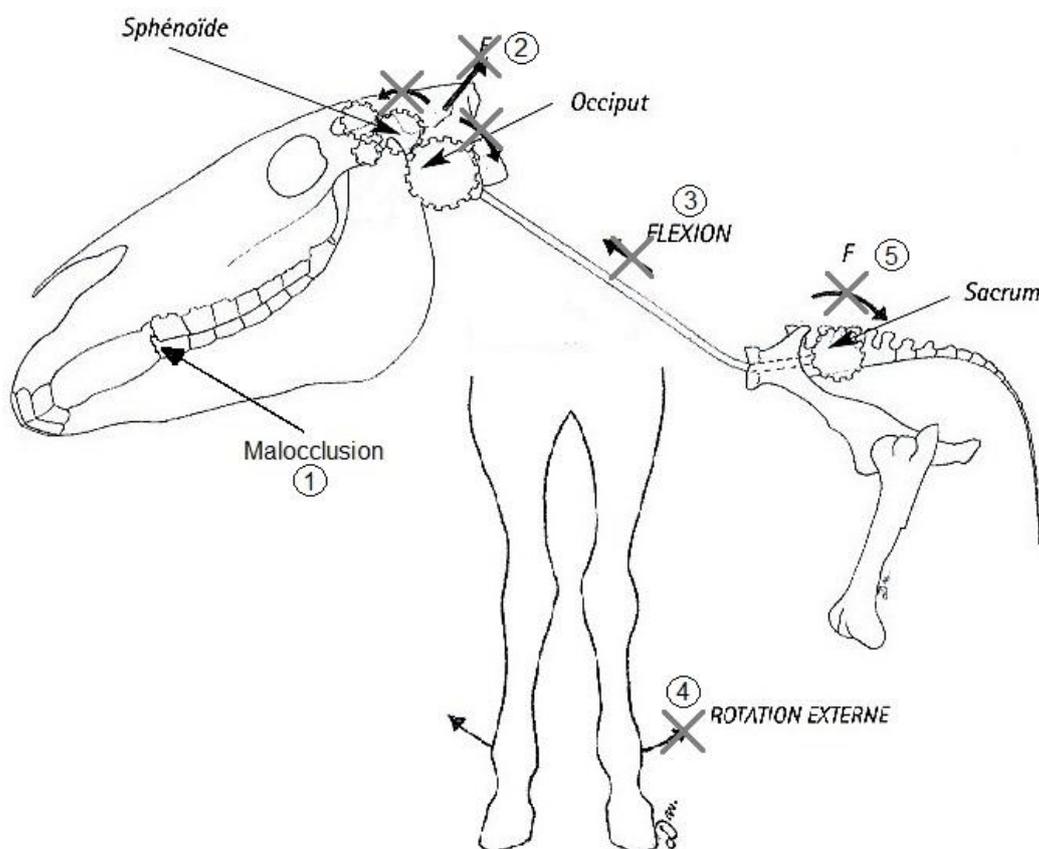


Figure 99 : effet d'une malocclusion sur la SSB et le MRP, au moment de la flexion (inspir), 1 : malocclusion, 2 : défaut de flexion de la SSB, 3 : répercussion au MRP, 4 : répercussion aux membres antérieurs avec défaut de rotation externe, 5 : répercussion au bassin avec défaut de rotation du sacrum, d'après [22]

c/ La force de traction médullaire

[7]

La **force de traction médullaire** (FTM) est la tension naturelle à laquelle est soumise la moelle épinière, avec la pie-mère. Elle est liée au phénomène d'ascension apparente de la moelle épinière, qui se met en place pendant la croissance, et qui est dû au différentiel de croissance entre la colonne vertébrale et la moelle épinière.

C'est une notion différente de celle du système crânio-sacré avec les attaches de la dure-mère. La FTM est basée sur la continuité du système nerveux central (SNC), depuis les nerfs crâniens (attache crâniale) jusqu'au *filum terminale* (attache caudale).

Pour imaginer cette notion, la moelle épinière peut être considérée comme un fil et les vertèbres comme les perles dans lesquelles passe le fil. Ce fil est fixé en deux points (le crâne et les premières vertèbres cervicales d'une part, et le sacrum d'autre part), et est libre (dans le canal vertébral) sur le reste de son trajet. Si les perles grossissent, le fil se tend de plus en plus et se déforme. La FTM serait à l'origine de la mise en place des courbures de la colonne vertébrale.

La FTM est physiologique et peut varier entre deux valeurs extrêmes, selon la position du corps ou certaines manœuvres corporelles. Les points d'attache du SNC permettent une bonne répartition des tensions et limitent ainsi les lésions de la moelle épinière.

Si les capacités de compensation sont dépassées, la FTM est pathologique, ce qui peut être à l'origine de lésions nerveuses, avec souvent des scolioses [figure 100]. Certaines maladies congénitales ou par défaut de croissance peuvent entraîner une FTM trop élevée. Elles provoquent des symptômes nerveux, mais aussi locomoteurs, dermatologiques, digestifs... Des traitements chirurgicaux sont parfois envisageables.



Figure 100 : cheval souffrant de scoliose, associée à une FTM pathologique, d'après [7]

Les ostéopathes utilisent cette notion de FTM dans leur approche. Ils peuvent la ressentir et la corriger si elle est trop élevée, avec des résultats très encourageants. P.Chêne a ainsi développé un modèle basé sur la FTM, le principe de tenségrité et la torsion physiologique [7].

La **tenségrité** est au départ un modèle architectural dans lequel un ensemble de composants se trouve dans un état d'auto-équilibre stable par la tension qu'ils exercent entre eux [figure 101]. Une analogie a ensuite été faite (par Ingberg à partir de 1975) avec les cellules animales et leurs structures comme le cytosquelette, la matrice extra-cellulaire et les jonctions inter-cellulaires. Ces auteurs parlent alors de tenségrité cellulaire. Ce concept peut s'étendre à l'échelle du SNC, qui peut se déformer, tout en restant à l'équilibre, jusqu'à un

certain point. Ainsi la FTM peut être assimilée à une structure en tenségrité. Le concept d'interaction caractérise les structures en tenségrité : une variation de tension à un endroit peut provoquer de grandes variations à un autre. Ce concept de tenségrité a commencé à être appliqué à l'ostéopathie par J.F.Mégret.

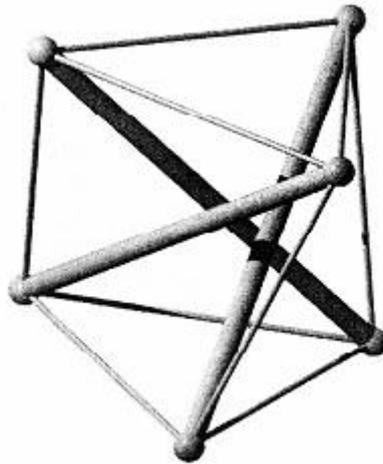


Figure 101 : structure en tenségrité : simplexe à trois barres (formé de trois barres, neuf câbles et six nœuds), d'après Mégret (2003) cité par [7]

La **torsion physiologique**, notion développée par Guillard en ostéopathie humaine, est un phénomène qui se produit au cours du développement embryonnaire. Elle implique une torsion autour d'un axe antéro-postérieur passant par l'ombilic. La torsion physiologique est pour lui une composante du mouvement respiratoire primaire.

Le concept de Chêne décrit un système de tenségrité entre la FTM et la torsion physiologique. Cela implique l'existence d'hélices fasciales. Les **hélices fasciales** entourent le corps superficiellement, en formant des hélices gauches. La FTM organise alors le fonctionnement du SNC. Elle est contrebalancée extérieurement par l'hélice fasciale, qui donne la structure et le mouvement de la torsion physiologique. Les viscères agissent comme des « ressorts » qui peuvent compenser une lésion de la FTM ou au contraire la provoquer. Enfin les **diaphragmes** (crânien, thoracique et pelvien) agissent dans le plan perpendiculaire comme des lames de torsion. Toute modification d'une composante entraîne une compensation par une autre pour garder le système à l'équilibre.

Ces notions développées par Patrick Chêne n'ont pas de base scientifique démontrée. Elles pourraient cependant s'appliquer à notre étude. En effet pour Patrick Lecollinet, les chevaux présentant une malocclusion avec procidence des dents 306-406 ont des hélices fasciales modifiées. Cela pourrait perturber la FTM et se répercuter au système musculo-squelettique, d'où un effet sur la locomotion des chevaux.

Conclusion

La plupart des chevaux reçoivent des soins dentaires au cours de leur vie. Cet acte permet de corriger les défauts d'occlusion pour faciliter au Cheval la mastication, mais également le travail avec un mors dans la bouche. L'étude des dents nous permet de comprendre comment ces malocclusions se mettent en place, du fait notamment de la croissance de type hypsodonte des molaires et prémolaires définitives et de l'usure liée aux forces de mastication. La mobilité de l'articulation temporo-mandibulaire dépend directement de l'occlusion, puisque cette articulation met en jeu d'une part la mandibule, portant les dents inférieures, et d'autre part le crâne (par l'os temporal), portant les dents supérieures. Ainsi une malocclusion provoque des tensions sur l'articulation temporo-mandibulaire, en limitant sa mobilité rostro-caudale ou latérale.

La deuxième partie de ce travail présente l'étude expérimentale menée sur huit chevaux de sport avec le matériel EquimetrixND. Cet équipement permet de réaliser des mesures objectives de certains paramètres de la locomotion. Nous avons pu, de façon simple, avoir une évaluation des allures à la fois dans le plan vertical et dans le plan latéral, et ce pour les antérieurs et pour les postérieurs. Aucun effet n'a pu être mis en évidence le lendemain de la dentisterie. En revanche, plusieurs paramètres sont modifiés après dix jours, et le restent un mois plus tard. Il s'agit notamment du tangage et du lacer, au pas comme au trot, qui expriment le mouvement de balancier du corps du Cheval dans le plan latéral et dans le plan vertical. Au pas, une augmentation du rebond, de l'activité dorso-ventrale et des vecteurs d'appui sur l'axe vertical pour les postérieurs sont également mis en évidence. Au trot, une augmentation des vecteurs d'appui sur l'axe vertical et de l'activité dorso-ventrale pour les postérieurs est à nouveau observée. Les chevaux présentent également une meilleure régularité des membres postérieurs. Enfin la cadence du trot est diminuée, ce qui révèle une augmentation de l'amplitude des foulées. Par ailleurs, les chevaux présentent des modifications de certains paramètres qui diffèrent entre la droite et la gauche (vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal pour les antérieurs au trot, temps d'appui droits et gauches pour les postérieurs au trot). Ces différences pourraient être dues à la présence d'une personne à la tête du Cheval pour le guider. Ces résultats montrent globalement une amélioration de la locomotion après la dentisterie, avec des chevaux plus « déliés », présentant une meilleure propulsion et une meilleure amplitude.

Ces modifications de la locomotion à la suite de la correction des malocclusions peuvent s'expliquer par la biomécanique et par l'ostéopathie :

D'un point de vue biomécanique, la locomotion du Cheval est permise par une synergie entre la chaîne musculaire dorsale et la chaîne musculaire ventrale. La tête du Cheval agit sur la colonne thoracique et lombaire, via le ligament nuchal, prolongement du ligament supra-épineux. Un Cheval souffrant de son articulation temporo-mandibulaire aurait donc plus de difficulté à mobiliser sa tête et son encolure, ce qui peut nuire à sa locomotion globale. Le cavalier peut également avoir une influence importante notamment par ses actions de main sur le mors et le port de tête qu'il demande au Cheval.

Les défauts de mobilité de l'articulation temporo-mandibulaire peuvent être apparentés à des dysfonctions ostéopathiques. En étudiant le Cheval dans son ensemble, l'ostéopathie montre comment ces dysfonctions peuvent se répercuter sur tout le corps. Trois

notions ont été développées dans ce travail. Tout d'abord les chaînes musculaires, avec la chaîne du muscle sterno-céphalique et la chaîne du muscle brachio-céphalique, qui expliquent comment une modification du fonctionnement de l'articulation temporo-mandibulaire peut se répercuter sur le sternum, sur les membres antérieurs et sur le bassin, affectant ainsi toute la locomotion du Cheval. Ensuite nous avons évoqué la notion de mouvement respiratoire primaire, reliant les os du crâne au bassin par le liquide céphalo-rachidien. L'articulation temporo-mandibulaire peut déstabiliser ce mouvement en limitant la mobilité des os du crâne. Enfin la dernière notion explorée dans ce travail est celle de la force de traction médullaire. Elle s'appuie sur l'anatomie des méninges et du canal vertébral, responsable du phénomène d'ascension apparente de la moelle épinière. Cette tension peut être ressentie par l'ostéopathe, et lorsqu'elle est pathologique, provoquer divers symptômes sur les différents appareils du corps.

Il serait intéressant de poursuivre ce travail en incluant des cas et des témoins, et ce sur un plus grand nombre d'animaux. Néanmoins, d'après cette étude préliminaire, la dentisterie a bien un effet sur la locomotion du Cheval. Cet effet est à la fois bénéfique et durable.

Annexes

1/ Résultats bruts

Résultats A, Pas (1/2)

cheval	j	ff	sym	reg	deplaV	deplalat	epsdv	epsdh
H	J0	0,890	84,895	130,450	0,030	0,035	1,860	0,050
	J1	0,865	74,955	126,060	0,035	0,030	1,960	0,120
	J10	0,830	87,035	152,155	0,030	0,040	1,340	0,095
	J30	0,830	98,430	158,110	0,030	0,030	1,720	0,220
D	J0	0,770	90,925	108,585	0,040	0,035	0,975	0,515
	J1	0,785	87,005	114,245	0,040	0,035	0,970	0,590
	J10	0,795	92,410	123,215	0,040	0,030	0,995	0,460
	J30	0,795	85,815	116,170	0,040	0,030	0,985	0,435
G	J0	0,795	94,410	150,800	0,050	0,030	0,760	0,405
	J1	0,830	91,810	153,140	0,045	0,030	0,940	0,270
	J10	0,830	91,625	145,090	0,045	0,040	0,965	0,165
	J30	0,850	94,085	130,150	0,050	0,045	0,865	0,115
F	J0	0,965	37,050	58,380	0,025	0,030	0,945	0,365
	J1	0,940	75,455	65,030	0,020	0,045	0,970	0,140
	J10	1,025	33,815	53,505	0,025	0,040	0,920	0,395
	J30	0,770	72,930	108,205	0,025	0,035	1,065	0,355
C	J0	0,835	66,265	113,255	0,040	0,033	1,043	0,153
	J1	0,850	56,870	90,985	0,040	0,030	1,175	0,125
	J10	0,845	59,995	107,525	0,045	0,030	1,030	0,195
	J30	0,890	57,390	99,240	0,045	0,045	1,195	0,090
B	J0	0,820	62,660	110,235	0,040	0,025	0,730	0,165
	J1	0,840	69,220	128,590	0,030	0,030	0,655	0,095
	J10	0,850	88,855	148,155	0,030	0,030	0,890	0,090
	J30	0,830	97,650	140,930	0,035	0,035	0,930	0,160
E	J0	0,745	70,270	127,950	0,050	0,040	1,130	0,460
	J1	0,803	85,348	140,378	0,045	0,045	1,075	0,738
	J10	0,795	97,190	138,920	0,050	0,050	1,215	0,845
	J30	0,830	98,925	142,850	0,055	0,045	1,560	0,410
A	J0	0,820	97,520	115,855	0,030	0,040	0,870	0,320
	J1	0,805	95,280	153,955	0,030	0,030	1,155	0,325
	J10	0,810	96,575	135,720	0,030	0,045	1,225	0,365
	J30	0,780	93,117	137,860	0,033	0,047	1,153	0,427

Résultats A, Pas (2/2)

VAG	VAD	VLATG	VLATD	TG	TD	tang	lacer
3,710	3,555	4,840	4,340	29,730	27,885	2,720	6,640
3,435	3,435	4,880	5,115	27,505	28,345	2,900	6,035
3,690	2,795	4,675	4,190	32,500	24,285	3,125	8,135
3,680	3,430	5,120	4,110	29,480	26,040	3,160	6,930
2,420	3,555	2,130	4,255	22,140	29,955	2,500	6,215
2,835	3,060	3,505	3,690	25,885	24,380	3,065	6,760
3,135	3,085	3,485	3,440	26,980	26,875	3,515	8,895
2,980	2,445	3,445	3,125	25,845	22,795	3,080	8,880
2,120	2,665	3,900	4,765	29,265	34,540	3,465	6,065
1,925	3,000	3,865	5,305	26,930	34,685	3,130	6,030
2,705	2,120	5,405	3,690	31,875	28,805	4,410	8,180
2,140	4,080	2,840	7,800	22,460	40,890	4,020	8,780
2,320	2,355	3,725	3,725	25,115	24,120	2,375	5,505
2,530	2,475	3,725	3,695	26,310	27,025	1,980	5,270
2,210	2,160	2,900	3,105	27,650	26,385	2,610	7,285
3,070	2,730	4,405	4,100	26,600	27,020	2,940	7,420
3,335	2,890	3,828	4,160	30,873	30,815	3,525	6,245
2,595	2,715	3,185	4,055	26,590	29,290	2,595	5,620
3,150	2,110	4,045	3,270	29,915	27,245	3,965	9,640
2,865	2,685	4,170	4,670	29,500	30,720	4,100	9,090
2,245	2,605	3,070	3,530	28,045	29,455	2,765	4,645
1,770	2,860	2,470	5,200	23,685	35,870	2,835	4,770
1,875	2,780	2,875	4,160	22,775	28,445	3,175	7,810
2,525	2,165	3,970	2,750	28,180	19,845	2,735	7,690
2,565	4,150	3,330	7,945	23,475	37,610	4,535	6,835
2,465	3,220	4,010	6,240	23,770	32,045	3,808	7,445
4,040	2,745	6,520	4,550	34,015	27,250	4,735	10,545
2,965	4,175	3,335	6,955	24,115	35,420	4,620	9,175
1,880	2,300	1,750	2,420	19,250	24,975	2,250	5,865
2,725	3,295	3,730	3,885	26,250	31,150	2,605	5,505
2,940	2,980	4,060	4,170	27,905	29,840	2,965	8,730
3,540	3,240	4,967	3,643	29,757	27,360	3,107	7,663

Résultats P, Pas (1/2)

cheval	j	ff	sym	reg	deplaV	deplalat	epsdv	epsdh
H	J0	0,890	96,770	151,115	0,125	0,155	3,885	1,160
	J1	0,865	93,750	168,140	0,085	0,080	3,560	1,095
	J10	0,830	92,475	172,435	0,125	0,155	5,510	2,365
	J30	0,830	99,140	183,100	0,120	0,050	5,170	2,140
D	J0	0,770	92,030	155,460	0,105	0,065	2,430	0,525
	J1	0,785	87,375	158,430	0,095	0,090	2,645	0,760
	J10	0,795	89,775	165,940	0,145	0,055	6,870	1,700
	J30	0,795	97,860	167,200	0,140	0,095	7,010	2,125
G	J0	0,795	95,415	167,975	0,095	0,080	2,120	1,155
	J1	0,830	94,260	175,735	0,090	0,045	2,815	1,150
	J10	0,830	94,840	172,295	0,130	0,095	5,880	2,665
	J30	0,850	97,120	167,480	0,140	0,095	6,670	2,635
F	J0	0,965	85,755	71,010	0,080	0,050	1,975	0,605
	J1	0,940	77,920	94,530	0,080	0,115	2,310	0,655
	J10	1,025	72,830	41,240	0,110	0,120	3,660	1,570
	J30	0,770	97,470	162,490	0,120	0,045	4,165	2,220
C	J0	0,835	97,180	165,835	0,098	0,100	2,830	1,085
	J1	0,850	99,305	161,275	0,090	0,045	3,545	0,940
	J10	0,845	98,800	163,320	0,135	0,080	7,980	2,580
	J30	0,890	89,625	160,570	0,135	0,085	9,270	2,405
B	J0	0,820	97,290	138,795	0,075	0,075	1,925	0,715
	J1	0,840	98,680	164,140	0,065	0,040	1,895	0,820
	J10	0,850	95,860	171,070	0,120	0,085	6,430	2,050
	J30	0,830	93,735	168,315	0,140	0,180	6,715	2,430
E	J0	0,745	92,720	160,050	0,095	0,095	2,125	0,900
	J1	0,803	96,533	175,218	0,098	0,070	2,705	0,910
	J10	0,795	96,390	170,550	0,155	0,145	6,795	2,620
	J30	0,830	96,860	172,125	0,140	0,115	7,045	2,440
A	J0	0,820	96,770	151,375	0,090	0,070	2,110	0,775
	J1	0,805	98,325	183,075	0,080	0,030	2,190	0,880
	J10	0,810	96,160	175,220	0,125	0,095	5,905	2,080
	J30	0,780	97,090	177,593	0,143	0,140	4,760	1,850

Résultats P, Pas (2/2)

VAG	VAD	VLATG	VLATD	TG	TD	tang	lacer
6,240	3,785	5,730	1,355	34,155	14,680	2,720	6,640
4,015	3,535	2,780	2,320	19,890	15,730	2,900	6,035
5,815	5,090	3,730	4,505	18,450	21,905	3,125	8,135
5,610	6,080	3,630	4,330	20,310	23,230	3,160	6,930
3,660	4,650	1,290	2,015	12,605	22,025	2,500	6,215
4,240	4,075	1,670	1,650	14,290	18,560	3,065	6,760
5,890	6,425	2,510	2,780	19,210	15,775	3,515	8,895
6,670	5,930	2,765	2,855	20,165	14,410	3,080	8,880
3,960	3,035	3,070	1,960	20,820	15,135	3,465	6,065
3,490	4,105	2,280	2,620	15,520	21,460	3,130	6,030
5,410	5,460	3,680	3,365	19,115	17,290	4,410	8,180
5,815	7,115	3,440	4,345	16,210	19,490	4,020	8,780
2,695	3,385	1,755	1,965	19,455	19,830	2,375	5,505
2,445	4,175	1,495	2,510	16,090	23,120	1,980	5,270
4,130	3,035	3,110	2,460	23,030	15,480	2,610	7,285
6,220	4,895	4,320	4,500	24,925	20,675	2,940	7,420
3,588	4,635	2,283	2,880	15,845	18,153	3,525	6,245
3,870	4,740	2,200	2,540	16,740	18,640	2,595	5,620
7,315	6,020	4,220	3,675	21,490	17,925	3,965	9,640
5,850	8,320	2,470	4,730	14,935	21,595	4,100	9,090
2,775	4,175	1,710	3,350	15,965	26,645	2,765	4,645
3,140	3,730	1,810	2,695	16,490	20,385	2,835	4,770
5,565	5,590	3,590	3,440	22,510	20,180	3,175	7,810
5,525	5,095	3,385	3,670	18,700	17,660	2,735	7,690
4,665	3,050	5,245	1,920	29,840	13,735	4,535	6,835
3,808	3,778	3,238	2,453	23,013	18,610	3,808	7,445
4,640	7,780	1,895	10,580	12,545	35,540	4,735	10,545
5,905	5,830	3,855	4,300	18,385	21,300	4,620	9,175
3,830	3,975	2,230	2,425	20,640	22,085	2,250	5,865
3,200	4,445	2,340	3,075	17,605	25,000	2,605	5,505
7,150	5,310	3,880	3,930	23,980	18,010	2,965	8,730
6,117	5,923	3,623	4,187	23,160	21,147	3,107	7,663

