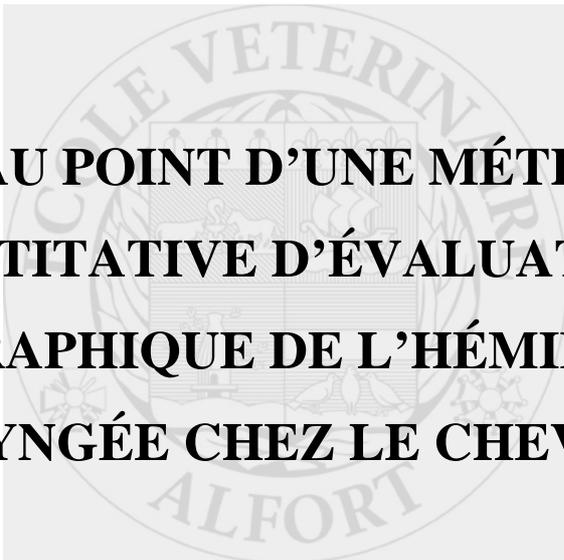


Année 2014



**MISE AU POINT D'UNE MÉTHODE
QUANTITATIVE D'ÉVALUATION
ÉCHOGRAPHIQUE DE L'HÉMIPLÉGIE
LARYNGÉE CHEZ LE CHEVAL**

THÈSE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE CRÉTEIL

Le 18 décembre 2014

par

Lucile, Olympe, Eileen VAVASSEUR

Née le 31 mars 1990 à Argentan (Orne)

JURY

Président : Pr.

Professeur à la Faculté de Médecine de CRÉTEIL

Membres

Directeur : Dr Céline MESPOULHES-RIVIERE

Praticien hospitalier à la clinique équine de l'ENVA

Assesseur : Dr Céline ROBERT

Maître de conférences en anatomie des animaux domestiques à l'ENVA

Invité : Dr Antoine LECHARTIER

Praticien hospitalier à la clinique équine de Méheudin

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur GOGNY Marc

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs : COTARD Jean-Pierre, MIALOT Jean-Paul, MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles, TOMA Bernard.
Professeurs honoraires : Mme et MM. : BENET Jean-Jacques, BRUGERE Henri, BRUGERE-PICOUX Jeanne, BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, CHERMETTE René, CLERC Bernard, CRESPEAU François, DEPUTTE Bertrand, MOUTHON Gilbert, MILHAUD Guy, POUCHELON Jean-Louis, ROZIER Jacques.

DEPARTEMENT D'ELEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES EQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

Chef du département par intérim : M. GRANDJEAN Dominique, Professeur - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Professeur

<p>UNITE DE CARDIOLOGIE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme CHETBOUL Valérie, Professeur * - Mme GKOUNI Vassiliki, Praticien hospitalier - Mme SECHI-TREHIOU Emilie, Praticien hospitalier <p>UNITE DE CLINIQUE EQUINE</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. AUDIGIE Fabrice, Professeur - Mme BERTONI Lélia, Maître de conférences contractuel - Mme BOURZAC Céline, Maître de conférences contractuel - M. DENOIX Jean-Marie, Professeur - Mme GIRAUDET Aude, Praticien hospitalier * - Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Praticien hospitalier - Mme TRACHSEL Dagmar, Maître de conférences contractuel <p>UNITE D'IMAGERIE MEDICALE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme PEY Pascaline, Maître de conférences contractuel - Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier <p>UNITE DE MEDECINE</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. AGUILAR Pablo, Praticien hospitalier - Mme BENCHEKROUN Ghita, Maître de conférences - M. BLOT Stéphane, Professeur* - M. CAMPOS Miguel, Maître de conférences associé - Mme FREICHE-LEGROS Valérie, Praticien hospitalier - Mme MAUREY-GUENEC Christelle, Maître de conférences <p>UNITE DE MEDECINE DE L'ELEVAGE ET DU SPORT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme CLERO Delphine, Maître de conférences contractuel - M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences - M. GRANDJEAN Dominique, Professeur * - Mme MAENHOUDT Cindy, Praticien hospitalier - M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences - Mme YAGUIYAN-COLLIARD Laurence, Maître de conférences contractuel 	<p>DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. PARAGON Bernard, Professeur <p>DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences <p>UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. BLAGA Radu Gheorghe, Maître de conférences (rattaché au DPASP) - Mme COCHET-FAIVRE Noëlle, Praticien hospitalier - M. GUILLOT Jacques, Professeur * - Mme MARIIGNAC Geneviève, Maître de conférences - M. POLACK Bruno, Maître de conférences - Mme RISCO CASTILLO Verónica, Maître de conférences (rattachée au DSBP) <p>UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. FAYOLLE Pascal, Professeur - M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences - M. MANASSERO Mathieu, Maître de conférences - M. MOISSONNIER Pierre, Professeur* - Mme RAVARY-PLUMIOEN Bérange, Maître de conférences (rattachée au DPASP) - Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Professeur - M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences <p>DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme STEBLAJ Barbara, Praticien Hospitalier <p>DISCIPLINE : NOUVEAUX ANIMAUX DE COMPAGNIE</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. PIGNON Charly, Praticien hospitalier
--	---

DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES ET DE LA SANTE PUBLIQUE (DPASP)

Chef du département : M. MILLEMANN Yves, Professeur - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Professeur

<p>UNITE D'HYGIENE QUALITE ET SECURITE DES ALIMENTS</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Professeur - M. BOLNOT François, Maître de conférences * - M. CARLIER Vincent, Professeur <p>UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme DUFOUR Barbara, Professeur* - Mme HADDAD/HOANG-XUAN Nadia, Professeur - Mme PRAUD Anne, Maître de conférences - Mme RIVIERE Julie, Maître de conférences contractuel <p>UNITE DE PATHOLOGIE DES ANIMAUX DE PRODUCTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. ADJOU Karim, Maître de conférences * - M. BELBIS Guillaume, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel - M. MILLEMANN Yves, Professeur - Mme ROUANNE Sophie, Praticien hospitalier 	<p>UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences* - M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - Mme MASSE-MOREL Gaëlle, Maître de conférences contractuel - M. MAUFFRE Vincent, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel - Mme EL BAY Sarah, Praticien hospitalier <p>UNITE DE ZOOTECNIE, ECONOMIE RURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. ARNE Pascal, Maître de conférences - M. BOSSE Philippe, Professeur* - M. COURREAU Jean-François, Professeur - Mme DE PAULA-REIS Aline, Maître de conférences contractuel - Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur - Mme LEROY-BARASSIN Isabelle, Maître de conférences - M. PONTER Andrew, Professeur - Mme WOLGUST Valérie, Praticien hospitalier
--	--

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

Chef du département : Mme COMBRISSON Hélène, Professeur - Adjoint : Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences

<p>UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES - M. CHATEAU Henry, Maître de conférences* - Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur - M. DEGUEURCE Christophe, Professeur - Mme ROBERT Céline, Maître de conférences</p> <p>DISCIPLINE : ANGLAIS - Mme CONAN Muriel, Professeur certifié</p> <p>UNITE DE BIOCHIMIE - M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences* - Mme LAGRANGE Isabelle, Praticien hospitalier - M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences</p> <p>DISCIPLINE : BIostatISTIQUES - M. DESQUILBET Loïc, Maître de conférences</p> <p>DISCIPLINE : EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE - M. PHILIPS Pascal, Professeur certifié</p> <p>DISCIPLINE : ETHOLOGIE - Mme GILBERT Caroline, Maître de conférences</p> <p>UNITE DE GENETIQUE MEDICALE ET MOLECULAIRE - Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences - M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur*</p>	<p>UNITE D'HISTOLOGIE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE - Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences* - M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur - Mme LALOY Eve, Maître de conférences contractuel - M. REYES GOMEZ Edouard, Maître de conférences</p> <p>UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE - M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur - Mme LE ROUX Delphine, Maître de conférences - Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur*</p> <p>UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE - Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur - M. PERROT Sébastien, Maître de conférences - M. TISSIER Renaud, Professeur*</p> <p>UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE - Mme COMBRISSON Hélène, Professeur - Mme PILOT-STORCK Fanny, Maître de conférences - M. TIRET Laurent, Professeur *</p> <p>DISCIPLINE : VIROLOGIE - Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences *</p> <p>DISCIPLINE : SCIENCES DE GESTION ET DE MANAGEMENT - Mme FOURNEL Christelle, Maître de conférences contractuel</p>
---	---

REMERCIEMENTS

Au Professeur, de la Faculté de Médecine de Créteil,
pour avoir accepté de présider ce travail.
Respectueux hommage.

À Mme MESPOULHÈS-RIVIÈRE, Praticien hospitalier à la clinique équine de l'ENVA,
pour m'avoir offert de participer à ce travail de recherche sur le larynx à travers ce sujet de
thèse, pour votre disponibilité et vos encouragements, et pour votre énergie si
communicative.
Très sincères remerciements.

À Mme ROBERT, Maître de conférences en anatomie des animaux domestiques à l'ENVA,
pour votre aide et votre disponibilité.
Sincères remerciements.

À M. LECHARTIER, Praticien hospitalier à la clinique équine de Méheudin,
pour m'avoir encadrée et soutenue tout au long de ce travail, pour votre disponibilité et votre
bienveillance.
Sincères remerciements.

À M. DESQUILBET, Maître de conférences en biostatistiques à l'ENVA,
pour votre aide précieuse lors de l'analyse des résultats de cette étude.
Sincères remerciements.

À M. POURCELOT, Ingénieur de l'unité de recherche de en biomécanique et pathologie
locomotrice du cheval de l'INRA,
pour m'avoir permis d'utiliser le programme EchoQuant et pour l'avoir adapté aux exigences
de ce travail sur le larynx.
Sincères remerciements.

À Mme CAPEL, et à Mme GIRARD, ancienne ASV et ancienne interne à la clinique équine
de l'ENVA,
pour m'avoir aidée à prendre soin au quotidien des chevaux hébergés à la clinique équine de
l'ENVA dans le cadre de ce travail de thèse, et pour leur avoir trouvé un foyer à la fin de
l'étude.
Sincères remerciements

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	7
LISTE DES TABLEAUX.....	9
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	10
INTRODUCTION	11

PREMIÈRE PARTIE

LE LARYNX DU CHEVAL ET SON EXPLORATION : Revue bibliographique.....	13
---	----

CHAPITRE I : RAPPELS D'ANATOMIE	15
---------------------------------------	----

I. Cartilages et articulations	15
1. Le cartilage épiglottique	16
2. Les cartilages aryténoïdes.....	17
3. Le cartilage thyroïde	17
4. Le cartilage cricoïde	18
5. Union des cartilages du larynx entre eux.....	19
a) Articulation crico-thyroïdienne.....	19
b) Articulation crico-aryténoïdienne	20
c) Union inter-aryténoïdienne	20
d) Union aryténoïdes-thyroïde.....	20
e) Union aryténoïdes-épiglotte.....	20
f) Union épiglotte-thyroïde	20
6. Union des cartilages du larynx aux structures adjacentes	20
a) Union à l'os hyoïde	20
b) Union à la trachée	20
7. Structure cartilagineuse du larynx	20
II. Muscles.....	21
1. Musculature extrinsèque.....	21
a) Muscle sterno-thyroïdien	21
b) Muscle thyro-hyoïdien	22
c) Muscle hyo-épiglottique	22

2. Musculature intrinsèque	22
a) Muscles dilatateurs de la glotte	22
b) Muscles constricteurs de la glotte	24
c) Muscle mixte	26
III. Innervation	27
1. Nerf laryngé crânial	27
2. Nerf laryngé caudal	27
IV. Conformation intérieure	27
1. Vestibule du larynx	28
2. Glotte	28
3. Cavité infraglottique	29
CHAPITRE II : PHYSIOPATHOLOGIE LARYNGÉE	30
I. Rappels de physiologie laryngée	30
1. Les grandes fonctions du larynx	30
a) Régulation du passage de l'air dans les voies respiratoires	30
b) Protection des voies respiratoires contre les corps étrangers	31
c) Phonation	33
2. Contraintes et adaptations du larynx au passage de l'air	33
a) Résistance au passage de l'air	33
b) Tendance au collapsus des tissus mous	33
II. Pathologie laryngée associée à une perturbation du flux d'air par défaut d'abduction des aryténoïdes	34
1. Défaut de mobilité des aryténoïdes d'origine cartilagineuse : malformation, inflammation et infection des cartilages	34
a) Anomalie cartilagineuse d'origine congénitale : la dysplasie laryngée	34
b) Infection et inflammation des cartilages : la chondrite des aryténoïdes	35
2. Défaut de mobilité des aryténoïdes d'origine musculaire : la paralysie périodique hyperkaliémique du Quarter Horse	36

3. Défaut de mobilité des aryténoïdes d'origine neurologique : l'hémiplégie laryngée récurrente	36
CHAPITRE III : TECHNIQUES D'EXPLORATION DU LARYNX.....	38
I. Examen clinique du larynx	38
II. Endoscopie des voies respiratoires supérieures.....	39
1. Au repos.....	39
a) Technique.....	39
b) Images normales	39
c) Images anormales.....	40
d) Evaluation du statut endoscopique du larynx au repos.....	40
e) Limites de l'examen.....	41
2. A l'effort	42
a) Technique.....	42
b) Évaluation du statut endoscopique du larynx à l'effort	43
c) Limites de l'examen.....	44
III. Radiographie de la région laryngée	44
1. Technique	44
2. Lecture des images	44
IV. Scanner de la tête	45
V. IRM de la tête.....	45
VI. Echographie de la région laryngée.....	45
1. Technique	45
2. Lecture des images	47
3. Limites de l'examen	49
VII. Bilan sur les techniques de diagnostic de l'hémiplégie laryngée chez le cheval	50

DEUXIÈME PARTIE

MISE AU POINT D'UNE MÉTHODE QUANTITATIVE D'ÉVALUATION ÉCHOGRAPHIQUE DE L'HÉMIPLÉGIE LARYNGÉE CHEZ LE CHEVAL : Étude

expérimentale	53
CHAPITRE I: ÉTUDE PRÉLIMINAIRE : DÉFINITION DU PROTOCOLE D'ACQUISITION DES IMAGES	56
I. Matériels et méthodes	56
1. Réalisation de coupes anatomiques correspondant aux vues échographiques de référence sur larynx isolé..	56
2. Définition d'une méthode optimale d'examen sur quatre chevaux	57
a) Animaux.....	57
b) Contention.....	57
c) Préparation	57
d) Echographe et sondes.....	58
e) Opérateurs	58
f) Acquisition des images	58
II. Résultats	59
1. Identification des structures visibles à l'échographie.....	59
2. Choix de la sonde et paramétrage de l'échographe	62
a) Choix de la sonde.....	62
b) Paramétrage de l'échographe	63
3. Préparation de la peau.....	63
4. Tranquillisation et positionnement de la tête.....	63
5. Acquisition des images et vidéos.....	64
III. Discussion	64
1. Bilan : choix du protocole d'examen.....	64
2. Limites de ce protocole.....	64
Chapitre II : Mise au point d'une méthode quantitative d'évaluation de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral chez le cheval.....	66
I. Matériels et méthode	66

1. Cahier des charges	66
2. Chevaux	67
3. Matériels	68
4. Méthode	68
a) Opérateurs	68
b) Acquisition des images	69
c) Traitement des images	70
II. Résultats.....	76
1. Analyse semi-quantitative	76
2. Analyse quantitative	76
III. Discussion.....	78
1. Intérêt de l'emploi d'un ratio d'échogénicité	78
2. Pertinence de l'utilisation du muscle vocal comme référence.....	79
3. Supériorité des paramètres moyens sur trois images identiques par rapport à ceux obtenus sur une seule image	80
4. Supériorité de l'analyse mettant en jeu deux régions d'intérêt par rapport à cinq régions d'intérêt.....	80
5. Nécessité d'évaluer la concordance inter-lecteur	81
6. Absence d'évaluation de l'architecture du muscle crico-aryténoïdien latéral.....	81
7. Limites pratiques de l'analyse quantitative	82
a) Rigueur dans la standardisation du protocole d'acquisition des images.....	82
b) Nécessité de traitement informatique.....	82
Chapitre III : Confrontation des résultats obtenus avec ceux du Gold Standard et définition de seuils.....	83
I. Matériels et méthode	83
1. Chevaux	83
2. Matériels	83

a) Examen de référence : évaluation endoscopique des mouvements du cartilage aryénoïde gauche.....	83
b) Examen testé : quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryénoïdien latéral gauche.....	83
3. Méthode.....	84
a) Recrutement des chevaux.....	84
b) Examen échographique.....	84
c) Analyse des images.....	84
d) Confrontation des résultats.....	85
II. Résultats.....	85
1. Analyse semi-quantitative.....	85
2. Analyse quantitative.....	86
III. Discussion.....	88
1. Des résultats encourageants, à valider à plus grande échelle.....	88
2. Que penser des chevaux présentant une abduction des aryénoïdes normale à l'effort et un muscle crico-aryénoïdien latéral gauche hyperéchogène ?.....	89
3. Comment utiliser l'échographie de larynx sur le terrain ?.....	89
CONCLUSION.....	91
BIBLIOGRAPHIE.....	93
ANNEXES.....	95

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Topographie du larynx chez le cheval. CHATEAU et al. (2010)	15
Figure 2 : Les cartilages du larynx chez le cheval. CHATEAU et al. (2010)	16
Figure 3 : Cartilage épiglottique de cheval. BARONE (1997)	16
Figure 4 : Cartilage aryténoïde de cheval, d'après BARONE (1997).....	17
Figure 5 : Le cartilage thyroïde du cheval, d'après BARONE (1997)	18
Figure 6 : Le cartilage cricoïde du cheval, d'après BARONE (1997)	18
Figure 7 : Articulations et membranes du larynx du cheval, d'après BARONE (1997).....	19
Figure 8 : Muscles de la face ventrale du larynx, d'après BARONE (1997)	21
Figure 9 : Muscles de la face dorsale du larynx, d'après BARONE (1997)	23
Figure 10 : Muscles superficiels du larynx du cheval, d'après BARONE (1997)	24
Figure 11 : Muscles profonds du larynx du cheval, d'après BARONE (1997)	25
Figure 12 : Vue dorsale de la partie ventrale du larynx après section longitudinale d'un larynx de cheval, d'après BARONE(1997).....	26
Figure 13 : Vue endoscopique de l'entrée du larynx.....	28
Figure 14 : Loi de Poiseuille pour les écoulements laminaires	30
Figure 15 : Variation d'aspect de la glotte lors d'un cycle respiratoire chez un cheval sain au repos	31
Figure 16 : Changement de conformation du larynx entre la respiration et la déglutition, d'après BARONE (1997) et JANICEK et KETZNER. (2008).....	32
Figure 17 : Mécanisme de protection des voies respiratoires lors de la déglutition :	32
Figure 18 : Modulation de l'ouverture de la glotte par les cartilages aryténoïdes.....	34
Figure 19 : Déformation sévère des cartilages aryténoïdes chez un cheval atteint de chondrite des cartilages aryténoïdes. PORTER (2013)	36
Figure 20 : Visualisation par vidéo-endoscopie de la dynamique normale des cartilages aryténoïdes au repos	40
Figure 21 : Localisation des quatre fenêtres acoustiques sur une vue ventrale de larynx,	46
Figure 22 : Images échographiques acquises dans la fenêtre acoustique latérale, dans le plan longitudinal(A) et dans le plan transversal (B). TC : cartilage thyroïde ; CC : cartilage cricoïde ; AC : cartilage aryténoïde ; CAL : muscle crico-aryténoïdien latéral. GARRETT et al. (2009).....	47
Figure 23 : Images échographiques acquises dans les fenêtres acoustiques latérales gauche (G) et droite (D) d'un cheval présentant une hémiplegie laryngée récurrente à gauche. GARRETT et al. (2010)	48
Figure 24 : Plan de positionnement de la sonde pour l'acquisition d'une image de la fenêtre latérale dans le plan transversal.....	56
Figure 25 : Plan de positionnement de la sonde pour l'acquisition d'une image de la fenêtre latérale dans le plan longitudinal	57
Figure 26 : Contention et préparation du cheval.....	57
Figure 27 : Bilan des images et vidéos acquises sur chacun des trois hongres.....	59
Figure 28 :Correspondance entre coupe anatomique et image échographique de la fenêtre latérale en vue longitudinale	60
Figure 29 : Correspondance entre coupe anatomique et image échographique de la fenêtre latérale en vue transversale.....	61
Figure 30 : Images de la fenêtre acoustique latérale en vue longitudinale acquises sur le premier cheval examiné (jument de travaux pratiques de 8 ans).....	62
Figure 31 : Paramétrage de l'échographe	68
Figure 32 : Contention du cheval et positionnement de la sonde	69
Figure 33 : Fenêtre de sélection des régions d'intérêt du programme EchoQuant	71
Figure 34 : Définition des régions d'intérêt sur les muscles CAL et Vocal en coupe transversale	73
Figure 35 : Définition des régions d'intérêt sur les muscles CAL et Vocal en coupe longitudinale.....	74
Figure 36 : Coefficient de concordance de Lin inter-échographistes pour les différents paramètres quantitatifs testés	77

Figure 37 : Rapports anatomiques entre le muscle crico-aryténoïdien latéral et le muscle vocal79
*Figure 38 : Analyse quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche et
confrontation avec le grade endoscopique87*

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Système de gradation du statut endoscopique au repos d'Havermeyer</i>	41
<i>Tableau 2 : Système de gradation du statut endoscopique à l'effort d'Havermeyer. DIXON et al.(2003)</i>	43
<i>Tableau 3 : Description des fenêtres acoustiques d'exploration échographique du larynx, d'après CHALMERS et al. (2006)</i>	46
<i>Tableau 4 : Bilan des techniques de diagnostic de l'hémiplégie laryngée récurrente chez le cheval, d'après PARENTE et al. (2012)</i>	51
<i>Tableau 5 : Durée d'examen et protocole de tranquillisation des chevaux</i>	63
<i>Tableau 6 : Recrutement des chevaux de l'étude</i>	67
<i>Tableau 7 : Grille d'évaluation du muscle crico-aryténoïdien latéral selon la méthode semi-quantitative</i>	70
<i>Tableau 8 : Règles de positionnement des régions d'intérêt</i>	72
<i>Tableau 9 : Paramètres d'échogénicité quantitatifs définis</i>	75
<i>Tableau 10 : Coefficient de concordance de Lin inter-échographistes et son intervalle de confiance pour les différents paramètres quantitatifs testés</i>	76
<i>Tableau 11 : Répartition des chevaux de l'étude, de grades endoscopiques IA en vert, IIIA en bleu, IIIB ou IIIC en orange et IVC en rouge, selon l'évaluation échographique semi-quantitative de leur muscle crico-aryténoïdien latéral gauche par chaque échographiste</i>	85
<i>Tableau 12 : Caractéristiques statistiques des notes-seuil 0,5 et 1 définies pour l'analyse semi-quantitative des images échographiques du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche. (Sensibilité, Spécificité, Valeur prédictive positive et Valeur prédictive négative)</i>	86
<i>Tableau 13 : Caractéristiques statistiques des ratios CAL/VOC seuils de 0,6 et 0,8 définis pour l'analyse quantitative des images échographiques du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche. (Sensibilité, Spécificité, Valeur prédictive positive et Valeur prédictive négative)</i>	88

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CAL : Muscle crico-aryténoïdien latéral

VOC : Muscle vocal

Bpm : Battements par minute

RI : Région d'intérêt

Ratio CAL/VOC : Moyenne, sur trois images acquises en vue transversale, du ratio entre l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle crico-aryténoïdien latéral, et l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle vocal.

