VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2012 - Thèse n°

ETUDE DES MODALITES D'OUVERTURE DES ORIFICES PHARYNGIENS DES POCHES GUTTURALES DU CHEVAL AU REPOS, AU PAS ET AU TROT PAR UTILISATION DE L'ENDOSCOPIE EMBARQUEE

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 4 octobre 2012
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Bouvet Charlotte
Née le 5 mai 1988
à *Echirolles* (38)

VetAgro Sup

UNIVERSITÉ DE LYON

VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2012 - Thèse n°

ETUDE DES MODALITES D'OUVERTURE DES ORIFICES PHARYNGIENS DES POCHES GUTTURALES DU CHEVAL AU REPOS, AU PAS ET AU TROT PAR UTILISATION DE L'ENDOSCOPIE EMBARQUEE

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 4 octobre 2012
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Bouvet Charlotte
Née le 5 mai 1988
à *Echirolles* (38)

VetAgro Sup

UNIVERSITÉ DE LYON

LISTE DU CORPS ENSEIGNANT

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

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

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Claude GHARIB

De l'Université Claude Bernard de Lyon
Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur Jean-Luc CADORE

De VetAgro Sup – Campus Vétérinaire de Lyon
Pour avoir initié ce projet et pour avoir été présent à chaque étape
avec disponibilité et bienveillance.
Pour votre humilité, votre implication et votre gentillesse
En témoignage de notre profond respect et de notre admiration.

A Madame le Professeur Jeanne-Marie BONNET-GARIN

De VetAgro Sup – Campus Vétérinaire de Lyon
Qui nous a fait l'honneur de juger ce travail et de participer à notre jury de thèse.
Sincères remerciements.

A Monique MICAT, Lukas TRAYNARD, Magali LABILLE et Laurie FELIX
Techniciens en santé animale de la Clin'Equine.

A Marie NOLF
Résidente en Médecine Interne des Equidés à VetAgro Sup.

Pour leur aide précieuse dans la réalisation de ce travail.
Un grand merci.

SOMMAIRE

LISTE DES ANNEXES **18**
LISTE DES ABREVIATIONS **19**
INTRODUCTION **21**

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE **25**

I. L'ENDOSCOPIE EMBARQUEE, UNE NOUVELLE METHODE D'EVALUATION DU FONCTIONNEMENT DES VOIES RESPIRATOIRES SUPERIEURES A L'EFFORT **25**

A. L'examen endoscopique au repos **25**
1. Historique 25
2. Equipement 26
   a. Principe 26
   b. Matériel 26
3. Les principales pathologies rencontrées 27
   a. Les affections obstructives 27
   b. Les affections non obstructives 28
4. Limites de l'observation au repos 28
   a. Physiologie 28
   b. Etudes comparatives 29
      a) « Sous-diagnostic » au repos 29
      b) « Sur-diagnostic » au repos 29

B. Développement de l'endoscopie à l'effort **30**
1. Historique 30
   a. L'endoscopie sur tapis roulant 30
   b. L'endoscopie embarquée 31
2. Comparaison des deux méthodes 32
   a. Limites du tapis roulant 32
      a) Modification des « valeurs biologiques » 32
      b) Reproduction des conditions de terrain 33
      c) Considérations pratiques 33
         i. Acclimatation 34
         ii. Coût financier 34
         iii. Sécurité 34
         iv. Qualité de l'image 34
   b. Limites de l'endoscopie sur le terrain 35
      a) Qualité de l'image 35
      b) Complications 35
      c) Vitesse et seuil de fatigue non atteints 35

d) Absence de reproductibilité des conditions 35
3. Utilisation pratique de l'endoscope embarqué 36
a. Matériel et équipement 36
b. Préparation du cheval 39
a) Contention 39
i. Contention physique 39
ii. Contention chimique 40
b) Mise en place de l'endoscope 40
c) « Branchements » et réglages 40
d) Exercice et valeurs enregistrées 41
c. Association avec un système de GPS 42
4. Conclusion sur l'endoscopie embarquée 42

II. QUEL ROLE POUR LES POCHES GUTTURALES ? 43

A. Anatomie et physiologie de la région du pharynx 43
1. Le pharynx 43
a. Conformation externe 43
b. Conformation interne 43
a) Le nasopharynx 44
b) L'oropharynx 44
c) Le laryngopharynx 45
d) La muqueuse 46
e) Les muscles du pharynx 47
f) Vaisseaux et nerfs 49
2. La trompe auditive 50
3. L'orifice pharyngien de la trompe auditive (*ostium tubae auditivae*) 51

B. Anatomie et rapports des poches gutturales 52
1. Topographie 52
2. Structure et histologie 53
3. Anatomie et rapports des poches gutturales 54
a. Compartiment médial 54
a) La face latérale 54
b) La face médiale 55
c) Le bord ventro-rostral 57
d) Le bord dorsal 57
e) Le bord caudal 57
f) L'angle dorso-caudal 58
g) L'angle rostral 58
h) L'angle ventro-caudal 58
b. Compartiment latéral 60
a) La face médiale 60
b) La face latérale 60

c) La face rostrale 60
d) Le sommet 61
e) La base 61
4. Quelques observations sur les poches gutturales 62
a. Morphologie de la poche gutturale selon la position de la tête 62
b. Evolution des poches gutturales chez les Equidés 62
c. Les poches gutturales chez les Périssodactyles 63

C. Implication potentielle des poches gutturales dans différents mécanismes 64
1. Mécanisme d'ouverture des orifices pharyngiens 64
2. Rôle de la trompe auditive 65
3. Rôle dans la déglutition 65
a. Définition et phases de la déglutition 65
b. Rôle du pharynx 66
c. Evolution de la fonction de déglutition 67
d. Rôle des poches gutturales 67
4. Rôle dans le refroidissement du sang acheminé au cerveau 68
a. Principe de refroidissement sélectif du cerveau 68
b. Refroidissement sélectif du cerveau chez le cheval 70
c. Rôle des poches gutturales ? 70
a) Etudes réalisées 70
b) Critiques 71
c) Comparaison avec le zèbre 72
5. Rôle dans la respiration 73

D. Pathogénie de certaines affections des poches gutturales : quel est le rôle des orifices pharyngiens ? 74
1. Tympanisme des poches gutturales 74
a. Généralités 74
a) Signes cliniques 74
b) Diagnostic et différentiel 75
c) Traitement 75
d) Pronostic 76
b. Etiologie et pathogénie 76
2. Le mystère de la mycose des poches gutturales 77
a. Généralités 77
a) Signes cliniques 77
b) Diagnostic et différentiel 78
c) Traitement 79
d) Pronostic 79
b. Etiologie et pathogénie 79
a) Agent pathogène 79
b) Localisation de la plaque mycosique 80
c) Modalités d'entrée des spores fongiques 80

d) Conclusion 81

DEUXIEME PARTIE 83

DEUXIEME PARTIE : ETUDE CLINIQUE 85

I. ETUDE PRELIMINAIRE : OBSERVATION DES ORIFICES PHARYNGIENS AU REPOS 85

A. Sujets, matériel et méthodes 85

B. Résultats 85

II. ETUDE CLINIQUE : OBSERVATIONS DES MODALITES D'OUVERTURES DES ORIFICES PHARYNGIENS DES POCHES GUTTURALES DU CHEVAL, AU REPOS, AU PAS ET AU TROT PAR UTILISATION DE L'ENDOSCOPIE EMBARQUEE 87

A. Objectifs de cette étude 87

B. Sujets, matériel et méthodes 87

1. Sujets et matériel clinique 87
2. Equipement 88
3. Méthode 88

C. Résultats 90

1. Etude qualitative 90
   a. Les différents types d'ouvertures observés 90
   b. Les ouvertures complètes 91
      a) Ouvertures simples 91
      b) Ouvertures successives 91
      c) Ouverture complète en deux temps 91
   c. Décollement des orifices pharyngiens 93
   d. Autres observations endoscopiques 94
2. Etude quantitative 95
   a. Les ouvertures complètes simples 95
      a) Observations dans chaque situation 96
         i. Observations au repos 96
         ii. Observations au pas 96
         iii. Observations au trot 96
         iv. Observations au repos après effort 97
      b) Comparaison entre les différentes situations 97
      c) Comparaison chez chaque cheval 97
      d) Analyse quantitative 98

e) Analyse statistique 99
i. Nombre moyen d'ouvertures 99
ii. Analyse statistique 101
f) Répartition dans le temps 101
b. Les ouvertures complètes successives 102
c. Les décollements passifs des orifices pharyngiens 102
3. Le rôle de la pompe 103
a. Cas de deux chevaux 103
b. Analyse quantitative 103

D. Discussion 104
1. Discussion sur la méthode 104
a. Echantillonnage 104
b. Reproductibilité des conditions 105
c. Exercice demandé 106
d. Variables mesurées 106
a) Mesure des paramètres biologiques 106
b) Mesure de températures et de pressions 106
c) Mesure de la fréquence de déglutition 107
d) Intérêts du tapis roulant 107
2. Discussion sur les résultats 108
a. Types d'ouvertures 108
a) Les ouvertures complètes 109
i. Ventilation périodique de la poche gutturale 109
ii. Egalisation des pressions 109
iii. Passage du bol alimentaire 110
iv. Refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide 110
b) Les ouvertures successives 111
c) Les décollements passifs 112
d) Rôle de l'endoscope 112
b. Variation du nombre d'ouvertures entre les situations 112
a) Nombre moyen d'ouvertures entre chaque situation 112
i. Augmentation de la fréquence de déglutition 113
ii. Augmentation de la fréquence d'ouverture des poches gutturales 113
b) Rôle de la pompe 114
i. Cas de deux chevaux 114
ii. Ouvertures successives 115
iii. Augmentation du flux sanguin 115
iv. Conclusion 116
c. Variations individuelles 116
d. Analyse statistique 117
a) Test de comparaison global de Friedman 117
b) Correction de Bonferroni 117
e. Conclusion 117

E. Difficultés rencontrées 118
1. Propres au matériel 118
a. Placement de l'endoscope 118
b. Qualité des images 118
2. Propres à la méthode 119
a. Saignement de l'ethmoïde 119
b. Contention 119

F. Conclusion 119

G. Coordonnées du fabricant 121

III. ETUDES COMPLEMENTAIRES 122

A. Observation des orifices pharyngiens au repos et au pas chez un âne 122
1. Sujet, matériel et méthodes 122
2. Résultats 123
a. Etude qualitative 123
a) Observations au repos 123
b) Observations au pas 123
b. Etude quantitative 124
a) Au repos 124
b) Au pas 124
3. Discussion 124
a. Particularités anatomiques de l'âne 124
b. Ouverture des orifices pharyngiens chez l'âne 125
c. Observation particulière à l'âne 126

B. Un cas de tympanisme primaire de la poche gutturale droite chez une jument arabe de 2 ans 127
1. Objectifs de cette étude 127
2. Présentation du cas clinique 128
a. Commémoratifs et anamnèse 128
b. Examen clinique 128
c. Hypothèses diagnostiques 129
d. Examens complémentaires 129
a) Radiographies de la région parotidienne et pharyngée 129
b) Echographie de la région 130
c) Endoscopie au repos 131
e. Diagnostic 132
f. Endoscopie embarquée 132
a) Matériel et méthodes 133
b) Résultats 133
i. Au repos 133
ii. Au pas 133

g. Traitement proposé 134
a) Chirurgie 134
b) Recommandations 135
c) Complications et pronostic 136
3. Discussion 136
a. Epidémiologie 136
b. Endoscopie embarquée 136
a) Recherche de l'étiologie du tympanisme 136
b) Modalités d'ouverture des orifices pharyngiens 137
c. Prise en charge thérapeutique 138

CONCLUSION 141

ANNEXES 143

BIBLIOGRAPHIE 151

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Coupe sagittale de tête de cheval montrant le trajet de l'endoscope rigide dans les voies respiratoires supérieures lors de l'examen des poches gutturales (d'après Cook, 1970b) 25

Figure 2 : Manette de contrôle (d'après Burns, 2004) 26

Figure 3 : Guide sortant du canal opérateur pour faire pénétrer l'endoscope dans les poches gutturales (d'après Seahorn, 2004)..... 27

Figure 4 : Schéma du système d'évaluation des voies respiratoires supérieures au cours de l'exercice intense sur tapis roulant (d'après Morris et Seeherman, 1990) 30

Figure 5 : DRS en place sur le cheval et le cavalier (Pollock et al., 2009) 31

Figure 6 : Modification de l'angle de la tête au cours de l'évaluation (d'après Van Erck, 2011) 33

Figure 7 : Vidéoendoscope malléable et semi-rigide de 9,8 mm de diamètre et élastiques permettant sa fixation à la bride et au sac fixé au surfaix avec zoom sur la tête auto-éclairante équipée de diodes LEDS (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*) 36

Figure 8 : Bride spécifique et adaptée au DRS, avec deux clips permettant la fixité de l'endoscope (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*) 37

Figure 9 : Module émetteur/enregistreur contenant le système d'enregistrement et sa télécommande (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*) 37

Figure 10 : Sac contenant récepteur et écran à gauche ; écran de contrôle à droite (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*) 38

Figure 11 : A gauche, sac à dos pour le cavalier et à droite, système de fixation au surfaix à l'aide de crochets et de sangles (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*) 38

Figure 12 : Système de lavage automatique : flacon d'eau déminéralisée fixé à la pompe, elle-même reliée à la batterie et à l'endoscope (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*) 39

Figure 13 : Schéma montrant la mise en place correcte (A) ou incorrecte (B et C) du tord-nez pour permettre un passage dans la narine droite (d'après Cook, 1970)..... 39

Figure 14 : Fixation de l'endoscope au sulky (d'après Desmaizières et al., 2009)..... 41

Figure 15 : Fixation de l'endoscope sur le cavalier (d'après Desmaizières et al., 2009)..... 41

Figure 16: Schéma d'une coupe sagittale du pharynx d'un cheval (d'après Barone, 1997)..... 44

Figure 17: Schéma du pharynx d'un cheval après section de sa paroi dorsale et du voile du palais (d'après Barone, 1997) 45

Figure 18 : Epithélium de type respiratoire pseudo-stratifié avec les cellules basales (1), les cellules sécrétrices (4,8) qui reposent sur la membrane basale (2) (d'après Bacha et Bacha, 2000)..... 46

Figure 19 : Epithélium de type digestif stratifié et pavimenteux (5) (d'après Bacha et Bacha, 2000) 46

Figure 20 : Tonsille palatine avec un épithélium stratifié (11), du tissu lymphatique diffus (5), des nodules lymphatiques (7) et des cryptes (3) (d'après Bacha et Bacha, 2000) 47

Figure 21 : Vue caudale du pharynx représentant les différents muscles pharyngiens (d'après Barone, 1997) 48

Figure 22: Vue endoscopique du clapet cartilagineux de l'orifice pharyngien (R) et du conduit de la trompe auditive par introduction d'une pince à biopsie (B) (d'après Holcombe et Schott, 1997) 50

Figure 23: Schéma d'une vue endoscopique du nasopharynx (d'après Baker, 1997) 51

Figure 24 : Projection topographique de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982) ... 52

Figure 25 : Histologie de la muqueuse de la poche gutturale avec un épithélium stratifié (8) et des glandes (5) situées dans la *lamina propria* (d'après Bacha et Bacha, 2000) 54

Figure 26 : Vue médiale de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982) 55

Figure 27 : Artères et nerfs du compartiment médial de la poche gutturale (d'après Barone, 1997) 56

Figure 28 : Dessin schématique des différentes structures anatomiques du compartiment médial de la poche gutturale droite (d'après Piat, 2008) 59

Figure 29 : Vue latérale de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982) 61

Figure 30 : Vue caudale de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982) 62

Figure 31 : Déglutition et respiration chez le cheval (d'après Hervé, 2011) 66

Figure 32 : Contraction générale du pharynx lors de la déglutition (*image VetAgro Sup*) 68

Figure 33 : Schéma du rete mirabile carotidien contenu dans le sinus caverneux chez le chameau (d'après Elkhawad, 1992) 69

Figure 34 : Mesure des températures du cerveau, de la carotide et de la jugulaire lors d'efforts (d'après Mitchell et al., 2006) 72

Figure 35 : Tympanisme chez un poulain (*image ENVL – O. Lepage*) 75

Figure 36 : Mycose en regard de l'artère carotide interne (d'après Piat, 2008) 78

Figure 37 : Sac émetteur et enregistreur fixé fermement au surfaix, équipé du système de pompe et de l'antenne émettrice (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*) 88

Figure 38 : Fixation de l'endoscope au filet par des élastiques (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*) 89

Figure 39 : Cheval tourné en longe à main gauche, au pas, avec l'endoscope embarqué fixé au surfaix à gauche (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*) 89

Figure 40 : Ouverture complète et symétrique des orifices qui laisse distinguer l'entrée de la poche gutturale (*image VetAgro Sup*) 90

Figure 41 : Les différentes étapes de la déglutition lors de l'observation au repos (*images VetAgro Sup*) 92

Figure 42 : Léger gonflement de l'orifice (a) suivi d'un décollement (b) (*images VetAgro Sup*) 93

Figure 43 : Décollement passif d'un orifice suite à une ouverture complète (*image VetAgro Sup*)..... 94

Figure 44 : Collapsus pharyngé (*image VetAgro Sup*)..... 94

Figure 45 : Evolution du nombre moyen d'ouvertures, de l'écart-type et des valeurs minimales et maximales entre les différentes allures..... 99

Figure 46 : Evolution du nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens chez les 7 chevaux..... 100

Figure 47 : Ouverture des orifices pharyngiens lors du déclenchement de la pompe chez O (*image VetAgro Sup*) 103

Figure 48 : Graphe représentant le pourcentage d'ouvertures déclenchées par la pompe dans les quatre situations sur l'ensemble des ouvertures observées chez les sept chevaux 104

Figure 49 : Pharyngite folliculaire de grade 2/4 chez Patchouli (*image VetAgro Sup*)..... 116

Figure 50 : Placement trop bas de l'endoscope, les orifices pharyngiens sont à la limite de l'image (*image VetAgro Sup*)..... 118

Figure 51 : Image déplacée vers l'ethmoïde lors d'une expectoration (*image VetAgro Sup*) 118

Figure 52 : Présence de bulles ou de reflets au centre de l'image (*images VetAgro Sup*) 119

Figure 53 : Endoscope en place dans le naseau droit de l'âne et replié sur le chanfrein (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*) 122

Figure 54 : Ouverture complète des orifices pharyngiens associée au déclenchement de la pompe (*image VetAgro Sup*) 123

Figure 55 : Léger décollement passif du clapet cartilagineux de l'orifice pharyngien droit (*image VetAgro Sup*) 123

Figure 56 : Vue endoscopique du nasopharynx de l'âne (*image VetAgro Sup*)..... 125

Figure 57 : Vue endoscopique du récessus pharyngien de l'âne (*image VetAgro Sup*)..... 125

Figure 58 : Gonflement de la région parotidienne et laryngée lors de l'examen clinique d'admission (*imagse VetAgro Sup – O. Lepage*) 128

Figure 59 : Vues latéro-latérales de la région parotidienne et pharyngée montrant une dilatation aérique des poches gutturales (*Imagerie – VetAgro Sup*) 130

Figure 60 : Image échographique de la région, avec la glande parotide superficielle (a) et la poche gutturale en profondeur (b) et une estimation de la paroi de la poche gutturale (1,3 mm) (*Imagerie – VetAgro Sup*) 130

Figure 61 : Pharyngite folliculaire de grade 3/4 (*image VetAgro Sup*)..... 131

Figure 62 : Compression du larynx par la poche gutturale droite (*image VetAgro Sup*) 131

Figure 63 : Compression de la poche gutturale gauche par la poche gutturale droite (*image VetAgro Sup*) 132

Figure 64 : Emphysème de la portion dorso-médiale de l'os styloïde de la poche gutturale gauche (*image VetAgro Sup* 132

Figure 65 : Ouverture des orifices pharyngiens lors de la déglutition chez la jument atteinte de tympanisme unilatéral droit (*image VetAgro Sup*) 134

Figure 66 : Injection d'anesthésique local dans la paroi pharyngée via le canal opérateur (*image VetAgro Sup*) 135

Figure 67 : Résection de l'orifice pharyngien à l'aide d'une pince à biopsie utérine (*image VetAgro Sup*) 135

Figure 68 : Communication entre la poche gutturale droite et le nasopharynx à la fin de la chirurgie (*image VetAgro Sup*)..... 135

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre d'ouverture des orifices pharyngiens dans différentes situations au repos, chez trois chevaux (Deluzurieux, 2008) 86

Tableau 2 : Nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens lors des quatre situations chez les sept chevaux 95

Tableau 3 : Nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales, écart-type, valeurs minimales et maximales pour chaque situation 98

Tableau 4 : Nombre moyen d'ouverture des orifices pharyngiens lors de différentes situations (repos, pas et trot) chez chaque cheval 100

Tableau 5 : Nombre d'ouvertures successives observées chez différents chevaux dans les différentes situations 102

Tableau 6 : Biais et limites de l'étude clinique ; améliorations possibles 120

Tableau 7 : Comparaison du nombre d'ouvertures complètes et de décollements passifs dans les différentes situations chez les sept chevaux 149

Tableau 8 : Récapitulatif des ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales déclenchées par le fonctionnement de la pompe 150

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Evolution du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens en fonction de l'allure lors des deux manipulations, et sur une moyenne des deux, chez chaque cheval 143

Annexe 2 : Ouverture des orifices pharyngiens en fonction du temps chez 2 chevaux au pas (P) et au trot (Mo) 146

Annexe 3 : Ouverture des orifices pharyngiens en fonction du déclenchement de la pompe au pas et au trot (O) 147

Annexe 4 : Ouverture des orifices pharyngiens en fonction du déclenchement de la pompe au pas et au trot (P) 148

Annexe 5 : Comparaison du nombre de décollements passifs avec le nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens chez les sept chevaux dans les différentes conditions. 149

Annexe 6 : Récapitulatif des ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales déclenchées par le fonctionnement de la pompe 150

LISTE DES ABREVIATIONS

AAO = articulation atlanto-occipitale
ACC = artère carotide commune
ACE = artère carotide externe
ACI = artère carotide interne
AO = artère occipitale
ASAT = aspartate amino-transférase
ATH = articulation temporo-hyoïdienne
CCD = charge coupled device
CK = créatinine kinase
DRS = dynamic respiratory scope
ECG = électrocardiogramme
GPS = global positioning system
LEDS = light emitting diodes
MD = muscle digastrique
MLT = muscle long de la tête
MOH = muscle occipito-hyoïdien
MPEG = moving picture experts group
MSH = muscle stylo-hyoïdien
MSP = muscle stylo-pharyngien
MTVP = muscle tenseur du voile du palais
NL RM = nœuds lymphatiques rétro-pharyngiens médiaux
NP = nasopharynx
OS = os sphénoïde
PG = poche guttural
PCR = polymerase chain reaction
PVC = polychlorure de vinyl
SBC = selective brain cooling
SD = secure digital
SM = septum median
TLF = tronc linguo-facial
UI = unité internationale

INTRODUCTION

Les poches gutturales sont des diverticules des trompes d'Eustache qui font communiquer le nasopharynx avec l'oreille moyenne, retrouvés chez toutes les espèces appartenant à l'ordre des Périssodactyles (cheval, âne, zèbre, tapir), hormis le rhinocéros (Endo et al., 1998). C'est chez le cheval (*Equus caballus*) qu'elles sont les plus larges, avec une capacité de 300 à 500 ml d'air. Les deux poches gutturales sont symétriques mais elles ne communiquent pas entre elles et sont séparées par un septum médian ; la communication avec le pharynx se fait via des clapets cartilagineux appelés orifices pharyngiens. Les parois des poches gutturales sont tapissées de nombreuses structures vasculaires et nerveuses, dont les artères carotides interne et externe et certains nerfs crâniens.

Depuis leur première description en 1756 par Claude Bourgelat, les poches gutturales des équidés ont été longuement étudiées et ce, à de multiples reprises. Mais jusqu'à ce jour, et malgré de très nombreuses hypothèses, leur rôle précis n'a toujours pas été découvert et reste un sujet de débat très intense. La principale fonction qui leur est aujourd'hui attribuée est le refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide lors d'effort (Baptiste, 1998).

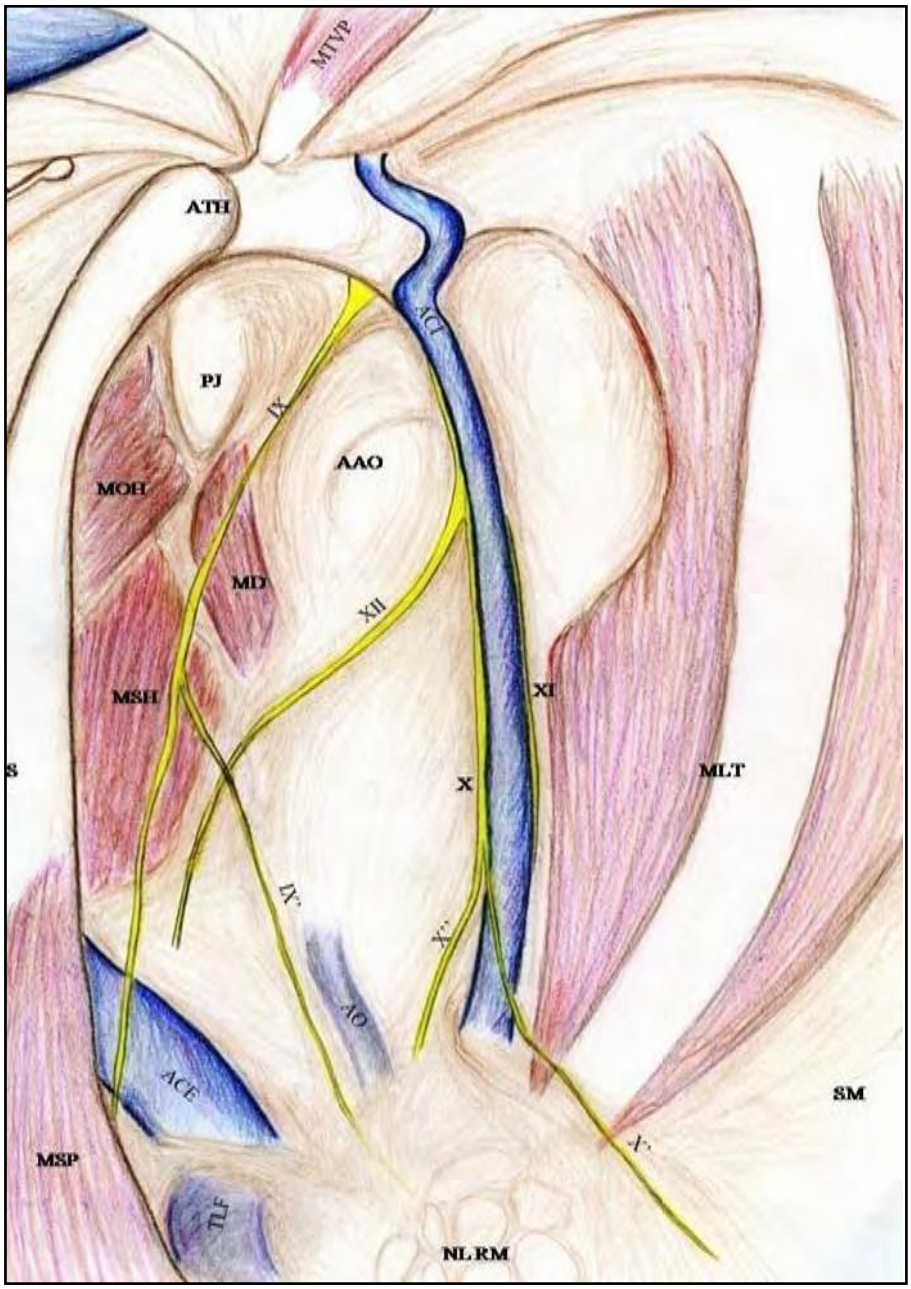
Alors qu'elles constituent une fenêtre unique de diagnostic, les poches gutturales représentent un risque considérable pour le cheval quand de graves affections viennent mettre en danger les structures vasculaires et nerveuses qu'elles contiennent (Baptiste, 2004). L'étiologie de certaines d'entre elles, comme le tympanisme ou la mycose, et notamment le rôle joué par les orifices pharyngiens, sont encore mal connus et cela reste un frein dans la gestion et la prévention des affections des poches gutturales.

Cette thèse se propose d'observer les modalités d'ouverture des orifices pharyngiens lors d'un effort au pas et au trot, grâce à l'utilisation de l'endoscopie embarquée, afin d'étudier leur potentielle implication dans la fonction de la poche gutturale ou dans la pathogénie des affections qui la touchent. L'endoscopie embarquée est une méthode innovante d'examen des voies respiratoires supérieures à l'effort, utilisée principalement dans le diagnostic des différentes causes d'obstruction dynamique (Desmaizières et al., 2009).

Dans une première partie bibliographique, après introduction de la technique d'endoscopie embarquée, de ses avantages et inconvénients, nous présenterons les différentes fonctions qui sont attribuées aux poches gutturales et les très nombreuses études réalisées sur ce sujet. Dans une deuxième partie, une étude clinique réalisée entre octobre 2011 et janvier 2012 et portant sur 7 individus sera présentée. Le protocole et les résultats obtenus seront détaillés, la discussion portera sur l'analyse de ces résultats, les apports et les limites de cette étude, ainsi que sur les perspectives qu'elle laisse entrevoir. Deux études complémentaires sur un âne et sur un cas de tympanisme des poches gutturales seront également développées.

PREMIERE PARTIE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE



(Piat, 2008)

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. L'endoscopie embarquée, une nouvelle méthode d'évaluation du fonctionnement des voies respiratoires supérieures à l'effort

Avant de s'intéresser à la technique d'endoscopie embarquée chez le cheval, nous allons parler de l'examen endoscopique au repos pour comprendre ce qui a motivé le développement de méthodes d'évaluation des voies respiratoires à l'effort.

A. L'examen endoscopique au repos

1. Historique

L'endoscopie vétérinaire s'est développée sur le modèle de la technique utilisée en médecine humaine. L'endoscopie existe chez les humains depuis le début du XIXe siècle, elle a évolué de l'endoscope rigide de départ à la fibroscopie souple, au milieu du XXe siècle.

Les premières endoscopies sur des chevaux ont été réalisées à la fin du XIXe siècle, pour observer particulièrement les premières voies respiratoires supérieures, mais l'utilisation d'un matériel rigide et l'impossibilité de nettoyer l'appareil au cours de l'examen limitaient les performances diagnostiques (*figure 1*). Dans les années 1970, commencent à apparaitre les fibroscopes, dont les fibres optiques permettent une meilleure qualité d'image et une sécurité augmentée (Cook, 1974). En effet, la flexibilité, la diminution du diamètre et l'augmentation de la longueur du matériel permettent une meilleure exploration des structures et la tolérance du cheval est supérieure.

Le développement de la vidéo-endoscopie vers la fin des années 1980 a permis des progrès considérables dans la qualité des images et dans la possibilité de traitement et de stockage des données. L'utilisation de l'endoscopie en routine s'est alors étendue, ouvrant la médecine équine à de nouvelles perspectives.

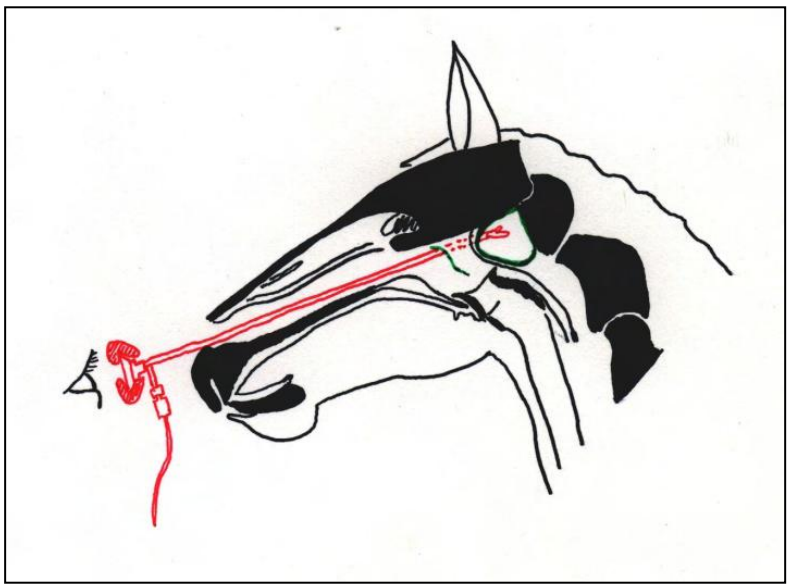


Figure 1 : Coupe sagittale de tête de cheval montrant le trajet de l'endoscope rigide dans les voies respiratoires supérieures lors de l'examen des poches gutturales (d'après Cook, 1970b)

2. Equipement

a. Principe

Le système du fibroscope est basé sur le principe de la transmission de lumière et d'images à travers des milliers de longues et fines fibres optiques (Burns, 2004). Ces fibres sont regroupées en deux faisceaux distincts : l'un amène de la lumière froide jusqu'à la région à observer, l'autre ramène l'image vers l'observateur. Dans le cas du vidéoendoscope, une caméra miniature située à l'extrémité du tube flexible permet la numérisation de l'image et la projection sur un écran, ce qui facilite la visualisation des structures observées. Les images produites sont directes : ce qui se trouve à droite de l'animal est projeté à gauche sur l'image (Cadoré, 1992).

b. Matériel

Chaque endoscope est constitué de :

- Un fibroscope (visualisation directe) ou vidéoendoscope (visualisation d'une image numérisée sur un écran)
- Un générateur de lumière froide
- Un système de pompe qui insuffle de l'air ou des liquides
- Un système d'aspiration

Tout endoscope possède une manette de contrôle qui permet d'orienter l'embout distal articulé de la sonde à l'aide de molettes de béquillage et de gérer le système de pompe. Lors de l'examen, cette poignée est indispensable au bon placement de l'extrémité distale de l'endoscope en face des structures à observer ; le système d'irrigation et d'insufflation est quant à lui indispensable à la propreté permanente de l'objectif pour obtenir les images de la meilleure qualité possible (*figure 2*).

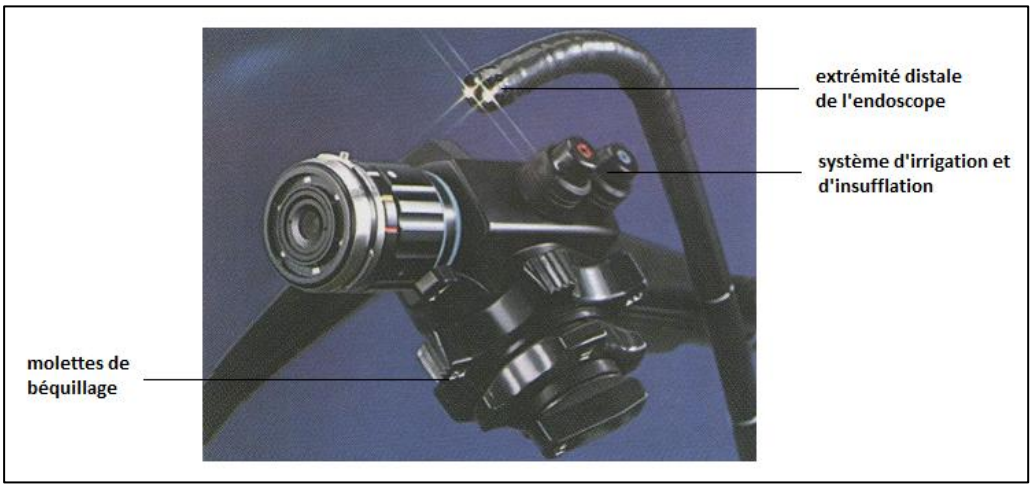


Figure 2 : Manette de contrôle (d'après Burns, 2004)

Chaque endoscope possède également un canal opérateur, dans lequel on introduit les différents instruments utilisés lors d'examens (pince à biopsie, laser…). C'est notamment par celui-ci qu'est introduit le guide utilisé pour faire pénétrer l'endoscope dans les orifices pharyngiens des poches gutturales (*figure 3*).

Ce canal opérateur est utilisé dans le traitement de certaines affections : une pince peut être utilisée pour retirer des corps étrangers, un laser peut être introduit pour retirer des polypes ou des granulomes, des lavages ou des anesthésies locales peuvent également être réalisés par instillation de liquide via le canal (Byars, 2004).

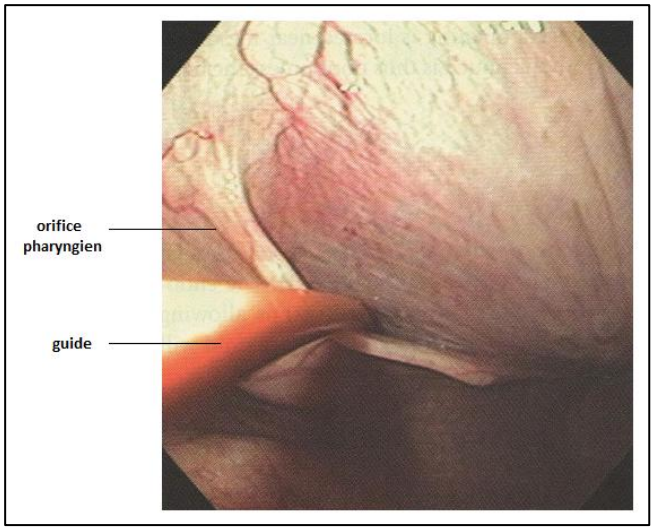


Figure 3 : Guide sortant du canal opérateur pour faire pénétrer l'endoscope dans les poches gutturales (d'après Seahorn, 2004)

3. Les principales pathologies rencontrées

Il est reconnu depuis des siècles que les obstructions des voies respiratoires supérieures compromettent la capacité de performance du cheval athlète (Lane et al., 2006a). Après les boiteries, les atteintes respiratoires sont la deuxième cause de mauvaises performances, plus fréquentes que les affections systémiques (maladies inflammatoires chroniques, piroplasmose…). L'endoscopie a été développée pour permettre une observation optimale de l'appareil respiratoire supérieur lors de bruit anormal ou d'intolérance à l'effort.

a. Les affections obstructives

Les principales affections responsables d'obstructions des voies respiratoires supérieures chez le cheval sont obstructives et, par ordre de fréquence (Martin et al., 2004) :

- Hémiplégie laryngée (parésie du cartilage aryténoïde gauche le plus souvent)
- Rétroversion de l'épiglotte
- Déplacement dorsal du voile du palais
- Déviation axiale des arcs ary-épiglottiques et entrapement de l'épiglotte
- Collapsus pharyngé : collapsus dynamique des deux tiers caudaux du nasopharynx lors de pressions négatives (Strand et al., 1993)

D'autres affections plus rares sont également rencontrées : kyste épiglottique, abcès rétro-pharyngien, hypoplasie de l'épiglotte (facteur prédisposant au déplacement dorsal du palais), chondrite de l'aryténoïde ou déplacement rostral de l'arc palato-pharyngien (Lane et al., 2006a).

b. Les affections non obstructives

Il existe également des affections non obstructives des voies respiratoires supérieures qui peuvent parfois être la cause d'une intolérance à l'effort. Par exemple, la pharyngite folliculaire est considérée comme cause de mauvaises performances chez les jeunes chevaux de course quand elle est de grade élevé (3 à 4/4), c'est-à-dire quand les follicules lymphoïdes recouvrent l'ensemble des parois dorsale et latérales du pharynx, s'étendent sous l'ouverture des poches gutturales et colonisent le voile du palais (Robertson, 1983).

Dans ce cas, l'intolérance à l'effort provient d'une origine à la fois obstructive, par la présence d'œdème pharyngé et la réduction du flux d'air liée à l'hyperplasie des follicules, et non obstructive, par la modification des caractéristiques physiologiques des structures pharyngées et leur adaptation à l'effort (Cevoz-Goyat, 1995). Une endoscopie au repos suffit en général pour identifier ces causes.

4. Limites de l'observation au repos

Lors de l'effort, la physiologie des voies respiratoires supérieures est nettement modifiée par la quantité d'air déplacée et les pressions auxquelles sont soumises les structures. De plus, certaines anomalies des voies respiratoires supérieures ne sont présentes que lors d'un effort intense, ce qui en fait un véritable défi diagnostique.

Le développement de l'examen endoscopique réalisé au cours d'un exercice sur tapis roulant, puis directement sur le terrain sont des techniques particulièrement innovantes. Elles ont permis d'améliorer les méthodes d'évaluation des modifications physiologiques ou pathologiques affectant les voies respiratoires supérieures lors de l'effort (Rodgerson, 2004).

a. Physiologie

Lors d'un exercice maximal (course de trot ou de galop par exemple), un cheval athlète déplace environ 75 L d'air par seconde à travers l'appareil respiratoire supérieur, créant ainsi une pression négative de 45 cm d'eau dans la trachée. Ces valeurs sont largement supérieures à celles mesurées chez un cheval au repos, qui déplace vingt fois moins d'air (seulement 4L par seconde), créant alors moins de 5 cm d'eau de pression négative dans la trachée, soit une pression neuf fois moins importante qu'à l'effort (Parente, 1998). Il apparaît clairement que l'appareil respiratoire supérieur fonctionne très différemment selon les conditions.

Ces différences de fonctionnement justifient la réalisation d'un examen endoscopique à l'effort (Parente, 1997). En effet, la pression négative créée lors de l'inspiration augmente la capacité obstructive d'une lésion présente et aggrave ses conséquences, qui ne peuvent être que suspectées lors de l'examen au repos.

Bayly et al. (1999) ont montré que le volume d'air transporté peut monter jusqu'à plus de 2000 L par minute avec des pics à 100 L par seconde. Comme le cheval respire obligatoirement par le nez et que certains des organes du tractus respiratoire supérieur (naseaux, nasopharynx, larynx) ont un support structural limité, ils sont susceptibles de subir un collapsus dynamique face à des flux d'air et des pressions importants lors d'un exercice intense (Lane et al., 2006b).

b. Etudes comparatives

Bon nombre d'études ont aujourd'hui documenté le fait que certaines anomalies de l'appareil respiratoire supérieur n'apparaissent que lors d'efforts intenses et ne peuvent pas être diagnostiquées au repos : ce sont souvent des obstructions dynamiques qui apparaissent sous l'influence des pressions négatives induites par l'effort (Frippiat et al., 2010). Une endoscopie pendant l'exercice est alors requise pour poser un diagnostic définitif.

a) « Sous-diagnostic » au repos

Tan et al. (2005) ont rapporté dans une étude que 49 % des chevaux présentant des voies respiratoires supérieures normales au repos montraient des anomalies identifiées lors d'une endoscopie à l'effort (déplacement dorsal du voile du palais, déviation axiale des arcs ary-épiglottiques, hémiplégie laryngée gauche…).

Certaines études soulignent le fait que des anomalies s'aggravent lors de l'endoscopie à l'exercice : par exemple, le grade d'hémiplégie laryngée augmente et conduit parfois au collapsus des aryténoïdes (Hammer et al, 1998). Ceci s'explique par le fait que lors d'hémiplégie laryngée de grade III/IV (asynchronisme des aryténoïdes et absence d'abduction complète de l'aryténoïde gauche), le muscle crico-aryténoidien dorsal est atrophié, et « se fatigue » lors d'un effort, ce qui conduit alors à un collapsus dynamique qui compromet la qualité du flux d'air (Rakestraw et al., 1991).

De même, des chevaux présentant une anomalie des voies respiratoires supérieures à l'endoscopie au repos peuvent en montrer plusieurs associées lors de l'exercice (jusqu'à 25% des chevaux dans certaines études), surtout quand le motif de consultation est l'apparition d'un bruit à l'effort : on peut avoir association d'une déviation axiale des plis ary-épiglottiques avec un déplacement dorsal du voile du palais (Dart et al, 2001). Dans certains cas, on atteint quatre anomalies différentes associées à l'effort : hémiplégie laryngée gauche, déplacement dorsal du voile du palais, déviation axiale des plis ary-épiglottiques et collapsus des cordes vocales.

b) « Sur-diagnostic » au repos

A l'inverse, il existe certains cas où l'endoscopie au repos donne des résultats faux-positifs. Des anomalies mises en évidence au repos diminuent à l'effort : par exemple, certains chevaux diagnostiqués avec une hémiplégie laryngée gauche idiopathique de grade II/IV au repos montrent un fonctionnement laryngé normal à l'exercice, avec abduction complète des aryténoïdes maintenue tout au long de l'exercice. Dans ce cas, l'endoscopie à l'effort montre les mêmes images que chez des chevaux normaux de grade I/IV : ces images peuvent conduire à un mauvais diagnostic (Rakestraw et al., 1991).

L'endoscopie lors de l'exercice est aujourd'hui un moyen indispensable au diagnostic précis des affections des voies respiratoires supérieures lors de mauvaises performances ou de bruit à l'effort, et elle est surtout nécessaire à la mise en place d'un traitement et à l'évaluation du pronostic. Elle peut se faire selon deux méthodes que nous allons maintenant présenter.

B. Développement de l'endoscopie à l'effort

1. Historique

a. L'endoscopie sur tapis roulant

De nos jours, le tapis roulant est un équipement utilisé en routine dans la recherche équine. Le premier tapis pour chevaux a été construit en 1960 en Suède, les premières études réalisées se concentrant principalement sur l'étude de variables métaboliques. Dans les années 80, la pathologie locomotrice a commencé à être étudiée (Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al., 1999). Enfin, la dernière étape a été la réalisation d'endoscopies des voies respiratoires supérieures, la présence d'obstructions dynamiques étant l'une des principales causes de mauvaises performances chez le cheval de sport et de course (*figure 4*). La première étude à ce sujet date de 1990 (Morris et Seeherman, 1990).

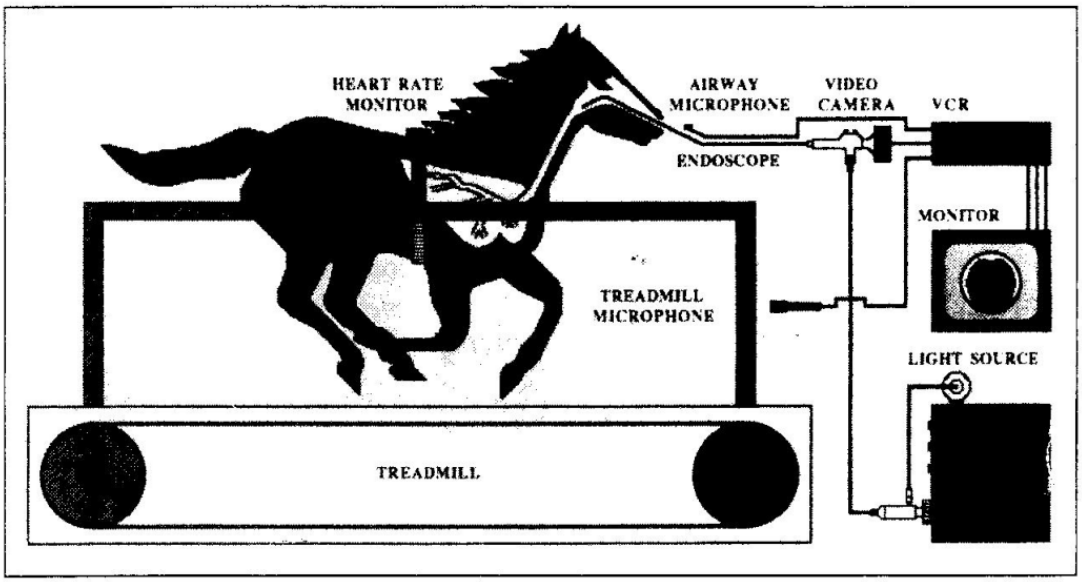


Figure 4 : Schéma du système d'évaluation des voies respiratoires supérieures au cours de l'exercice intense sur tapis roulant (d'après Morris et Seeherman, 1990)

Cette première étude a permis un progrès considérable dans le diagnostic du déplacement dorsal du palais qui était autrefois un véritable défi. Souvent, il n'est pas détecté à l'endoscopie au repos, et même après un exercice intense où le cheval a déplacé son voile du palais, celui-ci se replace immédiatement à la fin de l'exercice et le cheval reprend une respiration et une déglutition normales. C'est un épisode dynamique et transitoire qui ne pouvait qu'être présumé : l'endoscopie dynamique a permis d'en affirmer le diagnostic (Morris et Seeherman, 1990).

Le tapis roulant permet d'atteindre des vitesses proches de 70 kilomètres par heure, on peut ensuite augmenter l'intensité de l'effort sans modifier la vitesse en inclinant le tapis (Parente, 1997). Cette caractéristique est particulièrement intéressante lors de l'évaluation de chevaux de course : sans incliner le tapis, il est impossible de reproduire les conditions de course, notamment d'atteindre le seuil de fatigue qui fait apparaitre l'anomalie obstructive. Ce seuil maximal est atteint lorsque la fréquence cardiaque du cheval est de 220 battements par minute.

b. L'endoscopie embarquée

Jusqu'en 2008, le seul moyen disponible pour réaliser une observation endoscopique des voies respiratoires supérieures était le tapis roulant : hors, le prix, le temps nécessaire et les préjugés sur la sécurité font que cette méthode n'est pas toujours utilisée par les vétérinaires, ni sollicitée par les propriétaires. Certains chevaux sont alors diagnostiqués, à tort, seulement sur la base d'un bruit anormal à l'effort et d'une endoscopie au repos (Franklin et al, 2008).

Depuis quelques années, a été mise au point une nouvelle méthode d'observation des voies respiratoires supérieures grâce au développement de l'endoscopie embarquée. Après deux ans d'étroite collaboration entre ingénieurs et vétérinaires pour développer l'appareil, Desmaizières et al. (2009) et Pollock et al. (2009) étudient et prouvent la sécurité et la fiabilité du DRS (Dynamic Respiratory Scope) produit par la société Optomed. Ce sont les premières études qui apportent des résultats concrets d'endoscopie dynamique sur le terrain (*figure 5*).

Figure 5 : DRS en place sur le cheval et le cavalier (Pollock et al., 2009)

Ces deux études confirment ainsi les premières observations faites par Tamzali et al. (2008). Malgré un faible nombre de chevaux évalués (une vingtaine seulement) en raison de la réticence des propriétaires devant ce nouveau matériel, ceux-ci avaient déjà prouvé l'utilité de l'endoscope embarqué. Les premières recommandations qu'ils avaient alors faites ont permis d'optimiser l'utilisation du DRS dans les études suivantes :

- Préparation optimale du cheval pour éviter à repositionner le système une fois l'exercice commencé
- Réalisation d'une endoscopie préalable au repos afin de détecter toute anomalie des voies respiratoires supérieures mais aussi afin d'évaluer la coopération du cheval
- Prévoir un cavalier expérimenté pour limiter le risque de chutes et d'accidents
- Eviter les examens lors de pluie (système non étanche)
- Charger complètement la batterie (pendant 2h environ) pour éviter de perdre des enregistrements ou prévoir plusieurs batteries si plusieurs examens sont réalisés à la suite
- Rincer la lentille avec une solution alcoolique pour limiter l'adhérence de sécrétions
- Serrer correctement la muserolle, car c'est un point de fixation important
- Fixer l'endoscope à la crinière pour éviter tout flottement

Dans leur étude, Desmaizières et al. (2009) utilisent 68 chevaux, dont 39 trotteurs attelés et 29 pur-sang anglais montés. Pendant 11 mois, de février à décembre 2008, ils ont réalisé de nombreuses endoscopies embarquées qui ont permis d'améliorer la conception et la qualité du DRS final, disponible en 2009. Ont ainsi été ajoutés au fur et à mesure un système de pompe automatique, des sacs de protection étanches et une plaque en aluminium pour une meilleure fixation au sulky.

Parmi les 68 chevaux présentés pour mauvaises performances ou bruit à l'effort, 64,7% ont montré un diagnostic positif d'obstruction dynamique des voies respiratoires supérieures. Le pourcentage de diagnostic positif atteint les 94,7% pour les chevaux présentés seulement pour bruit à l'effort. Ceci montre l'efficacité de l'endoscopie embarquée dans le diagnostic des anomalies des voies respiratoires supérieures (Desmaizières et al., 2009).

Le nombre limité de complications mineures (écoulement séreux, chute du cavalier) survenues dans les deux études confirment également la sécurité permise par l'utilisation de ce matériel. De plus, la bonne tolérance des chevaux lors de la mise en place de l'endoscope et tout au long de l'effort permet la réalisation d'un examen dans les meilleures conditions possibles.