Résultats A, Trot (1/2)

cheval	J	ff	sym	reg	deplaV	deplalat	epsdv	epsdh
H	J0	1,420	92,510	174,855	0,095	0,065	22,460	0,565
	J1	1,447	95,830	177,620	0,100	0,060	24,013	0,407
	J10	1,353	98,813	182,340	0,107	0,093	21,423	0,673
	J30	1,387	98,390	183,513	0,097	0,070	20,690	0,497
D	J0	1,320	98,690	187,125	0,120	0,055	22,200	0,190
	J1	1,270	98,270	187,630	0,110	0,045	19,605	0,760
	J10	1,320	97,545	187,780	0,110	0,030	19,560	0,215
	J30	1,270	96,890	180,750	0,100	0,050	15,540	1,700
G	J0	1,320	97,120	184,255	0,105	0,060	21,140	0,320
	J1	1,370	98,615	180,180	0,110	0,055	24,145	0,255
	J10	1,270	97,080	190,300	0,110	0,030	20,760	0,370
	J30	1,295	98,900	173,925	0,125	0,070	25,695	1,090
F	J0	1,585	95,930	169,965	0,100	0,050	29,655	0,545
	J1	1,535	96,525	173,575	0,095	0,055	23,770	0,370
	J10	1,395	98,505	177,035	0,105	0,070	19,220	0,385
	J30	1,460	98,855	180,045	0,110	0,065	26,045	0,775
C	J0	1,548	94,958	161,790	0,080	0,043	19,413	0,400
	J1	1,345	91,915	168,595	0,085	0,055	15,705	0,255
	J10	1,370	98,665	174,770	0,095	0,070	16,360	0,510
	J30	1,345	91,055	155,410	0,095	0,040	15,660	0,170
B	J0	1,465	90,995	167,895	0,100	0,085	19,680	0,585
	J1	1,440	95,640	171,360	0,100	0,070	18,335	0,200
	J10	1,365	96,500	172,835	0,100	0,050	17,580	0,830
	J30	1,415	95,955	181,280	0,095	0,085	22,410	0,580
E	J0	1,270	94,760	175,505	0,125	0,065	25,305	0,575
	J1	1,358	95,358	181,065	0,108	0,063	24,060	0,483
	J10	1,320	97,645	175,550	0,125	0,100	26,690	0,620
	J30	1,295	98,470	183,035	0,130	0,060	29,045	1,065
A	J0	1,440	97,790	170,870	0,135	0,090	29,030	0,395
	J1	1,395	98,180	179,645	0,095	0,045	23,160	0,255
	J10	1,295	92,210	172,840	0,120	0,070	23,495	0,360
	J30	1,345	96,160	164,035	0,140	0,095	28,375	0,935

Résultats A, Trot (2/2)

VAG	VAD	VLATG	VLATD	TG	TD	tang	lacet
9,015	6,060	3,755	2,630	28,900	20,550	7,290	5,965
8,523	6,950	4,150	3,607	28,417	21,407	7,357	5,403
9,347	6,670	4,667	2,413	31,023	19,793	8,633	7,743
7,770	7,533	3,757	3,647	25,537	25,317	8,813	7,873
6,765	9,540	3,955	5,565	21,490	28,730	7,815	6,485
8,045	8,365	5,385	5,240	26,355	25,360	7,410	6,895
8,495	7,155	5,395	5,240	28,730	24,455	9,270	8,945
7,650	6,940	5,780	5,480	29,060	25,000	8,750	9,270
8,295	7,040	3,775	3,075	28,950	23,780	7,370	6,290
7,815	7,640	3,685	3,045	28,755	23,715	6,785	6,205
9,920	5,480	4,160	2,040	33,970	19,440	8,690	8,260
9,310	8,160	4,535	2,755	27,230	22,565	11,880	8,940
9,185	5,735	3,645	2,780	26,975	17,980	6,815	6,255
8,460	5,855	3,090	2,540	27,415	19,520	6,610	4,990
8,250	6,380	3,980	3,235	26,245	22,250	12,035	8,175
9,775	5,665	3,750	2,035	29,515	18,175	11,145	7,095
7,690	4,403	5,095	2,575	38,390	22,320	5,323	5,110
7,020	6,005	5,785	5,105	31,230	26,890	5,250	5,840
8,175	5,005	6,365	3,960	33,920	23,710	10,095	8,395
6,990	6,070	5,895	5,170	30,125	26,010	9,000	8,070
5,655	7,335	3,155	4,395	24,095	28,680	5,305	6,175
5,795	7,195	3,645	4,805	22,255	27,595	4,780	5,695
6,430	7,300	4,210	5,325	25,320	25,950	8,610	8,700
7,845	6,695	4,245	4,155	27,520	22,825	9,775	8,615
9,650	8,300	4,500	3,630	26,910	21,945	9,680	6,415
7,598	8,520	3,810	4,715	25,503	25,500	7,035	6,613
9,040	8,590	5,025	4,265	27,960	23,025	10,630	9,260
10,025	8,505	5,630	3,940	26,450	23,135	10,065	7,915
7,645	8,715	4,745	5,065	22,025	25,155	7,075	5,725
9,160	6,535	4,460	3,540	30,140	22,580	6,425	5,910
9,170	7,105	4,520	3,755	29,210	23,485	10,290	9,730
11,465	5,935	5,300	2,685	31,305	19,520	10,375	9,755

Résultats P, Trot (1/2)

cheval	j	ff	sym	reg	deplaV	deplalat	epsdv	epsdh
H	J0	1,420	82,530	148,250	0,160	0,360	10,115	3,415
	J1	1,447	96,300	174,777	0,197	0,443	13,873	3,977
	J10	1,353	98,430	180,823	0,240	0,710	30,727	7,237
	J30	1,387	94,970	180,923	0,240	0,630	33,267	7,067
D	J0	1,320	98,930	186,405	0,175	0,505	16,270	2,080
	J1	1,270	99,295	186,320	0,200	0,490	16,430	1,815
	J10	1,320	99,240	183,645	0,220	0,255	38,065	5,725
	J30	1,270	97,960	183,040	0,240	0,580	38,860	4,830
G	J0	1,320	98,280	174,600	0,185	0,530	12,305	3,175
	J1	1,370	94,030	163,000	0,180	0,515	13,725	4,085
	J10	1,270	95,120	185,380	0,180	0,270	25,860	5,460
	J30	1,295	98,325	169,480	0,210	0,405	31,700	7,970
F	J0	1,585	96,455	165,225	0,135	0,260	16,265	4,700
	J1	1,535	97,485	164,035	0,275	0,815	12,615	3,045
	J10	1,395	97,380	167,580	0,195	0,410	28,045	6,995
	J30	1,460	86,465	169,845	0,175	0,440	30,070	10,905
C	J0	1,548	96,048	155,263	0,150	0,348	14,925	5,225
	J1	1,345	92,775	174,560	0,170	0,470	13,820	3,260
	J10	1,370	98,255	174,470	0,235	0,745	28,890	7,900
	J30	1,345	97,120	155,090	0,160	0,305	30,090	8,430
B	J0	1,465	94,110	147,205	0,290	0,775	13,280	4,665
	J1	1,440	94,355	153,685	0,200	0,565	13,190	3,440
	J10	1,365	92,440	166,910	0,210	0,450	26,785	7,525
	J30	1,415	93,090	166,650	0,260	0,685	30,255	8,635
E	J0	1,270	93,125	166,800	0,280	0,745	15,555	4,135
	J1	1,358	98,813	178,280	0,218	0,613	14,513	3,903
	J10	1,320	97,405	172,275	0,210	0,540	35,095	11,130
	J30	1,295	98,230	177,350	0,150	0,160	32,355	9,765
A	J0	1,440	97,405	139,925	0,230	0,700	10,440	3,045
	J1	1,395	98,650	171,910	0,115	0,280	12,970	2,135
	J10	1,295	91,650	171,320	0,290	0,710	30,940	6,145
	J30	1,345	97,515	168,725	0,340	0,735	38,805	5,235

Résultats P, Trot (2/2)

VAG	VAD	VLATG	VLATD	TG	TD	tang	lacer
5,700	4,200	5,290	2,030	36,595	21,210	7,290	5,965
5,793	5,437	3,113	3,050	27,350	23,810	7,357	5,403
8,623	9,933	3,863	5,703	23,730	28,343	8,633	7,743
9,123	9,363	4,323	4,477	26,263	26,083	8,813	7,873
6,710	6,315	2,300	2,370	24,450	23,355	7,815	6,485
6,900	7,070	2,605	1,835	23,480	23,160	7,410	6,895
8,515	11,725	2,755	5,050	19,740	27,960	9,270	8,945
11,080	10,610	3,150	4,470	23,080	23,720	8,750	9,270
6,980	4,105	3,155	2,010	30,805	20,210	7,370	6,290
6,070	4,795	2,710	2,895	24,915	25,355	6,785	6,205
7,070	10,500	2,260	3,990	22,220	30,560	8,690	8,260
6,930	11,235	3,235	4,650	21,965	28,795	11,880	8,940
4,680	5,240	3,165	3,165	22,430	24,970	6,815	6,255
4,305	5,405	2,495	3,155	20,580	28,035	6,610	4,990
8,425	7,430	4,515	4,210	26,910	21,140	12,035	8,175
8,080	7,695	4,870	5,810	24,475	22,690	11,145	7,095
4,548	5,515	2,498	3,368	23,520	26,610	5,323	5,110
6,205	6,060	2,800	2,640	25,800	23,550	5,250	5,840
8,130	9,350	3,715	4,975	23,930	26,345	10,095	8,395
7,000	9,840	3,155	6,180	20,765	30,115	9,000	8,070
4,485	6,090	3,010	3,270	26,275	27,815	5,305	6,175
5,085	6,060	3,070	3,010	26,005	26,970	4,780	5,695
7,365	9,910	3,365	5,750	23,100	30,485	8,610	8,700
7,100	8,620	3,510	5,945	22,450	28,090	9,775	8,615
7,075	5,575	3,935	2,420	26,250	20,850	9,680	6,415
6,293	5,713	3,430	2,360	25,228	22,975	7,035	6,613
6,790	12,790	2,145	8,360	16,445	30,485	10,630	9,260
8,560	10,425	4,130	5,535	21,975	25,320	10,065	7,915
5,885	3,660	3,565	2,230	33,390	22,995	7,075	5,725
6,015	5,340	2,305	2,065	26,365	24,480	6,425	5,910
6,745	12,175	2,710	5,620	20,225	31,280	10,290	9,730
6,530	13,190	2,470	4,800	18,960	31,010	10,375	9,755

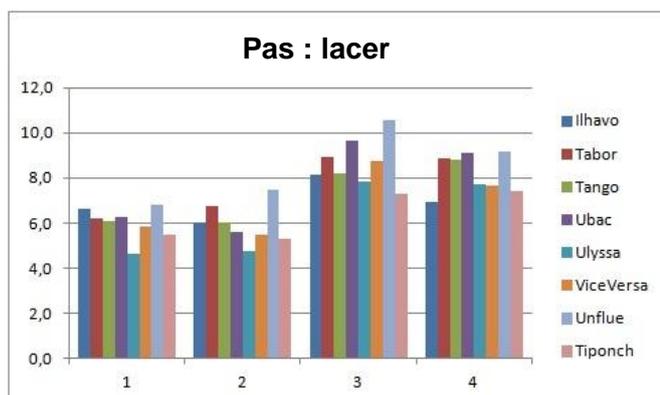
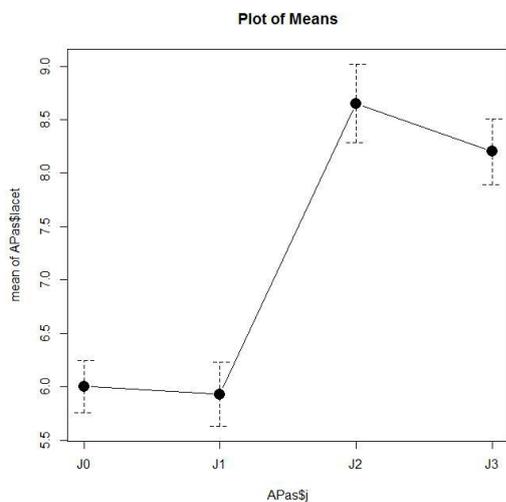
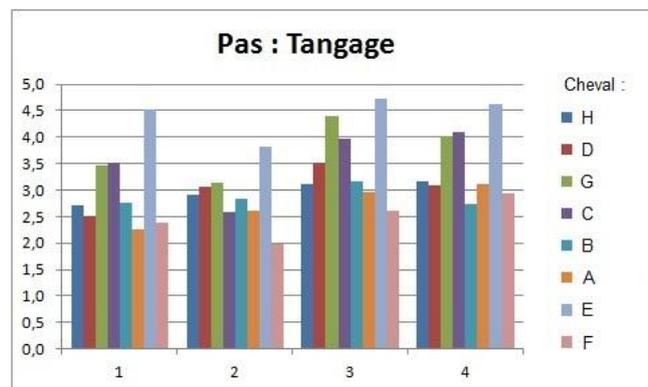
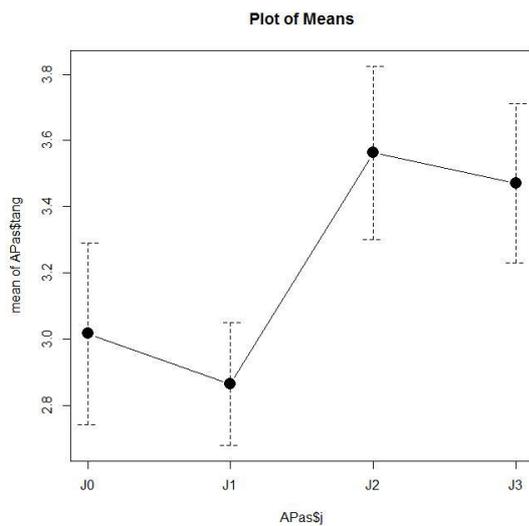
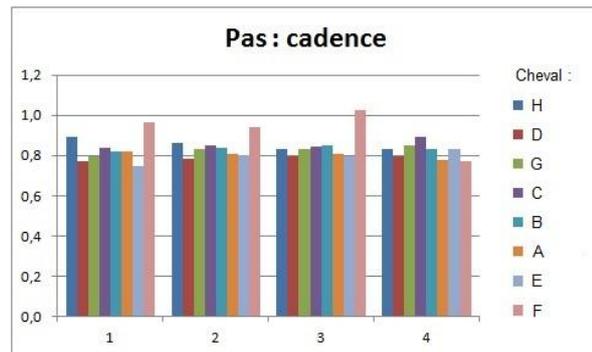
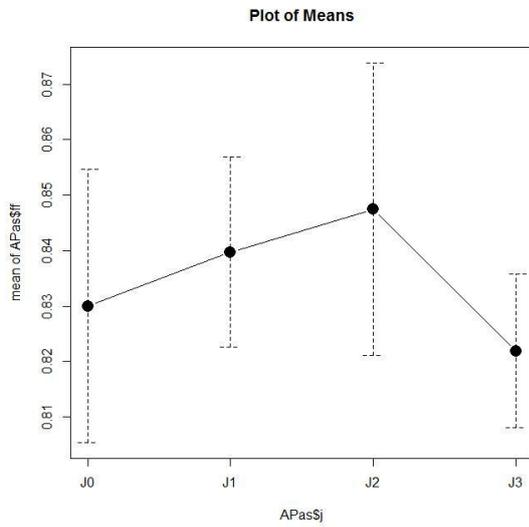
2/ Statistiques descriptives : graphiques des moyennes avec les erreurs-standards et graphiques cheval par cheval

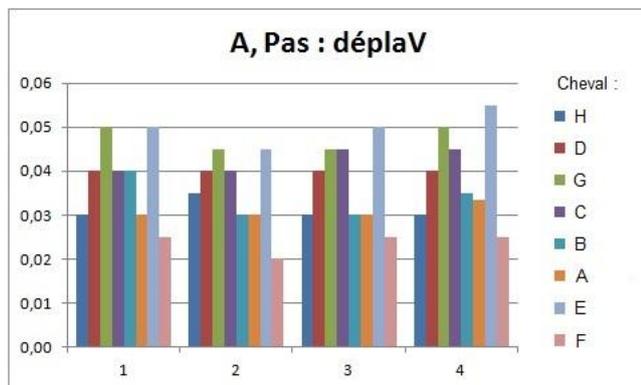
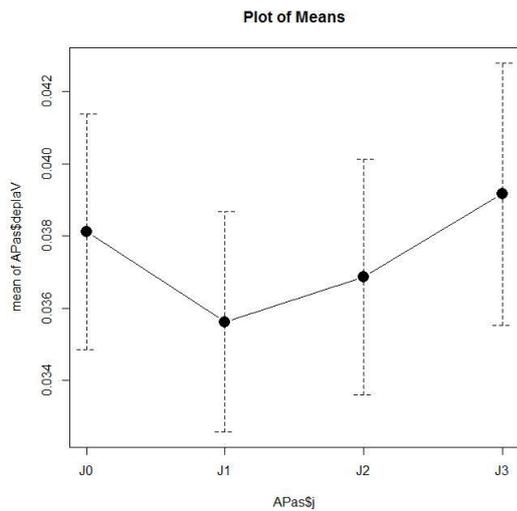
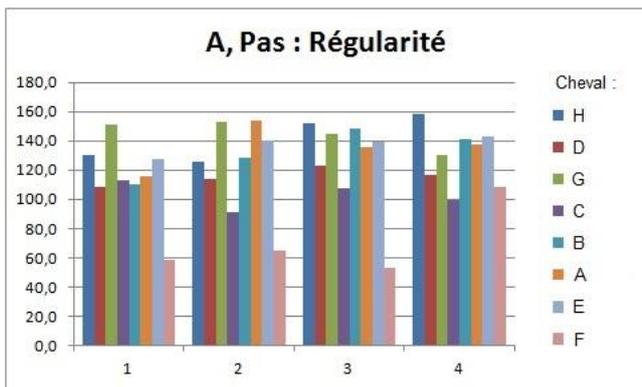
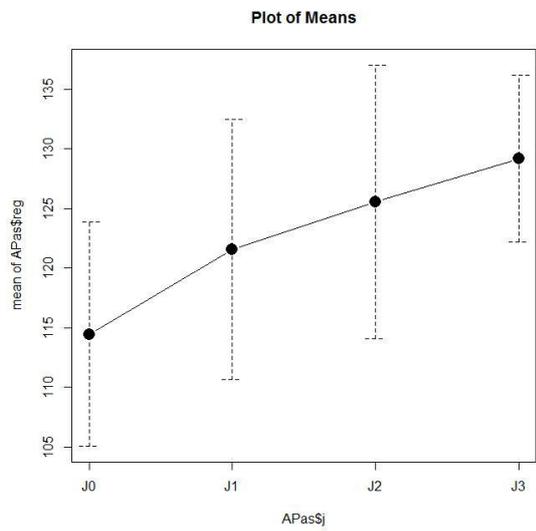
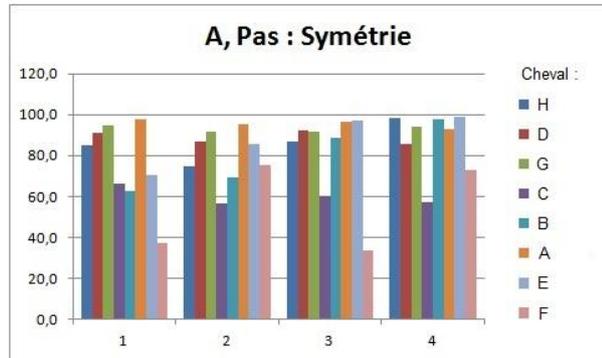
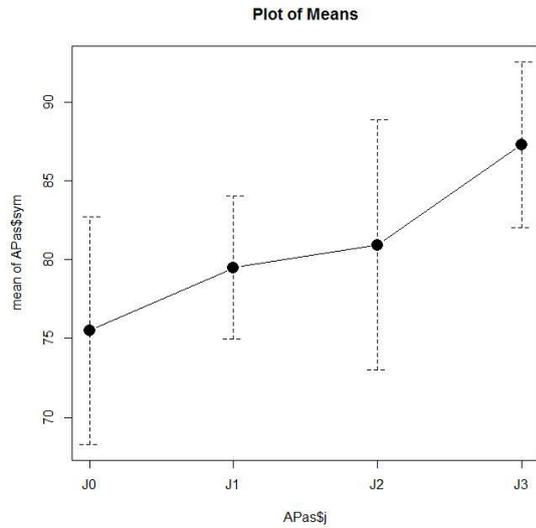
A, Pas