INTRODUCTION

L'hémiplégie laryngée récurrente est une cause fréquente de contre-performance chez le cheval de sport et de course, dont le diagnostic repose actuellement sur l'endoscopie. L'examen endoscopique au repos, effectué en première intention, permet de caractériser le degré d'affection selon des grades de 1 à 4. La signification clinique des grades endoscopiques au repos étant nettement controversée, cet examen est parfois complété par un examen endoscopique à l'effort, considéré comme le *Gold standard* pour l'évaluation de l'hémiplégie laryngée. D'autre part, l'hémiplégie laryngée est associée à une dégénérescence des muscles laryngés innervés par le nerf lésé. Garrett *et al.* (2010) ont d'ailleurs montré que l'augmentation d'échogénicité (subjective et quantitative) liée à la fibrose du muscle cricoaryténoïdien latéral gauche était corrélée au degré de collapsus laryngé observé à l'endoscopie à l'effort.

L'échographie transcutanée du larynx étant une technique moins invasive et plus accessible sur le terrain que l'endoscopie, la question de son utilisation en première intention afin de réaliser un premier tri entre les chevaux susceptibles ou non de présenter une asymétrie laryngée à l'effort nous est apparue pertinente.

Le but de cette étude a été la mise au point d'une méthode de gradation du statut échographique du larynx basée sur la quantification de l'échogénicité du muscle cricoaryténoïdien latéral gauche grâce à un protocole répétable. Pour cela, nous avons recherché un paramètre échographique combinant une bonne fiabilité de mesure (bonne concordance inter-opérateurs) et une bonne capacité de discrimination entre les chevaux cliniquement sains et les chevaux présentant un défaut d'abduction laryngée à l'effort.

Après un bilan des connaissances actuelles sur l'anatomie, la physiologie et la pathologie du larynx ainsi que sur ses techniques d'exploration, nous détaillerons la mise au point d'une méthode quantitative d'évaluation de l'hémiplégie laryngée chez le cheval ainsi que les résultats obtenus.

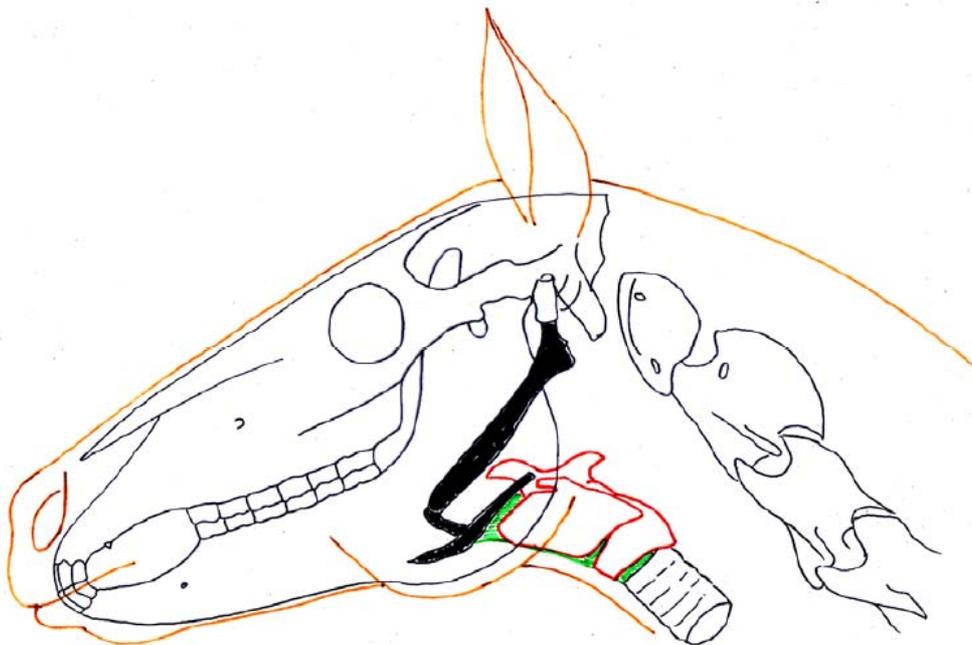
PREMIÈRE PARTIE
LE LARYNX DU CHEVAL ET SON EXPLORATION
Revue bibliographique

Segment initial de l'arbre aérophore, le larynx est un organe musculo-cartilagineux régulant le passage de l'air dans les voies respiratoires, participant à la phonation et prévenant l'aspiration de corps étrangers. Chez le cheval, de nombreuses affections laryngées peuvent entraîner une réduction du débit d'air inspiré, à l'origine d'une intolérance à l'effort.

CHAPITRE I : RAPPELS D'ANATOMIE

Chez le cheval, le larynx est en grande partie caché par la mandibule, comme on le voit sur la figure 1, et sa position varie beaucoup avec le degré de flexion de la tête sur l'encolure (Chateau *et al.*, 2010). Plus la tête est fléchie, plus le larynx s'engage entre les mandibules. Pour son exploration par échographie transcutanée, l'opérateur devra donc veiller à placer la tête au degré maximum d'extension toléré par le cheval.

Figure 1 : Topographie du larynx chez le cheval (Chateau et al., 2010)

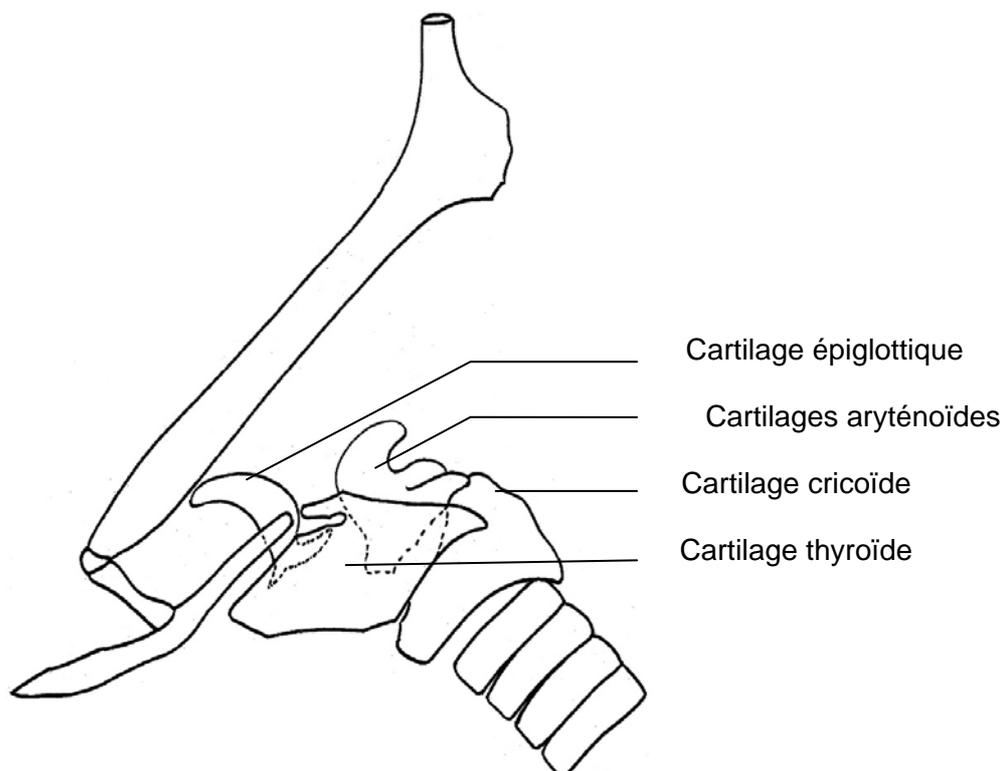


Le larynx forme la base anatomique de la gorge et se situe juste caudalement à la base de la langue et du palais mou, ventralement à l'atlas. Il est recouvert dorsalement par le pharynx et l'œsophage et ventralement par les muscles sterno-hyoïdiens et sterno-thyroïdiens, qui convergent vers le plan médian. Ses faces latérales sont en relation avec les muscles du pharynx, les deux glandes mandibulaires, les deux muscles omohyoïdiens et les deux artères thyroïdiennes crânielles.

I. Cartilages et articulations

La connaissance de la conformation de la structure du larynx est un support primordial pour se repérer lors de l'échographie. Le larynx compte trois cartilages impairs et médians (les cartilages épiglottique, cricoïde et thyroïde) et une paire de cartilages aryénoïdes, l'ensemble s'articulant grâce à des ligaments que nous présenterons par la suite. Les cartilages laryngés sont représentés sur la figure 2 (Chateau *et al.*, 2010).

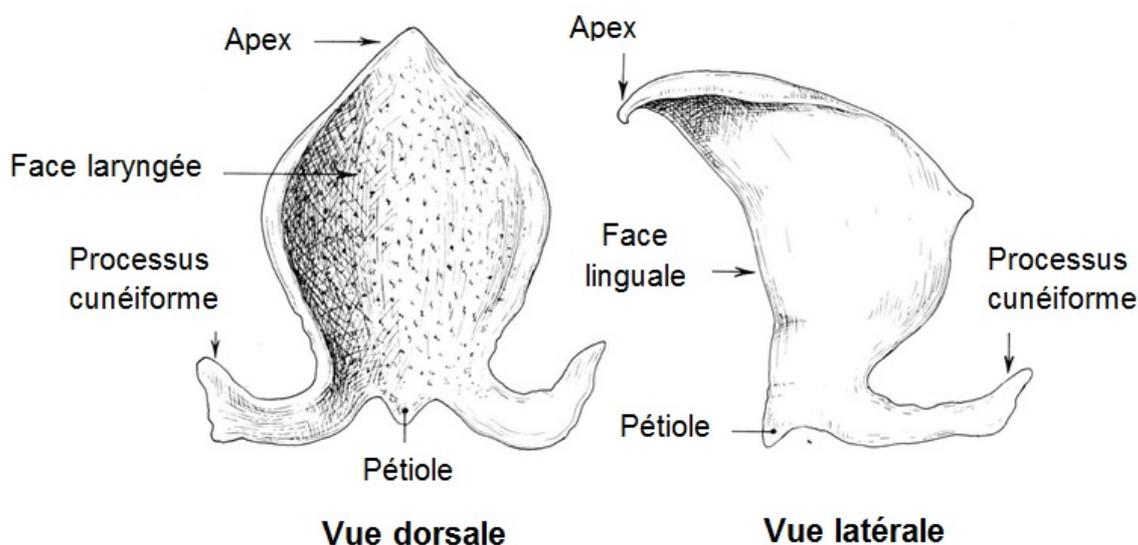
Figure 2 : Les cartilages du larynx chez le cheval (Chateau et al., 2010)



1. Le cartilage épiglottique

Flexible et élastique, le cartilage épiglottique constitue la base anatomique de l'épiglotte. De forme losangique et saillante (figure 3), l'épiglotte circonscrit ventralement l'entrée du larynx, qu'elle peut obturer en se rabattant. Chez le cheval, l'épiglotte se positionne dorsalement au voile du palais et son apex, libre et mobile, fait saillie au plancher du nasopharynx. L'épiglotte du cheval comporte des processus cunéiformes où s'insèrent les ligaments vestibulaires (Barone, 1997).

Figure 3 : Cartilage épiglottique de cheval (Barone, 1997)

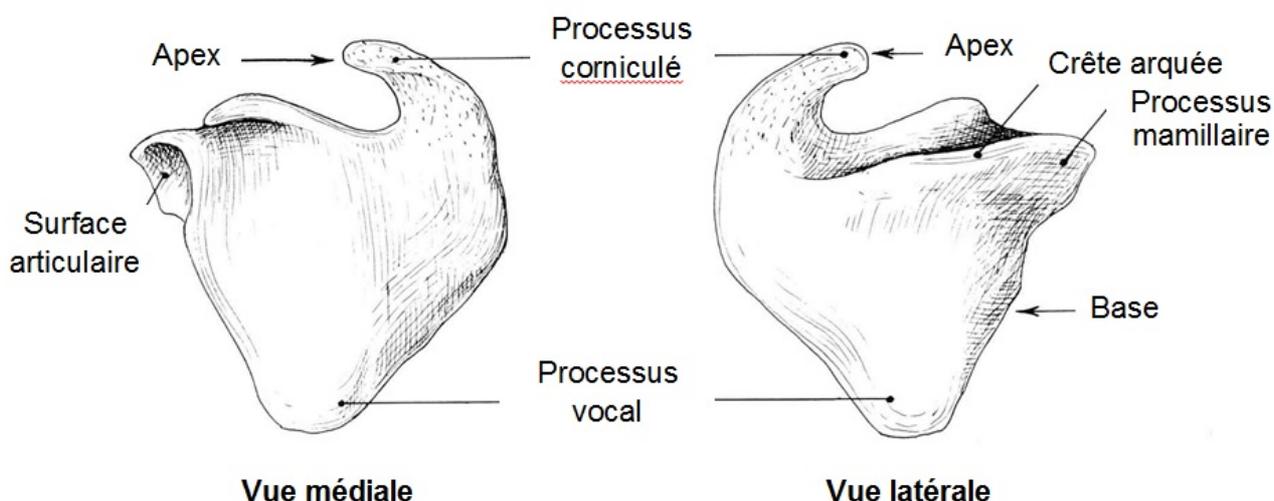


2. Les cartilages aryténoïdes

Les cartilages aryténoïdes sont symétriques par rapport à l'axe médian, et de forme pyramidale (figure 4). Ils comportent :

- un processus vocal ventralement, sur lequel s'insèrent le muscle vocal et le ligament vocal ;
- un processus musculaire dorso-latéralement, relié au cartilage cricoïde : Il accueille l'insertion des muscles crico-aryténoïdiens dorsal et latéral ainsi que du muscle vocal ;
- un processus corniculé rostralement, formant un relief saillant qui s'adosse au processus corniculé opposé et surplombe l'entrée du larynx.

Figure 4 : Cartilage aryténoïde de cheval, d'après Barone (1997)



Les cartilages aryténoïdes s'articulent au bord de la lame du cartilage cricoïde via l'articulation crico-aryténoïdienne (Barone, 1997).

3. Le cartilage thyroïde

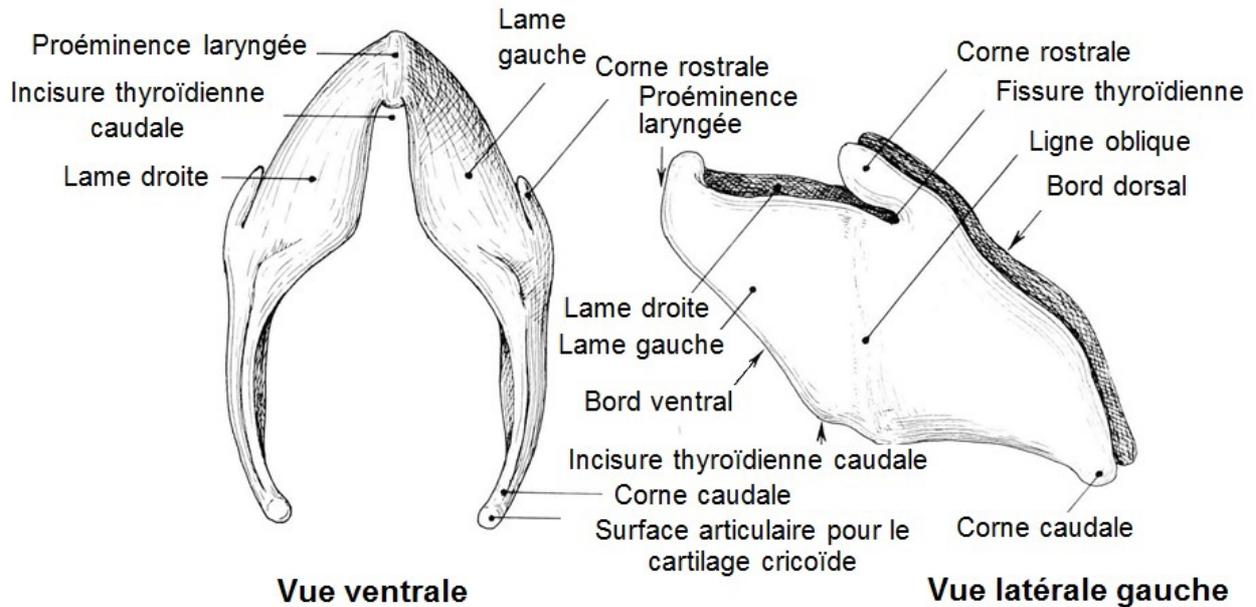
Le cartilage thyroïde est le plus grand cartilage du larynx. Il est formé d'un corps médian duquel partent en direction dorsale deux lames losangiques droite et gauche (figure 5).

Le corps du cartilage thyroïde est nettement échancré par l'incisure thyroïdienne caudale.

Les lames sont bien visibles en échographie, et constituent le repère qui permet d'identifier le cartilage thyroïde. A l'endroit où les deux lames fusionnent ventralement, se forme une discrète proéminence laryngée. Sur leur face externe, les lames du cartilage thyroïde présentent une ligne oblique séparant deux surfaces d'insertion musculaire.

Le bord dorsal du cartilage thyroïde se prolonge par une corne rostrale dirigée vers la grande corne de l'hyoïde et une corne caudale formant une facette articulaire pour le cartilage cricoïde (Barone, 1997).

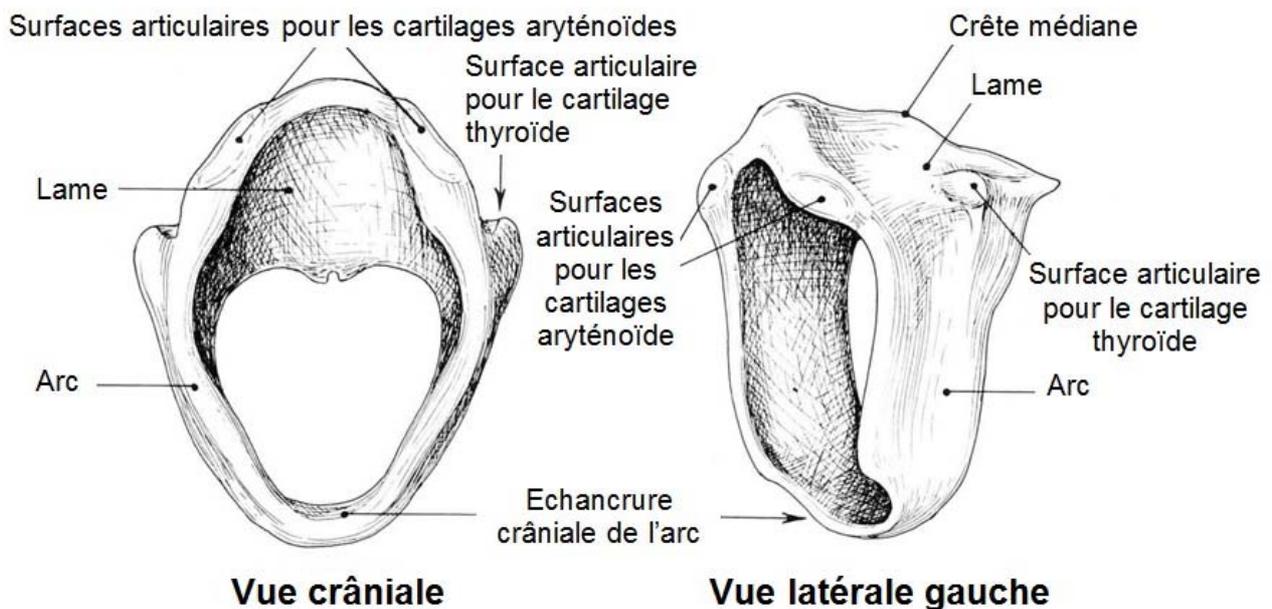
Figure 5 : Le cartilage thyroïde du cheval, d'après Barone (1997)



4. Le cartilage cricoïde

Le cartilage cricoïde, le plus caudal du larynx, forme un anneau complet dans lequel s'emboîte le premier anneau trachéal (figure 6). Il s'articule avec le cartilage thyroïde et les cartilages aryténoïdes. Sa partie dorsale, appelée lame du cricoïde présente une crête sagittale dans le plan médian. Ventralement, l'arc du cricoïde achève la fermeture de la portion caudale de la cavité laryngée (Barone, 1997).

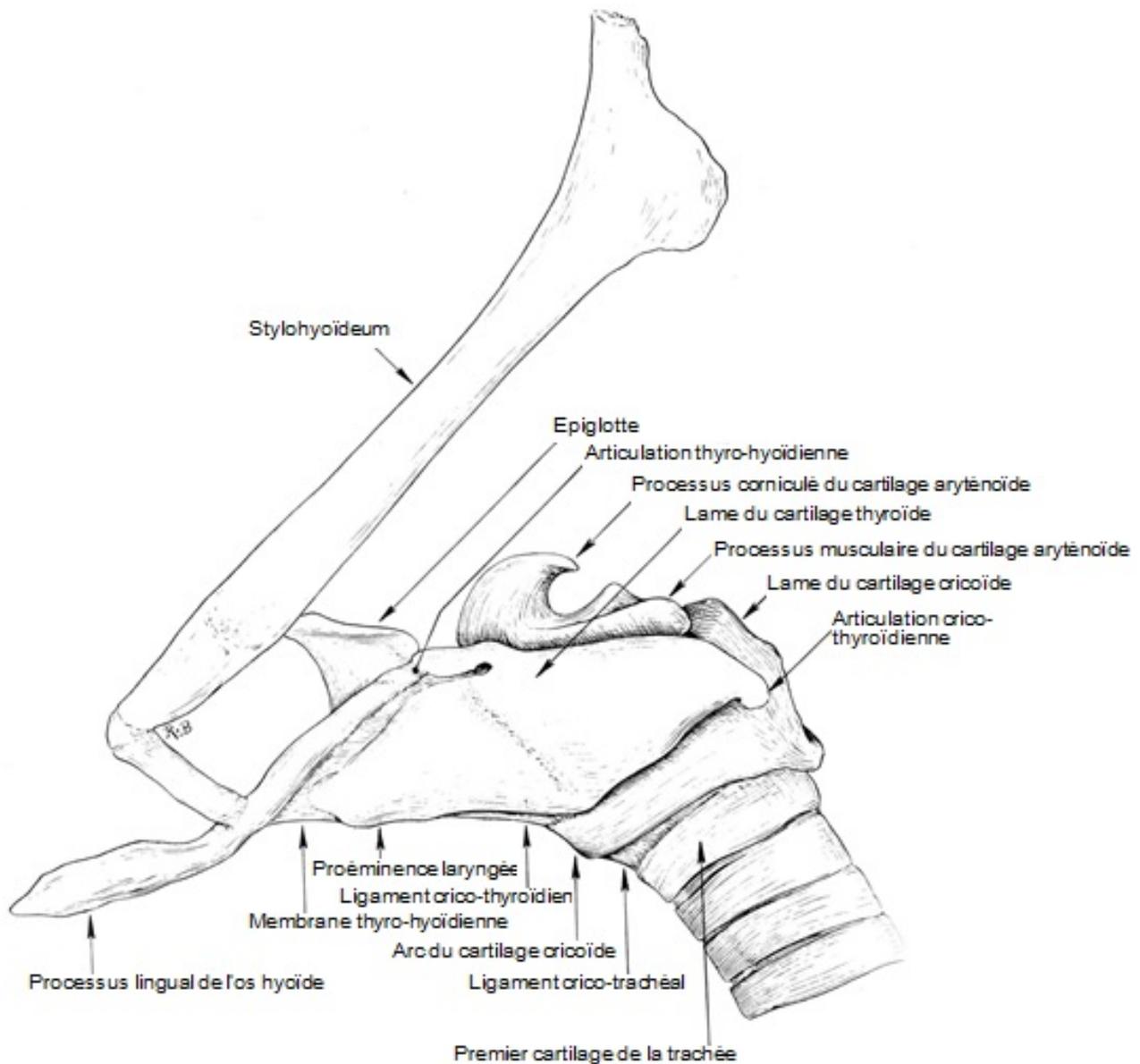
Figure 6 : Le cartilage cricoïde du cheval, d'après Barone (1997)



5. Union des cartilages du larynx entre eux

Le cartilage épiglottique est le plus mobile du larynx. Viennent ensuite les cartilages aryténoïdes. La figure 7 présente une partie des articulations et moyens d'union des cartilages du larynx (Barone, 1997).