2. Comparaison des deux méthodes

a. Limites du tapis roulant

Même si l'endoscopie sur tapis roulant est actuellement reconnue comme le « gold standard » dans le diagnostic des anomalies de l'appareil respiratoire supérieur (Franklin et al., 2008), plusieurs études ont montré les limites d'un tel examen et les avantages que peut apporter une endoscopie embarquée sur le terrain.

a) Modification des « valeurs biologiques »

La comparaison des paramètres biologiques entre le tapis roulant et les conditions naturelles montre que, sur tapis roulant (Sloet Van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al., 1995) :

- La fréquence cardiaque reste plus faible pour une vitesse comparable
- La concentration en lactates dans le plasma reste plus basse
- Les allures sont différentes : la fréquence de la foulée est diminuée tandis que son amplitude est augmentée

Il est souvent nécessaire d'incliner le tapis roulant pour obtenir des valeurs plus proches de la réalité : dans ce cas, on réduit la vitesse nécessaire à l'exercice maximal, mais les muscles sont recrutés de manière différente. La pente nécessaire pour atteindre une fréquence cardiaque maximale est de 3 à 3,7% (Barrey et al., 1993).

Ces variations des valeurs biologiques s'expliquent par la présence et les actions du cavalier, une moindre résistance à l'air sur le tapis roulant, des modifications de la cinématique et une adaptation psychologique (Evans, 2004). L'importance de la résistance à l'air a été prouvée chez l'homme, chez qui elle modifie de ± 8% l'énergie dépensée (Sloet Van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al., 1995).

b) *Reproduction des conditions de terrain*

L'endoscopie dynamique sur le terrain présente l'avantage de reproduire parfaitement les conditions d'entrainement, de course ou de compétition pour les chevaux, l'évaluation étant alors la plus proche possible de la réalité. Par exemple, le sol, la surface, les allures et la vitesse sont identiques aux conditions réelles.

Pollock et al. (2009) soulignent le fait que le point maximal d'effort et les changements de vitesse sont décidés par le cheval, et par extension, par le cavalier, alors qu'ils sont contrôlés par l'opérateur sur le tapis roulant. Les résultats obtenus sont plus fiables et plus représentatifs de la réalité lors d'endoscopie embarquée.

Pour souligner l'importance du respect des conditions naturelles, Van Erck (2011) montre que les différentes interventions du cavalier peuvent modifier la morphologie et le fonctionnement des voies respiratoires supérieures, par les mouvements demandés. En effet, chez des chevaux de dressage, la position fléchie de la tête augmente l'instabilité du pharynx et du larynx lors d'obstruction dynamique par rapport aux chevaux de saut d'obstacles (*figure 6*). L'utilisation d'enrênements particuliers qui augmentent la flexion de la nuque (rênes allemandes par exemple) modifie nettement le fonctionnement des voies respiratoires supérieures (Van Erck, 2011).

Figure 6 : Modification de l'angle de la tête au cours de l'évaluation (d'après Van Erck, 2011)

Chez les chevaux de sport, à la différence des chevaux de course (Davidson et al., 2011), il est nécessaire de fléchir la tête et l'encolure pour voir apparaitre l'anomalie présente ou pour mettre en évidence la présence de plusieurs anomalies concomitantes, non diagnostiquées quand la tête du cheval est laissée libre. Au contraire du tapis roulant, l'influence du cavalier peut être observée grâce à l'endoscopie embarquée qui reproduit au maximum les conditions de terrain.

c) *Considérations pratiques*

Outre les considérations scientifiques, il faut prendre en compte des paramètres pratiques que sont l'acclimatation du cheval face au nouveau matériel, le coût financier que représente un tel examen, la notion de sécurité et la qualité de l'image.

i. Acclimatation

Les chevaux doivent, avant tout test, subir une période d'acclimatation au tapis roulant : cette acclimatation semble plus aisée avec les chevaux de courses qu'avec les chevaux de selle, qui sont moins souvent diagnostiqués sur tapis roulant. Le caractère de certains chevaux est parfois incompatible avec cet appareil et empêche l'utilisation d'une telle endoscopie (Lane et al., 2006a). L'acclimatation consiste à habituer progressivement le cheval au tapis roulant au cours de plusieurs sessions d'entrainement, d'abord au pas, puis au trot et au galop : selon les auteurs, elle peut durer de quelques minutes à plusieurs jours (Sloet Van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al., 1995). Cet examen est donc plus « consommateur » de temps.

ii. Coût financier

Entre également en jeu une considération économique :

- L'utilisation du tapis roulant, équipement très onéreux, représente un coût financier beaucoup plus important qu'une simple endoscopie sur le terrain
- Les centres équipés d'un tel matériel sont encore rares, notamment en France, et un transport long et couteux est très souvent nécessaire ; à l'inverse, une endoscopie embarquée peut être réalisée en routine par la plupart des praticiens équins. En effet, mis à part l'investissement dans le matériel, l'utilisation nécessite seulement la présence d'un personnel formé et expérimenté pour réaliser les différents tests (Desmaizières et al, 2009).

C'est d'ailleurs pourquoi l'endoscopie sur tapis roulant reste le plus souvent réservée aux chevaux de course plutôt qu'aux chevaux de selle.

iii. Sécurité

Il est nécessaire de protéger les membres des chevaux en les équipant de bandes, protections ou cloches dans les deux procédures. Il est important de réaliser l'examen sur un cheval bien entrainé, mais qui n'est pas fatigué par un effort intense récent (séance d'entrainement, compétition), pour ne pas augmenter le risque de blessure (Parente, 1998). Des cas de blessures ont été rapportées sur tapis roulant, mais contrairement aux à priori qu'ont souvent les propriétaires de chevaux, les accidents restent très rares, et sont souvent de simples lésions mineures des tissus mous (Lane et al., 2006). Un traumatisme ou une lésion des tissus mous peut également avoir lieu lors d'un examen sur le terrain.

iv. Qualité de l'image

Lors d'endoscopie sur tapis roulant, on utilise les mêmes endoscopes flexibles que ceux utilisés lors d'un examen endoscopique au repos : les images obtenues sont moins stables et plus floues que celles obtenues par l'endoscope embarqué plus rigide, et ainsi plus fixe dans le nasopharynx (Pollock et al., 2009).

Ce sont ces différents inconvénients du tapis roulant qui ont poussé les ingénieurs à développer l'endoscopie embarquée. Mais celle-ci présente elle aussi quelques points faibles.

b. Limites de l'endoscopie sur le terrain

a) Qualité de l'image

La rigidité de l'endoscope embarqué offre souvent une meilleure qualité d'image qu'un endoscope flexible utilisé sur tapis roulant. Mais l'image peut être rendue floue par des mouvements de l'endoscope suite à une mauvaise fixation au filet, ou par une trop grande quantité de mucus accumulée devant l'extrémité distale de l'endoscope. Ceci rend indispensable la présence du système de pompe automatique (Pollock et al., 2009).

La qualité de l'image peut également être altérée par un mauvais placement de l'endoscope au début de l'examen. Il est ensuite difficile de le replacer correctement lorsque l'on est sur le terrain, et il est évidemment impossible de modifier sa position sur un cheval lancé au galop comme il est possible de le faire sur tapis roulant. Le positionnement initial de l'extrémité distale de l'endoscope est primordial pour la réussite de l'examen (Tamzali et al., 2008).

b) Complications

La mise en place de l'endoscope embarqué peut provoquer en début d'examen une réticence du cheval à avancer mais il est en général bien toléré par la suite (Pollock et al., 2009). Quelques complications mineures peuvent survenir lors de son utilisation : toux, éternuements, jetage séreux, épistaxis provenant d'un saignement des cavités nasales ou de l'ethmoïde lors de mauvaises manipulations (retrait trop rapide de l'endoscope dans la position encore fléchie nécessaire au bon positionnement dans le pharynx) ou chute du cavalier (Desmaizières et al., 2009). Lors de la chute du cavalier, il existe un système de sécurité qui permet de décrocher l'endoscope du sac à dos et éviter toute blessure du cheval ou du cavalier et/ou tout dommage pour le matériel.

c) Vitesse et seuil de fatigue non atteints

Dans une récente étude, il a été montré que certaines anomalies, comme le déplacement dorsal du voile du palais ou l'hémiplégie laryngée, peuvent être sous diagnostiquées lors de l'endoscopie embarquée par rapport à une évaluation sur tapis roulant, notamment chez le cheval de course (Allen et al., 2010).

Ceci s'explique par le fait que le tapis roulant permet d'obtenir des vitesses bien supérieures et, en augmentant l'inclinaison du tapis, d'atteindre rapidement un seuil de fatigue qu'il n'est pas toujours possible d'atteindre dans les conditions d'entrainement sur le terrain. Le tapis roulant permet alors de reproduire les conditions de fatigue identiques à celles retrouvées lors des courses.

d) Absence de reproductibilité des conditions

L'évaluation sur le terrain présente également l'inconvénient de la difficulté de reproduction des conditions pour un même cheval à plusieurs jours d'intervalle et entre plusieurs chevaux (climat, surface, terrain) et donc une absence de standardisation des tests réalisés (Evans, 2004).

Malgré quelques inconvénients, l'endoscopie embarquée semble une méthode d'avenir dans l'évaluation des anomalies des voies respiratoires supérieures à l'effort, qui sera accessible en pratique courante sur le terrain, à l'inverse du tapis roulant peu pratique et plus coûteux. C'est pourquoi il a été utilisé dans l'étude clinique qui sera présentée par la suite.

3. Utilisation pratique de l'endoscope embarqué

Après avoir développé l'historique et les indications de l'utilisation de l'endoscopie embarquée, nous allons étudier le matériel utilisé et le déroulement de cet examen (préparation du cheval, enregistrements, visualisation des vidéos).

a. Matériel et équipement

Il existe aujourd'hui plusieurs endoscopes embarqués disponibles sur le marché vétérinaire. Nous ne présenterons que le matériel qui sera ensuite utilisé dans le cadre de l'étude clinique, c'est-à-dire l'endoscope produit par la société Optomed, basée en France (*cf coordonnées page 120).*

Le DRS (Dynamic Respiratory Scope) produit par Optomed est un système de vidéo-endoscopie dont les principaux composants sont (Optomed, 2012) :

- Un vidéoendoscope innovateur (*figure 7*) : c'est une sonde malléable semi-rigide, stable lors d'un exercice, d'un diamètre de 9,8 mm et composée d'une tête auto-éclairante avec diodes LEDS (*Light Emitting Diodes*) de nouvelle génération, qui évite la nécessité d'une source lumineuse lourde et consommatrice d'énergie (*figure 7*). La sonde est équipée d'un capteur CCD 1/6'' de haute sensibilité, au système de béquille intégré avec angulation possible de 80°. L'image formée est composée de 480 000 pixels.

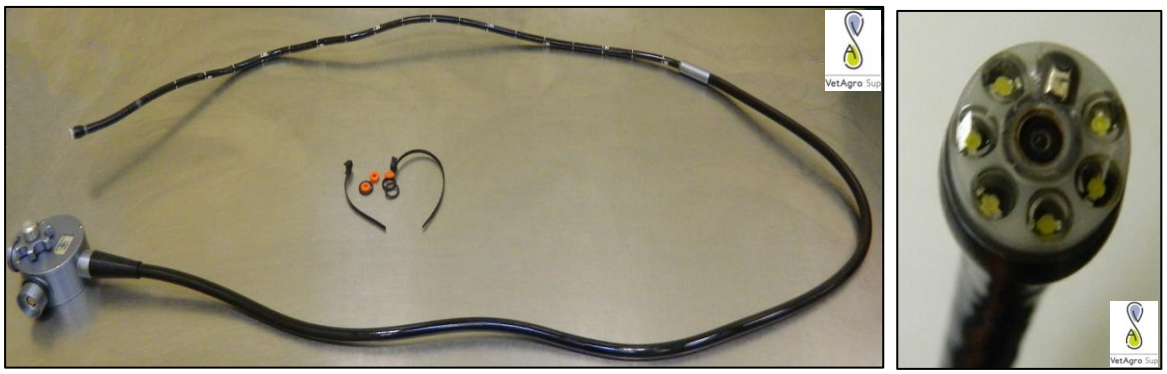


Figure 7 : Vidéoendoscope malléable et semi-rigide de 9,8 mm de diamètre et élastiques permettant sa fixation à la bride et au sac fixé au surfaix avec zoom sur la tête auto-éclairante équipée de diodes LEDS (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*)

- Une boite PVC de 3kg contenant les appareils électroniques comme le processeur et la batterie. Le processeur propose deux niveaux de puissance lumineuse (on peut en réduire l'intensité lors de la mise en place du matériel pour réduire la consommation de la batterie). La température de couleur peut être choisie (4000-6000 K) et permet d'avoir une qualité d'image dite équivalente à la lumière naturelle. La batterie possède une autonomie de 2h30min dans la dernière version du DRS.

- Une bride spécifique au DRS (*figure 8*), avec système de fixation atraumatique et réglable, respectant l'anatomie du cheval et qui convient aux chevaux de format standard. Elle permet une parfaite fixité de la sonde grâce à deux clips.

Figure 8 : Bride spécifique et adaptée au DRS, avec deux clips permettant la fixité de l'endoscope (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*)

- Le module émetteur et enregistreur (*figure 9*) est composé d'un système d'enregistrement à la fois du son et de l'image et d'une carte SD (Secure Digital) au format MPEG4. Il existe un système de télétransmission qui retransmet l'image sur l'écran de contrôle et permet ainsi au vétérinaire de suivre le bon déroulement de l'enregistrement en direct au bord de la piste. L'appareil est équipé d'une télécommande qui permet d'initier et d'arrêter les enregistrements.

Figure 9 : Module émetteur/enregistreur contenant le système d'enregistrement et sa télécommande (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*)

- Un microphone permet d'enregistrer le son, ce qui permet de relier d'éventuels bruits respiratoires aux images obtenues.

- Un sac contient le récepteur et l'écran de contrôle (*figure 10*), il permet de contrôler le bon positionnement de l'endoscope lors de sa mise en place mais aussi lors du déroulement de l'examen. Il ne doit en aucun cas être utilisé seul pour le diagnostic : il faut visionner les vidéos *a posteriori*. L'écran de contrôle possède une télémétrie de 500m, la batterie possède également une autonomie de 2h30.

Figure 10 : Sac contenant récepteur et écran à gauche ; écran de contrôle à droite (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*)

- Un sac pour surfaix ou pour le dos du cavalier (*figure 11*) : les modules émetteur et enregistreur sont glissés dedans et reliés entre eux. On peut ensuite fixer ce sac au surfaix ou au dos du cavalier, de manière à ce qu'il ne bouge pas pendant l'examen.

Figure 11 : A gauche, sac à dos pour le cavalier et à droite, système de fixation au surfaix à l'aide de crochets et de sangles (*images VetAgro Sup – C. Bouvet*)

- Un système de pompe automatique (*figure 12*) est intégré : des tubulures relient la pompe, le flacon d'eau déminéralisée (évite le dépôt de tartre) et l'endoscope. La fréquence de lavage est réglée à 30 secondes. Le débit est de 1,5 ml quand il est déconnecté de l'endoscope et de 0,8 ml quand il est connecté. La durée du lavage est de 1 à 3 secondes, ce qui permet un volume de 0,8 à 2,4 ml environ.

Figure 12 : Système de lavage automatique : flacon d'eau déminéralisée fixé à la pompe, elle-même reliée à la batterie et à l'endoscope (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*)

b. Préparation du cheval

a) Contention

Si possible, il est préférable d'utiliser un licol plutôt qu'un filet car le mors stimule les mouvements de la mâchoire, la salivation et la déglutition (Cook, 1970) : il est susceptible de modifier la mobilité du palais mou ou l'ouverture des orifices pharyngiens.

i. Contention physique

La principale difficulté lorsque l'on introduit l'endoscope est le passage des dix premiers centimètres de la cavité nasale, qui est la partie la plus sensible : passée cette difficulté, la plupart des chevaux restent calmes.

Lors de l'introduction de l'endoscope dans la narine du cheval, on peut utiliser un moyen de contention physique comme un pli de peau à l'encolure, tenir l'oreille ou utiliser un tord nez. Le tord nez permet de stabiliser les mouvements du cheval et doit être disposé de manière à permettre l'introduction de l'endoscope dans le naseau du cheval (*figure 13*).

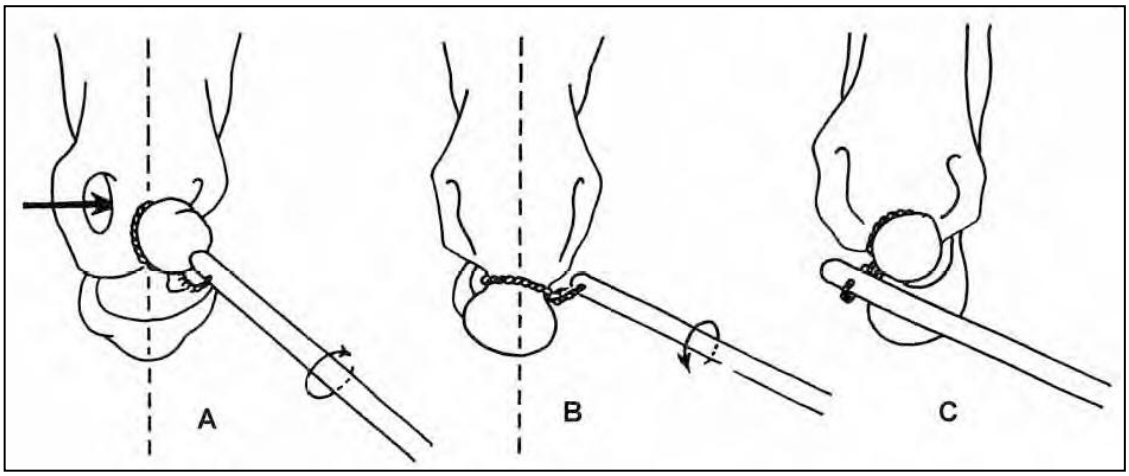


Figure 13 : Schéma montrant la mise en place correcte (A) ou incorrecte (B et C) du tord-nez pour permettre un passage dans la narine droite (d'après Cook, 1970)

Des études ont tenté de montrer que le tord-nez n'a aucune influence sur le fonctionnement laryngé et notamment sur les cartilages aryténoïdes et peut être utilisé lors de l'observation endoscopique (Archer et al., 1991).

Lane (1997) décrit cependant le cas de chevaux nerveux où l'utilisation du tord nez provoque un déplacement dorsal artéfactuel du voile du palais et une abduction permanente des cartilages aryténoïdes. On peut, par extension, imaginer une éventuelle modification de l'ouverture des poches gutturales due à l'utilisation du tord nez. Mais une fois l'endoscope placé dans le nasopharynx, on peut relâcher progressivement le tord-nez et permettre ainsi la relaxation du larynx et du pharynx.

ii. Contention chimique

Pour obtenir la meilleure évaluation fonctionnelle possible, aucune sédation n'est utilisée : en effet, il a été prouvé que la tranquillisation rend l'examen dynamique difficilement interprétable car elle est susceptible d'entrainer une mauvaise abduction des cartilages aryténoïdes, notamment le gauche, mais aussi de modifier la dynamique du voile du palais et le tonus du pharynx (Lindegaard et al., 2007). Par extension, la sédation peut être susceptible de modifier l'ouverture des orifices pharyngiens.

De plus, on ne peut pas demander à un cheval sous sédation de fournir ensuite un effort, étant donné le risque de chute dû à la diminution de la vigilance et l'ataxie produites par le sédatif.

b) Mise en place de l'endoscope

La mise en place de l'endoscope se fait dans un lieu fermé et au calme (box, salle) sur le cheval déjà harnaché (bride et surfaix ou selle). On prépare le cheval à la mise en place de l'endoscope en pulvérisant dans la narine un spray anesthésique local (lidocaïne, Xylocaïne 2% ®).

On introduit l'endoscope dans la narine droite du cheval, parallèlement à l'axe des cavités nasales, via le méat nasal ventral : celui-ci est beaucoup moins sensible par son innervation que le méat nasal dorsal (Cook, 1974). L'extrémité de l'endoscope doit suivre le plancher du vestibule nasal, ce qui évite sa pénétration dans le diverticule nasal, ou fausse narine, situé caudo-dorsalement (Sautet, 1989).

L'introduction doit être rapide dans les dix premiers centimètres, c'est la zone la plus sensible et les chevaux sont susceptibles de réagir en levant la tête ou plus violemment, en jetant un antérieur vers l'avant (Gaillard-Lavirotte et Cadoré, 2004). Elle se fait sous contrôle endoscopique de manière à le placer pour une visualisation optimale des structures à observer.

c) « Branchements » et réglages

L'endoscope est ensuite replié sur la narine de manière à être fixé sur la bride par les clips et les élastiques. La fixité et le positionnement initial de l'endoscope sont particulièrement importants puisqu'ils définissent le positionnement de l'image sur l'écran tout au long de l'examen.

L'endoscope est ensuite fixé et branché à l'émetteur grâce à des élastiques, on le relie également au système de pompe et d'insufflation, qui est alors mis en route et fonctionne de façon automatique pendant tout l'examen.

Le sac contenant l'émetteur et l'enregistreur est alors fixé au surfaix, au sulky (*figure 14*) ou au dos du cavalier (*figure 15*).

Figure 14 : Fixation de l'endoscope au sulky (d'après Desmaizières et al., 2009)

Figure 15 : Fixation de l'endoscope sur le cavalier (d'après Desmaizières et al., 2009)

d) Exercice et valeurs enregistrées

Avant tout examen, il est nécessaire de noter les commémoratifs et surtout l'anamnèse du cheval : le diagnostic s'il y en a eu un et les différents traitements qui ont pu être mis en place. Chaque cheval subit également un examen clinique approfondi.

Lors de chaque examen, il faut noter le poids du cavalier et du matériel, les harnachements utilisés (embouchure, martingale,…), les conditions climatiques afin de pouvoir analyser leur éventuelle influence sur les images obtenues ou de les comparer avec celles obtenues dans des conditions différentes.

L'exercice demandé est variable selon la race, la discipline et le niveau de performances de chaque cheval. Les cavaliers ou jockeys doivent monter ou mener leur cheval de la même manière que lorsque l'anomalie (bruit ou mauvaise performance) a lieu, dans le but de reproduire au mieux les conditions. L'effort consiste le plus souvent en un échauffement de 5 à 10 minutes puis d'un effort à haute vitesse pour les chevaux de course ou d'un exercice particulier pour les chevaux de selle (figures de dressage, parcours d'obstacles).

L'enregistrement peut être démarré et arrêté grâce à la télécommande. Les images endoscopiques sont enregistrées sur une carte mémoire SD pour permettre une visualisation ultérieure : les anomalies recherchées sont souvent d'une durée très brève, de l'ordre de la seconde, il est donc indispensable de pouvoir visualiser les images au ralenti pour ne rien rater. La visualisation en temps réel sur l'écran de contrôle peut se faire du centre de la carrière pour les chevaux de selle, ou en voiture sur une piste parallèle pour les chevaux de course.

Toute complication, qu'elle concerne l'équipement, le cheval ou le cavalier doit être notée. Toute modification dans la conduite ou dans la monte (angle de la nuque par exemple) est également notée pour identifier les éventuelles conséquences sur les voies respiratoires supérieures en rapport (Van Erck, 2011). A la fin de l'examen, il peut être intéressant de noter les observations faites par le cavalier ou le driver (Pollock et al., 2009).

Lors de la visualisation *a posteriori*, les enregistrements sont visionnés à la vitesse de lecture normale, au ralenti, voire image par image dans certaines situations de durée très courte, si possible par au moins deux personnes qui n'ont pas connaissance de l'anamnèse du cheval.

c. Association avec un système de GPS

Pollock et al. (2009) étudient l'utilisation en complément du DRS d'un GPS (*Global Positioning System*). Ce système permet de mesurer les différentes variables que sont la vitesse, l'altitude et la distance parcourue.

Dans cette étude, la vitesse maximale moyenne atteinte par les chevaux est de 51,3 km/h, vitesse comparable à celle obtenue sur tapis roulant. En ce qui concerne la pente, elle atteint les 3% recommandés sur tapis roulant pour provoquer une réponse cardiaque identique aux conditions de terrain. Elle n'atteint pas les 10% parfois utilisés sur tapis roulant, mais il faut tenir compte du fait que le cheval porte en plus le cavalier et le matériel.

On peut mesurer les vitesses atteintes lors de l'effort, et relier une réduction brutale de la vitesse à l'apparition d'anomalies des voies respiratoires supérieures. Ce système permet aussi de reproduire les conditions (vitesse, altitude, distance) entre différents tests ou différents chevaux. D'un point de vue pratique, pour obtenir les meilleurs résultats avec le GPS, il est nécessaire d'éviter tout virage serré et de réaliser l'examen en extérieur pour permettre une bonne communication entre le récepteur et les satellites.

Le GPS peut ainsi être associé à l'endoscopie embarquée pour obtenir des informations supplémentaires, sur la vitesse du cheval notamment.

4. Conclusion sur l'endoscopie embarquée

En conclusion, l'endoscopie embarquée apparait comme une alternative très intéressante à l'endoscopie sur tapis roulant dans l'évaluation des voies respiratoires supérieures chez le cheval et dans le diagnostic précis des obstructions dynamiques responsables de mauvaises performances. C'est une méthode qui pourra être utilisée dans la pratique courante directement sur le terrain, et qui, hormis l'investissement initial, est beaucoup moins onéreuse et accessible aux propriétaires de chevaux de course mais aussi de chevaux de sport et de loisir.

Comme nous le verrons dans une troisième partie, l'endoscope embarqué est également un outil très intéressant dans l'observation des voies respiratoires supérieures dans le cadre de la recherche, et qui peut notamment être utilisé dans l'exploration du fonctionnement et du rôle des poches gutturales, via l'observation des orifices pharyngiens présents dans le nasopharynx.

II. Quel rôle pour les poches gutturales ?

Avant de présenter les différentes fonctions attribuées aux poches gutturales et le rôle des orifices pharyngiens dans l'étio-pathogénie des affections qui les touchent, nous allons commencer par rappeler l'anatomie du pharynx et des poches gutturales.

A. Anatomie et physiologie de la région du pharynx

1. Le pharynx

Le pharynx est le carrefour entre les voies digestives et les voies respiratoires. Il relie entre autre l'isthme du gosier à l'œsophage et a pour rôle le transport du bol alimentaire préparé dans la bouche. Il possède un rôle primordial dans la déglutition : la phase qui fait passer les aliments de la bouche au pharynx est volontaire, tandis que la deuxième phase, appelée pharyngo-œsophagienne est totalement involontaire. Le pharynx possède également un rôle dans la respiration du fait de sa position intercalée sur la voie respiratoire entre les choanes et le larynx. Il est également le site de communication avec l'oreille moyenne via les poches gutturales.

a. Conformation externe

Le pharynx est un organe musculo-membraneux en forme d'entonnoir. Sa forme varie selon que les muscles qui le forment soient contractés ou relâchés. On y trouve quatre faces et deux extrémités (Barone, 1997) :

- L'extrémité rostrale, large, communique dorsalement avec les cavités nasales par les choanes, et ventralement avec la cavité buccale par l'isthme du gosier (constitué des arcs palato-glosses et de la racine de la langue)
- L'extrémité caudale se rétrécit et se continue par l'œsophage
- La face dorsale arrondie, présente un raphé médian fibreux, le fascia pharyngo-basilaire, qui constitue la charpente sur laquelle se portent les muscles pharyngiens et permet l'attache du pharynx à l'os sphénoïde
- Les faces latérales sont en rapport avec les poches gutturales
- La face ventrale est virtuelle ; le plancher pharyngien est constitué d'organes qui ne lui sont pas propres : le palais mou, la racine de la langue, l'entrée du larynx et le récessus qui l'entoure

b. Conformation interne

Le pharynx du cheval est relativement étroit et se divise en trois parties topographiques et fonctionnelles (*figure 16*) :

- le nasopharynx, la portion rostrale et dorsale au palais mou, uniquement respiratoire
- l'oropharynx, portion intermédiaire qui prolonge l'extrémité caudale de la bouche
- le laryngopharynx, portion caudale située dorsalement au larynx et qui se continue par l'œsophage (Barone, 1997)

Chez les Equidés, le palais mou, très long embrasse de manière étroite la base de l'épiglotte au repos, l'oropharynx est ainsi moins nettement individualisé, sauf rostralement où le gosier semble annexé à la cavité orale. Cette disposition du palais rend la respiration orale impossible et le vomissement, très rare, s'effectue par voie nasale (Dupuis, 2006).

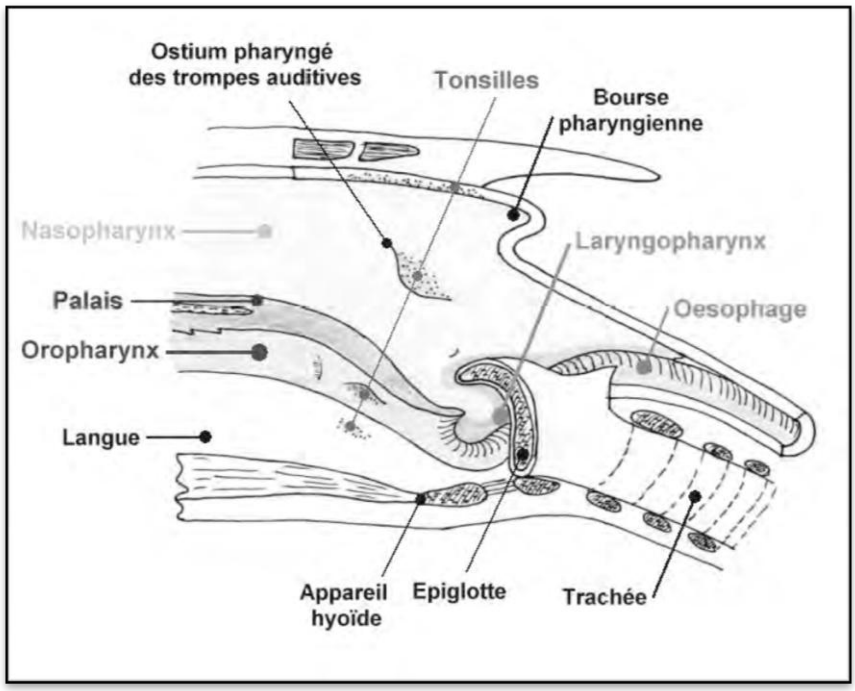


Figure 16: Schéma d'une coupe sagittale du pharynx d'un cheval (d'après Barone, 1997)

a) Le nasopharynx

Le nasopharynx, ou rhinopharynx, est la partie la plus développée du pharynx chez les mammifères domestiques, elle s'étend des choanes jusqu'à l'ostium intra-pharyngien. Sa paroi dorsale présente une partie rostrale dont la muqueuse est adossée directement à la base du crâne et appelée le fornix du pharynx.

On observe également chez les Equidés un récessus dorsal bien développé, situé rostralement et contre l'os sphénoïde, appelé récessus pharyngien, où s'ouvre de façon inconstante une étroite invagination canaliforme appelée bourse pharyngienne (Barone, 1997).

Les parois latérales, en continuité avec la paroi dorsale, portent chacune l'orifice pharyngien de la poche gutturale, allongé en forme de fente, situé presque à l'aplomb de la pointe de l'épiglotte. Dorso-caudalement, le cartilage de la trompe forme sous la muqueuse un relief, le torus tubaire, alors que rostro-ventralement un autre relief formé par le muscle élévateur du voile du palais, constitue le torus de l'élévateur.

La paroi ventrale du nasopharynx est quant à elle formée par le palais mou.

b) L'oropharynx

C'est la partie orale du pharynx en contact avec le bol alimentaire, divisée en deux portions très différentes par l'extrémité caudale du voile du palais (Barone, 1997).

Le gosier ou arrière-bouche, est un canal étroit entre la racine de la langue et le voile du palais, qui communique avec la bouche par l'isthme du gosier et est délimité de chaque côté par les arcs palato-glosses. Cette cavité est virtuelle au repos et communique avec le reste du pharynx par une mince fente transversale en forme d'arc située entre le bord libre du voile du palais et la vallécule épiglottique. Les parois latérales du gosier sont marquées par une dépression, entre les arcs palato-glosse et palato-pharyngien, la fosse tonsillaire qui contient une importante formation lymphoïde, la tonsille palatine.

Caudalement au voile du palais, l'oropharynx proprement dit communique avec le nasopharynx par l'ostium intra-pharyngien. Cet ostium, d'environ cinq centimètres de diamètre, est délimité de chaque côté par un arc palato-pharyngien qui part du bord correspondant au voile du palais, se dirige caudalement et rejoint son opposé sur la paroi dorsale du pharynx (Baker, 1997).

c) Le laryngopharynx

La partie laryngienne du pharynx ou laryngopharynx s'étend autour de l'entrée du larynx, depuis la base de l'épiglotte jusqu'à l'entrée de l'œsophage. On y trouve trois éléments (Dupuis, 2006) :

- La vallécule épiglottique est un large sillon entre l'épiglotte et la racine de la langue
- Le récessus piriforme est une profonde gouttière qui continue l'extrémité de la vallécule épiglottique pour aller près de l'entrée de l'œsophage où elle rejoint celle du côté opposé
- Le vestibule de l'œsophage, entonnoir localisé dorsalement et caudalement à l'entrée du larynx, est le lieu de passage des aliments lors de la déglutition, l'air n'y circule pas ; il peut être qualifié de partie œsophagienne du pharynx (*figure 17*)

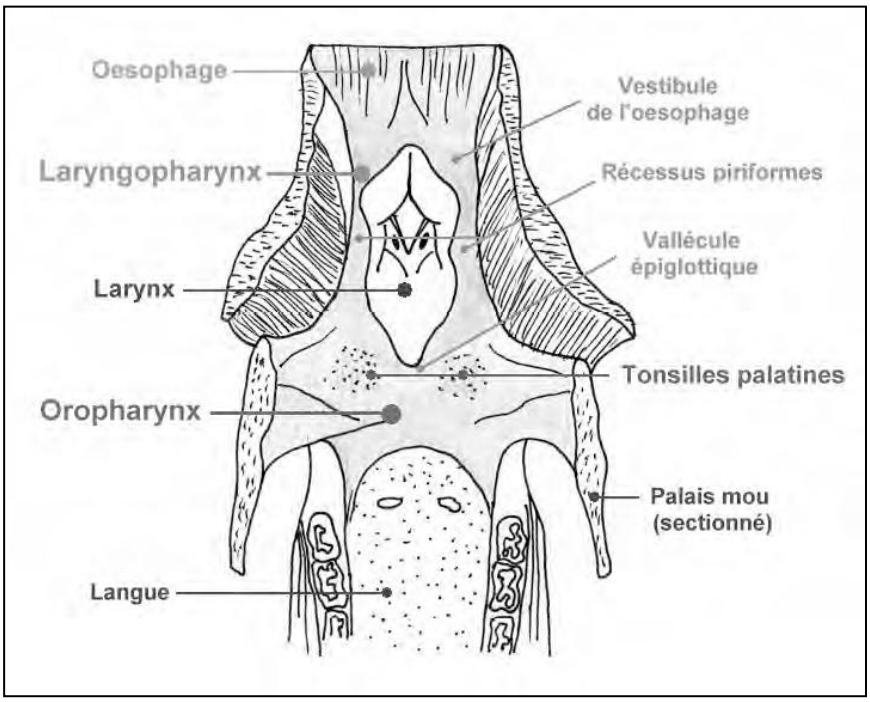


Figure 17: Schéma du pharynx d'un cheval après section de sa paroi dorsale et du voile du palais (d'après Barone, 1997)

d) La muqueuse

La muqueuse du pharynx est en continuité avec celle de la bouche, du nez, des trompes auditives, du larynx et de l'œsophage. Elle est grisâtre à blanchâtre, avec un épithélium relativement épais. La muqueuse est dépourvue de musculeuse, et repose sur une sous-muqueuse constituée d'une fine couche de fibres élastiques et collagènes.

La nature de l'épithélium est variable selon la portion. La démarcation entre les deux types est difficilement observable à l'œil nu et se fait approximativement au niveau de l'ostium intra-pharyngien. L'épithélium est :

- De type respiratoire dans le nasopharynx, soit pseudo-stratifié, cylindrique et cilié (*figure 18*)

Figure 18 : Epithélium de type respiratoire pseudo-stratifié avec les cellules basales (1), les cellules sécrétrices (4,8) qui reposent sur la membrane basale (2) (d'après Bacha et Bacha, 2000)

- De type digestif dans l'oropharynx et le laryngopharynx, c'est-à-dire stratifié et pavimenteux (*figure 19*)

Figure 19 : Epithélium de type digestif stratifié et pavimenteux (5) (d'après Bacha et Bacha, 2000)

Une caractéristique importante de la muqueuse du pharynx est qu'elle contient des formations lymphatiques qui constituent dans certaines régions, les tonsilles, anciennement appelées amygdales (Barakzai, 2007):

- Tonsilles palatines (ou "amygdales") dans les dépressions situées en arrière des arcs palato-glosses (*figure 20*)
- Tonsilles pharyngiennes dans la bourse du pharynx
- Tonsilles tubaires au niveau des orifices pharyngés des trompes auditives

Figure 20 : Tonsille palatine avec un épithélium stratifié (11), du tissu lymphatique diffus (5), des nodules lymphatiques (7) et des cryptes (3) (d'après Bacha et Bacha, 2000)

e) Les muscles du pharynx

Le pharynx est constitué d'une tunique musculaire formée de six paires de muscles constricteurs et d'une paire de muscles dilatateurs et élévateurs, les stylo-pharyngiens caudaux. Ceux-ci s'insèrent d'un côté sur l'os ptérygoïde, le palais mou, l'os hyoïde ou les cartilages du larynx et viennent se terminer sur le raphé médian du pharynx (Barone, 1997).

Parmi les différents muscles constricteurs, on distingue :

- Les muscles rostraux : palato-pharyngien et ptérygo-pharyngien
- Les muscles moyens : stylo-pharyngien rostral et hyo-pharyngien
- Les muscles caudaux : thyro-pharyngien et crico-pharyngien

On décrit ainsi sept muscles pharyngiens (*figure 21*) :

1. *Muscle palato-pharyngien* : il forme en partie le voile du palais, puis se prolonge dorso-caudalement sur la paroi latérale du pharynx où il rejoint le ptérygo-pharyngien. Il s'attache alors au bord rostral du cartilage thyroïde. Il a pour fonction de raccourcir le pharynx et resserrer la partie rostrale (Ducharme, 2012).

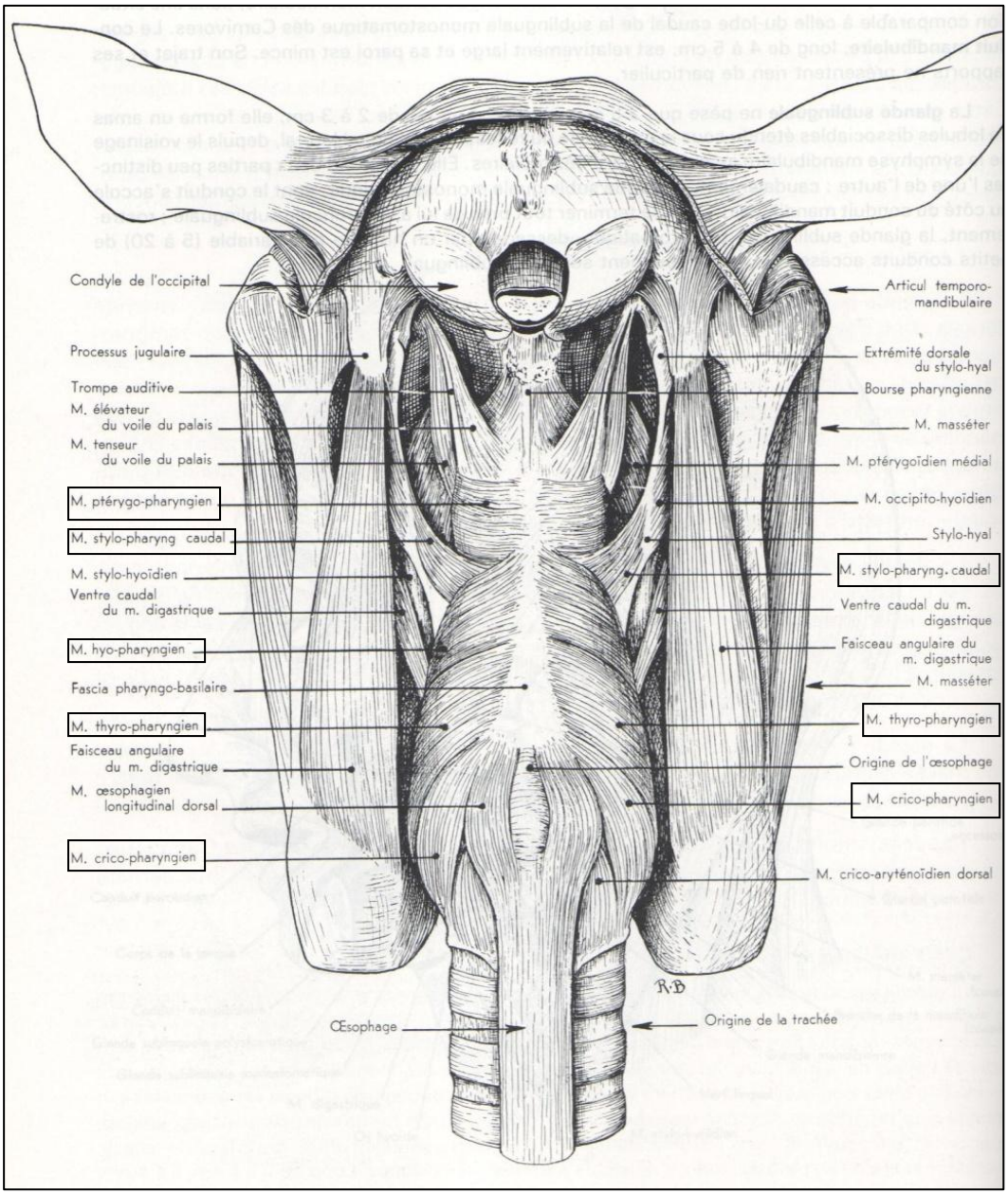


Figure 21 : Vue caudale du pharynx représentant les différents muscles pharyngiens (d'après Barone, 1997)

2. *Muscle ptérygo-pharyngien* : il prend origine sur la crête ptérygo-palatine, puis ses fibres rayonnent le long de la paroi latérale du pharynx. Il se termine en partie au niveau du raphé médian, au dessus des trompes auditives et en partie sur le cartilage thyroïde. Ses fibres transverses lui confèrent le rôle de muscle constricteur de la partie rostrale du pharynx tandis que ses fibres caudales raccourcissent l'organe et l'élèvent avec les larynx.

3. *Muscle stylo-pharyngien rostral* : il est présent de manière inconstante.

4. *Muscle hyo-pharyngien* : c'est un muscle relativement épais qui relie le cartilage thyroïde au raphé pharyngien. Il est directement constricteur de la partie moyenne du pharynx.

5. *Muscle thyro-pharyngien* : il prend origine sur la face externe du cartilage thyroïde pour se terminer dorso-médialement jusqu'au raphé.

6. *Muscle crico-pharyngien* : contrairement à d'autres espèces, il est isolable du muscle thyro-pharyngien chez les Equidés. Il s'attache au cartilage cricoïde pour se terminer sur la partie caudale du raphé, au dessus de l'œsophage. En association avec le précédent, il resserre l'extrémité caudale du pharynx et participe au passage du bol alimentaire dans le pharynx.

7. *Muscle stylo-pharyngien caudal* : il prend origine sur la face médiale de l'extrémité dorso-caudale du stylohyoïdeum. Il confond ensuite ses fibres avec celles du ptérygo-pharyngien sur le côté du pharynx et se termine sur le bord rostral du cartilage thyroïde et sur la muqueuse au-dessus de l'arc palato-pharyngien. Il a un rôle élévateur du larynx et raccourcit le pharynx. Son action dilatatrice du pharynx est peu efficace, elle est surtout rendue possible par la poussée transmise au bol alimentaire par la base de la langue (Ducharme, 2012).

f) Vaisseaux et nerfs

La principale artère du pharynx est l'artère pharyngienne ascendante, issue de l'artère thyroïdienne crâniale chez les Equidés. D'autres rameaux proviennent de l'artère carotide externe ou de ses collatérales. Le palais mou possède sa propre irrigation par l'artère palatine ascendante et l'artère palatine mineure, branche de l'artère palatine descendante (Barone, 1997).

Les veines forment un riche réseau sous la muqueuse (Barone, 1997). Différents rameaux perforants s'anastomosent en un plexus pharyngien d'où partent les veines pharyngiennes.

Les vaisseaux lymphatiques se divisent en deux réseaux qui vont aux nœuds lymphatiques rétro-pharyngiens médiaux (Barone, 1997) :

- Le premier réseau, muqueux, provient des tonsilles
- L'autre réseau, musculaire, est plus lâche. Certains de ses efférents vont aux nœuds lymphatiques cervicaux profonds crâniaux.

Les nerfs du pharynx proviennent des nerfs crâniens IX et X, ainsi que du système sympathique (Barone, 1997). Ils forment un plexus pharyngiens qui innerve les muscles, la muqueuse et ses annexes, ainsi que les vaisseaux :

- Le nerf glosso-pharyngien est responsable de la sensibilité de la région du palais mou et des trompes auditives et de la motricité des muscles palato-pharyngien, une grande partie ptérygo-pharyngien et stylo-pharyngien caudal
- Les rameaux pharyngien du nerf vague donnent la sensibilité à une grande partie de l'organe et la motricité des muscles constricteurs à l'exception des muscles rostraux (sauf une petite partie du ptérygo-pharyngien)
- Les rameaux sympathiques issus du ganglion cervical crânial contrôlent les phénomènes vasculaires et sécrétoires

2. La trompe auditive

La trompe auditive est un conduit musculo-membraneux par lequel communiquent le nasopharynx et l'oreille moyenne et qui équilibre la pression de chaque côté de la membrane du tympan. Ce conduit est d'une longueur d'environ 10 à 12 centimètres et prend une direction oblique caudalement, dorsalement et latéralement. Il est constitué de deux portions inégales : une portion osseuse très réduite, et une autre portion cartilagineuse plus longue.

La trompe s'élargit progressivement en direction du pharynx et s'ouvre dans sa paroi dorso-latérale par l'orifice pharyngien. La présence d'un repli muqueux transverse, appelé repli salpingo-pharyngien ou *plica salpingopharyngea*, rend la partie caudale du tunnel un peu plus étroite (Lepage, 1994). La présence de repli peut parfois compliquer la cathétérisation de la poche lors d'examen endoscopique (*figure 22*).

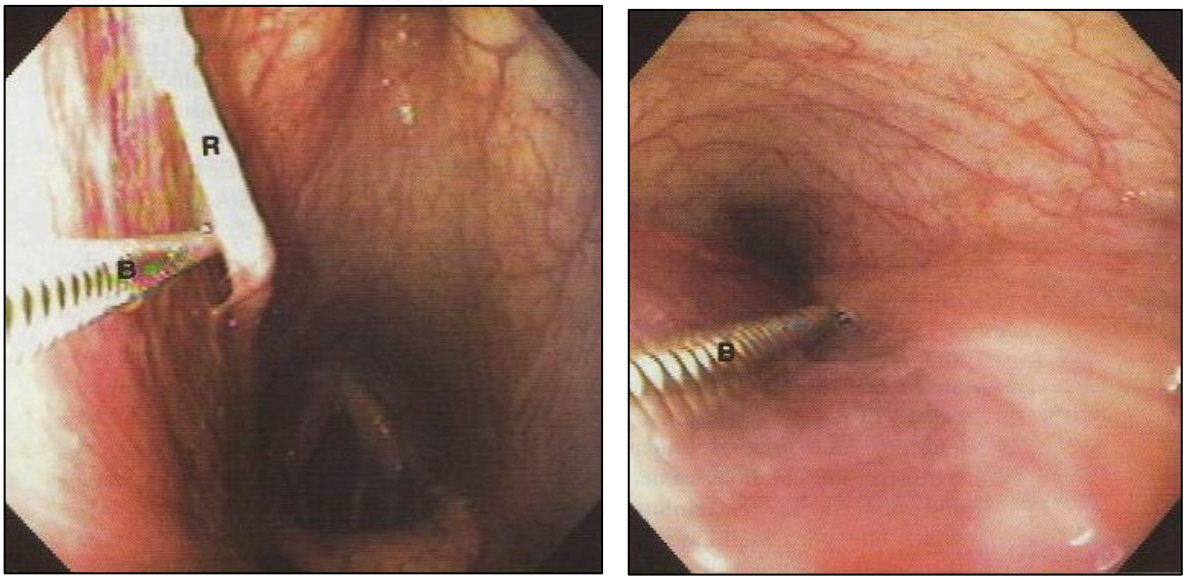


Figure 22: Vue endoscopique du clapet cartilagineux de l'orifice pharyngien (R) et du conduit de la trompe auditive par introduction d'une pince à biopsie (B) (d'après Holcombe et Schott, 1997)

Chez les chevaux, la particularité de la trompe est de s'ouvrir dans les poches gutturales, avec continuité de la muqueuse entre les deux organes (Piat, 2008). Elle possède un squelette cartilagineux en forme de gouttière dont la partie convexe s'attache sous le crâne et dont les bords libres constituent la lame interne et la lame externe. En région dorsale, la gouttière devient un canal osseux qui rejoint la caisse du tympan.

La lame externe, très courte, est complétée par les muscles tenseur et releveur du voile du palais (*tensor veli palatini* et *levator veli palatini*). Le plus interne est le releveur du voile du palais qui semblerait avoir un rôle constricteur de la trompe auditive. Latéralement à celui-ci, le muscle tenseur du voile du palais (MTVP) est considéré comme dilatateur de la trompe auditive.

Bien que la trompe auditive soit en continuité avec la poche gutturale sur toute sa longueur, il semblerait que les deux lames, appliquées l'une contre l'autre, empêchent la plupart du temps toute communication entre ces deux organes. Cet orifice a été décrit comme l'ostium de la poche gutturale par Baptiste (1997) : il permet l'échange d'air entre la poche gutturale, la trompe auditive et l'oreille moyenne.

3. L'orifice pharyngien de la trompe auditive (*ostium tubae auditivae*)

Les deux orifices sont formés d'une fente incurvée, à convexité antérieure et de direction oblique ventralement et caudalement (*figure 23*). Elle est délimitée latéralement par la paroi du pharynx et médialement par la partie la plus ventrale de la lame interne de la trompe auditive, qui forme un clapet cartilagineux nommé torus tubaire (Sautet, 1989).

Dans la poche gutturale, l'orifice pharyngien est situé en partie dorsale et en regard du compartiment médial. C'est ce qui fait que le drainage de la poche se fait difficilement, sauf si la tête est basse (Seahorn, 2004).

En moyenne, la taille des orifices chez le cheval est proportionnellement deux fois plus importante que dans les autres espèces domestiques (vache, cochon), ce qui semble excessif par rapport à la seule fonction d'équilibrage des pressions par la trompe auditive. Plus proche du bord caudal du palais dur que chez les autres espèces, les orifices sont situés plus rostralement dans le nasopharynx chez le cheval (Baptiste, 1997).

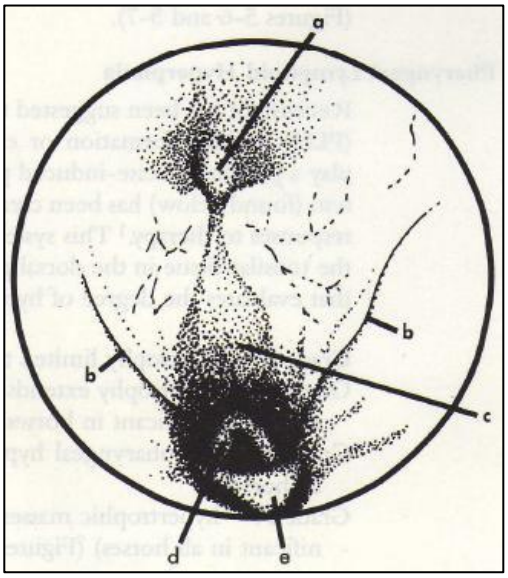


Figure 23: Schéma d'une vue endoscopique du nasopharynx (d'après Baker, 1997)

a. récessus dorso-pharyngien

b. orifices pharyngiens des trompes auditives

c. tonsille tubaire

d. cartilage aryténoïde

e. épiglotte

Il est intéressant de noter que, non seulement le rôle des poches gutturales est très discuté, mais qu'il existe également un débat sur la définition même de l'orifice pharyngien. En effet, alors que certains auteurs décrivent l'orifice pharyngien comme l'ouverture dans le nasopharynx plus la longueur entière du vestibule, d'autres le définissent seulement comme l'ouverture en forme de fente. Pour d'autres encore, l'orifice est situé à l'aspect le plus dorsal de la poche gutturale (Baptiste, 1997). Ces nombreuses incertitudes montrent que l'on ne connait que très peu cette région, des recherches seront encore nécessaires pour élucider ces mystères.

Pour conclure, l'anatomie et la physiologie du pharynx sont importantes à connaitre et à comprendre car ce dernier est le carrefour des voies respiratoires et digestives, mais il contient également l'entrée des poches gutturales, via les orifices pharyngiens. Le nasopharynx est ainsi le lieu idéal pour placer l'endoscope en vue d'observer le fonctionnement de ces orifices et tenter de trouver quel peut être le rôle des poches gutturales.