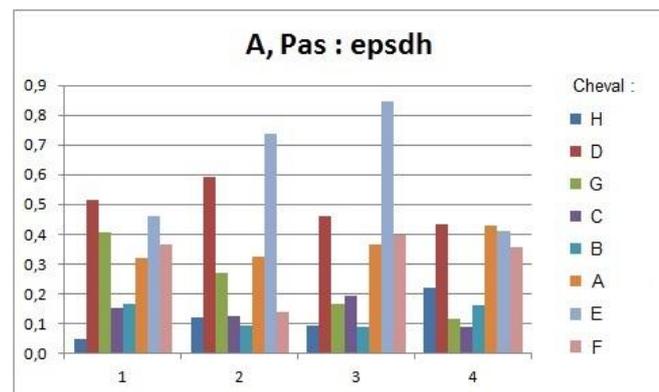
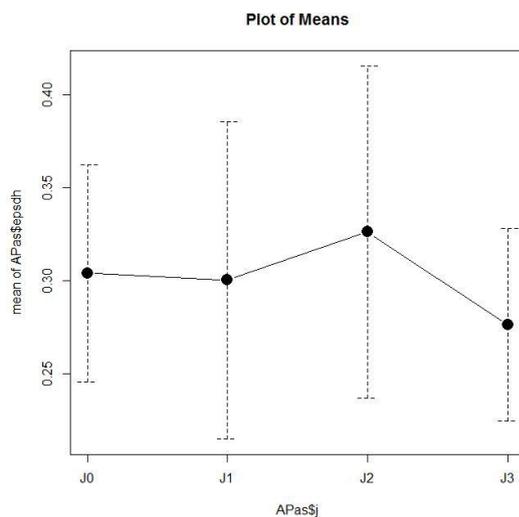
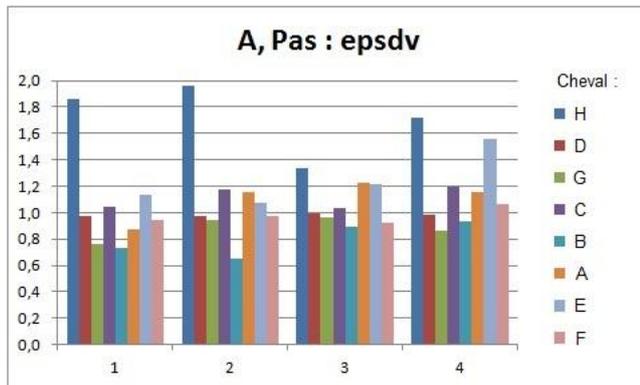
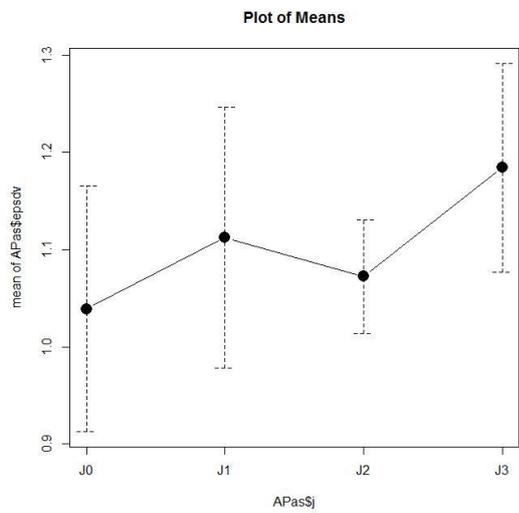
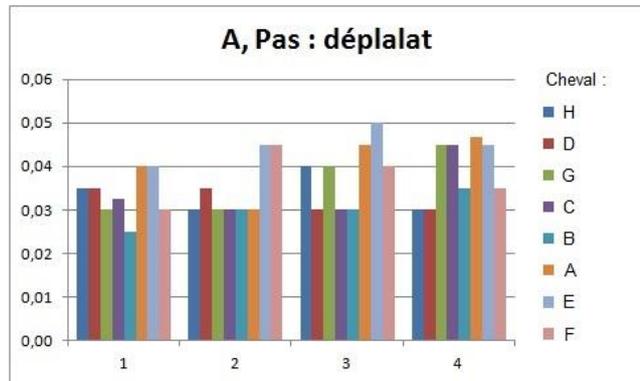
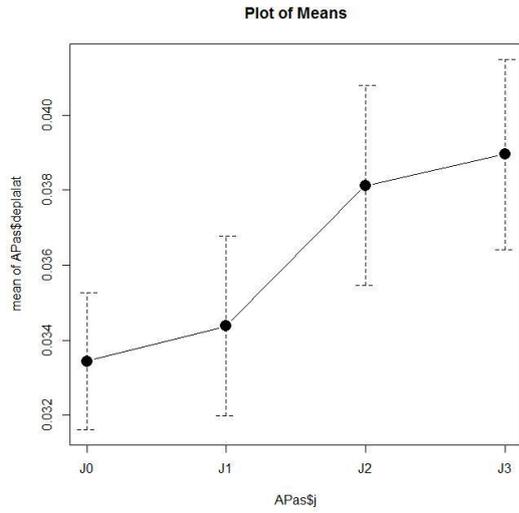
NB :

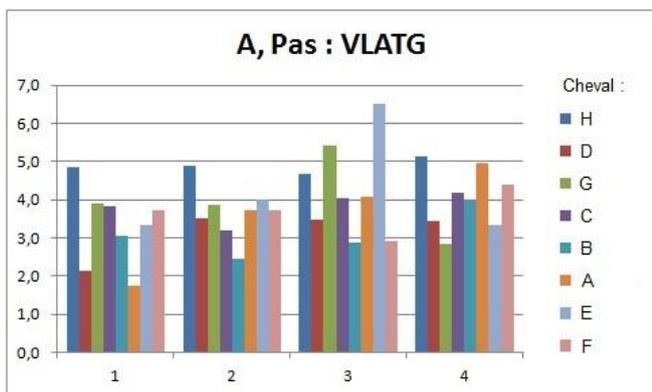
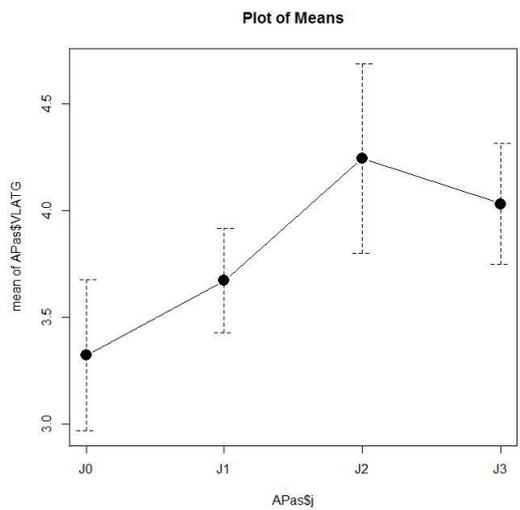
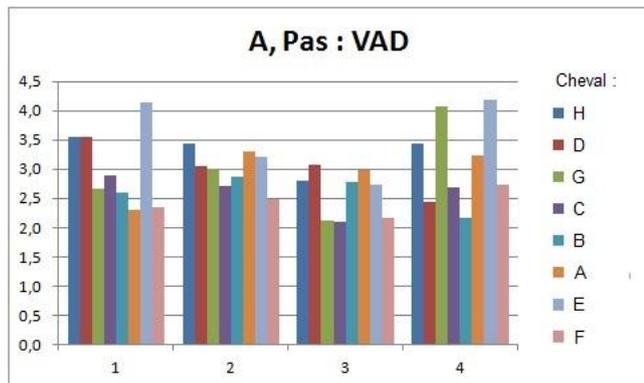
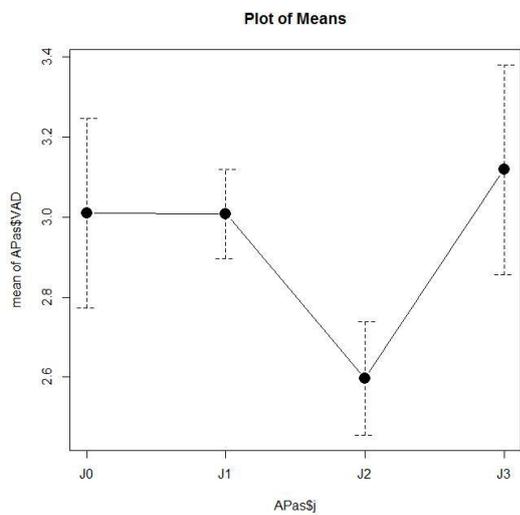
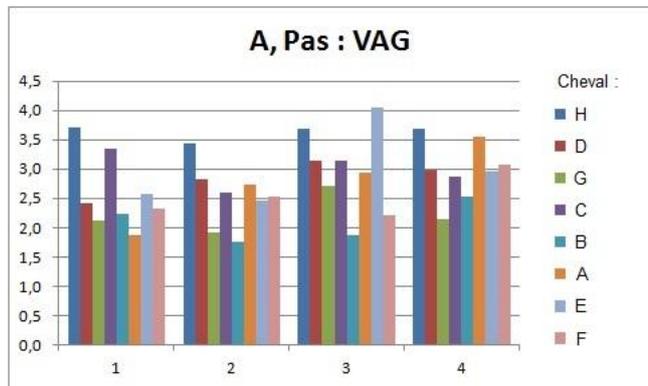
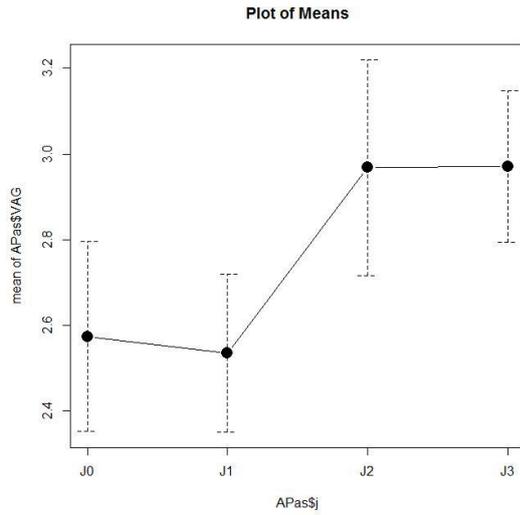
Dans les graphiques suivants :

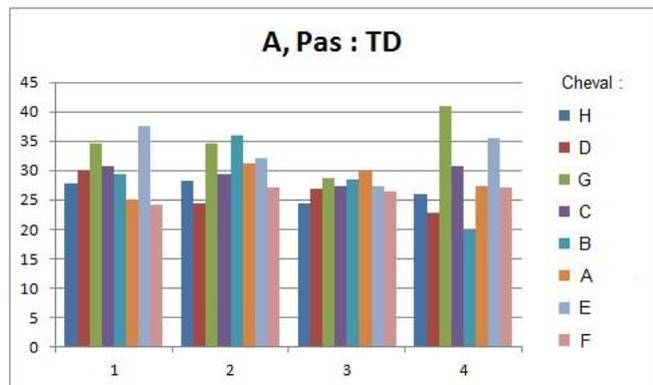
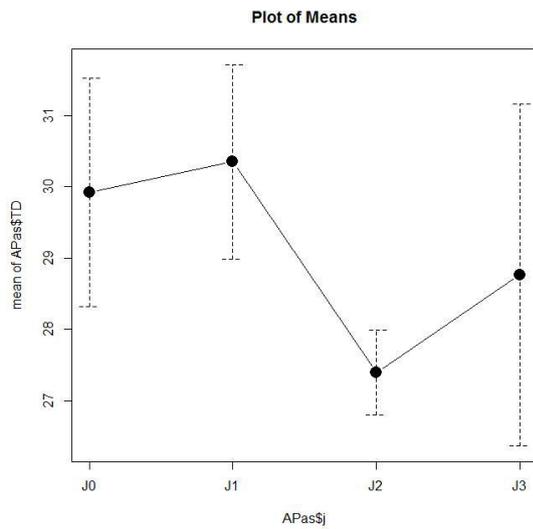
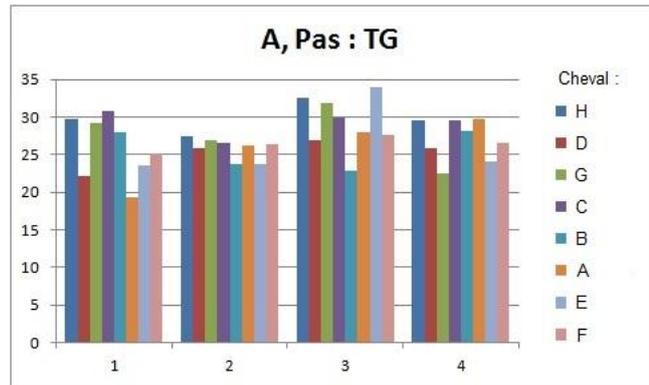
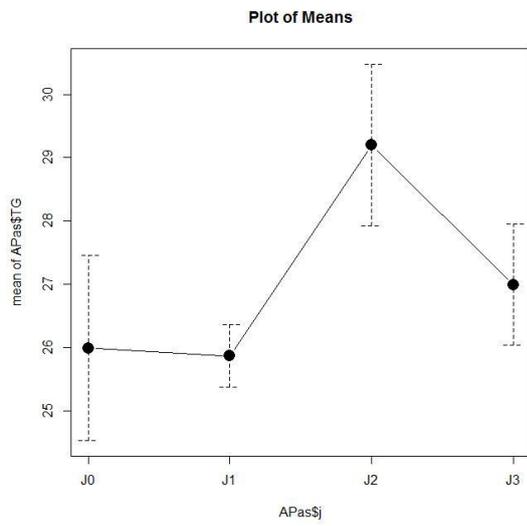
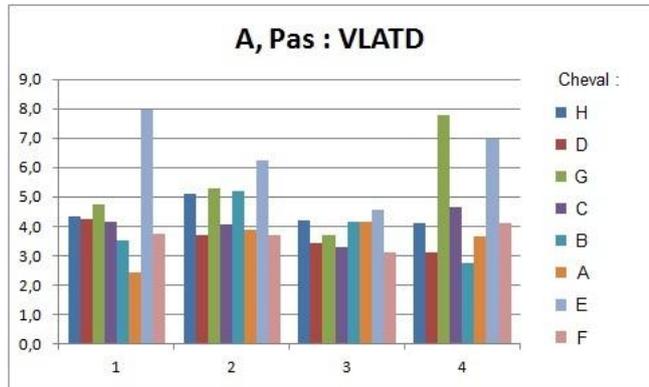
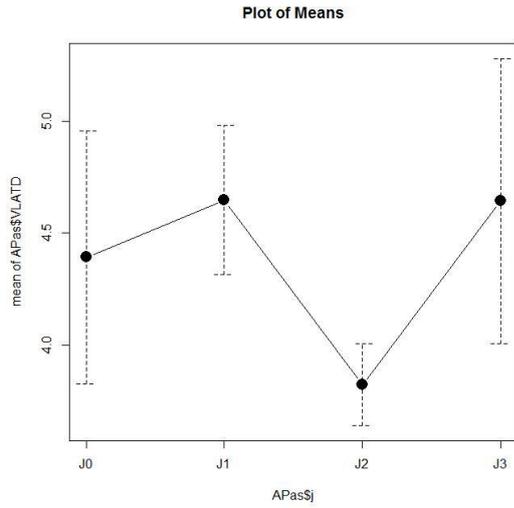
- J2 correspond à J10
- J3 correspond à J30
- 1 correspond à J0
- 2 correspond à J1
- 3 correspond à J10
- 4 correspond à J30





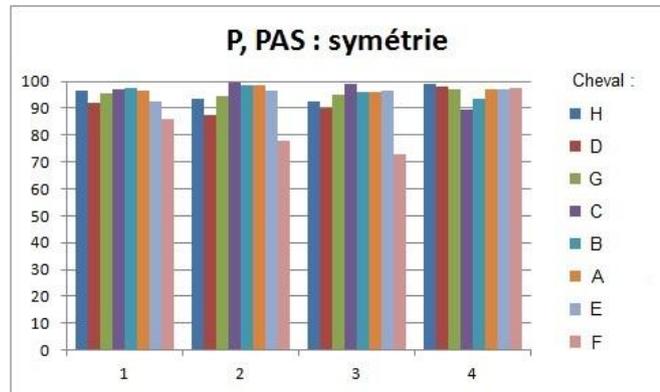
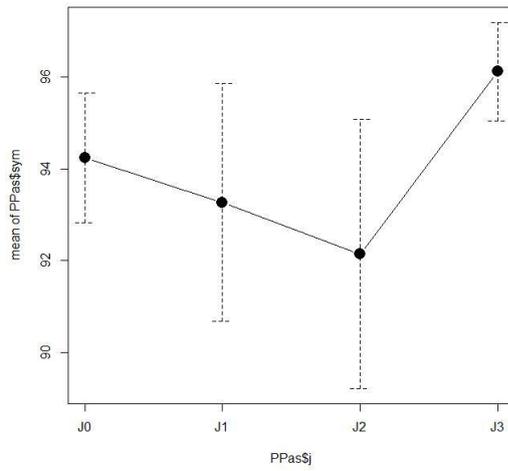




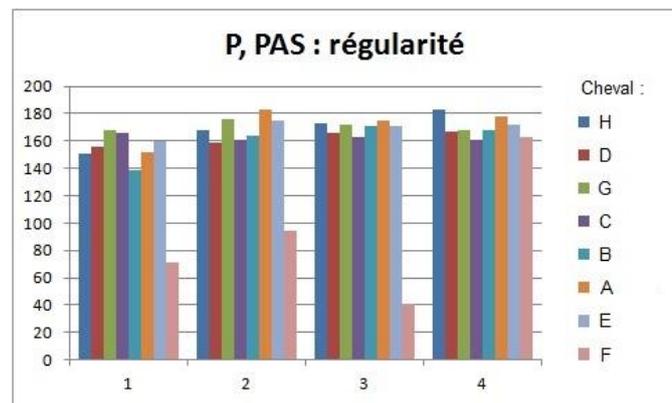
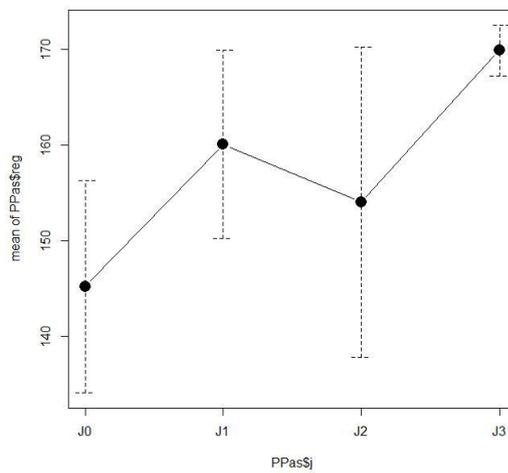


P, Pas

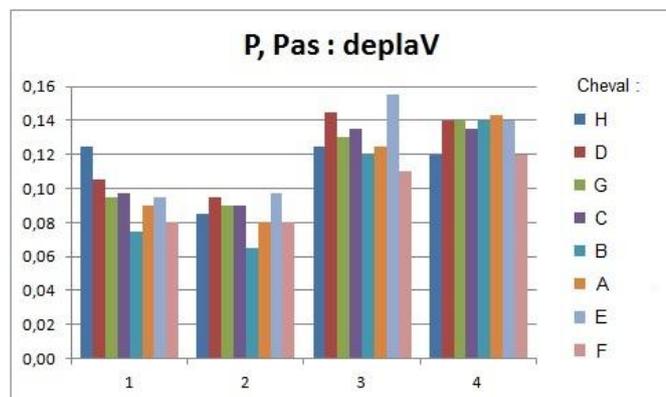
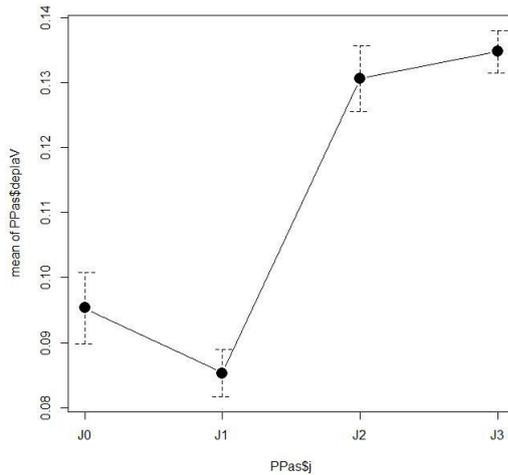
Plot of Means

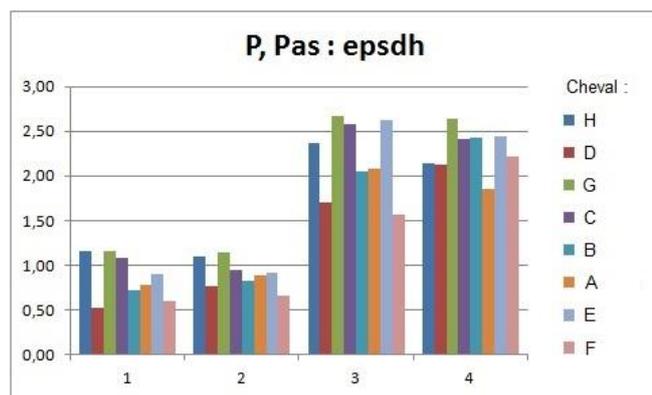
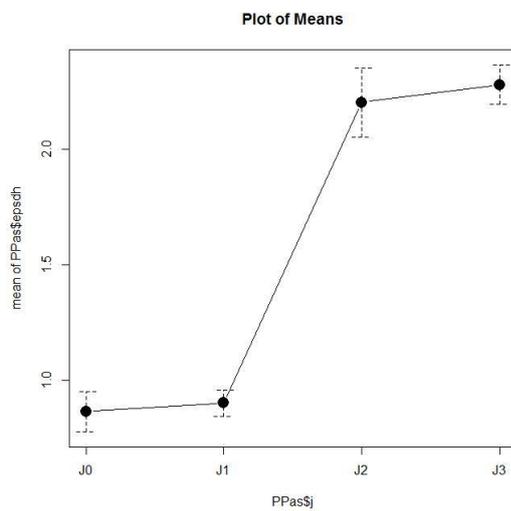
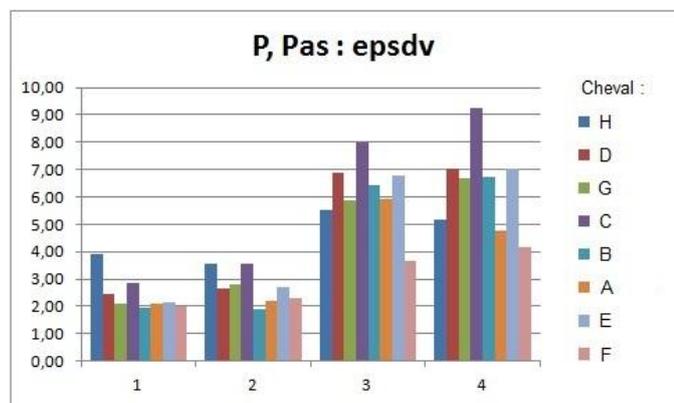
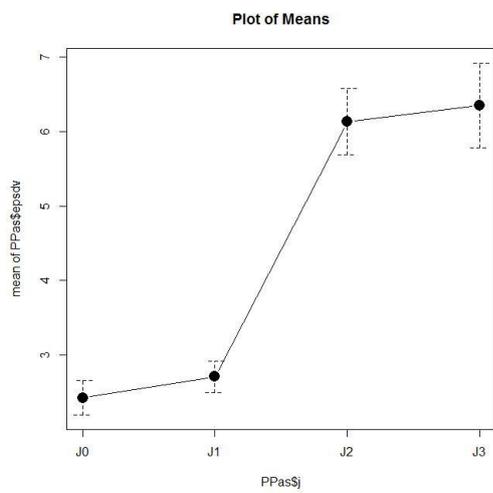
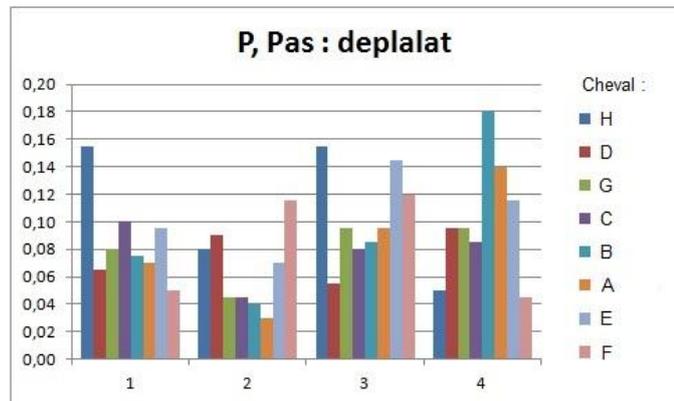
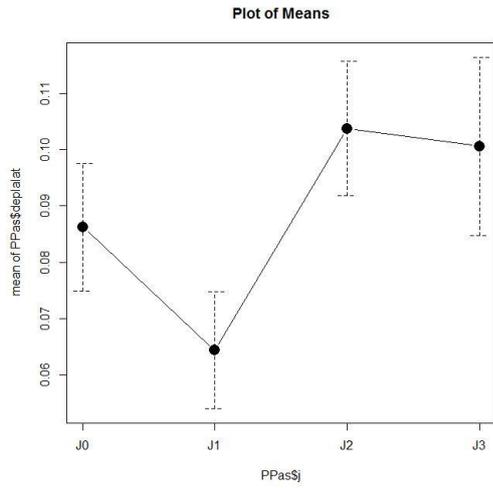