Figure 7 : Articulations et membranes du larynx du cheval, d'après Barone (1997)



a) Articulation crico-thyroïdienne

Les cartilages cricoïde et thyroïde sont unis par une articulation synoviale dont la capsule articulaire s'étend de la corne caudale du cartilage thyroïde à la lame du cartilage cricoïde (figure 7). Le ligament crico-thyroïdien s'insère aux bords rostral et ventral du cartilage cricoïde et se termine aux bords ventral et caudal du cartilage thyroïde. La partie la plus étendue de cette membrane fibreuse et élastique ferme l'incisure thyroïdienne caudale.

b) Articulation crico-aryténoïdienne

L'articulation crico-aryténoïdienne, très mobile, entre le processus musculaire du cartilage aryténoïde et la lame du cartilage cricoïde est renforcée par une capsule articulaire et un ligament crico-aryténoïdien. Elle permet les mouvements d'abduction et d'adduction des cartilages aryténoïdes, et donc la dilatation de la glotte et la mise en tension des cordes vocales.

c) Union inter-aryténoïdienne

Les deux cartilages aryténoïdes sont reliés dorsalement par un bref ligament aryténoïdien transverse

d) Union aryténoïdes-thyroïde

L'union aryténoïdes-thyroïde est assurée par des ligaments vocaux qui s'étendent du corps du thyroïde au processus vocal des aryténoïdes.

e) Union aryténoïdes-épiglotte

Chez les équidés, le ligament vestibulaire forme un véritable ligament ary-épiglottique qui s'étend des processus cunéiformes de l'épiglotte au bord ventral des aryténoïdes.

f) Union épiglotte-thyroïde

L'épiglotte est unie au cartilage thyroïde par le ligament thyro-épiglottique.

6. Union des cartilages du larynx aux structures adjacentes

a) Union à l'os hyoïde

Rostralement, l'épiglotte est reliée à l'os hyoïde par le muscle hyo-épiglottique. Par ailleurs la suspension du larynx à l'appareil hyoïdien est assurée par l'articulation synoviale thyro-hyoïdienne (figure 7), qui unit la grande corne de l'hyoïde à la corne rostrale de la lame du cartilage thyroïde. Chez le cheval, elle est renforcée par le ligament thyro-hyoïdien médian, membrane ample, souple et élastique unissant le corps de l'os hyoïde au bord rostral du cartilage thyroïde.

b) Union à la trachée

Caudalement, le cartilage cricoïde est relié à la trachée par le ligament crico-trachéal (figure 7).

7. Structure cartilagineuse du larynx

Le larynx est donc assimilable à un tube membraneux fibro-élastique dans lequel sont compris des cartilages hyalins rigides qui permettent de maintenir une ouverture suffisante au passage de l'air et qui servent de support aux parties mobiles. Les cartilages hyalins sont susceptibles de se calcifier, et Chalmers *et al.* (2006) ont ainsi noté que des minéralisations dans les cartilages aryténoïdes et dans les lames du cartilage thyroïde étaient assez fréquemment observées. Ces minéralisations sont de nature à compromettre la bonne visualisation des structures situées médialement aux lames du cartilage thyroïde à l'échographie.

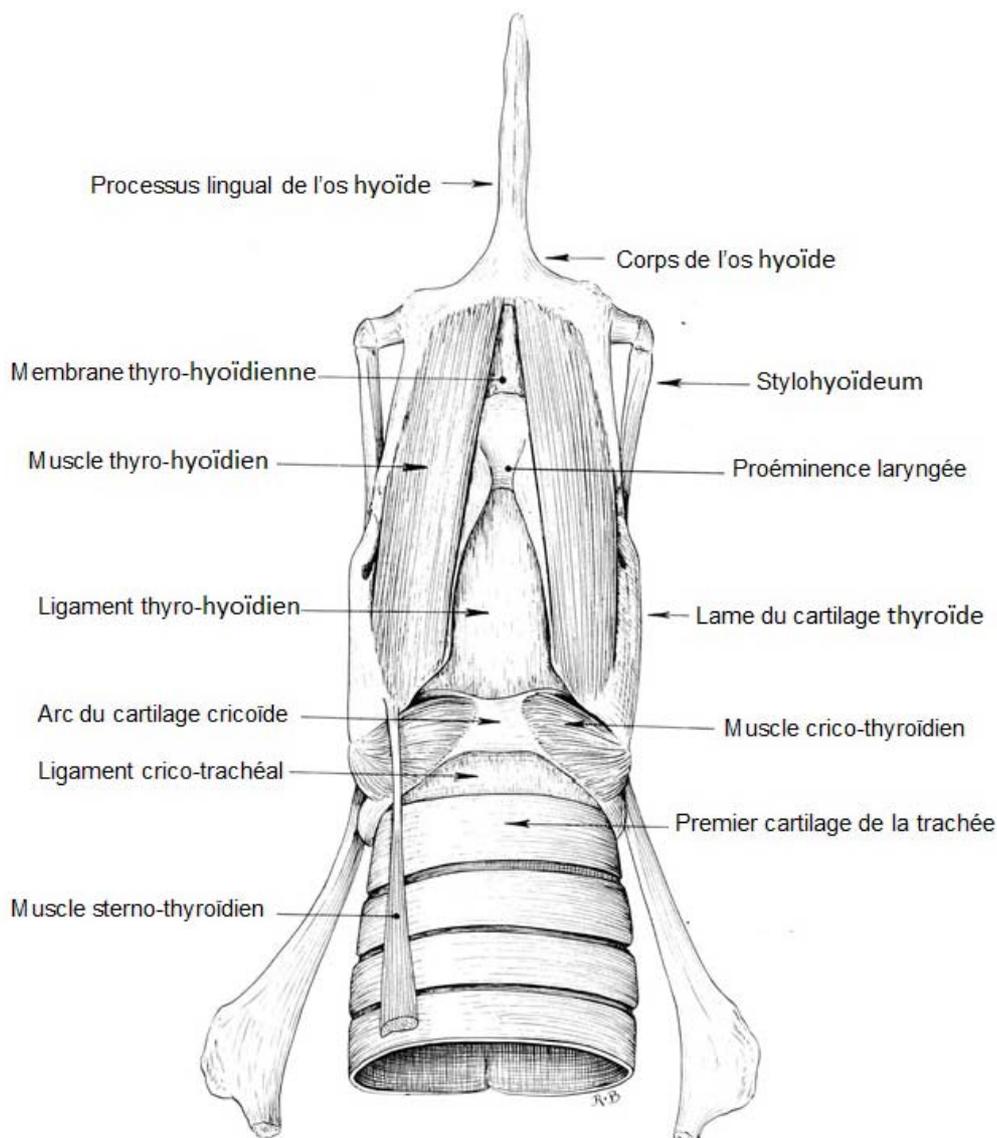
II. Muscles

La charpente cartilagineuse du larynx est le siège de la régulation du passage de l'air dans les voies respiratoires et de la phonation, grâce à l'action de muscles nombreux et puissants. Il existe des muscles extrinsèques, dont une des deux origines seulement s'insère sur un des cartilages du larynx, et des muscles intrinsèques, qui vont d'un cartilage du larynx à un autre.

1. Musculature extrinsèque

La musculature extrinsèque, constituée d'une paire de muscles sterno-thyroïdiens (figure 8), d'une paire de muscles thyro-hyoïdiens (figure 8) et d'un muscle hyo-épiglottique, impair et médian, stabilise le larynx et modèle sa forme. L'innervation motrice des muscles extrinsèques est assurée par les branches ventrales des premiers nerfs cervicaux (Barone, 1997).

Figure 8 : Muscles de la face ventrale du larynx, d'après Barone (1997)



a) Muscle sterno-thyroïdien

Ce muscle long, grêle et aplati longe ventralement la trachée depuis l'extrémité crâniale du manubrium sternal jusqu'au bord caudal de la lame du cartilage thyroïde. Il agit en tirant l'os hyoïde et le larynx en direction caudo-ventrale.

b) Muscle thyro-hyoïdien

Ce muscle plat à larges fibres orientées dans le sens rostro-caudal recouvre latéralement la partie rostrale de la lame du cartilage thyroïde. Il prend son origine sur la face latérale de la grande corne de l'os hyoïde et se termine sur la face latérale de la lame du cartilage thyroïde, ventralement à la ligne oblique.

Il agit en tirant le larynx rostralement et dorsalement, entre les cornes de l'os hyoïde.

c) Muscle hyo-épiglottique

Impair et médian, le muscle hyo-épiglottique s'insère sur la face dorsale du basi-hyoïde, dans le plan médian et se termine sur la face ventrale de l'épiglotte.

Il tire l'épiglotte en direction rostrale en l'abaissant après la déglutition et met ainsi indirectement en tension les replis ary-épiglottiques. L'activité de ce muscle dilatateur de l'entrée du larynx, augmente avec l'intensité de l'exercice et les efforts ventilatoires. Par ailleurs, la contraction du muscle hyo-épiglottique stabilise l'épiglotte durant l'inspiration, empêchant ainsi sa rétroversion dans la fente de la glotte (*rima glottidis*).

2. Musculature intrinsèque

En mobilisant les cartilages du larynx, les muscles intrinsèques contrôlent l'ouverture et la fermeture de la glotte, régulant ainsi l'écoulement de l'air, en association avec les mouvements actifs de l'épiglotte. On dénombre quatre muscles pairs et un muscle impair, que l'on peut classer de façon fonctionnelle en muscles dilatateurs ou constricteurs de la glotte ou mixtes. Tous sont innervés par le nerf laryngé caudal à l'exception des muscles crico-thyroïdiens (Barone, 1997).

a) Muscles dilatateurs de la glotte

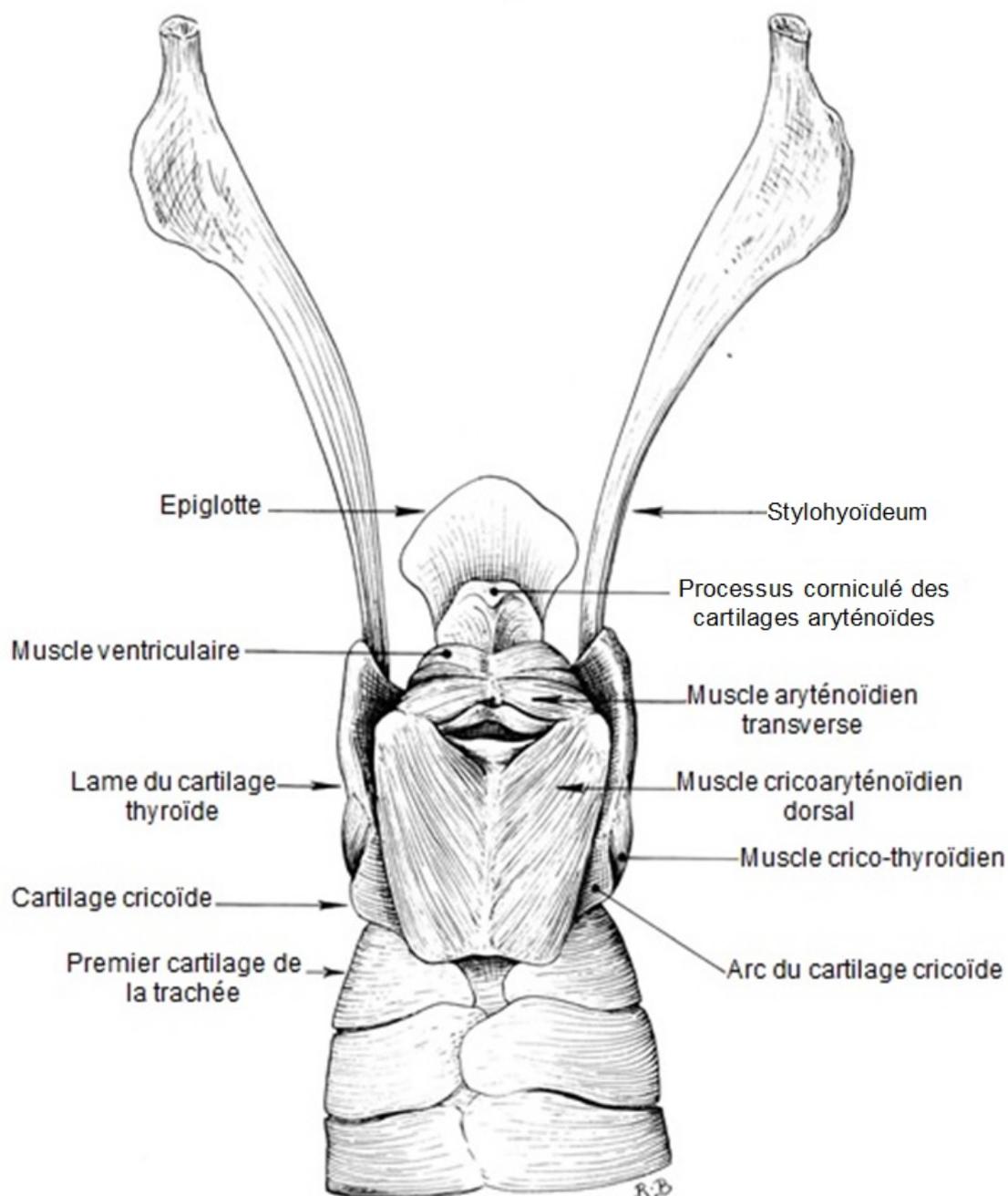
• **Muscle crico-aryténoïdien dorsal (pair)**

Avec ses faisceaux obliques en direction rostro-latérale dessinant avec son homologue un « V » sur la face dorsale du larynx (figure 9), ce muscle plat est le plus actif des muscles laryngés. Il prend son origine sur la crête médiane de la lame du cartilage cricoïde et se termine en deux chefs qui convergent sur le processus musculaire du cartilage aryténoïde. Le chef médial s'insère radialement sur le processus musculaire tandis que le chef latéral se termine par un tendon s'insérant lui-aussi sur le processus musculaire.

C'est le principal muscle dilatateur de la glotte. Il fait basculer les cartilages aryténoïdes en abduction par un mouvement dorso-latéral, dilatant ainsi la fente de la glotte et l'entrée du larynx et mettant en tension les cordes vocales par le déplacement des processus vocaux.

En cas de paralysie de ce muscle, on observe donc simultanément des troubles respiratoires sérieux dus à l'adduction passive d'un ou des deux aryténoïdes et des bruits inspiratoires (cornage laryngé) dus au défaut de tension d'une ou des deux cordes vocales, qui vibrent alors au passage de l'air.

Figure 9 : Muscles de la face dorsale du larynx, d'après Barone (1997)

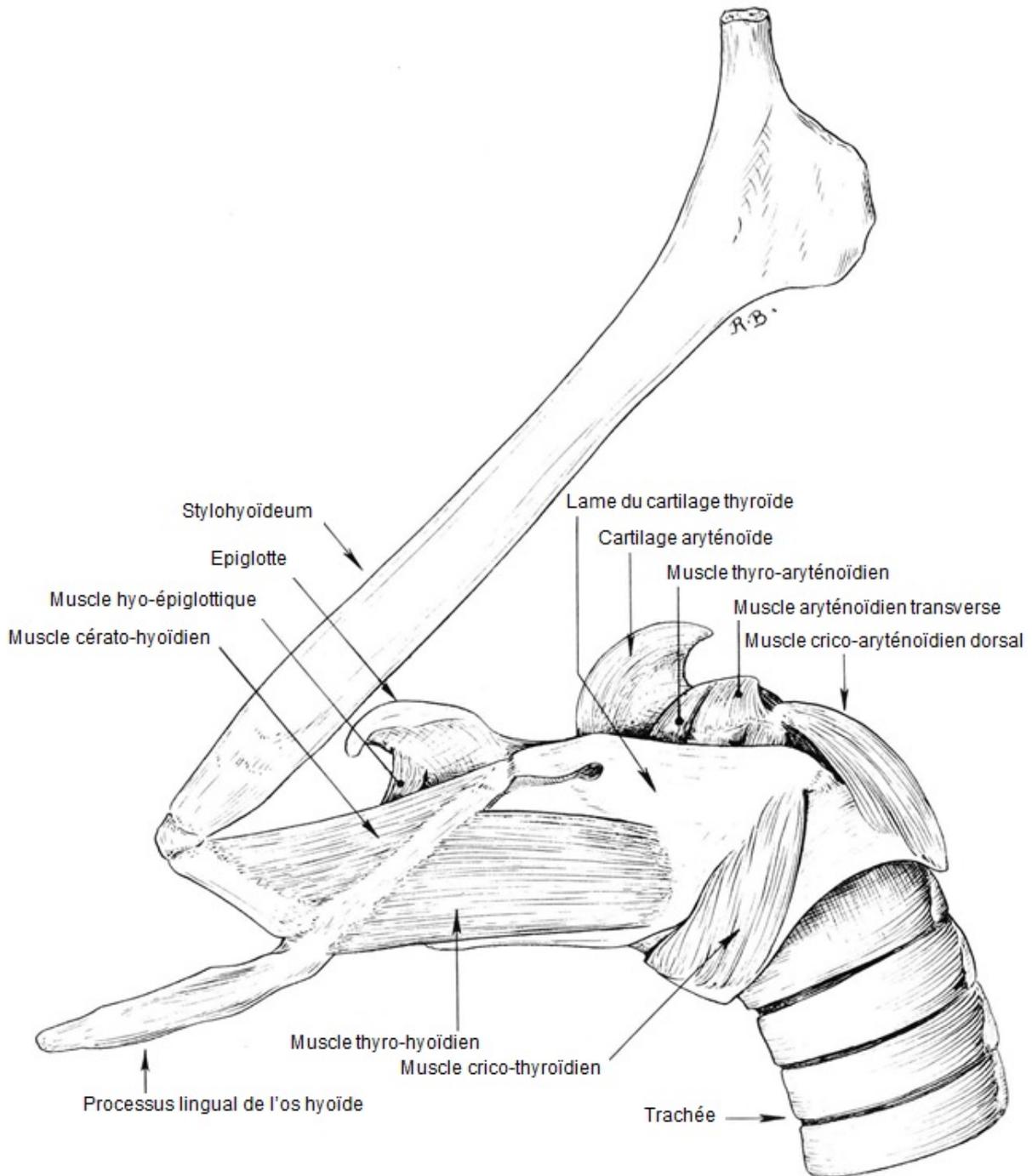


- **Muscle crico-thyroïdien (pair)**

Ce petit muscle aplati s'insère sur la face latérale de l'arc du cartilage cricoïde et se termine sur le bord caudal de la lame du cartilage thyroïde et sur la partie adjacente de la corne caudale (figure 10).

Il fait basculer le cartilage thyroïde autour du cartilage cricoïde, raccourcissant ainsi la partie caudale du larynx tout en ouvrant la glotte. Par cette dilatation de la glotte, il est également tenseur des cordes vocales.

Figure 10 : Muscles superficiels du larynx du cheval, d'après Barone (1997)



b) Muscles constricteurs de la glotte

- **Muscle crico-aryténoïdien latéral (pair)**

Situé médialement à la lame du cartilage thyroïde, ce petit muscle triangulaire, prend son origine sur le bord rostral de l'arc cricoïdien et se termine sur le processus musculaire de l'aryténoïde, rostro-latéralement à l'insertion du muscle crico-aryténoïdien dorsal (figure 11).

C'est le principal antagoniste du muscle crico-aryténoïdien dorsal. Il fait pivoter médialement les cartilages aryténoïdes, provoquant ainsi la constriction de la glotte et le relâchement des cordes vocales.

- **Muscle thyro-aryténoïdien (pair)**

Ce muscle large, situé lui-aussi sous le cartilage thyroïde, est médial au muscle crico-aryténoïdien latéral. Chez les équidés, il est divisé nettement en deux muscles encadrant le ventricule du larynx (figures 11 et 12).

- La partie rostrale forme le muscle ventriculaire :

Logé dans le pli vestibulaire, ce muscle s'insère à la face interne de la lame thyroïdienne et sur le bord latéral du cartilage aryténoïde. Certaines fibres dépassent ce bord et vont s'unir aux fibres du muscle analogue au niveau du raphé tendineux médian du muscle aryténoïdien transverse.

Il agit en resserrant le vestibule du larynx.

- La partie caudale forme le muscle vocal :

Plus large que le muscle ventriculaire, il longe latéralement et caudalement le ligament vocal. Il prend son origine sur l'angle de la jonction des lames du cartilage thyroïde et sur les parties adjacentes du ligament crico-thyroïdien, et se termine à la face latérale de l'aryténoïde, depuis le processus musculaire jusqu'au processus vocal.

Il agit directement sur la corde vocale dont il modifie la longueur, la tension et le volume.

Ensemble, les deux parties du muscle thyro-aryténoïdien forment un sphincter qui tend à réduire le diamètre du larynx et à fermer la glotte.