B. Anatomie et rapports des poches gutturales

Il est important de revoir l'anatomie et les rapports des poches gutturales, avec notamment les différentes structures vasculaires et nerveuses qu'elles contiennent pour pouvoir se faire une idée du rôle potentiel de ces organes.

1. Topographie

Les poches gutturales, structures propres aux Solipèdes, sont des diverticules des trompes auditives qui se trouvent entre le pharynx et le plancher crânien. La paroi des poches est formée par protrusion de la muqueuse de la trompe auditive. Les deux poches ne communiquent pas entre elles et sont séparées par un septum médian (SM). Elles ont chacune une capacité d'environ 300 à 500 ml d'air (Seahorn, 2004).

Accolées sur le plan médian, les deux poches se trouvent en région dorsale et latérale du pharynx, qu'elles séparent de la région occipito-atloïdienne et des régions sous-parotidienne et ptérygoïdienne (*figure 24*). Elles occupent ainsi l'espace laissé libre entre les deux branches de l'hyoïde, le pharynx, la face inférieure du crâne et les muscles longs de la tête, et s'attachent de façon plus ou moins solide aux muscles et aux os qui les délimitent (Sautet et al., 1989).

Chaque poche est constituée de deux compartiments, séparés par l'os stylohyoïde : le compartiment médial, plus large, s'étend plus caudalement et ventralement que le compartiment latéral (Habel et King, 1975).

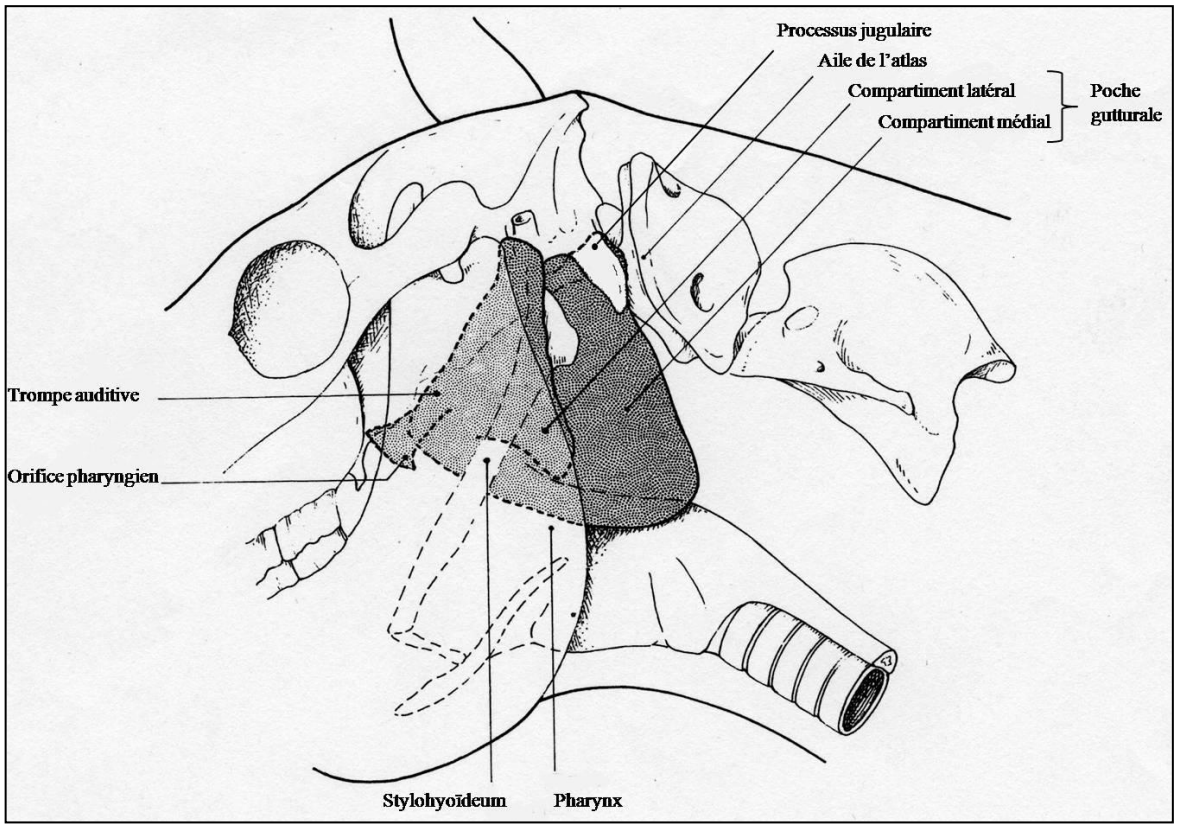


Figure 24 : Projection topographique de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982)

Pollock (2007) définit les limites de chaque poche :

- Rostralement, par l'os basisphénoïde
- Ventralement, par l'œsophage, les nœuds lymphatiques rétro-pharyngiens et le pharynx
- Dorsalement, par l'os temporal et la bulle tympanique
- Latéralement, par les muscles digastriques et ptérygoïdiens ainsi que par les glandes parotides et mandibulaires qui définissent leur forme
- Médialement, les deux poches s'adossent par un septum inter-guttural, formé des muqueuses des deux poches, une fine lame de tissu conjonctif et des muscles long de la tête et droit ventral de la tête (Lepage, 1994)

La forme irrégulière de la poche gutturale lui est imposée par les organes qui l'entourent : une fois libérée de ses attaches et gonflée d'air, on lui décrit une « forme propre ». Elle apparait alors comme un sac attaché à la trompe auditive, dont on décrit quatre coins (Piat, 2008) :

- Le coin caudo-dorsal est le cul-de-sac occipito-atloïdien
- Le coin caudo-ventral est le cul-de-sac carotidien
- Le coin rostral correspond au cul-de-sac pharyngien
- Le coin rostro-latéral est un appendice du précédent et définit l'extrémité rostrale du compartiment latéral de la poche

2. Structure et histologie

La paroi des poches gutturales est constituée d'une muqueuse fine, qui est dans le prolongement de celle des trompes auditives et qui recouvre tous les organes alentours.

Son épaisseur varie de 0,1 à 0,5 mm : elle est épaisse et plus riche en tissus graisseux quand elle s'applique de manière lâche sur des formations mobiles comme le pharynx ou la carotide. Elle devient plus fine quand elle est en rapport étroit avec des structures fixes comme l'os hyoïde ou la face inférieure du crâne.

Identique à celle de la trompe auditive, l'histologie de la muqueuse de la poche gutturale est de type respiratoire (Piat, 2008) :

- L'épithélium est cylindrique, stratifié, cilié et contient des cellules à mucus
- Le tissu conjonctif sous-jacent est composé d'une couche sous-épithéliale et d'une couche glandulaire
- Les glandes sont de type tubulo-acineux, principalement muqueuses, disposées en traînées ou en amas
- L'adventice est constitué d'un tissu conjonctif lâche, aux nombreuses fibres élastiques réparties en plusieurs couches (*figure 25*)

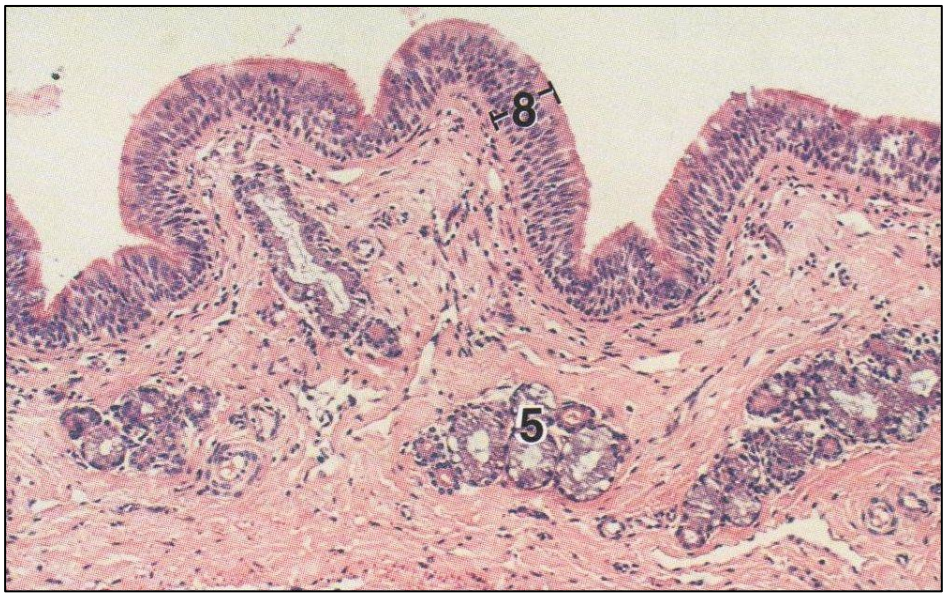


Figure 25 : Histologie de la muqueuse de la poche gutturale avec un épithélium stratifié (8) et des glandes (5) situées dans la *lamina propria* (d'après Bacha et Bacha, 2000)

3. Anatomie et rapports des poches gutturales

Chaque poche gutturale est divisée en deux parties par une profonde dépression qui loge l'os stylohyoïde. On définit ainsi un compartiment latéral et un compartiment médial, de plus grande taille (Denoix, 1982).

a. Compartiment médial

On peut le décrire par un triangle rectangle dont l'angle droit est formé par le cul-de-sac sous condylien et dont la base repose sur le pharynx. On parle alors de deux faces, trois bords et trois angles. Le compartiment médial est d'une longueur de 11 à 12 cm pour une largeur de 4 cm et une hauteur de 10 à 11cm (Piat, 2008).

a) La face latérale

Elle est en rapport avec des os, des muscles, des vaisseaux et des nerfs (*figure 26*) :

- Elle repose ventralement sur la moitié supérieure interne du stylohyoïdeum et dorsalement, sur la face interne du processus jugulaire de l'os occipital
- Elle recouvre les muscles occipito-hyoïdien (MOH), stylo-hyoïdien (MSH), stylo-pharyngien (MSP) et une partie du muscle digastrique (MD)
- Caudo-ventralement, elle est délimitée par l'extrémité postérieure de la glande maxillaire
- Elle est marquée en région ventrale par la trifurcation carotidienne. La limite caudale de cette face est formée par l'artère occipitale tandis que la limite ventrale est constituée de l'artère carotide externe (ACE)

- Le sillon de l'artère carotide externe croise obliquement le sillon des nerfs glosso-pharyngiens et hypoglosse. Celui-ci se confond ensuite avec le sillon du tronc linguo-facial (TLF) qui suit une direction ventro-crâniale le long de la moitié ventrale de cette face (Denoix, 1982)

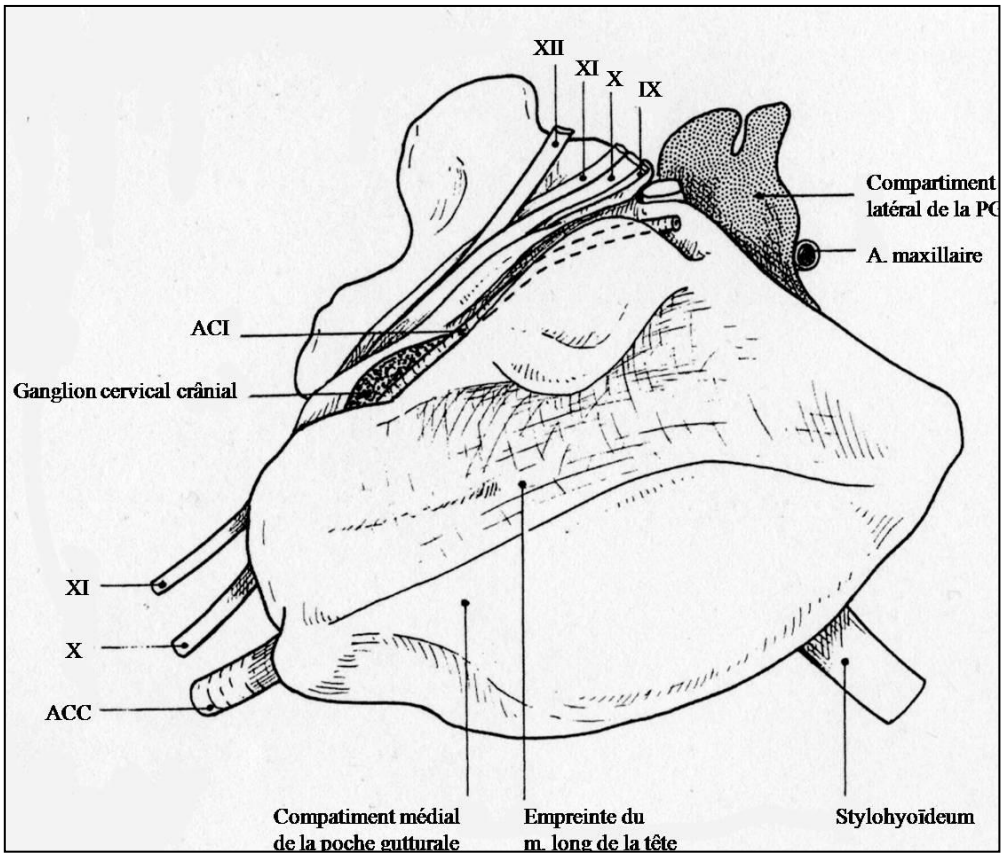


Figure 26 : Vue médiale de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982)

b) La face médiale

La face médiale s'adosse sur le plan sagittal et par sa moitié ventrale à la face médiale du compartiment médial de la poche opposée. Les deux parois forment ainsi une cloison appelée septum médian et qui constitue un véritable « médiastin » des deux poches gutturales (Piat, 2008).

Elle repose en avant sur le récessus dorsal du pharynx et en arrière, sur le muscle long de la tête. En son milieu, elle se moule largement sur le muscle droit ventral de la tête et le tendon terminal du muscle long de la tête. Ce muscle, dont l'insertion se fait en partie sur l'os basisphénoïde, est le plus important des trois muscles fléchisseurs de la tête.

Plus dorsalement, la paroi forme le plus souvent un pli unique et profond, parfois deux plis parallèles, où viennent se loger l'artère carotide interne et le ganglion cervical crânial du système sympathique d'un côté, et les quatre derniers nerfs crâniens que sont le glosso-pharyngien, le vague, l'accessoire et l'hypoglosse (Denoix, 1982). Ce pli vient ensuite croiser de manière oblique le bord caudal de la poche gutturale, en prenant une direction ventro-latérale.

On peut décrire précisément les structures vasculaires et nerveuses présentes (*figure 27*), au vu de leur disposition complexe et de leur rôle dans les affections des poches gutturales (Piat, 2008) :

- L'artère carotide interne (ACI) se dirige dorsalement depuis la trifurcation carotidienne vers le foramen carotidien, recouverte le long de son trajet par le repli muqueux qui lui permet de faire saillie dans le compartiment médial. Avant d'atteindre le plafond de la poche, elle prend une inflexion sigmoïde.
- Le ganglion cervical crânial, de taille de 1 à 2 cm, s'applique à l'arrière de l'artère carotide interne. De nombreux rameaux sympathiques sont émis et s'anastomosent rapidement avec les nerfs crâniens présents dans la région (vague, hypoglosse et rameau du sinus carotidien).
- Le nerf vague est caudal au ganglion cervical crânial et n'est pas en rapport avec la poche à cette hauteur-là. Il y émet cependant le rameau pharyngien, qui longe la paroi interne de la poche, dans le repli en avant de l'artère carotide interne. Ventralement, ce rameau émet un autre rameau, œsophagien, qui prend une direction convexe pour rejoindre l'œsophage. Le rameau pharyngien longe horizontalement la paroi interne en son milieu, passe le long du muscle long de la tête et alimente le plexus pharyngien, situé entre la poche gutturale et le pharynx.

  Le long de son trajet, il est étroitement lié aux nœuds lymphatiques rétro-pharyngés médiaux et facilement lésé en cas d'inflammation de ces derniers. Le rameau pharyngien est moteur pour les muscles palatin et palato-pharyngien qui maintiennent le voile du palais dans sa position normale. Une lésion de ce nerf peut entrainer un déplacement dorsal du voile du palais (Piat, 2008).

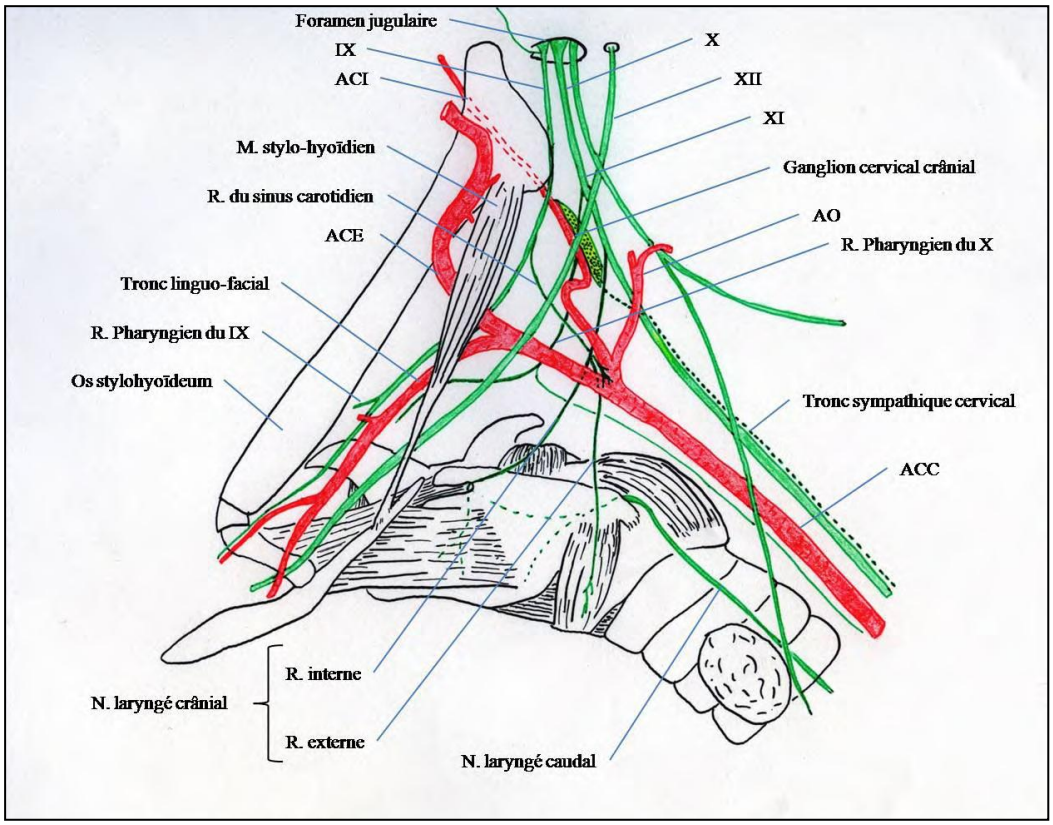


Figure 27 : Artères et nerfs du compartiment médial de la poche gutturale (d'après Barone, 1997)

c) *Le bord ventro-rostral*

Le bord ventro-rostral peut également être décrit comme le plancher du compartiment médial. Il s'accole à la face dorsale du pharynx et notamment aux muscles dont il moule la convexité. Il présente une inclinaison vers le haut dans sa portion crâniale puis prend une direction horizontale jusqu'au cul-de-sac carotidien. Il est apposé, d'avant en arrière, sur le récessus médian du pharynx, une partie du muscle ptérygo-pharyngien, puis sur les différents muscles du pharynx (hyo-, thyro- et crico-pharyngien). C'est entre cette paroi et le pharynx que se trouvent les ganglions rétro-pharyngiens médiaux (NL RM) et le plexus pharyngien. Ce plexus est un réseau alimenté par différents nerfs : le nerf pharyngien, des branches du rameau œsophagien et le rameau pharyngien du nerf glosso-pharyngien (Piat, 2008).

d) *Le bord dorsal*

Le bord dorsal est le plafond du compartiment médial. Il est accolé au crâne, depuis le condyle de l'os occipital jusqu'à la partie antérieure de l'os sphénoïde (OS). En son centre, il s'applique plus particulièrement sur l'aile et le corps (du foramen carotidien jusqu'au foramen jugulaire) de l'os sphénoïde, ainsi que sur la fosse condylienne et le trou condylien de l'os occipital.

Caudalement, il tapisse l'articulation temporo-hyoïdienne (ATH), qui permet l'attache entre le stylohyoïdeum et le processus styloïde de l'os temporal. Cette articulation est en fait constituée d'une symphyse formée par le cartilage du tympanohyoïdeum entre les deux os. En région antérieure, on trouve le muscle ptérygoïdien externe entre la poche gutturale et la base du crâne (Piat, 2008).

Latéralement, les deux plafonds des deux compartiments latéral et médial sont séparés par la trompe auditive.

e) *Le bord caudal*

Le bord caudal s'accole en région dorsale contre l'aile de l'atlas et le muscle petit droit latéral de la tête, et en région ventrale, contre le muscle long de la tête (MLT). Médialement, il est accolé au muscle droit ventral de la tête, et latéralement, au muscle digastrique (MD). Ces différents rapports dessinent le profil concave de la paroi caudale.

La paroi postérieure, profondément échancrée, porte l'empreinte vasculo-nerveuse de l'artère carotide interne et de la sortie des quatre derniers nerfs crâniens du crâne. Ceux-ci sont répartis, du plus latéral au plus médial, comme suit (*figure 28*) (Piat 2008) :

- Le nerf glosso-pharyngien (IX) : il est placé le plus crânialement à la sortie du foramen jugulaire. Il reste accolé sur 1 cm au nerf vague puis court sur la face latérale. Il émet au milieu de son trajet, le rameau du sinus carotidien, appelé nerf de Héring, qui se porte ventralement vers la trifurcation carotidienne.
- Le nerf accessoire (XI) : il est émis du foramen jugulaire plus médialement que le nerf précédent. Egalement accolé au nerf vague, sur 2 cm, il quitte ensuite la paroi postérieure pour rejoindre vers l'arrière et le bas l'encolure.

- Le nerf hypoglosse (XII) : il est émis du trou condylien, soit plus caudalement que les autres, au fond de la paroi postérieure. Il se place entre le nerf vague et le nerf accessoire selon une direction rostro-ventrale. Il croise médialement le nerf XI qui se dirige caudalement, mais reste accolé latéralement au nerf vague. Il s'en détache ensuite pour se diriger latéralement et suivre le trajet du nerf IX.
- Le nerf vague (X) : il longe la paroi postérieure. Il est délimité caudalement par le nerf XII et crânialement par le ganglion cervical crânial. A mi-hauteur de ce dernier, il émet le rameau pharyngien puis plus bas, le nerf laryngé crânial, qui se dirige ventralement vers le cartilage thyroïde.

  Le nerf laryngé crânial produit ensuite deux rameaux, interne et externe :

  - Le rameau interne, plus fort, émet plusieurs filets sensitifs pour la glotte et région supra glottique du larynx. Une lésion de ce nerf provoque des fausses déglutitions.
  - Le rameau externe, plus grêle, est moteur pour le muscle crico-thyroïdien, qui par sa fonction de raccourcissement de l'espace crico-thyroïdien ventral, permet la mise en tension des cordes vocales et l'allongement de la glotte. Une lésion de ce rameau pourrait modifier les hennissements.

    Le muscle crico-thyroïdien est le seul muscle intrinsèque du larynx à ne pas être innervé par le nerf laryngé récurrent.

f) L'angle dorso-caudal

Il est bien développé et occupe la fosse condylaire ventrale. Il est en lien avec la capsule articulaire de l'articulation atlanto-occipitale (AAO), mais n'y adhère pas complètement.

g) L'angle rostral

Il se situe sous l'os sphénoïde. Le récessus dorsal du pharynx le sépare de son homologue.

h) L'angle ventro-caudal

Egalement appelé cul-de-sac carotidien, il constitue la partie la plus déclive de la poche gutturale. Il est compris entre son équivalent controlatéral médialement et la trifurcation carotidienne latéralement.

Les trois artères de la trifurcation délimitent :

- La paroi externe de la paroi ventrale pour l'artère carotide externe
- La paroi externe et le bord caudal pour l'artère occipitale (AO)
- La paroi caudale et la face médiale pour l'artère carotide interne

En page suivante (*figure 28*), Piat (2008) dessine, dans sa thèse, les principales structures anatomiques visibles et importantes observées dans le compartiment médial de la poche gutturale droite.

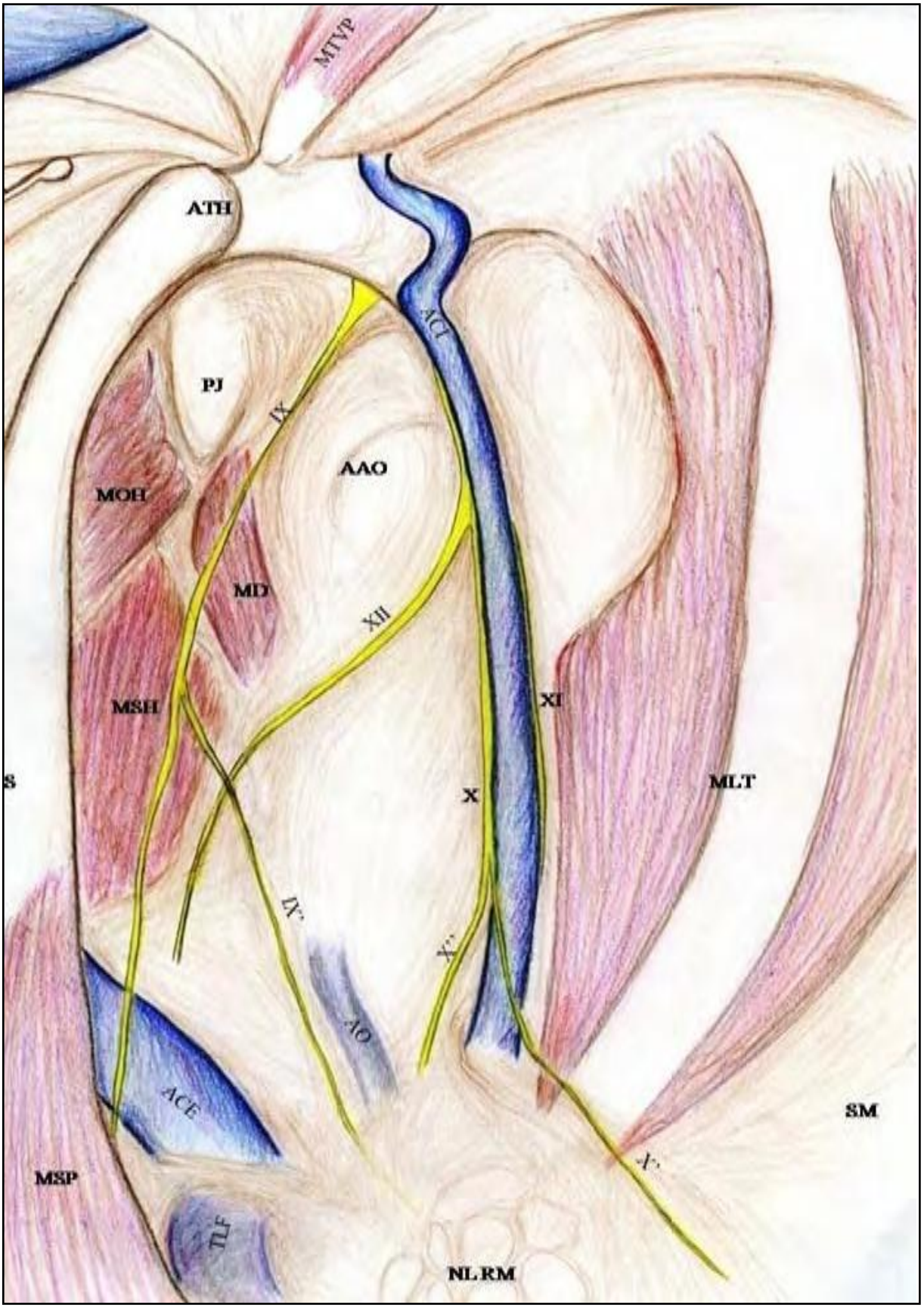


Figure 28 : Dessin schématique des différentes structures anatomiques du compartiment médial de la poche gutturale droite (d'après Piat, 2008)

b. Compartiment latéral

De plus petite taille que le précédent, ce compartiment recouvre de manière presque complète l'extrémité dorsale de l'os hyoïde. Il est compris entre le stylohyoïde médialement et la glande parotide et les muscles masticateurs latéralement. On lui décrit une forme pyramidale, avec une base, trois faces et un sommet (Denoix, 1982). Sa longueur est de 10 à 11 cm pour une largeur de 2 à 3 cm et une hauteur qui augmente caudalement de 1 à 3 cm.

a) La face médiale

Elle s'applique sur la face latérale de l'os stylohyal. La communication entre les deux compartiments est plus large en partie rostrale qu'en partie caudale (*figure 29*).

b) La face latérale

La poche est délimitée latéralement par le muscle ptérygoïdien interne en avant et par la glande parotide en arrière. La face latérale de ce compartiment présente des rapports importants (Piat, 2008) :

- L'artère carotide externe qui s'y divise en artère maxillaire et en artère temporale superficielle
- Le nerf facial passe entre la glande parotide et la région dorso-caudale de cette face latérale du compartiment latéral
- La veine temporale superficielle passe perpendiculairement et latéralement au nerf facial
- La veine maxillaire parcourt la paroi externe pour plonger entre les deux muscles ptérygoïdiens

c) La face rostrale

Entre les deux muscles ptérygoïdiens qui la délimitent, plusieurs vaisseaux intéressants en rapport avec cette face y forment une incisure (Piat, 2008) (*figure 29*) :

- La corde du tympan au trajet vertical
- Au dessus de celle-ci et perpendiculairement, l'artère maxillaire prend une direction crânio-médiale. Elle libère différents rameaux au cours de son trajet : les artères ptérygoïdiennes, l'artère dentaire inférieure et l'artère tympanique
- Le nerf mandibulaire, rameau du nerf trijumeau, se situe dorsalement à l'artère maxillaire puis se divise en plusieurs rameaux qui restent accolées et vont plonger avec les vaisseaux citées précédemment entre les deux muscles ptérygoïdiens
- Le plus dorsal, le nerf auriculo-temporal forme un sillon qui passe près de l'artère maxillaire

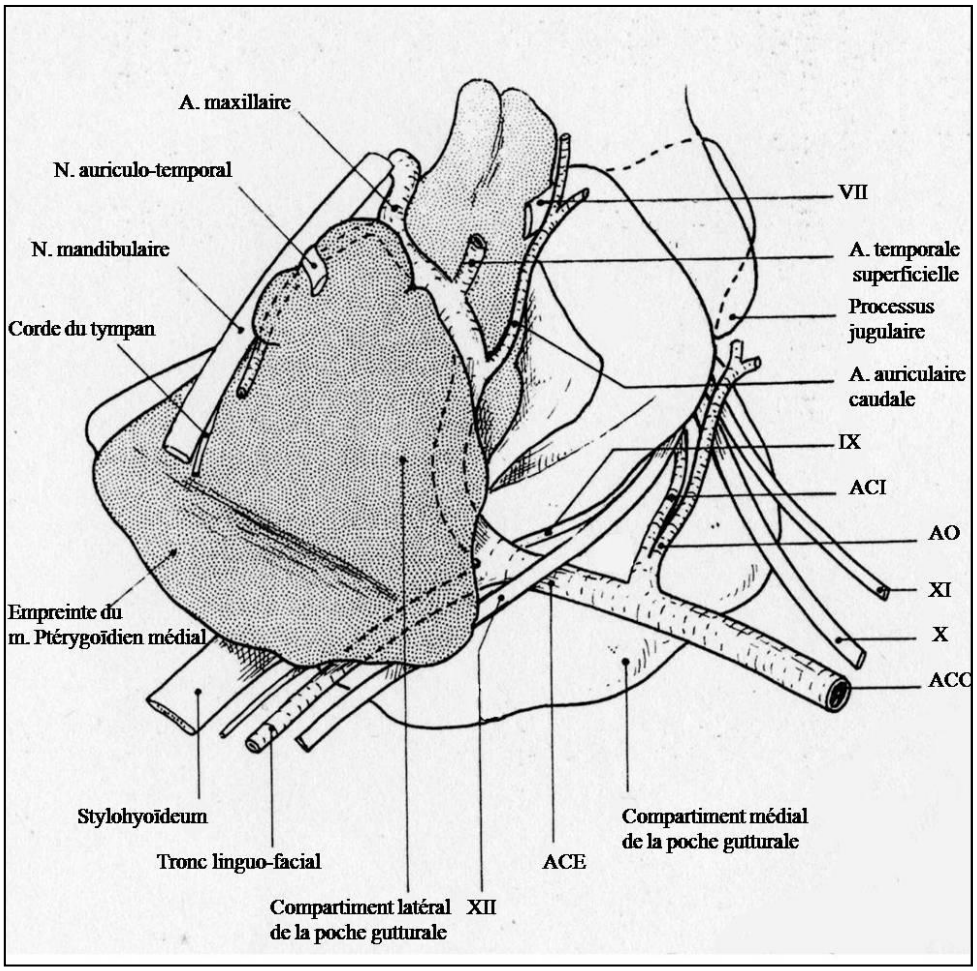


Figure 29 : Vue latérale de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982)

d) Le sommet

Le sommet constitue la partie la plus superficielle de la poche gutturale et se situe près du méat acoustique externe. Une portion de glande parotide d'une épaisseur d'environ 1 cm seulement le sépare du tissu cutané. Cette extrémité est accolée à l'os temporal.

On trouve de nombreuses structures nerveuses et vasculaires au niveau de ce cul-de-sac : les artères, veines et nerfs auriculaires rostraux et temporaux superficiels, de même que l'artère auriculaire caudale, le nerf facial et son rameau cervical (Piat, 2008).

e) La base

Appelée également plancher, elle repose sur un tissu graisseux qui est situé entre le stylohyoïdeum et le muscle ptérygoïdien interne (dont elle porte le moulage latéralement), et en partie caudale, elle s'applique sur la partie moyenne du S formée par l'artère carotide interne et l'origine de l'artère auriculaire caudale (*figure 30*).

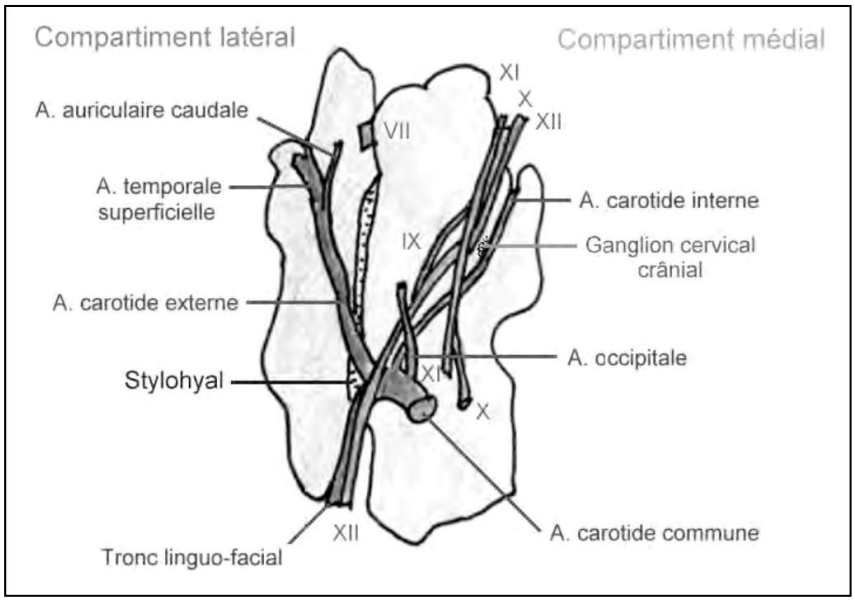


Figure 30 : Vue caudale de la poche gutturale gauche (d'après Denoix, 1982)

4. Quelques observations sur les poches gutturales

a. Morphologie de la poche gutturale selon la position de la tête

Grâce à la réalisation de moulages en silicone des poches gutturales de chevaux morts, Baptiste et al. (1996) confirment des observations qu'ils avaient déjà faites par radiographie : la morphologie de la poche gutturale varie selon la position de la tête et de l'encolure. Les variations dans la taille ou la forme des poches selon les individus, entre les deux poches d'un même individu ou selon la position de la tête sont peu étudiées dans la littérature. Il avait été observé en 1911 que le drainage du compartiment latéral de la poche gutturale quand la tête est fléchie est rendu particulièrement difficile par le mouvement dorsal de l'os stylohyoïde en direction de la base du crâne (Baptiste et al., 1996).

Dans cette étude, Baptiste et al. (1996) observent que l'orientation de l'os stylohyoïde est modifiée lors de la flexion de la tête et que l'épaisseur du compartiment latéral diminue et se déplace rostralement, ce qui pourrait expliquer la difficulté de drainage. Ceci peut être dû à l'élévation de la partie rostrale de la poche par le mouvement de l'os stylohyoïde, le compartiment latéral se retrouve alors comprimé par les muscles ptérygoïdiens médiaux sous-jacents. Ces observations sont importantes dans la gestion thérapeutique de certaines affections des poches gutturales. Par exemple, lors d'empyème de la poche gutturale, il est conseillé de forcer le cheval à baisser la tête et ainsi étendre son encolure, en le nourrissant au sol, pour permettre le drainage des poches par une extension maximale de la tête. Le drainage des poches gutturales est indispensable à la résolution d'un épisode d'empyème.

b. Evolution des poches gutturales chez les Equidés

Sasaki et al. (1999) ont étudié, grâce au scanner, la topographie et l'anatomie des poches gutturales chez le cheval de Prjevalski (*Equus przewalskii*), cheval sauvage précurseur du cheval actuel, pour essayer de les comparer à celles du cheval domestique (*Equus caballus*) que l'on connait aujourd'hui.

Les images obtenues par scanner ont montré que les chevaux de Prjevalski possèdent des poches gutturales symétriques, divisées en deux compartiments médial et latéral par l'os stylohyoïde. L'existence d'un septum entre les poches droite et gauche a également été confirmée. La forme de la poche gutturale est globalement identique. Mais, la région caudo-dorsale (région de la nuque) semble nettement moins développée chez le cheval de Prjevalski : en effet, sur les différentes coupes de scanner, le compartiment médial devient de moins en moins large en direction du crâne par rapport aux chevaux domestiques.

Le cheval de Prjevalski possède une morphologie primitive, caractérisée par un corps plus trapu, des membres plus courts et une tête plus lourde que les chevaux domestiques : ces chevaux sauvages sont moins bien adaptés morphologiquement à la vitesse et à l'endurance. Sasaki et al. (1999) proposent l'hypothèse que l'augmentation de la taille des poches gutturales peut être mise en lien avec l'augmentation des capacités de vitesse et d'endurance. Elles semblent jouer un rôle dans les performances athlétiques du cheval.

c. Les poches gutturales chez les Périssodactyles

Comme on l'a vu précédemment, les poches gutturales ont été décrites pour la première fois chez le cheval, en 1756 par Claude Bourgelat. Elles ont ensuite été décrites chez l'âne, le zèbre et chez le tapir : il a alors été établi que les poches gutturales sont des organes communs aux Périssodactyles.

Chez l'âne, les poches gutturales sont quasiment identiques à celles du cheval (Oto et Haziroglu, 2011) : le compartiment médial est également plus large que le compartiment latéral, et les structures en rapport sont identiques. La partie dorsale de la poche est osseuse avec les os sphénoïde et occipital, et hormis à l'attache de l'os stylohyoïde, les autres parois de la poche gutturale sont en contact avec des tissus mous comme la pharynx, l'œsophage et les différents muscles de la région. Dans cette étude, Oto et Haziroglu (2011) observent également un changement de la forme et de la taille des poches gutturales selon l'angle de la tête et de l'encolure, comme Baptiste et al. (1996) l'avaient observé chez le cheval, mais les variations ne sont pas telles qu'on puisse mesurer une différence volumétrique.

Dans une étude, Endo et al. (1998) montrent que le Rhinocéros blanc (*Ceratotherium simum*), qui appartient pourtant aux Périssodactyles, ne possède pas de poches gutturales. Dans cette espèce, la trompe auditive consiste en un simple canal aux parois cartilagineuses, mais ne forme pas d'espace élargi correspondant aux poches gutturales présentes chez les autres espèces. A l'inverse du cheval chez qui le nasopharynx est élargi en direction rostro-caudale, celui du rhinocéros est particulièrement développé en direction dorso-ventrale : cette différence morphologique jouerait un rôle dans la fonction respiratoire du rhinocéros.

Pour conclure sur l'anatomie de la poche gutturale, il est important de connaitre à la fois sa topographie et ses différents rapports pour tenter de comprendre quel rôle elle joue dans des mécanismes comme la respiration ou la déglutition, mais aussi dans un éventuel mécanisme de refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide. Les différentes études consacrées à la fonction des poches gutturales vont maintenant être présentées.

C. Implication potentielle des poches gutturales dans différents mécanismes

La taille et la forme inhabituelles des poches gutturales du cheval en comparaison avec les autres mammifères ne sont pas expliquées : elles font penser que cet organe pourrait avoir des fonctions supplémentaires autres que celle connue pour la trompe auditive chez tous les mammifères, à savoir l'égalisation des pressions de chaque coté de la membrane tympanique (Cook, 1987). La conservation d'un tel organe au cours de l'évolution n'est pas sans risque pour l'espèce équine puisque les poches gutturales font l'objet d'affections parfois fatales comme l'empyème, le tympanisme ou la mycose des poches gutturales. Il est difficile d'imaginer qu'elles aient été conservées pour une fonction triviale (Baptiste, 1997).

Pour répondre à ce mystère, de nombreuses théories sur le rôle de ces deux diverticules ont été proposées au cours des trois derniers siècles, depuis que Claude Bourgelat les a décrites pour la première fois en 1756 (Baptiste, 1998). Mais, très peu ont été réellement étudiées :

- Caisse de résonance pour la voix en 1807
- Coussins d'air en 1853
- Rôle dans le nettoyage des cavités nasales en 1870
- Outil de flottabilité en 1885
- Participation à l'audition en 1909
- Modification de la pression d'air et de la température lors de l'inspiration en 1910
- Participation à la déglutition en 1911
- Augmentation de la mobilité de la tête en 1923
- Simplement pour remplir l'espace en 1928
- Rôle dans la régurgitation en 1944
- Production de mucus dans le pharynx en 1984
- Régulation de la pression artérielle cérébrale en 1992

1. Mécanisme d'ouverture des orifices pharyngiens

A ce jour, l'une des rares études à s'être intéressée aux orifices pharyngiens des poches gutturales est celle de Baptiste (1997). Leur ouverture lors de la simulation d'une diminution de la pression inspiratoire sur des cadavres, alors qu'elle n'a pas lieu chez un cheval vivant, lui permet de penser qu'il existe un processus actif qui garde en position fermée les orifices pharyngiens chez le cheval au repos. Le tonus intrinsèque des muscles stylo-pharyngien et ptérygo-pharyngien pourrait y contribuer.

Il propose deux mécanismes de ventilation des poches gutturales :

- Un processus actif qui se produit en deux étapes : les contractions simultanées des muscles tenseurs et releveur du voile du palais et des muscles ptérygo-pharyngiens ouvre les orifices pharyngiens puis la contraction de la partie dorsale des muscles palato-pharyngiens ouvre l'ostium des poches
- Un processus passif par la réduction du tonus des muscles stylo-pharyngiens et ptérygo-pharyngiens et l'augmentation de la pression respiratoire lors de l'effort

Le muscle ptérygo-pharyngien semble participer à la fois à l'ouverture et à la fermeture des orifices pharyngiens (Baptiste, 1997).

2. Rôle de la trompe auditive

Les poches gutturales du cheval sont des diverticules particulièrement développés de la trompe auditive (ou trompe d'Eustache), qui relient le nasopharynx à l'oreille moyenne. On peut penser que les poches gutturales jouent chez le cheval le même rôle que joue la trompe auditive chez les autres mammifères, et notamment chez l'homme.

En médecine humaine, la principale fonction attribuée à la trompe auditive est l'égalisation des pressions entre l'air extérieur et l'air contenu dans la cavité tympanique, ainsi que l'aération de l'oreille moyenne (Makibara et al., 2010). Ces deux mécanismes protègent l'oreille des rapides changements de pression, préservent la muqueuse et permettent la vibration du tympan et des os de l'oreille sans interférences. Cette fonction est assurée par l'action des muscles tenseur et élévateur du voile du palais, qui lors de la déglutition ou du bâillement, envoient de l'air depuis le nasopharynx vers l'oreille moyenne. L'importance de ce mécanisme d'ouverture des orifices pharyngiens de la trompe auditive est en particulier démontrée par la gêne auditive provoquée par l'ascension en altitude (« oreilles bouchées ») et que corrige la trompe d'Eustache lors de la déglutition (Mamo, 1983).

La trompe auditive est aussi responsable du drainage de l'oreille moyenne, la protégeant d'une accumulation de sécrétions. C'est, là aussi, la contraction du muscle tenseur du voile du palais qui assure cette fonction (Makibara et al., 2010). Elle est associée à l'action des cellules sécrétrices et ciliées de la trompe auditive qui participent au transport muco-ciliaire. Cela permet ainsi de protéger l'oreille moyenne des pathogènes opportunistes présents dans les voies respiratoires supérieures (Ghadiali et al., 2004). Une hypothèse (Downs et al., 2001) propose que cette fonction est assurée par la partie inférieure de la trompe auditive, tandis que la fonction de ventilation est permise par la partie supérieure.

Un déficit de la trompe auditive est la cause majeure de l'otite moyenne chez l'homme : elle réduit la ventilation de l'oreille moyenne, ce qui provoque une augmentation de l'absorption d'azote, générant en permanence une pression négative. Cette pression négative, qui attire les fluides vers l'oreille moyenne, créant ainsi une inflammation et une infection, est responsable de l'otite moyenne (Makibara et al., 2010). La principale origine d'un déficit de la trompe auditive est la paralysie du muscle tenseur du voile du palais (Ghadiali et al., 2004).

Chez le cheval, il est probable que les poches gutturales jouent, en association avec la trompe auditive, le même rôle d'égalisation des pressions entre le nasopharynx et l'oreille moyenne, même si ce phénomène n'a pas été exploré. En lien avec cette fonction, il est intéressant d'étudier le rôle des poches gutturales lors de la déglutition.

3. Rôle dans la déglutition

a. Définition et phases de la déglutition

La déglutition est un phénomène réflexe qui provoque le passage du bol alimentaire depuis la bouche jusqu'à l'estomac, via l'œsophage (*figure 31*).

Elle comporte trois phases (Hervé, 2011) :

- La première phase est la seule volontaire. C'est la phase buccale qui consiste, par l'action de la langue, en un déplacement du bol alimentaire préalablement formé dans l'oropharynx, vers le pharynx
- La deuxième phase est pharyngienne et elle est involontaire : un phénomène réflexe envoie le bol alimentaire dans l'œsophage. Le voile du palais s'élève pour assurer l'étanchéité de l'oropharynx et pendant cette phase, la respiration est interrompue.
- La troisième phase œsophagienne est également involontaire : elle fait transiter le bol alimentaire dans l'œsophage jusqu'à l'entrée de l'estomac. Son déclenchement réflexe est dû au passage des aliments dans la partie proximale de l'œsophage qui provoque les contractions péristaltiques. La progression du bol alimentaire est permise par deux types d'ondes :
    - L'onde péristaltique primaire, liée à la contraction du pharynx et la relaxation du sphincter œsophagien supérieur, est la continuité de l'onde générée lors de la phase pharyngienne
    - Les ondes secondaires sont provoquées par la distension de l'œsophage et propulsent les aliments vers l'estomac

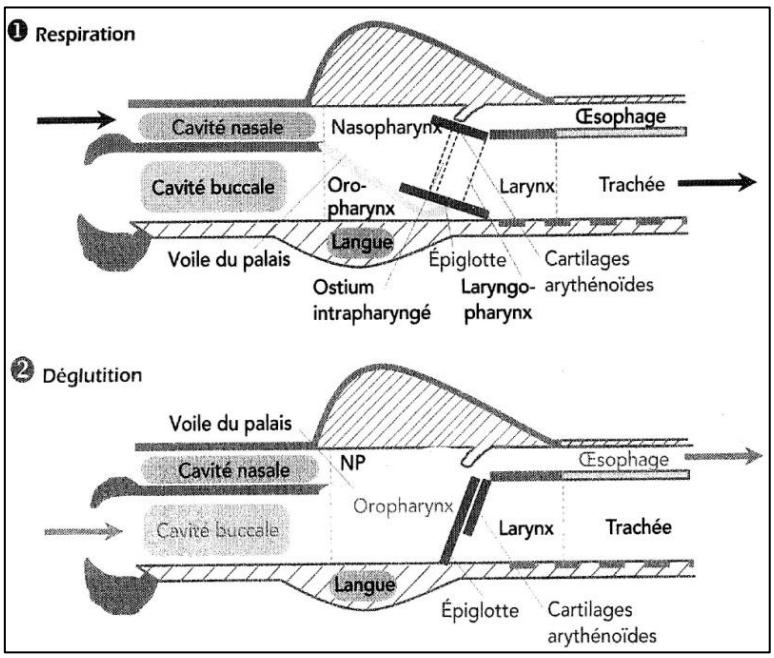


Figure 31 : Déglutition et respiration chez le cheval (d'après Hervé, 2011)

b. Rôle du pharynx

Le pharynx participe de façon active à la déglutition. Dans la phase qui lui incombe, le pharynx fait circuler les aliments de l'isthme du gosier jusqu'à l'entrée de l'œsophage. Il se soulève en association avec l'hyoïde et le larynx puis se raccourcit en s'élargissant, ce qui, en quelque sorte, provoque une attraction du bol alimentaire. Puis les différents muscles constricteurs agissent les uns après les autres, créant une onde qui chasse les aliments vers l'entrée de l'œsophage. Le voile du palais vient alors se plaquer contre la paroi dorsale pour interdire tout passage dans les cavités nasales. De même, l'épiglotte se rabat de manière passive vers l'arrière et vient fermer l'entrée de la trachée (Barone, 1997).

Une fois le bol alimentaire passé dans l'œsophage, le pharynx et le larynx se relâchent pour reprendre leur position de repos, le voile du palais et l'épiglotte se relâchent également pour permettre la reprise de la respiration. Et immédiatement après chaque mouvement de déglutition, une profonde inspiration a lieu, accompagnée normalement d'une abduction totale des aryténoïdes (Cook, 1974).

En dehors des déglutitions, le pharynx constitue un simple canal qui relie les cavités nasales et la bouche à l'entrée du larynx, qui reste béante. Il joue alors un rôle passif dans la respiration. Il participe également avec le larynx aux émissions vocales.

c. Evolution de la fonction de déglutition

Au cours de ses millions d'années d'évolution, le cheval est passé d'une nourriture à base de feuilles, brindilles et buissons à une nourriture à base d'herbe : ses dents courtes et aux couronnes peu développées ont évolué en dents longues à la forte couronne, plus résistantes à l'abrasion provoquée par les silicates contenus dans l'herbe. Ces dents plus longues ont engendré un crâne plus long et plus étroit, ce qui a restreint le processus de la déglutition. Cependant, le pharynx du cheval n'est pas attaché à un os comme il peut l'être dans d'autres espèces : cela permet de plus amples mouvements de déglutition. Ceci est indispensable au passage du bol alimentaire via l'étroit pharynx jusqu'à l'œsophage et non dans le larynx (Rooney, 1997).

d. Rôle des poches gutturales

Le passage des aliments lors de la déglutition est permis par le fait que les parois du pharynx sont étroitement attachées aux parois flexibles de la poche gutturale. Ceci pourrait en partie expliquer pourquoi la déglutition est affectée dans certaines affections des poches gutturales comme le tympanisme ou l'empyème (Rooney, 1997).

Au cours d'endoscopies du pharynx, il a été observé que lors de chaque déglutition de particules aussi bien solides que liquides, les orifices pharyngiens des poches gutturales s'ouvrent (Heffron et Baker, 1979). Avant la déglutition d'objets solides, le palais mou se déplace de haut en bas, faisant se rapprocher les deux orifices quand il est déplacé dorsalement et s'éloigner quand il repasse en position ventrale. Puis, pendant la déglutition, la contraction du sphincter nasopharyngien rétrécit et contracte la lumière du pharynx ce qui déplace en direction rostrale et ventrale les volets cartilagineux des poches gutturales.

Ce déplacement est accompagné d'une ouverture des orifices pharyngiens : les cartilages se dirigent rostralement, s'incurvent et se rapprochent l'un de l'autre. Les parois latérales des poches gutturales prennent également un aspect incurvé en direction latérale. Tout ceci contribue encore à la contraction générale du pharynx (*figure 32*).