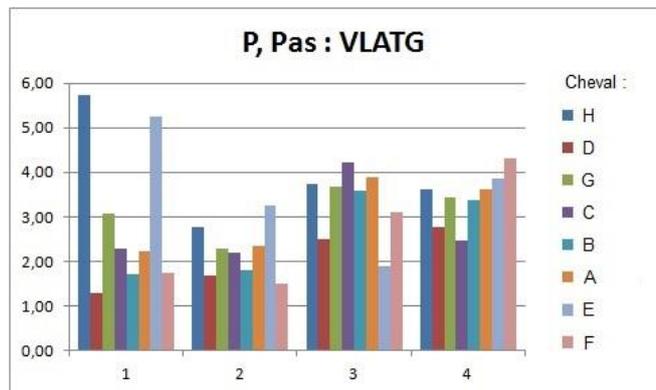
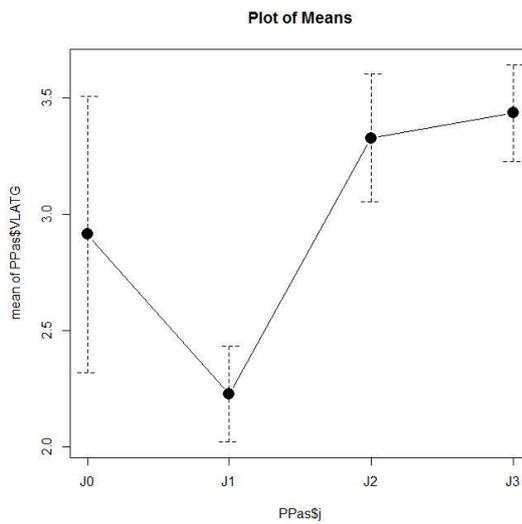
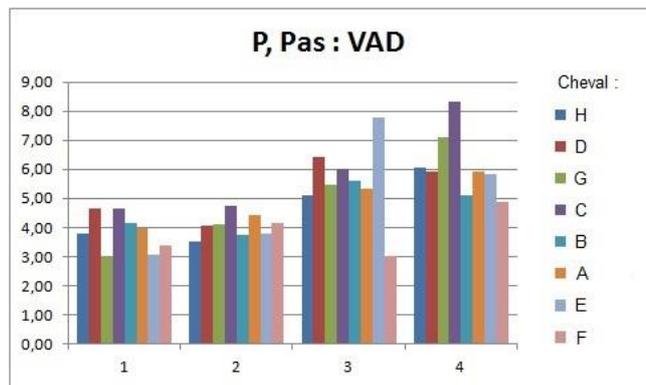
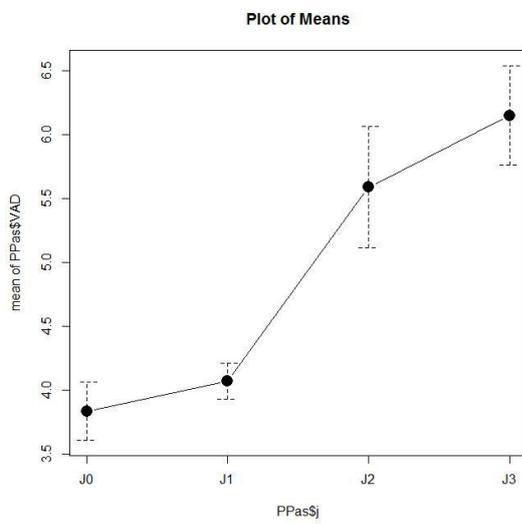
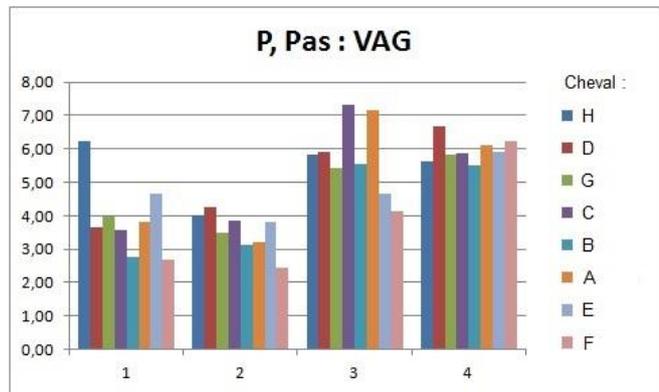
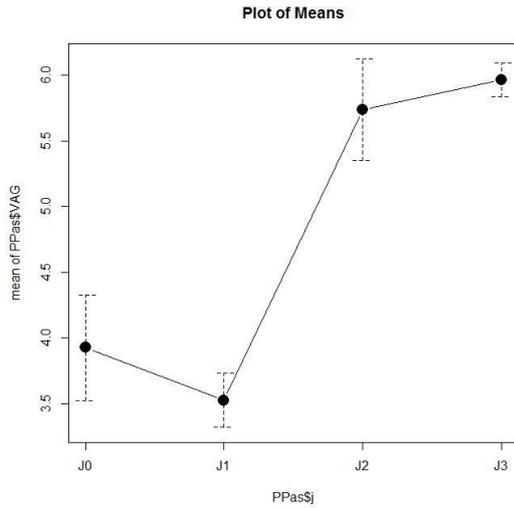
Plot of Means

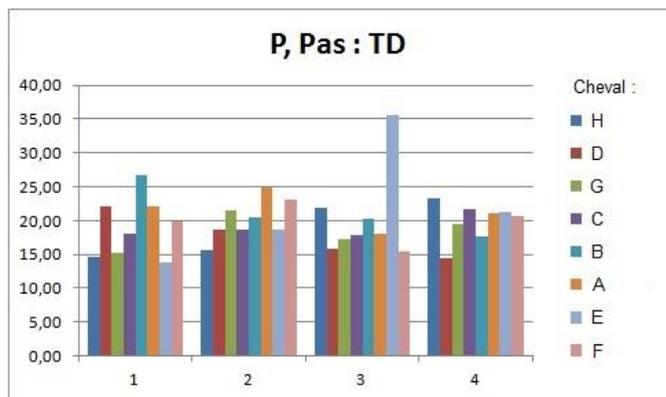
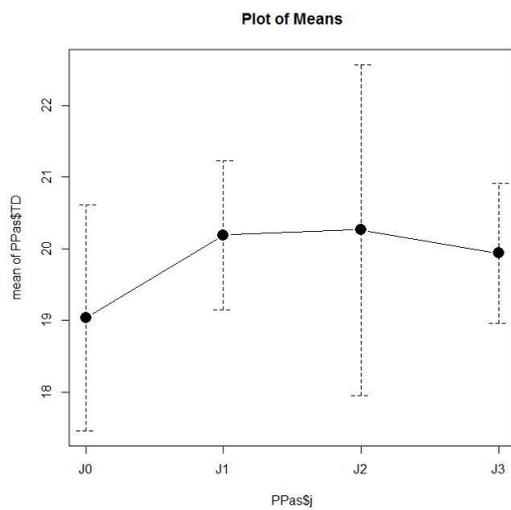
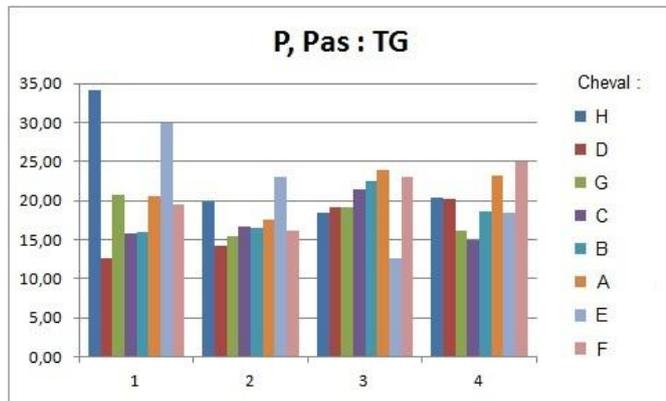
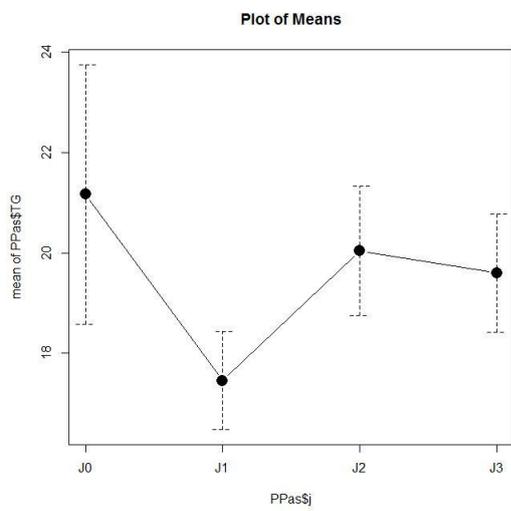
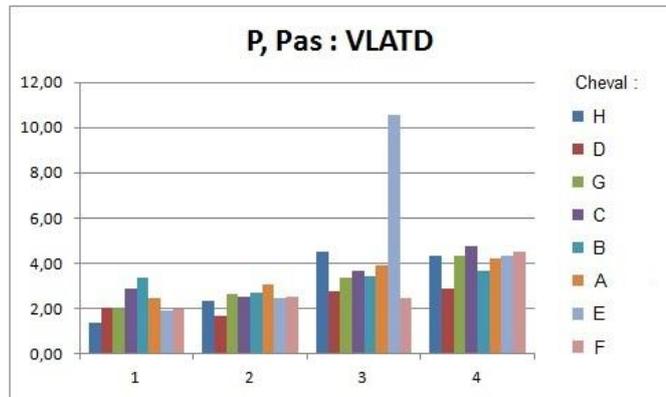
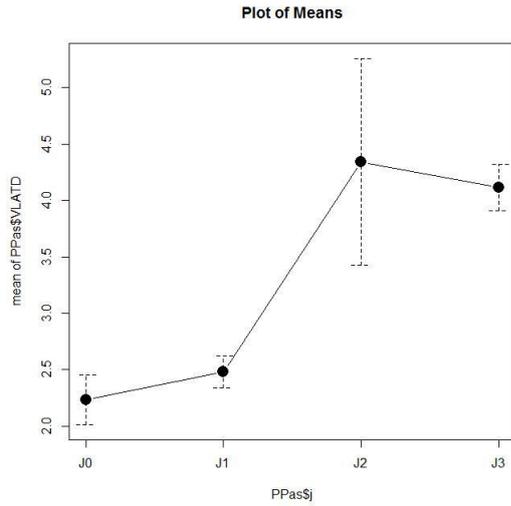


Plot of Means



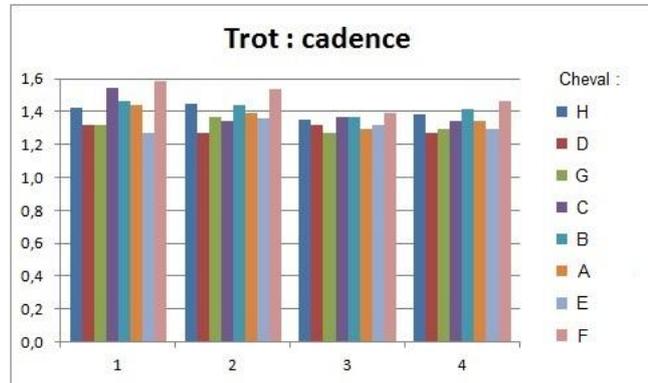
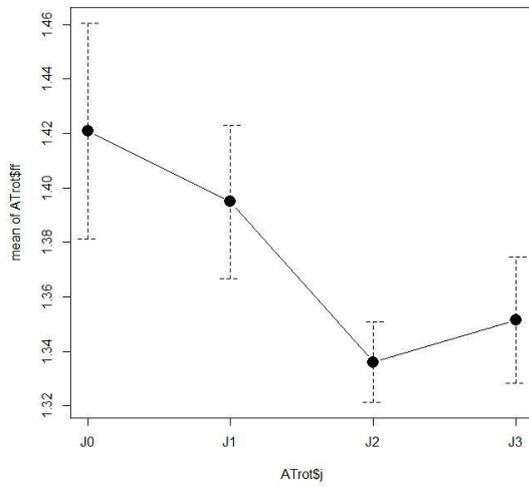




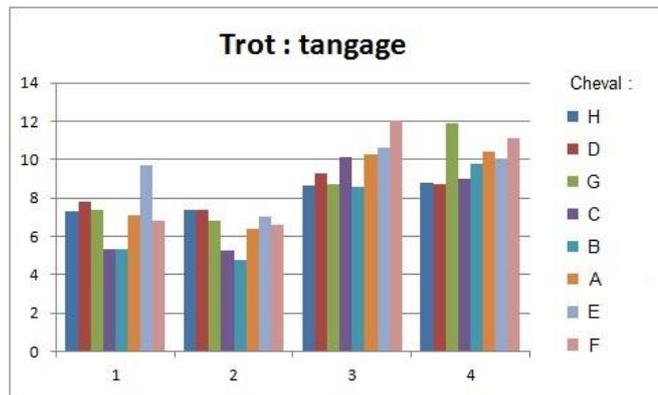
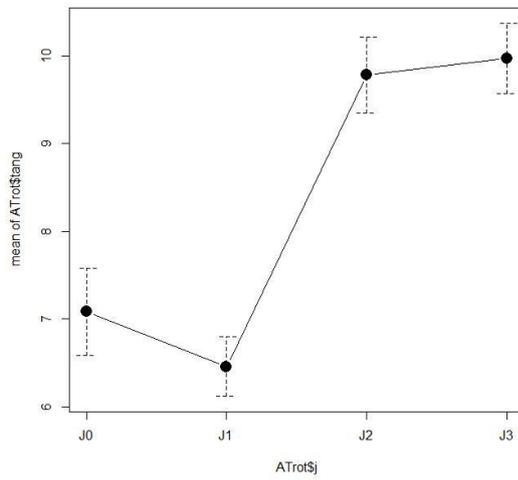


A, Trot

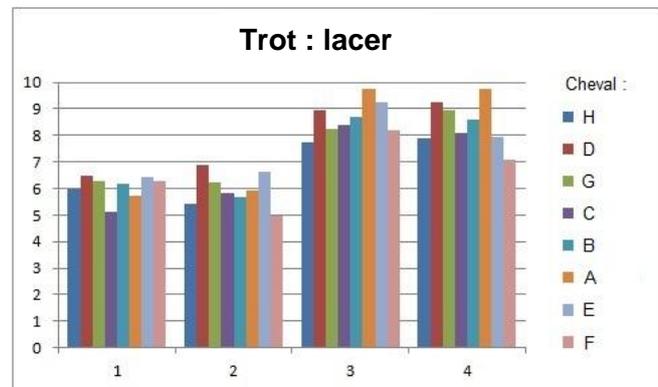
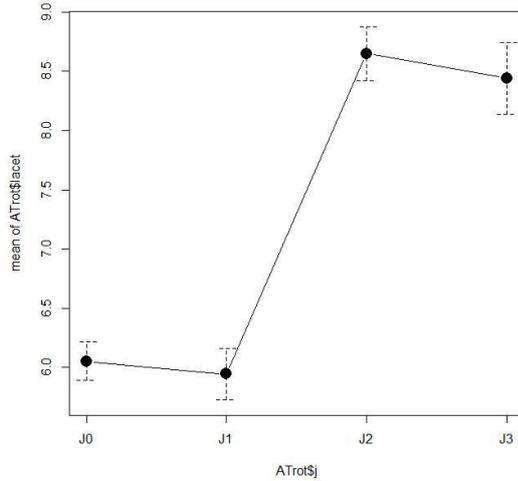
Plot of Means

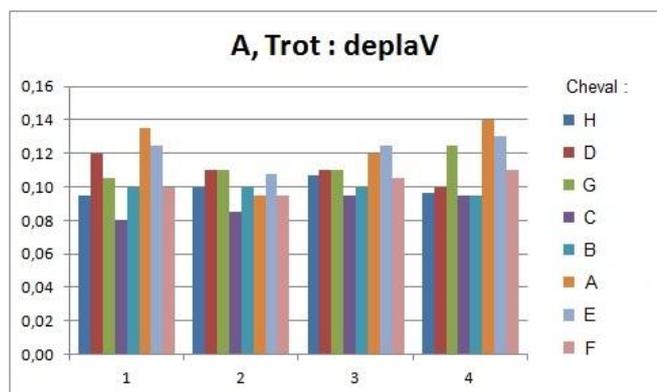
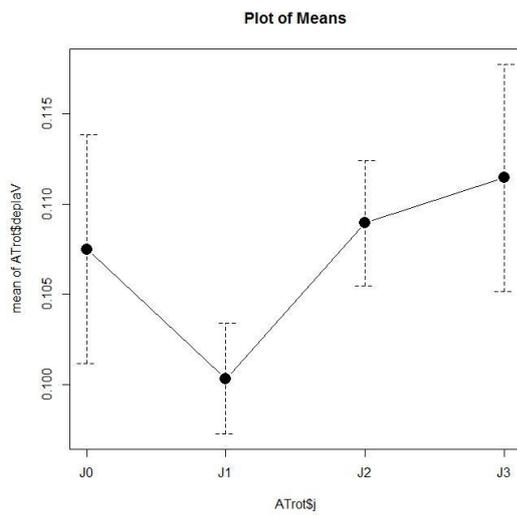
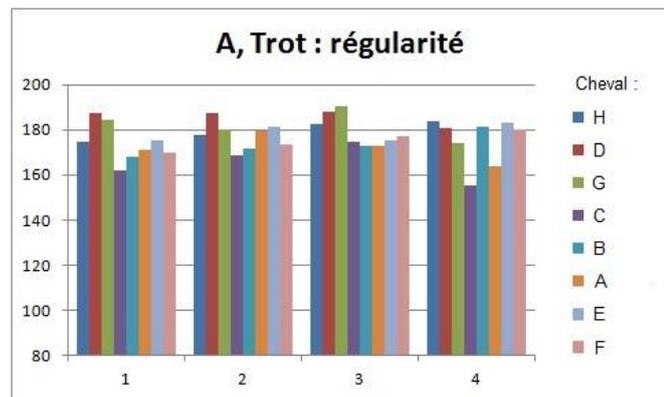
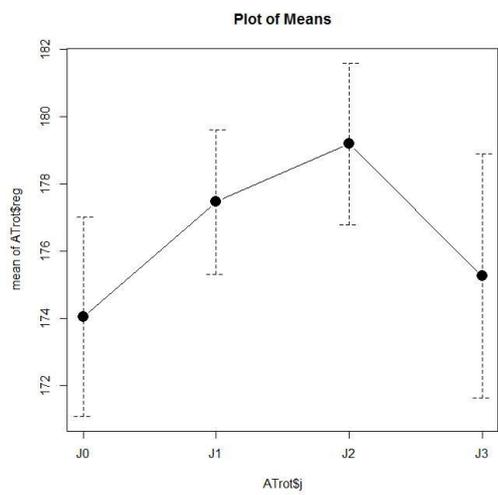
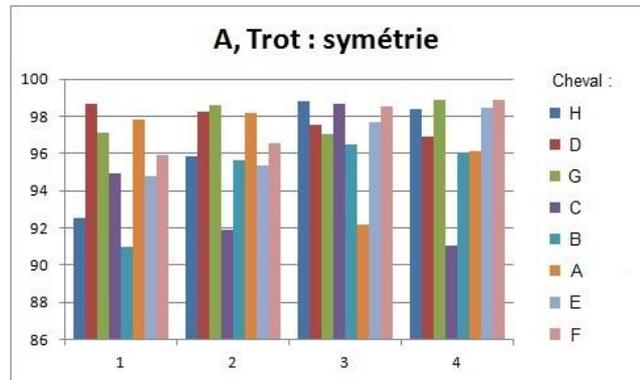
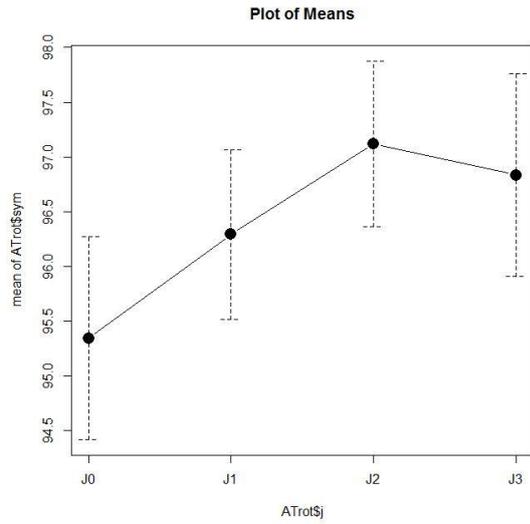