Figure 11 : Muscles profonds du larynx du cheval, d'après Barone (1997)

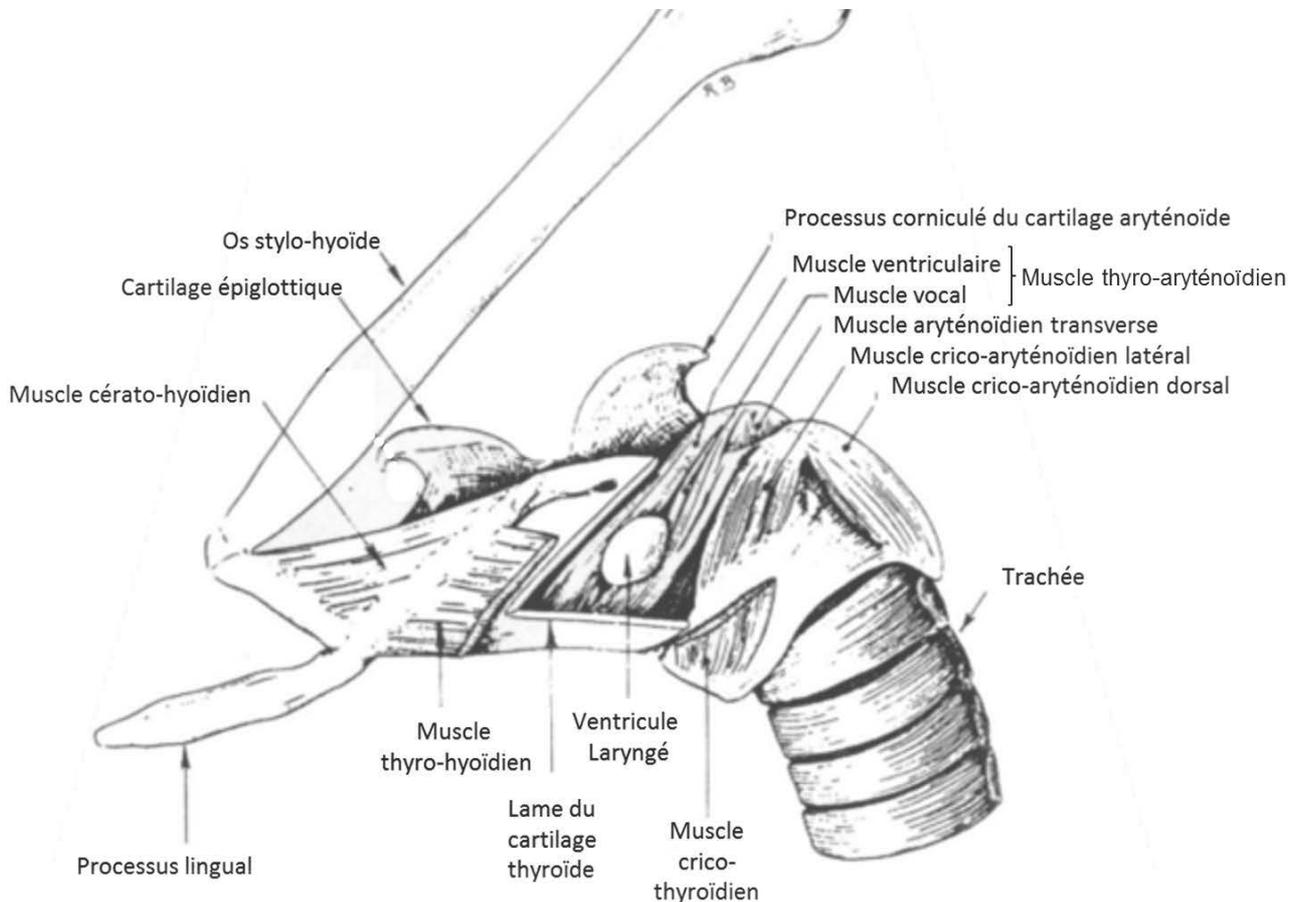
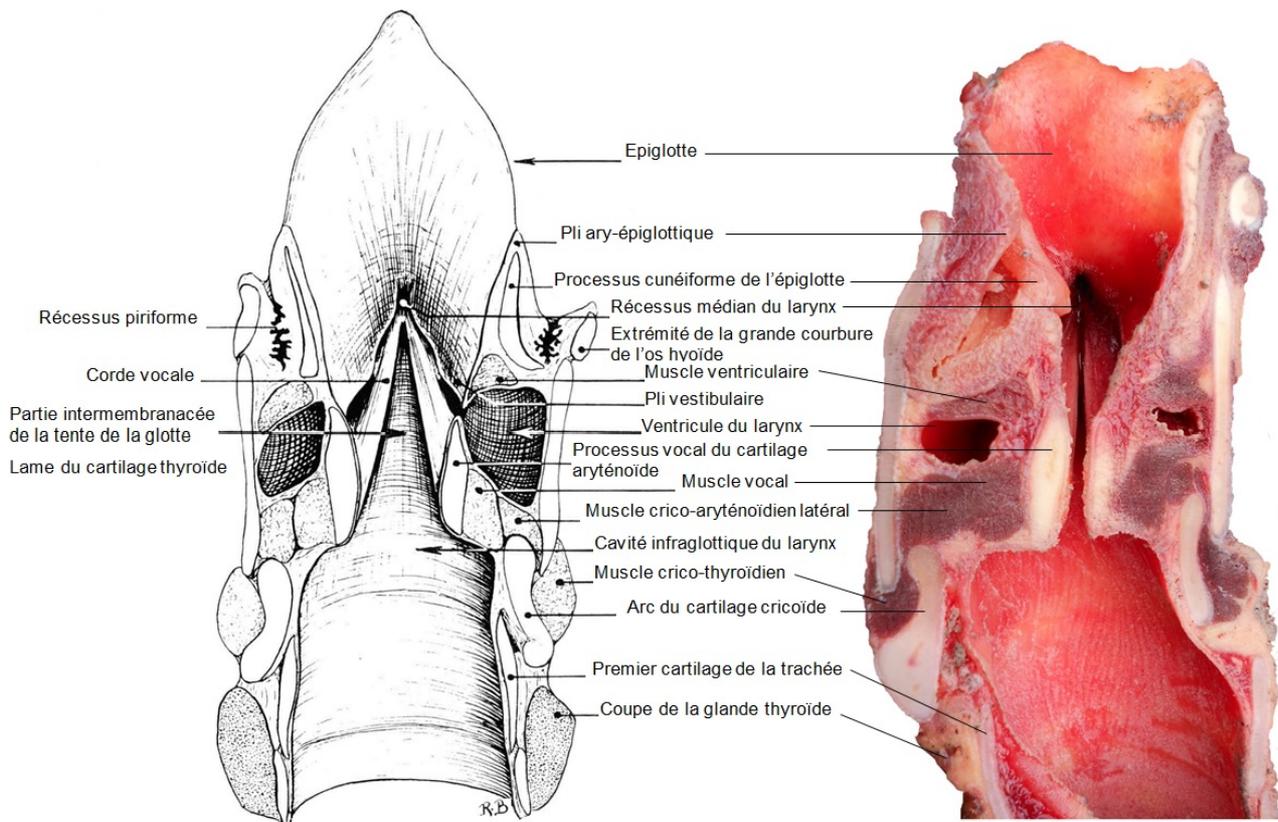


Figure 12 : Vue dorsale de la partie ventrale du larynx après section longitudinale d'un larynx de cheval, d'après Barone (1997)



c) Muscle mixte

- **Muscle aryténoïdien transverse (impair)**

Ce muscle impair et transversal est le plus petit du larynx. Il est divisé en deux parties latérales qui s'étalent de part et d'autre d'un raphé tendineux médian, où il prend son origine. Latéralement, les fibres se terminent sur le processus musculaire et la crête arquée du cartilage aryténoïde (figure 9).

S'il fonctionne avec le muscle thyro-aryténoïdien, il provoque la constriction de la partie inter-aryténoïdienne de la glotte par rapprochement des cartilages aryténoïdes. En revanche, s'il agit en synergie avec le muscle crico-aryténoïdien dorsal, il est dilatateur de la glotte.

III. Innervation

L'innervation motrice des muscles extrinsèques du larynx est assurée par les rameaux des premiers nerfs cervicaux tandis que la musculature intrinsèque est innervée par les rameaux du nerf vague que sont le nerf laryngé crânial et le nerf laryngé caudal (Barone, 1997).

1. Nerf laryngé crânial

Emis par le nerf vague en regard de la face médiale de la poche gutturale, le nerf laryngé crânial se divise en deux rameaux au bord dorso-latéral du pharynx.

Le rameau externe assure l'innervation motrice du muscle crico-thyroïdien.

Le rameau interne pénètre dans le larynx par le foramen thyroïdien, formé par des faisceaux de tissu fibreux à l'extrémité caudale de la fissure thyroïdienne (figure 5), et fournit des fibres sensibles à la muqueuse de la glotte et du vestibule, ainsi qu'un rameau s'anastomosant avec le nerf laryngé caudal. Ces terminaisons sensibles sont responsables de la très vive sensibilité de la muqueuse de la glotte et du vestibule du larynx, qui assure la protection des voies respiratoires à l'égard des corps étrangers via le réflexe de toux.

2. Nerf laryngé caudal

Le nerf laryngé caudal est la portion terminale du nerf laryngé récurrent qui est émis par le nerf vague dans le thorax. Avec ses 212 à 250 cm de long, le nerf laryngé récurrent est le plus long nerf moteur chez le cheval. Le nerf laryngé récurrent gauche est émis dans le médiastin moyen tandis que le nerf laryngé droit est émis dans le médiastin crânial. Mesurant ainsi 25 à 30 cm de plus que son homologue droit, le nerf laryngé récurrent gauche se trouve en relation étroite avec les nœuds lymphatiques trachéobronchiques et médiastinaux crâniens.

Le nerf laryngé caudal remonte dans l'encolure médialement à l'artère carotide commune, en regard de la limite entre la trachée et l'œsophage, et pénètre dans le larynx dorsalement à l'articulation crico-thyroïdienne.

Il est moteur pour tous les muscles intrinsèques du larynx, à l'exception du muscle crico-thyroïdien et assure la sensibilité fruste de la cavité infraglottique.

IV. Conformation intérieure

La cavité du larynx communique avec celles du pharynx et de la trachée. Sa partie moyenne, la glotte se trouve rétrécie par la saillie des cordes vocales et la base des cartilages aryténoïdes. Elle sépare la région supra-glottique (le vestibule du larynx) de la cavité infra-glottique. La figure 13 présente une vue endoscopique de la cavité laryngée.

Figure 13 : Vue endoscopique de l'entrée du larynx

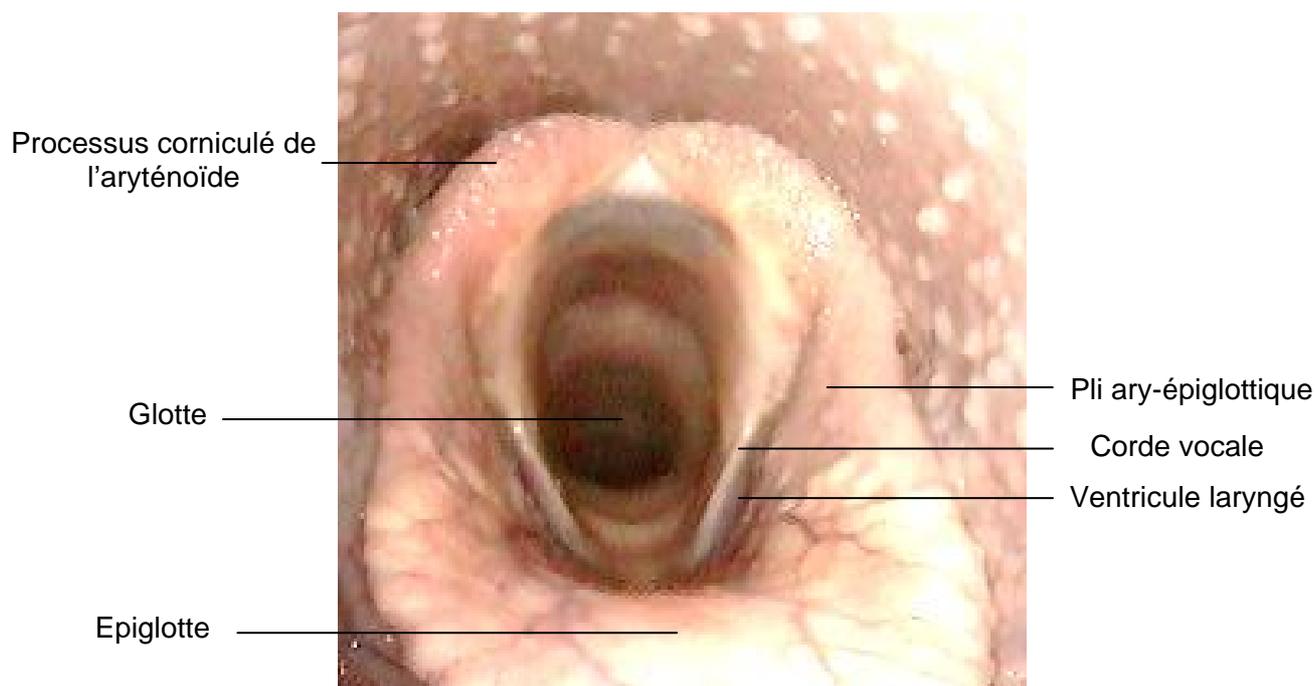


Photo A. Lechartier, Clinique équine ENVA

1. Vestibule du larynx

Le vestibule du larynx s'étend de l'épiglotte aux cartilages aryténoïdes et communique avec le pharynx par une large ouverture, l'entrée du larynx, qui reste toujours béante en dehors des déglutitions. Il est limité latéralement par les plis ary-épiglottiques. De chaque côté, la paroi du vestibule du larynx est soulevée par un court et large repli de muqueuse, le pli vestibulaire. Il renferme le ligament vestibulaire, doublé latéralement par le muscle ventriculaire.

Entre le pli vestibulaire et la corde vocale (figure 12), un orifice elliptique donne accès au ventricule du larynx. Ce diverticule, qui sépare le muscle vocal et le muscle ventriculaire, s'étend jusqu'à la lame du cartilage thyroïde. Au cours de la production de sons, les cordes vocales et les plis vestibulaires peuvent ainsi vibrer dans la cavité glottique.

Le vestibule du larynx compte un troisième récessus, le récessus médian du larynx, situé à la base de l'épiglotte (figure 12).

2. Glotte

La glotte est la partie rétrécie du larynx délimitée ventralement par les cordes vocales et dorsalement par la base des cartilages aryténoïdes. La fente de la glotte (*rima glottidis*), dont le grand axe est médian, peut être dilatée ou fermée par les mouvements de bascule des cartilages aryténoïdes et les déplacements des cordes vocales.

Chaque corde vocale est tendue entre la portion dorso-caudale du creux du cartilage thyroïde médialement, et le processus vocal du cartilage aryténoïde latéralement. Les cordes vocales sont formées par un pli de muqueuse épaisse soutenu par le ligament vocal et le muscle vocal.

3. Cavité infra-glottique

Large et relativement courte, la cavité infra-glottique s'étend de la fente de la glotte à la cavité trachéale. Elle est délimitée presque entièrement par le cartilage cricoïde et le ligament crico-thyroïdien, revêtus par la muqueuse.

CHAPITRE II : PHYSIOPATHOLOGIE LARYNGÉE

I. Rappels de physiologie laryngée

1. Les grandes fonctions du larynx

a) Régulation du passage de l'air dans les voies respiratoires

Si le cheval a une consommation d'oxygène au repos comparable à celle observée chez les autres mammifères ($VO_2 = 4,7$ ml/kg/min), cet athlète hors du commun peut la multiplier par 40 en atteignant un débit inspiratoire de 70 L/sec en situation d'effort maximal. Ces débits élevés sont associés à de fortes pressions et dépressions imposées principalement par le diaphragme. Ainsi, la pression mesurée expérimentalement dans la trachée d'un cheval sain en situation d'exercice maximal varie de -18 à -37 mm Hg lors de l'inspiration et de 6 à 20 mm Hg lors de l'expiration (Cheetham *et al.*, 2014).

Lorsqu'un flux d'air laminaire traverse le larynx avec une vitesse minimale, le flux d'air devient turbulent au niveau du rétrécissement constitué par la fente de la glotte et provoque un effet d'aspiration, induisant le collapsus des marges du rétrécissement. C'est l'effet Bernoulli. A des débits si élevés, l'écoulement de l'air dans le circuit géométriquement complexe que constituent les voies respiratoires supérieures du cheval se fait donc sous la forme d'un flux turbulent, et non laminaire. Néanmoins, en extrapolant la loi de Poiseuille (figure 14) sur les écoulements laminaires, la variation de pression dans le larynx est approximativement inversement proportionnelle au rayon de la fente de la glotte à la puissance 4 (Cheetham *et al.*, 2014).

Figure 14 : Loi de Poiseuille pour les écoulements laminaires

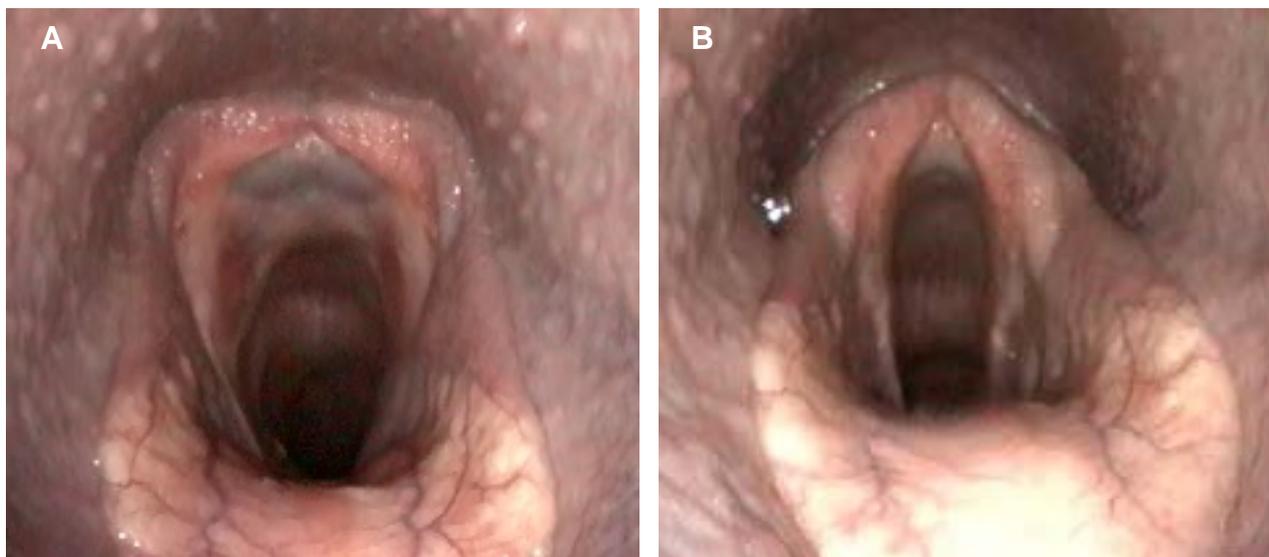
$$\Delta P = \frac{8\eta L}{\pi r^4} D$$

Où P est la pression, η la viscosité, L la longueur de la portion de conduit, r son rayon et D le débit.

Après les naseaux, le larynx constitue la seconde zone de résistance maximale au passage de l'air dans les voies respiratoires supérieures. Les variations du diamètre du larynx permettent ainsi la régulation du flux d'air dans les voies respiratoires.

Les muscles intrinsèques du larynx contrôlant la taille et la forme de la glotte régulent donc la résistance à l'écoulement de l'air, en association avec les mouvements actifs de l'épiglotte. Le squelette cartilagineux du larynx le protège d'un collapsus inspiratoire. La glotte joue le rôle d'une valve active. L'ouverture de la glotte est régulée par les mouvements des cartilages aryténoïdes et des cordes vocales (figure 15).

Figure 15 : Variation d'aspect de la glotte lors d'un cycle respiratoire chez un cheval sain au repos
A: abduction active des aryténoïdes lors de l'inspiration ;
B: retour à la position de repos lors de l'expiration
Photos A. Lechartier, Clinique équine ENVA



Au cours de l'inspiration, les muscles crico-aryténoïdiens dorsaux se contractent, provoquant l'abduction active des cartilages aryténoïdes et des cordes vocales. L'ouverture de la fente de la glotte permet de cette façon le passage de l'air vers l'appareil respiratoire profond, en réduisant la résistance. Chez le cheval sain, l'aire de section de la fente de la glotte est supérieure à celle de la trachée lorsque l'abduction des cartilages aryténoïdes est maximale. Le diamètre du larynx ne constitue alors plus un facteur susceptible de limiter l'écoulement de l'air (Cheetham *et al.*, 2014).

Lors de l'expiration, les muscles crico-aryténoïdiens dorsaux se relâchent, entraînant une adduction passive des aryténoïdes, permettant à la fente de la glotte de revenir à sa position de repos. L'adduction comporte également une composante active mineure, sous l'effet des muscles laryngés intrinsèques adducteurs.

b) Protection des voies respiratoires contre les corps étrangers

Lors de la déglutition, le larynx prévient l'aspiration de particules solides ou de liquide en obstruant les voies respiratoires inférieures (figure 16, figure 17) (Ivancich-Richer, 2002). La contraction des muscles thyro-hyoïdiens lors de la déglutition propulse le larynx rostralement. L'épiglotte bascule alors caudo-dorsalement par un mouvement passif, protégeant ainsi l'entrée du larynx. Cette fonction de valve, principalement due à la musculature laryngée extrinsèque, permet aux substances dégluties de transiter depuis l'oropharynx jusqu'à l'œsophage, via le laryngo-pharynx.

La contraction des muscles laryngés adducteurs, suite à la stimulation réflexe du nerf laryngé crânial, provoque la fermeture active complète de la glotte par étroite adduction des cartilages aryténoïdes et des cordes vocales.

Figure 16 : Changement de conformation du larynx entre la respiration et la déglutition, d'après Barone (1997) et Janicek et Ketzner, (2008)

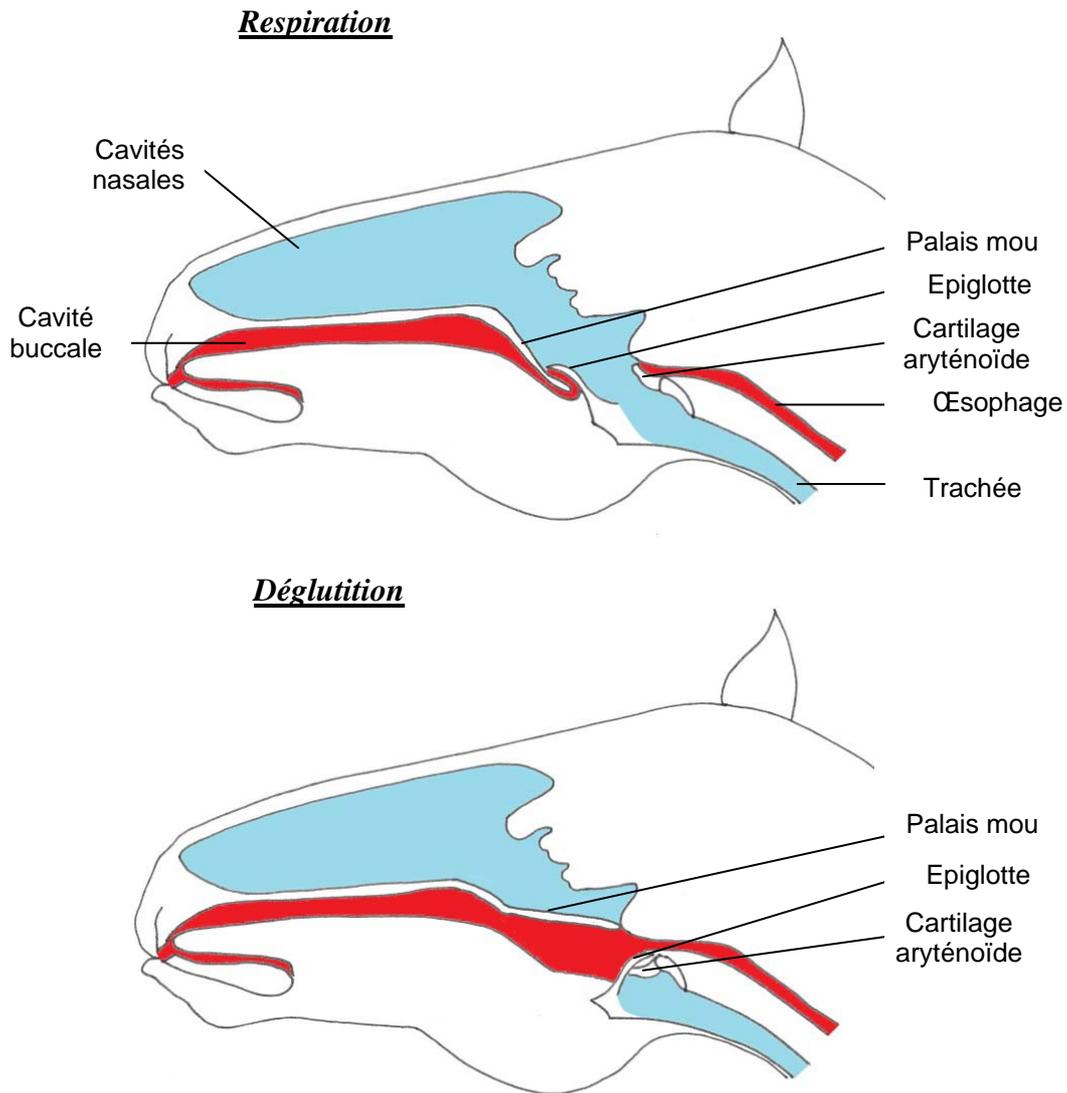


Figure 17 : Mécanisme de protection des voies respiratoires lors de la déglutition : Basculement de l'épiglotte (A) et adduction des aryténoïdes (B) puis réouverture du larynx (C)

Photos A. Lechartier, Clinique équine ENVA



c) Phonation

Les mouvements de l'air sur les cordes vocales et les plis vestibulaires qui entrent en vibration sont à l'origine de la phonation. L'émission vocale varie selon les changements de pression en partie infraglottique et selon la longueur et l'épaisseur des cordes vocales.