De façon concomitante, la taille des poches gutturales augmente, surtout en région rostro-ventrale, là où le plafond du nasopharynx est tiré ventralement. Lorsque les orifices s'ouvrent, l'air est attiré dans la cavité des poches puis repoussé dehors quand la lumière du pharynx augmente après la déglutition. Ce phénomène semble permettre au passage un renouvellement régulier de l'air contenu dans les poches gutturales (Heffron et al., 1979).

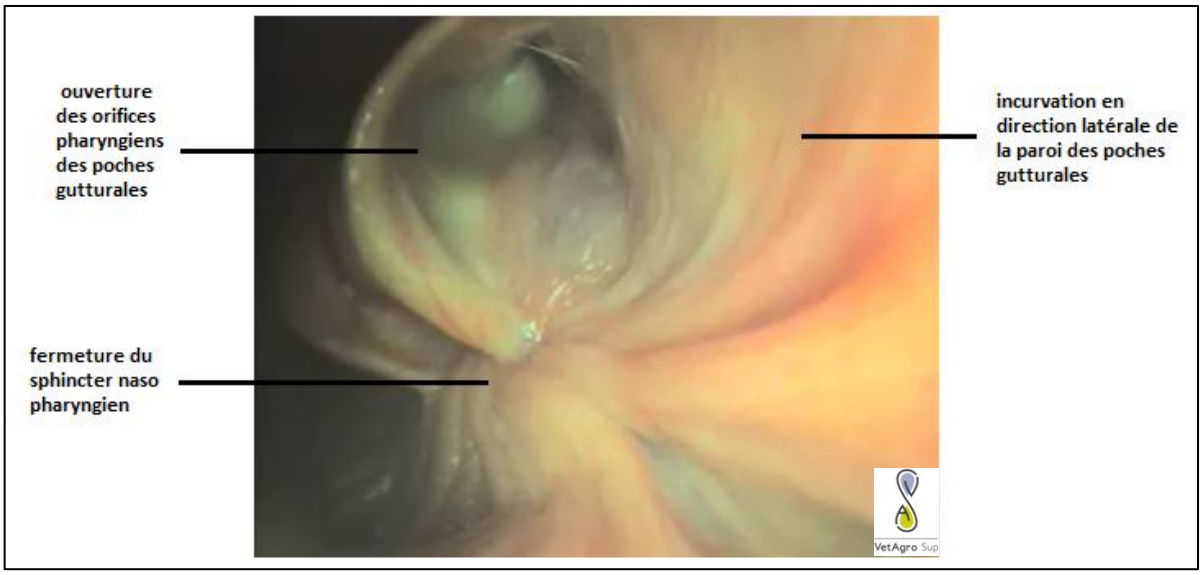


Figure 32 : Contraction générale du pharynx lors de la déglutition (*image VetAgro Sup*)

La durée totale de la phase pharyngienne de la déglutition est de moins de 1 seconde. La contraction du sphincter nasopharyngien a lieu 0,2 secondes après le déclenchement du réflexe. L'ouverture des orifices pharyngiens se produit immédiatement après en 0,2 secondes et leur position reste béante en position maximale pendant 0,1 secondes environ. Ils se referment avant que le sphincter nasopharyngien ne se ré-ouvre (Heffron et Baker, 1979).

La raison pour laquelle les orifices des poches gutturales s'ouvrent reste obscure. Leur ouverture semble seulement être déclenchée par la contraction des parois du pharynx. L'incurvation en direction latérale que prend la paroi de la poche pourrait être due à l'action des muscles *levator veli palatini* ou *tensor veli palatini* présents dans cette région. Cette action combinée à celle des muscles palato-pharyngien et ptérygo-pharyngien pourrait être le mécanisme d'ouverture des orifices, comme cela a été décrit chez l'homme pour expliquer l'ouverture des orifices des trompes auditives (Heffron et Baker, 1979).

Par ailleurs, Heffron et Baker (1979) soulèvent la question de l'influence sur le réflexe de déglutition de la présence de l'endoscope dans le pharynx. La position de l'extrémité distale de l'appareil dans la région caudale des cavités nasales, soit juste à l'entrée du pharynx, semble minimiser toute gêne potentielle sur le fonctionnement pharyngé.

Pour conclure sur le rôle des poches gutturales dans la déglutition, on sait que les orifices pharyngiens s'ouvrent systématiquement lors de ce phénomène, mais on ne sait toujours pas pourquoi et si la poche gutturale joue un rôle dans la progression du bol alimentaire.

4. Rôle dans le refroidissement du sang acheminé au cerveau

a. Principe de refroidissement sélectif du cerveau

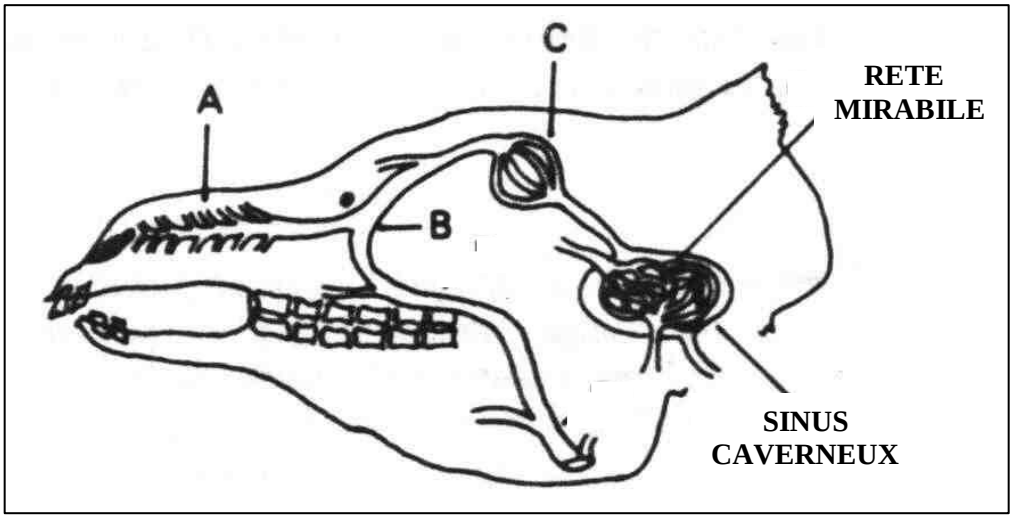
Le cheval possède une capacité métabolique élevée. Lorsqu'il est soumis à un exercice intense ou à de fortes températures, sa température corporelle peut atteindre des valeurs très dangereuses pour certains organes. Quelque soit la cause de l'élévation de température, si l'augmentation est suffisamment sévère, elle peut provoquer une attaque cardiaque (Hodgson, 1998).

Le cœur joue un rôle primordial dans la réponse physiologique à l'exposition à la chaleur. L'augmentation du tonus sympathique induite par l'action du centre de thermorégulation provoque une augmentation de la fréquence cardiaque, de la contractilité myocardique et du volume d'éjection systolique. Ceci est à l'origine d'une augmentation du débit cardiaque qui provoque ensuite une augmentation du flux sanguin dans les tissus responsables de la dissipation de la chaleur, à savoir la peau chez les animaux qui suent (homme et cheval notamment) et les muscles naso-buccaux et respiratoires chez les animaux qui halètent comme le chien et le mouton. D'autres systèmes sont également mis en place comme l'augmentation de la fréquence respiratoire (Mc Conaghy et al., 1996).

Le cerveau semble être particulièrement vulnérable à l'hyperthermie : les cellules sont détruites par une chaleur trop importante, la température critique étant estimée à 40,5°C (Burger, 1964). La destruction des cellules est mise en évidence par une diminution de la consommation d'oxygène et une accumulation anormale d'ammonium. Le maintien du cortex cérébral à une température inférieure à celle du reste du corps est indispensable et augmente la tolérance au stress thermique.

Trois mécanismes de refroidissement sélectif du cerveau ou SBC (*Selective Brain Cooling*) sont actuellement connus selon les animaux (Baker, 1982) :

- De nombreuses espèces animales, comme les Artiodactyles (ruminants par exemple) et certains carnivores possèdent un système de refroidissement sélectif du cerveau très efficace, via le *rete mirabile* carotidien lors de stress thermique (*figure 33*). Le rete carotidien est une zone d'échange thermique qui refroidit la température du sang artériel grâce au sang veineux drainant la muqueuse nasale.



A = cavité nasale, B = veine angulaire, C = veine ophtalmique

Figure 33 : Schéma du rete mirabile carotidien contenu dans le sinus caverneux chez le chameau (d'après Elkhawad, 1992)

- Chez d'autres animaux qui ne possèdent pas ce rete (cochon d'inde ou lapin), le sang veineux, refroidi par l'évaporation naso-buccale lorsque l'animal halète, est drainé dans le sinus caverneux crânial où des échanges de chaleur permettent le refroidissement du sang artériel. Le sinus caverneux reçoit en effet le sang veineux drainant la muqueuse nasale et la peau de la tête.
- Chez les humains, le sang veineux qui draine dans le sinus caverneux est refroidi superficiellement au niveau des vaisseaux du tissu cutané de la tête.

Le cheval, qui appartient aux Périssodactyles (équidés, tapir, rhinocéros) et ne possède pas de tels systèmes, montre cependant d'immenses qualités athlétiques et il est capable de développer de très fortes températures pendant l'effort, sans pour autant montrer de signes cliniques ou neurologiques d'une éventuelle souffrance du cerveau. Il a été montré que les températures de plusieurs systèmes de l'organisme sont différentes lors de l'effort : notamment, la température du cerveau semble inférieure au reste du corps (Mc Conaghy et al., 1995).

b. Refroidissement sélectif du cerveau chez le cheval

Au cours des vingt dernières années, de nombreuses études se sont penchées sur la physiologie du cheval à l'effort et ont permis des découvertes intéressantes en ce qui concerne le système de SBC chez les équidés. Plusieurs facteurs y ont contribué (Hodgson, 1998) :

- Le développement du tapis roulant a permis d'observer par différents paramètres (fréquence cardiaque, lactates sanguins) la réponse de l'organisme du cheval à un exercice plus ou moins intense
- Le déroulement des Jeux Olympiques à Atlanta en 1996 a poussé les fédérations internationales équestres à sponsoriser des recherches investiguant la réponse du cheval à l'exercice dans des conditions de chaleur et d'humidité importantes (climat subtropical humide)
- Le cheval semble être un très bon modèle dans l'étude des mécanismes de thermorégulation chez l'homme. Le cheval possède en effet des caractéristiques proches de celles de l'homme : absence de rete carotidien, fortes capacités de performance, sudation importante et pas d'halètement.

McConaghy et al. (1995) montrent une diminution possible de la température du cerveau de près de 1,5°C lors de stress thermique. Les voies respiratoires supérieures semblent jouer un rôle primordial car lorsqu'elles sont court-circuitées par une trachéotomie, la diminution de température ne dépasse pas 0,4°C.

Ainsi, le cheval semble posséder un système de thermorégulation qui lui est propre (sans rete carotidien ou halètement) : lors d'une exposition à la chaleur, la température du sang dans le sinus caverneux est de 2°C inférieure à celle de l'artère carotide et de 5°C inférieure à l'exercice (Hodgson, 1998). Le sang veineux refroidi semble échanger de la chaleur avec le sang artériel circulant dans le sinus par conduction. La topographie du sinus caverneux du cheval, logé dans une cavité accolée directement à la base du cerveau fait que cette partie-là du cerveau est refroidie de manière beaucoup plus efficace que le cervelet (Hodgson, 1998).

c. Rôle des poches gutturales ?

a) Etudes réalisées

Chez le cheval, les sinus veineux sont pour la plupart extra-crâniens, c'est-à-dire séparés du cerveau par le crâne. Selon Baptiste (1998), l'efficacité d'un tel refroidissement n'est pas maximale lors d'effort intense et il propose un mécanisme de refroidissement du sang artériel avant son entrée dans le système nerveux central via l'artère carotide qui court le long de la paroi des poches gutturales.

L'artère carotide interne est la principale vascularisation du cerveau puisqu'elle y apporte 95% du sang, les autres vaisseaux étant l'artère occipitale et l'artère vertébrale. Elle est associée intimement à la fine paroi de la poche gutturale sur 13 +/- 0,1 cm de sa longueur. Baptiste (1998) souligne le fait que, par sa topographie et ses orifices larges de 3 à 5 centimètres permettant une importante ventilation, la poche gutturale est la structure anatomique la plus à même de refroidir le sang artériel.

Lors d'une expérience faite sur des têtes de chevaux morts et sur un cheval sous anesthésie générale, Baptiste (1998) démontre que, *in vitro*, le sang de l'artère carotide interne est refroidi lorsque l'on instille de l'air frais ou chaud dans les poches gutturales. La température chute de 0,4 jusqu'à 4,8°C, entre 12 à 90 secondes après l'instillation d'air. La baisse de température est plus rapide et plus importante avec utilisation de l'air issu de l'environnement et à température ambiante, que lorsqu'on instille de l'air humidifié à 100% : selon Baptiste (1998), le refroidissement se fait principalement par un mécanisme d'évaporation, même si une perte de chaleur convection est présente. De plus, il a été observé lors d'endoscopie après exercice que du mucus peut drainer dans le nasopharynx via les orifices pharyngiens : l'humidification de la muqueuse des poches gutturales par du mucus chez le cheval vivant contribue au phénomène d'évaporation (Baptiste, 1998).

Baptiste et al. (2000) proposent que les orifices s'ouvrent partiellement lors de fort stress thermique pour permettre une ventilation des poches et un refroidissement du sang artériel. Selon ces auteurs, une ouverture totale des orifices, comme celle qui se produit lors de la déglutition, perturberait de manière trop handicapante pour le cheval le flux d'air vers les poumons. Une ouverture seulement partielle chez un cheval au galop qui déplace 1000 à 1200 L d'air par minute perturbe de façon minimale le flux d'air dans les voies respiratoires. Cette étude (Baptiste, 1998) montre que 10 à 12 L d'air insufflé par minute dans les poches gutturales permettent de refroidir la carotide. Il suffirait qu'1% du volume déplacé par le cheval au galop passe par les poches gutturales pour permettre un refroidissement.

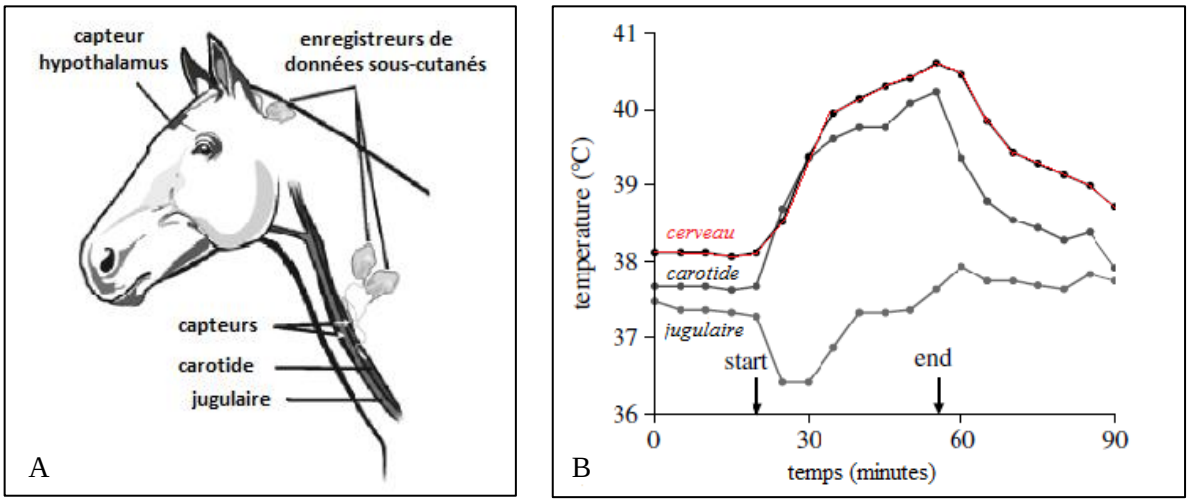
b) Critiques

Mais cette théorie peut être critiquée (Hodgson, 1998) par un argument sur l'évolution de l'espèce : la localisation des poches gutturales juste caudales aux naseaux ne permet pas un refroidissement optimal du sang artériel avant son entrée dans le crâne. La logique voudrait que, de manière à obtenir un refroidissement optimal, de l'air plus humide et de température inférieure à celui entrant dans la trachée (environ 35°C) passe dans les poches. Ceci permettrait une perte de chaleur par conduction et par évaporation bien plus efficace.

Mitchell et al. (2006) se sont quant à eux attelés à montrer qu'il n'existait pas de système de refroidissement sélectif du cerveau chez le cheval et que les poches gutturales ne jouaient pas le rôle de substitut du rete carotidien.

Pour cela, ont été comparées les températures du sang artériel de la carotide et du cerveau pendant le repos et l'exercice, sur des chevaux domestiques laissés en liberté. Sous anesthésie générale, des capteurs de température au niveau de l'hypothalamus, de l'artère carotide et de la veine jugulaire ont été placés, et reliés à des enregistreurs positionnés en sous-cutané dans l'encolure (*figure 34, A*). Après une période de récupération suite à la chirurgie, les chevaux ont été mis en liberté et soumis à des épisodes de course d'environ 30 minutes (Mitchell et al., 2006).

On observe que, hormis pour un court instant après le début de l'exercice, la température du cerveau est toujours supérieure à celle de la carotide, de 0,2 à 0,5°C (*figure 34, B*). En effet, elle reste supérieure avant l'exercice, pendant la plus forte phase d'hyperthermie au cours de l'effort ainsi que dans la phase de refroidissement lors de la récupération ; elle atteint même 40,5°C en fin d'exercice. La forte différence de température entre la carotide et la jugulaire (environ 2°C) montre qu'il existe un phénomène de refroidissement pendant l'exercice, probablement par évaporation au niveau de la muqueuse nasale ou de la peau.



A- Mise en place des capteurs

B- Evolution de la température lors de l'effort

Figure 34 : Mesure des températures du cerveau, de la carotide et de la jugulaire lors d'efforts (d'après Mitchell et al., 2006)

Mitchell et al. (2006) apportent deux arguments supplémentaires :

- Pour refroidir le sang de l'artère carotide, il faudrait que 230 litres d'air puissent entrer dans les poches à chaque minute, ce qui est simplement impossible.
- Le sang carotidien traverse les poches en seulement quelques secondes : ce temps est insuffisant pour diminuer sa température.

Ils soulèvent également le fait que si le refroidissement du sang au niveau de la poche gutturale était indispensable au fonctionnement du cerveau, alors l'oblitération d'une branche de la carotide aurait de graves conséquences. Or les chevaux dont la carotide a été ligaturée en prévention d'une éventuelle hémorragie fatale lors de mycose des poches gutturales ne semblent pas présenter de signes neurologiques, signe d'une souffrance cérébrale (Lepage et al., 2004).

c) Comparaison avec le zèbre

Fuller et al. (2000) ont recherché l'existence ou non d'un système de refroidissement sélectif du cerveau chez un autre équidé, le zèbre de Burchell (*Equus burchelli*). Pour cela, les zèbres étudiés ont subi la même chirurgie que dans l'étude présentée précédemment, à savoir la mise en place de capteurs thermiques au niveau de la carotide, de la jugulaire et de l'hypothalamus. Après avoir récupéré de l'anesthésie générale, les animaux ont été remis dans leur environnement naturel.

Les résultats ont montré que la température du sang dans le cerveau était, quelque soit le moment de la journée, toujours supérieure à celle du sang artériel carotidien de 0,2 à 0,4°C. Aucun refroidissement sélectif du cerveau n'a pu être mis en évidence, malgré le fait que la température du cerveau ait parfois atteint 40,5°C : or, le système de SBC se déclenche *a priori* à partir de 39°C chez les Artiodactyles, voire 38°C chez les chevaux (Fuller et al., 2000).

Ainsi, les équidés, que ce soit les chevaux ou les zèbres, ne semblent pas posséder de système de refroidissement sélectif du cerveau : ils répondent à l'augmentation de la température du cerveau et évitent les éventuelles conséquences en initiant une sudation et en arrêtant l'exercice si possible (Mitchell et al., 2006).

Pour conclure, malgré l'étude de Baptiste (1998) qui montre que le sang de la carotide est refroidi lorsque les poches gutturales sont ventilées, des auteurs (Mitchell et al., 2006) ont montré les limites de ces résultats. Certains ont même montré l'absence de système de refroidissement du sang acheminé au cerveau chez le zèbre (Fuller et al., 2000), animal pourtant soumis à de très fortes températures dans son habitat naturel.

5. Rôle dans la respiration

Durant de nombreuses années, on pensait que les poches gutturales des chevaux échangeaient de l'air lors de chaque mouvement respiratoire chez le cheval au repos. L'endoscopie a permis de montrer que les orifices pharyngiens ne s'ouvraient que lors d'une déglutition.

Il a été suggéré que les poches gutturales pourraient agir dans un mécanisme d'évacuation de la pression des voies respiratoires du cheval lorsque de grandes quantités d'air sont déplacées à travers le tractus respiratoire au cours d'un effort (Heffron et al., 1979). Mais la relative faible capacité volumique des poches (moins de 600 ml) en comparaison avec l'important volume tidal du cheval à l'exercice fait que leur efficacité dans ce rôle serait probablement restreint. En effet, le nasopharynx est soumis à un flux d'air turbulent qui peut atteindre 100 litres par seconde à des vitesses maximales (Ducharme et Holcombe, 2001).

L'étude de Baptiste (1997) propose la présence d'un flux d'air dans les poches gutturales lors de l'effort. Les pressions dans les voies respiratoires supérieures et les poches gutturales sont telles que lors d'un exercice, l'air entre dans la poche lors de l'expiration et l'inverse se produit à l'inspiration. Chez le poulain atteint de tympanisme, il a d'ailleurs été observé par endoscopie que les poches se remplissent d'air lors de la phase expiratoire de la respiration (Cook, 1987).

A travers les nombreuses études et hypothèses présentées, on comprend que le débat persiste toujours quant à l'exact rôle des poches gutturales. Et malheureusement, pour les différentes propositions faites, les résultats sont souvent contradictoires, notamment dans l'investigation d'une participation des poches gutturales dans un système de refroidissement sélectif du sang acheminé au cerveau par l'artère carotide.

L'étude qui va être présentée dans la deuxième partie n'a pas pour but de découvrir le rôle des poches gutturales, mais seulement d'essayer d'apporter des informations complémentaires sur le fonctionnement des orifices pharyngiens lors d'un effort simple, au pas et au trot.

D. Pathogénie de certaines affections des poches gutturales : quel est le rôle des orifices pharyngiens ?

Les poches gutturales des équidés constituent un mystère pour les scientifiques. Si on tente depuis des siècles de trouver leur fonction, c'est parce qu'elles sont le siège de nombreuses affections qui pour certaines, peuvent être fatales. Il parait difficile d'imaginer qu'elles ont été conservées au cours de l'évolution pour une fonction « triviale », alors qu'elles présentent un risque majeur pour l'individu (Baptiste, 1998).

Les principales affections qui touchent les poches gutturales sont (Lepage, 2008) :

- Mycose : elle représente jusqu'à 76% des affections rencontrées (Lepage, 1994)
- Empyème
- Tympanisme congénital
- Néoplasmes
- Corps étranger

En ce qui concerne le tympanisme congénital et la mycose des poches gutturales, l'étiologie est inconnue, plusieurs hypothèses ont été proposées, mais aucune n'a été prouvée. Dans les causes du tympanisme, on s'intéresse surtout aux orifices pharyngiens, que ce soit dans leur structure ou leur fonctionnement, alors que dans le cas de la mycose, on s'interroge sur les modalités d'entrée des spores fongiques dans les poches gutturales et de la raison pour laquelle ils se développent dans une région précise.

1. Tympanisme des poches gutturales

Le tympanisme est une des affections les plus courantes des poches gutturales, après l'empyème et la mycose. Il est le plus souvent d'origine congénitale et rencontré chez les poulains de 1 à 20 mois (Mc Cue et al., 1989), notamment chez les femelles qui sont, selon des études, deux à quatre fois plus touchées que les mâles (Bell, 2007). On retrouve cette affection dans de nombreuses races (trotteurs, pur-sang anglais, quarter horse, paint-horse) mais certaines comme le pur-sang arabe semblent prédisposées.

a. Généralités

a) Signes cliniques

Le tympanisme des poches gutturales est caractérisé par un gonflement fluctuant et non douloureux visible en région parotidienne (*figure 35*), parfois suffisamment sévère pour déplacer le larynx et la trachée. Il se développe le plus souvent dans la première semaine de vie du poulain (Blazyczek et al., 2004a). Le gonflement est dû à la distension d'une des deux poches gutturales qui comprime parfois la deuxième. Il peut dans certains cas concerner les deux poches : on parle alors de tympanisme bilatéral (Mc Cue et al., 1989).

Plusieurs complications peuvent s'ajouter au tableau clinique, à savoir un jetage nasal, de la dyspnée et de la toux, de la dysphagie et parfois des signes de pneumonie par fausse déglutition (Sparks et al., 2009).

Figure 35 : Tympanisme chez un poulain (*image ENVL – O. Lepage*)

b) Diagnostic et différentiel

Le diagnostic peut se faire par une vue radiographique latéro-latérale de la région parotidienne, qui montre des poches gutturales remplies d'air, sans ligne de niveau et distendues jusqu'en arrière de l'atlas le plus souvent (Butler et al., 2008). Par échographie, on peut observer contre la paroi profonde la glande parotidienne, une structure bien délimitée par une fine paroi échogène et présentant un contenu uniquement gazeux.

Le diagnostic de certitude se fait par une endoscopie des voies respiratoires supérieures, qui permet notamment le différentiel avec l'empyème et les chondroïdes. On observe une compression du pharynx par protrusion du plafond et/ou des parois latérales du nasopharynx ; et lorsque l'on introduit l'endoscope dans la poche gutturale concernée, celle-ci se dégonfle instantanément. L'examen ndoscopique permet aussi d'observer une éventuelle anomalie dans la structure ou le fonctionnement des orifices pharyngiens et de déterminer si une ou les deux poches sont atteintes, car le traitement n'est pas le même (Bell, 2007).

Le diagnostic différentiel d'un gonflement de la région inclue des hématomes ou séromas d'origine traumatique, un adénome de la thyroïde, un mucocèle de la glande parotide ou des kystes branchiaux (Nolen-Walston et al., 2009).

c) Traitement

Même si le traitement classique est chirurgical, une gestion médicale a parfois été proposée (Sparks et al., 2009). Le but d'un tel traitement est alors de combattre une infection qui pourrait provoquer une inflammation de l'orifice pharyngien et ainsi, une anomalie dans sa structure ou dans son fonctionnement. Mais retarder la chirurgie augmente le risque de complications comme la pneumonie par fausse déglutition ou le développement d'une inflammation de la muqueuse rendant alors difficile l'identification des structures nerveuses (Freeman, 2006).

Lors de dyspnée majeure, la prise en charge d'urgence est la décompression de la poche gutturale concernée par la mise en place d'un cathéter de Chambers en région parotidienne. Ce cathéter est ensuite laissé en place de façon provisoire le temps de réaliser la chirurgie.

Un traitement peut être tenté en cas de refus des propriétaires de réaliser une chirurgie : il consiste en la mise en place d'un cathéter à demeure entre la poche gutturale concernée et le nasopharynx, pendant plusieurs semaines pour permettre l'évacuation de l'air dans le pharynx. Ce traitement est controversé car il présente un risque majeur de complications comme l'apparition d'un empyème ou d'une pneumonie (Schambourg et al., 2006).

Les traitements le plus souvent proposés sont des actes chirurgicaux, différents selon que l'on est face à un tympanisme unilatéral ou bilatéral. Dans le cas où une seule poche est atteinte, le traitement consiste en une fenestration du septum médian séparant les deux poches gutturales, associé à une résection du repli cartilagineux qui obstrue l'orifice pharyngien. Cela se fait généralement sous anesthésie générale par abord par le triangle de Viborg ou par la technique de Whitehouse (Sparks et al., 2009). Cela permet à l'air coincé dans la poche gutturale de s'évacuer dans l'autre poche. La complication principale rencontrée, hormis l'apparition de récidives, est une lésion iatrogène d'une structure vasculaire ou nerveuse.

Si les deux poches sont concernées, le seul traitement consiste en la résection des replis des deux orifices à l'aide d'une pince à biopsie utérine, sur cheval debout sous sédation et sous contrôle endoscopique. Cette chirurgie peut se faire au laser si nécessaire, ce qui permet de raccourcir le temps de récupération après la chirurgie (McCue et al., 1989).

d) Pronostic

Le pronostic sans chirurgie est mauvais car si l'affection elle-même n'est pas fatale, il existe de forts risques de complications majeures, comme l'asphyxie ou la pneumonie par fausse déglutition.

Le principal risque rencontré suite à la chirurgie est la récidive du tympanisme : selon les études, le taux de récidive varie de 29% à 33% (Sparks et al., 2009). C'est pour réduire ce risque que l'on associe souvent les deux méthodes de fenestration et de résection des replis cartilagineux des orifices, même dans le cas d'un tympanisme unilatéral.

Le pronostic sportif peut être excellent chez des chevaux de course si aucune récidive n'est observée et lorsque les complications comme une infection de la poche gutturale ne se développent pas dans les premiers mois.

b. Etiologie et pathogénie

La théorie la plus courante concernant l'étiologie du tympanisme suggère un défaut congénital : un repli muqueux bouche de manière anormale l'orifice pharyngien et fonctionne comme une valve unidirectionnelle qui permet à l'air ou aux fluides d'entrer dans la poche lors de la déglutition mais pas d'en sortir. Mais comme certains cas ne rapportent pas d'anomalies dans la structure même de l'orifice, c'est son fonctionnement qui pourrait alors être mis en cause (McCue et al., 1989).

Une paralysie des muscles impliqués dans l'ouverture des orifices pharyngiens (ptérygo-pharyngien et stylo-pharyngien) a été proposée comme étiologie du tympanisme : les orifices sont incapables de se fermer lors de la respiration au repos et s'ouvrent passivement lors de l'inspiration (Baptiste, 1997).

Une anomalie au niveau de l'ouverture de l'ostium de la poche gutturale pourrait également être responsable du gonflement anormal des poches : cette anomalie peut être due soit à une paralysie du muscle palato-pharyngien empêchant son ouverture, soit à une inflammation secondaire à une infection diminuant la taille de l'ostium (Sparks et al., 2009).

Lors d'évaluation endoscopique, Knottenbelt et al. (2003) suggèrent une origine neurologique. Ils observent que l'orifice pharyngien s'ouvre complètement seulement durant la phase de haute pression de la déglutition, mais que lors de la deuxième phase où le larynx redescend et la pression diminue, l'orifice ne s'ouvre pas de manière efficace du côté atteint par rapport au côté sain.

Une étude allemande a par ailleurs démontré une prédisposition génétique chez le pur-sang arabe (Blazyczek et al., 2004b). L'hérédité de cette affection a également été étudiée dans d'autres races comme le pur sang anglais, le paint horse et les chevaux allemands. Les gènes responsables du type et de la sévérité des signes cliniques n'ont pas encore été déterminés (Zeitz et al., 2009).

Pour conclure sur le tympanisme des poches gutturales, c'est une affection assez rare dont l'étiologie est toujours inconnue. Les orifices pharyngiens jouent un rôle primordial dans la pathogénie, mais le véritable mécanisme reste à déterminer.

2. Le mystère de la mycose des poches gutturales

La mycose des poches gutturales est une pathologie relativement rare. C'est l'affection la plus fréquente des poches gutturales, et la plus grave qui affecte ces organes car elle est potentiellement fatale par hémorragie (Cook, 1987). Elle est due dans la majorité des cas à un champignon opportuniste, *Aspergillus nidulans* (Lepage, 1994). Elle touche le plus souvent les chevaux adultes, mais des cas chez des poulains de 6 mois ont été décrits. Il n'existe pas de prédisposition de race ou de sexe.

a. Généralités

a) Signes cliniques

Le signe le plus courant est une épistaxis modérée à sévère, non associée au travail. Elle est due à l'érosion par le champignon de la paroi de l'artère carotide interne (dans 2/3 des cas) ou des artères carotide externe ou maxillaire. Cette épistaxis peut être mortelle, mais la plupart des chevaux atteints présentent plusieurs épisodes de saignements modérés avant de présenter une hémorragie fatale (Pollock, 2007).

L'autre signe couramment retrouvé est la dysphagie, due à une atteinte des nerfs glosso-pharyngien et vague. Elle est associée à un abattement, du ptyalisme et du jetage alimentaire. Elle peut parfois se compliquer d'une pneumonie par fausse déglutition.

De nombreux autres signes cliniques peuvent également être présents (Millar, 2006) : jetage nasal mucopurulent ou signes d'atteinte de structures nerveuses (exemple du syndrome de Horner ou de l'hémiplégie laryngée lors de l'atteinte du nerf laryngé récurrent).

b) Diagnostic et différentiel

Le diagnostic est basé sur la clinique et sur la réalisation d'une endoscopie du pharynx et des poches gutturales : on trouve une plaque diphtérique de couleur jaune, marron, blanche et noire sur le plafond de la poche atteinte (*figure 36*). L'hémorragie présente peut parfois rendre difficile l'identification du vaisseau touché (Lepage et al., 2004).

Figure 36 : Mycose en regard de l'artère carotide interne (d'après Piat, 2008)

L'endoscopie doit être réalisée avec prudence car elle peut parfois précipiter une épistaxis fatale suite au stress de l'animal. De même, le passage de l'endoscope dans la poche gutturale atteinte peut rompre l'hématome ou le caillot présent et provoquer une hémorragie sévère. Si l'épisode d'épistaxis est récent, on peut se contenter de la présence d'un filet de sang coulant par l'orifice pharyngien des poches gutturales pour poser un diagnostic positif de mycose des poches gutturales (Lane, 1989). Il ne faut pas oublier de commencer par la poche présumée non atteinte afin de vérifier l'absence d'extension de la mycose via le septum médian et pour éviter toute contamination par l'endoscope.

Des biopsies peuvent être réalisées pour obtenir des données épidémiologiques même si elles sont inutiles pour le diagnostic (Lepage et al., 2004). Les prélèvements doivent être réalisés avant la mise en place de traitement et fixé dans du formol 10%. L'histopathologie révèle une inflammation profonde et étendue de type fibronécrotique, accompagnée de fins filaments fongiques. On peut ensuite effectuer une culture fongique mais celle-ci est peu sensible ; le diagnostic de l'aspergillose passe surtout par la réalisation d'un test moléculaire comme une PCR sur le sang de l'animal infecté (Lepage et al., 2004).

Le diagnostic différentiel inclue d'abord toutes les causes d'épistaxis soit : un hématome progressif de l'ethmoïde, une masse tumorale dans les cavités nasale ou sinusales, des polypes, une nécrose des cornets nasaux ou plus rarement, des hémorragies pulmonaires induites par l'effort (Lepage, 1994).

En ce qui concerne les affections des poches gutturales, on peut retrouver une épistaxis lors d'une infection bactérienne, de l'abcédation d'un nœud lymphatique rétro-pharyngien, une rupture des muscles longs de la tête et/ou droit ventral de la tête, ou plus rarement une fracture de l'os styloïde ou une masse néoplasique (Lepage, 1994).

c) Traitement

La prise en charge peut être soit médicale, soit chirurgicale, ou une combinaison des deux méthodes. Les buts sont toujours l'occlusion de l'artère endommagée et/ou l'élimination de la plaque fongique (Pollock, 2007). La fermeture de l'artère pourrait provoquer la perte de substrat nécessaire à la croissance fongique et ainsi faire régresser la plaque mycosique : mais cette hypothèse fait encore débat (Baptiste, 2004).

Un traitement médical est possible à base d'antifongiques comme les imidazoles ou les polyènes, mais il est long et pas toujours efficace. Il peut s'utiliser quand les structures vasculaires ne sont pas menacées (Pollock, 2007).

Le traitement chirurgical est le seul moyen de prévenir une hémorragie fatale ou une atteinte nerveuse. Le retrait chirurgical de la plaque a été décrit mais il n'est plus recommandé en raison du risque accru de complications. Aujourd'hui, plusieurs techniques sont possibles comme la ligature de la carotide ou l'embolisation trans-artérielle (Lepage et al., 2004). Le « gold-standard » est aujourd'hui l'embolisation trans-artérielle, avec un taux de survie de 87% dans certaines études (Pollock, 2007).

d) Pronostic

Sans traitement, le pronostic est réservé à mauvais : la mort peut survenir rapidement par hémorragie de l'artère carotide ou des lésions neurologiques présentes peuvent devenir irréversibles. Le succès du traitement de la mycose des poches gutturales dépend de la reconnaissance précoce de la pathologie et d'une prise en charge rapide. Il faut dans tous les cas considérer l'épistaxis comme une urgence. Les lésions mycosiques montrent généralement une régression 4 mois après un traitement chirurgical par la technique d'embolisation trans-artérielle (Pollock, 2007).

Le pronostic est aggravé quand des signes neurologiques, particulièrement de la dysphagie sont présents avant la mise en place du traitement. La guérison complète peut prendre jusqu'à 18 mois quand des déficits neurologiques comme une atteinte du nerf laryngé récurrent ou un syndrome de Horner sont présents.

b. Etiologie et pathogénie

a) Agent pathogène

Lors de mycose des poches gutturales, le champignon le plus souvent isolé est *Aspergillus* spp., particulièrement *Aspergillus nidulans* (Blomme et al., 1998).

D'autres champignons comme *Penicillium* spp, *Aspergillus* spp, *Paecilomyces* spp. ou *Mucor* spp peuvent être isolés de la flore du pharynx de chevaux sains. Les conditions d'une poche gutturale que sont l'humidité, la chaleur, l'obscurité et l'absence de ventilation pourraient stimuler la croissance de ces champignons. De même, certaines affections comme un empyème ou une fracture du stylohyoïde peuvent être des facteurs favorisants (Lepage et al., 2004).

b) Localisation de la plaque mycosique

La plaque mycosique se développe en général sur le plafond du compartiment médial, où la muqueuse recouvre l'os styloïde et l'os pétreux, pour ensuite se propager au reste du compartiment. L'envahissement de la sous muqueuse par le mycélium est à l'origine des affections touchant les différentes structures nerveuses et vasculaires (Lepage, 1994). L'autre site préférentiel où la plaque mycosique se développe souvent est la paroi latérale du compartiment latéral (Lane, 1989). Ces deux sites sont étroitement associés respectivement à l'artère carotide interne pour le premier et l'artère carotide externe pour le second. C'est ce qui fait que certains auteurs suspectent la mycose de la poche gutturale comme secondaire à une maladie artérielle primaire (Lane, 1989).

Blomme et al. (1998) soulignent que dans de nombreux cas de mycose des poches gutturales, l'os stylohyoïde montre des modifications dans sa structure, qui peuvent faire suite à l'infection, mais pourraient aussi être un facteur prédisposant. La localisation fréquente de la plaque mycosique au plafond du compartiment médial, adjacente à l'articulation temporo-stylohyoïdienne est un argument supplémentaire en faveur de cette hypothèse.

La raison pour laquelle le champignon se développe dans cette région anatomique spécifique et chez un animal non immunodéprimé est inconnue. D'ailleurs, la maladie n'a encore jamais été reproduite de manière expérimentale (Lane, 1989). La perturbation de la muqueuse par une inflammation, un traumatisme ou une infection bactérienne primaire peuvent être des facteurs prédisposants à la croissance fongique (Cook et al., 1980). La présence d'un anévrisme de l'artère affectée, des migrations larvaires erratiques ou un traitement à base d'antibiotique et de corticostéroïdes ont également été proposés (Pollock, 2007).

c) Modalités d'entrée des spores fongiques

Cook (1987) propose un mécanisme permettant l'entrée et le développement des spores fongiques dans les poches gutturales. Selon lui, le très faible diamètre de la trompe auditive au niveau de son ouverture tympanique (2 mm de diamètre seulement) représente seulement un espace capillaire. Une inflammation de la muqueuse de la trompe auditive lors d'infection des voies respiratoires supérieures bloque l'ouverture tympanique, provoquant une absorption d'air depuis l'oreille moyenne et conduisant au développement de pressions négatives à l'origine d'une otite moyenne sécrétante.

Cette série d'évènements, commençant par une obstruction temporaire de l'ouverture tympanique, pourrait produire un transsudat séreux depuis l'oreille moyenne vers la poche gutturale. Ce liquide séreux aurait tendance à recouvrir la muqueuse du plafond du compartiment médial et offrirait ainsi un milieu de culture idéal pour le développement de spores fongiques présentes de façon physiologique dans la poche gutturale du cheval. Le mycélium se forme alors dans la poche gutturale et autour de l'ouverture tympanique de la trompe auditive, soit le site reconnu comme celui de prédilection des plages mycosiques.

Ce mécanisme pourrait ainsi expliquer pourquoi la mycose des poches gutturales se développe parfois comme une complication de la gourme chez les poulains et les chevaux adultes.

d) Conclusion

Des études épidémiologiques supplémentaires sont encore nécessaires pour lever le mystère de la mycose des poches gutturales et connaitre les facteurs permettant la croissance d'*Aspergillus* dans cet organe. Le rôle de l'ouverture des orifices pharyngiens dans le mécanisme d'invasion par les spores mériterait également d'être étudié.

En conclusion, on voit que le rôle des poches gutturales reste un mystère, aucune hypothèse proposée jusqu'à aujourd'hui n'a été prouvée. De même, l'étiologie des principales affections les concernant est inconnue ce qui reste un frein dans leur prévention et leur traitement. L'implication potentielle des orifices pharyngiens n'a été étudiée que très rarement, alors qu'elle semble primordiale : l'étude clinique présentée dans la deuxième partie va s'intéresser uniquement à l'observation des modalités d'ouverture des orifices pharyngiens à l'exercice.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE CLINIQUE

(Image VetAgro Sup – C. Bouvet)

DEUXIEME PARTIE : ETUDE CLINIQUE

I. Etude préliminaire : observation des orifices pharyngiens au repos

En 2008, une étude des modalités d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales au repos a été réalisée dans le cadre d'un séminaire d'internat (Deluzurieux). L'objectif de cette étude était d'observer le fonctionnement des orifices pharyngiens au repos dans différentes situations, c'est-à-dire le cheval avec la tête en haut, la tête en bas ou en train de manger. En effet, on sait que les poches gutturales s'ouvrent pendant la déglutition (Heffron et Baker, 1979) mais on ne sait pas réellement quel rôle elles jouent, et surtout, on ne sait pas si elles s'ouvrent dans d'autres situations.

A. Sujets, matériel et méthodes

L'observation des orifices pharyngiens par endoscopie embarquée a été réalisée chez trois chevaux de races et de sexes différents à savoir une femelle trotteuse française, un mâle comtois et un mâle cheval de selle français. Les chevaux appartiennent au troupeau pédagogique du Pôle Equin de VetAgro Sup – Campus Vétérinaire de Lyon.

A l'aide d'un endoscope embarqué, l'étude des modalités d'ouverture des orifices pharyngiens a été réalisée exclusivement au repos, dans les situations suivantes :

- A l'attache pendant 10 minutes
- Libre au box pendant 10 minutes : le cheval peut alors manger
- Tête en haut pendant 5 minutes
- Tête en bas pendant 5 minutes : le cheval mange
- Ventilation forcée pendant 5 minutes

B. Résultats

Dans cette étude, on montre que les orifices s'ouvrent toujours simultanément et trois types d'ouvertures sont mis en évidence :

- Ouverture complète : les deux clapets prennent une forme semi-circulaire et laissent voir l'entrée de la poche gutturale. Ce phénomène dure moins d'une seconde et il est systématiquement associé à une déglutition.
- Ouverture partielle : le clapet prend une forme courbe laissant deviner l'entrée de la poche gutturale, sans que l'on puisse observer une ouverture complète. Ce phénomène est plus furtif que le précédent et n'est pas corrélé à la déglutition. Etant donné le nombre limité de ces ouvertures, il est impossible de déterminer les conditions dans lesquelles elles ont lieu (bâillement ?)
- Ouverture passive : lors de la mastication et selon la position de l'endoscope, on observe parfois un simple décollement du clapet de la paroi latérale du pharynx. Ce phénomène semble lié aux mouvements de la paroi du pharynx générés par les muscles masticateurs.

Le *tableau 1* montre les résultats obtenus lors de cette étude, c'est-à-dire le nombre d'ouvertures complètes et symétriques observées dans chaque situation et pour chaque cheval.

		Nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales				
Cheval		**A l'attache 10 minutes**	**Libre au box 10 minutes (peut manger)**	**Tête en haut 5 minutes**	**Tête en bas (mange) 5 minutes**	**Ventilation forcée 5 minutes**
Cheval 1	**(1)**	5	6	1	7	3
	(2)	5	6	1	7	
Cheval 2	**(1)**	8	13	3	8	6
	(2)	13	11	1	11	
Cheval 3	**(1)**	1	11	0	10	2
	(2)	3	2	2	3	
Moyenne		*5,83*	*8,17*	*1,33*	*7,67*	*3,67*

Tableau 1 : Nombre d'ouverture des orifices pharyngiens dans différentes situations au repos, chez trois chevaux (Deluzurieux, 2008)

Cette étude montre que les orifices pharyngiens s'ouvrent principalement lors de la déglutition et le nombre d'ouvertures augmente lorsque le cheval mange, c'est-à-dire lorsqu'il mâche et déglutit les aliments. La mastication semble provoquer un décollement passif des orifices pharyngiens produit par un mouvement des parois latérales du pharynx, mais ce décollement ne semble pas permettre de passage d'air dans la poche gutturale. Les autres types d'ouverture ne sont pas bien décrits, et ils sont difficilement reliés à un autre phénomène (bâillement ?). La réalisation de nouvelles endoscopies embarquées semblent intéressantes pour tenter d'étudier les mécanismes d'ouverture des orifices pharyngiens (Deluzurieux, 2008).

Dans cette étude clinique, les observations faites au préalable par certains auteurs (Heffron et Baker, 1979) sont ainsi confirmées : les orifices pharyngiens s'ouvrent de manière simultanée et complète lors de la déglutition.

L'auteur propose également un mécanisme d'ouverture partielle des orifices pharyngiens lorsque le plafond du pharynx s'affaisse, voire entre en contact avec le palais mou, comme c'est le cas lors de la déglutition. Mais l'ouverture n'est pas observée à chaque affaissement du pharynx.

A ce jour, cette étude est l'une des rares études à s'être intéressée uniquement aux orifices pharyngiens des poches gutturales, dont le rôle est supposé déterminant dans la fonction de ces organes et dans l'étio-pathogénie des affections qui les touchent. L'endoscope embarqué est apparu comme un matériel adéquat pour leur observation : il semble intéressant de l'utiliser dans des situations plus variées et de multiplier les observations. C'est pour compléter cette étude que le travail présenté dans cette thèse a été entrepris.

II. Etude clinique : observations des modalités d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales du cheval, au repos, au pas et au trot par utilisation de l'endoscopie embarquée

A. Objectifs de cette étude

Comme nous l'avons vu précédemment, le fonctionnement et le rôle des poches restent toujours méconnus. On attribue depuis plusieurs années aux poches gutturales un rôle dans le refroidissement sélectif du cerveau lors de stress thermique et notamment lors de l'effort (Baptiste, 1998 ; Baptiste, 2000). L'ouverture des orifices pharyngiens a été plusieurs fois observée au repos et a été mise en lien avec la déglutition (Heffron et al., 1979). Mais le fonctionnement des orifices pharyngiens à l'exercice n'a jamais été étudié : il parait intéressant d'observer leur ouverture.

Depuis quelques années, le développement de l'endoscopie embarquée a permis de considérables progrès dans le diagnostic des affections des voies respiratoires supérieures (Desmaizières et al., 2009 ; Pollock et al., 2009). C'est en effet un outil très utile dans l'observation du fonctionnement pharyngé et laryngé lors de l'effort.

L'objet de cette étude est d'utiliser ce matériel innovant pour l'observation de l'ouverture des orifices pharyngiens situés dans le nasopharynx lors de l'effort. Comme il a été proposé plusieurs rôles aux poches gutturales, dans la respiration ou dans le refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide, l'observation du comportement des orifices lors de l'effort, notamment le type et le nombre d'ouvertures, semble un premier pas dans l'étude de ces mécanismes.

L'hypothèse principale proposée pour cette étude est que les orifices pharyngiens s'ouvrent plus souvent à l'effort qu'au repos pour permettre une ventilation de la poche gutturale et participer ainsi au refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide. Le nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens au repos, au pas puis au trot est comptabilisé puis comparé entre les différentes situations et entre les chevaux.

B. Sujets, matériel et méthodes

Avant de réaliser cette étude, un dossier complet a été présenté et approuvé par le Comité d'Ethique de VetAgro Sup. Les chevaux utilisés dans cette étude sont des chevaux du troupeau pédagogique du Pôle Equin de VetAgro Sup – Campus Vétérinaire de Lyon.

1. Sujets et matériel clinique

Dans cette étude, sept chevaux ont été utilisés dont cinq hongres (désignés par la première lettre du nom : C, H, Mo, N et P) et deux femelles (Ma et O). Ce sont des chevaux de selle, âgés de 7 à 15 ans : on compte un cheval de race selle français et six trotteurs français. Deux séries de mesures ont été effectuées sur ces chevaux à deux mois d'intervalle (novembre 2011 et janvier 2012). Trois personnes sont nécessaires à la réalisation des manipulations : une personne tient le cheval, une autre personne introduit l'endoscope dans le naseau du cheval et la troisième tient l'extrémité proximale de l'endoscope et le récepteur afin de visualiser le placement de l'image en direct.

2. Equipement

Les chevaux utilisés dans cette étude sont équipés seulement d'un licol et d'un surfaix, auquel sera fixé le matériel endoscopique. Le matériel utilisé est un endoscope embarqué de type DRS (Dynamic, Respiratory Scope), produit par la société Optomed (*cf coordonnées page 120)*. Il est composé d'un endoscope flexible, d'un système émetteur et enregistreur fixé au surfaix du cheval et d'un système récepteur pour l'observation en temps réel par les manipulateurs. Il est accompagné d'une bride sans mors, que l'on fixe par-dessus le licol afin de pouvoir fixer l'endoscope à la tête du cheval grâce à des élastiques.

Le sac émetteur et enregistreur est fixé fermement au surfaix afin qu'il bouge le moins possible lors de l'exercice pour ne pas gêner l'animal (*figure 37*).

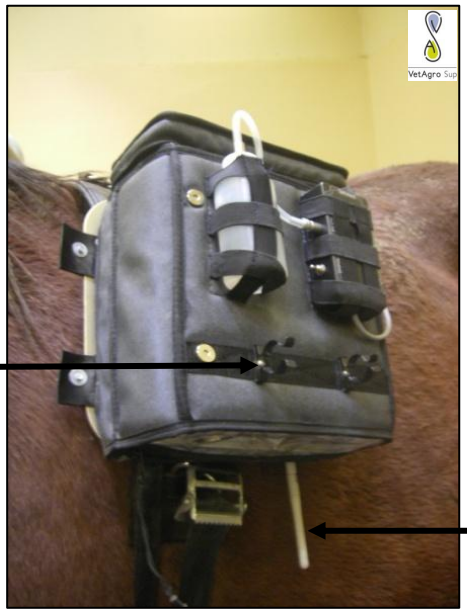


Figure 37 : Sac émetteur et enregistreur fixé fermement au surfaix, équipé du système de pompe et de l'antenne émettrice (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*)

3. Méthode

Le cheval est préparé avec une pulvérisation d'anesthésique local dans le naseau droit (lidocaïne, Xylocaïne 2% ®). L'endoscope est ensuite introduit sur environ 30 à 40 centimètres, jusqu'au nasopharynx, sous contrôle vidéo pour se placer de manière optimale devant les orifices pharyngiens des poches gutturales. Il est introduit de manière systématique dans le naseau droit, sauf dans le cas d'un cheval qui avait présenté deux jours plus tôt une épistaxis due à un saignement de l'ethmoïde à droite, où le nouvel enregistrement a été fait dans le naseau gauche.

L'endoscope est ensuite replié sur le chanfrein du cheval et fixé au filet, à l'encolure et au sac émetteur grâce à des élastiques (*figure 38)*. Le système de pompe automatique est mis en route, 2 ml d'eau déminéralisée sont instillés toutes les 30 secondes. La position de l'image est vérifiée et les enregistrements peuvent être démarrés.