Plot of Means

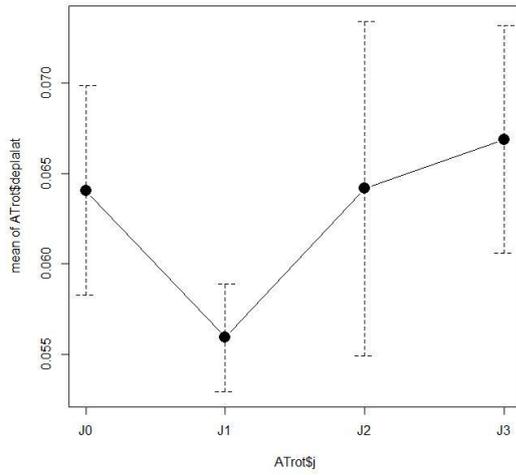


Plot of Means

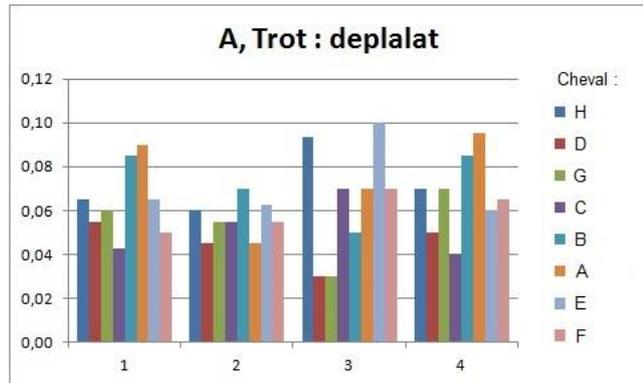




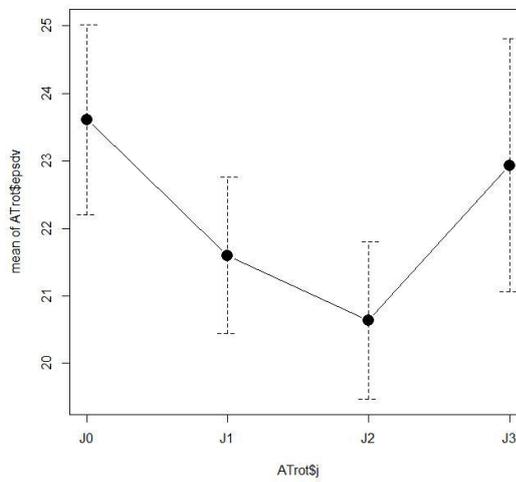
Plot of Means



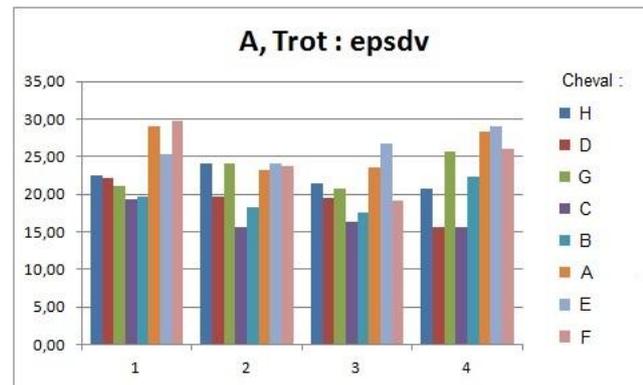
A, Trot : deplalat



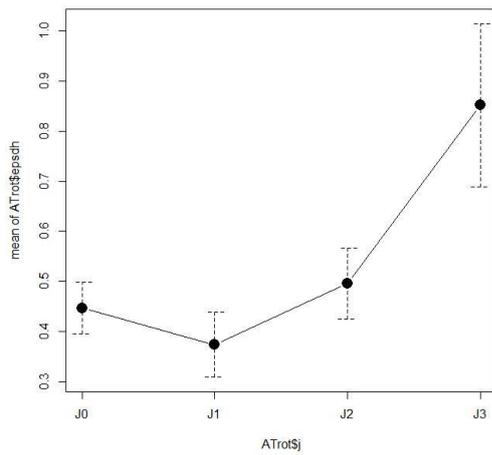
Plot of Means



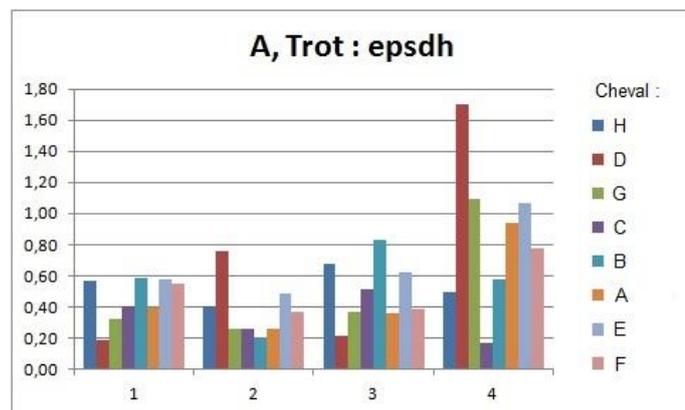
A, Trot : epsdv

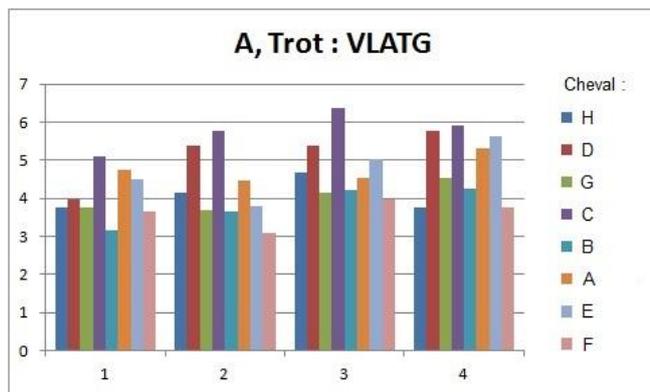
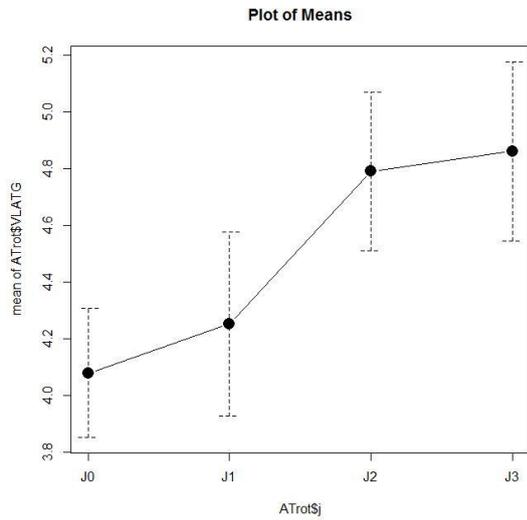
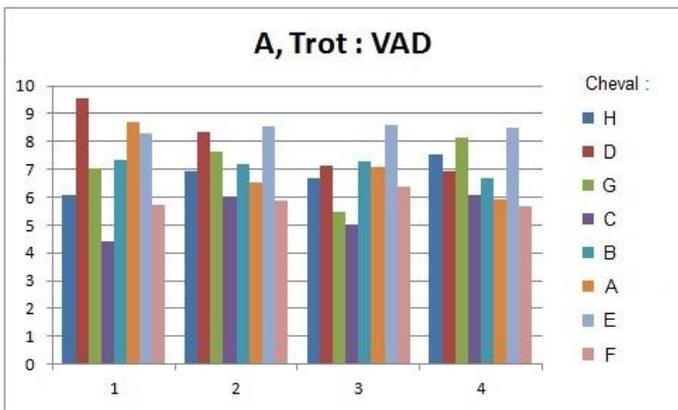
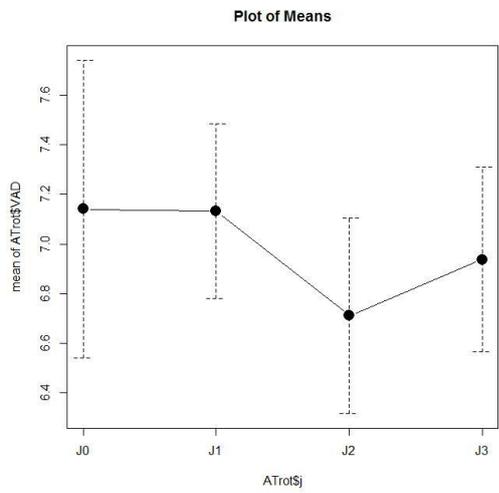
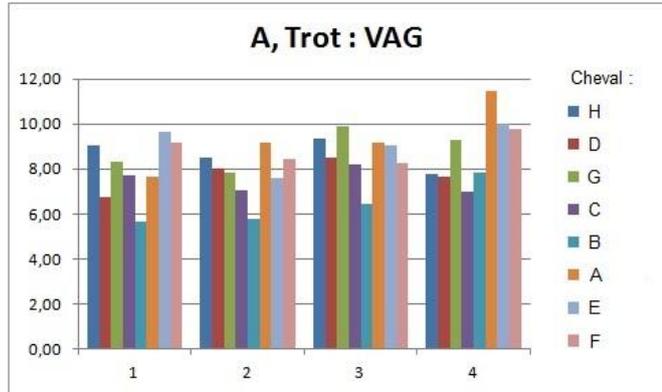
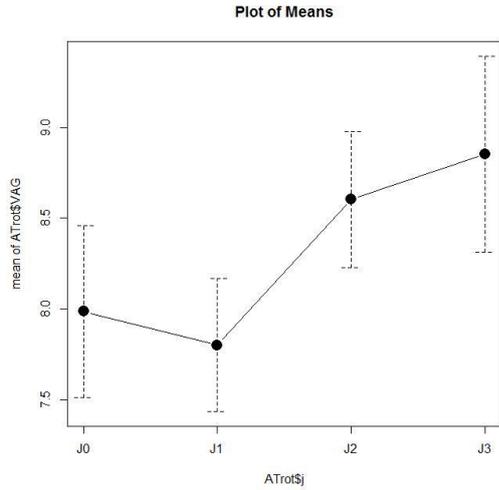


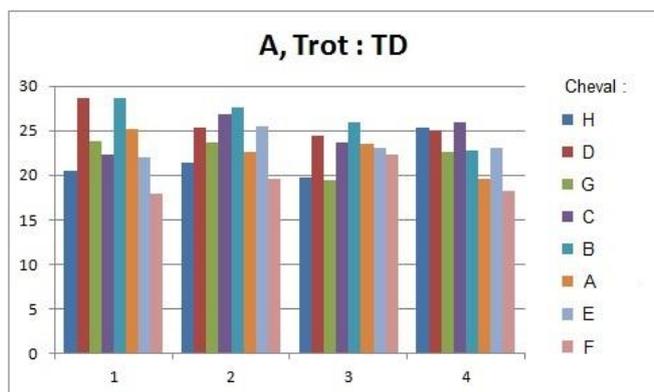
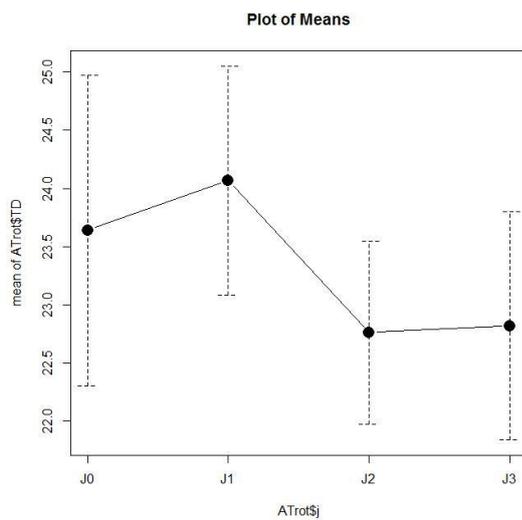
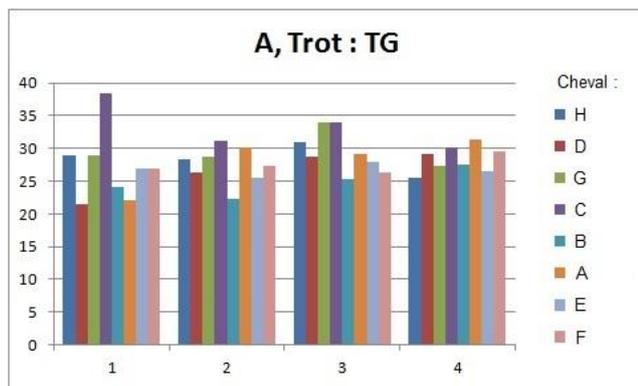
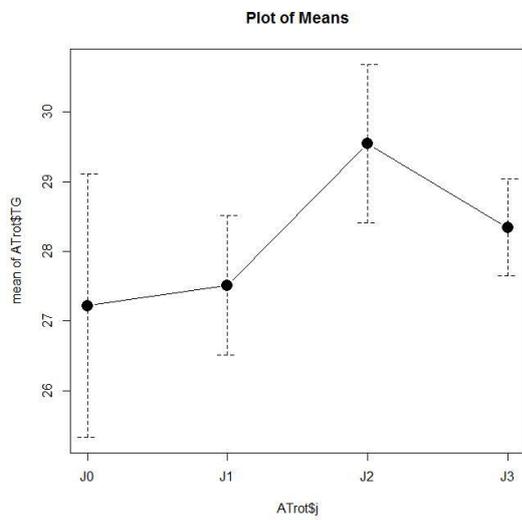
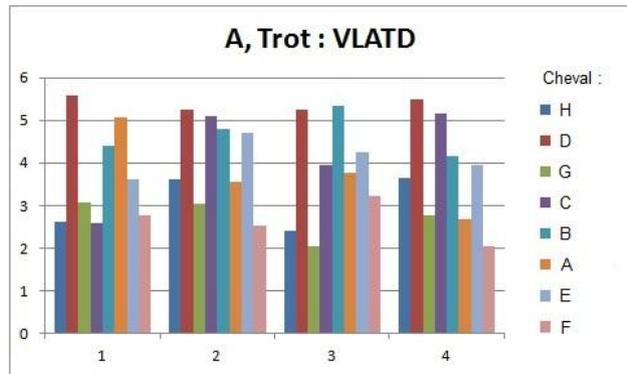
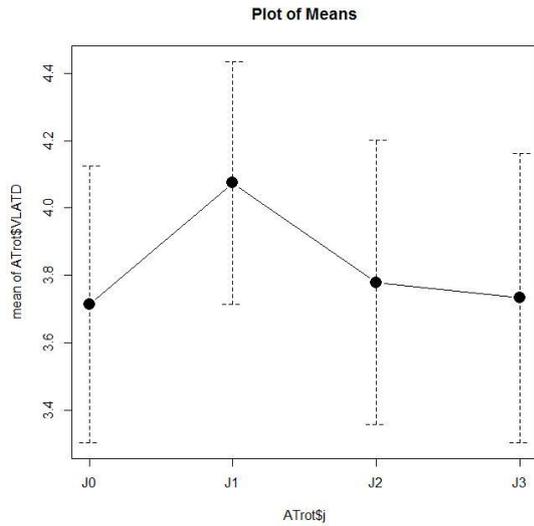
Plot of Means



A, Trot : epsdh

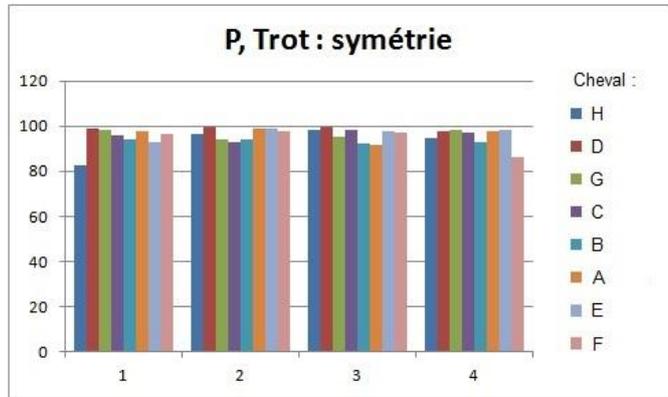
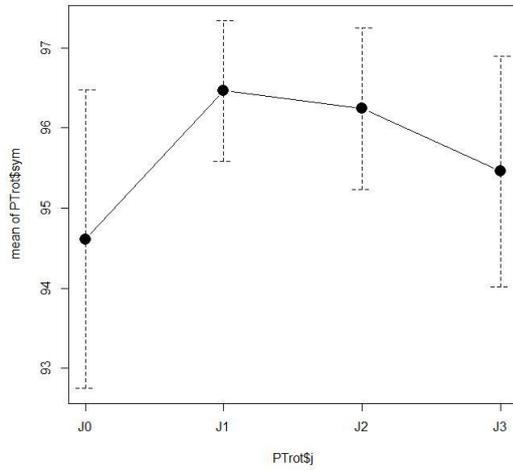




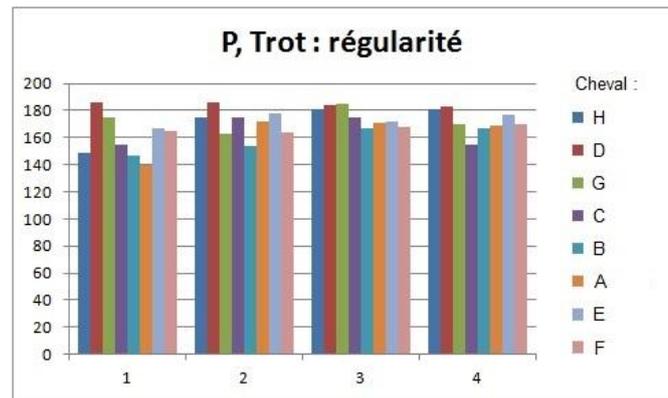
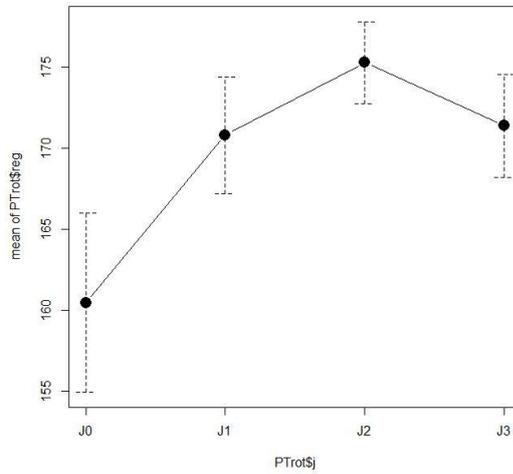


P, Trot

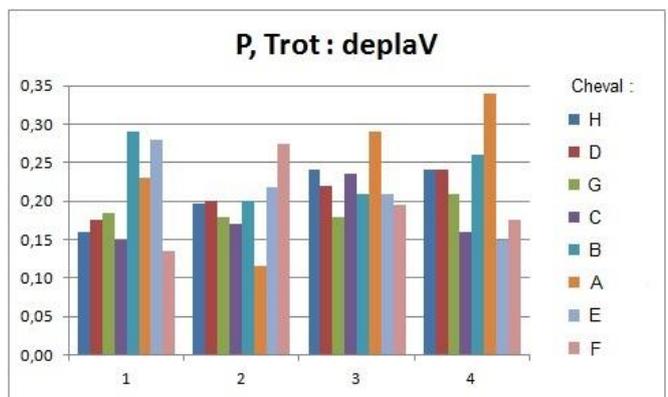
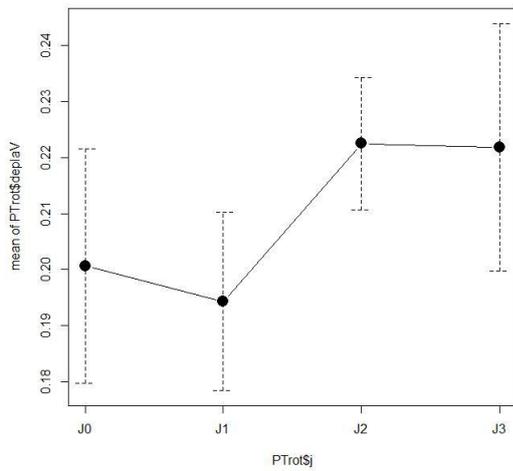
Plot of Means

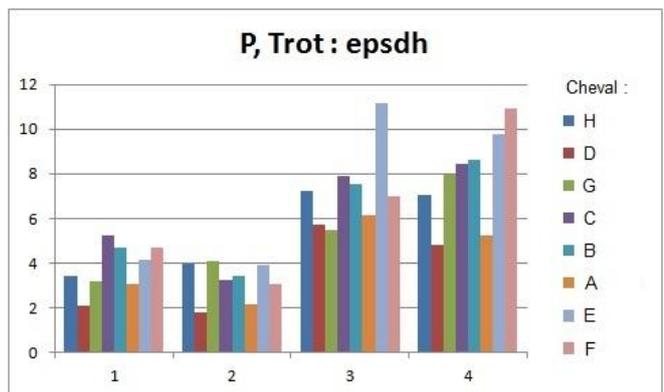
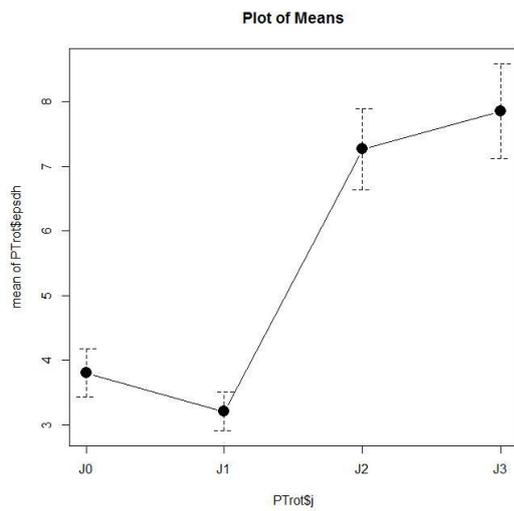
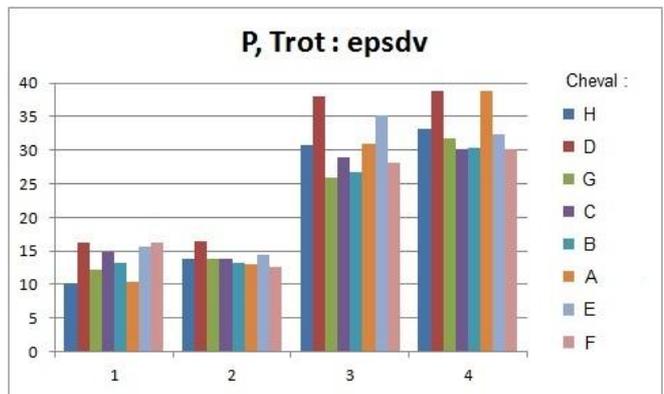
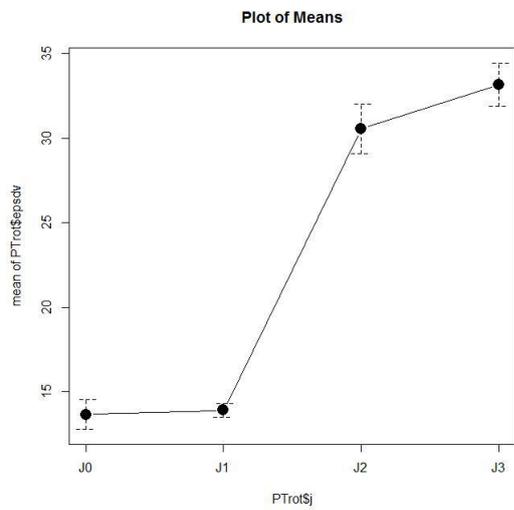
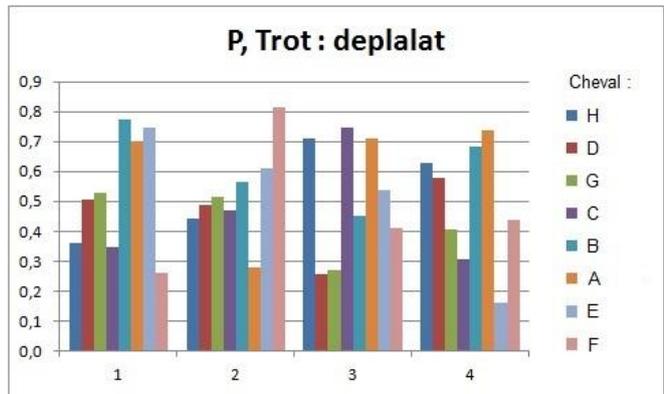
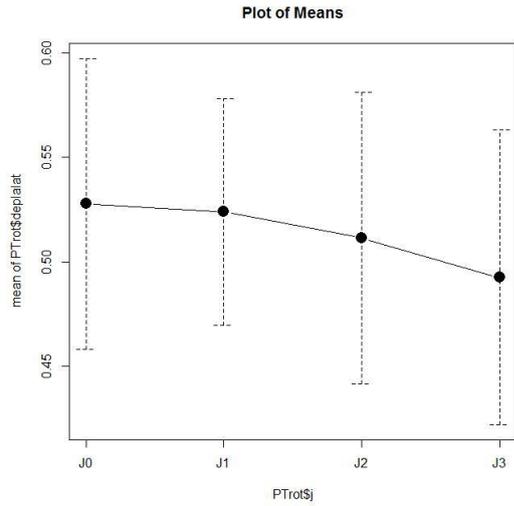