A l'inspiration, la corde vocale est tendue en même temps que la fente glottique est élargie, principalement sous l'action du muscle crico-aryténoïdien dorsal. A l'expiration, les cordes vocales se raccourcissent et la fente glottique se ferme. En plus de ces variations de longueur et de tension, les cordes vocales peuvent changer d'épaisseur sous l'action des muscles vocaux.

Cette troisième fonction du larynx a un intérêt sémiologique. La modification de la voix est l'un des premiers signes d'une altération de la fonction laryngée.

2. Contraintes et adaptations du larynx au passage de l'air

Chez le cheval, le palais mou très long empêche toute communication entre l'oropharynx et le nasopharynx. En temps normal, la respiration est donc exclusivement nasale et les voies respiratoires de cheval subissent des variations de pression de très grande amplitude. (Janicek et Ketzner, 2008)

a) Résistance au passage de l'air

La région laryngée est la deuxième zone à opposer la plus grande résistance au passage de l'air, après les naseaux. Cette résistance augmente lorsque la surface d'ouverture de la glotte diminue.

A l'effort, le cheval est capable de faire diminuer les résistances au passage de l'air dans ses voies respiratoires supérieures :

- par la dilatation des naseaux ;
- par la vasoconstriction des sinus vasculaires de la muqueuse nasale ;
- par la contraction des muscles du pharynx, qui rehausse le plafond du nasopharynx et abaisse le voile du palais, augmentant ainsi le diamètre de la lumière pharyngée ;
- par l'abduction des cartilages aryténoïdes du larynx.

Par ailleurs, lorsque les résistances augmentent drastiquement, le cheval y répond en diminuant sa fréquence respiratoire, en augmentant la pression motrice et en allongeant la phase inspiratoire. (Cheetham *et al.*, 2014)

b) Tendance au collapsus des tissus mous

Du fait de son architecture cartilagineuse, le larynx est rigide et peu affecté par les variations de pression. Néanmoins, les structures les plus compliantes, comme les cordes vocales ou les replis ary-épiglottiques sont sensibles au collapsus induit par les pressions négatives à l'inspiration. (Ivancich-Richer, 2002 ; Janicek et Ketzner, 2008)

En temps normal, la tendance des tissus mous au collapsus est contrebalancée par l'activité musculaire. Mais lorsque les muscles dilatateurs de la glotte perdent leur efficacité, dans un contexte de lésion neurologique par exemple, le collapsus est décompensé. Rappelons que l'écoulement de l'air dans le larynx étant turbulent, la pression y varie inversement proportionnellement au rayon à la puissance 4 (Janicek et Ketzner, 2008). Il en résulte un effet d'auto-aggravation en cas de collapsus puisqu'une diminution minime de la surface d'ouverture de la fente de la glotte peut s'accompagner d'une augmentation majeure de la pression négative inspiratoire et aggraver ainsi le collapsus.

A l'expiration, l'abduction des tissus est passive du fait de la pression positive qui règne dans les voies respiratoires (Janicek et Ketzner, 2008 ; Cheetham *et al.*, 2014).

II. Pathologie laryngée associée à une perturbation du flux d'air par défaut d'abduction des aryténoïdes

Les cartilages aryténoïdes participent à l'effet valve du larynx, responsable de la régulation du flux d'air dans les voies respiratoires. Leur abduction et leur adduction complètes sont actives, sous l'action des muscles intrinsèques, respectivement abducteurs et adducteurs du larynx et innervés par le nerf laryngé récurrent. (figure 18)

Figure 18 : Modulation de l'ouverture de la glotte par les cartilages aryténoïdes

A : abduction active B : position neutre C : adduction active

Photos A. Lechartier, Clinique équine ENVA



Un défaut d'adduction des aryténoïdes compromet la fonction de protection des voies profondes du larynx. Elle peut ainsi se traduire cliniquement par une toux en réaction à l'aspiration de contenu alimentaire (Ivancich-Richer, 2002).

Un défaut d'abduction des aryténoïdes entraîne, quant à lui, une altération de la fonction respiratoire à l'effort. En effet, l'ouverture de la glotte permise lorsque les aryténoïdes sont en position neutre est suffisante pour assurer un débit d'air satisfaisant au repos. A l'effort, en revanche, le cheval athlète a besoin d'exploiter ses capacités ventilatoires et de dilater sa glotte pour que le diamètre du larynx ne soit plus un élément limitant. C'est alors qu'une abduction déficiente des aryténoïdes peut engendrer une intolérance à l'effort et un bruit inspiratoire de cornage (Holcombe et Ducharme, 2004).

Un défaut de mobilité active des aryténoïdes, tel qu'on peut le mettre en évidence à l'endoscopie, peut traduire une mauvaise conformation ou une lésion de l'architecture cartilagineuse du larynx, une atteinte des muscles qui s'y insèrent ou une déficience de leur innervation motrice.

1. Défaut de mobilité des aryténoïdes d'origine cartilagineuse : malformation, inflammation et infection des cartilages

- a) Anomalie cartilagineuse d'origine congénitale : la dysplasie laryngée
(d'après Holcombe et Ducharme, 2004)

Certaines malformations congénitales des cartilages laryngés empêchent l'abduction d'un ou des deux cartilages aryténoïdes :

- L'absence de processus musculaire sur le cartilage aryténoïde prive les muscles crico-aryténoïdiens dorsal et latéral de leur site d'insertion sur l'aryténoïde, qu'ils ne peuvent donc tirer ni en abduction, ni en adduction complète ;
- Le déplacement vertical de la lame du cartilage thyroïde sur le processus musculaire du cartilage aryténoïde bloque le déplacement caudo-latéral du processus musculaire du cartilage aryténoïde et empêche ainsi son abduction.

Ces deux anomalies de conformation cartilagineuse sont congénitales et concernent plus fréquemment le côté droit, mais elles peuvent aussi être bilatérales ou affecter le côté gauche. On les retrouve surtout chez le pur-sang, race au sein de laquelle elles apparaissent dans le cadre d'un syndrome plus vaste : la défaillance du quatrième et/ou du sixième arc branchial. Cette anomalie congénitale peut provoquer de nombreuses malformations laryngées et pharyngées, la plus fréquente étant une déformation des ailes du cartilage thyroïde à l'origine d'une discontinuité entre le cartilage thyroïde et le cartilage cricoïde.

Cliniquement, les chevaux atteints sont généralement asymptomatiques au repos, mais sont susceptibles de présenter des signes d'intolérance à l'effort et un bruit inspiratoire de cornage, dont la sévérité est généralement corrélée à celle des malformations cartilagineuses. Ce bruit est semblable à celui entendu lors d'hémiplégie laryngée, mais il est généralement plus court et moins intense. Lors d'absence de processus musculaire sur le cartilage aryténoïde, le cheval peut également présenter de la toux en réaction à l'aspiration de corps étrangers de nature alimentaire. Secondairement à l'obstruction laryngée chronique à l'effort qu'elles provoquent, ces anomalies cartilagineuses peuvent se compliquer d'une chondrite des aryténoïdes et d'un déplacement rostral de l'arc palato-pharyngé.

b) Infection et inflammation des cartilages : la chondrite des aryténoïdes
(d'après Davenport-Goodall et Parente, 2003 ; Holcombe et Ducharme, 2004)

La chondrite des aryténoïdes apparaît suite à un traumatisme de la muqueuse d'un ou des deux cartilages aryténoïdes, à l'occasion d'un épisode de toux sévère ou d'une lésion iatrogène lors d'un sondage nasogastrique, d'un examen endoscopique par exemple. Un seul ou les deux cartilages aryténoïdes peuvent alors présenter des ulcérations de la muqueuse favorisant la colonisation bactérienne locale du cartilage, à l'origine d'une chondrite superficielle.

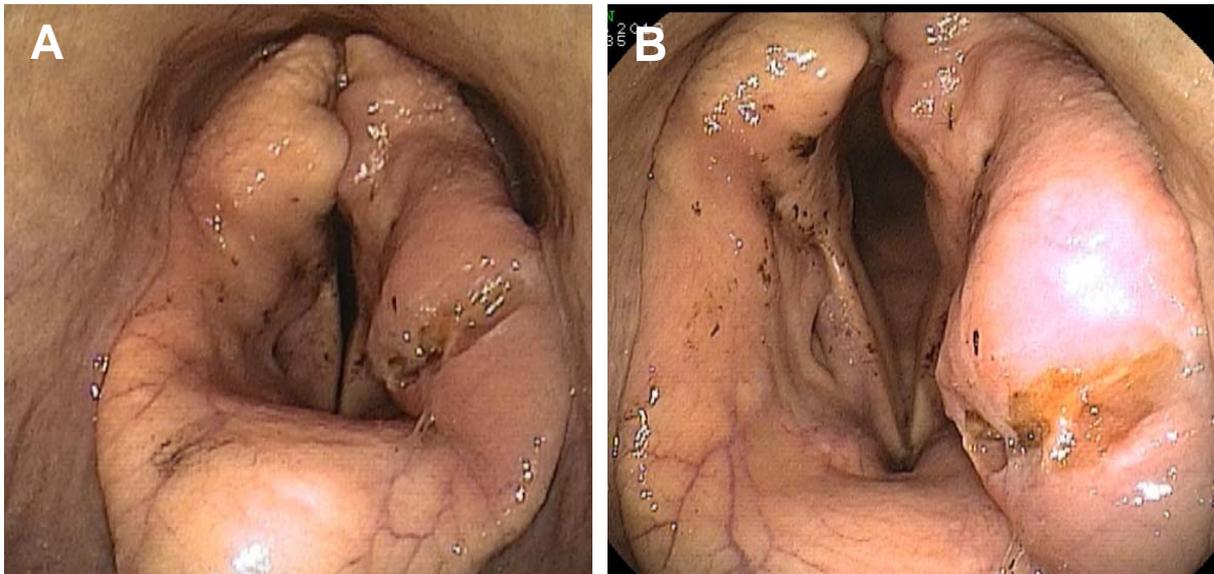
La chondrite superficielle entraîne la production de tissu de granulation susceptible de faire protrusion dans la fente de la glotte et d'entraîner une obstruction luminale statique durant l'inspiration et l'expiration.

Si l'infection atteint le corps du cartilage plus en profondeur, elle peut provoquer la formation d'un abcès à l'origine d'une déformation du cartilage aryténoïde et d'une altération de ses mouvements (figure 19). Il peut en résulter une obstruction dynamique de la fente de la glotte à l'inspiration.

Ces trois présentations cliniques de la chondrite des aryténoïdes (ulcération de la muqueuse, tissu de granulation intraluminal et abcédation avec déformation et perte de mobilité des cartilages) peuvent affecter un seul ou les deux cartilages aryténoïdes. Si les lésions ulcéратives de la muqueuse sont généralement asymptomatiques, la protrusion d'un tissu de granulation dans la fente de la glotte ou l'abcédation-déformation des aryténoïdes entraînent des signes cliniques d'intolérance à l'effort, voire de détresse respiratoire, ainsi qu'un bruit respiratoire de stridor très similaire à celui provoqué par l'hémiplégie laryngée récurrente. Les chevaux présentant une sévère obstruction de la fente de la glotte par un tissu de granulation, persistant au repos, sont également sujets aux fausses déglutitions et peuvent présenter de la toux et des signes de pneumonie par fausse déglutition.

Figure 19 : Déformation sévère des cartilages aryténoïdes chez un cheval atteint de chondrite des cartilages aryténoïdes (Porter, 2013)

A: conformation au repos B: conformation à l'inspiration forcée



2. Défaut de mobilité des aryténoïdes d'origine musculaire : paralysie périodique hyperkaliémique du Quarter Horse

(d'après Ivancich-Richer, 2002 ; Davenport-Goodall et Parente, 2003)

La paralysie périodique hyperkaliémique est une polymyopathie héréditaire, transmise selon un mode autosomique dominant, qui se manifeste essentiellement chez le Quarter Horse, l'Apaloosa et le Paint Horse. Cette maladie génétique provoque un dysfonctionnement des canaux sodiques de la membrane des cellules musculaires. Cliniquement, ce phénomène se traduit par des trémulations et des fasciculations musculaires. Après la phase d'excitation, la membrane musculaire devient aréactive et le muscle passe en état de paralysie flasque (Ivancich-Richer, 2002).

Chez les chevaux atteints, les muscles pharyngés et laryngés semblent être les plus sévèrement affectés (Davenport-Goodall et Parente, 2003). L'examen endoscopique peut mettre en évidence un collapsus pharyngé, un œdème pharyngé, une dislocation laryngo-palatine et une paralysie laryngée.

Les signes cliniques sont présents dès la naissance et les jeunes poulains meurent fréquemment de broncho-pneumonie par fausse déglutition. Les chevaux atteints de paralysie périodique hyperkaliémique présentent fréquemment un bruit de stridor associé à l'exercice, à l'excitation ou au stress ainsi que des épisodes de paralysie musculaire. Leur intolérance à l'effort les rend généralement inexploitable.

3. Défaut de mobilité des aryténoïdes d'origine neurologique : l'hémiplégie laryngée récurrente

(d'après Holcombe et Ducharme, 2004)

L'hémiplégie laryngée récurrente est une neuropathie périphérique caractérisée par une dégénérescence distale des axones myélinisés et par une atrophie neurogène des muscles intrinsèques du larynx innervés par le nerf laryngé récurrent.

Bien que décrite dès le seizième siècle (Dupuis Tricaud, 2011), l'hémiplégie laryngée fait encore l'objet de débats et controverses concernant son étiologie, son diagnostic et sa prise en charge.

Si des injections péri-vasculaires de substances caustiques, la présence de masses thoraciques, une exposition aux organophosphorés ou au plomb, une déficience en thiamine, une infection des poches gutturales ou une maladie du neurone moteur sont parfois incriminés, l'hémiplégie laryngée récurrente est la plupart du temps idiopathique. Les signes cliniques s'installent progressivement chez des chevaux dont la moyenne d'âge avoisine les 5 ans, presque toujours du côté gauche. Le sexe mâle et la race pur-sang semblent être prédisposés, et une origine génétique n'est pas exclue.

Le nerf laryngé récurrent innervant à la fois les muscles adducteurs et les abducteurs des cartilages aryténoïdes, ces deux ensembles de muscles sont touchés en cas d'hémiplégie laryngée récurrente. Cette affection peut donc s'exprimer à la fois par un défaut d'abduction et par un défaut d'adduction. Cliniquement, cela se traduit par un défaut de ventilation entraînant une intolérance à l'effort associée à un bruit inspiratoire de cornage pendant et après l'exercice, d'une part, et par une toux résultant des fausses déglutitions chroniques imputables au défaut d'adduction d'autre part. Le diagnostic de l'hémiplégie laryngée récurrente repose sur l'incapacité du cheval à réaliser une abduction complète et maintenue dans le temps des cartilages aryténoïdes à l'exercice.

Cependant, l'atrophie et les modifications histologiques (fibrose, infiltration graisseuse, désorganisation des fibres musculaires) affectent les adducteurs plus précocement que les abducteurs. Ainsi, à des stades précoces de la maladie, certains chevaux présentent uniquement un défaut d'adduction des cartilages aryténoïdes associé à une fonction abductrice normale.

Par ailleurs, de nombreux chevaux asymptomatiques présentent des lésions histologiques de dénervation des muscles laryngés. Cette atteinte subclinique et sa progression sont à ce jour encore mal comprises et l'évolution de l'hémiplégie laryngée semble très variable. Certains chevaux passent ainsi d'une fonction laryngée tout à fait normale (grade I) au grade le plus sévère de la maladie (grade IV) en 3 mois tandis que d'autres stagnent à un grade intermédiaire.

Les chevaux atteints d'hémiplégie laryngée récurrente présentent généralement une vocalisation anormale inhérente au défaut de tension d'une corde vocale.

CHAPITRE III : TECHNIQUES D'EXPLORATION DU LARYNX

Bruits respiratoires, dysphagie, toux, intolérance à l'effort... Nombreux sont les signes d'appel qui doivent faire envisager un examen approfondi du larynx chez le cheval. Cette partie se concentre sur l'examen des aryténoïdes.

I. Examen clinique du larynx

L'inspection visuelle du sillon jugulaire permet de rechercher d'éventuels signes de traumatisme, cicatrices ou déformations. Généralement, l'inspection visuelle est peu informative (Parente *et al.*, 2012).

La palpation du larynx, en revanche est une étape très informative lorsqu'on a acquis le tact nécessaire (Parente *et al.*, 2012).

La palpation permet de mettre en évidence une éventuelle asymétrie des masses musculaires du larynx, en particulier du muscle crico-aryténoïdien dorsal. Le clinicien stabilise la partie droite du larynx d'une main et palpe la partie gauche de l'autre main, puis inverse. Pour évaluer le degré d'asymétrie du larynx, il palpe le processus musculaire de l'aryténoïde, en position dorsale, de chaque côté. En cas d'atrophie du muscle crico-aryténoïdien dorsal, le processus musculaire de l'aryténoïde est plus proéminent du côté lésé que du côté sain (Holcombe et Ducharme, 2004, Parente *et al.*, 2012). Néanmoins, il arrive fréquemment de constater une asymétrie chez des chevaux présentant une fonction laryngée normale (Parente *et al.*, 2012).

A l'inverse, il arrive que le processus musculaire de l'aryténoïde gauche soit difficilement palpable en cas de chondrite du cartilage aryténoïde ou lorsque le cheval a subi une laryngoplastie. Dans ce dernier cas, le tissu cicatriciel peut recouvrir le processus musculaire. Un processus musculaire droit difficilement palpable évoque quant à lui une chondrite de l'aryténoïde droit ou une dysplasie laryngée par persistance du quatrième arc aortique (Parente *et al.*, 2012).

Cet examen clinique de base est souvent associé au test fonctionnel du réflexe thoraco-laryngé (slap test). Placé à gauche du cheval, le clinicien applique deux doigts de la main gauche en regard du cartilage aryténoïde droit et frappe la face gauche du garrot avec sa main droite. Il renouvelle ensuite cette opération de l'autre côté du cheval. Le test est positif lorsqu'il provoque une contraction des muscles adducteurs, que le clinicien perçoit par un sursaut du cartilage aryténoïde. L'absence de mouvement du cartilage aryténoïde est évocatrice d'une hémiplegie laryngée récurrente. Néanmoins, les résultats de ce test sont à interpréter avec précaution, car sa corrélation avec le fonctionnement laryngé est faible (Holcombe et Ducharme, 2004).

L'examen à l'exercice est intéressant pour évaluer la nature, l'intensité et les circonstances d'apparition d'un éventuel bruit respiratoire anormal. Cependant, un simple examen à la longe peut ne pas suffire à recréer les conditions d'apparition du bruit. L'idéal est donc d'examiner le cheval dans ses conditions habituelles d'exploitation (Ivancich-Richer, 2002).

L'hémiplegie laryngée récurrente se traduit généralement par un bruit rauque ou ronflement inspiratoire. En effet, l'obstruction est dynamique et se manifeste lorsque les pressions dans l'appareil respiratoire supérieur sont fortement négatives, ce qui entraîne un collapsus, des vibrations et donc l'apparition du bruit. Le bruit apparaît à partir d'une intensité d'exercice qui est fonction de la sévérité de l'atteinte, et persiste pendant la phase d'hyperventilation suivant l'effort (Ivancich-Richer, 2002).

Bien qu'absolument indispensable, l'examen clinique est rarement suffisant et il est quasi-systématiquement complété par une endoscopie des voies respiratoires supérieures.

II. Endoscopie des voies respiratoires supérieures

L'endoscopie du larynx est la technique la plus directe pour visualiser les mouvements des aryténoïdes. Le système de vidéo-endoscopie, qui comprend un endoscope, un processeur vidéo, une source de lumière et un moniteur vidéo, permet la visualisation sur écran en temps réel des séquences filmées par la caméra de l'endoscope. On utilise un endoscope souple de diamètre variant de 6 à 16 mm, muni d'un canal opérateur permettant l'introduction d'instruments (pinces à biopsie) et relié à une source de lumière ainsi qu'à un système d'irrigation et d'aspiration qui permet de garder un objectif propre pendant l'examen. Les images observées sont directes, c'est à dire que ce qui est observé à gauche se trouve à droite de l'animal (Ivancich-Richer, 2002).

Le cheval ne doit pas être tranquilisé pour cet examen car la sédation est susceptible de modifier la dynamique laryngo-pharyngée (Parente *et al.*, 2012). En revanche, l'utilisation du tord-nez est souvent nécessaire pour assurer la contention du cheval lors de l'introduction de l'endoscope.

1. Au repos

a) Technique

Le cheval est examiné debout, non tranquilisé, dans un endroit calme. Idéalement, il est placé dans un travail pour assurer une contention optimale. Une fois le tord-nez mis en place, l'endoscope est inséré dans le méat ventral d'une des deux cavités nasales, où l'opérateur le fait progresser rapidement jusqu'au pharynx afin de visualiser le larynx (Barakzai, 2007).

Une fois l'endoscope positionné de façon à visualiser les cartilages aryténoïdes dans leur ensemble, le larynx est observé dans diverses situations. On cherche à évaluer l'apparence générale et la dynamique des cartilages aryténoïdes au cours d'un cycle respiratoire normal au repos, après la déglutition et lors de l'occlusion des naseaux. On détermine ainsi si leurs mouvements sont symétriques et synchrones lors de la respiration au repos et si une abduction complète des deux aryténoïdes est obtenue immédiatement après une déglutition normale (Parente *et al.*, 2012).

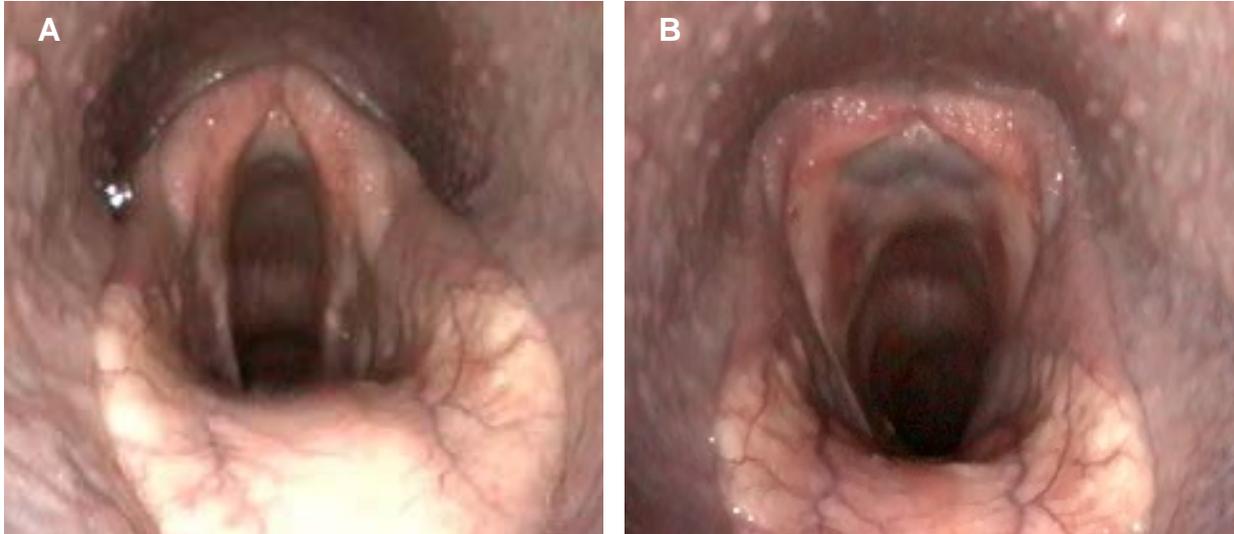
b) Images normales

Les deux processus corniculés des cartilages aryténoïdes sont symétriques, de couleur homogène, en forme de croissants. Médialement, ils sont séparés par la fente de la glotte, toujours partiellement ouverte. Au cours d'un cycle respiratoire normal au repos, les cartilages aryténoïdes sont symétriques, en semi-abduction passive. (Figure 20A). Immédiatement après la déglutition, on observe une abduction maximale, symétrique et synchrone des cartilages aryténoïdes (Figure 20B) sous l'action du muscle crico-aryténoïdien dorsal (Barakzai, 2007 ; Parente *et al.*, 2012).