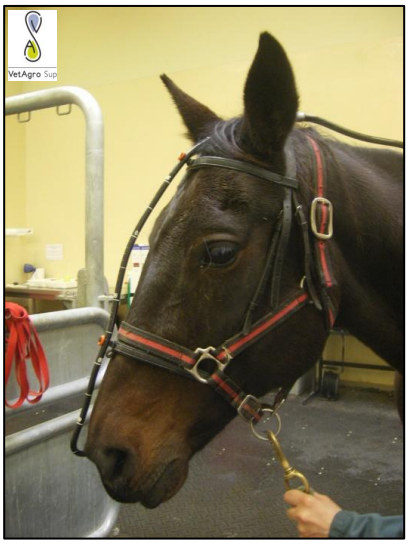


Figure 38 : Fixation de l'endoscope au filet par des élastiques (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*)

On enregistre ensuite dans 3 situations différentes :

- Pendant 5 minutes au repos, tenu en main et au calme dans une salle. La tête du cheval est maintenue en hauteur (il ne peut pas baisser la tête), de manière à ce que les conditions soient reproductibles entre chaque cheval.
- Pendant 5 minutes au pas puis 5 minutes au trot, dans un rond de longe en sable : l'endoscope a été placé dans le naseau droit par souci de reproductibilité mais le sac émetteur/enregistreur est placé à gauche (habitude d'approche d'un cheval par la gauche), les chevaux sont tournés en longe à main gauche pour ne pas risquer d'accrocher le matériel dans les barrières (*figure 39).*
- Pendant 5 minutes suite à l'effort, au retour au calme dans la salle, soit 2 minutes après l'effort. Ici encore, le cheval est tenu en main et sa tête est maintenue en hauteur.

L'enregistrement est arrêté entre chaque situation. Les changements d'allure (pas, trot) et tout évènement particulier (toux, expectoration, bruit respiratoire) sont notés afin de pouvoir les relier plus tard aux éventuelles modifications sur les vidéos.

Figure 39 : Cheval tourné en longe à main gauche, au pas, avec l'endoscope embarqué fixé au surfaix à gauche (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*)

Le matériel est ensuite retiré : les différents élastiques sont retirés, l'endoscope est détaché de l'émetteur. Il est ensuite retiré du naseau du cheval et nettoyé entre chaque manipulation à l'aide d'alcool et d'eau déminéralisée.

Les enregistrements sont par la suite visionnés à plusieurs reprises et au ralenti, afin d'obtenir une interprétation la plus précise possible. Les ouvertures des orifices pharyngiens sont comptabilisées, on note leur fréquence, leur moment d'apparition et le lien avec un autre phénomène (déglutition, déclenchement de la pompe) et leurs caractéristiques (ouverture complète, symétrique, partielle ou simple décollement).

C. Résultats

Les résultats obtenus au cours de cette étude vont maintenant être présentés en commençant par une analyse qualitative des différents types d'ouvertures puis par une analyse quantitative et statistique.

1. Etude qualitative

a. Les différents types d'ouvertures observés

De manière générale, on observe plusieurs types d'ouvertures des orifices pharyngiens, à des moments et des fréquences différents. On note ainsi des :

- Ouvertures complètes et symétriques des deux orifices pharyngiens, qui laissent apercevoir l'entrée des poches gutturales (*figure 40*)
- Une ouverture complète en deux temps
- Plusieurs ouvertures complètes et successives des deux orifices pharyngiens en moins de 5 secondes
- Décollements de moins de 1 mm d'un ou des deux orifices, lors de mouvements du pharynx ou lors d'expectorations

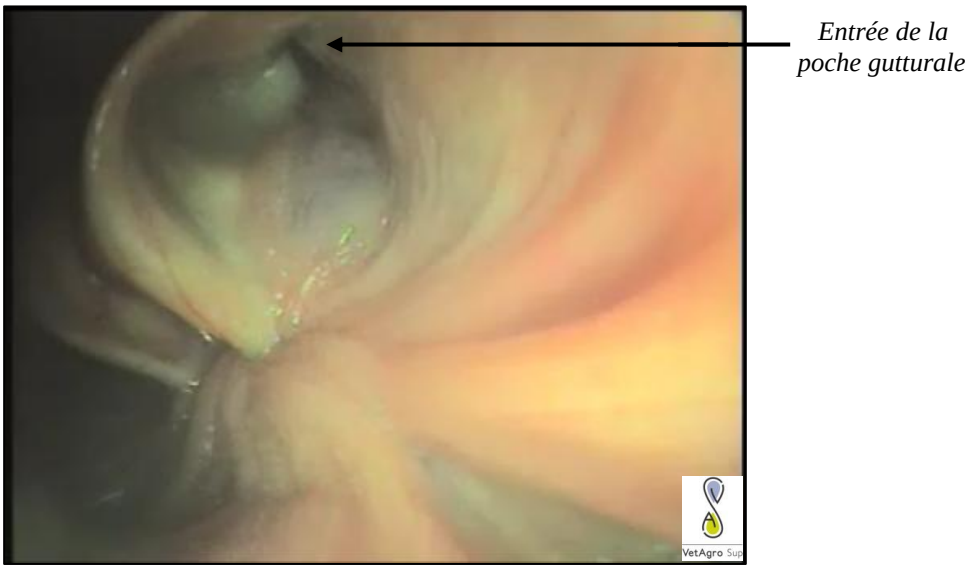


Figure 40 : Ouverture complète et symétrique des orifices qui laisse distinguer l'entrée de la poche gutturale (*image VetAgro Sup*)

b. Les ouvertures complètes

a) Ouvertures simples

Les ouvertures complètes et symétriques des deux orifices pharyngiens sont les ouvertures les plus souvent observées. Elles sont liées de manière systématique à la déglutition, en particulier à la phase pharyngée de la déglutition (*figure 41*).

La phase pharyngée de la déglutition se déroule en moins de deux secondes et les différentes étapes observées sont (*figure 41*) :

- Mouvements de haut en bas du pharynx, avec le plafond qui s'abaisse et le voile du palais qui remonte (à 3 ou 4 reprises). Cette phase dure 1 à 2 secondes et n'est pas toujours observée.
- Contraction progressive du pharynx avec abaissement du plafond du pharynx et fermeture du sphincter pharyngien
- Ouverture des orifices pharyngiens une fois le sphincter fermé : l'ouverture se fait en moins de 0,1 secondes et dure 0,8 secondes. Les clapets cartilagineux des orifices prennent une forme semi-circulaire, dont le sommet se dirige dorso-médialement et ils viennent pratiquement s'accoler l'un à l'autre. On peut alors distinguer l'entrée de la poche gutturale.
- Une fois les clapets cartilagineux fermés, le sphincter œsophagien se ré-ouvre, les parois du pharynx se relâchent et les orifices des poches gutturales reviennent en place. L'épiglotte reste fermée encore quelques millisecondes.
- L'épiglotte s'abaisse pour revenir en position ouverte. La phase pharyngée de la déglutition est terminée.

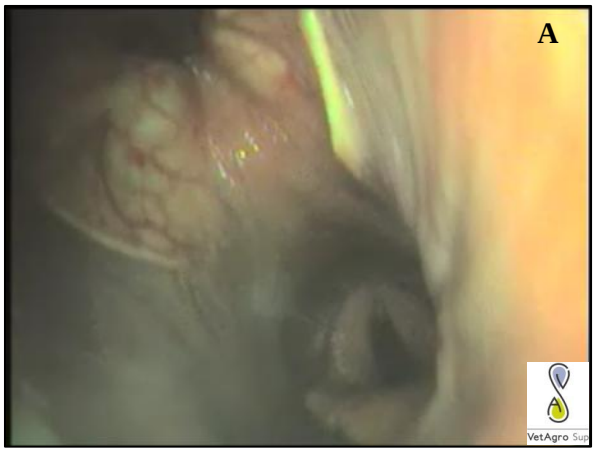
b) Ouvertures successives

On observe parfois des ouvertures complètes qui se succèdent en moins de 5 secondes, toujours associées à une déglutition. Les orifices s'ouvrent une première fois lors d'une déglutition, puis moins de 5 secondes après, s'ouvrent une deuxième fois lors d'une deuxième déglutition.

On observe ce phénomène seulement au pas ou au trot, et uniquement chez trois chevaux : chez O lors de la première manipulation (1), chez P (1) et chez N lors de la deuxième manipulation (2). Il arrive même que les orifices s'ouvrent 3 fois successivement en moins de 5 secondes : ceci est observé une fois, uniquement chez P (1) au trot.

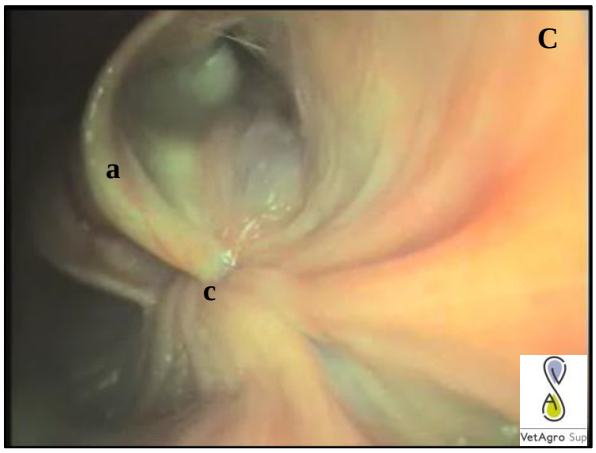
c) Ouverture complète en deux temps

Parmi tous les enregistrements réalisés, on observe une seule fois une ouverture en deux temps, lors des 5 minutes de repos après l'exercice chez P (2). Les orifices s'ouvrent une première fois de façon circulaire lors d'une déglutition, et avant de se refermer complètement, s'ouvrent une deuxième fois. Ceci se déroule en moins de 2 secondes.



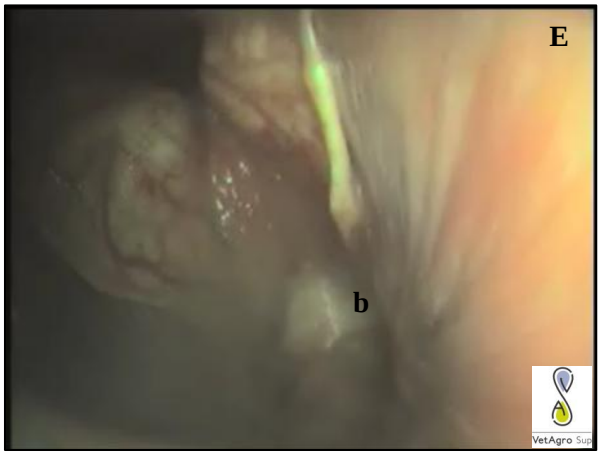
A. avant la déglutition
(les structures sont en place)

B. début de la contraction du pharynx
(le plancher se soulève)

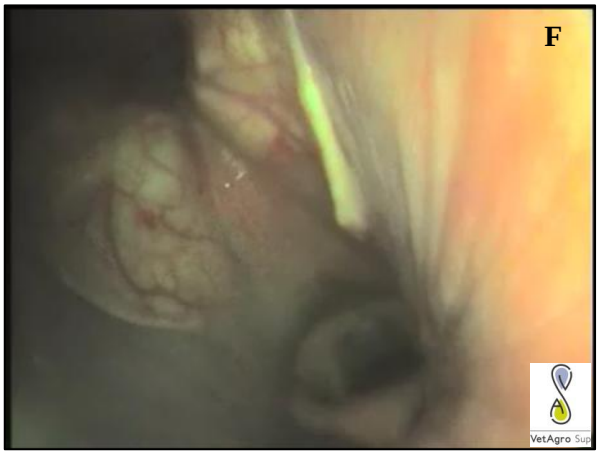


C. fermeture du sphincter œsophagien (c)
et ouverture des orifices pharyngiens (a)

D. ouverture du sphincter œsophagien
et fermeture des orifices



E. épiglotte (b) en position fermée



F. repositionnement de l'épiglotte
en position ouverte

Figure 41 : Les différentes étapes de la déglutition lors de l'observation au repos (*images VetAgro Sup*)

c. Décollement des orifices pharyngiens

En dehors des ouvertures complètes observées lors de la déglutition, on observe parfois des décollements « passifs » des orifices pharyngiens, de moins de 1 à 2 mm en général, en partie ventrale ou dorsale du clapet cartilagineux. Selon la position de l'endoscope, il est parfois difficile de savoir si les deux orifices ou seulement l'un des deux se décollent. Ce phénomène est observé principalement dans trois situations différentes :

- Lors de mouvements des parois du pharynx (latérales, plafond ou voile du palais)
- Lors d'expectorations
- Juste avant ou juste après une déglutition et une ouverture complète des orifices, c'est-à-dire lors de contractions du pharynx

Ces décollements sont dits passifs car ils semblent simplement être dus à une modification de la pression dans le pharynx et non à un mécanisme actif d'ouverture des orifices. Ils ne sont pas observés chez tous les chevaux.

Lors de mouvements du pharynx, on observe au préalable un gonflement de l'orifice et après quelques millisecondes, un décollement du clapet cartilagineux (*figure 42*). Ces décollements ont été observés chez trois chevaux, au repos, au pas comme au trot. Dans ce cas-là, le clapet cartilagineux se décolle de moins de 1 mm de la paroi du pharynx.

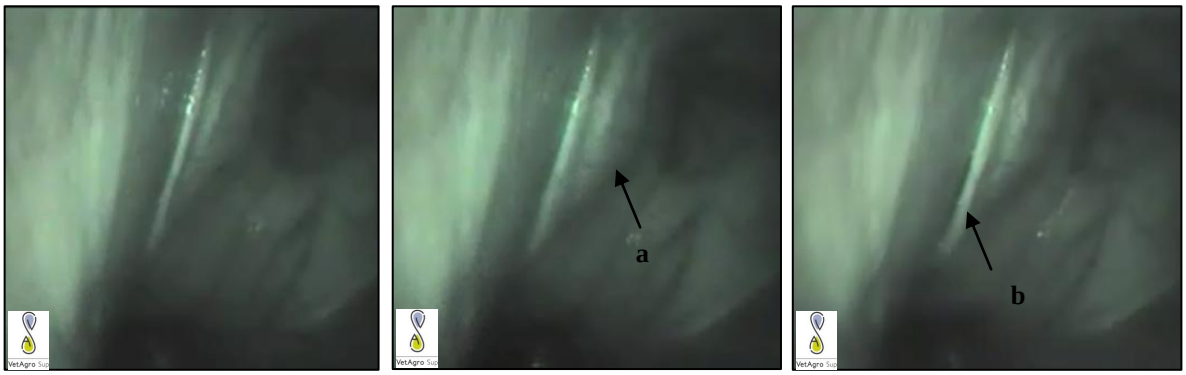


Figure 42 : Léger gonflement de l'orifice (a) suivi d'un décollement (b) (*images VetAgro Sup*)

Les décollements sont également observés lors des expectorations : celles-ci sont souvent associées au déclenchement de la pompe et à l'écoulement de l'eau déminéralisée dans les voies nasales. Elles se reconnaissent par les vibrations et l'accolement provoqués sur les cartilages aryténoïdes et par les à-coups de haut en bas que subit l'extrémité distale de l'endoscope (parfois déplacée en regard de l'ethmoïde pendant moins d'une seconde). Elles provoquent dans certains cas, un léger décollement des clapets cartilagineux des orifices pharyngiens, de moins de 1 mm là aussi. Ce décollement semble simplement dû aux vibrations.

La dernière situation où un décollement des orifices pharyngiens est observé, c'est juste avant ou juste après une déglutition et une ouverture complète. Les contractions du pharynx, c'est-à-dire l'abaissement du plafond et la mise en tension du voile du palais en sont à l'origine. Les clapets cartilagineux se décollent dans ce cas de 1 à 2 mm (*figure 43*) : selon le placement de l'endoscope, on est souvent en regard d'un seul des deux orifices, on ne sait pas si le deuxième orifice se décolle simultanément, ou s'il reste accolé à la paroi du pharynx.

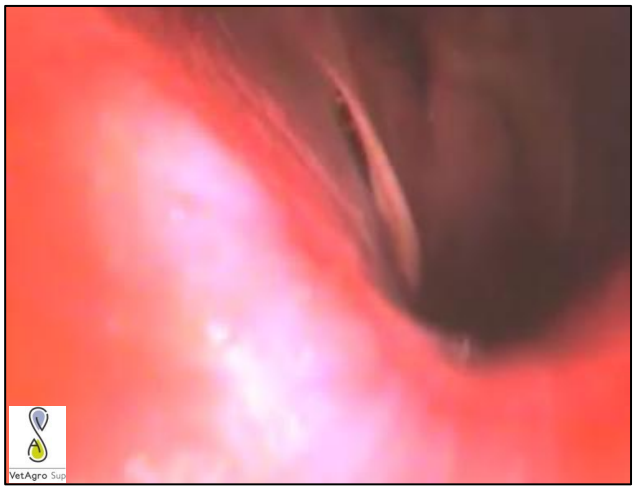


Figure 43 : Décollement passif d'un orifice suite à une ouverture complète (*image VetAgro Sup*)

d. Autres observations endoscopiques

On reconnait dans certains enregistrements les hennissements : ils provoquent une vibration des cordes vocales. Chez un cheval (Mo), trois hennissements au cours des cinq minutes de repos après l'effort déclenchent chaque fois une déglutition dans les 5 secondes qui suivent, et donc l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales.

Chez ce même cheval, un collapsus pharyngé récurrent apparait lors de l'effort : on observe un affaissement du plafond du pharynx, qui vient recouvrir le bord dorsal des deux cartilages aryténoïdes du larynx (*figure 44*). Ce collapsus n'a aucune conséquence sur l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales.

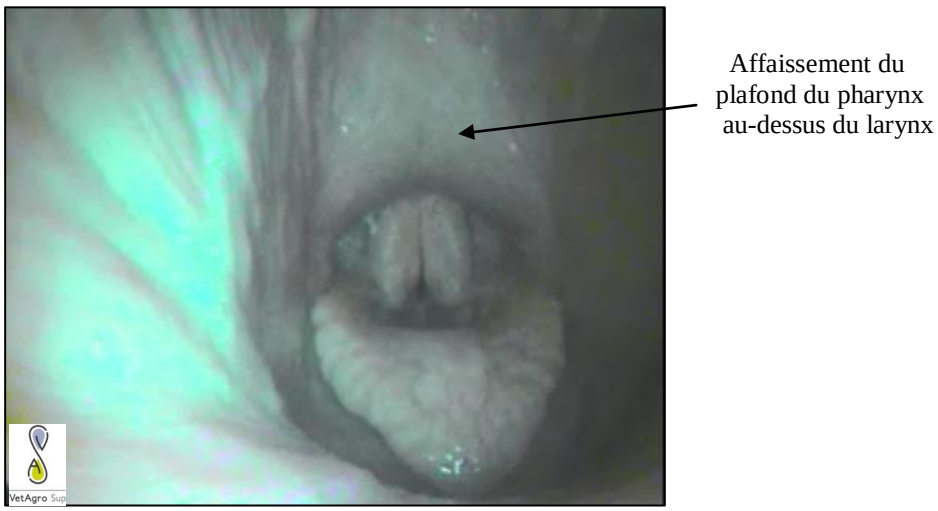


Figure 44 : Collapsus pharyngé (*image VetAgro Sup*)

Enfin, chez l'un des chevaux étudiés (C), on observe un gonflement intermittent du récessus pharyngien, sans lien avec les ouvertures ou les décollements des orifices pharyngiens.

2. Etude quantitative

a. Les ouvertures complètes simples

Le *tableau 2* reprend l'ensemble des ouvertures complètes et symétriques des orifices pharyngiens des poches gutturales comptabilisées dans chaque situation pendant 5 minutes (repos, pas, trot et repos après exercice) chez les sept chevaux et lors des deux manipulations réalisées à deux mois d'intervalle. On retrouve également le nombre moyen d'ouvertures pour chaque allure en 5 minutes, puis la fréquence, c'est-à-dire le nombre moyen d'ouvertures par minute.

		Nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales			
Cheval		**Repos (5 minutes)**	**Pas (5 minutes)**	**Trot (5 minutes)**	**Repos après effort (5 minutes)**
C	(1)	4	6	5	2
	(2)	3	5	6	1
H	(1)	2	3	3	1
	(2)	4	4	3	1
Ma	(1)	3	2	3	Ø *
	(2)	3	2	3	1
N	(1)	6	4	6	4
	(2)	4	7	15	1
O	(1)	5	9	12	Ø *
	(2)	2	5	4	3
P	(1)	5	7	17	6
	(2)	5	12	11	7
Mo	(1)	6	9	9	5
Moyenne		***4***	***5,77***	***7,46***	***2,91***
Moyenne /minute		***0,8***	***1,15***	***1,49***	***0,58***

Tableau 2 : Nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens lors des quatre situations chez les sept chevaux

* *Les observations au repos après exercice n'ont pas été réalisées chez O et Ma lors de la première manipulation (1), suite à une modification du protocole.*

On rappelle que l'ensemble des ouvertures complètes et symétriques comptabilisées ici sont toujours associées à une déglutition. Ce tableau illustre non seulement les ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales mais aussi les déglutitions. L'analyse quantitative des décollements passifs sera faite dans une partie suivante.

a) Observations dans chaque situation

i. Observations au repos

Au repos, le nombre d'ouvertures est très variable d'un cheval à l'autre : les orifices s'ouvrent de 2 à 7 fois sur cinq minutes, avec en moyenne 4 ouvertures. Cela correspond à une fréquence de 0,4 à 1,4 ouvertures par minute, pour une moyenne de 0,80.

Chez un même cheval, le nombre d'ouvertures entre la première et la deuxième manipulation est également extrêmement variable :

- Chez un cheval (N, le nombre d'ouvertures diminue de moitié, en passant de 6 à 4 ouvertures en 5 minutes
- Chez deux chevaux, le nombre d'ouvertures est doublé : il passe de 2 à 4 ouvertures chez H et de 3 à 6 chez Mo
- Chez d'autres, le nombre d'ouvertures est stable, avec lors des deux manipulations, 3 ouvertures en 5 minutes chez Ma et 5 ouvertures chez P

ii. Observations au pas

Le nombre d'ouvertures complètes au pas est encore plus variable, puisque les orifices s'ouvrent de 2 à 12 fois selon les chevaux, avec en moyenne 5,79 ouvertures en 5 minutes. Ceci correspond à une fréquence de 0,4 à 2,4 ouvertures par minute, pour une moyenne de 1,16.

Là encore, le nombre d'ouvertures par cheval entre les deux manipulations est variable :

- Chez Ma, il est constant, avec 2 ouvertures en 5 minutes
- Chez d'autres chevaux, il augmente ou diminue nettement :
  - Il est multiplié par 1,7 chez P, avec 7 puis 12 ouvertures en 5 minutes
  - Il est divisé par 1,8 chez O, passant de 9 à 5 ouvertures en 5 minutes

iii. Observations au trot

C'est au trot que le nombre d'ouvertures est le plus variable, puisque les orifices s'ouvrent de 3 (Ma) à 17 (P) fois selon les chevaux, avec en moyenne 7,46 ouvertures en 5 minutes : le nombre d'ouvertures est multiplié par 5 entre deux chevaux. Ceci correspond à une fréquence de 0,6 à 3,4 ouvertures par minute, pour une moyenne de 1,49.

Le nombre d'ouvertures par cheval entre les deux manipulations est très variable :

- Chez Ma, il reste stable avec 3 ouvertures en 5 minutes à chaque fois
- Chez d'autres chevaux, il augmente ou diminue :
  - Il est multiplié par 2,5 chez N, passant de 6 à 15 ouvertures en 5 minutes
  - Il est divisé par 3 chez O, avec 12 puis 4 ouvertures en 5 minutes

iv. Observations au repos après effort

Le nombre d'ouvertures complètes au repos après effort est également variable, puisqu'il va de 1 (H) à 7 (P) ouvertures selon les chevaux, pour une moyenne de 2,91 ouvertures en 5 minutes : le nombre d'ouvertures est multiplié par 7 entre deux chevaux. Ceci correspond à une fréquence de 0,2 à 1,4 ouvertures par minute, pour une moyenne de 0,58.

Là aussi, le nombre d'ouvertures par cheval entre les deux manipulations est très variable :

- Chez H, il reste constant avec 1 ouverture en 5 minutes à chaque fois
- Il est divisé par 4 chez N, passant de 4 à 1 ouvertures en 5 minutes

b) Comparaison entre les différentes situations

On peut ensuite comparer les résultats obtenus dans chaque situation pour voir l'évolution du nombre d'ouvertures. On note en moyenne une augmentation du nombre d'ouvertures entre le repos et le pas, entre le pas et le trot, puis une diminution entre le trot et le repos après effort, ainsi qu'une diminution du nombre d'ouvertures entre le repos avant et après effort :

- Le nombre moyen d'ouvertures est multiplié par 1,57 entre le repos et le pas, soit une augmentation de moitié
- Il est multiplié par 1,83 entre le repos et le trot, soit une augmentation supérieure à deux tiers
- Il est multiplié par 1,30 entre le pas et le trot, soit une augmentation du tiers environ
- Entre le repos avant et après effort, il est divisé par 1,71 soit une diminution d'un tiers environ

On observe cependant que ce rapport est inversé selon les chevaux. Chez certains, le nombre d'ouvertures diminue entre le repos et le pas (exemple de Ma (1) et (2), où le nombre d'ouvertures passe de 3 au repos à 2 au pas) ou entre le pas et le trot : c'est le cas de 3 chevaux (C (1), P (2) et O (2)). En ce qui concerne le nombre d'ouvertures au repos après effort, il est toujours inférieur au nombre d'ouvertures au trot mais surtout au repos avant effort, sauf dans 3 cas (P (1) et (2) et O (2)).

On observe également que le rapport entre les différentes situations varie considérablement pour un même cheval entre les deux manipulations. Par exemple, chez P, le nombre d'ouvertures est doublé entre le pas et le trot lors de la première manipulation (7 puis 17), alors qu'il diminue lors de la deuxième manipulation (12 fois au pas puis 11 fois au trot).

c) Comparaison chez chaque cheval

En *annexe* 1, les différents graphes montrent l'évolution du nombre d'ouvertures selon l'allure du cheval chez chaque individu, lors des deux manipulations et sur une moyenne des deux (a = repos, b = pas, c = trot, d = repos après effort).

Des variations importantes sont visibles chez tous les chevaux sauf chez Ma, où le nombre d'ouvertures est identique pour chaque allure entre les deux manipulations. On précise que l'observation au repos après effort n'a pas été réalisée la première fois.

Chez C, on observe que les résultats des deux manipulations montrent les mêmes tendances entre le repos et le pas (augmentation du nombre d'ouvertures), entre le trot et le repos après effort (diminution) et entre le repos avant et après effort (diminution). Dans ces cas-là, la moyenne est représentative de l'évolution observée dans les deux cas. Mais entre le pas et le trot, l'une des manipulations montre une augmentation (de 5 à 6) tandis que la deuxième montre une diminution du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens (de 6 à 5) : la moyenne est alors stable à 5,5 ouvertures au pas comme au trot.

Chez H, les résultats des deux manipulations montrent les mêmes tendances entre le trot et le repos après effort (diminution du nombre d'ouvertures) et entre le repos avant et après effort (diminution). Dans ces cas-là, la moyenne est représentative de l'évolution observée dans les deux cas, soit une diminution. Entre le repos et le pas, l'une des manipulations montre une augmentation (de 2 à 3) tandis que lors de la deuxième, le nombre est stable à 4 ouvertures en 5 minutes. La moyenne montre alors une augmentation du nombre d'ouverture de 3 à 3,5 ouvertures. Il en est de même entre le pas et le trot où on note une diminution dans un cas (de 4 à 3) et une stabilité dans l'autre (3) : on obtient alors une diminution du nombre moyen d'ouvertures.

Ces graphes permettent de visualiser les fortes variations du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens entre les deux manipulations et l'importance de considérer à chaque fois le nombre moyen par cheval pour exploiter de manière plus précise les résultats.

d) Analyse quantitative

Le *tableau 3* montre ainsi le nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales dans chaque situation, ainsi que l'écart-type et les valeurs minimales et maximales.

	Nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales			
	Repos (5 minutes)	**Pas (5 minutes)**	**Trot (5 minutes)**	**Repos après effort (5 minutes)**
Moyenne	*4*	*5,77*	*7,46*	*2,91*
Moyenne /minute	*0,8*	*1,15*	*1,49*	*0,58*
Ecart-type	*1,5*	*2,76*	*4,68*	*2,26*
Valeur minimale	*2*	*2*	*3*	*1*
Valeur maximale	*7*	*12*	*17*	*7*

Tableau 3 : Nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales, écart-type, valeurs minimales et maximales pour chaque situation

On observe les valeurs minimales sont relativement constantes entre les différentes situations (de 1 à 3 ouvertures), alors que les valeurs maximales sont très variables. Elles sont identiques au repos avant et après exercice, soit 7 ouvertures, elles augmentent nettement lors de l'effort avec une valeur maximale de 12 pour le pas et de 17 pour le trot.

L'écart-type est élevé dans toutes les situations mais il est nettement différent selon l'allure. Il est de plus en plus important avec l'effort : il est de 1,5 au repos avant effort, de 2,26 au repos après effort, augmente à 2,76 au pas et monte jusqu'à 4,68 au trot, ce qui montre une très forte variabilité dans le nombre d'ouvertures dans toutes les conditions mais surtout au trot. Le graphe suivant (*figure 45*) présente l'évolution du nombre moyen d'ouverture des orifices pharyngiens selon les situations, ainsi que l'écart-type et les valeurs maximales et minimales pour chaque allure.

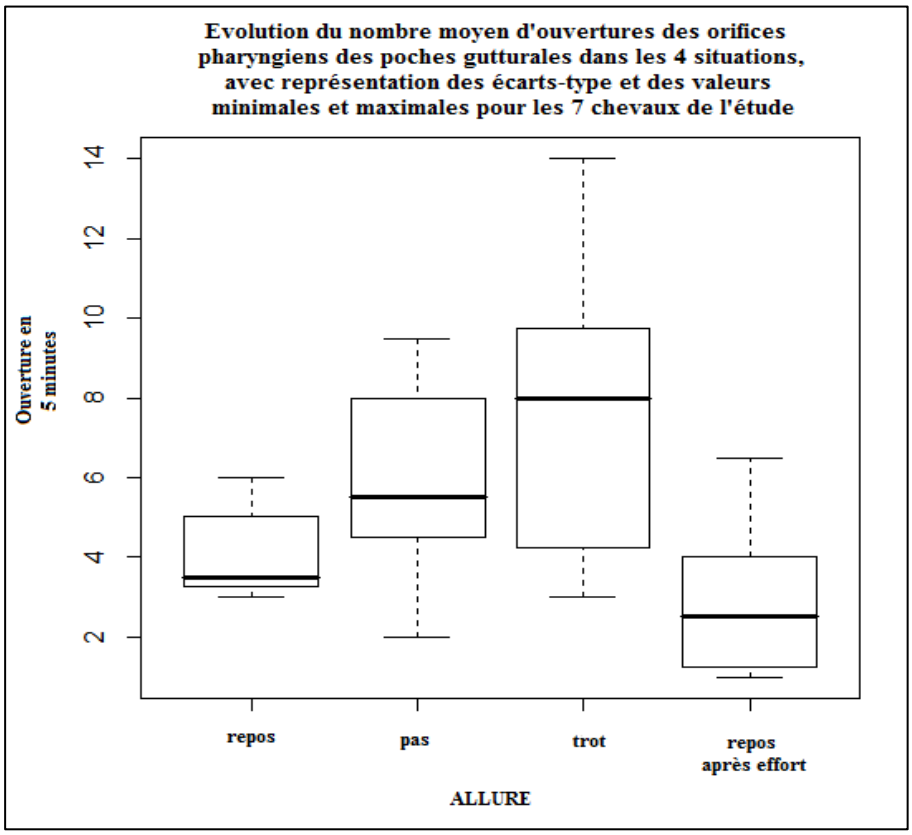


Figure 45 : Evolution du nombre moyen d'ouvertures, de l'écart-type et des valeurs minimales et maximales entre les différentes allures

On observe ainsi une augmentation du nombre moyen d'ouvertures entre le repos et le pas, puis entre le pas et le trot, et une diminution du nombre moyen d'ouvertures entre le repos avant effort et le repos après effort. Mais l'augmentation de l'écart-type en parallèle et la forte disparité entre les valeurs minimales et maximales (notamment au pas et au trot) peut faire douter de la réelle significativité de cette augmentation.

e) Analyse statistique

i. Nombre moyen d'ouvertures

On observe que le nombre d'ouvertures est très variable chez certains chevaux entre les deux manipulations. Les observations faites lors des deux manipulations sont dépendantes entre elles pour chaque individu, il est nécessaire de les considérer ensemble pour pouvoir exploiter les résultats sans biais. Le *tableau 4* montre ainsi le nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales pour chaque cheval dans les 4 situations.

Cheval	Repos (5 minutes)	Pas (5 minutes)	Trot (5 minutes)	Repos après effort (5 minutes)
O	2,5	7	8	3
Ma	3	2	3	1
N	5	5,5	10,5	2,5
C	3,5	5,5	5,5	1,5
H	3	3,5	3	1
P	5	9,5	14	6,5
Mo	6	9	9	5

Tableau 4 : Nombre moyen d'ouverture des orifices pharyngiens lors de différentes situations (repos, pas et trot) chez chaque cheval

Le graphe suivant (*figure 46*) montre l'évolution du nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens en fonction de l'allure chez les sept chevaux. Ceci permet de comparer les observations faites chez chaque cheval.

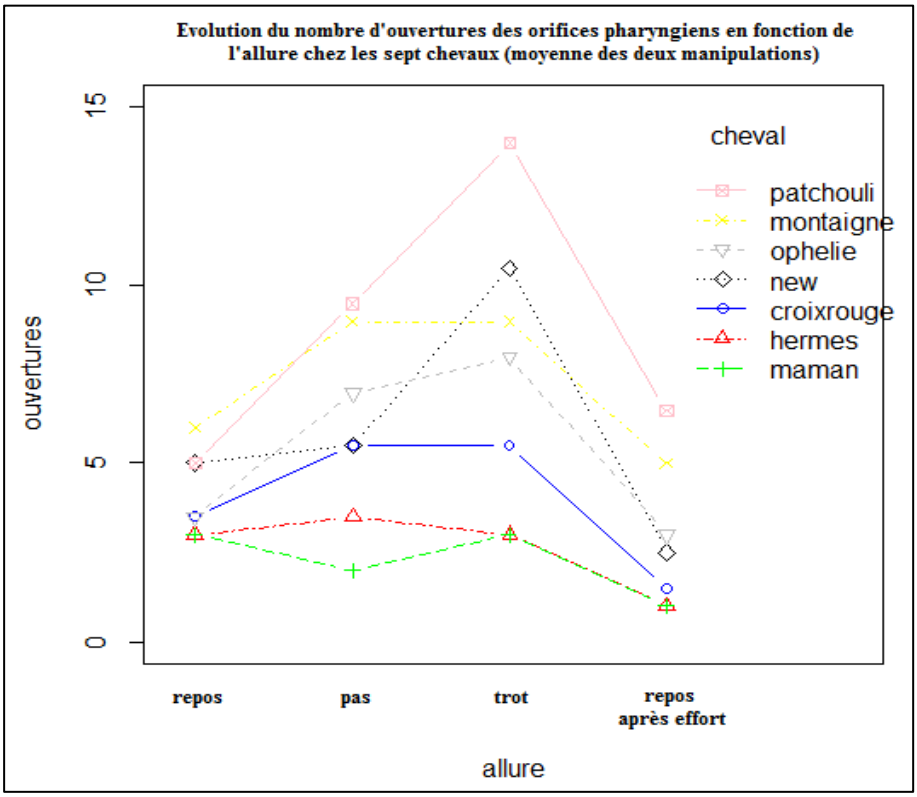


Figure 46 : Evolution du nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens chez les 7 chevaux

On observe que pour la plupart des chevaux, le nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales est supérieur ou égal au pas par rapport au repos et au trot par rapport au pas, sauf chez Ma où le nombre moyen d'ouvertures diminue entre le repos et le pas (de 3 à 2) et chez H, où il y a une diminution entre le pas et le trot (de 3,5 à 3). Chez tous les chevaux, le nombre moyen d'ouvertures diminue nettement entre le trot et le repos après effort, et diminue également entre le repos avant effort et le repos après effort, sauf chez P où il augmente de 5 à 6,5 ouvertures en moyenne.

ii. Analyse statistique

Pour évaluer la significativité de l'augmentation du nombre moyen d'ouvertures entre le repos et le pas ou entre le pas et le trot, on réalise une analyse statistique. Elle consiste en la comparaison de deux moyennes de deux séries dépendantes. L'effectif concerné est petit (n = 7 chevaux) et la distribution des différences entre les deux séries n'est pas normale. Elle n'est pas normalisable par la transformation des valeurs en racines carrées ou en logarithmes.

On utilise donc un test non paramétrique, le test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon. Pour cela, on comptabilise le nombre n de différences non nulles entre chaque série, on classe par ordre croissant les valeurs absolues de ces différences puis on calcule T_+ la somme des rangs des différences positives. On utilise ensuite une table de T_+ du test de rangs signés de Wilcoxon pour obtenir la valeur de p.

Par exemple, si l'on considère les nombres moyens d'ouvertures au repos et au pas comme deux séries dépendantes, on obtient $n = 7$ différences non nulles et $T_+=25$. On obtient alors $p = 0{,}07 > 0{,}05$ ce qui signifie que l'augmentation du nombre moyen d'ouvertures entre le repos et le pas n'est pas significative.

Le même test montre que la différence entre le nombre moyen d'ouvertures au pas et au trot n'est pas significative, car pour $n = 5$ différences non nulles, p est largement supérieur à 0,05 ($p = 0{,}10$). Pour la même raison, la différence n'est pas significative entre le repos et le trot ($p = 0{,}06$). Ceci est dû au fait que le nombre d'individus utilisés dans cette étude est trop faible et que le nombre de différences non nulles est trop bas.

On obtient une différence significative ($p = 0{,}022 < 0{,}05$) entre le nombre moyen d'ouvertures au trot et au repos après exercice avec $n = 7$ différences non nulles, ce qui signifie que la diminution observée est significative entre ces deux situations. La différence observée entre le repos avant et après effort n'est quant à elle pas significative ($p = 0{,}074$).

L'analyse statistique nous permet de conclure seulement sur une comparaison de deux moyennes : la diminution du nombre moyen d'ouvertures entre le trot et le repos après effort est significative. Dans toutes les autres situations, les différences ne sont pas significatives.

f) Répartition dans le temps

Même si la fréquence est exprimée en nombre d'ouvertures par minute, on observe que la répartition des ouvertures au cours des 5 minutes n'est pas régulière que ce soit au repos, au pas ou au trot et quelque soit le cheval. L'*annexe 2* reprend l'ensemble des ouvertures observées chez P au pas et chez Mo au trot. On observe que la répartition des ouvertures au cours des 5 minutes est aléatoire : par exemple, chez P, 4 ouvertures se succèdent en moins d'une minute au début de l'enregistrement, puis aucune ouverture n'est observée pendant plus de 30 secondes lors de la deuxième minute. De la même manière chez Mo, 2 ouvertures se succèdent en moins de 20 secondes puis aucune n'est observée pendant plus d'une minute ensuite.

La répartition devient moins aléatoire quand les ouvertures des orifices pharyngiens sont déclenchées par la mise en route de la pompe. Le rôle du fonctionnement de celle-ci sera longuement étudié par la suite.

b. Les ouvertures complètes successives

Les ouvertures successives, c'est-à-dire deux ou trois ouvertures (associées chacune à une déglutition) en moins de 5 secondes, ne sont pas observées chez tous les chevaux. Elles sont comptabilisées dans le *tableau 5* (légende : 2x2 = 2 ouvertures successives à deux reprises ; 1x3 = 3 ouvertures successives à une seule reprise).

Cheval	**Pas (5 minutes)**		**Trot (5 minutes)**	
	Ouvertures Complètes	**Dont ouvertures successives**	**Ouvertures complètes**	**Dont ouvertures successives**
N (2)	7	***0***	15	***2x2***
O (1)	9	***1x2***	12	***2x2***
P (1)	7	***0***	17	***4x2 + 1x3***

Tableau 5 : Nombre d'ouvertures successives observées chez différents chevaux dans les différentes situations

Il est intéressant de noter qu'elles n'ont lieu que chez trois chevaux et elles sont responsables de la forte augmentation du nombre total d'ouvertures des orifices pharyngiens dans chaque cas. En effet, c'est lors de ces manipulations que les valeurs maximales du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens sont atteintes au pas (9 ouvertures) et au trot (12, 15 et 17 ouvertures). Ce qui est également noté, c'est qu'elles se produisent principalement au trot, sauf dans un cas où elles apparaissent au pas. Elles n'ont jamais été observées au repos que ce soit avant ou après effort.

Il est très important de préciser que toutes les ouvertures successives sont associées au déclenchement de la pompe.

c. Les décollements passifs des orifices pharyngiens

En *annexe 5*, le *tableau 7* montre une comparaison entre le nombre d'ouvertures complètes des orifices pharyngiens et les décollements passifs observés chez les sept chevaux dans les différentes situations, ainsi que les conditions dans lesquelles les orifices pharyngiens s'ouvrent (mouvements du pharynx, expectorations, avant et après une ouverture complète et symétrique des poches).

Les décollements passifs sont observés dans les quatre situations et chez cinq des sept chevaux. Ils n'ont pas été observés chez les deux chevaux Mo et Ma. Dans la plupart des cas, les décollements ne sont observés que dans certaines situations et pas dans les autres : par exemple, chez C (1), on compte deux décollements au repos lors de mouvements de pharynx, un décollement au pas après une ouverture complète des orifices, mais aucun au trot ou au repos après effort.

Le nombre de décollements observés est souvent faible, c'est-à-dire entre 1 et 3 en cinq minutes, sauf dans le cas de P au repos, où 7 décollements sont observés en cinq minutes, associées à chaque fois à des expectorations.

3. Le rôle de la pompe

On observe que de très nombreuses déglutitions et donc ouvertures des orifices pharyngiens se produisent lors du déclenchement de la pompe, instantanément ou dans les 5 secondes qui suivent (*figure 47*). La pompe se met en route de manière automatique toutes les 30 secondes, et envoie de l'eau déminéralisée pendant une durée de deux secondes environ.

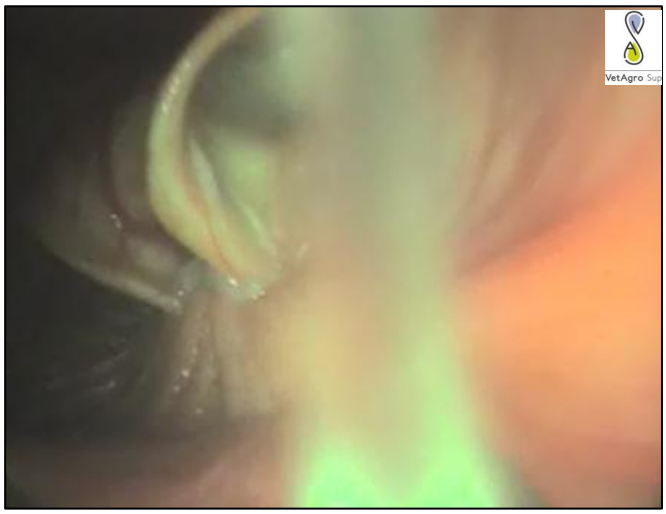


Figure 47 : Ouverture des orifices pharyngiens lors du déclenchement de la pompe chez O (*image VetAgro Sup*)

a. Cas de deux chevaux

L'*annexe 3* présente les différentes ouvertures des orifices pharyngiens observées chez O, au pas et au trot lors de la première manipulation. Il est intéressant d'observer que 6 des 9 ouvertures sont déclenchées par la pompe au pas, soit 67% des ouvertures, et 10 des 12 ouvertures font suite au déclenchement de la pompe au trot, soit 83% des ouvertures.

L'*annexe 4* présente les ouvertures des orifices pharyngiens observées chez P au pas et au trot en fonction du déclenchement de la pompe. On observe que seulement 3 des 7 ouvertures au pas font suite au déclenchement de la pompe (soit 43%) mais que 15 des 17 ouvertures au trot sont déclenchées par l'instillation d'eau déminéralisée (soit 88%).

b. Analyse quantitative

En *annexe 5*, le *tableau 8* montre les ouvertures déclenchées par la pompe pour chaque cheval et chaque situation lors des deux manipulations. Sur l'ensemble des résultats, les pourcentages des ouvertures déclenchées par le fonctionnement de la pompe sont de :

- 12,5% des ouvertures observées au repos (avant et après effort)
- 18,5% au pas (avec 15 ouvertures sur 81 au total)
- 46% au trot (45 sur 97 au total)

Pour illustrer le rôle de la pompe dans les résultats de cette étude clinique, le graphe suivant (*figure 48*) représente le pourcentage d'ouvertures déclenchées par la pompe dans les quatre situations sur l'ensemble des ouvertures observées chez les sept chevaux.

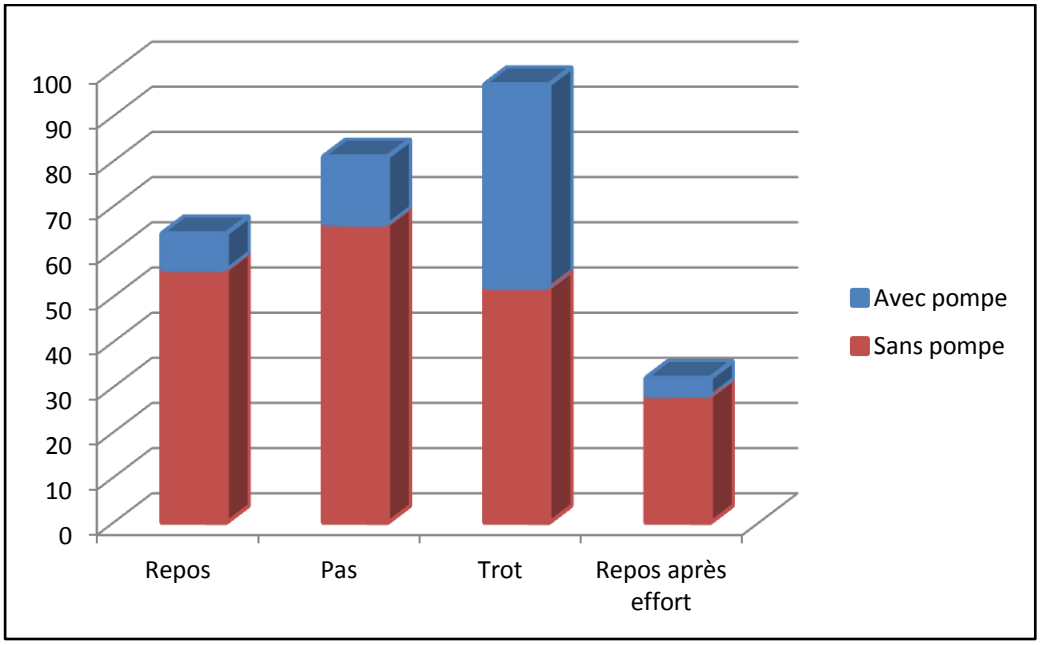


Figure 48 : Graphe représentant le pourcentage d'ouvertures déclenchées par la pompe dans les quatre situations sur l'ensemble des ouvertures observées chez les sept chevaux

Ce graphe reprend l'évolution observée précédemment : le nombre total d'ouvertures augmente entre le repos, le pas et le trot, puis diminue entre le trot et le repos après effort, ainsi qu'entre le repos avant et après effort. Mais il nous donne une nouvelle information à savoir que le nombre total d'ouvertures des orifices pharyngiens augmente entre le repos et le pas, mais diminue entre le pas et le trot, entre le repos et le trot.

On peut conclure que le rôle du fonctionnement de la pompe dans le déclenchement des déglutitions et des ouvertures des orifices pharyngiens est non négligeable. Il sera intéressant dans la prochaine partie d'étudier en quoi la pompe modifie la physiologie du pharynx et des poches gutturales, et en quoi cela influence les résultats de cette étude clinique.

Les résultats présentés ici représentent une première puisqu'aucune observation de ce type n'a encore été réalisée. La prochaine partie va s'attacher à discuter de cette étude, sans pouvoir la comparer à d'autres études. On parlera de ses intérêts, ses conclusions et ses limites, ainsi que des prochaines études qui pourraient être réalisées sur ce modèle.

D. Discussion

1. Discussion sur la méthode

a. Echantillonnage

Dans cette étude, seulement 7 chevaux ont été utilisés pour des raisons de moyens et de disponibilité du matériel. Les chevaux ont été utilisés à deux reprises à deux mois d'intervalle pour obtenir plus de données et permettre une exploitation des résultats plus précise. Le nombre restreint d'individus limite la représentativité et l'interprétation et il peut poser la question de l'utilité et de la fiabilité d'une analyse statistique. Un faible effectif comme c'est le cas dans cette étude permet seulement de donner une idée de la tendance. En théorie, pour pouvoir obtenir des résultats significatifs lors de l'analyse statistique, il faut un effectif important de cinquante animaux au minimum (Vandeweerd, 2012).

La réalisation de deux manipulations sur les mêmes chevaux permet d'augmenter le nombre de mesures. Il aurait été intéressant de pouvoir multiplier le nombre de manipulations chez ces chevaux (3 à 4 par exemple), pour obtenir des résultats plus représentatifs. Cependant, les résultats obtenus lors de chaque manipulation sont dépendants les uns des autres puisque obtenus chez un même cheval : ils doivent être considérés ensemble, par le calcul des moyennes.

La deuxième limite de l'échantillonnage est sa constitution de façon non aléatoire, il a été fait selon les animaux disponibles : on parle d'échantillonnage empirique, de convenance. Il n'est pas représentatif de la population équine, que ce soit pour la race ou l'âge des chevaux.

b. Reproductibilité des conditions

L'absence de reproductibilité des conditions est un biais important de cette étude :

- Le placement de l'endoscope est différent pour chaque cheval. Selon la taille du cheval, la conformation de la région pharyngienne et la contention, l'endoscope est placé en position plus ou moins avancée dans le pharynx. La qualité des vidéos est modifiée (ethmoïde) mais aussi l'influence de la pompe.
  - Elle provoque plutôt une expectoration quand l'eau déminéralisée passe dans les cavités nasales, c'est-à-dire quand l'endoscope est encore dans les cavités nasales, juste à l'entrée du pharynx
  - Elle provoque plutôt une déglutition quand l'eau déminéralisée vient stimuler l'épiglotte c'est-à-dire quand l'endoscope est plus en avant dans le pharynx
- Chez l'un des chevaux (Mo), la deuxième manipulation n'a pas été effectuée en raison de difficultés de contention, qui rendaient dangereuse la réalisation de l'endoscopie, à la fois pour le cheval, les manipulateurs et le matériel. Pour ce cheval, les valeurs utilisées dans l'interprétation des résultats ne sont donc pas issues d'une moyenne entre les manipulations.
- Chez les deux juments (Ma (1) et O (1)), l'observation au repos après effort n'a pas été réalisée lors de la première manipulation (modification du protocole par la suite).
- Les conditions environnementales ont été différentes selon les chevaux : les premières manipulations ont été réalisées entre le 21 octobre 2011 et le 02 novembre 2011, tandis que les secondes manipulations ont eu lieu le 4 et le 5 janvier 2012. Les conditions climatiques ont été différentes entre les chevaux et entre les deux manipulations pour un même cheval. Les paramètres de chaleur, d'humidité, de pluie ou de vitesse du vent n'ont pas été notés et leur influence est inconnue.
- Le déclenchement automatique de la pompe n'a pas fonctionné chez tous les chevaux, et chez un cheval (N (2)), la pompe se déclenche toutes les 15 secondes au bout de 1 m 30 de trot, au lieu de se déclencher toutes les 30 secondes. Or on a observé auparavant l'effet que peut avoir le fonctionnement de la pompe sur les déglutitions et les ouvertures des orifices pharyngiens.

Cette absence de reproductibilité des conditions provoque des limites dans l'analyse des résultats et l'interprétation de la significativité des différences observées entre les différents chevaux. En effet, selon les cas, on ne pourra pas savoir si la différence objectivée est réelle ou due aux différences de protocole. C'est un biais qui s'ajoute à celui de l'échantillonnage.

c. Exercice demandé

Sachant que le refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide est à ce jour la principale fonction attribuée aux poches gutturales, l'étude des modalités d'ouverture des orifices pharyngiens lors de l'effort aurait pu permettre de mettre en évidence des conditions d'ouverture différentes de celle du repos (à savoir lors de la déglutition, Heffron et Baker, 1979).

Cependant, l'exercice demandé aux chevaux dans cette étude est très limité, et on n'atteint pas d'effort intense où le refroidissement du cerveau pourrait être nécessaire. En effet, chez le cheval, l'effort submaximal est atteint à des vitesses élevées de 6 à 8 m/s ou à des fréquences cardiaques proches de 200 battements par minute (Evans, 2004). La vitesse atteinte au trot demandé lors de cette étude est d'environ 4 m/s, on reste dans un effort relativement peu intense qui ne provoque pas chez le cheval une forte augmentation de température. Il faudrait pouvoir observer le comportement des orifices pharyngiens chez des chevaux de course de trot ou de galop à pleine vitesse, ou chez des chevaux d'endurance soumis à un effort beaucoup plus long.