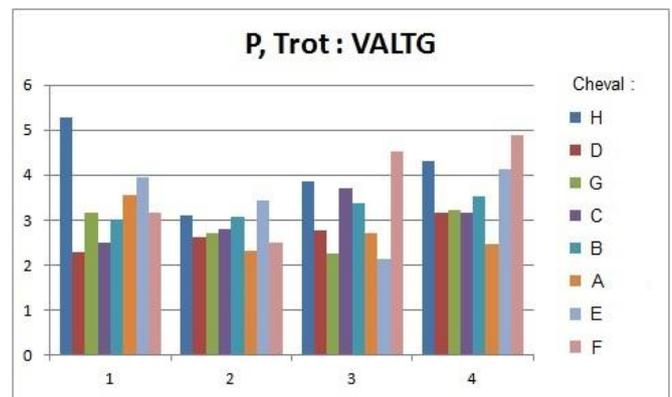
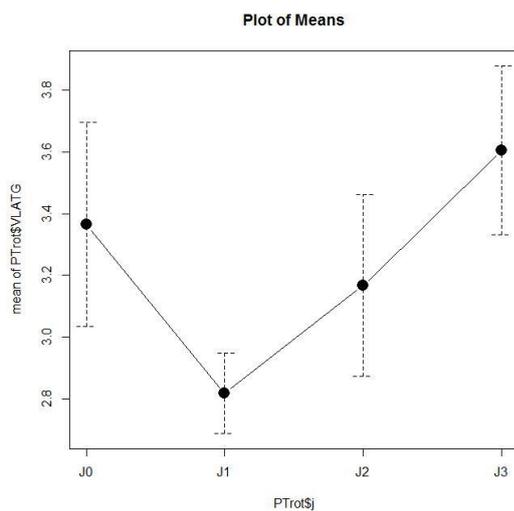
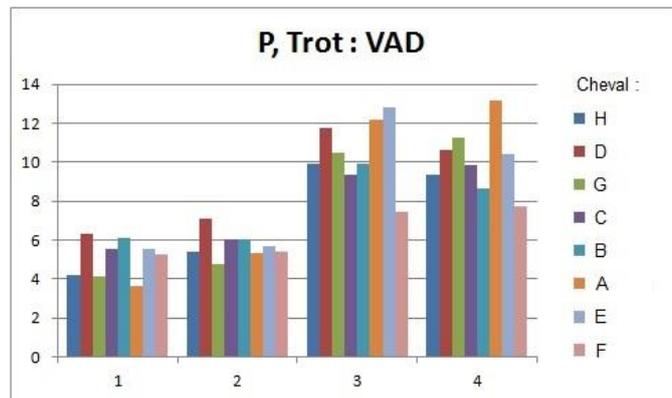
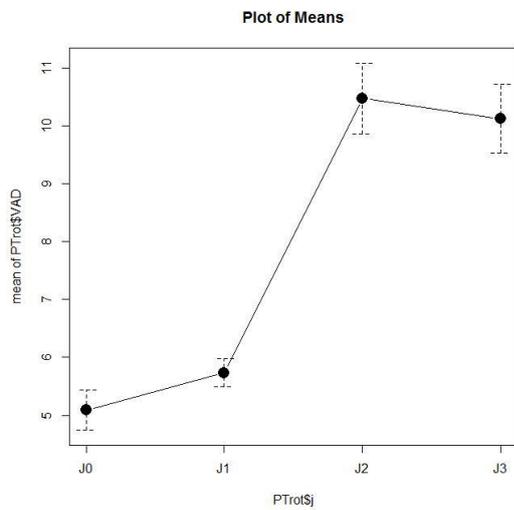
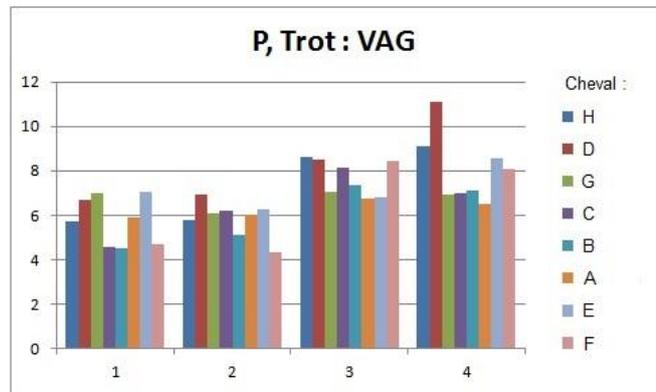
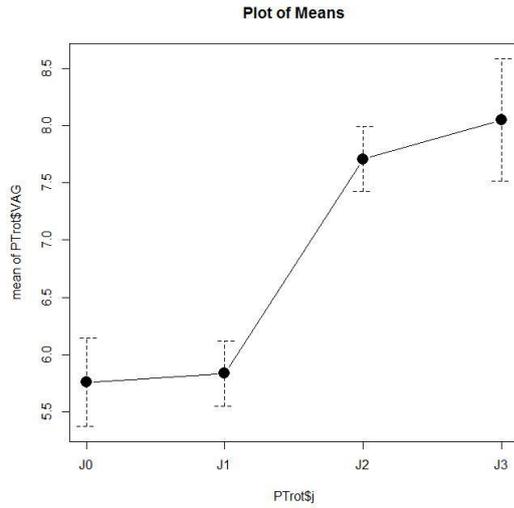
Plot of Means

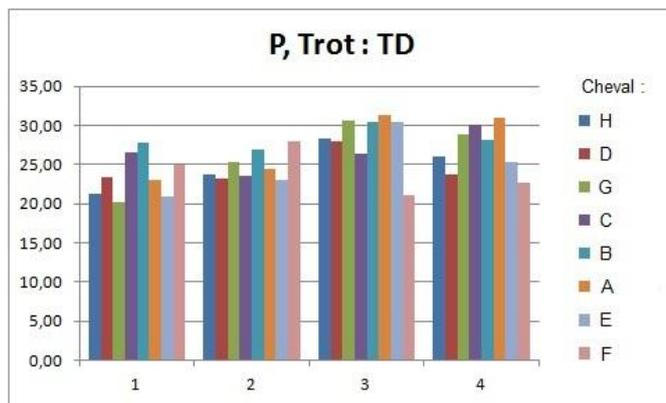
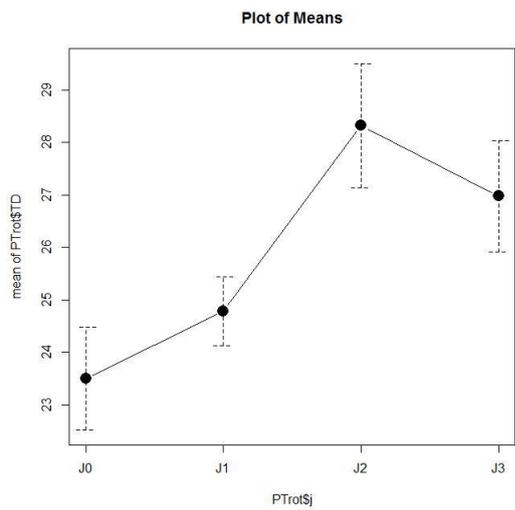
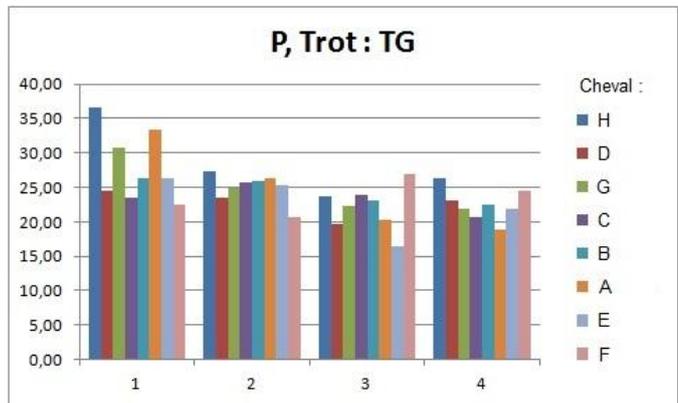
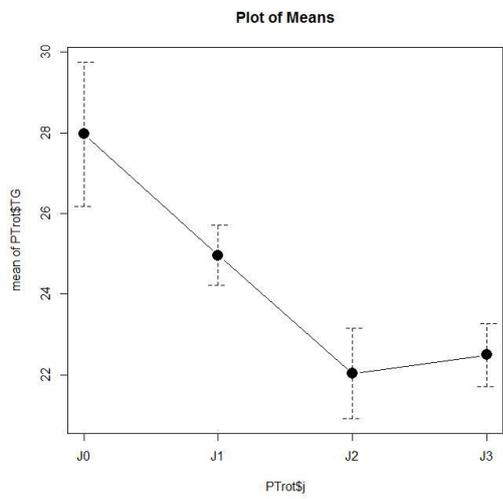
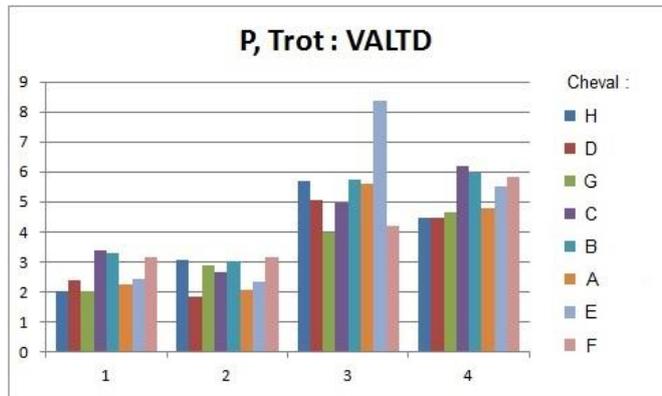
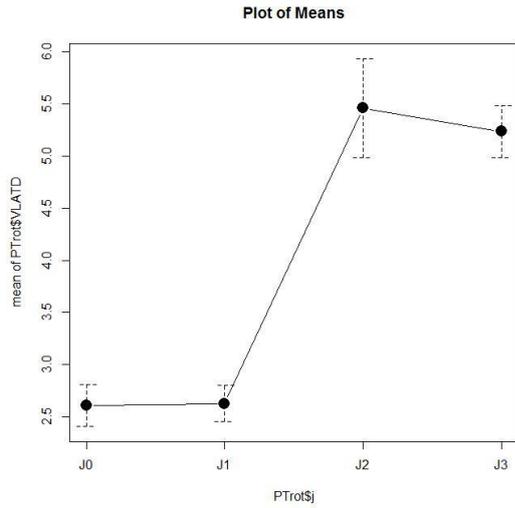


Plot of Means









3/Résultats de statistiques explicatives

NB : dans les tableaux suivants, J2 correspond à J10 et J3 à J30

PAS, global :					
<u>Cadence :</u>					
Fixed effects: ff ~ j					
	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.8300000	0.02117398	21	39.19906	0.0000
j[T.J1]	0.0096875	0.02296217	21	0.42189	0.6774
j[T.J2]	0.0175000	0.02296217	21	0.76212	0.4545
j[T.J3]	-0.0081250	0.02296217	21	-0.35384	0.7270
<u>Tangage :</u>					
Fixed effects: tang ~ j					
	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.0168750	0.2426901	21	12.430976	0.0000
j[T.J1]	-0.1521875	0.1469737	21	-1.035474	0.3122
j[T.J2]	0.5456250	0.1469737	21	3.712398	0.0013
j[T.J3]	0.4533333	0.1469737	21	3.084451	0.0056
Linear Hypotheses:					
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
J1 - J0 == 0	-0.15219	0.14697	-1.035	0.72858	
J2 - J0 == 0	0.54562	0.14697	3.712	0.00135	**
J3 - J0 == 0	0.45333	0.14697	3.084	0.01104	*
J2 - J1 == 0	0.69781	0.14697	4.748	< 0.001	***
J3 - J1 == 0	0.60552	0.14697	4.120	< 0.001	***
J3 - J2 == 0	-0.09229	0.14697	-0.628	0.92311	
<u>Lacer :</u>					
Fixed effects: lacet ~ j					
	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	6.001875	0.3089650	21	19.425742	0.0000
j[T.J1]	-0.072500	0.2621424	21	-0.276567	0.7848
j[T.J2]	2.650625	0.2621424	21	10.111395	0.0000
j[T.J3]	2.201667	0.2621424	21	8.398744	0.0000
Linear Hypotheses:					
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
J1 - J0 == 0	-0.0725	0.2621	-0.277	0.993	
J2 - J0 == 0	2.6506	0.2621	10.111	<1e-04	***
J3 - J0 == 0	2.2017	0.2621	8.399	<1e-04	***
J2 - J1 == 0	2.7231	0.2621	10.388	<1e-04	***
J3 - J1 == 0	2.2742	0.2621	8.675	<1e-04	***
J3 - J2 == 0	-0.4490	0.2621	-1.713	0.317	

PAS, antérieurs :

Symétrie :

Fixed effects: sym ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	75.49938	6.385415	21	11.823723	0.0000
j[T. J1]	3.99344	5.613808	21	0.711360	0.4847
j[T. J2]	5.43812	5.613808	21	0.968705	0.3437
j[T. J3]	11.79333	5.613808	21	2.100773	0.0479

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	3.993	5.614	0.711	0.893
J2 - J0 == 0	5.438	5.614	0.969	0.767
J3 - J0 == 0	11.793	5.614	2.101	0.153
J2 - J1 == 0	1.445	5.614	0.257	0.994
J3 - J1 == 0	7.800	5.614	1.389	0.506
J3 - J2 == 0	6.355	5.614	1.132	0.670

Régularité :

Fixed effects: reg ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	114.43875	9.856307	21	11.610713	0.0000
j[T. J1]	7.10906	6.967761	21	1.020279	0.3192
j[T. J2]	11.09687	6.967761	21	1.592603	0.1262
j[T. J3]	14.75063	6.967761	21	2.116982	0.0464

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	7.109	6.968	1.020	0.738
J2 - J0 == 0	11.097	6.968	1.593	0.383
J3 - J0 == 0	14.751	6.968	2.117	0.148
J2 - J1 == 0	3.988	6.968	0.572	0.940
J3 - J1 == 0	7.642	6.968	1.097	0.692
J3 - J2 == 0	3.654	6.968	0.524	0.953

Rebond :

Fixed effects: deplav ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.03812500	0.003310234	21	11.517312	0.0000
j[T. J1]	-0.00250000	0.001371795	21	-1.822430	0.0827
j[T. J2]	-0.00125000	0.001371795	21	-0.911215	0.3725
j[T. J3]	0.00104167	0.001371795	21	0.759346	0.4561

Déplacement latéral :

Fixed effects: deplalat ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.03343750	0.002377567	21	14.063747	0.0000
j[T. J1]	0.00093750	0.002744578	21	0.341583	0.7361
j[T. J2]	0.00468750	0.002744578	21	1.707913	0.1024
j[T. J3]	0.00552083	0.002744578	21	2.011542	0.0573

Activité dorso-ventrale :

Fixed effects: epsdv ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	1.0390625	0.11065998	21	9.389686	0.0000
j[T.J1]	0.0734375	0.07366794	21	0.996872	0.3302
j[T.J2]	0.0334375	0.07366794	21	0.453895	0.6546
j[T.J3]	0.1451042	0.07366794	21	1.969706	0.0622

Activité latérale :

Fixed effects: epsdh ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.30406250	0.07296428	21	4.167279	0.0004
j[T.J1]	-0.00375000	0.05587413	21	-0.067115	0.9471
j[T.J2]	0.02218750	0.05587413	21	0.397098	0.6953
j[T.J3]	-0.02760417	0.05587413	21	-0.494042	0.6264

Vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical :

Fixed effects: VAG ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	2.574375	0.2109036	21	12.206408	0.0000
j[T.J1]	-0.039375	0.2005800	21	-0.196306	0.8463
j[T.J2]	0.393750	0.2005800	21	1.963057	0.0630
j[T.J3]	0.396250	0.2005800	21	1.975521	0.0615

Vecteur d'appui droit sur l'axe vertical :

Fixed effects: VAD ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.009375	0.1984050	21	15.167840	0.0000
j[T.J1]	-0.001875	0.2363083	21	-0.007935	0.9937
j[T.J2]	-0.412500	0.2363083	21	-1.745601	0.0955
j[T.J3]	0.109375	0.2363083	21	0.462849	0.6482

Vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal :

Fixed effects: VLATG ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.321563	0.3397295	21	9.777080	0.0000
j[T.J1]	0.349687	0.4386456	21	0.797198	0.4343
j[T.J2]	0.924062	0.4386456	21	2.106627	0.0474
j[T.J3]	0.709896	0.4386456	21	1.618381	0.1205

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	0.3497	0.4386	0.797	0.856
J2 - J0 == 0	0.9241	0.4386	2.107	0.151
J3 - J0 == 0	0.7099	0.4386	1.618	0.368
J2 - J1 == 0	0.5744	0.4386	1.309	0.557
J3 - J1 == 0	0.3602	0.4386	0.821	0.844
J3 - J2 == 0	-0.2142	0.4386	-0.488	0.962

Vecteur d'appui droit sur l'axe horizontal:

Fixed effects: VLATD ~ j					
	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	4.392500	0.4668728	21	9.408345	0.0000
j[T.J1]	0.255625	0.4810912	21	0.531344	0.6008
j[T.J2]	-0.570625	0.4810912	21	-1.186106	0.2488
j[T.J3]	0.251667	0.4810912	21	0.523116	0.6064

Temps d'appui gauche :

Fixed effects: TG ~ j					
	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	25.986563	1.113640	21	23.334799	0.0000
j[T.J1]	-0.120938	1.528661	21	-0.079113	0.9377
j[T.J2]	3.215312	1.528661	21	2.103353	0.0477
j[T.J3]	1.005521	1.528661	21	0.657779	0.5178

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	-0.1209	1.5287	-0.079	1.000
J2 - J0 == 0	3.2153	1.5287	2.103	0.152
J3 - J0 == 0	1.0055	1.5287	0.658	0.913
J2 - J1 == 0	3.3362	1.5287	2.182	0.128
J3 - J1 == 0	1.1265	1.5287	0.737	0.882
J3 - J2 == 0	-2.2098	1.5287	-1.446	0.471

Temps d'appui droit :

Fixed effects: TD ~ j					
	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	29.919375	1.624591	21	18.416560	0.0000
j[T.J1]	0.429375	1.884360	21	0.227863	0.8220
j[T.J2]	-2.528125	1.884360	21	-1.341636	0.1940
j[T.J3]	-1.158125	1.884360	21	-0.614599	0.5454

PAS, postérieurs :

Symétrie :

Fixed effects: sym ~ j					
	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	94.24125	2.141648	21	44.00407	0.0000
j[T.J1]	-0.97281	2.332959	21	-0.41699	0.6809
j[T.J2]	-2.10000	2.332959	21	-0.90014	0.3783
j[T.J3]	1.87125	2.332959	21	0.80209	0.4315

Régularité :

```
Fixed effects: reg ~ j
              Value Std. Error DF    t-value p-value
(Intercept) 145.20188 11.040578 21 13.151655 0.0000
j[T. J1]    14.86594  9.435875 21  1.575470 0.1301
j[T. J2]     8.80687  9.435875 21  0.933340 0.3613
j[T. J3]    24.65729  9.435875 21  2.613143 0.0162
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  14.866    9.436   1.575  0.3927
J2 - J0 == 0   8.807    9.436   0.933  0.7869
J3 - J0 == 0  24.657    9.436   2.613  0.0446 *
J2 - J1 == 0  -6.059    9.436  -0.642  0.9183
J3 - J1 == 0   9.791    9.436   1.038  0.7273
J3 - J2 == 0  15.850    9.436   1.680  0.3343
```

Rebond :

```
Fixed effects: deplav ~ j
              Value Std. Error DF    t-value p-value
(Intercept)  0.09531250 0.004458093 21 21.379655 0.0000
j[T. J1]    -0.01000000 0.005163798 21 -1.936559 0.0664
j[T. J2]     0.03531250 0.005163798 21  6.838475 0.0000
j[T. J3]     0.03947917 0.005163798 21  7.645374 0.0000
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0 -0.010000  0.005164 -1.937  0.213
J2 - J0 == 0  0.035312  0.005164  6.838 <0.001 ***
J3 - J0 == 0  0.039479  0.005164  7.645 <0.001 ***
J2 - J1 == 0  0.045312  0.005164  8.775 <0.001 ***
J3 - J1 == 0  0.049479  0.005164  9.582 <0.001 ***
J3 - J2 == 0  0.004167  0.005164  0.807  0.851
```

Amplitude du déplacement latéral :

```
Fixed effects: deplalat ~ j
              Value Std. Error DF    t-value p-value
(Intercept)  0.086250 0.01254790 21  6.873661 0.0000
j[T. J1]    -0.021875 0.01774541 21 -1.232713 0.2313
j[T. J2]     0.017500 0.01774541 21  0.986171 0.3353
j[T. J3]     0.014375 0.01774541 21  0.810069 0.4270
```