Figure 20 : Visualisation par vidéo-endoscopie de la dynamique normale des cartilages aryténoïdes au repos ;

A : Position neutre B : Abduction complète des aryténoïdes suite à la déglutition

Photos A. Lechartier, Clinique équine ENVA



c) Images anormales

Les processus corniculés des cartilages aryténoïdes peuvent présenter des ulcérations, un œdème, des déformations ou des masses de tissu de granulation faisant protrusion dans la fente de la glotte. Ces signes peuvent être associés ou non à un déplacement rostral de l'arc palato-pharyngé ou à des écoulements purulents en provenance des cartilages aryténoïdes. Tous ces signes sont évocateurs d'une chondrite des aryténoïdes, dont l'endoscopie suffit généralement à établir le diagnostic (Parente *et al.*, 2012).

La dynamique des cartilages aryténoïdes peut également être modifiée. Toute altération des capacités d'abduction d'un cartilage aryténoïde par rapport à l'autre doit faire suspecter fortement une hémiparésie laryngée récurrente (Ivancich-Richer, 2002 ; Barakzai, 2007). Néanmoins, dans un contexte d'asymétrie ou d'asynchronisme des aryténoïdes au repos sans modification morphologique des cartilages, l'examen endoscopique au repos ne permet pas toujours de faire la différence entre une hémiparésie laryngée récurrente, une chondrite des aryténoïdes et une dysplasie laryngée (Parente *et al.*, 2012).

d) Evaluation du statut endoscopique du larynx au repos

Le statut endoscopique du larynx peut être qualifié par un grade de 1 à 4 en utilisant le système de gradation d'Havermeyer, présenté dans le tableau 1.

**Tableau 1 : Système de gradation du statut endoscopique au repos d'Havermeyer
(DIXON et al., 2003)**

Grade	Description	Sous-grade
I	Tous les mouvements des cartilages aryténoïdes sont synchrones et symétriques. L'abduction complète peut être atteinte et maintenue.	
II	Les mouvements des cartilages aryténoïdes sont asynchrones et/ou asymétriques par moments. L'abduction complète peut être atteinte et maintenue.	<p>II.1 Asynchronisme transitoire ou mouvements décalés des deux aryténoïdes</p> <p>II.2 Asymétrie le plus souvent due à une réduction de la mobilité du cartilage aryténoïde concerné et des cordes vocales. L'abduction complète peut être atteinte et maintenue ponctuellement.</p>
III	Les mouvements des cartilages aryténoïdes sont asynchrones et/ou asymétriques par moments. L'abduction complète ne peut pas être atteinte et maintenue.	<p>III.1 Asymétrie le plus souvent due à une réduction de la mobilité du cartilage aryténoïde concerné et des cordes vocales. L'abduction complète peut être atteinte ponctuellement mais ne peut pas être maintenue.</p> <p>III.2 Déficit d'abduction et asymétrie des cartilages aryténoïdes. L'abduction complète n'est jamais atteinte.</p> <p>III.3 Déficit marqué d'abduction. Asymétrie du larynx et petits mouvements du cartilage aryténoïde concerné. L'abduction complète n'est jamais atteinte.</p>
IV	Immobilité totale du cartilage aryténoïde et de la corde vocale du côté atteint.	

e) Limites de l'examen
(d'après Ivancich-Richer, 2002)

Le premier signe d'appel étant la contre-performance chez le cheval athlète, il est très fréquent de ne constater aucune anomalie au repos, où le cheval n'exploite qu'une infime partie de ses capacités ventilatoires. Il faut alors essayer de recréer les conditions de passage de l'air à l'exercice en réalisant l'occlusion des naseaux ou en renouvelant l'examen immédiatement après l'exercice. L'idéal est évidemment la réalisation d'une endoscopie à l'effort, qui reproduit les conditions réelles du passage de l'air dans les voies respiratoires supérieures à l'effort.

2. A l'effort

Les troubles de la circulation de l'air dans les voies respiratoires supérieures se manifestant essentiellement à l'effort, l'examen de référence pour évaluer la mécanique laryngo-pharyngée du cheval est l'endoscopie à l'effort (Parente *et al.*, 2012). Cet examen peut se réaliser grâce à un endoscope embarqué ou sur un tapis roulant à grande vitesse. Dans les deux cas, l'objectif est de recréer les conditions de survenue du trouble à investiguer. Le cheval doit donc être en plein travail. Sur un cheval mis au repos, cet examen perd en sensibilité car il est possible que le cheval ne parvienne pas au niveau d'exercice auquel apparaît le trouble (Parente *et al.*, 2012).

a) Technique

- **Tapis roulant à grande vitesse**

(d'après Ivancich-Richer, 2002 ; Parente *et al.*, 2012)

L'examen nécessite :

- **Un tapis roulant** pouvant atteindre une vitesse maximale de 14 m/s, et une inclinaison à 6° pour les galopeurs et à 3° pour les trotteurs. L'inclinaison permet de reproduire le même niveau d'effort que sur le plat avec une vitesse moindre. Des rails latéraux et des courroies avant et arrière permettent de maintenir l'animal en position ;
- **Un système de ventilation** pour permettre la thermorégulation par évaporation de la sueur ;
- **Un dispositif de monitoring cardiaque** permettant de mesurer la fréquence cardiaque en fonction de la vitesse afin de déterminer quand le cheval atteint son niveau d'effort maximal (il correspond à une fréquence d'environ 220 battements par minute) ;
- **Un vidéo-endoscope** et une **source lumineuse** de 300W minimum ;
- **Un tord-nez** pour la mise en place de l'endoscope ;
- **Deux personnes à la tête**, tenant chacune une longe d'un côté du cheval ;
- **Une personne à l'arrière**, stimulant le cheval avec un stick ;
- **Une personne contrôlant le tapis roulant** en fonction des images observées et de la fréquence cardiaque mesurée ;
- **Une personne guidant l'endoscope** durant l'examen.

Le cheval est équipé de protections (cloches aux quatre membres, guêtres aux antérieurs et protège-boulets aux postérieurs), d'un filet ou d'un licol, du dispositif de fixation de l'endoscope et d'un Holter.

Après une période d'apprentissage, le cheval est échauffé au pas, trot et galop sur 2 000 mètres puis il récupère au pas jusqu'à une fréquence cardiaque de 80 à 90 bpm. L'endoscope est alors mis en place. Sur tapis roulant, la vitesse est augmentée progressivement jusqu'à mettre le cheval dans les conditions d'un effort maximal. La détermination de l'effort maximal repose sur les observations du clinicien et sur l'évaluation de la fréquence cardiaque (Parente *et al.*, 2012).

Le protocole standard pour les pur-sangs de course est le suivant (Parente *et al.*, 2012) :

- Accélération jusqu'à la vitesse de 9 mètres par seconde (m/sec) ;
- Accélération sur 400 m jusqu'à 11 m/sec ;
- Accélération sur 400 m jusqu'à 12 m/sec ;
- Accélération sur 1600 m jusqu'à 14 m/sec ;
- Ralentissement sur 400 m jusqu'à 12 m/sec.

- **Endoscopie embarquée**
(d'après Parente *et al.*, 2012)

L'endoscopie embarquée permet d'examiner le cheval dans ses conditions d'exploitation habituelles (vitesse, flexion de la tête et de l'encolure, tension sur le mors,...) et donc de reproduire les conditions d'apparition du trouble investigué.

L'examen nécessite :

- **Un vidéo-endoscope sans fil, et son écran, connectés par un signal sans fil ;**
- **Un système permettant la fixation de l'endoscope** sur la tête du cheval et le support du boîtier sur le cheval (exemple : tapis de selle avec des poches) ;
- Les **conditions d'entraînement, voire de compétition, habituelles** du cheval.

Le cheval est équipé dans un endroit calme. L'endoscope est inséré dans le méat ventral d'une des deux cavités nasales et positionné dans le pharynx, à une distance permettant de visualiser l'épiglotte dans son ensemble.

Il est essentiel de placer le cheval dans des conditions identiques à celles qu'il rencontre en compétition.

b) Évaluation du statut endoscopique du larynx à l'effort

Le statut endoscopique du larynx peut être qualifié par un grade de A à C en utilisant le système de gradation d'Havermeyer, présenté dans le tableau 2.

Tableau 2 : Système de gradation du statut endoscopique à l'effort d'Havermeyer (DIXON *et al.*, 2003)

Grade	Description	
A	Abduction complète des cartilages aryténoïdes durant l'inspiration.	
B	Abduction partielle du cartilage aryténoïde gauche. (position intermédiaire entre l'abduction complète et la position de repos)	
C	Degré d'abduction inférieur à celui observé au repos. Collapsus du cartilage aryténoïde contre la partie controlatérale de la fente de la glotte pendant l'inspiration.	

Chez les chevaux de sport et de loisir, le diagnostic du collapsus pharyngé est plus aisé avec l'endoscopie embarquée que sur tapis roulant. Cela est probablement dû à la flexion de la nuque, qui ne peut pas être reproduite à l'examen sur tapis roulant. A l'inverse, il a été observé que chez les chevaux de course, le déplacement dorsal du voile du palais était plus facile à déclencher sur tapis roulant qu'à l'endoscopie embarquée, probablement car le niveau de fatigue atteint avec le tapis est supérieur à celui jusqu'auquel le jockey/driver pousse le cheval à l'entraînement. (Parente *et al.*, 2012)

c) Limites de l'examen

L'endoscopie à l'effort nécessite soit un tapis roulant à grande vitesse, soit un vidéo-endoscope à transmission de signal sans fil. Tous deux représentent un investissement important et sont encore peu disponibles sur le terrain. Par ailleurs, un examen endoscopique sur tapis roulant à grande vitesse nécessite au moins 5 opérateurs, le déplacement du cheval et un temps d'acclimatation plus ou moins long selon les chevaux (Parente *et al.*, 2012). C'est donc un test très coûteux pour le propriétaire.

III. Radiographie de la région laryngée

Si l'endoscopie à l'effort est indiscutablement la technique de référence pour évaluer la dynamique des voies respiratoires supérieures, la radiographie peut toutefois permettre la visualisation de certaines anomalies de conformation du larynx (Ivancich-Richer, 2002). Un cliché radiographique du larynx selon une incidence latérale permet de visualiser une hypoplasie épiglottique, des kystes sous-épiglottiques, un déplacement dorsal du voile du palais, une diminution du diamètre de la glotte, des minéralisations des cartilages laryngés, ou encore un processus inflammatoires (Parente *et al.*, 2012).

1. Technique

Pour visualiser le pharynx et le larynx, on réalise sur le cheval debout, généralement tranquilisé, un cliché d'incidence latérale, centré juste rostralement et dorsalement à l'angle de la mandibule. La tête doit être dans sa position naturelle, ni fléchie, ni étendue pour éviter des artefacts dus à la distorsion du pharynx (Parente *et al.*, 2012).

La tête doit être bien parallèle à la cassette pour éviter des distorsions artéfactuelles du palais mou et de l'épiglotte. Les constantes moyennes conseillées sont 80 kV et 12 Mas (Ivancich-Richer, 2002).

2. Lecture des images

L'air présent dans la lumière du tractus respiratoire supérieur offre un bon contraste pour les structures localisées dans le larynx. Ainsi, sur un cliché radiographique, on peut identifier l'épiglotte, les plis ary-épiglottiques, les processus corniculés des aryténoïdes, les ventricules latéraux et le corps du larynx. La taille normale de l'épiglotte mesurée de la base à l'apex est de 7,5 à 9,5 cm (Ivancich-Richer, 2002).

Toute altération structurale, spatiale de ces structures constitue un signe radiographique de maladie laryngée. On s'intéresse ici aux anomalies concernant les cartilages aryténoïdes.

La radiographie permet de mettre en évidence une diminution du diamètre de la glotte, une minéralisation des cartilages aryténoïdes, ou, plus rarement, une zone de densité aérienne anormale en regard des cartilages aryténoïdes. Ces signes radiographiques sont en faveur d'une inflammation voire d'une infection des cartilages aryténoïdes (chondrite des aryténoïdes). La minéralisation de certains cartilages laryngés, peut également être liée à l'âge et donc tout à fait physiologique (Parente *et al.*, 2012).

En revanche, l'hémiplégie laryngée récurrente étant un trouble dynamique d'origine neuromusculaire, elle n'est pas visible à la radiographie.

IV. Scanner de la tête

Le scanner présente l'avantage de réaliser des images en coupe, sans effet de superposition. Il apporte donc des informations plus précises que la radiographie, mais si son intérêt est indiscutable pour l'exploration des sinus, il est moindre pour celle du larynx, qui est constitué de tissus radio-transparents (cartilages, muscles) (Parente *et al.*, 2012).

V. IRM de la tête

L'imagerie par résonance magnétique est à ce jour la technique d'imagerie la plus informative pour l'exploration anatomique du larynx. Elle permet une excellente discrimination des tissus mous mais aussi des anomalies osseuses via l'obtention d'images en section de très haute résolution acquises dans les plans transverses, dorsaux et sagittaux. Cette excellente visualisation tridimensionnelle du larynx est très utile pour le diagnostic et le bilan préopératoire des dysplasies laryngées. Lors d'hémiplégie laryngée récurrente, l'asymétrie de la musculature laryngée intrinsèque apparaît sur les coupes transversales et dorsales. L'IRM est également très sensible dans la détection de foyers inflammatoires, puisqu'elle permet la différenciation des fluides selon leur densité (Parente *et al.*, 2012).

VI. Échographie de la région laryngée

Bien que considérée depuis longtemps comme un outil diagnostique déterminant de l'appareil respiratoire du cheval, l'échographie est principalement cantonnée, en routine, à l'exploration des poumons et de l'espace pleural. Récemment, Chalmers *et al.* (2006) ont décrit son utilisation pour l'examen des voies respiratoires supérieures comme un outil diagnostique très utile en complément de l'endoscopie. Parmi ses nombreux avantages, l'examen échographique du larynx permet, sur un cheval vigile, d'appréhender la structure et la fonction du larynx, tout en visualisant les parties extra-luminales du larynx, non accessibles à l'endoscopie. L'échographie est particulièrement utile pour l'évaluation de la structure tissulaire du larynx, ce qui la rend complémentaire de l'endoscopie, qui réduit l'évaluation de la fonction et de la structure laryngées à leur face luminale (Parente *et al.*, 2012).

1. Technique

Le cheval peut être tranquilisé de façon à ce qu'il tolère une extension de la nuque permettant l'accès au larynx. Néanmoins, chez la plupart des chevaux, la position naturelle de la tête dégage suffisamment l'accès au larynx (Parente *et al.*, 2012). Chalmers *et al.* (2006) conseillent l'utilisation d'une sonde linéaire de haute résolution (12.5MHz, 38mm) et d'une sonde micro-convexe de haute résolution (8.5MHz, 14mm) et recommandent l'usage d'alcool pour faciliter la pénétration des ondes ultrasonores à travers la peau.

Chalmers *et al.* (2006) ont décrit trois fenêtres ventrales et une fenêtre latérale pour l'évaluation échographique du larynx en routine. Ces fenêtres sont localisées sur la figure 21 et permettent l'évaluation des structures présentées dans le tableau 3.

Figure 21 : Localisation des quatre fenêtres acoustiques sur une vue ventrale de larynx, os hyoïde et trachée disséqués. (Chalmers et al., 2006).

**A : Fenêtre rostro-ventrale ; B : Fenêtre ventrale moyenne ;
C : Fenêtre caudo-ventrale ; D : Fenêtre latérale.**

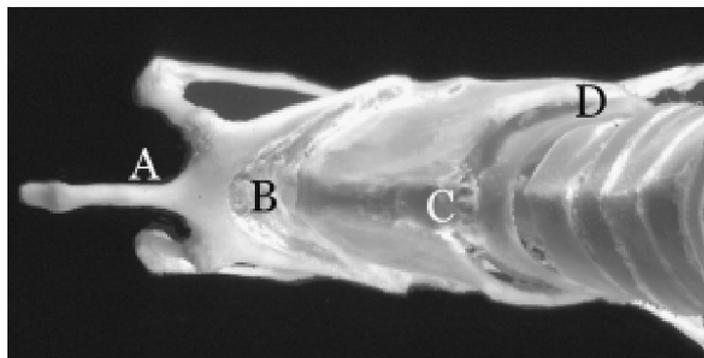
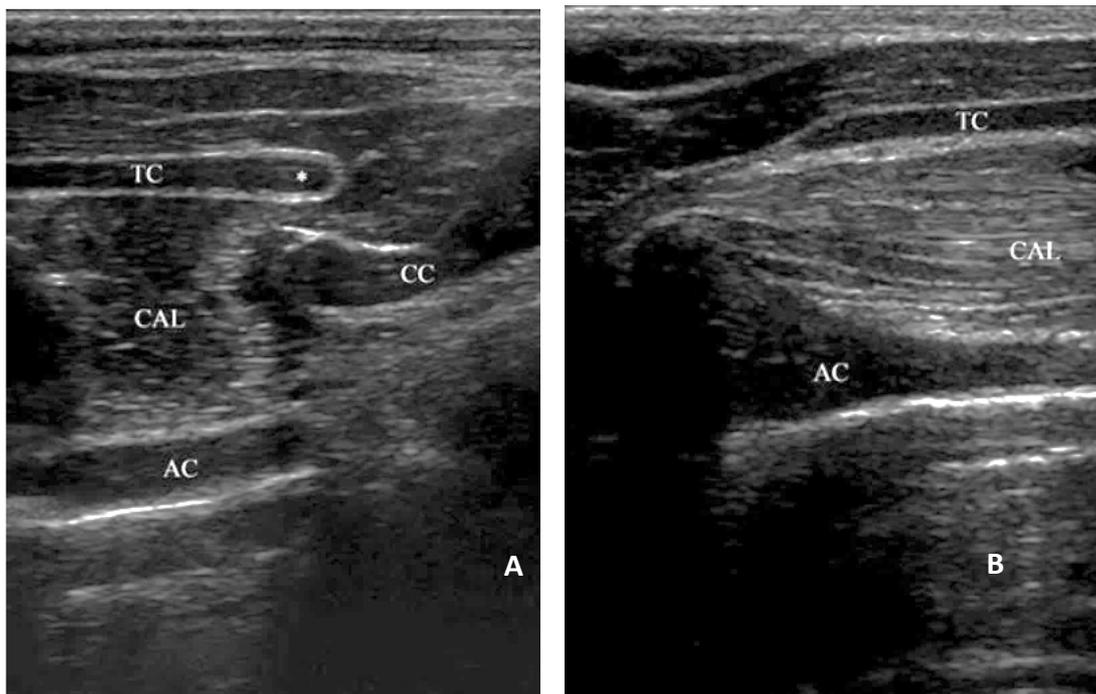


Tableau 3 : Description des fenêtres acoustiques d'exploration échographique du larynx, d'après Chalmers et al., 2006

Fenêtre acoustique	Points de repère anatomiques	Structures évaluées
A Rostro-ventrale	Os basihoïde	Os basihoïde, processus lingual inclus Base de la langue Os cératohyoïdes Nœuds lymphatiques mandibulaires
B Ventrale moyenne	Entre l'os basihoïde et le larynx	Base de l'os basihoïde Cartilage thyroïde Os thyro-hyoïdes Muscles thyro-hyoïdiens
C Cau-do-ventrale	Echancrure cricoïdienne	Cordes vocales Cartilage cricoïde (partie ventrale) Muscle crico-thyroïdien (partie ventrale) Premiers anneaux trachéaux
D Latérale	Faces latérales du larynx	Muscle crico-aryténoïdien latéral Cartilage aryténoïde (partie caudale) Cartilage cricoïde (partie latérale) Muscle crico-thyroïdien (partie latérale)

Pour ces quatre fenêtres acoustiques, les images peuvent être acquises dans le plan transversal et dans le plan longitudinal (Chalmers *et al.*, 2006 ; Garrett *et al.*, 2009). La fenêtre acoustique latérale permet l'obtention des images échographiques présentées sur la figure 22.

Figure 22 : Images échographiques acquises dans la fenêtre acoustique latérale, dans le plan longitudinal (A) et dans le plan transversal (B). TC : cartilage thyroïde ; CC : cartilage cricoïde ; AC : cartilage aryténoïde ; CAL : muscle crico-aryténoïdien latéral. (Garrett *et al.*, 2009).



2. Lecture des images

Bien que l'échographie laryngée n'ait pas encore été comparée à l'endoscopie embarquée, elle a déjà montré une bonne corrélation avec l'endoscopie à l'effort sur tapis roulant à grande vitesse pour le diagnostic de différentes affections des voies respiratoires supérieures que sont le déplacement dorsal du voile du palais, l'hémiplégie laryngée récurrente, le collapsus laryngé dynamique bilatéral, la chondrite des aryténoïdes et les masses et malformations laryngées (Parente *et al.*, 2012).

- **L'hémiplégie laryngée récurrente**

L'hémiplégie laryngée récurrente provoque chez le cheval une atrophie neurogène des muscles innervés par le nerf lésé, en particulier des muscles crico-aryténoïdien dorsal et latéral, entraînant une perte des mouvements actifs du cartilage aryténoïde (Parente *et al.*, 2012).

Si la présentation clinique de l'hémiplégie laryngée récurrente, à savoir le défaut d'abduction active du cartilage aryténoïde du côté de la lésion, est due à la perte de fonctionnalité du muscle crico-aryténoïdien dorsal (abducteur), Chalmers *et al.* (2012) ont montré que les modifications histologiques les plus précoces et les plus significatives concernaient le muscle crico-aryténoïdien latéral (adducteur).

L'échographie permet une exploration accessible et non invasive du tissu musculaire et de ses altérations histologiques, la fibrose et l'infiltration graisseuse se traduisant par une hyperéchogénicité et une perte de l'architecture fibrillaire des muscles (Pillen, 2010).