Les chevaux utilisés dans cette étude sont des chevaux du troupeau pédagogique du Pôle Equin (VetAgro Sup – Campus Vétérinaire de Lyon), qui ne sont pas soumis à un entrainement régulier. Ce ne sont donc pas des chevaux auxquels on peut demander un effort intense comme de longues minutes de galop.

d. Variables mesurées

Dans le travail présenté précédemment, seules les ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales ont été étudiées. De nombreuses variables auraient pu être mesurées pour investiguer le rôle de ces ouvertures dans les mécanismes de régulation de la température et de la pression des poches gutturales. De plus, l'intérêt de l'utilisation de l'endoscope embarqué plutôt que celle du tapis roulant peut être discuté.

a) Mesure des paramètres biologiques

Il aurait pu être intéressant de mesurer au cours de l'effort certains paramètres biologiques comme la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire. Par exemple, l'utilisation d'un cardiofréquencemètre adapté aux chevaux permettrait de suivre la réponse cardiaque à l'effort et de la corréler éventuellement à l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales. La mesure de paramètres sanguins avant et après effort peut permettre d'évaluer l'intensité de l'effort demandé et la réponse de l'organisme. Les lactates, les enzymes musculaires (CK ou ASAT) sont de bons paramètres d'évaluation.

b) Mesure de températures et de pressions

Cette étude clinique a pour but d'étudier les modalités d'ouverture des orifices pharyngiens au repos, au pas et au trot. Son but n'est pas de découvrir le rôle des poches gutturales, mais en se basant sur l'hypothèse de Baptiste (1998) qui propose que les poches gutturales sont des organes permettant le refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide, on peut supposer que les orifices pharyngiens s'ouvrent pendant l'effort pour permettre ces modifications de la température du sang acheminé par la carotide.

Ainsi, cette étude aurait pu être complétée par des mesures de température dans la carotide, par exemple, avant son entrée dans la poche gutturale puis lors de son trajet dans la poche et à sa sortie en direction du cerveau. Pour mesurer les variations de température, il existe des capteurs thermiques fixés à proximité de la région étudiée et reliés à des enregistreurs en position sous-cutanée (*figure 34 A*). Cette technique est cependant compliquée puisque la fixation des capteurs de température doit se faire sous anesthésie générale et elle nécessite des moyens techniques et financiers importants (Mitchell et al., 2006).

De même, pour objectiver le rôle des poches gutturales dans les mécanismes de respiration et de déglutition, il aurait été intéressant de suivre l'évolution de la pression à la fois dans le pharynx et dans les poches gutturales. Cela aurait permis de savoir comment se font les échanges d'air entre les deux cavités lors de la déglutition et de l'ouverture des orifices pharyngiens. Ceci pourrait être réalisé par la mise en place de capteurs de pression de type manomètres dans les différentes cavités du pharynx et des poches gutturales par exemple.

c) Mesure de la fréquence de déglutition

Sachant que les ouvertures des poches gutturales sont systématiquement liées à la déglutition, il pourrait être intéressant de suivre ce phénomène au cours de l'effort, sans la mise en place d'un endoscope et d'une pompe qui, comme on l'a vu précédemment, peuvent modifier le rythme des déglutitions. Chez l'homme, Tanaka et al. (2012) proposent un matériel permettant de mesurer la fréquence de la déglutition toute au long de la journée, sur le principe du podomètre. Il a été développé pour étudier la diminution du réflexe de déglutition chez les personnes âgées. Un microphone fixé autour du cou, en région du larynx, enregistre sur lecteur MP3 les sons provoqués par la déglutition (différenciés de la parole, de la toux ou de la respiration), sur une longue période (une journée par exemple) sans gêner les activités quotidiennes. Ce microphone mesure non seulement les mouvements de déglutition lors de repas, mais aussi la simple déglutition de salive. En l'adaptant au cheval, un tel système permettrait de suivre la fréquence de la déglutition dans différentes situations et notamment lors de l'effort.

d) Intérêts du tapis roulant

On peut par ailleurs se poser la question de l'intérêt du tapis roulant pour de telles études. On a vu précédemment que l'endoscopie embarquée présente de nombreux avantages pratiques par rapport au tapis roulant, notamment dans le diagnostic des affections obstructives des voies respiratoires supérieures. Mais dans le cadre de recherches comme celle effectuée dans cette étude, l'utilisation du tapis roulant présente l'avantage de pouvoir suivre, au cours de l'examen endoscopique, des paramètres biologiques tout au long de l'effort. En effet, on peut suivre (Birks et al., 2004) :

- La fréquence cardiaque sur un ECG grâce à un système de télémétrie
- La fréquence respiratoire
- Les gaz sanguins, les électrolytes et le statut acide-base par cathétérisation de l'artère faciale transverse
- La température corporelle et la température sanguine
- Les lactates sanguins

La mesure de tous ces paramètres biologiques peut permettre de corréler leur évolution avec le type d'exercice demandé et de voir ainsi comment l'organisme du cheval s'adapte à l'effort. L'observation simultanée de l'ouverture des poches gutturales et le suivi de la fréquence cardiaque par exemple pourrait permettre de savoir si les orifices pharyngiens s'ouvrent plus lorsque l'intensité de l'effort augmente.

L'utilisation du tapis roulant présente plusieurs autres avantages. Il permet de respecter la reproductibilité des conditions et de s'affranchir de ce biais : en effet, il n'y a plus d'influence du climat (humidité, température) et tous les chevaux réalisent leur effort dans les mêmes conditions. La visualisation des images en temps réel et l'accès aux manettes de l'endoscope permettent de déclencher le système de pompe à la demande, c'est-à-dire quand la qualité de l'image est altérée, par la présence de mucus notamment. Cela évite l'utilisation d'une pompe automatique toutes les 30 secondes, qui comme on l'a vu précédemment, modifie un certain nombre de résultats en déclenchant le mécanisme de la déglutition. On s'affranchit ainsi de l'un des principaux biais observés dans cette étude clinique.

Dans le cadre de cette recherche, la présence du sulky ou du cavalier lors de l'effort ne sont pas indispensables puisque l'on cherche à mimer un effort sans pour autant vouloir reproduire exactement des conditions de course. En effet, l'intérêt majeur de l'endoscopie embarquée dans le diagnostic des affections des voies respiratoires supérieures est de mettre le cheval dans les conditions les plus proches de celles qui font apparaitre le bruit respiratoire ou la non-performance et d'évaluer ainsi le rôle du poids et des actions du cavalier ou du driver. Or dans cette étude, la réalisation d'un exercice simple suffit à l'observation des modalités d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales au cours de l'effort.

L'inconvénient principal de l'utilisation du tapis roulant est qu'il n'est pas facilement accessible et représente un coût financier non négligeable, d'où l'utilisation de l'endoscopie embarquée dans cette étude.

Cette étude est une des premières à s'intéresser aux modalités d'ouverture des orifices pharyngiens lors de l'effort, de nombreuses améliorations du protocole seraient nécessaires pour obtenir des conclusions fiables. Par les premières observations et les premiers résultats qu'elle apporte, elle permet cependant d'ouvrir certaines perspectives.

2. Discussion sur les résultats

a. Types d'ouvertures

On observe que les ouvertures complètes sont toujours associées à une déglutition, comme cela avait déjà été observé à de nombreuses reprises (Heffron et al., 1979) : elles permettraient une ventilation passive des poches gutturales. En aucun cas, on n'observe d'ouvertures des orifices pharyngiens seuls, qui pourraient participer à un mécanisme actif de ventilation, à l'origine d'un système de refroidissement du sang de la carotide. On observe seulement des décollements passifs de moins de 1 à 2 mm : ces décollements sont une simple conséquence de la contraction du pharynx et ne semblent pas jouer de rôle dans la ventilation des poches gutturales.

a) Les ouvertures complètes

Les ouvertures complètes sont caractérisées par un décollement bref des clapets cartilagineux des orifices pharyngiens des poches gutturales, qui prennent une forme semi-circulaire dont le sommet se dirige dorso-médialement et viennent pratiquement s'accoler l'un à l'autre. Lors de cette ouverture, on peut quasiment distinguer l'entrée de la poche gutturale (selon l'orientation de l'extrémité distale de l'endoscope dans le nasopharynx) : on peut donc supposer qu'un flux d'air, sortant ou entrant, est permis entre les cavités du pharynx et de la poche gutturale. Alors qu'il a été démontré à de nombreuses reprises que l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales a lieu lors de la déglutition, le rôle de celles-ci dans ce mécanisme n'a que rarement été étudié. On peut penser que cette ouverture a trois principales fonctions : la ventilation périodique de la poche gutturale, l'égalisation des pressions entre le nasopharynx et l'oreille moyenne, mais aussi un rôle mécanique dans le passage du bol alimentaire du pharynx jusqu'à l'œsophage.

i. Ventilation périodique de la poche gutturale

La première fonction de l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales lors de la déglutition peut être la même que celle attribuée à la trompe auditive chez l'homme, à savoir une ventilation régulière. Ceci est permis par les muscles tenseur et releveur du voile du palais lors de la déglutition ou du bâillement. La contraction de ces muscles déforme les tissus mous autour, provoque une augmentation de l'aire de section de la lumière et une réduction de la résistance au flux d'air, ce qui permet le passage d'air entre le nasopharynx et l'oreille moyenne (Ghadiali et al., 2004).

Dans notre étude, aucun bâillement n'a été observé : l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales lors de ce mécanisme n'a pas été mise en évidence. Mais dans l'étude préliminaire (Deluzurieux, 2008), l'auteur avait observé une ouverture partielle des orifices lors d'un bâillement, sans pouvoir en observer d'autres. Il est donc possible que la fonction de ventilation soit permise par une ouverture des poches gutturales à la fois lors de la déglutition mais aussi lors du bâillement chez le cheval, comme il a été prouvé chez l'homme (Makibara et al., 2010).

ii. Egalisation des pressions

Ce mécanisme de ventilation de la poche gutturale permet également d'assurer la principale fonction de la trompe auditive, à savoir l'égalisation des pressions entre le nasopharynx et l'oreille moyenne. En effet, par l'entrée d'air de façon périodique dans la poche gutturale, la pression interne de ces organes est égalisée avec celle du nasopharynx et du milieu extérieur (Makibara et al., 2010). Ceci est indispensable au maintien de l'intégrité de l'oreille moyenne. Chez l'homme, un défaut d'ouverture de la trompe auditive provoque une augmentation de l'absorption d'azote, générant ainsi en permanence une pression négative. Cette pression négative, qui attire les fluides vers l'oreille moyenne, créant ainsi une inflammation et une infection, est alors responsable de l'otite moyenne (Makibara et al., 2010). Par analogie avec l'homme, on peut penser que l'ouverture périodique des poches gutturales du cheval lors de la déglutition protège l'oreille moyenne des infections potentielles par égalisation des pressions extérieures et de la cavité tympanique.

iii. Passage du bol alimentaire

La déglutition est divisée en trois phases : buccale, pharyngée et œsophagienne. Les poches gutturales s'ouvrent lors de la deuxième phase : il est probable que les modifications de pression que provoque cette ouverture permettent le passage du bol alimentaire depuis l'oropharynx jusqu'à l'œsophage. Chez l'homme, le temps pharyngien de la déglutition est divisé en trois passages pour le bol alimentaire (Galmiche et Mignon, 1983) :

- Dans le pharynx supérieur : relèvement du voile du palais, élargissement du pharynx
- A travers le pharynx moyen : onde de contraction qui déplace le bol ; augmentation du diamètre antéropostérieur du pharynx
- A travers l'hypopharynx : relâchement du muscle crico-pharyngien, fermeture de la glotte et projection des aliments dans l'œsophage grâce à une hyperpression de 40 à 135 cm d'eau, précédée d'une onde de dépression qui annule la pression physiologique au repos (c'est ce qui fait que la déglutition est indépendante des lois de la pesanteur)

Si l'on considère ces mêmes trois étapes chez le cheval, les poches gutturales s'ouvrent lors du deuxième et du troisième temps. On peut penser qu'elles sont en partie responsables de la dépression qui annule la pression physiologique au repos, puisque leur ouverture attire l'air vers leur cavité en créant une pression négative dans le nasopharynx. Elles jouent un rôle mécanique dans l'avancée du bol alimentaire de la bouche jusqu'à l'œsophage.

Dans cette étude, les ouvertures complètes observées systématiquement en association avec la déglutition confirment les observations faites dans les précédentes études et permettent d'attribuer un rôle certain aux poches gutturales : tout comme la trompe auditive chez l'homme, elles permettent l'égalisation des pressions entre le nasopharynx et l'oreille moyenne et participent au passage du bol alimentaire. Et pour connaitre précisément les variations de pressions entre les différents organes, des mesures à l'aide d'un manomètre seraient nécessaires.

iv. Refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide

Le but premier de cette étude clinique étant une simple observation des modalités d'ouvertures des orifices pharyngiens au repos, au pas et au trot, aucune mesure de température n'a été réalisée dans le but d'étudier un éventuel mécanisme de refroidissement du sang acheminé par la carotide au cerveau. Lors de l'ouverture complète des orifices pharyngiens, l'air qui pénètre dans la poche gutturale est issu du nasopharynx. Il provient ainsi de l'air extérieur inspiré lors de la respiration : il est d'une température inférieure à celle de l'air de la poche gutturale qui peut être supposée comme proche de la température corporelle. Il est probable que la température de la poche gutturale soit refroidie lors de l'ouverture complète des orifices pharyngiens.

Cependant, il est impossible de conclure au refroidissement du sang acheminé au cerveau via l'artère carotide qui traverse la poche gutturale. On peut simplement émettre l'hypothèse d'un mécanisme de transfert thermique par conduction entre l'air présent dans la cavité de la poche et la paroi de l'artère carotide interne qui court le long de la face médiale du compartiment médial. C'est d'ailleurs la principale fonction attribuée à ce jour aux poches gutturales, et ce pour plusieurs raisons (Baptiste, 1998) :

- Leur position anatomique privilégiée sur le trajet de l'artère carotide interne, qui fournit 95% du sang au cerveau
- L'intime association avec cette artère sur 13 ± 0,1 cm de sa longueur
- La largeur des orifices pharyngiens des poches gutturales, qui permettent l'entrée d'une grande quantité d'air à chaque ouverture

La mesure instantanée de la température de l'air contenu dans la lumière de la poche gutturale ainsi que du sang acheminé dans la carotide au moment d'une ouverture complète des orifices pharyngiens (ou juste après) serait la seule solution permettant de conclure à un tel mécanisme. A ce jour, seule des expériences réalisées sur cheval mort ou sous anesthésie générale ont été réalisées. Cependant, la question de la faisabilité de mesures en temps réel sur cheval debout se pose.

Dans une étude réalisée sur des têtes de chevaux morts et sur un cheval sous anesthésie générale, Baptiste (1998) montre que la ventilation de la poche gutturale avec un flux d'air à 10-12 L/minute, à une température de 30-40°C suffit pour réduire la température de l'artère carotide interne significativement. Il propose ainsi que chez un cheval lancé dans un galop rapide et chez lequel les volumes d'air déplacés dans les voies respiratoires supérieures sont de 1000 à 1200 L/minute, seul 1% de ce volume suffirait à refroidir la carotide. Cependant, il précise qu'aucune étude n'a encore prouvé l'existence d'un mécanisme d'ouverture des orifices pharyngiens lors d'un effort intense, c'est-à-dire quand le refroidissement du sang acheminé au cerveau est nécessaire.

L'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales, seule, sans lien avec une déglutition n'a jamais été observée dans cette étude. Ainsi, cela va à l'encontre de l'hypothèse proposée par Baptiste (1998). Mais dans le cadre de notre étude, l'exercice demandé est très limité : il est probable que cinq minutes de pas puis de trot, même chez un cheval peu entrainé, ne provoquent pas d'élévation significative de la température corporelle nécessitant le refroidissement du sang acheminé au cerveau. Il est possible qu'un mécanisme d'ouverture des orifices pharyngiens seuls existe lors d'exercice plus long et/ou plus intense.

b) Les ouvertures successives

Les ouvertures successives observées à plusieurs reprises lors de cette étude ne sont pas rapportées dans la littérature. Elles correspondent à l'enchainement de deux déglutitions en moins de cinq secondes provoquant ainsi deux ouvertures successives des orifices pharyngiens des poches gutturales. Elles ont été observées chez trois chevaux, exclusivement au pas et au trot et il est très important de signaler qu'elles sont systématiquement associées au déclenchement de la pompe.

Leur rôle ne semble pas différent de celui de l'ouverture complète simple mais leur origine est inconnue. Comme elles augmentent considérablement le nombre total d'ouvertures des orifices pharyngiens, chez P notamment (11 ouvertures sur 17 au trot), elles doivent être considérées dans l'analyse des résultats. Surtout, l'influence de la pompe est non négligeable et sera étudiée par la suite.

c) *Les décollements passifs*

Les décollements passifs observés à de nombreuses reprises confirment les observations faites dans l'étude préliminaire (Deluzurieux, 2008). Ils ne sont pas dus à un mécanisme actif mais simplement la conséquence de mouvements du pharynx ou d'expectorations. Ils sont caractérisés par un simple décollement de 1 à 2 mm de la portion ventrale ou dorsale du clapet cartilagineux des orifices pharyngiens, d'une durée de moins d'une seconde. A l'inverse des ouvertures complètes, ils ne sont pas à l'origine d'un flux d'air entrant ou sortant entre le nasopharynx et la poche gutturale et ne semblent donc jouer aucun rôle dans la physiologie de ces organes. Ce sont *a priori* des découvertes fortuites.

d) *Rôle de l'endoscope*

La présence de l'endoscope pourrait modifier le fonctionnement des voies respiratoires et par conséquent, des orifices pharyngiens. En effet, sa présence dans le nasopharynx peut par exemple modifier le déroulement d'une déglutition (Heffron et al., 1979). Mais la position reculée de l'extrémité distale de l'endoscope dans la région caudale des cavités nasales permet une bonne observation de la région et limite l'influence de l'endoscope dans les mécanismes de respiration ou de déglutition.

b. Variation du nombre d'ouvertures entre les situations

Pour comparer la variation du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales entre les différentes situations, il est nécessaire de s'intéresser au nombre moyen d'ouverture et de considérer l'écart-type et les valeurs minimales et maximales.

a) *Nombre moyen d'ouvertures entre chaque situation*

Malgré l'absence de différences significatives entre les quatre situations, il est intéressant d'étudier la tendance observée, c'est-à-dire l'augmentation du nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales entre le repos et le pas, puis entre le pas et le trot. En effet, cette augmentation pourrait apporter un argument supplémentaire à l'hypothèse de l'augmentation de la ventilation de la poche gutturale lors de l'effort, en vue d'un refroidissement du sang circulant dans la carotide.

Les résultats présentés précédemment montre que le nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens chez les sept chevaux est en nette augmentation du repos jusqu'au trot. En effet, il passe de 4 ouvertures en cinq minutes au repos, à 5,77 au pas et 7,46 au trot. La *figure 46* montre que cette tendance est observée chez six des sept chevaux de l'étude entre le repos et le pas et chez quatre des sept chevaux entre le pas et le trot.

Les biais d'échantillonnage (non aléatoire et faible effectif) rendent difficile l'interprétation de ces résultats : l'analyse statistique a d'ailleurs permis de montrer que ces augmentations ne sont pas significatives. Cependant, c'est une tendance sur laquelle il est intéressant de s'attarder et qui pourrait être confirmée par des études ultérieures sur de plus grands effectifs.

i. Augmentation de la fréquence de déglutition

Une augmentation du nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales correspond avant tout à une augmentation de la fréquence de déglutition, puisque l'on a vu que toutes les ouvertures complètes y sont associées.

Cette augmentation de la fréquence de la déglutition pourrait s'expliquer par une augmentation de la production de la salive lors de l'effort. Mais c'est plutôt le phénomène inverse qui se produit : chez l'homme, au cours d'un exercice, l'augmentation de la fréquence respiratoire et la déshydratation induite par la sudation provoquent une diminution de la production de salive (Mulic et al., 2012). Il est probable que les mêmes mécanismes existent chez le cheval athlète puisque le cheval est l'un des rares animaux, avec l'être humain, à évacuer la chaleur produite lors de l'effort par la sudation. Ce phénomène est particulièrement étudié chez l'homme car la diminution de la production salivaire lors d'un effort est associée à une baisse du taux d'immuno-globulines présentes dans la salive, ce qui peut aboutir à des lésions dentaires ou des affections des voies respiratoires supérieures (MacKinnon et Jenkins, 1993).

Si elle n'est pas causée par une augmentation de la production de salive, l'augmentation de la fréquence de déglutition peut peut-être s'expliquer par une augmentation du flux sanguin dans les voies respiratoires supérieures et une augmentation de la sensibilité de la muqueuse à la présence de la salive. En effet, il a été prouvé à de nombreuses reprises que lors d'un effort, le flux sanguin subit une redistribution vers des organes spécifiques, à savoir le cerveau, les muscles dont le cœur, les voies respiratoires supérieures et les tissus sous-cutanés (Mc Conaghy et al., 1996). Ainsi, l'existence d'une vascularisation plus importante dans les voies respiratoires supérieures peut être à l'origine d'une diminution du seuil de sensibilité des terminaisons nerveuses, responsable du déclenchement plus fréquent de la déglutition.

Mais comme on le verra par la suite, c'est le fonctionnement de la pompe qui modifie de manière non négligeable le déroulement de la déglutition, notamment en augmentant sa fréquence. D'ailleurs, si l'on reprend la *figure 48*, on observe que le nombre moyen d'ouvertures non déclenchées par la pompe augmente entre le repos et le pas mais diminue entre le pas et le trot et même entre le repos et le trot. On retrouve ainsi la logique, à savoir que la déshydratation provoquée par l'effort diminue la production de salive et donc la fréquence de déglutition. Ainsi pouvoir mesurer celle-ci au cours de l'effort chez le cheval, sans recourir à l'utilisation de l'endoscope, est une perspective intéressante : ceci serait permis par l'utilisation d'un matériel de type podomètre aujourd'hui utilisé chez l'homme (Tanaka et al., 2012).

Même si l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales semble une conséquence plutôt qu'une cause du déclenchement de la déglutition, on ne peut pas exclure le fait que l'augmentation de la fréquence de ces phénomènes trouve son origine dans la réalisation de la fonction des poches gutturales.

ii. Augmentation de la fréquence d'ouverture des poches gutturales

Ce qui nous intéresse évidemment le plus dans les résultats de cette étude clinique, c'est que l'augmentation de la fréquence de déglutition entre le repos, le pas et le trot provoque une augmentation de la fréquence d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales.

Cette augmentation du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales pourrait permettre une ventilation plus fréquente de la cavité de la poche et provoquer ainsi un renouvellement de l'air plus adapté à l'effort. Et même si rien ne nous permet de la prouver, on pourrait se demander si elle n'est pas à l'origine d'un meilleur refroidissement de la cavité de la poche, permettant par conduction, le refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide. En effet, lors d'un exercice, la quantité d'air déplacé est nettement augmentée par rapport au repos : la vitesse et la quantité de l'air qui entre dans la poche est d'autant plus importante que l'effort augmente. Ceci optimise les fonctions de ventilation et d'égalisation des pressions attribuées aux poches gutturales.

b) Rôle de la pompe

Le principal biais de cette étude est le rôle joué par la pompe : on note que de nombreuses déglutitions et donc ouvertures des orifices pharyngiens sont associées au fonctionnement automatique de la pompe. Il avait d'ailleurs déjà été observé que la déglutition peut être déclenchée "sur demande" en utilisant le mécanisme de pompe (Cook, 1974).

i. Cas de deux chevaux

Les exemples de deux chevaux chez qui la pompe n'a pas fonctionné de manière identique entre les deux manipulations vont permettre de prouver que le rôle de la pompe est un facteur très important à prendre en compte dans l'interprétation des résultats.

Le premier exemple est celui de O chez qui la pompe n'a pas fonctionné lors de la deuxième manipulation (origine inconnue de ce dysfonctionnement). On note alors de nettes différences entre le nombre d'ouvertures observées lors de chaque manipulation :

- 9 au pas et 12 au trot dans la première manipulation avec pompe
- 5 au pas et 4 au trot dans la deuxième manipulation sans pompe

Ainsi, le nombre d'ouvertures diminue nettement entre les deux manipulations, et notamment au trot, où il est divisé par 3. Il est intéressant de souligner que la première fois, 6 des 9 ouvertures au pas et 10 des 12 ouvertures au trot sont déclenchées par le fonctionnement de la pompe. Aucune ouverture n'est liée au fonctionnement de la pompe la deuxième fois. On retrouve ainsi la tendance observée dans la *figure 48* à savoir que sans la pompe, le nombre moyen d'ouvertures diminue entre le pas et le trot. Le rôle de la pompe dans l'évolution du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens est donc non négligeable.

De même, chez N, l'endoscope est en position très avancée dans le pharynx lors de la deuxième manipulation et la pompe se déclenche toutes les 15 secondes à partir de 1 min 30s de trot (origine inconnue de ce dysfonctionnement). Lorsque l'on compare avec les résultats obtenus lors de la première manipulation, on observe une nette augmentation du nombre d'ouvertures, sauf au repos :

- 6 au repos lors de la première fois puis 4 dans la deuxième
- 4 au pas lors de la première fois puis 7 dans la deuxième
- 6 au trot lors de la première fois puis 15 dans la deuxième

L'augmentation est nettement plus importante au trot (multipliée par 2,5), c'est-à-dire quand la pompe passe d'une instillation d'eau déminéralisée toutes les 30 secondes à une fréquence d'une instillation toutes les 15 secondes. Cet exemple montre une nouvelle fois l'influence majeure de la pompe dans l'augmentation du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens.

ii. Ouvertures successives

En ce qui concerne les ouvertures successives observées chez trois chevaux, elles sont à 100% déclenchées par le fonctionnement de la pompe. Elles sont à l'origine d'une forte augmentation du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens chez ces chevaux puisque c'est quand elles se produisent que le nombre d'ouvertures atteint ses valeurs maximales (*tableau 5*). C'est notamment flagrant chez P : lors de la première manipulation, 11 des 17 ouvertures observées au trot sont des ouvertures successives.

Le fait qu'elles soient systématiquement provoquées par le fonctionnement de la pompe pose la question de savoir si elles ont aussi lieu « naturellement ». Si ce n'est pas le cas, on met en évidence un biais important, à savoir l'apparition d'ouvertures d'origine iatrogène, c'est-à-dire dues à l'intervention de l'homme. Et comme elles sont responsables d'une augmentation du nombre d'ouvertures au pas et au trot chez 3 chevaux sur les 7 chevaux utilisés dans l'étude, il serait intéressant de pouvoir s'en affranchir par l'utilisation de la pompe seulement « à la demande » (présence de mucus sur la lentille), au cours d'examens sur tapis roulant par exemple.

iii. Augmentation du flux sanguin

L'augmentation du nombre moyen d'ouvertures entre le repos et le pas, puis entre le pas et le trot peut en partie s'expliquer par l'influence du déclenchement de la pompe. En effet, on a vu que le pourcentage d'ouvertures déclenchées par le fonctionnement de la pompe augmente entre le repos (12,5%), le pas (18,5%) et le trot (46%) alors que le nombre moyen d'ouvertures non provoquées par le fonctionnement de la pompe diminue nettement entre le pas et le trot (*figure 48*).

Cela peut s'expliquer par le fait que, pour améliorer les capacités respiratoires du cheval lors de l'effort, les voies respiratoires supérieures sont davantage irriguées et deviennent plus sensibles à l'instillation d'eau déminéralisée : le nombre de déglutitions augmente entre le repos, le pas et le trot. En effet, il a été prouvé une augmentation du flux sanguin dans les voies respiratoires supérieures lors d'exposition à la chaleur : il est multiplié par 3 à 4 chez des poneys exposés à une température de 41°C (Mc Conaghy et al., 1996).

Chez P, il est également intéressant de noter la présence d'une hyperplasie folliculaire lymphoïde de grade 2/4 (*figure 49*). Celle-ci est présente lors des deux manipulations et peut expliquer le nombre important d'ouvertures observées chez ce cheval par rapport aux autres chevaux. On observe en moyenne 5 ouvertures au repos, 9,5 ouvertures au pas, 14 ouvertures au trot et 6,5 ouvertures au repos après effort. Or la présence de la pharyngite folliculaire, qui n'est autre qu'une inflammation du nasopharynx, peut provoquer une sensibilité plus importante de la muqueuse à l'instillation d'eau déminéralisée et conduire ainsi plus fréquemment au déclenchement d'une déglutition.

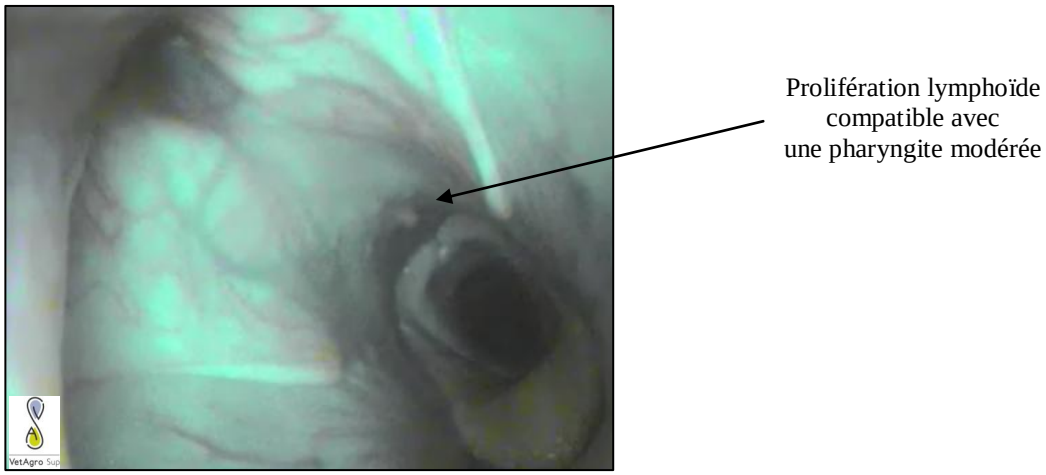


Figure 49 : Pharyngite folliculaire de grade 2/4 chez Patchouli (*image VetAgro Sup*)

iv. Conclusion

L'une des principales causes de l'augmentation de la fréquence d'ouverture entre le repos, le pas et le trot est l'augmentation du nombre d'ouvertures déclenchées par le fonctionnement de la pompe. On comprend qu'elle constitue l'un des principaux biais de cette étude : il est impossible de savoir si, sans la présence de la pompe, l'évolution du nombre moyen d'ouvertures serait identique.

c. Variations individuelles

La réalisation de deux manipulations chez les sept mêmes chevaux à deux mois d'intervalle a non seulement permis d'augmenter le nombre de mesures, mais a également démontré une variabilité importante du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales chez un même cheval.

Comme on l'a vu précédemment, les variations individuelles peuvent en partie être expliquées par un biais de protocole, à savoir la reproductibilité des conditions et surtout le fonctionnement de la pompe. De nouveau, on peut citer les exemples de N (pompe déclenchée toutes les secondes lors du trot de la deuxième manipulation) et d'O (absence de pompe lors de la deuxième manipulation) où les différences dans le protocole sont responsables des variations individuelles. Dans ces cas-là, l'interprétation de la significativité des différences est rendue encore plus difficile. Pour s'affranchir au maximum de tels biais, il aurait été nécessaire de multiplier les mesures chez un même cheval, par la réalisation de 4 à 5 manipulations en suivant toujours le même protocole. Le manque de temps n'a cependant pas permis de les mettre en œuvre.

Alors que la plupart des chevaux montrent des variations entre les deux manipulations, le cas de la jument Ma attire notre attention. Les observations montrent une régularité remarquable dans le nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens au repos, au pas puis au trot. En effet, lors des deux manipulations, on compte 3 ouvertures au repos, 2 au pas et 3 au trot. Le cas de cette jument est également intéressant en ce qui concerne le rôle de la pompe : aucune des déglutitions observées chez cette jument n'a été déclenchée par le fonctionnement de la pompe. Cela montre que la sensibilité à l'instillation d'eau déminéralisée est variable selon les chevaux.

Les importantes variations individuelles parfois observées montrent que la fréquence des déglutitions et des ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales ne suit aucune règle.

d. Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée dans le but de connaitre la significativité des différences observées entre chaque situation. Il est évident que le très faible effectif de cette étude limite l'analyse quantitative des résultats. Pour que cette analyse statistique soit complète, deux tests auraient pu être réalisés. Ils auraient été mis en œuvre en cas de différence significative entre les résultats, donc dans le cadre de notre étude, ils ne présentent pas de réel intérêt.

a) Test de comparaison global de Friedman

Pour que cette analyse statistique soit correcte, il aurait fallu réaliser au préalable un test de comparaison global de Friedman, soit une comparaison des 4 moyennes ensemble. Si ce test montre une différence significative, cela nous autorise à réaliser les comparaisons des moyennes deux à deux et surtout à pouvoir considérer les éventuelles différences significatives comme réelles.

b) Correction de Bonferroni

Pour améliorer cette analyse statistique, il aurait fallu réaliser un test de correction de Bonferroni : plus on réalise de tests sur les données, plus on a de chance d'obtenir une différence significative, à tort. Il faut alors ajouter un facteur de correction α à la valeur de p pour être sur que la significativité est bien réelle. Dans notre étude, ce facteur de correction n'a pas été calculé sachant que les différences entre les moyennes ne sont pas significatives hormis celle entre le trot et le repos après effort : il est possible qu'avec un test de correction de Bonferroni, cette différence ne soit plus significative. Mais cette différence n'est pas celle qui nous intéresse le plus dans l'exploitation des résultats.

L'analyse statistique confirme le fait que le manque d'individus ne permet pas de parler de différence significative entre le nombre moyen d'ouvertures observés dans les différentes situations. On peut parler seulement d'une tendance, qui pourrait être confirmée par la réalisation d'endoscopies à plus grande échelle.

e. Conclusion

Pour conclure sur l'analyse des résultats obtenus dans cette étude clinique, on observe différents types d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales dont l'implication dans la physiologie des diverticules des trompes auditives est variable. Les ouvertures les plus intéressantes sont les ouvertures complètes et symétriques associées à la déglutition, qui permettent un échange d'air entre le nasopharynx et la poche gutturale. Malgré l'absence de significativité dans l'analyse statistique des résultats, l'augmentation du nombre moyen d'ouvertures entre le repos, le pas et le trot est une observation très intéressante qui peut conduire à de plus amples investigations. Cependant, l'influence majeure du fonctionnement de la pompe reste une limite majeure dans l'interprétation des résultats.

E. Difficultés rencontrées

1. Propres au matériel

a. Placement de l'endoscope

L'endoscope embarqué est construit et adapté de manière à pouvoir observer au mieux le fonctionnement pharyngé et laryngé. Le système de béquillage relativement limité fait que sa position est souvent trop basse pour observer les orifices pharyngiens des poches gutturales lorsque l'on entre par le méat nasal ventral (*figure 50*).

Des difficultés ont parfois été rencontrées pour placer l'extrémité distale de l'endoscope en regard des orifices pharyngiens et les images obtenues n'étaient pas toujours d'une qualité optimale. Il était nécessaire de rester juste à l'entrée du nasopharynx et parfois, les expectorations ont fait que l'endoscope se déplace pendant 1 à 2 secondes vers le haut, en regard des volutes de l'ethmoïde, ce qui fait perdre l'image souhaitée devant les orifices pharyngiens (*figure 51*). Mais dans tous les cas, les images étaient de qualité suffisante à l'observation d'au moins un des deux orifices et de son ouverture.

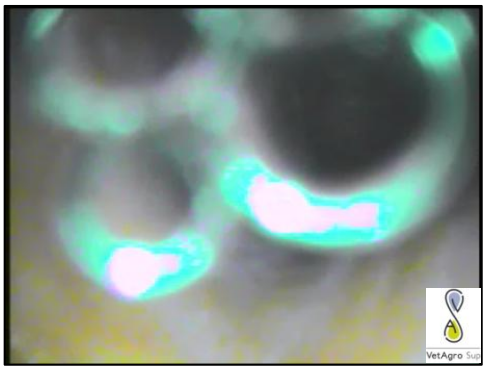
Figure 50 : Placement trop bas de l'endoscope, les orifices pharyngiens sont à la limite de l'image (*image VetAgro Sup*)

Figure 51 : Image déplacée vers l'ethmoïde lors d'une expectoration (*image VetAgro Sup*)

b. Qualité des images

Comme on observe le pharynx pendant un effort, les vibrations que subit l'endoscope rendent parfois les images obtenues floues. Mais comme les chevaux n'ont été observés qu'au pas et au trot, seulement de faibles vibrations sont provoquées.

Le système de pompe automatique du DRS ne fonctionnait pas toujours de manière optimale : la présence de bulles ou de reflets au centre de l'image (*figure 52*) a parfois réduit la qualité des images. Lors d'une série de manipulations, le système de pompe n'a pas fonctionné : le canal opérateur bouché empêchait l'instillation d'eau déminéralisée.



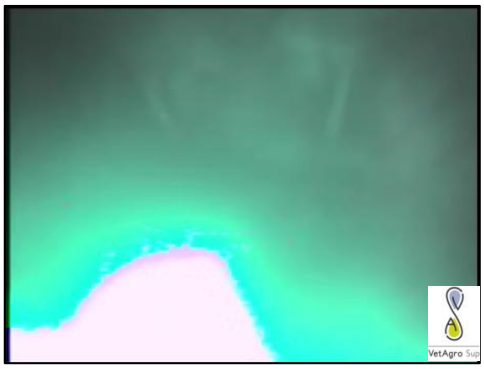


Figure 52 : Présence de bulles ou de reflets au centre de l'image (*images VetAgro Sup*)

2. Propres à la méthode

a. Saignement de l'ethmoïde

Lors de la première série de mesures, un cas de saignement de l'ethmoïde est survenu au cours de l'enregistrement des cinq premières minutes de repos. La manipulation a dû être interrompue sur ce cheval et a été reportée d'une semaine. Ce saignement a eu lieu suite à une mauvaise contention : si le cheval secoue la tête lors de l'introduction ou du retrait de l'endoscope des cavités nasales, des lésions traumatiques de la grande volute de l'ethmoïde peuvent survenir. Ces lésions provoquent des saignements importants, qui durent parfois dix à quinze minutes, mais qui sont sans gravité. On peut réaliser une irrigation locale d'adrénaline (10 mg dilués dans 10 ml de sérum physiologique), même si l'hémostase se fait souvent spontanément. Il suffit de garder le cheval au calme le temps que le saignement s'arrête (Gaillard-Lavirotte et Cadoré, 2004).

b. Contention

Chez un cheval (Mo), la deuxième manipulation n'a pas pu être réalisée. En effet, malgré l'intervention de quatre personnes et l'utilisation de plusieurs méthodes de contention (tord-nez puis chiffe-nez), il s'est avéré impossible d'introduire l'endoscope et de le placer de manière adéquate pour observer l'ouverture des orifices pharyngiens. En raison du danger pour les opérateurs, le cheval et le matériel, la manipulation a été abandonnée et il manque une série de données pour ce cheval.

F. Conclusion

A ce jour, l'étude clinique réalisée dans le cadre de cette thèse est l'une des premières consacrée entièrement à l'observation des modalités d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales du cheval lors d'un effort au pas et au trot. Alors que la fonction de ces organes est un sujet qui passionne bon nombre d'auteurs, le rôle des orifices pharyngiens n'a jamais été étudié. Leur mécanisme d'ouverture semble pourtant déterminant dans la fonction de la poche gutturale et dans l'étio-pathogénie des affections qui la touche. L'endoscopie embarquée s'est révélée comme un matériel innovant et adéquat dans l'observation des voies respiratoires supérieures, et elle offre de nombreuses perspectives d'avenir aussi bien dans la pratique courante de la médecine vétérinaire équine que dans le domaine de la recherche.

Cette étude clinique a confirmé les observations faites dans certaines études antérieures, à savoir l'ouverture systématique des orifices pharyngiens des poches gutturales lors de la déglutition, que ce soit au repos ou à l'effort : les ouvertures sont alors complètes et symétriques. Le nombre moyen d'ouvertures révèle une augmentation entre le repos, le pas puis le trot mais ce n'est qu'une tendance. En effet, aucune différence significative n'a pu être démontrée par l'analyse statistique. Des décollements passifs ont également été observés dans des circonstances particulières comme lors d'expectorations ou de mouvements des parois du pharynx, sans sembler jouer un rôle dans la physiologie de la poche gutturale.

Cependant, cette étude présente de nombreux biais et limites qui faussent l'interprétation des résultats. Il est intéressant de les citer pour éviter de les reproduire lors de la réalisation de prochaines études du même type et de proposer de possibles améliorations.

Biais / Limites	**Améliorations**
Echantillonnage – De convenance – Effectif faible – Race	• Echantillonnage aléatoire • Effectif important (50 individus) • Augmentation du nombre de mesures par cheval • Race o Une seule race (trotteur, pur-sang) o Plusieurs races, représentées à parts égales
Reproductibilité des conditions	• Standardisation de la méthode • Utilisation du tapis roulant – Conditions de terrain – Conditions climatiques
Effort demandé	• Chevaux de course et/ou de selle et/ou endurance • Effort plus long et/ou plus intense – Vitesse : trot ou galop – Endurance
Variables mesurées	• Paramètres biologiques – Cardiofréquencemètre – Tapis roulant • Mesures de température et de pression • Fréquence de déglutition
Rôle de la pompe	• Standardisation de la méthode – Position de l'endoscope – Fréquence d'instillation • Utilisation du tapis roulant – Déclenchement de la pompe « à la demande »

Tableau 6 : Biais et limites de l'étude clinique ; améliorations possibles

G. Coordonnées du fabricant

OPTOMED
6 avenue des Andes, Bâtiment 6
91 940 LES ULIS
France
Tél : +33 (0)1 69 29 01 98
Fax : +33 (0)1 69 29 99 52
www.optomed.fr

III. Etudes complémentaires

A. Observation des orifices pharyngiens au repos et au pas chez un âne

Pour compléter l'étude réalisée précédemment chez des chevaux au repos, au pas et au trot, il a été réalisé une endoscopie embarquée chez un âne âgé de 12 ans au repos et au pas.

1. Sujet, matériel et méthodes

Dans cette étude, le sujet utilisé est un âne de Provence entier de 12 ans. Il appartient au troupeau pédagogique du Pôle Equin de VetAgro Sup – Campus Vétérinaire de Lyon.

Le protocole suivi est différent de celui de l'étude présentée précédemment pour des raisons techniques. En effet, en raison de la petite taille de l'âne, aucun surfaix adapté n'est disponible et l'endoscopie au trot ne peut être réalisée. De plus, les ânes ne sont pas des animaux habitués à être longés, contrairement aux chevaux. Le protocole consiste en l'observation des orifices pharyngiens pendant cinq minutes au repos puis pendant cinq minutes au pas où l'un des opérateurs suit l'âne en tenant le sac contenant l'émetteur.

L'âne est préparé avec une pulvérisation d'anesthésique local dans le naseau droit (lidocaïne, Xylocaïne 2% ®). L'endoscope est ensuite introduit sur environ 30 centimètres, jusqu'au nasopharynx, sous contrôle vidéo pour se placer de manière optimale devant les orifices pharyngiens des poches gutturales (*figure 53*). L'endoscope est ensuite replié sur le chanfrein de l'âne et fixé au filet, à l'encolure et au sac émetteur grâce à des élastiques. Le système de pompe automatique est mis en route, avec instillation de 2 ml d'eau déminéralisée toutes les 30 secondes. La position de l'image est vérifiée et les enregistrements peuvent être démarrés.

Figure 53 : Endoscope en place dans le naseau droit de l'âne et replié sur le chanfrein (*image VetAgro Sup – C. Bouvet*)

Les vidéos sont par la suite visionnées plusieurs fois et au ralenti, afin d'obtenir une interprétation la plus précise possible. Les ouvertures des orifices pharyngiens sont comptabilisées, on note leur fréquence, leur moment d'apparition et le lien avec un autre phénomène (déglutition, déclenchement de la pompe), leur caractéristique (ouverture complète, partielle, décollement).

2. Résultats

a. Etude qualitative

a) Observations au repos

Lors des cinq minutes d'observation au repos, on observe à la fois des ouvertures complètes et symétriques des orifices pharyngiens associées à la déglutition (*figure 54*), mais également un décollement passif en début d'enregistrement (*figure 55*) et un gonflement de la paroi de la poche gutturale en fin d'enregistrement.

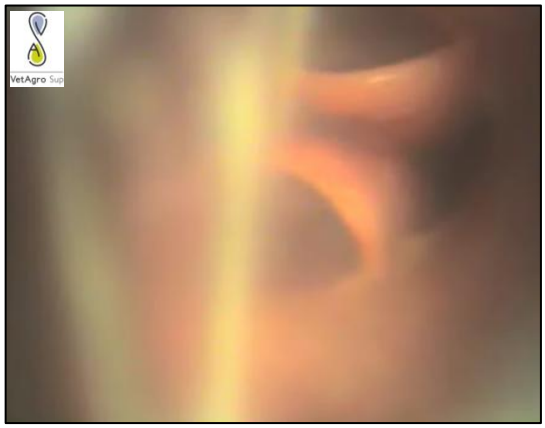


Figure 54 : Ouverture complète des orifices pharyngiens associée au déclenchement de la pompe (*image VetAgro Sup*)

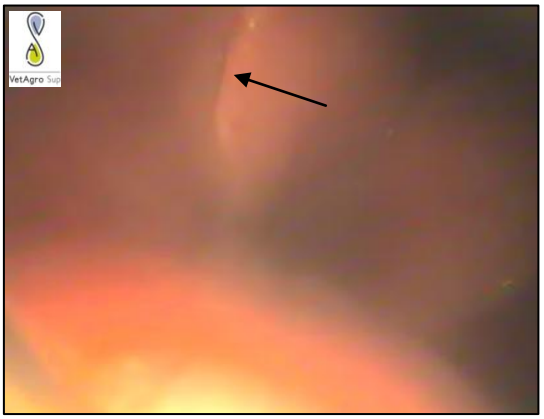


Figure 55 : Léger décollement passif du clapet cartilagineux de l'orifice pharyngien droit (*image VetAgro Sup*)

Les ouvertures complètes et symétriques sont comparables à celles observées chez les chevaux : l'ouverture se fait en moins de 0,1 secondes et dure 0,8 secondes ; les clapets cartilagineux des orifices prennent une forme semi-circulaire, dont le sommet se dirige dorso-médialement et viennent pratiquement s'accoler l'un à l'autre. Elles sont parfois associées au déclenchement de la pompe (*figure 54*).

Le décollement passif observé en début d'enregistrement est furtif (moins d'une seconde) et n'est pas associé à une déglutition ni à un mouvement du pharynx. Il est très léger puisque le clapet cartilagineux se soulève de moins de 1 mm (*figure 55*).

b) Observations au pas

Au cours des cinq minutes au pas, on observe des ouvertures complètes et symétriques des orifices pharyngiens des poches gutturales associées aux déglutitions et parfois au fonctionnement de la pompe. On observe également un gonflement intermittent du récessus pharyngien et des parois pharyngées des poches gutturales, lié aux mouvements du pharynx qui semblent liés aux mouvements de la tête avec la foulée.

b. Etude quantitative

a) Au repos

Au cours des cinq minutes de repos, on observe 4 ouvertures complètes et symétriques des orifices pharyngiens des poches gutturales. Il est intéressant de noter que ces quatre ouvertures sont observées dans la première moitié de l'enregistrement (entre 40s et 2m35s). Ces 4 ouvertures sont associées à des déglutitions et 3 des 4 ouvertures, soit 75%, sont déclenchées par le fonctionnement de la pompe, qui instille 2 ml d'eau déminéralisée toutes les 30 secondes.

b) Au pas

Au cours des cinq minutes au pas, on observe 3 ouvertures complètes et symétriques des orifices pharyngiens des poches gutturales. Elles sont associées à la déglutition et 2 des 3 ouvertures, soit 66%, sont déclenchées par le fonctionnement de la pompe. Ainsi, si l'on considère l'ensemble des ouvertures au repos et au pas, on obtient 7 ouvertures dont 5 déclenchées par le fonctionnement de la pompe.

3. Discussion

Les ânes sont habituellement traités comme des petits chevaux alors qu'ils possèdent plusieurs caractéristiques anatomiques, comportementales et physiologiques ainsi que de nombreuses particularités dans l'incidence, la présentation et le traitement des affections (Laus et al., 2010).

Cette étude permet d'observer non seulement les orifices pharyngiens et leur ouverture dans deux situations différentes que sont le repos et le pas, mais aussi d'observer le nasopharynx et le larynx d'un âne, qui sont peu décrits dans la littérature. En effet, les ânes sont des animaux de travail, notamment dans les pays en voie de développement : ce ne sont pas des athlètes comme les chevaux et ils sont rarement présentés en consultation pour des pathologies respiratoires nécessitant une endoscopie. Les affections des poches gutturales sont encore plus rarement décrites dans la littérature (Laus et al., 2010).

a. Particularités anatomiques de l'âne

Cette étude permet notamment de montrer les particularités anatomiques du nasopharynx de l'âne : il est plus étroit dans sa portion moyenne et plus évasé dorso-ventralement que celui du cheval (*figure 56*). C'est le récessus pharyngien qui représente la principale variation (*figure 57*) : ce diverticule de la muqueuse pharyngienne forme une poche membraneuse de 2 à 3 cm de diamètre, qui s'étend caudalement sur 4 à 6 cm entre les deux poches gutturales (Lindsay et Clayton, 1986). Pour ce qui est de la physiologie du pharynx, une étude réalisée chez 22 ânes décrit un collapsus partiel du pharynx chez 43% des individus normaux (Delvaux et al., 2001).

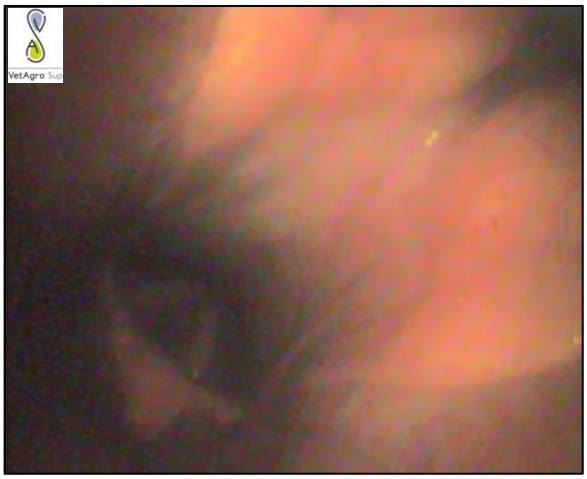


Figure 56 : Vue endoscopique du nasopharynx de l'âne (*image VetAgro Sup*)

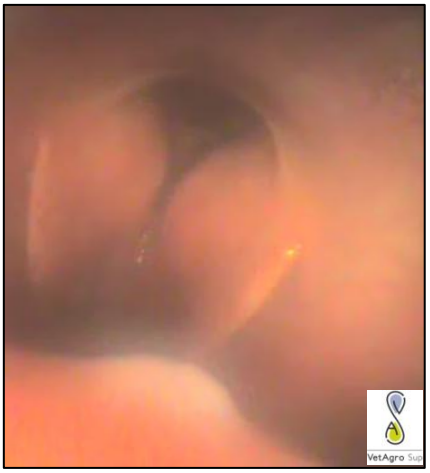


Figure 57 : Vue endoscopique du récessus pharyngien de l'âne (*image VetAgro Sup*)

En ce qui concerne le larynx, les plis ary-épiglottiques sont plus courts ce qui rapproche l'épiglotte des cartilages aryténoïdes (Laus et al., 2010). Celle-ci est également de forme différente, particulièrement pointue. L'ensemble de ces variations anatomiques résultent en une angulation différente des voies respiratoires et rend difficile l'observation de la trachée (Fores et al., 2001).

Enfin pour ce qui est des poches gutturales de l'âne, il a été décrit qu'il est plus difficile de passer l'endoscope via l'orifice pharyngien, notamment chez les ânes de race espagnole. Ceci s'explique par le fait que chez l'âne, la position de l'orifice est différente de celle du cheval, avec une orientation plus horizontale (Fores et al., 2001). La réalisation d'endoscopie mais surtout d'imagerie par résonance magnétique (IRM) a permis de montrer que l'anatomie et les rapports de la poche semblent identiques à ceux du cheval (Oto et al., 2011).

Lors de mycose des poches gutturales, l'érosion du septum médian par la plaque fongique semble une complication présente chez l'âne et absente chez le cheval (Laus et al., 2010). Mais le faible nombre de cas décrits aujourd'hui dans la littérature limite les comparaisons de ces affections entre cheval et âne.

b. Ouverture des orifices pharyngiens chez l'âne

Cette étude complémentaire a pour principal objectif d'observer les modalités d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales de l'âne et de les comparer au cheval. On ne pourra pas confronter les résultats à ceux de l'étude clinique présentée précédemment d'un point de vue quantitatif en raison des différences de protocoles et du faible nombre de mesures. En effet, chez cet âne, seules des observations au repos et au pas ont été effectuées et une seule manipulation a été réalisée : ceci est due à une contrainte technique. Non seulement le seul surfaix disponible n'est pas compatible avec la taille de l'âne, mais aussi, les ânes ne sont pas des animaux habitués à la longe : c'est pour cela que l'observation au trot n'a pas pu être réalisée. La manipulation n'a été effectuée qu'une seule fois en raison d'un manque de temps mais surtout en raison de la faible coopération de l'animal au cours de l'examen endoscopique, qui rendait l'exercice dangereux pour le matériel et les manipulateurs.