Activité dorso-ventrale :

```
Fixed effects: epsdv ~ j
              Value Std. Error DF    t-value p-value
(Intercept)  2.425000 0.3954892 21  6.131647 0.0000
j[T. J1]     0.283125 0.4333169 21  0.653390 0.5206
j[T. J2]     3.703750 0.4333169 21  8.547439 0.0000
j[T. J3]     3.925625 0.4333169 21  9.059477 0.0000
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  0.2831    0.4333  0.653  0.914
J2 - J0 == 0  3.7037    0.4333  8.547 <1e-06 ***
J3 - J0 == 0  3.9256    0.4333  9.059 <1e-06 ***
J2 - J1 == 0  3.4206    0.4333  7.894 <1e-06 ***
J3 - J1 == 0  3.6425    0.4333  8.406 <1e-06 ***
J3 - J2 == 0  0.2219    0.4333  0.512  0.956
```

Activité latérale :

```
Fixed effects: epsdh ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  0.865000 0.10117605 21  8.549454 0.0000
j[T. J1]     0.036250 0.09253081 21  0.391761 0.6992
j[T. J2]     1.338750 0.09253081 21 14.468154 0.0000
j[T. J3]     1.415625 0.09253081 21 15.298958 0.0000
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  0.03625   0.09253   0.392   0.98
J2 - J0 == 0  1.33875   0.09253  14.468 <1e-05 ***
J3 - J0 == 0  1.41563   0.09253  15.299 <1e-05 ***
J2 - J1 == 0  1.30250   0.09253  14.076 <1e-05 ***
J3 - J1 == 0  1.37938   0.09253  14.907 <1e-05 ***
J3 - J2 == 0  0.07688   0.09253   0.831   0.84
```

Vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical :

```
Fixed effects: VAG ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  3.926563 0.3039228 21 12.919603 0.0000
j[T. J1]     -0.400625 0.3968742 21 -1.009451 0.3242
j[T. J2]     1.812812 0.3968742 21  4.567726 0.0002
j[T. J3]     2.037396 0.3968742 21  5.133606 0.0000
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0 -0.4006   0.3969  -1.009   0.744
J2 - J0 == 0  1.8128   0.3969   4.568 <1e-04 ***
J3 - J0 == 0  2.0374   0.3969   5.134 <1e-04 ***
J2 - J1 == 0  2.2134   0.3969   5.577 <1e-04 ***
J3 - J1 == 0  2.4380   0.3969   6.143 <1e-04 ***
J3 - J2 == 0  0.2246   0.3969   0.566   0.942
```

Vecteur d'appui droit sur l'axe vertical :

```
Fixed effects: VAD ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  3.836250 0.3345874 21 11.465614 0.0000
j[T. J1]     0.236562 0.4272627 21  0.553670 0.5857
j[T. J2]     1.752500 0.4272627 21  4.101692 0.0005
j[T. J3]     2.312292 0.4272627 21  5.411873 0.0000
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  0.2366   0.4273   0.554  0.94558
J2 - J0 == 0  1.7525   0.4273   4.102 < 0.001 ***
J3 - J0 == 0  2.3123   0.4273   5.412 < 0.001 ***
J2 - J1 == 0  1.5159   0.4273   3.548  0.00224 **
J3 - J1 == 0  2.0757   0.4273   4.858 < 0.001 ***
J3 - J2 == 0  0.5598   0.4273   1.310  0.55635
```

Vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal :

```
Fixed effects: VLATG ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  2.9140625 0.3578724 21  8.142743 0.0000
j[T. J1]     -0.6875000 0.4748837 21 -1.447723 0.1625
j[T. J2]     0.4128125 0.4748837 21  0.869292 0.3945
j[T. J3]     0.5219792 0.4748837 21  1.099173 0.2841
```

Vecteur d'appui droit sur l'axe horizontal:

Fixed effects: VLATD ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	2.2337500	0.4894409	21	4.563881	0.0002
j[T. J1]	0.2490625	0.6853403	21	0.363414	0.7199
j[T. J2]	2.1081250	0.6853403	21	3.076027	0.0057
j[T. J3]	1.8808333	0.6853403	21	2.744379	0.0122

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	0.2491	0.6853	0.363	0.9836
J2 - J0 == 0	2.1081	0.6853	3.076	0.0110 *
J3 - J0 == 0	1.8808	0.6853	2.744	0.0307 *
J2 - J1 == 0	1.8591	0.6853	2.713	0.0337 *
J3 - J1 == 0	1.6318	0.6853	2.381	0.0808 .
J3 - J2 == 0	-0.2273	0.6853	-0.332	0.9874

Temps d'appui gauche :

Fixed effects: TG ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	21.165625	1.636829	21	12.930870	0.0000
j[T. J1]	-3.710937	2.305766	21	-1.609416	0.1225
j[T. J2]	-1.124375	2.305766	21	-0.487636	0.6309
j[T. J3]	-1.566875	2.305766	21	-0.679546	0.5042

Temps d'appui droit :

Fixed effects: TD ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	19.035938	1.570560	21	12.120477	0.0000
j[T. J1]	1.152187	2.221107	21	0.518745	0.6094
j[T. J2]	1.227187	2.221107	21	0.552512	0.5864
j[T. J3]	0.902396	2.221107	21	0.406282	0.6886

TROT, global :

Cadence :

Fixed effects: ff ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	1.4209375	0.02797717	21	50.78919	0.0000
j[T. J1]	-0.0260417	0.02373385	21	-1.09724	0.2850
j[T. J2]	-0.0848958	0.02373385	21	-3.57699	0.0018
j[T. J3]	-0.0694792	0.02373385	21	-2.92743	0.0080

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	-0.02604	0.02373	-1.097	0.69124
J2 - J0 == 0	-0.08490	0.02373	-3.577	0.00195 **
J3 - J0 == 0	-0.06948	0.02373	-2.927	0.01791 *
J2 - J1 == 0	-0.05885	0.02373	-2.480	0.06303 .
J3 - J1 == 0	-0.04344	0.02373	-1.830	0.25905
J3 - J2 == 0	0.01542	0.02373	0.650	0.91574

Tangage :

```
Fixed effects: tang ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  7.084062 0.4199084 21 16.870493 0.0000
j[T. J1]     -0.627604 0.5158458 21 -1.216651 0.2372
j[T. J2]      2.697604 0.5158458 21  5.229478 0.0000
j[T. J3]      2.891354 0.5158458 21  5.605075 0.0000
```

Linear Hypotheses:

```
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  -0.6276      0.5158  -1.217  0.616
J2 - J0 == 0   2.6976      0.5158   5.229 <1e-05 ***
J3 - J0 == 0   2.8914      0.5158   5.605 <1e-05 ***
J2 - J1 == 0   3.3252      0.5158   6.446 <1e-05 ***
J3 - J1 == 0   3.5190      0.5158   6.822 <1e-05 ***
J3 - J2 == 0   0.1937      0.5158   0.376  0.982
```

Lacer :

```
Fixed effects: lacet ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  6.052500 0.2339884 21 25.866672 0.0000
j[T. J1]     -0.108646 0.2626592 21 -0.413638 0.6833
j[T. J2]      2.598542 0.2626592 21  9.893206 0.0000
j[T. J3]      2.389167 0.2626592 21  9.096070 0.0000
```

Linear Hypotheses:

```
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  -0.1086      0.2627  -0.414  0.976
J2 - J0 == 0   2.5985      0.2627   9.893 <1e-05 ***
J3 - J0 == 0   2.3892      0.2627   9.096 <1e-05 ***
J2 - J1 == 0   2.7072      0.2627  10.307 <1e-05 ***
J3 - J1 == 0   2.4978      0.2627   9.510 <1e-05 ***
J3 - J2 == 0  -0.2094      0.2627  -0.797  0.856
```

TROT, antérieurs :

Symétrie :

```
Fixed effects: sym ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  95.34406 0.8501836 21 112.14527 0.0000
j[T. J1]      0.94750 1.1357199 21  0.83427 0.4135
j[T. J2]      1.77635 1.1357199 21  1.56408 0.1327
j[T. J3]      1.49031 1.1357199 21  1.31222 0.2036
```

Régularité :

```
Fixed effects: reg ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  174.03250 2.848320 21 61.10004 0.0000
j[T. J1]      3.42625 2.744395 21  1.24845 0.2256
j[T. J2]      5.14875 2.744395 21  1.87610 0.0746
j[T. J3]      1.21667 2.744395 21  0.44333 0.6621
```

Rebond :

```
Fixed effects: deplav ~ j
              Value Std. Error DF   t-value p-value
(Intercept)  0.10750000 0.005041641 21 21.322424 0.0000
j[T. J1]     -0.00718750 0.004610002 21 -1.559110 0.1339
j[T. J2]      0.00145833 0.004610002 21  0.316341 0.7549
j[T. J3]      0.00395833 0.004610002 21  0.858640 0.4002
```

Amplitude du déplacement latéral :

Fixed effects: deplalat ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.06406250	0.006458151	21	9.919634	0.0000
j[T.J1]	-0.00812500	0.008159842	21	-0.995730	0.3307
j[T.J2]	0.00010417	0.008159842	21	0.012766	0.9899
j[T.J3]	0.00281250	0.008159842	21	0.344676	0.7338

Activité dorso-ventrale :

Fixed effects: epsdv ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	23.610312	1.432316	21	16.484015	0.0000
j[T.J1]	-2.011146	1.226963	21	-1.639125	0.1161
j[T.J2]	-2.974271	1.226963	21	-2.424092	0.0245
j[T.J3]	-0.677813	1.226963	21	-0.552431	0.5865

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	-2.0111	1.2270	-1.639	0.3565
J2 - J0 == 0	-2.9743	1.2270	-2.424	0.0728
J3 - J0 == 0	-0.6778	1.2270	-0.552	0.9459
J2 - J1 == 0	-0.9631	1.2270	-0.785	0.8613
J3 - J1 == 0	1.3333	1.2270	1.087	0.6977
J3 - J2 == 0	2.2965	1.2270	1.872	0.2405

Activité latérale :

Fixed effects: epsdh ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.4468750	0.09829298	21	4.546357	0.0002
j[T.J1]	-0.0738542	0.13900727	21	-0.531297	0.6008
j[T.J2]	0.0485417	0.13900727	21	0.349202	0.7304
j[T.J3]	0.4045833	0.13900727	21	2.910519	0.0084

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	-0.07385	0.13901	-0.531	0.95149
J2 - J0 == 0	0.04854	0.13901	0.349	0.98539
J3 - J0 == 0	0.40458	0.13901	2.911	0.01916 *
J2 - J1 == 0	0.12240	0.13901	0.880	0.81499
J3 - J1 == 0	0.47844	0.13901	3.442	0.00336 **
J3 - J2 == 0	0.35604	0.13901	2.561	0.05091 .

Vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical :

Fixed effects: VAG ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	7.987500	0.4443621	21	17.975204	0.0000
j[T.J1]	-0.185521	0.4381555	21	-0.423413	0.6763
j[T.J2]	0.615833	0.4381555	21	1.405513	0.1745
j[T.J3]	0.866250	0.4381555	21	1.977038	0.0613

Vecteur d'appui droit sur l'axe vertical :

Fixed effects: VAD ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	7.140937	0.4420781	21	16.153112	0.0000
j[T.J1]	-0.007812	0.4280239	21	-0.018252	0.9856
j[T.J2]	-0.430312	0.4280239	21	-1.005347	0.3262
j[T.J3]	-0.203021	0.4280239	21	-0.474321	0.6402

Vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal :

Fixed effects: VLATG ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	4.078125	0.2900718	21	14.059022	0.0000
j[T.J1]	0.173125	0.2072879	21	0.835191	0.4130
j[T.J2]	0.712083	0.2072879	21	3.435238	0.0025
j[T.J3]	0.783333	0.2072879	21	3.778962	0.0011

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	0.17312	0.20729	0.835	0.8377
J2 - J0 == 0	0.71208	0.20729	3.435	0.0034 **
J3 - J0 == 0	0.78333	0.20729	3.779	<0.001 ***
J2 - J1 == 0	0.53896	0.20729	2.600	0.0463 *
J3 - J1 == 0	0.61021	0.20729	2.944	0.0169 *
J3 - J2 == 0	0.07125	0.20729	0.344	0.9860

Vecteur d'appui droit sur l'axe horizontal:

Fixed effects: VLATD ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.714375	0.4065381	21	9.136597	0.0000
j[T.J1]	0.360208	0.3601003	21	1.000300	0.3286
j[T.J2]	0.064792	0.3601003	21	0.179927	0.8589
j[T.J3]	0.018958	0.3601003	21	0.052647	0.9585

Temps d'appui gauche :

Fixed effects: TG ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	27.216875	1.261717	21	21.571292	0.0000
j[T.J1]	0.291771	1.415804	21	0.206081	0.8387
j[T.J2]	2.330417	1.415804	21	1.646002	0.1146
j[T.J3]	1.125833	1.415804	21	0.795190	0.4354

Temps d'appui droit :

Fixed effects: TD ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	23.642500	1.040424	21	22.723915	0.0000
j[T.J1]	0.428333	1.089522	21	0.393139	0.6982
j[T.J2]	-0.878958	1.089522	21	-0.806737	0.4289
j[T.J3]	-0.824167	1.089522	21	-0.756448	0.4578

TROT, postérieurs :

Symétrie :

Fixed effects: sym ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	94.61031	1.353413	21	69.90499	0.0000
j[T. J1]	1.85250	1.911837	21	0.96896	0.3436
j[T. J2]	1.62969	1.911837	21	0.85242	0.4036
j[T. J3]	0.84906	1.911837	21	0.44411	0.6615

Régularité :

Fixed effects: reg ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	160.45906	3.871744	21	41.44361	0.0000
j[T. J1]	10.36177	4.251272	21	2.43733	0.0238
j[T. J2]	14.84135	4.251272	21	3.49104	0.0022
j[T. J3]	10.92885	4.251272	21	2.57073	0.0178

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	10.3618	4.2513	2.437	0.07041 .
J2 - J0 == 0	14.8414	4.2513	3.491	0.00281 **
J3 - J0 == 0	10.9289	4.2513	2.571	0.04967 *
J2 - J1 == 0	4.4796	4.2513	1.054	0.71769
J3 - J1 == 0	0.5671	4.2513	0.133	0.99915
J3 - J2 == 0	-3.9125	4.2513	-0.920	0.79399

Rebond :

Fixed effects: deplav ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.20062500	0.01818476	21	11.032592	0.0000
j[T. J1]	-0.00635417	0.02571713	21	-0.247079	0.8072
j[T. J2]	0.02187500	0.02571713	21	0.850600	0.4046
j[T. J3]	0.02125000	0.02571713	21	0.826298	0.4179

Amplitude du déplacement latéral :

Fixed effects: deplalat ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.5278125	0.06635001	21	7.954972	0.0000
j[T. J1]	-0.0039583	0.09383309	21	-0.042185	0.9667
j[T. J2]	-0.0165625	0.09383309	21	-0.176510	0.8616
j[T. J3]	-0.0353125	0.09383309	21	-0.376333	0.7104

Activité dorso-ventrale :

Fixed effects: epsdv ~ j

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	13.644375	1.099130	21	12.413794	0.0000
j[T. J1]	0.247604	1.270194	21	0.194934	0.8473
j[T. J2]	16.906458	1.270194	21	13.310137	0.0000
j[T. J3]	19.530833	1.270194	21	15.376258	0.0000

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	0.2476	1.2702	0.195	0.997
J2 - J0 == 0	16.9065	1.2702	13.310	<0.001 ***
J3 - J0 == 0	19.5308	1.2702	15.376	<0.001 ***
J2 - J1 == 0	16.6589	1.2702	13.115	<0.001 ***
J3 - J1 == 0	19.2832	1.2702	15.181	<0.001 ***
J3 - J2 == 0	2.6244	1.2702	2.066	0.164

Activité latérale :

```
Fixed effects: epsdh ~ j
              Value Std. Error DF    t-value p-value
(Intercept)  3.805000 0.5415399 21    7.026260  0.000
j[T. J1]     -0.597604 0.5458147 21   -1.094885  0.286
j[T. J2]      3.459583 0.5458147 21    6.338384  0.000
j[T. J3]      4.049583 0.5458147 21    7.419337  0.000
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  -0.5976    0.5458  -1.095  0.693
J2 - J0 == 0   3.4596    0.5458   6.338 <1e-04 ***
J3 - J0 == 0   4.0496    0.5458   7.419 <1e-04 ***
J2 - J1 == 0   4.0572    0.5458   7.433 <1e-04 ***
J3 - J1 == 0   4.6472    0.5458   8.514 <1e-04 ***
J3 - J2 == 0   0.5900    0.5458   1.081  0.701
```

Vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical :

```
Fixed effects: VAG ~ j
              Value Std. Error DF    t-value p-value
(Intercept)  5.757812 0.3868049 21   14.885571  0.0000
j[T. J1]      0.075417 0.4658313 21    0.161897  0.8729
j[T. J2]      1.950104 0.4658313 21    4.186288  0.0004
j[T. J3]      2.292604 0.4658313 21    4.921533  0.0001
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  0.07542    0.46583  0.162  0.998491
J2 - J0 == 0  1.95010    0.46583  4.186  0.000148 ***
J3 - J0 == 0  2.29260    0.46583  4.922 < 1e-04 ***
J2 - J1 == 0  1.87469    0.46583  4.024  0.000323 ***
J3 - J1 == 0  2.21719    0.46583  4.760 < 1e-04 ***
J3 - J2 == 0  0.34250    0.46583  0.735  0.882923
```

Vecteur d'appui droit sur l'axe vertical :

```
Fixed effects: VAD ~ j
              Value Std. Error DF    t-value p-value
(Intercept)  5.087500 0.4758593 21   10.691186  0.0000
j[T. J1]      0.647396 0.6136556 21    1.054982  0.3034
j[T. J2]      5.389167 0.6136556 21    8.782070  0.0000
j[T. J3]      5.034792 0.6136556 21    8.204588  0.0000
```

```
Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
J1 - J0 == 0  0.6474    0.6137   1.055  0.717
J2 - J0 == 0  5.3892    0.6137   8.782 <1e-05 ***
J3 - J0 == 0  5.0348    0.6137   8.205 <1e-05 ***
J2 - J1 == 0  4.7418    0.6137   7.727 <1e-05 ***
J3 - J1 == 0  4.3874    0.6137   7.150 <1e-05 ***
J3 - J2 == 0 -0.3544    0.6137  -0.577  0.939
```

Vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal :

Fixed effects: VLATG ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3.364688	0.2692604	21	12.496035	0.0000
j[T.J1]	-0.548646	0.3251205	21	-1.687515	0.1063
j[T.J2]	-0.198646	0.3251205	21	-0.610991	0.5478
j[T.J3]	0.240729	0.3251205	21	0.740431	0.4672

Vecteur d'appui droit sur l'axe horizontal:

Fixed effects: VLATD ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	2.6078125	0.2999831	21	8.693198	0.000
j[T.J1]	0.0184375	0.4036720	21	0.045674	0.964
j[T.J2]	2.8494792	0.4036720	21	7.058897	0.000
j[T.J3]	2.6255208	0.4036720	21	6.504094	0.000

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	0.01844	0.40367	0.046	1.000
J2 - J0 == 0	2.84948	0.40367	7.059	<1e-06 ***
J3 - J0 == 0	2.62552	0.40367	6.504	<1e-06 ***
J2 - J1 == 0	2.83104	0.40367	7.013	<1e-06 ***
J3 - J1 == 0	2.60708	0.40367	6.458	<1e-06 ***
J3 - J2 == 0	-0.22396	0.40367	-0.555	0.945

Temps d'appui gauche :

Fixed effects: TG ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	27.964375	1.189888	21	23.501695	0.0000
j[T.J1]	-2.999062	1.604743	21	-1.868874	0.0757
j[T.J2]	-5.926875	1.604743	21	-3.693349	0.0013
j[T.J3]	-5.472708	1.604743	21	-3.410333	0.0026

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	-2.9991	1.6047	-1.869	0.24141
J2 - J0 == 0	-5.9269	1.6047	-3.693	0.00120 **
J3 - J0 == 0	-5.4727	1.6047	-3.410	0.00349 **
J2 - J1 == 0	-2.9278	1.6047	-1.824	0.26167
J3 - J1 == 0	-2.4736	1.6047	-1.541	0.41258
J3 - J2 == 0	0.4542	1.6047	0.283	0.99210

Temps d'appui droit :

Fixed effects: TD ~ j

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	23.501875	0.9907815	21	23.720542	0.0000
j[T.J1]	1.290000	1.3665201	21	0.944004	0.3559
j[T.J2]	4.822917	1.3665201	21	3.529342	0.0020
j[T.J3]	3.476042	1.3665201	21	2.543718	0.0189

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
J1 - J0 == 0	1.290	1.367	0.944	0.7811
J2 - J0 == 0	4.823	1.367	3.529	0.0024 **
J3 - J0 == 0	3.476	1.367	2.544	0.0535 .
J2 - J1 == 0	3.533	1.367	2.585	0.0482 *
J3 - J1 == 0	2.186	1.367	1.600	0.3787
J3 - J2 == 0	-1.347	1.367	-0.986	0.7577