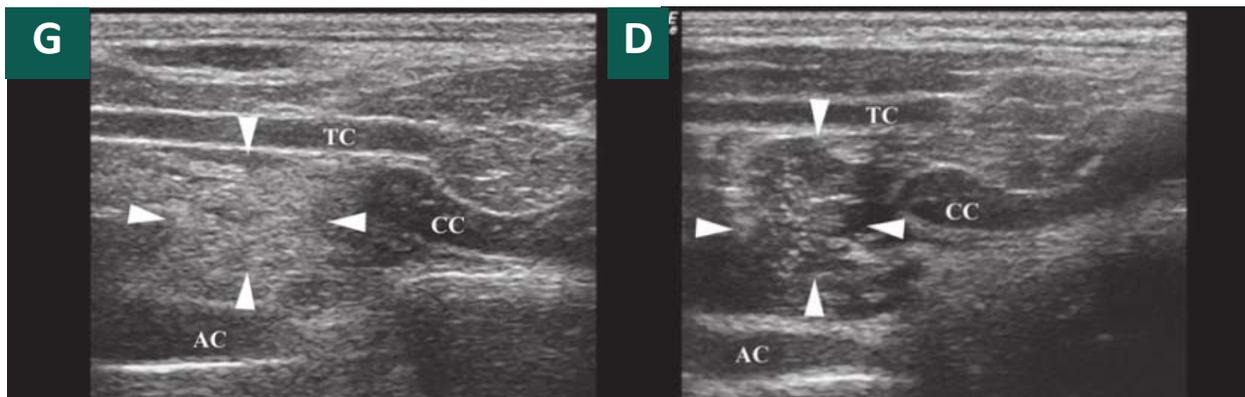
Dans leur étude de 2012, Chalmers *et al.* ont observé que la corrélation entre l'augmentation qualitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche (figure 23) et la détection d'un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'endoscopie à l'effort était excellente. Sur 154 chevaux contre-performants présentés pour une exploration des voies respiratoires supérieures, l'évaluation subjective de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche a permis de détecter les chevaux atteints d'hémiplégie laryngée récurrente avec une sensibilité de 94,59 % et

une spécificité de 94,54 %. Le test de référence était l'endoscopie à l'effort sur tapis roulant à grande vitesse.

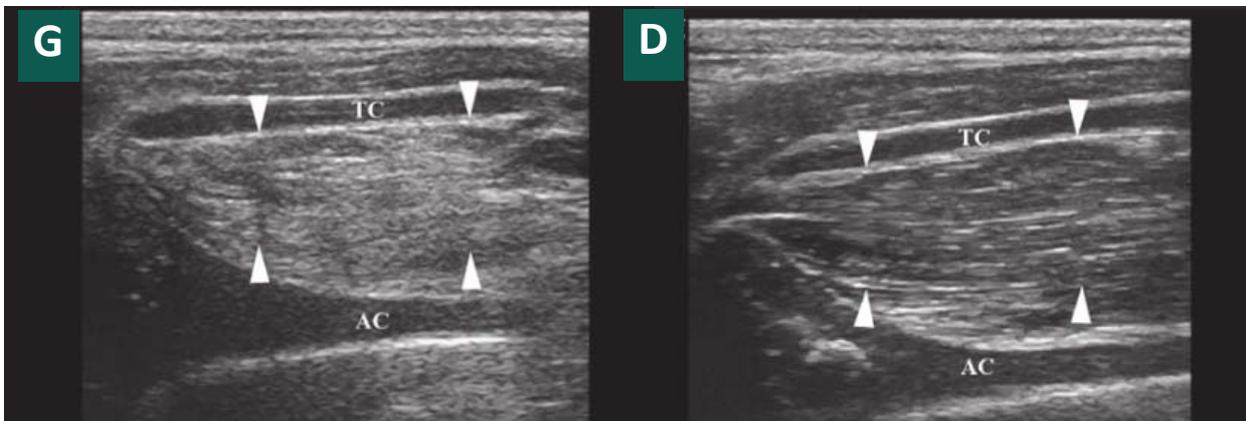
Une étude similaire menée en 2010 par Garrett *et al.* avait montré que l'hyperéchogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral était associée à des mouvements aryténoïdiens anormaux, et que l'évaluation subjective de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral permettait de diagnostiquer l'hémiplégie laryngée avec une sensibilité de 90 % et une spécificité de 98 % par rapport à l'endoscopie à l'effort sur tapis roulant à grande vitesse.

Figure 23 : Images échographiques acquises dans les fenêtres acoustiques latérales gauche (G) et droite (D) d'un cheval présentant une hémiplégie laryngée récurrente à gauche. (Garrett et al., 2010)

- Dans le plan longitudinal :



- Dans le plan transversal :



Sur ces images, apparaissent le cartilage thyroïde (TC), le cartilage aryténoïde (AC), le cartilage cricoïde (CC), et le muscle crico-aryténoïdien latéral (pointé par les flèches) hyperéchogène à gauche.

Dans leur étude de 2012, Chalmers *et al.* ont acquis sur 154 chevaux des images échographiques du muscle cricoaryténoïdien latéral en coupe transversale en utilisant la fenêtre acoustique latérale dans le plan longitudinal. Pour chaque cheval examiné, les paramètres de profondeur, gain général et compensation de gain étaient gardés constants durant tout l'examen. Néanmoins, d'un cheval à l'autre, le gain général et la compensation de gain étaient modifiés pour permettre une qualité optimale des images. Les images ainsi acquises ont été analysées qualitativement et quantitativement.

L'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral était qualifiée de normale lorsqu'il était :

- Iso-échogène par rapport au muscle thyro-hyoïdien ipsilatéral ;
- Iso-échogène par rapport au muscle crico-aryténoïdien latéral controlatéral ;
- D'architecture musculaire habituelle, avec des marges bien définies.

L'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral était considérée comme anormale lorsqu'il était :

- Hyper-échogène par rapport au muscle thyro-hyoïdien ipsilatéral ;
- Hyper-échogène par rapport au muscle crico-aryténoïdien latéral controlatéral ;
- D'architecture anormale pour un muscle, avec des marges mal définies.

Chalmers *et al.* ont également mesuré quantitativement l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral, toujours sur des images acquises dans le plan longitudinal. Sur chaque image, ils ont placé une région d'intérêt ovoïde d'une dimension de 42*42 pixels, au centre du muscle crico-aryténoïdien latéral, où ils ont analysé la répartition des niveaux de gris. Cette étude a montré une différence significative entre l'échogénicité des muscles cricoaryténoïdiens latéraux gauche et droit chez les chevaux de grade endoscopique à l'effort B ou C. Les chevaux de grade endoscopique à l'effort A ne présentaient pas de différence significative. Par ailleurs, une différence significative de la valeur absolue de l'échogénicité moyenne du muscle crico-aryténoïdien gauche a pu être observée entre les chevaux de grade A et les chevaux de grade C.

- **Chondrite des aryténoïdes**

(d'après Parente *et al.*, 2012)

La chondrite des aryténoïdes fait référence à de nombreuses anomalies cartilagineuses d'origine inflammatoire, infectieuse, traumatique ou idiopathique. Le degré d'atteinte des cartilages aryténoïdes est très variable et l'évaluation précise de la localisation et de la sévérité de la lésion sont des facteurs pronostiques et thérapeutiques déterminants. L'échographie est d'une grande utilité dans ce diagnostic car elle permet l'exploration de l'ensemble des cartilages aryténoïdes, y compris dans leur partie extra-luminale.

- **Dysplasie laryngée**

(d'après Parente *et al.*, 2012)

Rappelons que la dysplasie laryngée est essentiellement observée dans le cadre de la défaillance du quatrième et du sixième arc branchial. Cette anomalie congénitale peut provoquer de nombreuses malformations laryngées et pharyngées, la plus fréquente étant une déformation des ailes du cartilage thyroïde à l'origine d'une discontinuité entre le cartilage thyroïde et le cartilage cricoïde. La fenêtre acoustique latérale définie par Chalmers *et al.* en 2006 permet la visualisation des rapports entre les cartilages laryngés, et en particulier de l'espace séparant le cartilage cricoïde et le cartilage aryténoïde en cas d'absence de l'articulation crico-thyroïdienne.

3. Limites de l'examen

Les os (mandibule, appareil hyoïde) et minéralisations des cartilages laryngés et la présence de gaz dans la lumière des voies respiratoires constituent la principale limite à l'exploration échographique du larynx. En effet, les ondes ultrasonores entrant en contact avec une interface osseuse ou gazeuse sont absorbées ou réfléchies, ce qui empêche leur pénétration en profondeur et se traduit par la formation de cônes d'ombre. (Parente *et al.*, 2012)

Par ailleurs, la maîtrise de cette technique requiert une très bonne connaissance de l'anatomie complexe de la région laryngée.

VII. Bilan sur les techniques de diagnostic de l'hémiplégie laryngée chez le cheval

Rappelons que l'hémiplégie laryngée récurrente est associée aux signes cliniques et lésionnels suivant :

- Dégénérescence du nerf laryngé récurrent ;
- Dégénérescence des muscles laryngés, surtout CAL ;
- Défaut d'abduction des cartilages aryténoïdes ;
- Intolérance à l'effort par perturbation du flux d'air et bruit de cornage par vibration des cordes vocales.

L'intérêt diagnostique des examens présentés ci-dessus dépend de leur capacité à mettre en évidence ces signes cliniques et lésionnels ainsi que de la spécificité de ces signes vis-à-vis de l'hémiplégie laryngée récurrente. Le tableau 4 dresse le bilan de l'intérêt diagnostique de ces différents examens selon trois critères :

- L'aptitude de chaque examen à mettre en évidence un de ces signes clinique ou lésionnel ;
- La spécificité de chacun des signes mis en évidence vis-à-vis de l'hémiplégie laryngée récurrente ;
- La disponibilité de chacun de ces examens.

Certains examens présentés dans ce bilan n'ont pas été détaillés précédemment en raison de leur absence d'utilisation en pratique.

Tableau 4: Bilan des techniques de diagnostic de l'hémiplégie laryngée récurrente chez le cheval, d'après Parente et al., 2012

Signe spécifique de l'hémiplégie laryngée

Anomalie mise en évidence	Dégénérescence du nerf laryngé récurrent	Dégénérescence des muscles laryngés intrinsèques	Défaut d'abduction du cartilage aryénoïde à l'effort (dynamique)	Perturbation du flux d'air Intolérance à l'effort Bruit de cornage
Examens				
Anamnèse et examen clinique	-	+/- (Atrophie parfois détectable)	+/- (Parfois détectable au slap test)	+++ (Motif de consultation)
Radiographie de tête	-	-	-	-
Echographie de larynx au repos	-	+++	+	-
Endoscopie des VRS au repos	-	-	+	-
Endoscopie des VRS à l'effort	-	-	+++ (GOLD STANDARD)	-
Analyse des sons	-	-	-	+++ (Bruit de cornage)
Scanner de la région laryngée	-	+	-	-
Spirométrie	-	-	-	+++ (Perturbation du flux d'air)
IRM de la région laryngée	-	+++	-	-
Electrostimulation du nerf laryngé récurrent sous contrôle endoscopique	+	+++	+	-

Disponibilité de l'examen

DEUXIÈME PARTIE
MISE AU POINT D'UNE MÉTHODE QUANTITATIVE
D'ÉVALUATION ÉCHOGRAPHIQUE DE
L'HÉMIPLÉGIE LARYNGÉE CHEZ LE CHEVAL.
Étude expérimentale

Par sa disponibilité, son caractère peu invasif et son aptitude à détecter les altérations de la musculature intrinsèque du larynx, l'échographie laryngée s'impose comme un précieux outil dans le diagnostic de l'hémiplégie laryngée récurrente chez le cheval.

Chalmers *et al.* (2006) et Garrett *et al.* (2010) ont montré que le signe échographique le mieux corrélé à un défaut d'abduction des cartilages aryténoïdes à l'effort était l'hyperéchogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral. D'après ces auteurs, le muscle crico-aryténoïdien dorsal n'est que rarement visualisable dans des proportions suffisantes pour permettre l'interprétation de ses caractéristiques à l'échographie transcutanée du larynx.

Or, si l'augmentation subjective de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche a permis à Chalmers *et al.* (2012) de détecter les chevaux atteints d'hémiplégie laryngée récurrente avec une sensibilité de 94,59 % et une spécificité de 94,54 %, la seule étude à ce jour portant sur l'évaluation quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral n'a pas permis de révéler de différence significative de la valeur absolue de l'échogénicité moyenne du muscle crico-aryténoïdien gauche entre les chevaux de grade A et les chevaux de grade B (Chalmers *et al.*, 2012). Les auteurs ont également constaté une différence d'échogénicité significative entre les muscles crico-aryténoïdiens latéraux gauche et droit chez les chevaux de grade endoscopique B et C.

Par ailleurs, l'acquisition des images dans ces études était réalisée par un seul opérateur et, à notre connaissance, aucune étude évaluant la variabilité inter-opérateur et inter-examineur n'avait été présentée pour cet examen.

Nous avons voulu évaluer ces facteurs de variabilité tout en développant une méthode visant à minimiser leur impact.

Le but de cette étude a été la mise au point d'une méthode de gradation du statut échographique du larynx basée sur la quantification de l'échogénicité du muscle cricoaryténoïdien latéral gauche grâce à un protocole répétable. Pour cela, nous avons recherché un paramètre échographique combinant une bonne fiabilité de mesure (bonne concordance inter-opérateurs) et une bonne capacité de discrimination entre les chevaux cliniquement sains (grade endoscopique à l'effort A) et les chevaux présentant un défaut d'abduction laryngée à l'effort (grades endoscopiques à l'effort B ou C).

Une étude préliminaire nous a été nécessaire afin de définir le matériel et le protocole à mettre en place pour l'acquisition des images. Nous avons également cherché à visualiser le muscle crico-aryténoïdien dorsal à l'échographie.

Dans un second temps, nous avons mis au point une méthode d'analyse des images offrant une fiabilité de mesure maximale, notre critère étant la concordance inter-échographistes entre les mesures d'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral.

Les résultats quantitatifs obtenus avec ces protocoles d'acquisition et d'analyse des images échographiques ont ensuite été confrontés à ceux de l'endoscopie à l'effort afin de déterminer la capacité diagnostique de la méthode quantitative mise au point.

CHAPITRE I : ÉTUDE PRÉLIMINAIRE : DÉFINITION DU PROTOCOLE D'ACQUISITION DES IMAGES

Cette étude avait pour objet l'établissement d'un protocole standardisé d'examen échographique permettant l'acquisition d'images pertinentes pour l'évaluation de l'échogénicité des muscles cricoaryténoïdiens dorsal et latéral. Les images acquises par cette méthode devant être analysées quantitativement, le protocole d'examen doit maximiser la répétabilité intra-opérateur et la concordance inter-opérateurs.

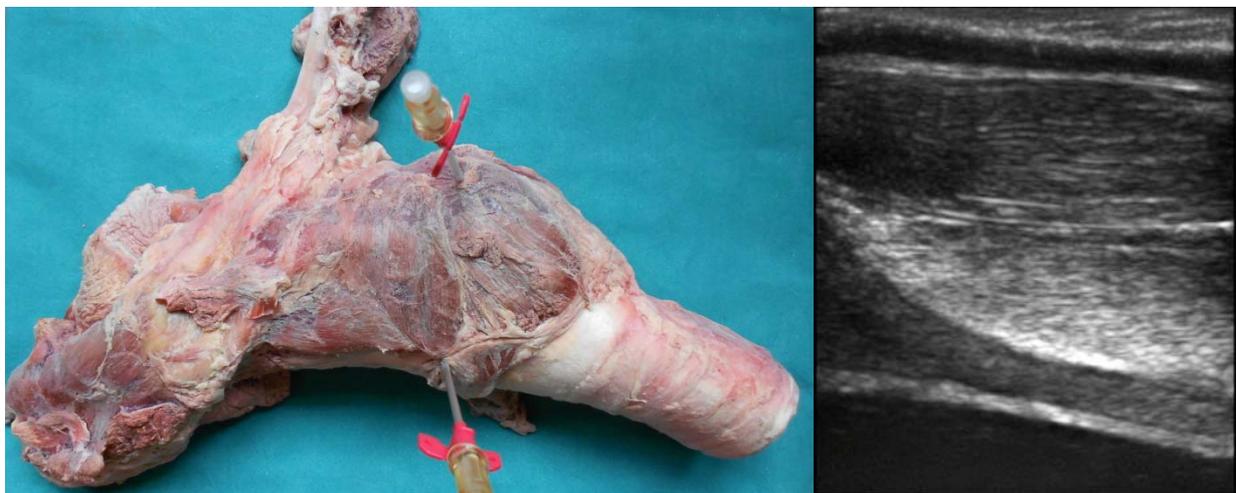
I. Matériels et méthodes

1. Réalisation de coupes anatomiques correspondant aux vues échographiques de référence sur larynx isolé

Sur un larynx isolé décongelé placé dans un bac d'eau, la fenêtre acoustique latérale est échographiée dans le plan transversal par un opérateur tandis qu'un assistant maintient le larynx en position physiologique dans l'eau. L'échographe utilisé, toujours un SONOSITE M-TURBO® est équipé d'une sonde linéaire de 7,5-13 MHz et de 2,5 cm (L25x®).

L'opérateur manipulant la sonde échographique fait varier la position et l'orientation de celle-ci jusqu'à obtenir l'image se rapprochant le plus de l'image de référence présentée par Garrett *et al.* (2010) pour la vue de la fenêtre acoustique latérale dans le plan transversal. Le plan de la sonde est alors repéré grâce à la mise en place de deux cathéters placés parallèlement à la sonde et alignés avec celle-ci. (cf figure 24)

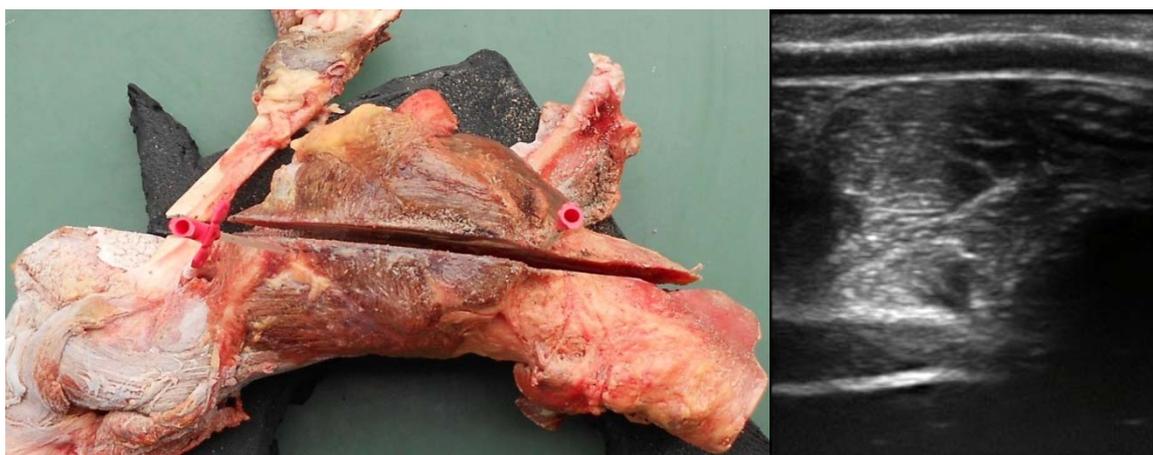
Figure 24 : Plan de positionnement de la sonde pour l'acquisition d'une image de la fenêtre latérale dans le plan transversal



Le larynx est ensuite fixé dans la position physiologique sur un support en mousse et placé une nuit au congélateur. Une fois congelé, il est coupé dans le plan défini par les cathéters.

La même manipulation est réalisée dans le plan longitudinal avec un autre larynx. (cf figure 25)

Figure 25 : Plan de positionnement de la sonde pour l'acquisition d'une image de la fenêtre latérale dans le plan longitudinal



2. Définition d'une méthode optimale d'examen sur quatre chevaux

a) Animaux

Quatre chevaux trotteurs français ont été examinés. Une jument de 8 ans utilisée depuis plusieurs années comme cheval de travaux pratiques à la clinique équine de l'ENVA, donc très manipulée, et trois hongres de 3 ans non débouffés et très peu manipulés.

b) Contention

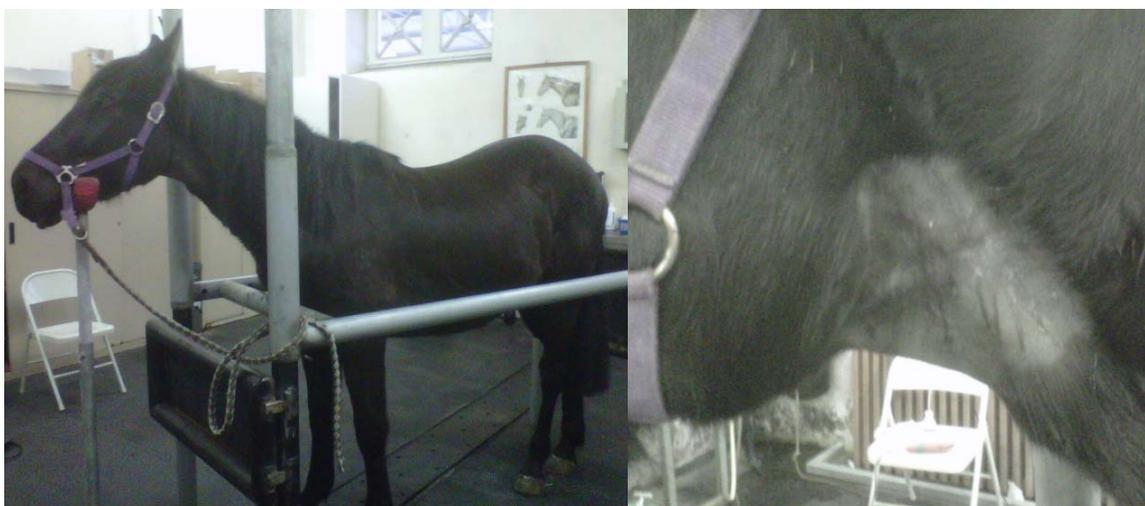
Pour l'examen, chacun des quatre chevaux a été placé dans un travail. Une personne tenait la tête en faisant varier le degré d'extension de la nuque. Un support repose-tête a également été utilisé. Il est présenté sur la figure 28.

Dans un premier temps, les chevaux étaient examinés vigiles. Lorsque cela était nécessaire, ils étaient tranquilisés avec 0,3 ml de détomidine (DETOGESIC®).

c) Préparation

L'examen étant réalisé en hiver, tous les chevaux ont été tondu en région laryngée. La peau était saturée d'alcool et de gel échographique. La zone de tonte est présentée sur la figure 26.

Figure 26 : Contention et préparation du cheval



d) Echographe et sondes

L'échographe utilisé est un SONOSITE M-TURBO®. Nous disposions de trois sondes à tester :

- une sonde linéaire de 7,5-13 MHz et de 2,5 cm de long (L25x®) ;
- une sonde linéaire de 13-16 MHz et de 4 cm de long (HFL38x®) ;
- une sonde micro-convexe de 5-8 MHz (C11x®).

Sur le premier cheval examiné, la jument de huit ans, les trois sondes ont été testées. Sur les trois hongres de trois ans, les deux sondes linéaires ont été utilisées.

L'objectif étant l'analyse quantitative de l'échogénicité des images, nous avons voulu fixer le gain général de l'échographe afin de permettre la comparaison des images. Le gain général se réinitialisant selon les paramètres par défaut à chaque allumage de l'appareil, il a été convenu de systématiquement redémarrer l'échographe au début de chaque examen et de tourner la vis sans fin réglant le gain général d'un angle de 180° dans le sens horaire avant l'acquisition de la première image.

Le mode musculaire de l'échographe SONOSITE M-TURBO® a été exclusivement utilisé. Au sein de ce mode, les paramètres de gain Profondeur, Général et Résolution ont été testés.