On peut cependant comparer la physiologie de l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales, c'est-à-dire les modalités d'ouverture. Elles sont comparables à celles observées chez le cheval puisque les principales ouvertures observées sont des ouvertures complètes et symétriques des deux orifices, au moment de la déglutition. Comme chez le cheval, les orifices prennent une forme semi-circulaire, dont le sommet se dirige dorso-médialement et viennent pratiquement s'accoler l'un à l'autre. Des décollements sont également observés lors de mouvements du pharynx, ils sont furtifs (moins de 1 seconde) et légers (moins de 1 mm).

Si la comparaison des résultats entre les deux études reste limitée, on peut tout de même noter que le nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales chez cet âne est comparable au nombre moyen d'ouvertures chez le cheval. En effet, on compte 4 ouvertures au repos et 3 ouvertures au pas chez cet âne pour une moyenne de 4 au repos et 5,77 au pas chez les chevaux de l'étude. Le nombre d'ouverture au repos est identique, alors que celui du pas est légèrement inférieur.

La tendance observée chez cet âne est différente de celle observée chez les chevaux puisque le nombre d'ouverture diminue entre le repos et le pas. Mais tout comme l'augmentation observée chez le cheval qui n'est pas significative, on ne peut pas parler de résultats significatifs puisque les mesures n'ont été effectuées que chez un âne et lors d'une unique manipulation. Comme expliqué précédemment, l'étude quantitative reste très limitée.

c. Observation particulière à l'âne

Alors que les modalités d'ouverture des orifices pharyngiens semblent comparables entre cheval et âne, une observation faite au pas semble particulière à l'âne.

Lors des cinq minutes d'enregistrement, on observe un gonflement intermittent du récessus pharyngien et des parois pharyngées des poches gutturales qui semble être lié aux mouvements du pharynx. On retrouve ainsi les observations faites par Lindsay et Clayton (1986) qui observent lors d'inspirations forcées ou lors de la phase initiale aigue du braiement, un bombement de la paroi caudale dans la lumière du récessus pharyngien et qui vient faire protrusion dans le nasopharynx, associé à un déplacement latéral du torus tubaire, c'est-à-dire des parois pharyngées des poches gutturales. Ces mouvements sont parfois asymétriques.

Les mouvements des parois des poches gutturales lors d'inspirations chez l'âne peuvent s'expliquer par des différences anatomiques. Contrairement au cheval, où la présence d'os, de cartilages et de muscles dans cette région permet une résistance aux pressions négatives exercées dans les voies respiratoires supérieures, chez l'âne, les parois latérales du récessus pharyngien n'ont aucun support et sont plus à même d'être aspirées vers la lumière du pharynx lors d'inspirations et de se remettre en place lors de l'expiration (Lindsay et Clayton, 1986). Les mouvements associés du torus tubaire sont dus au fait que le récessus pharyngien est étroitement lié au septum médian et aux muqueuses des poches gutturales. Lindsay et Clayton (1986) vont plus loin en affirmant que les mouvements du récessus pharyngien reflètent les modifications de pressions dans les poches gutturales, et les mouvements asymétriques parfois observés seraient dus à des différences de pressions entre les deux poches.

Observer le braiement et les mouvements associés des parois des poches gutturales et du récessus pharyngien était l'un des objectifs de cette étude, mais aucune vocalisation n'a eu lieu au cours de l'examen endoscopique. La physiologie de la vocalisation chez l'âne est mal connue, une théorie (Lindsay et Clayton, 1986) propose que la phase aigue du braiement est accompagnée d'un effort inspiratoire, alors que la phase grave est probablement expiratoire, comme le sont la plupart des vocalisations.

Cette courte étude sur l'âne permet ainsi de comparer les différences anatomiques entre les deux espèces. Elle permet également de noter que les modalités d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales sont comparables chez l'âne et le cheval, c'est-à-dire toujours associée au phénomène de la déglutition. Même si une analyse quantitative reste limitée, le nombre d'ouvertures des poches gutturales au repos et au pas chez l'âne semble être proche du nombre moyen d'ouvertures des orifices pharyngiens chez les chevaux utilisés dans notre étude clinique.

L'étude clinique présentée ensuite va permettre de comparer les modalités d'ouverture entre les chevaux sains et un cheval atteint de tympanisme des poches gutturales.

B. Un cas de tympanisme primaire de la poche gutturale droite chez une jument arabe de 2 ans

Comme il a été expliqué dans la partie précédente, le tympanisme de la poche gutturale est une affection congénitale rare, qui touche les poulains de 1 à 18 mois et en particulier les femelles. Si le diagnostic de cette pathologie est relativement aisé, le choix du traitement est parfois difficile, les récidives et les complications sont nombreuses. Mais surtout, l'étiologie du tympanisme des poches gutturales est toujours inconnue.

1. Objectifs de cette étude

Dans le cadre d'une consultation de médecine interne à VetAgro Sup en avril 2012, une jument arabe de 2 ans est présentée pour un gonflement intermittent en région pharyngée évoluant depuis deux mois après la naissance et provoquant une gêne plus ou moins marquée de la fonction respiratoire. La réalisation d'un examen clinique complet et de différents examens complémentaires présentés ci-dessous a permis de mettre en évidence un tympanisme primaire de la poche gutturale droite.

Pour compléter l'étude clinique présentée dans ce travail sur l'ouverture des orifices pharyngiens lors de l'effort, il a été réalisé, en complément des examens d'imagerie classiques (radiographies de tête, échographie de la région, endoscopie au repos), une endoscopie embarquée au repos puis au pas. Cet examen a pour but non seulement de rechercher la possible étiologie de ce tympanisme mais aussi d'observer les modalités d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales et d'étudier ainsi l'influence potentielle de cette pathologie sur la physiologie des orifices des diverticules des trompes auditives.

2. Présentation du cas clinique

a. Commémoratifs et anamnèse

La jument est une demi-sang arabe de 2 ans présentée à la consultation pour un gonflement intermittent en région pharyngée et cervicale haute. Elle est référée en vue d'une éventuelle chirurgie.

Ce gonflement qui part de la gorge jusqu'à la base de l'oreille est apparu 2 mois après la naissance. Il est symétrique et intermittent : il se met en place en plusieurs jours jusqu'à atteindre plus de 15 cm de diamètre et dégonfle de manière instantanée au bout de quelques jours à quelques semaines. Lorsqu'il est maximal, il part de la région de l'oreille, recouvre la région parotide jusqu'aux régions laryngée et pharyngée : la jument présente alors des bruits respiratoires anormaux et une gêne respiratoire marquée. Elle ne présente ni toux, ni jetage, ni dysphagie.

Elle a été présentée à son vétérinaire traitant qui a réalisé une échographie de la région et suspecté un abcès, puis une endoscopie des voies respiratoires supérieures qui a montré des poches gutturales saines et une suspicion de communication entre le larynx et l'extérieur. Elle est alors référée pour exploration par endoscopie d'une anomalie laryngée congénitale en vue d'une chirurgie.

b. Examen clinique

La jument est en bon état général, elle présente une position anormale avec l'encolure légèrement en extension, qui montre une gêne respiratoire. Des bruits respiratoires anormaux (ronflements) sont audibles, mais l'auscultation pulmonaire est claire. On note un gonflement important de la région parotidienne, qui s'étend de la base de l'oreille jusqu'au pharynx, plus marqué à droite. Ce gonflement est fluctuant et non douloureux (*figure 58*).

Pour objectiver les conséquences de ce gonflement à l'effort, la jument est longée au trot et au galop pendant cinq minutes. Elle présente alors des bruits respiratoires anormaux augmentés, avec des bruits à la fois inspiratoires et expiratoires. A la fin de cet exercice, le gonflement est toujours présent.

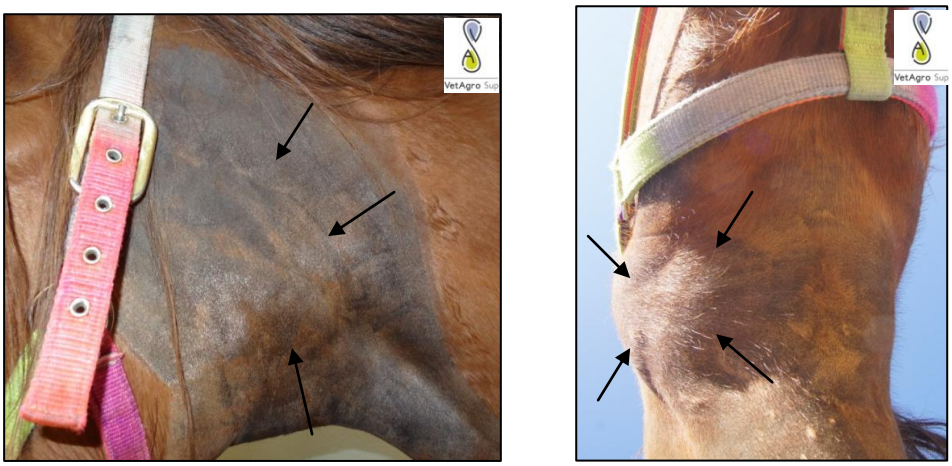


Figure 58 : Gonflement de la région parotidienne et laryngée lors de l'examen clinique d'admission (*imagse VetAgro Sup – O. Lepage*)

c. Hypothèses diagnostiques

Les hypothèses diagnostiques regroupent les différentes causes de gonflement de la région parotidienne et pharyngée (Nolen-Walston et al., 2009). On peut citer :

- Hématome ou séroma
- Empyème des poches gutturales
- Tympanisme congénital des poches gutturales
- Abcès des nœuds lymphatiques rétro-pharyngés
- Mucocèle de la glande salivaire parotide
- Adénome de la thyroïde
- Kyste de vestige d'arc branchial
- Néoplasme

Les hématomes ou les séromas de la région sont souvent d'origine traumatique. L'empyème des poches gutturales et l'abcédation des nœuds lymphatiques rétro-pharyngés peuvent être des signes cliniques de la gourme.

Il est également intéressant de remarquer que le tympanisme des poches gutturales est une pathologie habituellement rencontrée chez les jeunes poulains de quelques mois, il est rare de le rencontrer chez des jeunes chevaux de 2 ans. Les kystes de vestige d'arc branchial sont des anomalies congénitales rarement rencontrées chez les jeunes poulains.

d. Examens complémentaires

Les différents examens complémentaires réalisés ont pour but d'explorer les différentes structures de la région qui pourraient provoquer un tel gonflement, à savoir, la parotide, les poches gutturales, la thyroïde et les nœuds lymphatiques notamment.

a) Radiographies de la région parotidienne et pharyngée

Des clichés radiographiques de la région pharyngée et parotidienne en vue latéro-latérale sont réalisées.

On observe une dilatation aérique des poches gutturales, qui s'étendent caudalement à l'atlas, jusqu'à l'extrémité crâniale de C3 (*figure 59*). Leur plancher apparait anormalement concave, repoussant ventralement la partie dorsale du larynx et la partie proximale de la trachée. Ce sont des images compatibles avec un tympanisme d'une ou des deux poches gutturales (Butler et al., 2008).

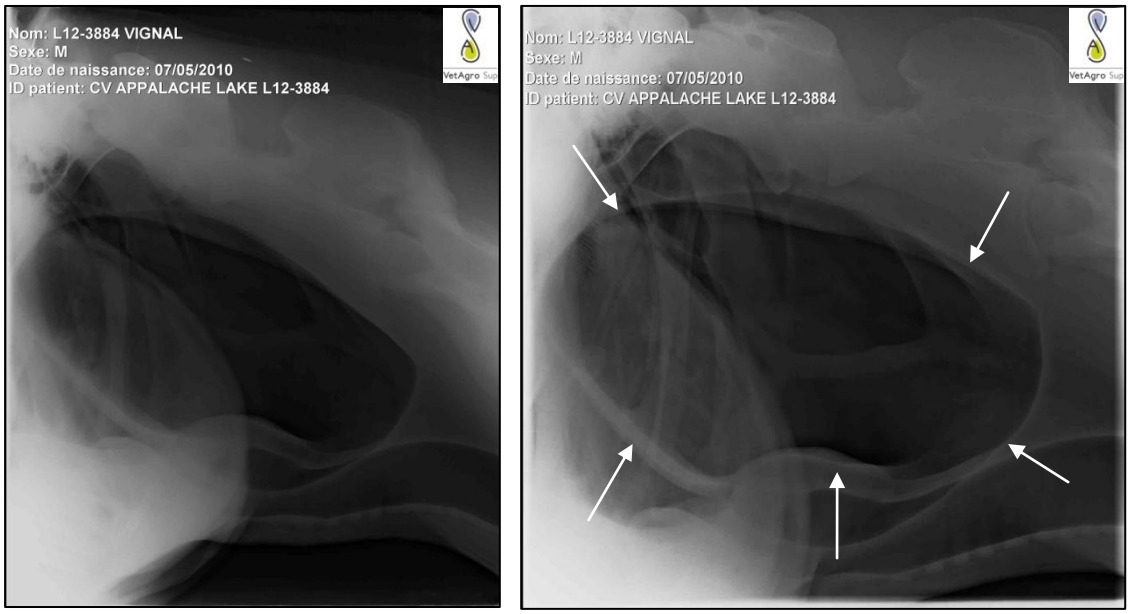


Figure 59 : Vues latéro-latérales de la région parotidienne et pharyngée montrant une dilatation aérique des poches gutturales (*Imagerie – VetAgro Sup*)

b) Echographie de la région

En complément de ces clichés radiographiques, une échographie de la région parotidienne et cervicale haute est réalisée. Elle permet d'éliminer les autres causes de masses dans cette région, comme un hématome, un abcès ou les kystes branchiaux.

Contre la partie profonde de la glande parotidienne, à gauche, et en position sous-cutanée à droite, on observe une structure bien délimitée par une fine paroi échogène d'1,3 mm d'épaisseur (*figure 60*) et présentant un contenu uniquement gazeux, correspondant probablement aux poches gutturales dilatées. L'ensemble des structures adjacentes (parotide, thyroïde) ne présente pas d'anomalies. Ce sont des images compatibles avec un tympanisme d'une ou des deux poches gutturales (*figure 60*).

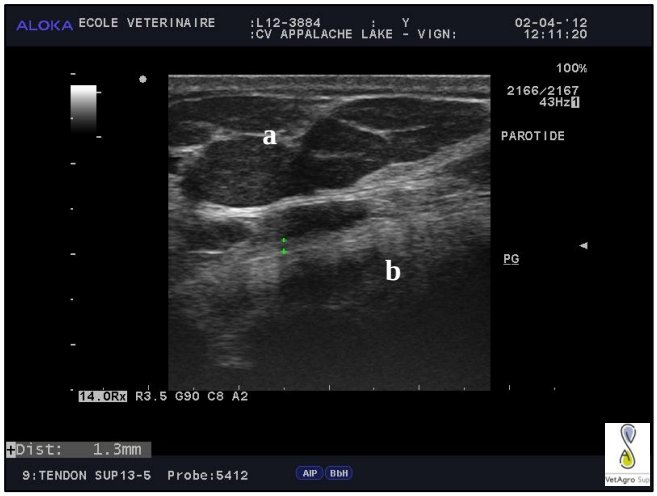


Figure 60 : Image échographique de la région, avec la glande parotide superficielle (a) et la poche gutturale en profondeur (b) et une estimation de la paroi de la poche gutturale (1,3 mm) (*Imagerie – VetAgro Sup*)

c) Endoscopie au repos

Pour obtenir un diagnostic de certitude et savoir quelle poche gutturale est concernée, une endoscopie des voies respiratoires supérieures est réalisée. Elle est réalisée après anesthésie locale des naseaux (lidocaïne) en deux temps, c'est-à-dire d'abord par le naseau gauche pour pénétrer dans la poche gutturale gauche, puis par le naseau droit, pour faciliter l'entrée dans la poche gutturale droite.

Cette endoscopie des voies respiratoires supérieures montre :

- Une hyperplasie folliculaire lymphoïde de grade 3/4 (*figure 61*), observation très fréquente chez les jeunes chevaux de 2 ans
- Une hémiplégie laryngée gauche de grade II/IV : asynchronisme de l'abduction des cartilages aryténoïdes avec un retard de l'aryténoïde gauche
- Une compression marquée du larynx et du pharynx par la distension de la poche (*figure 62*). Il est intéressant de noter que lorsque l'on appuie à l'extérieur sur la poche gutturale droite, celle-ci semble faire protrusion dans le pharynx et lorsque l'on appuie sur la poche gutturale gauche, c'est également la poche gutturale droite qui vient faire protrusion dans la lumière du nasopharynx.

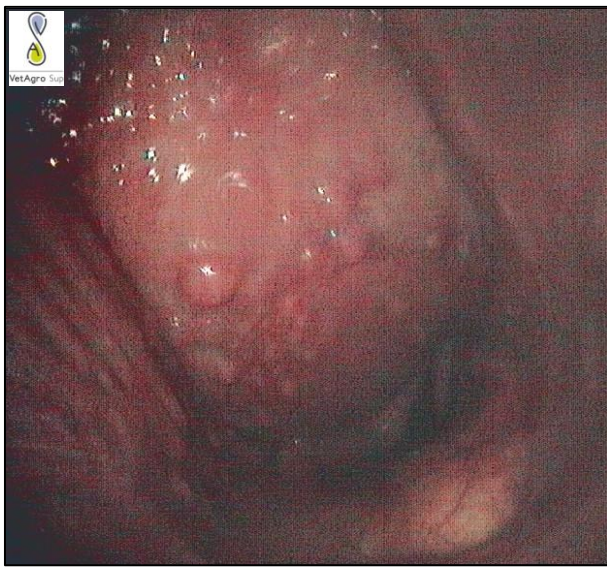


Figure 61 : Pharyngite folliculaire de grade 3/4 (*image VetAgro Sup*)

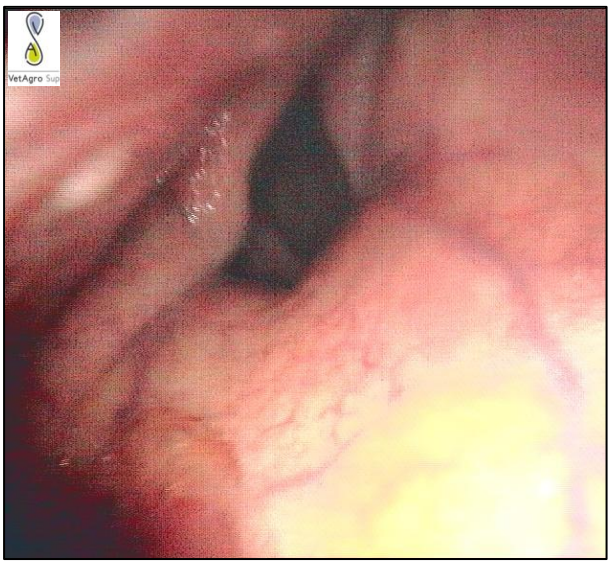


Figure 62 : Compression du larynx par la poche gutturale droite (*image VetAgro Sup*)

- Un tympanisme primaire de la poche gutturale droite avec dilatation marquée des compartiments latéral et médial. L'introduction de l'endoscope dans la poche gutturale droite provoque un dégonflement instantané et symétrique de la région parotidienne.
- Le compartiment médial de la poche gutturale gauche est de taille réduite du fait de la distension de la poche droite (*figure 63*), et on note la présence d'un emphysème localisé proche de la portion dorsale et médiale de l'os styloïde (*figure 64*)
- Les orifices pharyngiens semblent de structure et de forme symétrique, aucune anomalie à l'entrée de la poche (de type valve unidirectionnelle) n'est mise en évidence

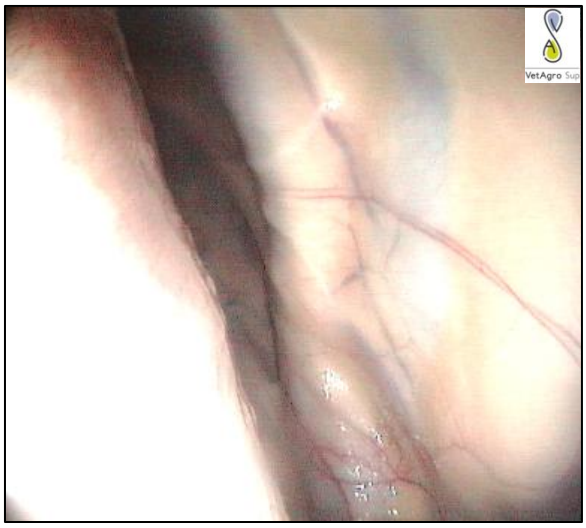


Figure 63 : Compression de la poche gutturale gauche par la poche gutturale droite (*image VetAgro Sup*)

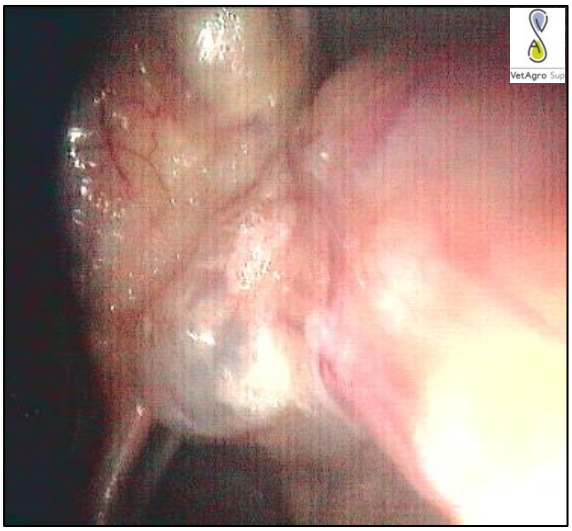


Figure 64 : Emphysème de la portion dorso-médiale de l'os styloïde de la poche gutturale gauche (*image VetAgro Sup*

e. Diagnostic

L'ensemble de ces examens complémentaires permet de poser un diagnostic de certitude de tympanisme primaire, congénital et intermittent de la poche gutturale droite. Ce tympanisme provoque une distension marquée des compartiments latéral et médial de la poche, avec déviation du septum médian vers la gauche. La poche gutturale semble d'aspect normal, aucune des structures vasculaires ou nerveuses présentes ne semble présenter d'anomalies, la paroi ne semble pas épaissie à l'échographie.

L'étiologie de ce tympanisme évoluant depuis la naissance reste inconnue. Différentes causes sont proposées dans la littérature (Mc Cue et al., 1989) :

- L'existence d'un repli muqueux anormal au niveau de l'ostium de la poche gutturale (communication de la poche avec la trompe auditive) agissant comme une valve unidirectionnelle, permettant l'entrée d'air mais pas son évacuation
- Le fonctionnement anormal des orifices pharyngiens

f. Endoscopie embarquée

Pour compléter l'étude sur le fonctionnement des orifices pharyngiens et tenter de comprendre l'origine de ce tympanisme, une endoscopie embarquée est réalisée chez cette jument demi-sang arabe.

Il est intéressant de noter que dans les deux heures qui ont séparé la réalisation de l'endoscopie au repos et l'endoscopie embarquée, le gonflement de la région parotidienne est réapparu alors qu'il avait disparu lors de l'introduction de l'extrémité distale de l'endoscope dans la poche gutturale droite, et il semble plus marqué que lors de l'admission. Il ne semble cependant pas créer de gêne respiratoire majeure. Il est apparu alors que la jument mangeait la tête en bas et de manière brutale, contrairement à ce qui avait été décrit dans l'anamnèse.

a) *Matériel et méthodes*

Le protocole suivi est différent de celui de l'étude présentée précédemment pour des raisons techniques. En effet, en raison de la petite taille de la jument, aucun surfaix adapté n'est disponible et l'endoscopie au trot ne peut être réalisée. Le protocole consiste en l'observation des orifices pharyngiens pendant cinq minutes au repos puis pendant cinq minutes au pas où l'un des opérateurs suit la jument en tenant le sac contenant l'émetteur.

La jument est préparée avec une pulvérisation d'anesthésique local dans le naseau droit (lidocaïne, Xylocaïne 2% ®). L'endoscope est ensuite introduit sur environ 30 à 40 centimètres, jusqu'au nasopharynx, sous contrôle vidéo pour se placer de manière optimale devant les orifices pharyngiens des poches gutturales. L'endoscope est ensuite replié sur le chanfrein de la jument et fixé au filet, à l'encolure et au sac émetteur grâce à des élastiques. Le système de pompe automatique est mis en route, avec instillation de 2 ml d'eau déminéralisée toutes les 30 secondes. La position de l'image est vérifiée et les enregistrements peuvent être démarrés.

Les vidéos sont par la suite visionnées plusieurs fois et au ralenti, afin d'obtenir une interprétation la plus précise possible. Les ouvertures des orifices pharyngiens sont comptabilisées, on note leur fréquence, leur moment d'apparition et le lien avec un autre phénomène (déglutition, déclenchement de la pompe), leur caractéristique (ouverture complète, partielle, décollement). Tout autre évènement est également noté.

b) *Résultats*

i. Au repos

Pendant les cinq minutes au repos, aucune ouverture des orifices pharyngiens n'est observée. Il est cependant intéressant d'observer que lorsqu'on appuie sur le gonflement à l'extérieur, à droite comme à gauche, on mobilise toujours la poche gutturale droite.

ii. Au pas

Au pas, on observe 4 ouvertures des orifices pharyngiens. Les deux orifices semblent s'ouvrir simultanément (*figure 65*) et les ouvertures sont systématiquement liées à une déglutition. On note que 2 des 4 déglutitions et donc ouvertures des orifices pharyngiens (soit 50% des ouvertures) font suite au déclenchement de la pompe.

On observe que l'orifice droit ne s'ouvre pas de manière complète : en effet, il ne se décolle pas de la paroi latérale du pharynx. Ceci est en grande partie dû à la distension de la poche. Toutefois, ce qui laisse penser que l'orifice s'ouvre tout de même, c'est la forme semi-circulaire dont le sommet prend une en direction dorso-médiale que prend le clapet cartilagineux.

On peut cependant douter d'une ouverture complète identique à celle du clapet gauche car les deux clapets ne viennent pas s'accoler dans le plan sagittal, ce qui était observé chez les chevaux témoins. On peut suspecter grâce à cette endoscopie embarquée que l'orifice pharyngien de la poche gutturale atteinte de tympanisme présente un déficit d'ouverture.

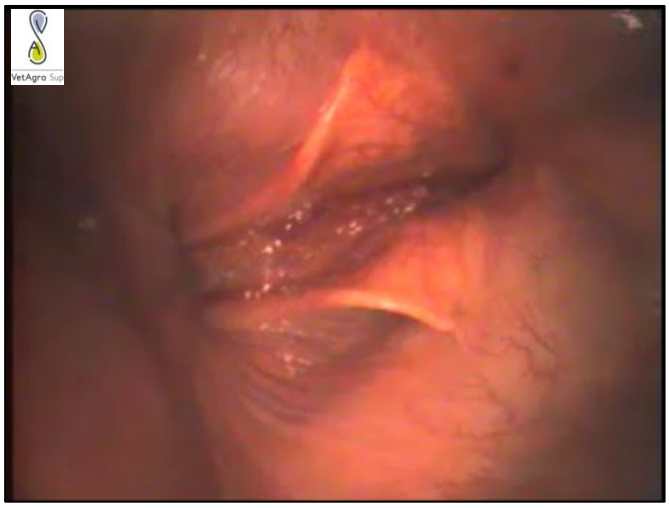


Figure 65 : Ouverture des orifices pharyngiens lors de la déglutition chez la jument atteinte de tympanisme unilatéral droit (*image VetAgro Sup*)

g. Traitement proposé

En raison de limites financières, il n'est pas possible de pratiquer la technique de chirurgie classique dans le cas d'un tympanisme unilatéral, à savoir la fenestration du septum médian séparant les deux poches gutturales, avec approche par le triangle de Viborg et sous anesthésie générale. Il est proposé aux propriétaires une exérèse de l'orifice pharyngien grâce à une pince à biopsie utérine, par endoscopie, sur cheval debout sous sédation, pour limiter la distension de la poche gutturale.

a) Chirurgie

La prémédication est composée de pénicilline à 22 000 UI/kg en intramusculaire stricte, de phénylbutazone à 2.2 mg/kg par voie intraveineuse et d'un sérum antitétanique, 5 ml en sous-cutané. La chirurgie est réalisée sur cheval debout placé dans un travail et sous sédation (détomidine 0.04 mg/kg IV et butorphanol 0.2 mg/kg IV, puis perfusion de détomidine à 6 µg/kg/min). Elle est réalisée sous contrôle endoscopique.

La première étape de la chirurgie consiste en l'injection d'anesthésique local (lidocaïne 2%) dans la paroi de la poche gutturale droite et autour de l'orifice pharyngien, par le canal opérateur de l'endoscope (*figure 66*).

Puis, après avoir introduit l'endoscope par le naseau gauche et placé l'extrémité distale à l'entrée du pharynx de manière à visualiser les orifices pharyngiens, on introduit la pince à biopsie utérine dans le naseau droit. Dans un premier temps, une résection complète de l'orifice pharyngien droit est réalisée (*figure 67*), puis dans un second temps, d'une partie de la paroi pharyngée de la poche gutturale droite. Une communication entre le nasopharynx et la poche est alors créée (*figure 68*).

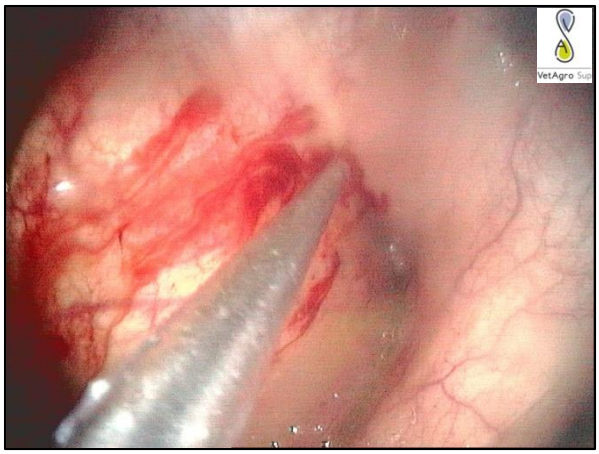


Figure 66 : Injection d'anesthésique local dans la paroi pharyngée via le canal opérateur (*image VetAgro Sup*)

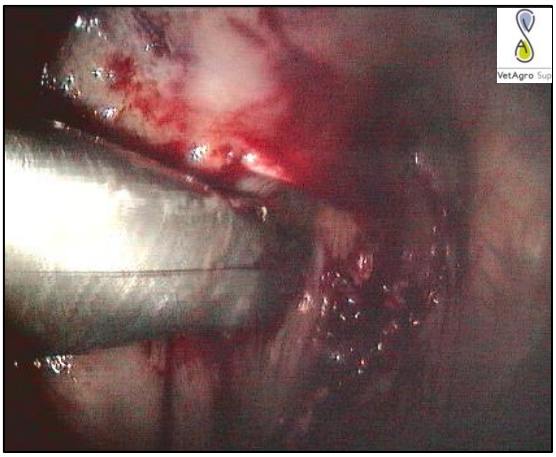


Figure 67 : Résection de l'orifice pharyngien à l'aide d'une pince à biopsie utérine (*image VetAgro Sup*)

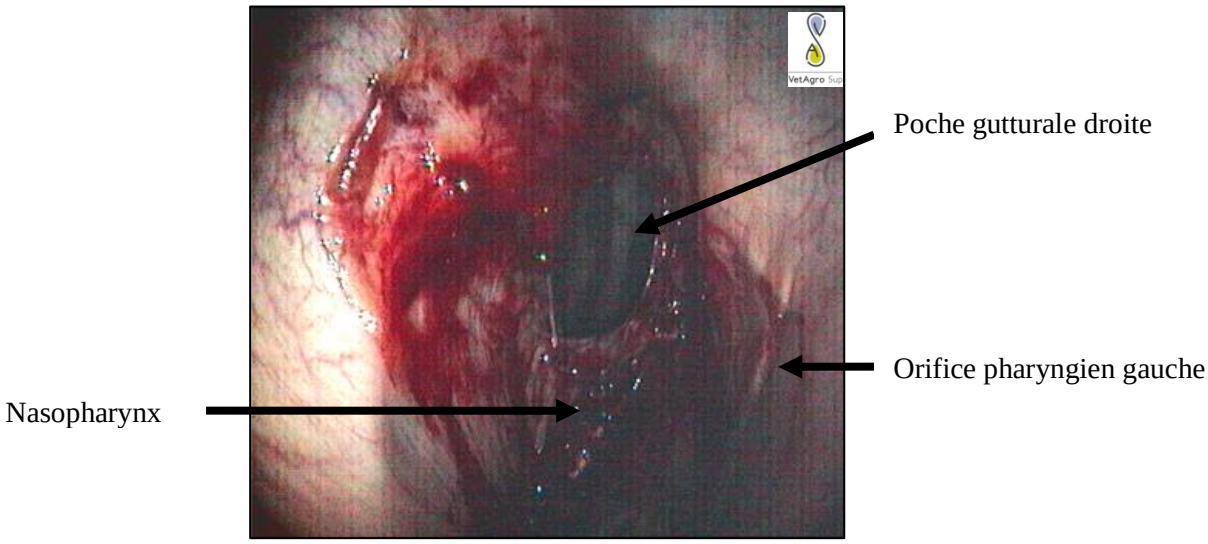


Figure 68 : Communication entre la poche gutturale droite et le nasopharynx à la fin de la chirurgie (*image VetAgro Sup*)

b) Recommandations

Les recommandations postopératoires sont :

- Deux semaines de repos au box, puis mettre dans un petit paddock pendant un mois
- Pénicilline 22 000 UI/kg en intramusculaire stricte deux fois par jour pendant deux jours
- Phénylbutazone 2,2 mg/kg par voie orale deux fois par jour pendant un jour
- Surveiller tout gonflement anormal de la poche gutturale et une éventuelle épistaxis
- Prévoir un contrôle endoscopique dans un mois et d'ici là surveiller toute apparition de dysphagie (toux lors de la prise de nourriture ou d'eau) ou d'un écoulement nasal alimentaire. Dans ce cas, consulter un vétérinaire.

c) Complications et pronostic

Les complications possibles à court et moyen terme sont une hémorragie accompagnée d'une épistaxis, une récidive du tympanisme, une infection ou une gêne respiratoire. L'exérèse de l'orifice pharyngien et la communication ainsi créée entre la poche gutturale et le pharynx peut engendrer l'apparition d'une dysphagie, d'une infection et permettre l'entrée de matériel alimentaire dans la poche gutturale (Mason, 1972).

Le pronostic vital est bon, mais le pronostic sportif est réservé : il dépend de la réponse au traitement chirurgical, d'une potentielle récidive du tympanisme de la poche gutturale droite et des éventuelles complications respiratoires occasionnées. Le pronostic peut parfois être compliqué par la présence d'une pneumonie (Lepage, 2008).

3. Discussion

Il est intéressant de discuter de ce cas de tympanisme unilatéral de la poche gutturale droite, à la fois sur des critères épidémiologiques, des modalités de la prise en charge thérapeutique, mais aussi des résultats observés lors de l'endoscopie embarquée, qui complètent ceux obtenus dans le cadre de l'étude clinique présentée précédemment.

a. Epidémiologie

La première caractéristique intéressante dans l'anamnèse est que ce cas de tympanisme concerne un cheval âgé de 2 ans, ce qui est rarement observé puisque cette affection touche en général les jeunes poulains de 1 à 12 mois. Ceci peut s'expliquer par le fait que le gonflement n'a jamais été important au point de provoquer une détresse respiratoire et n'a pas inquiété suffisamment les propriétaires pour conduire à une consultation par un vétérinaire.

Il est également intéressant de souligner que l'individu atteint est une jument demi-sang arabe. Or une étude (Blazyczek et al., 2004b) a montré qu'il existe une prédisposition génétique dans cette race et que les juments sont de 2 à 4 fois plus atteintes que les mâles. De plus, l'atteinte de la poche gutturale droite semble la plus fréquemment atteinte dans les cas décrits dans la littérature (Freeman, 2006).

b. Endoscopie embarquée

Le troisième point intéressant de ce cas est la réalisation d'une endoscopie embarquée chez la jument atteinte. Ceci est rarement réalisé et réalisable en pratique sur des jeunes poulains en raison de la taille de l'endoscope par rapport aux cavités nasales et parce que l'endoscopie embarquée n'est encore que très peu utilisée en pratique courante.

a) Recherche de l'étiologie du tympanisme

Alors que l'endoscopie au repos n'avait pas mis en évidence de repli muqueux pouvant agir comme une valve unidirectionnelle, souvent décrit comme la cause du tympanisme (Mc Cue et al., 1989), cet examen supplémentaire a permis d'observer la structure et fonctionnement des orifices pharyngiens et de rechercher la ou les anomalies responsables du tympanisme.

On a ainsi pu observer que l'orifice de la poche atteinte de tympanisme s'ouvre mais ne fonctionne pas normalement car il ne s'ouvre pas de manière complète lors de la déglutition. En effet, il ne permet pas de visualiser l'entrée de la poche gutturale. Cela peut s'expliquer par la distension de la poche gutturale et la difficulté du clapet cartilagineux de se décoller de la paroi latérale du pharynx, mais cela peut également s'expliquer par un défaut d'ouverture de l'orifice. On observe que les deux clapets ne viennent pas s'accoler dans le plan médian, ce qui est normalement observé lors de déglutitions.

On retrouve ainsi les observations faites par Cook (1987) qui observe chez des poulains atteints de tympanisme, des mouvements du clapet lors de la déglutition mais présume d'un défaut d'ouverture de la gouttière de la trompe auditive permettant une communication avec la poche gutturale. Il observe également que les poches atteintes se gonflent d'air lors d'expiration et se vide instantanément lorsque le poulain tousse. Ce fonctionnement anormal du clapet cartilagineux de l'orifice pharyngien est souvent attribué à un déficit neurologique et on retrouve ici les observations faites par Knottenbelt et al. (2003), à savoir un défaut d'ouverture de l'orifice du côté atteint lors de la deuxième phase de moindre pression de la déglutition.

Dans ce cas de tympanisme de la poche gutturale droite, comme il est souvent observé dans cette affection (Sparks et al., 2009), aucune réelle anomalie dans la structure de l'orifice pharyngien ou du *plica salpingopharyngeus* n'est mise en évidence. Seul un fonctionnement anormal du clapet cartilagineux peut être suspecté.

b) Modalités d'ouverture des orifices pharyngiens

En ce qui concerne l'analyse quantitative du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens, il est difficile de confronter les résultats de cette endoscopie embarquée avec ceux de l'étude clinique en raison des différences de protocole et parce que le faible effectif utilisé rend les résultats obtenus non significatifs. En effet, chez cette jument, pour des raisons techniques, seules les endoscopies au repos et au pas ont pu être réalisées et la nécessité d'une prise en charge rapide a empêché la réalisation d'un second enregistrement qui aurait permis d'obtenir un nombre moyen d'ouvertures sur deux manipulations.

Même si une véritable comparaison quantitative ne peut pas être réalisée, on peut comparer le nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens au repos et au pas. Chez cette jument, on n'observe aucune ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales pendant les cinq minutes de repos, puis 4 ouvertures complètes (de l'orifice gauche au moins) pendant les cinq minutes au pas.

Lors de l'étude clinique, chez tous les chevaux étudiés et quelle que soit la situation (repos, pas ou trot), les orifices pharyngiens des poches gutturales se sont toujours ouverts au moins une fois au cours des cinq minutes d'observation au repos, ce qui n'est pas le cas chez cette jument atteinte de tympanisme. Mais le faible nombre d'individus utilisés ne permet pas de conclure sur la significativité de cette différence. On ne peut pas savoir si la présence de cette affection congénitale joue un rôle dans l'absence d'ouverture des poches gutturales. Au pas, on peut comparer le nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales chez cette jument (4) avec le nombre moyen d'ouvertures chez les sept chevaux de l'étude (5,77). On observe qu'il est légèrement inférieur dans le cas de tympanisme mais encore une fois, on ne peut pas parler de différence significative.

Il est parfois mentionné que la présence d'un tympanisme des poches gutturales aboutit à un rétrécissement progressif du nasopharynx et provoque une augmentation de la fréquence des déglutitions (Zeitz et al., 2009). Ceci peut s'expliquer par la gêne induite par le gonflement sur la respiration mais aussi sur le passage de la salive du pharynx jusqu'à l'œsophage. Ce phénomène n'est pas observé chez cette jument puisque aucune déglutition ne se produit pendant les cinq minutes de repos. Cette endoscopie embarquée, en comparaison avec celles réalisées lors de l'étude clinique, ne permet pas d'étudier réellement l'influence du tympanisme unilatéral sur le comportement et la fréquence d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales.

Enfin, l'anamnèse de cette jument ne mentionne pas de phénomène de dysphagie associée au tympanisme. Il est souvent considéré que les différentes affections concernant les poches gutturales comme l'empyème, la mycose ou le tympanisme provoquent de la dysphagie chez les chevaux atteints (Hodgson, 1998). L'endoscopie embarquée réalisée chez cette jument ne montre pas de modification dans le déroulement de la déglutition : une dilatation aérique des poches gutturales lors de tympanisme ne semble pas modifier son mécanisme et il est plus probable que la dysphagie associée aux différentes affections des poches gutturales soit le plus souvent causée par l'atteinte des structures nerveuses qu'elles contiennent, par exemple des nerfs crâniens XI et XII qui contrôlent les phases buccales et pharyngées de la déglutition.

c. Prise en charge thérapeutique

Enfin, il est intéressant de discuter de la technique de chirurgie employée dans ce cas de tympanisme unilatéral. La technique habituellement utilisée dans cette situation-là est la fenestration du septum médian séparant les deux poches gutturales, par différentes approches possibles (technique de Whitehouse, technique de Whitehouse modifiée, triangle de Viborg) ou par l'utilisation du laser. Le but de cette technique est d'évacuer l'air accumulé dans la poche atteinte vers la poche saine puis vers le pharynx via l'orifice pharyngien. Cette technique montre 33% de récidives quand elle est utilisée seule. C'est pourquoi elle est souvent associée à la résection du clapet cartilagineux de l'orifice (Mc Cue et al., 1989). La création d'une fistule salpingo-pharyngienne par laser sur cheval debout est également décrite, mais la réussite à long terme est inconnue (Tate et al., 1995). Le principal problème de ces méthodes est l'existence de récidives, qui nécessitent souvent la reprise du traitement chirurgical.

Une nouvelle méthode consiste en la résection partielle du *plica salpingopharyngeus* par approche de Viborg (Sparks et al.,2009) : c'est la résection du repli muqueux situé sur le plancher de l'entrée de la poche gutturale, qui fait la communication avec la trompe d'Eustache, et qui est souvent considéré comme la cause du tympanisme en créant une valve unidirectionnelle. Cette technique est différente de la résection du clapet cartilagineux qui, elle, a pour but d'agrandir l'ouverture de la poche pour permettre le passage de l'air. Cette nouvelle méthode semble plus efficace, notamment dans les cas de tympanisme bilatéral et limite à la fois les récidives et les complications (Sparks et al., 2009).

Dans le cas présenté ici, on peut parler d'une combinaison de ces méthodes avec résection du clapet cartilagineux et du *plica salpingopharyngeus*, qui contribue à la création d'une communication entre la poche gutturale et le nasopharynx. Ainsi l'air contenu dans la poche gutturale peut très facilement s'en échapper. La combinaison de ces deux méthodes avait précédemment été décrite par Freeman et al. (2006).

L'inconvénient de cette technique est le risque d'infection de la poche gutturale ou de dysphagie. En effet, de la nourriture peut venir s'impacter dans la poche gutturale et provoquer une infection, surtout si la fistule entre la poche et le pharynx est située ventralement. Cependant, une fistule caudale et dorsale à l'orifice pharyngien ne semble pas préjudiciable pour le cheval atteint (Tate et al., 1995).

En conclusion, ce cas de tympanisme des poches gutturales montre la facilité de diagnostic de cette affection quand on a accès à l'imagerie médicale courante (radiographie, échographie et endoscopie) mais il démontre surtout la difficulté rencontrée dans la détermination de l'origine de cette affection, malgré la réalisation d'une endoscopie embarquée. Dans ce cas, l'étiologie semble être un fonctionnement anormal de l'orifice pharyngien qui ne s'ouvre pas complètement et empêche la sortie de l'air, qui s'accumule alors dans la poche gutturale.

CONCLUSION

Au cours de l'évolution et en dépit des nombreuses affections potentiellement fatales qui les touchent, les poches gutturales ont persisté chez le cheval, mais dans quel but ? Ces organes particulièrement développés qui font le lien entre le pharynx et la trompe auditive sont en rapport avec des structures vasculaires et nerveuses importantes : elles constituent une fenêtre diagnostique hors du commun, alors que leur véritable rôle est un mystère. Depuis des siècles, de nombreuses hypothèses ont été proposées sans avoir été vérifiées : rôle dans la déglutition, dans la respiration ou dans la régulation des pressions. A ce jour, la principale fonction attribuée aux poches gutturales et étudiée dans la littérature est le refroidissement du sang acheminé au cerveau par la carotide lors d'effort intense, grâce à la ventilation de la cavité lors de la respiration. Cependant, le mécanisme d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales au cours d'un exercice, qui permettrait le passage de l'air, n'est pas connu.

L'objectif principal de l'étude clinique présentée dans ce travail n'est pas de découvrir le rôle des poches gutturales, mais simplement d'observer les modalités d'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales du cheval lors d'un effort. Leur comportement a déjà été observé lors d'examens endoscopiques au repos et leur ouverture est toujours associée à la déglutition. Dans cette étude, l'endoscopie embarquée, matériel innovant développé depuis quelques années, a permis d'étudier l'ouverture des orifices pharyngiens des poches gutturales au cours d'un travail simple, au pas et au trot.

Il ressort de cette étude que ce soit au repos ou à l'effort, les orifices pharyngiens des poches gutturales s'ouvrent au moment de la déglutition : les ouvertures sont alors complètes et symétriques. Le nombre moyen d'ouvertures révèle une augmentation entre le repos, le pas puis le trot mais ce n'est qu'une tendance. En effet, aucune différence significative n'a pu être démontrée par l'analyse statistique. Des décollements passifs ont également été observés dans des circonstances particulières comme lors d'expectorations ou de mouvements des parois du pharynx, sans sembler jouer un rôle dans la physiologie de la poche gutturale.

Cette étude clinique présente plusieurs limites, notamment le faible effectif utilisé et les paramètres étudiés. Elle mériterait d'être approfondie par la réalisation d'endoscopies embarquées lors d'un effort intense, sur des chevaux de course par exemple et pourrait être complétée par un suivi de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire et par des mesures de pression et de température dans les poches gutturales au cours de la déglutition ou au cours de l'effort. Connaitre le rôle des poches gutturales représente un véritable défi pour les scientifiques et de nombreuses études de ce type seront encore nécessaires pour élucider ce mystère de la nature.