Liste des figures

Figure 1 : parties des dents, face vestibulaire d'une molaire, d'après [19]	16
Figure 2 : termes d'orientation, vue dorsale d'une mandibule, d'après [36]	16
Figure 3 : système de Triadan, d'après [25]; a : numérotation des arcades (bouche ouverte vue de face), b : numérotation des dents sur une arcade (mandibule vue dorsale)	17
Figure 4 : conformation extérieure des incisives permanentes, d'après [36]	19
Figure 5 : conformation extérieure des incisives lactéales, d'après [36]	20
Figure 6 : extrémité occlusale d'une incisive montrant l'étoile dentaire et l'infundibulum, d'après [25]	21
Figure 7 : conformation intérieure des incisives, coupe longitudinale d'une incisive permanente, d'après [19]	21
Figure 8 : conformation externe des canines, canine inférieure gauche, d'après [36]	22
Figure 9 : conformation externe des molaires et prémolaires supérieures, dent 208 d'un cheval adulte, d'après [36]	23
Figure 10 : schéma de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires supérieures, d'après [36]	24
Figure 11 : photo de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires supérieures, d'après [25]	24
Figure 12 : conformation externe des molaires et prémolaires inférieures, dent 308 d'un cheval adulte, d'après [36]	25
Figure 13 : photo de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires inférieures, d'après [25]	25
Figure 14 : schéma de l'extrémité occlusale des molaires et prémolaires inférieures, dent 308, d'après [36]	26
Figure 15 : photo d'une dent de loup à gauche, d'après [25]	26
Figure 16 : photo d'une coiffe, d'après [25]	27
Figure 17 : conformation intérieure des molaires, coupe longitudinale d'une molaire permanente, d'après [36]	28
Figure 18 : dessin de la tête montrant les os qui portent les dents, d'après [3]	29
Figure 19 : photo des incisives montrant l'évolution de la courbure, d'après [25]	30
Figure 20 : photo des incisives montrant l'évolution de l'angle, d'après [25]	30
Figure 21 : ligne d'occlusion des incisives, mettant en évidence l'angle d'occlusion, d'après [25]	31
Figure 22 : comparaison de l'alignement des molaires supérieures (à gauche) et inférieures (à droite), d'après [25]	31
Figure 23 : inclinaison des molaires vue sur une radiographie et schéma explicatif, d'après [25]	31
Figure 24 : schéma de la bouche en vue frontale et photo d'un crâne, montrant l'anisognathie, schéma d'après [19] et photo d'après [25]	32
Figure 25 : photo de bouche montrant l'angle d'occlusion (lignes blanches) des molaires, d'après [25]	32
Figure 26 : photo d'un crâne montrant la courbe de Spee (ligne blanche), d'après [25]	33
Figure 27 : dessin montrant l'emplacement des racines dentaires par rapport aux sinus de la tête, d'après [2]	33
Figure 28 : radiographie de tête montrant l'orientation des molaires non émergées (1 : première molaire supérieure, 2 : première molaire inférieure), d'après [25]	34

Figure 29 : schéma montrant l'emplacement des dents définitives par rapport aux dents déciduales, d'après [25]	34
Figure 30 : évolution de la conformation interne des molaires avec l'âge (années post- éruption), vert : émail, rouge : pulpe (reconstitution 3D d'images de tomodensitométrie), d'après [39]	37
Figure 31 : évolution de la forme de la table dentaire des incisives, d'après [19]	38
Figure 32 : évolution du dessin de la table dentaire des incisives, d'après [19]	39
Figure 33 : schéma expliquant l'apparition de pointes d'émail, d'après [14]	40
Figure 34 : photo de la bouche d'un cheval montrant des pointes d'émail saillantes sur les molaires supérieures droites, d'après [25]	40
Figure 35 : test d'excursion latérale, de gauche à droite : 100% d'occlusion, 75% d'occlusion et 25% d'occlusion, d'après [1]	41
Figure 36 : photos montrant des défauts d'occlusion des incisives, A : bec de perroquet, B : tête de bouledogue, C : incisives en diagonale, D : incisives en arc, d'après [25]	42
Figure 37 : photos (vue rostro-latérale) et schémas (vue latérale) montrant à gauche une table molaire ondulée et à droite une table molaire en escalier, d'après [25] (photos) et [14] (schémas)	43
Figure 38 : photos et schémas montrant à gauche une procidence de 206 et à droite une procidence de 306, d'après [25] (photos) et [14] (schémas)	44
Figure 39 : dessin de la mandibule, d'après [3]	46
Figure 40 : détail de la mandibule montrant la surface articulaire de l'ATM, d'après [3]	46
Figure 41 : os temporal gauche, vue latérale, d'après [3]	47
Figure 42 : os temporal gauche, vue ventrale, d'après [3]	47
Figure 43 : photo de l'os temporal gauche en vue latérale, montrant la surface articulaire, 1 : fosse mandibulaire, 2 : tubercule articulaire, 3 : processus rétro-articulaire, d'après [25]	48
Figure 44 : photo du disque articulaire droit en vue dorsale après injection vasculaire, d'après [33], 1 : face dorsale, 2 : bord rostral, 3 : bord caudal, 4 : bord latéral, 5 : bord médial : 6 : extension fibreuse caudale, 7 : tissu adipeux intra-articulaire	48
Figure 45 : photo de l'ATM gauche en vue dorso-caudale, vaisseaux et capsule articulaire retirés, d'après [33] 1 : processus zygomatique de l'os temporal, 2 : tubercule articulaire, 3 : fosse mandibulaire, 4 : processus rétro-articulaire, 5 : condyle mandibulaire, 6 : col de la mandibule, 7 : partie caudale de la branche mandibulaire, 8 : disque articulaire, 9 : extensions fibreuses caudales du disque, 10 : ligament latéral, 11 : ligament caudal, 12 : nerf facial, 13 : glande parotide, 14 : poche gutturale, 15 : méat acoustique externe, 16 : muscle masséter, 17 : tissu adipeux extra-orbitaire	49
Figure 46 : ATM en coupe transversale, vue rostrale, d'après [3]	50
Figure 47 : photo de l'ATM gauche en vue ventro-médiale, montrant les reliefs osseux, le disque et les synoviales, d'après [33] ; 1 : condyle occipital, 2 : processus paracondyalaire, 3 : base de l'os occipital, 4 : foramen lacerum, 5 : partie pétreuse et tympanique de l'os temporal, 6 : disque articulaire, 7 : synoviale dorsale, 8 : partie caudale de la synoviale dorsale, 9 : condyle mandibulaire, 10 : branche de la mandibule	51
Figure 48 : muscles masticateurs, vue latérale gauche de la tête, d'après [4]	52
Figure 49 : muscles masticateurs, vue médiale gauche de la tête, d'après [4]	52
Figure 50 : schéma des mouvements de la mandibule lors d'un cycle masticatoire sur le côté gauche, d'après [8], A : vue rostrale, B : vue dorsale, C : vue latérale	57
Figure 51 : os coxal gauche, vue latérale, d'après [37]	59
Figure 52 : os coxal gauche, vue médiale, d'après [37]	59
Figure 53 : sacrum en vue latérale gauche, d'après [36]	60
Figure 54 : sacrum en vue dorsale, d'après [36]	61
Figure 55 : bassin osseux dans son ensemble, vue latérale gauche, d'après [37]	61

Figure 56 : bassin osseux dans son ensemble, vue dorsale, d'après [37]	62
Figure 57 : bassin osseux dans son ensemble, vue ventrale, d'après [37]	62
Figure 58 : articulations sacro-iliaque et coxo-fémorale, vue ventrale, d'après [38]	63
Figure 59 : articulation sacro-iliaque, vue latérale gauche, d'après [38]	64
Figure 60 : muscles de l'encolure et du tronc, plan superficiel, vue latérale gauche, d'après [18]	66
Figure 61 : muscles de l'encolure et du tronc, plan moyen, vue latérale gauche, d'après [18]	66
Figure 62 : muscles de l'encolure et du tronc, plan profond, vue latérale gauche, d'après [18]	67
Figure 63 : muscles de l'encolure et du tronc, muscles juxta-vertébraux, vue latérale gauche, d'après [18]	67
Figure 64 : muscles de l'encolure et du tronc, vue dorsale, d'après [18]	68
Figure 65 : mouvement de contre-nutation du bassin, vue latérale gauche, d'après [16], [17], [18]	69
Figure 66 : à gauche : schéma d'un bassin en vue dorsale montrant la compression transversale, à droite : schéma d'un bassin en vue latérale gauche montrant la compression axiale, d'après [17]	69
Figure 67 : bouche de chevaux avec des proéminences des dents 306-406 (photos : Patrick Lecollinet)	71
Figure 68 : photo d'un cheval équipé d'EquimetrixND en vue dorso-latérale gauche (photo : Alain Laurieux)	72
Figure 69 : photo d'un cheval équipé d'EquimetrixND vu de face (photo : Alain Laurieux)	72
Figure 70 : orientation des capteurs, d'après [10]	73
Figure 71 : exemple de courbes d'accélération d'un cheval au trot (A : accélération dorso-ventrale, B : accélération longitudinale) d'après [6]	73
Figure 72 : réalisation de la dentisterie, à gauche: râpage dentaire (photo : Patrick Lecollinet), à droite : râpes électroportatives à têtes diamantées et moteur portable (photos : www.horse-dental-equipment.com)	75
Figure 73 : à gauche : bouche d'un cheval avant la dentisterie, à droite : bouche d'un cheval après la dentisterie (photos : Patrick Lecollinet)	76
Figure 74 : chronologie du protocole de l'étude	76
Figure 75 : schéma montrant le contact du mors sur la commissure des lèvres et les premières prémolaires, sur des dents non faites (à gauche) et sur des dents avec un « bit seat » (à droite), d'après [1]	87
Figure 76 : schéma d'une extension de la tête, montrant le glissement des arcades dentaires supérieures et inférieures l'une sur l'autre, à gauche : cheval sans malocclusion, à droite cheval avec une malocclusion (procidence de 306), entraînant une pression sur l'ATM, d'après [1]	90
Figure 77 : A - flexion cervicale haute (nuchale), B - flexion cervicale basse (cervico-thoracique), vues latérales gauches, d'après [18]	91
Figure 78 : A - extension cervico-céphalique, B - extension cervico-thoracique, vues latérales gauches, d'après [18]	92
Figure 79 : abaissement de l'encolure et flexion cervico-thoracique, vue latérale gauche, d'après [18]	92
Figure 80 : relèvement de l'encolure et extension cervico-thoracique, vue latérale gauche, d'après [18]	92
Figure 81 : flexion thoraco-lombaire et lombo-sacrée (contraction des muscles droit et oblique interne de l'abdomen), vue latérale gauche, d'après [18]	93
Figure 82 : flexion lombo-sacrée (contraction des deux muscles psoas), vue latérale gauche, d'après [18]	93

Figure 83 : extension thoraco-lombaire et lombo-sacrée (contraction des muscles longissimus et épineux), vue latérale gauche, d'après [18]	94
Figure 84 : extension lombo-sacrée (contraction du muscle fessier moyen), vue latérale gauche, d'après [18]	94
Figure 85 : latéro-flexion vertébrale gauche, vue dorsale, d'après [18]	94
Figure 86 : chaînes musculaires, vue latérale gauche, d'après [18], [30]	95
Figure 87 : schéma des chaînes musculaires en relation avec l'ATM, cheval en vue latérale gauche, d'après C.Douart	101
Figure 88 : os de la tête, vue latérale gauche, d'après [22]	102
Figure 89 : disposition des méninges rachidiennes, vue ventrale du canal vertébral, d'après [22]	103
Figure 90 : terminaison de la moelle épinière, coupe longitudinale du canal vertébral, d'après C.Douart	103
Figure 91 : dure-mère encéphalique, vue caudo-dorsale du crâne après résection du scalp, d'après [22]	104
Figure 92 : symphyse sphéno-basilaire en extension, vue latérale gauche, d'après [22]	105
Figure 93 : symphyse sphéno-basilaire en flexion, vue latérale gauche, d'après [22]	105
Figure 94 : lien entre le crâne et le sacrum, d'après [22]	106
Figure 95 : flexion de la SSB et conséquences, d'après [22]	106
Figure 96 : extension de la SSB et conséquences, d'après [22]	107
Figure 97 : relation mandibule - os temporaux - sutures, vue rostro-dorsale de la mandibule, d'après [22]	108
Figure 98 : flexion de la SSB et rotation externe de la mandibule (à gauche) ; extension de la SSB et rotation interne de la mandibule (à droite), d'après [22]	108
Figure 99 : effet d'une malocclusion sur la SSB et le MRP, au moment de la flexion (inspir), 1 : malocclusion, 2 : défaut de flexion de la SSB, 3 : répercussion au MRP, 4 : répercussion aux membres antérieurs avec défaut de rotation externe, 5 : répercussion au bassin avec défaut de rotation du sacrum, d'après [22]	109
Figure 100 : sur la scoliose	110
Figure 101 : structure en tenségrité : simplex à trois barres (formé de trois barres, neuf câbles et six nœuds), d'après Mégret (2003) cité par [7]	111

Liste des tableaux

Tableau 1 : dates d'éruption des dents déciduales et permanentes, d'après [19]	35
Tableau 2 : paramètres de la foulée utilisés dans l'étude	74
Tableau 3 : chevaux utilisés dans l'étude	78
Tableau 4 : muscles mobilisateurs de la région cervicale (M = muscle), d'après [18]	91
Tableau 5 : muscles mobilisateurs de la région thoraco-lombaire, d'après [18]	93

Liste des abréviations

M. : muscle
ATM : articulation temporo-mandibulaire
FTM : force de traction médullaire
SSB : symphyse sphéno-basilaire
sym : symétrie
reg : régularité
déplaV : rebond
déplalat : déplacement latéral
epsdv : activité dorso-ventrale
epsdh : activité latérale
VAG : vecteur d'appui gauche sur l'axe vertical
VAD : vecteur d'appui droit sur l'axe vertical
VLATG : vecteur d'appui gauche sur l'axe horizontal
VLATD : vecteur d'appui droit sur l'axe horizontal
TG : temps d'appui gauche
TD : temps d'appui droit
tang : tangage
lacer : lacer

Bibliographie

- [1] ALLEN T., KING C., SPERRY-ALLEN D. : Manual of equine dentistry, Muleicorn Press, 2008, 241p
- [2] BAKER GJ., EASLEY J. : Equine Dentistry, Michigan : Saunders, 1999, 278p
- [3] BARONE R. : Anatomie comparée des Mammifères domestiques, Tome I : ostéologie, 3è édition - Paris : Editions Vigot, 1986, 761p
- [4] BARONE R. : Anatomie comparée des Mammifères domestiques, Tome II : arthrologie et myologie, 2è édition - Paris : Editions Vigot, 1980, 986p
- [5] BARREY E., AUVINET B. : Analyse de la foulée du trotteur par une ceinture accélérométrique. EquAthlon, 1993, 5 (19), 35-38
- [6] BARREY E., HERMELIN M., VAUDELIN J.L., POIREL D., VALETTE J.P. : Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis. Animal Locomotion, Equine Veterinary Journal Supplement, 1994, 17, 7-12
- [7] BOISSELEAU A. : La force traction médullaire : étude bibliographique. Thèse de Médecine Vétérinaire : Nantes : 2012, 163p
- [8] BONIN S.J., CLAYTON H.M., LANOVAZ J.L., JOHNSON T.J. : Kinematics of the Equine Temporo-mandibular Joint. American Journal of Veterinary Research, 2006, 67 (3), 423-428
- [9] BOYER B. : Les affections dentaires chez le cheval. Thèse de Médecine Vétérinaire : Toulouse : 2007, 204p
- [10] BURGAUD I., BIAU S., AUJOL K. : Impacts d'un traitement ostéopathique sur la locomotion du cheval de sport en liberté. Pratique Vétérinaire Equine, 2013, 45 (178), 45-53
- [11] CARMALT J., RACH D. : Equine Dentistry – Moving into the 21st century. Large Animal Veterinary Rounds, 2003, 3 (5), 6p
- [12] CARMALT J.L., TOWNSEND H.G.G., ALLEN A.L. : Effect of dental floating on the rostrocaudal mobility of the mandible of horses. Journal of the American Veterinary Medical Association, 2003, 223 (5), 666-669
- [13] CARMALT J.L., CARMALT K.P., BARBER S.M. : The effect of occlusal equilibration on sport horse performance. Journal of Veterinary Dentistry, 2006, 23 (4), 226-230
- [14] CHUIT P. : Odontostomatologie Equine "la dentisterie en clientèle", Edition Avril 2011, Chuit CH-1297 Founex, 2011, 78p

- [15] COLOMBE B. : Effet du nivellement dentaire sur la pulpe chez le cheval, Thèse de Médecine Vétérinaire : Lyon : 2005, 124p
- [16] DEGUEURCE C., CHÂTEAU H., DENOIX J.M. : In vitro assessment of movements of the sacro-iliac joint in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 2004, 36 (8), 694-698
- [17] DENOIX J.M. : Aspects fonctionnels des régions lombo-sacrée et sacro-iliaque du cheval. *Pratique Vétérinaire Equine*, 1992, 24 (1), 13-21
- [18] DENOIX J.M., PAILLOUX J.P. : Approche de la kinésithérapie du cheval, 2e édition - Paris : Editions Maloine, 1997, 291p
- [19] DOUART C. : Les dents des Equidés. In : Les dents des Mammifères domestiques, Nantes : Ecole Nationale Vétérinaire, 2008, 30p
- [20] DOUART C. : Anatomie régionale de la Tête, Nantes : Ecole Nationale Vétérinaire, 2008
- [21] EVRARD P. : Introduction aux techniques ostéopathiques structurelles appliquées au cheval, Corrigo SC, 2002, 414p
- [22] EVRARD P. : Introduction à l'ostéopathie crânio-sacrée appliquée au cheval, Corrigo SC, 2002, 156p
- [23] GOFF L.M., JEFFCOTT L.B., JASIEWICZ J., MCGOWAN C.M. : Structural and biomechanical aspects of equine sacroiliac joint function and their relationship to clinical diseases. *The Veterinary Journal*, 2008, 176, 281-293
- [24] HUTHMAN S., GASSE H., JACOB H.G., ROHN K., STASZYK C. : Biomechanical Evaluation of Equine Masticatory Action : Position and Curvature of Equine Cheek Teeth and Age-Related Changes. *The Anatomical Record*, 2008, 291, 565-570
- [25] KLUGH D.O. : Principles of Equine Dentistry, Manson Publishing, 2010, 240p
- [26] LECOLLINET P., Docteur Vétérinaire et Ostéopathe, communications personnelles, 2012-2013
- [27] LINKOUS M.B. : Performance dentistry and Equilibration. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 2005, 4, 124-134
- [28] LOWDER M.Q., MUELLER P.O.E. : Dental embryology, anatomy, development and aging. *Veterinary clinics of North America : Equine Practice*, 1998, 14 (2), 227-245
- [29] PINHEIRO J.C., BATES M.D. : Mixed-Effects Models in S and Splus. New York Inc : Springer –Verlag, 2000
- [30] PRADIER P., SAUTEL M.O. : Biomécanique du cheval, ostéopathie et rééducation équestre, Paris : Editions Vigot, 2012, 127p

- [31] R CORE Team : R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. ISBN 3-900051-07-0, URL : <http://www.R-project.org/>
- [32] RAMZAN P.H.L.: The temporomandibular joint : component of clinical complexity. *Equine Veterinary Journal*, 2006, 38 (2), 102-104
- [33] RODRIGUEZ M.J., AGUT A., GIL F., LATORRE R. : Anatomy of the Equine Temporo-Mandibular Joint : study by gross dissection, vascular injections and sections. *Equine Veterinary Journal*, 2006, 38 (2), 143-147
- [34] SCRUTCHFIELD W.L., SCHUMACHER J. : Examination of the oral cavity and routine dental care. *Veterinary Clinics of North America : Equine Practice*, 1993, 9 (1), 123-131
- [35] SIMHOFER H., NIEDERL M., ANEN C., RIJKENHUIZEN A., PEHAM C. : Kinematic analysis of equine masticatory movements : comparison before and after routine dental treatment. *The Veterinary Journal*, 2011, 190 (1) 49-54
- [36] TAGAND R., BARONE R. : Anatomie des Equidés Domestiques, Tome I : appareil locomoteur, Fascicule 1 : ostéologie de la tête et du tronc, Lyon : Imprimerie des Beaux-Arts, 1950, 302p
- [37] TAGAND R., BARONE R. : Anatomie des Equidés Domestiques, Tome I : appareil locomoteur, Fascicule 2 : ostéologie des ceintures et des membres, Lyon : Imprimerie des Beaux-Arts, 1951, 205p
- [38] TAGAND R., BARONE R. : Anatomie des Equidés Domestiques, Tome I : appareil locomoteur, Fascicule 3 : arthrologie, Lyon : Imprimerie des Beaux-Arts, 1951, 200p
- [39] WINDLEY Z., WELLER R., TREMAINE W.H., PERKINS J.D. : 2 an 3 dimensional computed tomography anatomy of the enamel, infundibulae and pulp of 126 equine cheek teeth. *Equine Veterinary Journal*, 2009, 41 (5), 433-440

SUMMARY

Dentistry is a frequently performed procedure in equine practice. Its aim is to restore the equilibrium of occlusal surfaces, which facilitates food mastication, but also gives comfort to the horse, while working with a bite in the mouth. According to biomechanical and osteopathic concepts of the temporo-mandibular joint, the back and the limbs, it seems consistent that a malocclusion could affect the locomotion of the horse. The first part of this study presents some elements of the anatomy and functioning of the teeth, temporo-mandibular joint and pelvis. The second part explains the experiment we carried out. The hypothesis is that the correction of a malocclusion will lead to a change in the locomotion. Eight sport horses, aged from 4 to 6-year-old, were evaluated at walk and at trot, using the accelerometric device EquimetrixND. Statistical analyses showed that some parameters of the locomotion were significantly changed within ten days after performing dentistry, and were stable one month later. Horses had a better locomotion, with more amplitude and propulsion.

KEY WORDS

Biomechanics, Dentistry, Horse, Locomotion, Osteopathy, Pelvis, Teeth, Temporo-mandibular joint

EFFETS DE LA DENTISTERIE SUR LA LOCOMOTION DU CHEVAL : ETUDE SUR HUIT CHEVAUX

RESUME

La dentisterie est un acte couramment pratiqué en clientèle équine. Elle vise à équilibrer les tables dentaires, pour faciliter la mastication des aliments, mais également pour apporter du confort au cheval lorsqu'il travaille avec un mors dans la bouche. D'après les concepts de biomécanique et d'ostéopathie de l'articulation temporo-mandibulaire, du dos et des membres, il semble cohérent qu'une malocclusion puisse perturber la locomotion de Cheval. Cette thèse revient dans une première partie sur l'anatomie et le fonctionnement des dents, de l'articulation temporo-mandibulaire et du bassin. La deuxième partie détaille l'étude expérimentale que nous avons menée. L'hypothèse est que la correction d'une malocclusion modifie la locomotion du cheval. Huit chevaux de sport âgés de 4 à 6 ans ont été évalués au pas et au trot avec le système accélérométrique EquimétriXND. L'analyse statistique montre que certains paramètres de la locomotion sont significativement modifiés dix jours après la dentisterie et le restent un mois plus tard. Les chevaux présentent une locomotion plus déliée, avec une meilleure amplitude et une meilleure propulsion.

MOTS-CLES

Articulation temporo-mandibulaire, Bassin, Biomécanique, Cheval, Dent, Dentisterie, Locomotion, Ostéopathie

JURY	Président :	Monsieur Julien NIZARD Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes
	Rapporteur :	Monsieur Eric GOYENVALLE Maître de Conférences à Oniris
	Assesseur :	Madame Claire DOUART Maître de Conférences à Oniris
	Membre invité :	Monsieur Patrick LECOLLINET Docteur Vétérinaire

ADRESSE DE L'AUTEUR

18 rue d'Espagne
49460 Montreuil-Juigné

Imprimerie Centrale de la Faculté des Sciences, Nantes