Le Professeur responsable
VetAgro Sup Campus Vétérinaire

Pr. Jean-Luc CADORE
Médecine Interne
Pôle Equin, ENVL
Dr Vét., Dipl. ECVIM-CA

Le Directeur général
VetAgro Sup

Par délégation
Pr F. Grain - DEVE
VetAgro Sup
Campus Vétérinaire

Le Président de la thèse

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le 10 JUIL. 2012

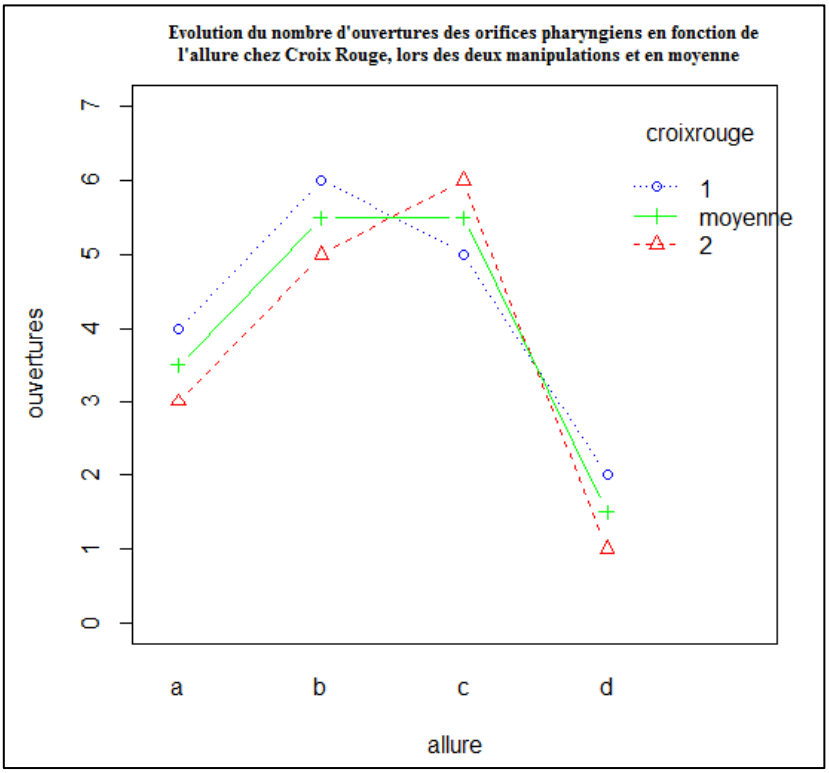
Pour le Président de l'Université,
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales,
Professeur F.N GILLY

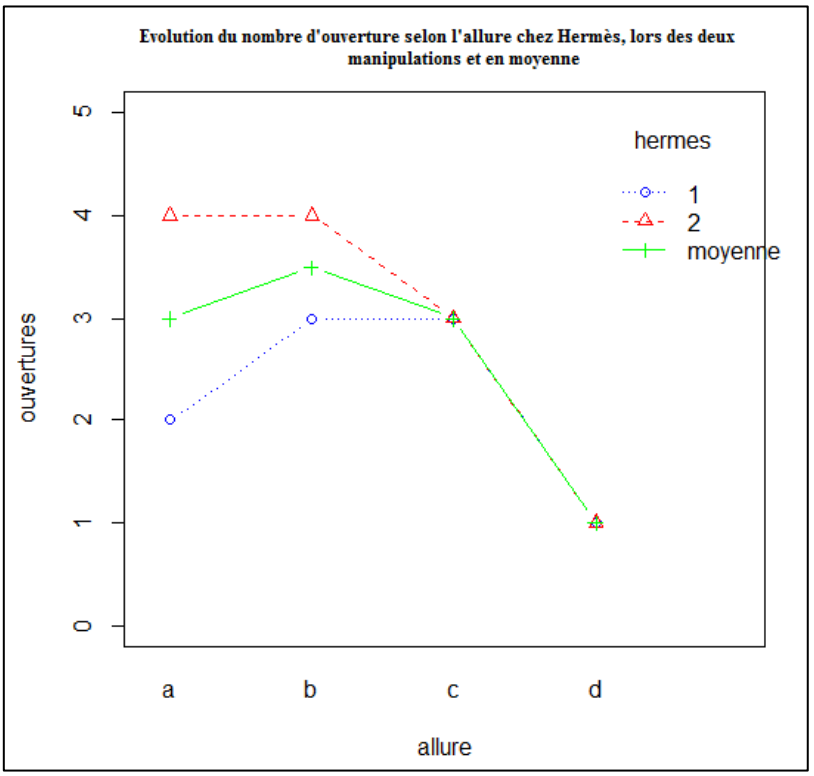
UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

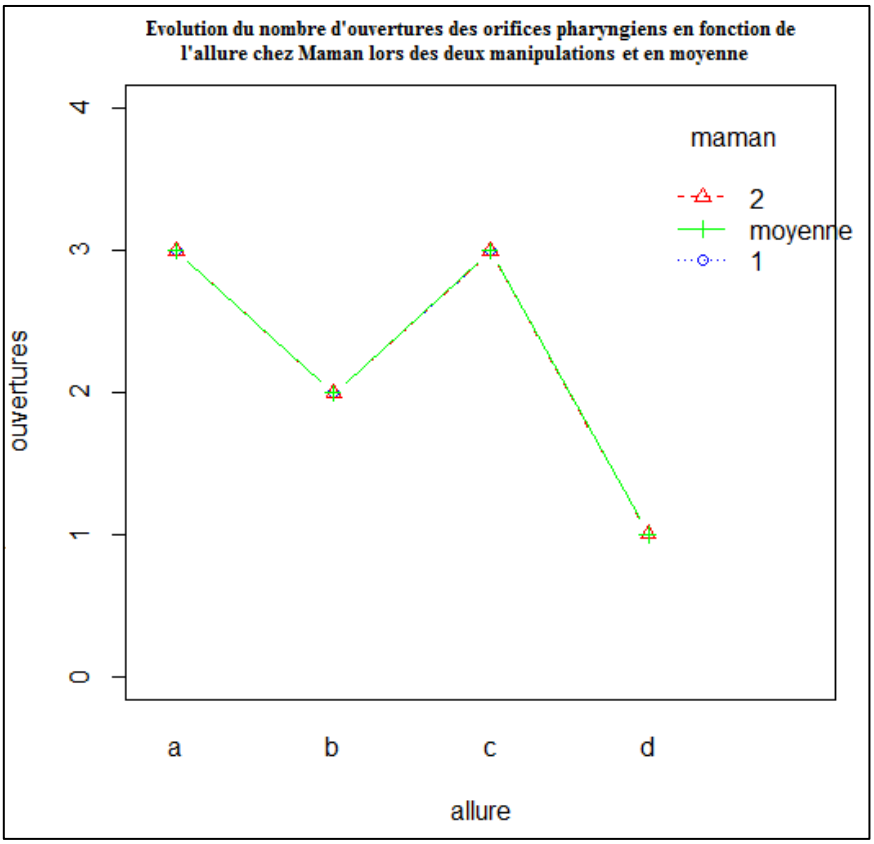
ANNEXES

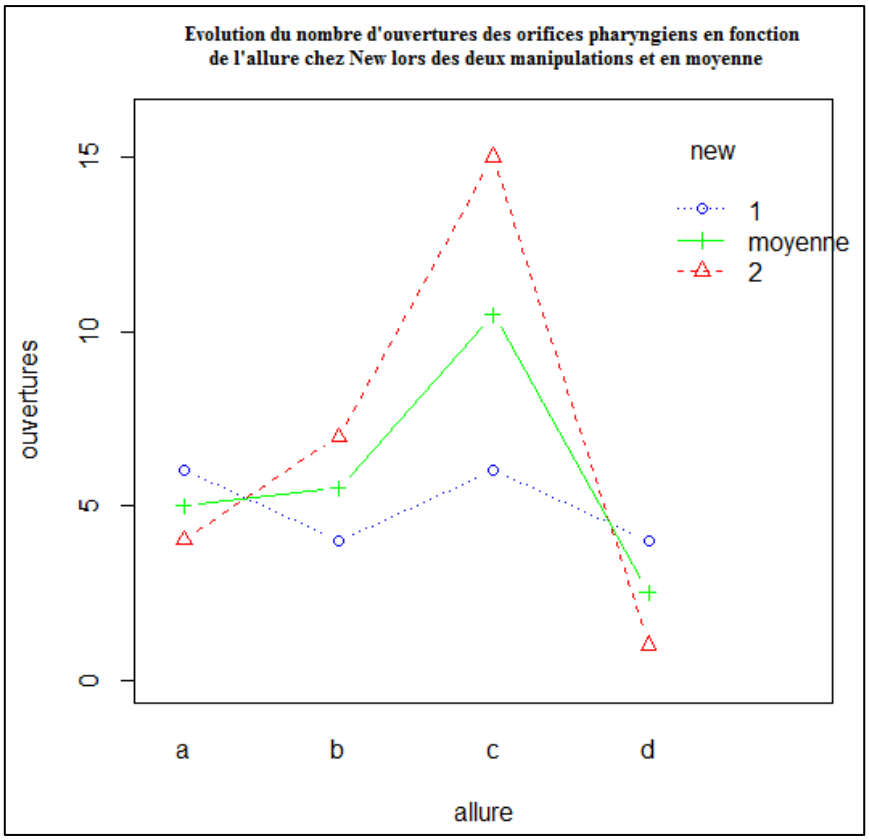
Annexe 1 : Evolution du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens en fonction de l'allure lors des deux manipulations, et sur une moyenne des deux, chez chaque cheval

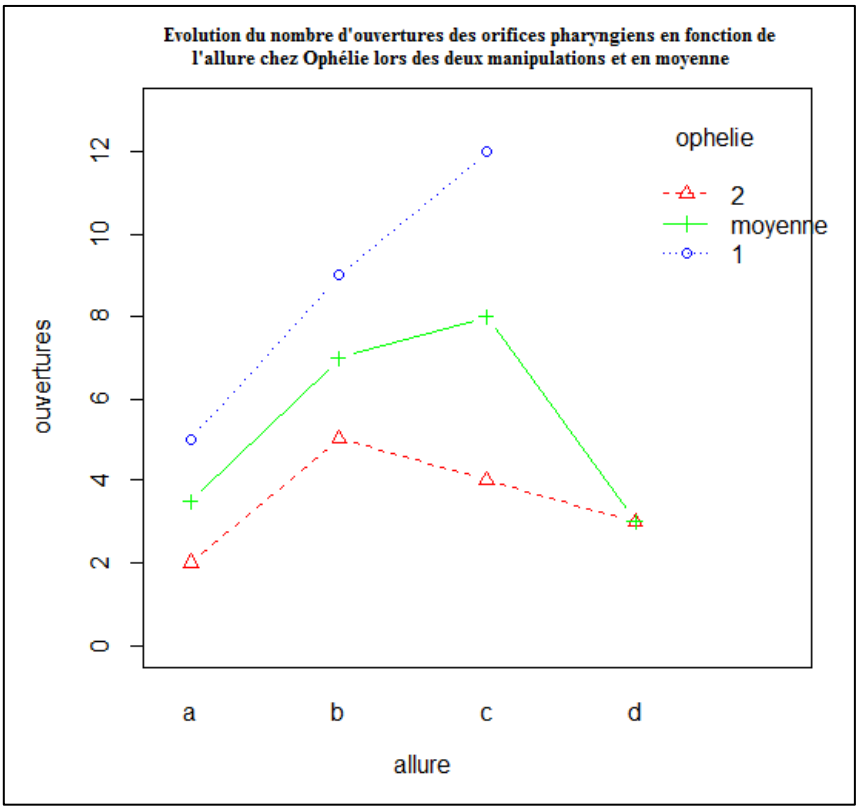
Légende : a = repos, b = pas, c = trot, d = repos après effort ; 1 = 1e manipulation ; 2 = 2e manipulation

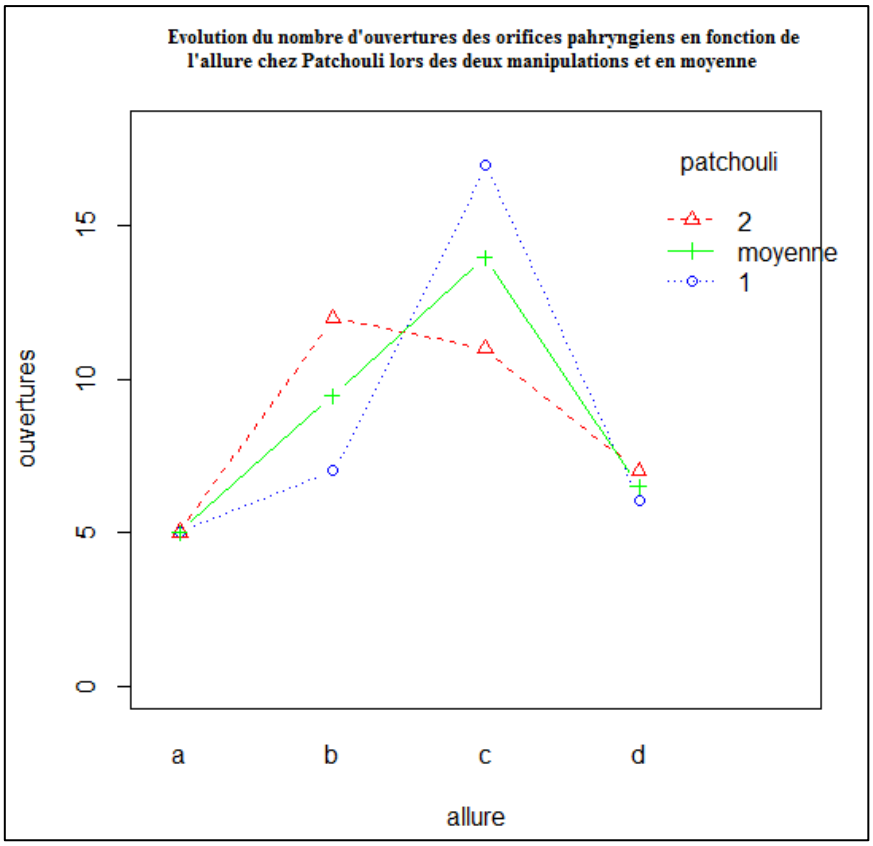




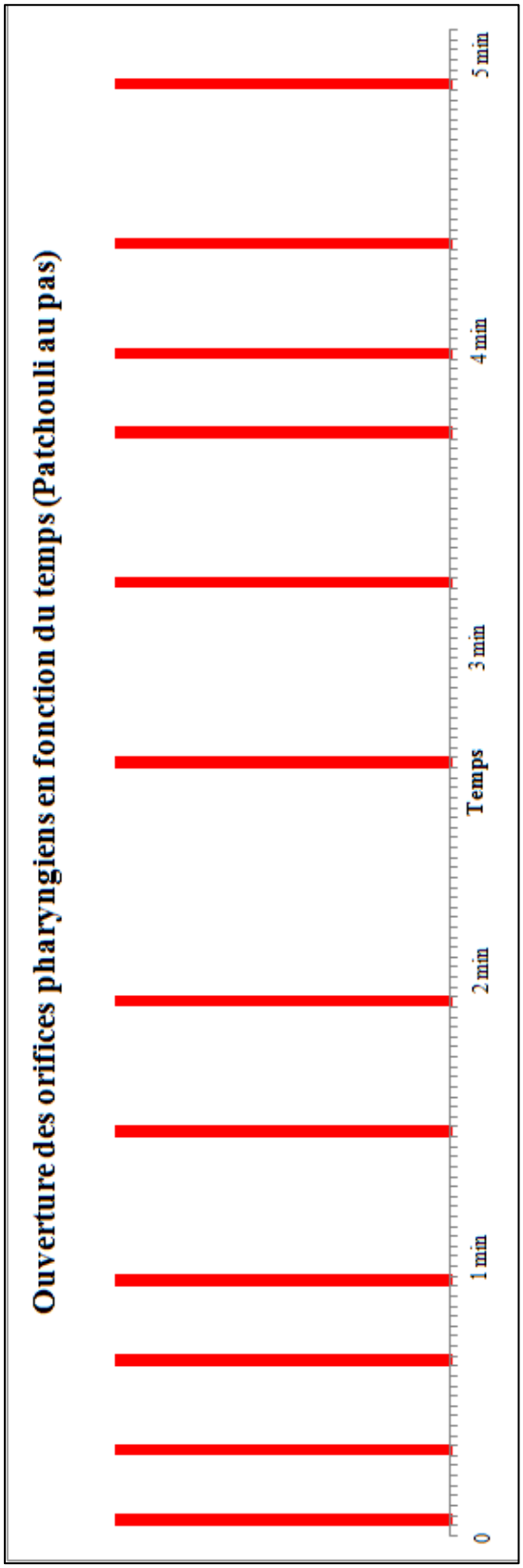

Evolution du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens en fonction de l'allure chez Maman lors des deux manipulations et en moyenne
maman
2
moyenne
1
ouvertures
0
1
2
3
4
a
b
c
d
allure

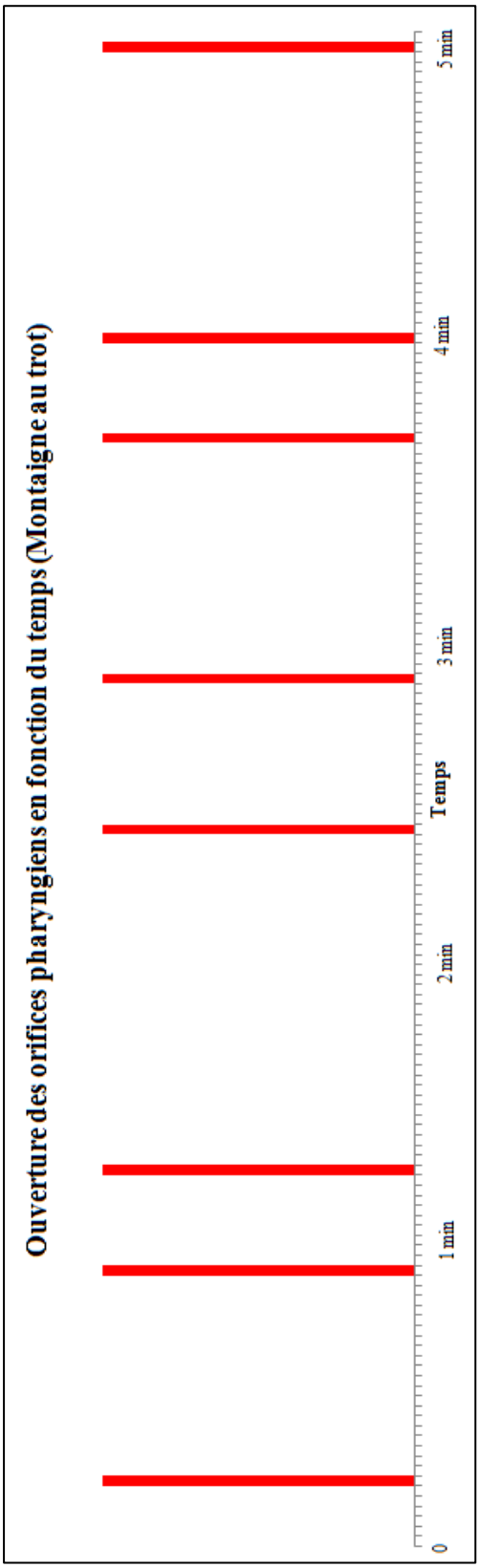

Evolution du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens en fonction de l'allure chez New lors des deux manipulations et en moyenne
new
1
moyenne
2
ouvertures
0
5
10
15
a
b
c
d
allure


Evolution du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens en fonction de l'allure chez Ophélie lors des deux manipulations et en moyenne
ophelie
2
moyenne
1
ouvertures
0
2
4
6
8
10
12
a
b
c
d
allure

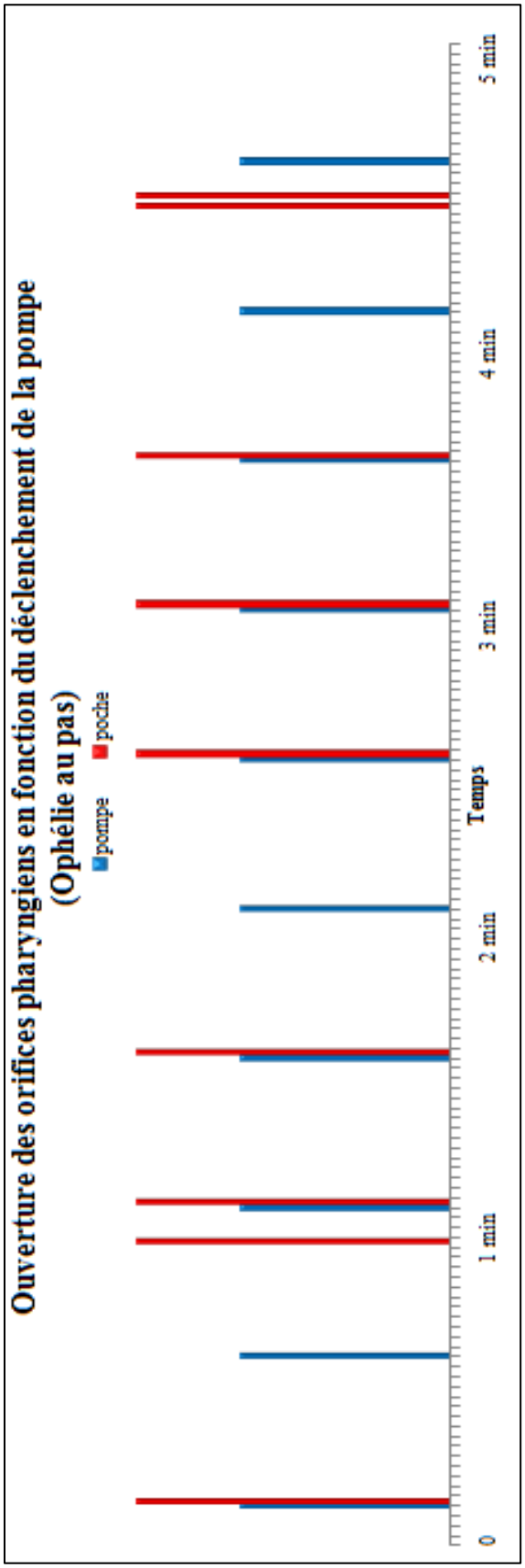

Evolution du nombre d'ouvertures des orifices pahryngiens en fonction de l'allure chez Patchouli lors des deux manipulations et en moyenne
patchouli
2
moyenne
1
ouvertures
0
5
10
15
a
b
c
d
allure

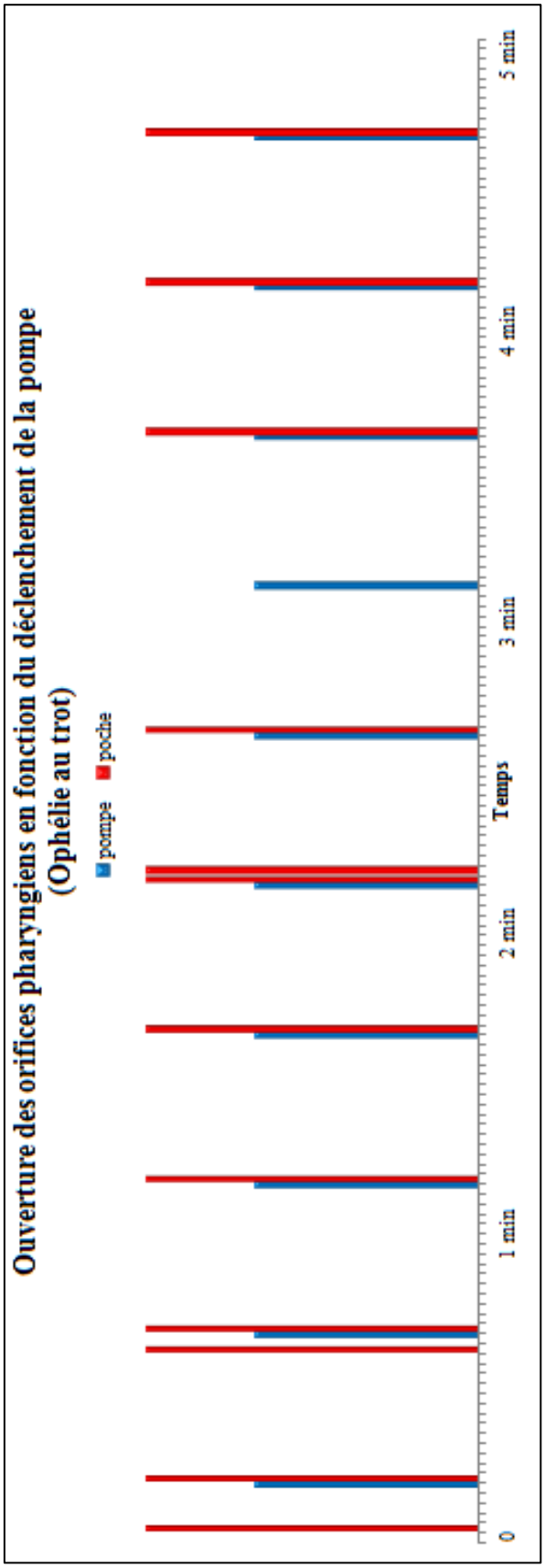
Annexe 2 : Ouverture des orifices pharyngiens en fonction du temps chez 2 chevaux au pas (P) et au trot (Mo)



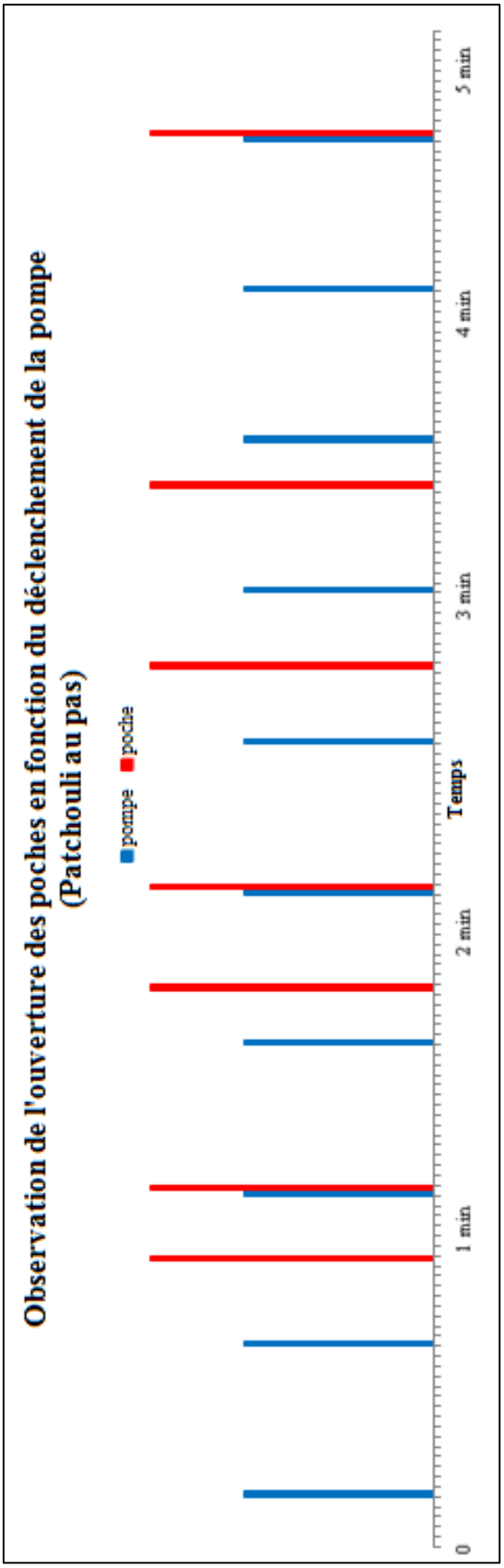


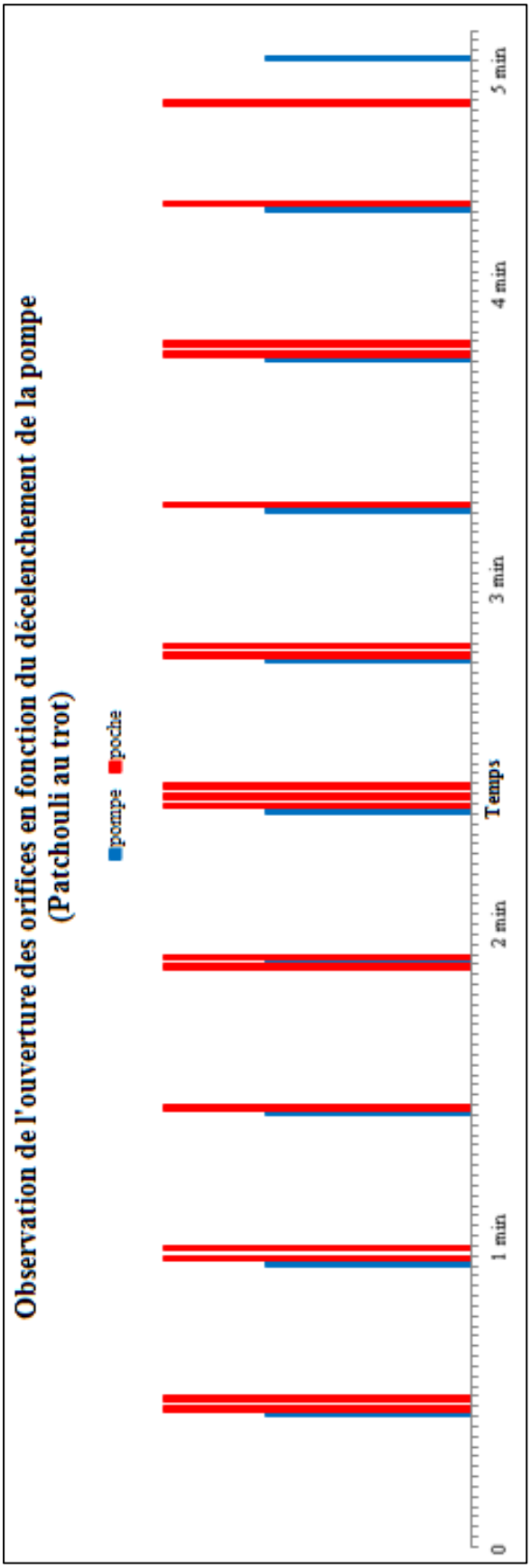
Annexe 3 : **Ouverture des orifices pharyngiens en fonction du déclenchement de la pompe au pas et au trot (O)**





Annexe 4 : **Ouverture des orifices pharyngiens en fonction du déclenchement de la pompe au pas et au trot (P)**





Annexe 5 : Comparaison du nombre de décollements passifs avec le nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens chez les 7 chevaux dans les différentes conditions.

Cheval		Repos (5 minutes)		Pas (5 minutes)		Trot (5 minutes)		Repos après effort (5 minutes)	
		Ouvertures complètes	Décollements passifs	Ouvertures complètes	Décollements passifs	Ouvertures complètes	Décollements passifs	Ouvertures complètes	Décollements passifs
Croix Rouge	(1)	4	**2 ***	6	**1 *****	5	**0**	2	**0**
	(2)	3	**1 ***	5	**0**	6	**0**	1	**0**
Hermès	(1)	2	**0**	3	**2 ***	3	**0**	1	**2 ***
	(2)	4	**0**	4	**0**	4	**0**	1	**0**
Maman	(1)	3	**0**	2	**0**	3	**0**	-	-
	(2)	3	**0**	2	**0**	3	**0**	1	**0**
New	(1)	6	**0**	4	**0**	6	**1 *****	4	**0**
	(2)	4	**0**	7	**0**	15	**0**	1	**1 ***
Ophélie	(1)	5	**0**	9	**0**	12	**1 *****	-	-
	(2)	2	**1 ****	5	**2 ****	4	**0**	3	**1 ****
Patchouli	(1)	6	**7 ****	7	**0**	17	**0**	6	**0**
	(2)	5	**0**	12	**2 ***	11	**3 ***	7	**2 *****
Montaigne	(1)	6	**0**	9	**0**	9	**0**	5	**0**

** mouvements du pharynx ou du voile du palais* *** expectorations* **** avant/après ouverture complète*

Tableau 7 : Comparaison du nombre d'ouvertures complètes et de décollements passifs dans les différentes situations chez les sept chevaux

Annexe 6 : Récapitulatif des ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales déclenchées par le fonctionnement de la pompe

	Nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales ***Déclenchées par la pompe***			
Cheval	**Repos (5 minutes)**	**Pas (5 minutes)**	**Trot (5 minutes)**	**Repos après effort (5 minutes)**
C (1) *pompe*	4 ***1***	6 -	5 -	2 ***1***
(2) *pompe*	3 -	5 ***1***	6 ***3***	1 -
H (1) *pompe*	2 -	3 -	3 -	1 -
(2) *pompe*	4 -	4 -	3 ***1***	1 -
Ma (1) *pompe*	3 -	2 -	3 -	Ø -
(2) *pompe*	3 ***1***	2 -	3 ***1***	1 -
N (1) *pompe*	6 -	4 -	6 -	4 -
(2) *pompe*	4 ***1***	7 ***4***	15 ***9***	1 ***1***
O (1) *pompe*	5 ***1***	9 ***6***	12 ***10***	Ø -
(2) ***PAS DE POMPE***	2 -	5 -	4 -	3 -
P (1) *pompe*	5 ***1***	7 ***3***	17 ***15***	6 -
(2) *pompe*	5 -	12 ***1***	11 ***3***	7 ***2***
Mo (1) *pompe*	6 ***3***	9 -	9 -	5 -

Tableau 8 : Récapitulatif des ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales déclenchées par le fonctionnement de la pompe

BIBLIOGRAPHIE

ALLEN K.J., FRANKLIN S.H. (2010)
"Comparisons of overground endoscopy and treadmill endoscopy in UK Thoroughbred racehorses." Equine Vet J, **42** (3) : 186-191

ARCHER R.M., LINDSAY W.A., DUNCAN I.D. (1991)
"A comparison of techniques to enhance the evaluation of equine laryngeal function." Equine Vet J, **23** (2) : 104-107

BACHA W.J., BACHA L.M. (2000)
Color Atlas of Veterinary Histology, Second Edition. Lippincott Williams & Wilkins, 318 p.

BAKER G.J. (1997)
"Pharynx." In : Equine Endoscopy, Second Edition. Traub-Dargatz J.L. and Brown C.M. Mosby, Saint Louis : 49-60

BAKER M.A. (1982)
"Brain cooling in endotherms in heat and exercise." Ann Rev Physiol, **44** : 85-96

BAPTISTE K.E. (1997)
"Functional anatomy observations of the pharyngeal orifice of the equine guttural pouch (auditory tube diverticulum)." Vet J, **153** (3) : 311-319

BAPTISTE K.E. (1998)
"A preliminary study on the role of the equine guttural pouches in selective brain cooling." Vet J, **155** : 139-148

BAPTISTE K.E. (2004)
"The mystery of guttural pouch mycosis : the paradox of advancing knowledge of a rare disease." Vet J, **168** : 1-2

BAPTISTE K.E., HOLLADAY S.D., FREEMAN L.E. (1996)
"Alterations in equine guttural pouch morphology with head position : observations using a new technique for producing accurate casts." Anat Rec, **246** : 579-584

BAPTISTE K.E., NAYLOR J.M., BAILEY J., BARBERS E.M., POST K., THORNILL J. (2000)
"A function for guttural pouches in the horse." Nature, **403** : 382-383

BARAKZAI S. (2007)
Hanbook of Equine Respiratory Endoscopy. Saunders, 135 p.

BARONE R. (1997)
Anatomie comparée des mammifères domestiques – Tome III : Splanchnologie I, Appareil digestif, Appareil respiratoire. Paris, Vigot, 855 p.

BARREY E., GALLOUX P., VALETTE J.P., AUVINET B., WOLTER R. (1993)
"Determination of the optimal treadmill slope for reproducing the same cardiac response in saddle horses as overground exercise conditions." Vet Rec, **133** : 183-185

BAYLY W.M., REDMAN M.J., SIDES R.H. (1999)
"Effect of breathing frequency and airflow on pulmonary function in high-intensity equine exercise." Equine Vet J Suppl, **30** : 19-23

BEECH J. (1991)
Equine Respiratory Disorders. Eds. Lea & Febiger, Philadelphia, 458 p.

BELL C. (2007)
"Pharyngeal neuromuscular dysfunction associated with bilateral guttural pouch tympany in a foal." Can Vet J, **48** : 192-194

BIRKS E.K., DURANDO M.M., MARTIN JR B.B. (2004)
"Clinical exercise testing : evaluation of the poor performing athlete." In : Equine Sports Medicine and Surgery. Hinchcliff K.W., Kaneps A.J., Geor R.J. Ed. Saunders, Philadelphia : 9-18

BLAZYCZEK I., HAMANN H., OHNESORGE B., DEEGEN E., DISTL O. (2004a)
"Retrospective analysis of 50 cases of guttural pouch tympany in foals." Vet Rec, **154** (9) : 261-264

BLAZYCZEK I., HAMANN H., OHNESORGE B., DEEGEN E., DISTL O. (2004b)
"Inheritance of guttural pouch tympany in the Arabian horse." J Heredity, **95** (3) : 195-199

BLOMME E., DEL PIERO F., LA PERLE K.M.D., WILKINS P.A. (1998)
"Aspergillosis in horses : a review." Eq Vet Educ, **10** (2) : 86-93

BURGER F.J., FUHRMAN F.A. (1964)
"Evidence of injury by heat in mammalian tissues." Am J Phys, **206** : 1057-1061

BURNS J. (2004)
"Endoscopic instrumentation." In : Atlas of Equine Endoscopy, Slovis N.M. Eds. Mosby, Saint Louis : 3-27

BUTLER J.A., COLLES C.M., DYSON S.J., KOLD S.E., POULOS P.W. (2008)
"The head." In : Clinical Radiology of the Horse – Third Edition. Eds. Wiley-Blackwell, Oxford ; 748 p.

BYARS D. (2004)
"Pharyngoscopy and laryngoscopy". In : Atlas of Equine Endoscopy. Slovis N.M. ; Mosby, Saint Louis : 55-81

CADORE J.L. (1992)
"Endoscopie de l'appareil respiratoire chez le cheval." Rec Med Vet, **168** (3-4) : 243-248

CEVOZ-GOYAT E. (1995)
"La pharyngite folliculaire du cheval, mise au point des connaissances et essai clinique : traitement par immunostimulation." Lyon, Thèse de Doctorat Vétérinaire, 84 p.

COOK W.R. (1970a)
"Procedure and technique for endoscopy of the equine upper respiratory tract and Eustachian tube diverticulum." Equine Vet J, **2** (4) : 137-150

COOK W.R. (1970b)
"Instrument specifications for endoscopy of the equine upper respiratory tract and Eustachian tube diverticulum." Vet Rec, **87** (15) : 429-437

COOK W.R (1974)
"Some observations on diseases of the ear, nose and throat in the horse, and endoscopy using a flexible fibreoptic endoscope." Vet Rec, **94** : 533 – 541

COOK W.R (1987)
"Diseases of the auditive tube (guttural pouch)". In : Current Therapy in Equine Medicine, 2nd Edition. Robinson NE Eds. Saunders, Sydney : 612-618

COOK W.R, CAMPBELL R.S.F., DAWSON C. (1980)
"The pathology and the aetiology of guttural pouch mycosis in the horse." Vet Rec, **83** : 422-428

DART A.J., DOWLING B.A., HODGSON D.R., ROSE R.J. (2001)
"Evaluation of high-speed treadmill videoendoscopy for diagnosis of upper respiratory tract dysfunction in horses." Aust Vet J, **79** : 109-112

DAVIDSON E.J., MARTIN B.B., BOSTON R.C, PARENTE E.J. (2011)
"Exercising upper respiratory videoendoscopic evaluation of nonracing performance horses with abnormal respiratory noise and/or poor performance." Equine Vet J, **43** (1) : 3-8

DELUZURIEUX M. (2008)
"Essai de compréhension de l'ouverture des poches gutturales chez le cheval." Lyon, Séminaire d'internat (*consultable sur demande*)

DELVAUX V., KIRSCHVINK N., AMORY H., BUSONI V., ART T., LEKEUX P. (2001)
"Spécificités de la fonction cardiorespiratoire de l'âne (*Equus asinus*)." Prat Vet Equine, **33** : 21-28

DENOIX J.M. (1982)
"Réflexion anatomique sur les diverses techniques de paracentèse de la poche gutturale." Dans : Les Entretiens de Bourgelat, Tome II. Editions du Point Vétérinaire, Maison-Alfort : 347-366

DESMAIZIÈRES L.M., SERRAUD N., PLAINFOSSE B., MICHEL A., TAMZALI Y. (2009)
"Dynamic respiratory endoscopy without treadmill in 68 performance Standardbred, Thoroughbred and saddle horses under natural training conditions." Equine Vet J, **41** (4) : 347-352

DOWNS B.W., BUTEHORN III H.F., PRAZMA J., ROSE A.S., STAMAT J.C., PILLSBURY III H.C. (2001)
"Action of histamine on eustachian tube function." Otolaryngol Head Neck Surg, **124** (4) : 414-420

DUCHARME N.G. (2012)
"Pharynx." In : Equine Surgery, 4th Edition. Stick JA, Auer JA. Eds. Saunders Elsevier, Saint Louis : 569-591

DUCHARME N.G., HOLCOMBE S.J. (2001)
"The function of the extrinsic and intrinsic musculature in stabilizing the upper airways." Proceedings of Second World Equine Airways Symposium, Scotland.

DUPUIS M.C. (2006)
"Module d'enseignement interactif sur la réalisation de l'examen endoscopique des voies respiratoires supérieures du cheval." Lyon, Thèse de Doctorat Vétérinaire, 106 p.

ELKHAWAD A.O. (1992)
"Selective brain cooling in desert animals: The camel (*Camelus dromedarius*)." Comp Biochem Physiol Part A: Physiol, **101** (2) : 195-201

ENDO H., MANGLAI, FUJISAWA M., KUROHMARU M., HAYASHI Y. (1998)
"The guttural pouch is not present in the white rhinoceros (*Ceratotherium simum*); morphology of the Eustachian tube and nasopharynx." Anat Histol Embryol, **27** (5) : 327-330

EVANS D. (2004)
"Exercise testing in the field." In : Equine Sports Medicine and Surgery. Hinchcliff K.W., Kaneps A.J., Geor R.J. Ed. Saunders, Philadelphia : 19-31

FORES P., LOPEZ J., RODRIGUEZ A., HARRAN R. (2001)
"Endoscopy of the upper airways and the proximal digestive tract in the donkey (*Equus asinus*)." J Equine Vet Sci, **21** (1) : 17-20

FRANKLIN S.H., BURN J.F., ALLEN K.J. (2008)
"Clinical trials using a telemetric endoscope for use during over-ground exercise : a preliminary study." Equine Vet J, **40** (7) : 712-715

FREEMAN D.E. (2006)
"Guttural pouch tympany – a rare and difficult disease." Equine Vet Educ **18** (5) : 234-237

FREEMAN D.E., HARDY J. (2006)
"Guttural pouch." In : Equine Surgery, 3rd Edition. Stick JA, Auer JA. Eds. Saunders Elsevier, Saint Louis : 591-607

FRIPPIAT T., ART. T., VAN ERCK-WESTERGREN E. (2010)
"Comparaison de l'endoscopie d'effort sur le terrain et sur tapis roulant chez le cheval de selle." Prat Vét Equine, **42** (166) : 23-29

FULLER A., MALONEY S.K., KAMERMAN P.R., MITCHELL G., MITCHELL D. (2000)
"Absence of selective brain cooling in free-ranging zebras in their natural habitat." Exp Physiol, **85** : 209-217

GAILLARD-LAVIROTTE C., CADORE J.L. (2004)
"Examen endoscopique des voies respiratoires supérieures chez le cheval." Nouv Prat Vét Equine, **1** : 33-34

GALMICHE J.P., MIGNON M. (1983)
"La déglutition." Dans : Physiologie humaine, 2e Edition. Meyer P. Eds. Flammarion Médecine-Sciences : 183-189

GHADIALI S.N., BANKS J., SWARTS J.D. (2004)
"Finite element analysis of active Eustachian tube function." J Appl Physiol, **97** : 648-654

HABEL R.E., KING J.M. (1975)
"Clinical anatomy of the guttural pouch." Proceedings 20th World Veterinary Congress 1.

HAMMER E.J., TULLENERS E.P., PARENTE E.J., MARTIN B.B. (1998)
"Videoendoscopic assessment of dynamic laryngeal function during exercise in horses with grade-III left laryngeal hemiparesis at rest : 26 cases (1992-1995)." J Am Vet Med Assoc, **212** : 399-403

HEFFRON C.J., BAKER G.J (1979)
"Endoscopic observations on the deglutition reflex in the horse." Equine Vet J, **11** (3) : 137-141

HEFFRON C.J., BAKER G.J, LEE R. (1979)
"Fluoroscopic investigation of pharyngeal function in the horse." Equine Vet J, **11** (3) : 148-152

HERVE J. (2011)
"Comprendre la séquence ingestion déglutition chez le cheval et ses conséquences." Nouv Prat Vét Equine, **6** (24) : 6-10

HINCHCLIFF K.W., KANEPS A.J., GEOR R.J. (2004)
Equine Sports Medicine and Surgery. Eds. Saunders, Philadelphia, 1364p.

HOLCOMBE S.J., SCHOTT H.C. (1997)
"Guttural pouch". In : Equine Endoscopy, Second Edition. Traub-Dargatz J.L. and Brown C.M. Ed. Mosby, Saint Louis : 61-73

HODGSON D.R. (1998)
"What is the function of the guttural pouches : selective brain cooling? Augmentation of swallowing? Still to be defined?" Vet J, **155** : 115-117

KNOTTENBELT D.C., PASCOE R.R. (2003)
"Conditions of the respiratory tract." In : Color atlas of diseases and disorders of the horse, Eds. Mosby : 91-157

LANE J.G. (1989)
"The management of guttural pouch mycosis." Equine Vet J, **21** (5) : 321-324

LANE J.G. (1997)
"Larynx". In : Equine Endoscopy, Second Edition. Traub-Dargatz J.L. and Brown C.M. Ed. Mosby, Saint Louis : 74-96

LANE J.G., BLADON B., LITTLE D.M.R., NAYLOR J.R.J., FRANKLIN S.H. (2006a)
"Dynamic obstructions of the equine upper respiratory tract. Part 1 : Observation during high-speed treadmill endoscopy of 600 Thoroughbred racehorses." Equine Vet J, **38** (5) : 393-399

LANE J.G., BLADON B., LITTLE D.M.R., NAYLOR J.R.J., FRANKLIN S.H. (2006b)
"Dynamic obstructions of the equine upper respiratory tract. Part 2 : Comparison of endoscopic findings at rest and during high-speed treadmill exercise of 600 Thoroughbred racehorses." Equine Vet J, **38** (5) : 401-408

LAUS F., PAGGI E., CERQUETELLA M., SPAZIANTE D., SPATERNA A., TESEI B. (2010)
"Guttural pouch mycosis in a donkey (*Equus asinus*) ; a case report." Vet Med, **55** (11) : 561-565

LEPAGE O. M. (1994)
"Hémorragie dans les poches gutturales. 1. Anatomie, diagnostic et étiologie." Prat Vét Equine, **26** (4) : 255-261

LEPAGE O.M. (2008)
"Disorders of the guttural pouches." In : Equine Respiratory Diseases. Eds. Lekeux P. ; New York, 350 p.

LEPAGE O.M., PERRON M.F., CADORE J.L. (2004)
"The mystery of fungal infection in the guttural pouches." Vet J, **168** : 60-64

LINDEGAARD C., HUSTED L., H. ULLUM, FJELDBORG J. (2007)
"Sedation with détomidine and acepromazine influences the endoscopic evaluation of laryngeal function in horses." Equine Vet J, **39** (6) : 553-556

LINDSAY F., CLAYTON H. (1986)
"An anatomical and endoscopic study of the nasopharynx and larynx of the donkey (*Equus asinus*)." J Anat, **144** : 123-132

MACKINNON L.T., JENKINS D.G. (1993)
"Decreased salivary immunoglobulins after intense interval exercise before and after training." Med Sci Sports Exerc, **25** (6) : 678-683

MAKIBARA R.R., FUKUNAGA J.Y., GIL D. (2010)
"Eustchian tube function in adults with intact tympanic membrane". Braz J Otorhinolaryngol, **76** (3) : 340-346

MAMO H. (1983)
"Le système nerveux central." Dans : Physiologie humaine, 2e Edition. Meyer P. Eds. Flammarion Médecine-Sciences : 885-1024

MARTIN B.B., DAVIDSON E.J., DURANDO M.M., BIRKS E.K. (2004)
"Clinical exercise testing : overview of causes of poor performance." In : Equine Sports Medicine and Surgery. Hinchcliff K.W., Kaneps A.J., Geor R.J. Ed. Saunders, Philadelphia : 32-41

MASON T.A. (1972)
"Tympany of the Eustachian tube diverticulum (guttural pouch) in a foal." Equine Vet J, **4** (3) : 153-154

MC CONAGHY F.F., HALES J.R.S, ROSE R.J., HODGSON D.R. (1995)
"Selective brain cooling in the horse during exercise and heat stress." J Appl Physiol, **79** : 1849-1854

MC CONAGHY F.F., HODGSON D.R., ROSE R.J., HALES J.R.S (1996)
"Redistribution of cardiac output in response to heat exposure in the pony." Equine Vet J Suppl, **22** : 42-46

MC CUE P.M., FREEMAN D.E., DONAWICK W.J. (1989)
"Guttural pouch tympany : 15 cases (1977-1986)." J Am Vet Med Assoc, **194** : 1761-1763

MILLAR H. (2006)
"Guttural pouch mycosis in a 6-month-old filly." Can Vet J, **47** : 259-261

MITCHELL G., FULLER A., MALONEY S.K., RUMP N., MITCHELL D. (2006)
"Guttural pouches, brain temperature and exercise in horses." Biol Lett, **2** : 475-477

MORRIS E.A., SEEHERMAN H.J. (1990)
"Evaluation of upper respiratory tract function during strenuous exercise in racehorses." J Am Vet Med Assoc, **197** : 431-438

MULIC A., TVEIT A.B., SONGE D., SIVERTSEN H., SKAARE A.B. (2012)
"Dental erosive wear and salivary flow rate in physically active young adults." BMC Oral Health, **12** : 1-8 (http://www.biomedcentral.com/1472-6831/12/8)

NOLEN-WALSTON R.D., PARENTE E.J., MADIGAN J.E., DAVID F., KNAFO S.E., ENGILES J.B. (2009)
"Branchial remnant cysts of mature and juvenile horses." Equine Vet J, **41** (9) : 918-923

OPTOMED (page consultée le 10 janvier 2012)
"Plaquette DRS." Adresse URL : http://www.optomed.fr/article.php?rubrique=27

OTO C., HAZIROGLU R.M. (2011)
"Magnetic resonance imaging of the guttural pouch (*diverticulum tubae auditivae*) and its related structures in donkey (*Equus asinus*)." Ankara Univ Vet Fak Derg, **58** : 1-4

PARENTE E.J. (1997)
"Treadmill endoscopy." In : Equine Endoscopy, Second Edition. Traub-Dargatz J.L. and Brown C.M. Mosby, Saint Louis : 107-116

PARENTE E.J. (1998)
"Value of high-speed treadmill endoscopy." 44th Annu Conv Am Assoc Equine Practnrs, San Francisco : 30-34

PIAT P. (2008)
"Proposition d'une méthode standardisée de reconnaissance des éléments anatomiques visibles lors de l'examen endoscopique des poches gutturales chez le cheval. Implications dans la prise en charge de leurs affections." Lyon, Thèse de Doctorat Vétérinaire, 134 p.

POLLOCK P.J. (2007)
"Diagnosis and management of guttural pouch mycosis." Equine Vet Educ, **19** (10) : 522-527

POLLOCK P.J., REARDON R.J.M., PARKIN T.D.H., JOHNSTON M.S., LOVE S. (2009)
"Dynamic respiratory endoscopy in 67 Thoroughbred racehorses training under normal ridden exercise conditions." Equine Vet J, **41** (4) : 354-60

RAKESTRAW P.C., HACKETT R.P., DUCHARME N.G. NIELAN G.J., ERB H.N. (1991)
"Arytenoid cartilage movement in resting and exercising horses." Vet Surg, **20** (2) : 122-127

ROBERTSON J.T. (1991)
"Pharynx and larynx." In : Equine Respiratory Disorders, Beech J. Eds. Lea & Febiger, Philadelphia : 331-387

RODGERSON D. (2004)
"Treadmill pharyngoscopy and laryngoscopy." In : Atlas of Equine Endoscopy. Slovis N.M. Eds. Mosby, Saint Louis : 225-238

ROONEY J.R. (1997)
"Why guttural pouches ?". The Equine Disease, **6** (1)

SASAKI M., HAYASHI Y., KOIE H., YAMAYA Y., KIMURA J., MANGLAI D., KAWASHIMA S., ENDO H., YAMAMOTO M. (1999)
"CT examination of the guttural pouch (auditory tube diverticulum) in Przewalski's horse (*Equus przewalskii*)." J Vet Med Sci, **61** (9) : 1019-1022

SAUTET J.Y., RUBERTE J., SERVANTIE J. (1989)
"Bases anatomiques de l'endoscopie des voies aériennes du cheval." Point Vét, **21** (121) : 185-197

SEAHORN T. (2004)
"Endoscopic examination of the guttural pouches." In : Atlas of Equine Endoscopy. Slovis N.M. ; Mosby, Saint Louis : 83-96

SCHAMBOURG M.A., MARCOUX M., CELESTE C. (2006)
"Salpingoscopy for the treatment of reccurent guttural pouch tympany in a filly." Equine Vet Educ, **18** (5) : 231-234

SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN M.M., BARNEVELD A. (1995)
"Comparison of the workload of Dutch warmblood horses ridden normally and on a treadmill." Vet Rec, **137** : 136-139

SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN M.M., CLAYTON H.M. (1999)
"Advantages and disadvantages of track vs. treadmill tests." Equine Vet J Suppl, **30** : 645-647

SLOVIS N.M. (2004)
Atlas of Equine Endoscopy. Mosby, Saint Louis : 254 p.

SPARKS H.D., STICK J.A., BRAKENHOFF J.E., CRAMP P.A., SPIRITO M.A. (2009)
"Partial resection of the plica salpingopharyngeus for the treatment of three foals with bilateral tympany of the auditory tube diverticulum (guttural pouch)." J Am Vet Med Assoc, **235** (6) : 731-733

STRAND E., STAEMPFLI H.R. (1993)
"Dynamic collapse of the roof of the nasopharynx as a cause of poor performance in a Standardbred colt." Equine Vet J, **25** (3) : 252-254

TAGAND R., BARONE R. (1997)
Anatomie des équidés domestiques – Tome II : Fascicule I, Appareil digestif. ENVL, 456 p.

TAMZALI Y., SERRAUD N., BAUP B., DESMAIZIERES L.M. (2008)
"How to perform endoscopy during exercise without a treadmill." *Proc Am Ass equine Practnrs*, **54** : 24-28

TAN R.H., DOWLING B.A., DART A.J. (2005)
"High-speed treadmill videoendoscopic examination of the upper respiratory tract in the horse : The results of 291 clinical cases." Vet J, **170** (2) : 243-248

TANAKA N., NOHARA K., OKUNO K., KOTANI Y., OKAZAKI H., MATSUMURA M., SAKAI T. (2012)
"Development of a swallowing frequency meter using a laryngeal microphone." J Oral Rehab, **39** : 411-420

TATE L.P., BLIKSLAGER A.T., LITTLE E.D. (1995)
"Transendoscopic laser treatment of guttural pouch tympanities in eight foals." Vet Surg, **24** : 367-372

TRAUB-DARGATZ J.L., BROWN C.M. (1997)
Equine Endoscopy, Second Edition. Mosby, Saint Louis. 252 p.

VANDEWEERD J.M. (2012)
"Détecter les biais dans une publication scientifique." Prat Vet Equine, **44** (174) : 55-59

VAN ERCK E. (2011)
"Dynamic respiratory videoendoscopy in ridden sport horses : effect of head flexion, riding and airway inflammation in 129 cases." Equine Vet J Suppl, **40** : 18-24

ZEITZ A., SPOTTER A., BLAZYCZEK I., DIESTERBECK U., OHNESORGE B., DEEGEN E., DISTL O. (2009)
"Whole-genome scan for guttural pouch tympany in Arabian and German warmblood horses." Animal Genetics, **40** (6) : 917-924

BOUVET Charlotte

ETUDE DES MODALITES D'OUVERTURE DES ORIFICES PHARYNGIENS DES POCHES GUTTURALES DU CHEVAL AU REPOS, AU PAS ET AU TROT PAR UTILISATION DE L'ENDOSCOPIE EMBARQUEE

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, le jeudi 4 octobre 2012

RESUME :

Les poches gutturales sont des diverticules de la trompe auditive particulièrement développés chez le cheval, qui font le lien entre le nasopharynx et l'oreille moyenne. Alors qu'elles ont été décrites pour la première fois il y a plusieurs siècles, leur fonction reste toujours un mystère, et ce, malgré un nombre important de recherches mises en œuvre. Et malgré le rôle des orifices pharyngiens supposé déterminant dans la fonction des poches gutturales et dans l'étio-pathogénie des affections qui les touchent, aucune étude de leur physiologie n'a jamais été réalisée.

En utilisant la méthode très innovante d'observation des voies respiratoires supérieures du cheval à l'effort qu'est l'endoscopie embarquée, ce travail présente une étude clinique consacrée à l'observation des modalités d'ouverture des orifices pharyngiens au repos, au pas et au trot. Cette étude a été réalisée sur sept chevaux avec deux séries d'endoscopies à deux mois d'intervalle.

Les observations faites dans ce travail confirment celles faites dans les différentes études précédentes, à savoir que les ouvertures des orifices pharyngiens sont systématiquement associées à la déglutition. Et bien qu'aucune différence significative n'ait été mise en évidence, on observe une tendance à l'augmentation du nombre d'ouvertures des orifices pharyngiens des poches gutturales entre le repos, le pas puis le trot.

MOTS CLES :

- poches gutturales
- cheval
- endoscopie
- effort
- physiologie

JURY :

Président :	Monsieur le Professeur Claude Gharib
1er Assesseur :	Monsieur le Professeur Jean-Luc Cadoré
2ème Assesseur :	Madame le Professeur Jeanne-Marie Bonnet-Garin

DATE DE SOUTENANCE : Jeudi 4 octobre 2012

ADRESSE DE L'AUTEUR :

17 ALLEE DES TILLEULS
38 450 VIF