Différentes profondeurs ont été testées sur les quatre chevaux, afin de définir celle qui permettrait une visualisation optimale de l'ensemble des muscles crico-aryténoïdien latéral et vocal chez tous les chevaux.

e) Opérateurs

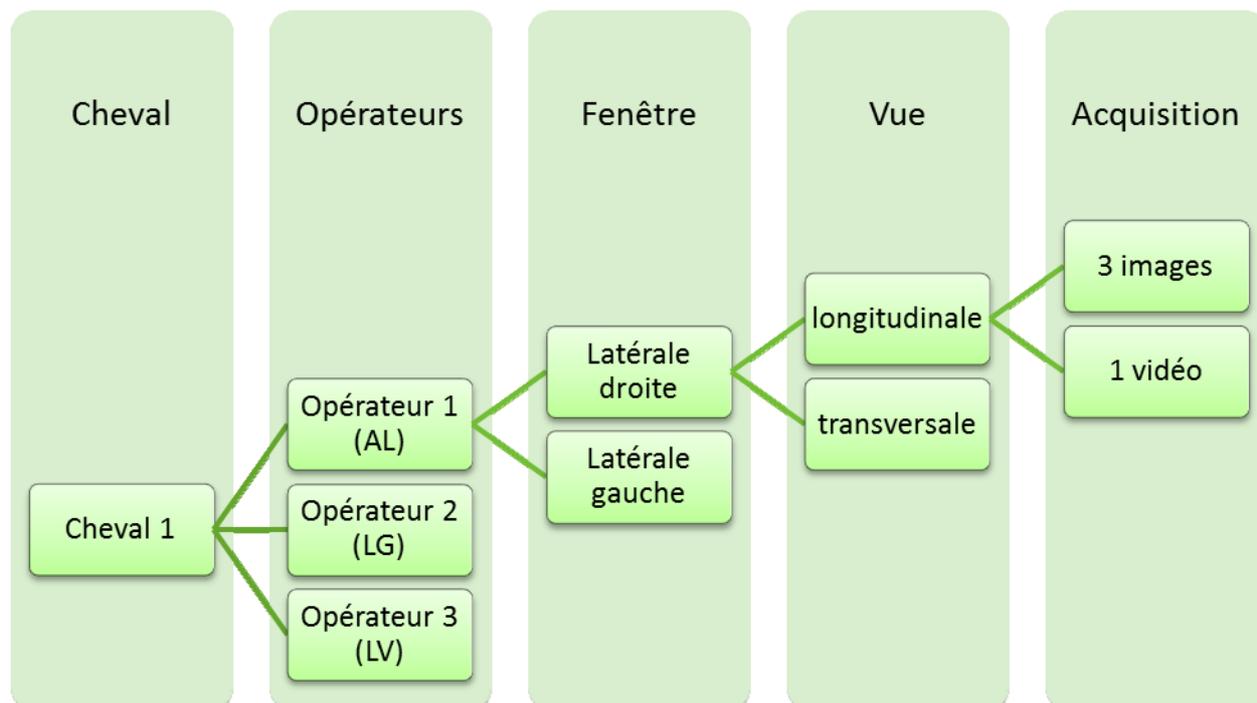
Trois opérateurs ont participé à cette étude. L'un était un vétérinaire résident en chirurgie, habitué à manipuler un échographe. Les deux autres étaient des étudiants vétérinaires novices. Chacun a réalisé l'acquisition des mêmes images sur chacun des trois hongres de 3 ans. Sur le premier cheval examiné, seul l'opérateur expérimenté a réalisé l'acquisition des images.

f) Acquisition des images

Sur le premier cheval examiné, l'opérateur expérimenté a utilisé les trois sondes décrites précédemment pour réaliser l'acquisition d'images de la fenêtre latérale en vue longitudinale et en vue transversale.

Les trois hongres ont chacun été soumis à trois examens échographiques, chaque examen étant réalisé par un opérateur différent. Pour chaque examen, l'opérateur réalisait trois images et une vidéo en vue longitudinale puis trois images et une vidéo en vue transversale de la fenêtre latérale, à droite puis à gauche. Avant chaque vidéo, les naseaux du cheval étaient obstrués par l'opérateur tenant la tête, afin d'enregistrer les mouvements des cartilages aryténoïdes lorsque les mouvements ventilatoires sont amplifiés, sur trois cycles respiratoires. Entre l'acquisition de deux images, l'échographiste décollait systématiquement la sonde de la peau du cheval. La figure 27 récapitule les images et vidéos acquises pour chaque cheval.

Figure 27 : Bilan des images et vidéos acquises sur chacun des trois hongres



II. Résultats

1. Identification des structures visibles à l'échographie

La réalisation de coupes transversale et longitudinale du larynx selon les plans de coupe définis par les images échographiques de référence a permis d'obtenir les pièces présentées sur les figures 28 et 29.

La vue longitudinale permet de visualiser les muscles crico-aryténoïdien latéral et vocal en coupe transversale tandis que la vue transversale permet de les visualiser en coupe longitudinale.

L'échographie du larynx par la fenêtre acoustique latérale permet donc de visualiser les muscles crico-aryténoïdiens latéraux et les muscles vocaux, entourés par les cartilages thyroïde, cricoïde et aryténoïde. En revanche, le muscle crico-aryténoïdien dorsal n'est pas visible chez tous les chevaux sur ces vues.

Figure 28 : Correspondance entre coupe anatomique et image échographique de la fenêtre latérale en vue longitudinale

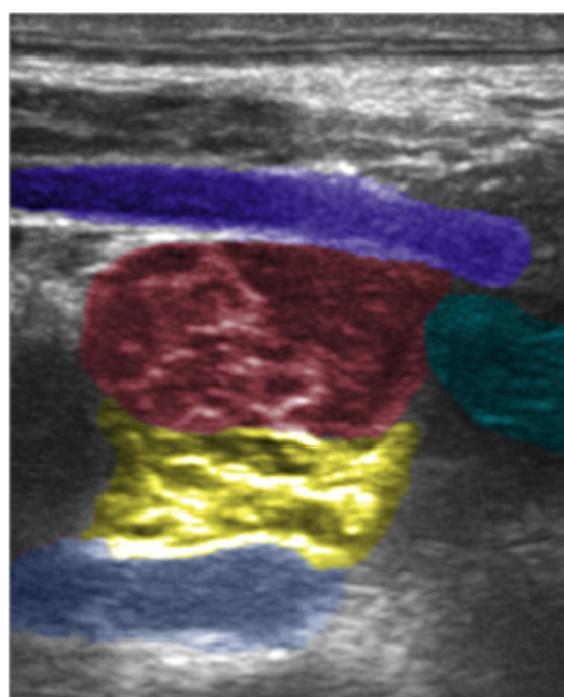
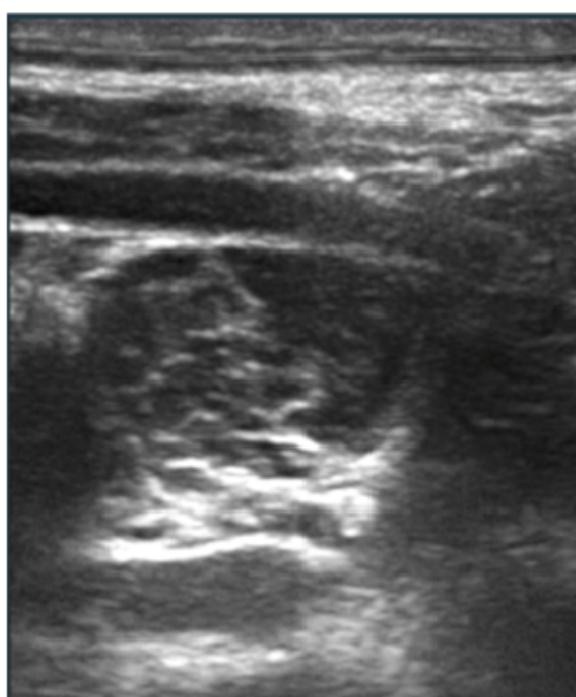
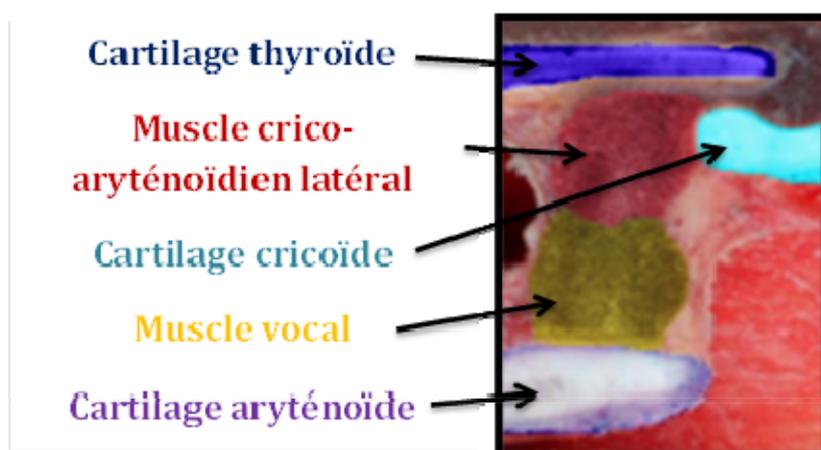
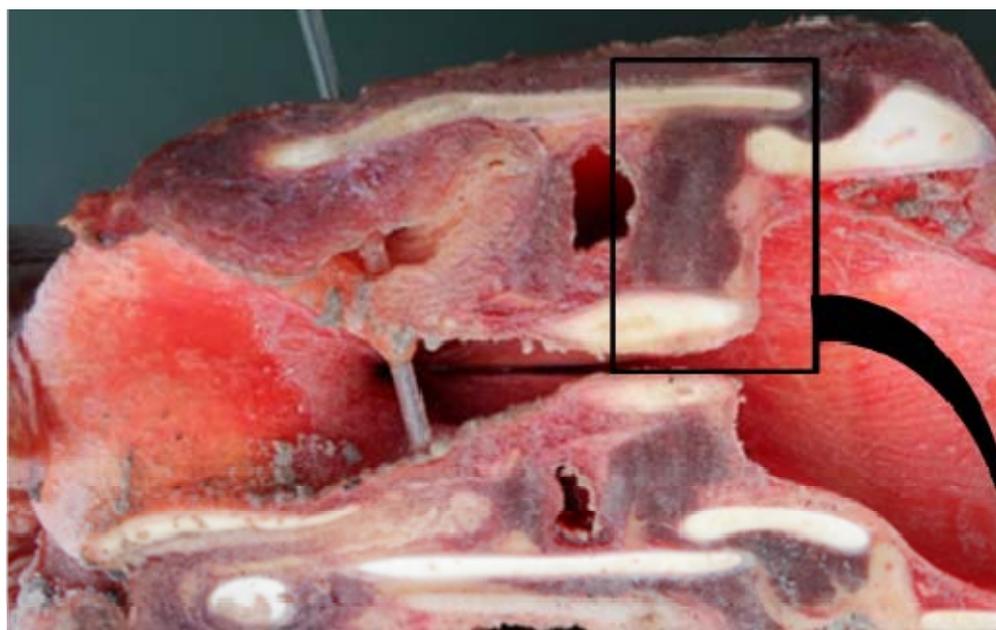
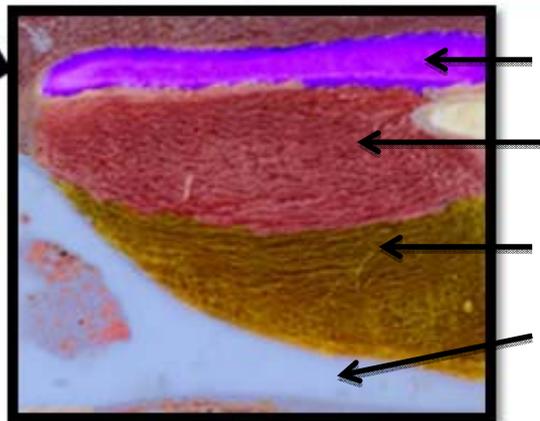
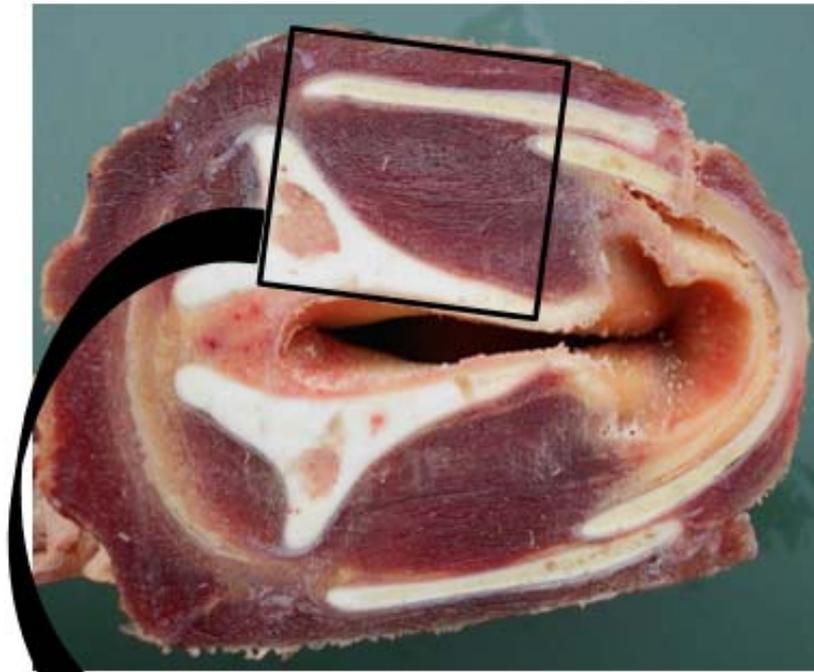
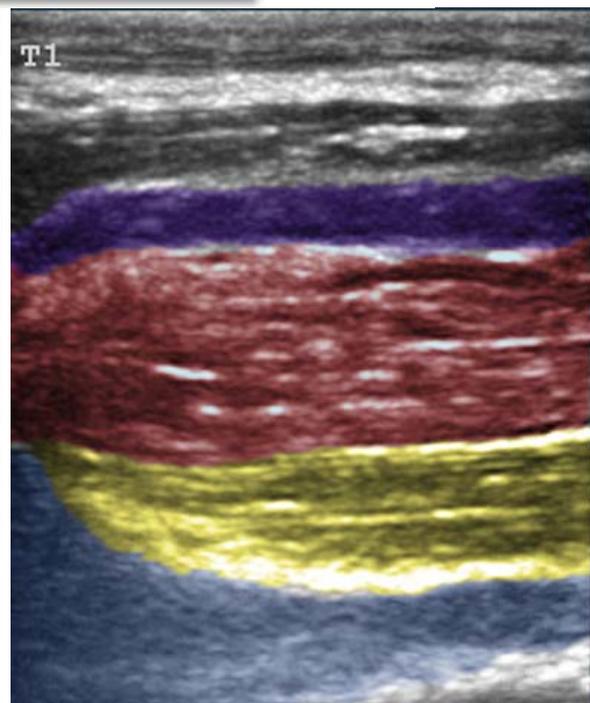
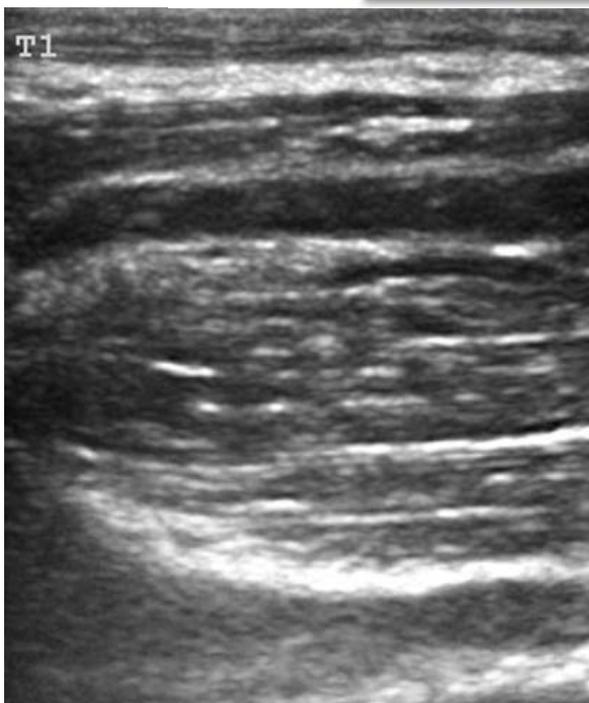


Figure 29 : Correspondance entre coupe anatomique et image échographique de la fenêtre latérale en vue transversale



Cartilage thyroïde
Muscle crico-aryténoïdien latéral
Muscle vocal
Cartilage aryténoïde

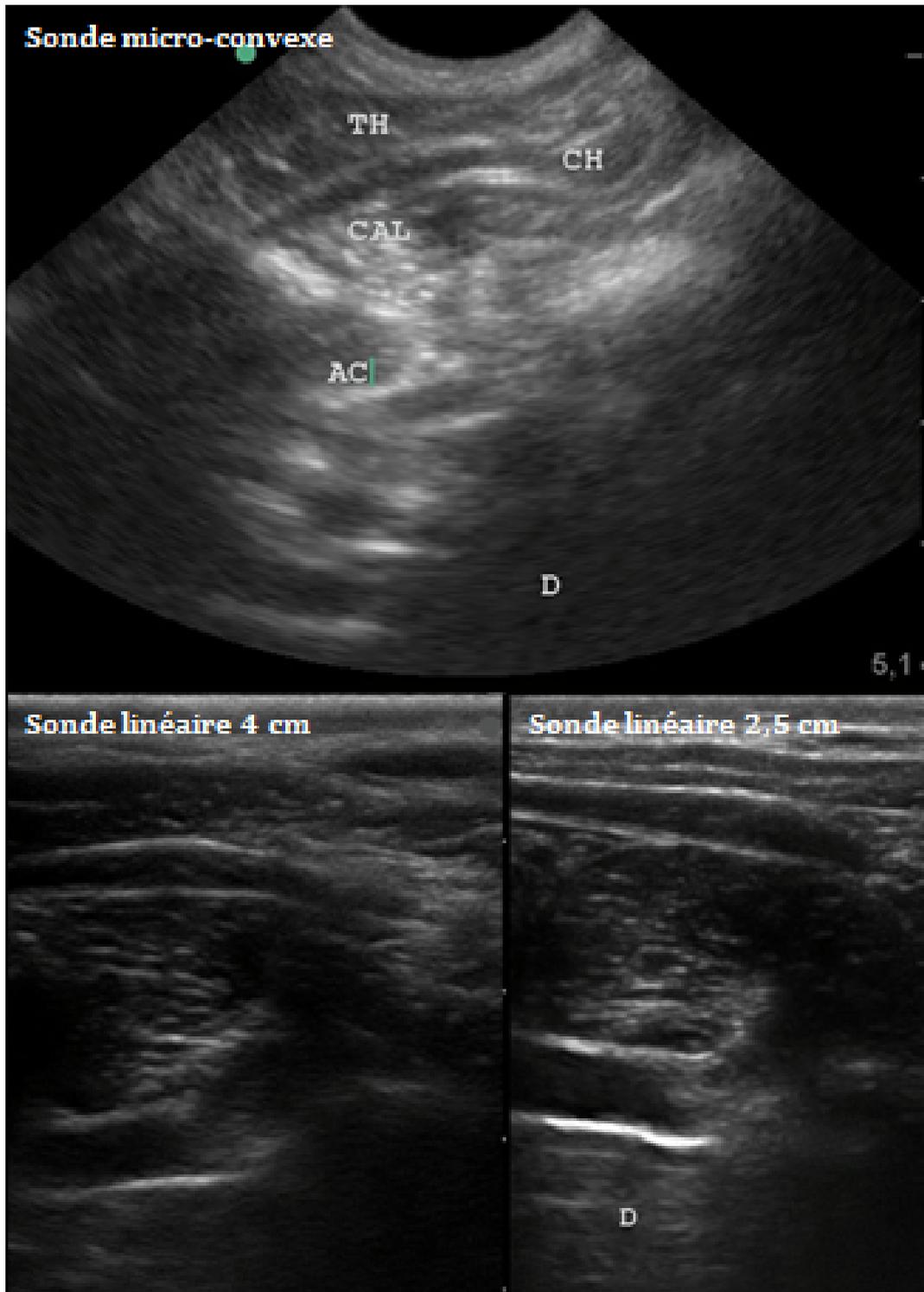


2. Choix de la sonde et paramétrage de l'échographe

a) Choix de la sonde

Sur le premier cheval échographié, les trois sondes testées ont permis de visualiser le muscle crico-aryténoïdien latéral. Les images obtenues avec les trois sondes sont présentées sur la figure 30.

Figure 30 : Images de la fenêtre acoustique latérale en vue longitudinale acquises sur le premier cheval examiné (jument de travaux pratiques de 8 ans)



La sonde micro-convexe donnait une image moins nette et difficilement exploitable en raison de la déformation inhérente à la convexité de la sonde et de la basse fréquence d'acquisition. Les images acquises avec les sondes linéaires donnaient des images non déformées et mieux définies, les sondes utilisées fonctionnant à plus haute fréquence.

La sonde linéaire longue donnait les images les plus informatives grâce à sa haute fréquence d'acquisition et à la longueur de la fenêtre ainsi explorée, mais son positionnement sous la mandibule était parfois délicat, et a nécessité de tranquilliser la jument, pourtant choisie pour sa grande tolérance aux manipulations.

Sur les trois jeunes chevaux, la sonde linéaire longue était très mal tolérée, c'est pourquoi la sonde linéaire courte a finalement été retenue.

b) Paramétrage de l'échographe

Les paramètres du gain définis sous les modes *Profondeur*, *Résolution* et *Général* ont été testés. Le mode *Profondeur* permettait une meilleure définition des structures les plus profondes tandis que le mode *Résolution* améliorait nettement la qualité de l'image en zone superficielle, au détriment des structures plus profondes. Les structures d'intérêt étant localisées au milieu de l'image, le mode *Général* a été préféré.

La profondeur minimale permettant de visualiser les muscles crico-aryténoïdien latéral et vocal dans leur intégralité était 31mm.

3. Préparation de la peau

Pour un gain général fixé, et sur chevaux tondus, l'échogénicité générale des images était très variable d'un cheval à l'autre, selon que le gel échographique était utilisé seul ou avec de l'alcool, et selon le temps écoulé entre la première application d'alcool et de gel et l'acquisition des images. Ainsi, les images étaient toujours globalement plus échogènes en fin d'examen.

4. Tranquillisation et positionnement de la tête

Le tableau 5 présente, pour chacun des trois hongres de 3 ans examinés, la durée d'examen et la sédation mise en place.

Tableau 5: Durée d'examen et protocole de tranquillisation des chevaux

Cheval	Durée d'examen	Tranquillisation
Visa	2h	0,5 mL de DETOGESIC® (0,3 mL + 0,2 mL)
Voyage	1h40	0,6 mL de DETOGESIC® (0,3 mL + 0,2 mL + 0,1 mL)
Vapriccio	2h	1,1 mL de DETOGESIC® (0,3 mL + 0,5 mL + 0,3 mL) 0,3 mL de TORBUGESIC®

Le support de tête était très mal toléré par les jeunes chevaux, qui refusaient de s'y appuyer ou s'affaissaient sur un côté lorsque la tranquillisation était à son pic d'efficacité. La tête placée en position plus neutre, et soutenue par un opérateur permettait aux chevaux de davantage stabiliser leur tête.

5. Acquisition des images et vidéos

L'examen défini sur la figure 27, soit l'acquisition de 36 images et 12 vidéos pour chaque cheval a pris environ deux heures par cheval.

Les images étaient assez homogènes, et leur acquisition était assez aisée, contrairement aux vidéos, pour lesquelles il était difficile de garder le cheval immobile durant trois cycles respiratoires complets, et après lui avoir obstrué les naseaux.

La grande hétérogénéité des vidéos obtenues, et l'incapacité à obstruer les naseaux d'un des chevaux a nettement compromis l'exploitation de ces séquences.

Par ailleurs, un cheval présentait des minéralisations dans la lame du cartilage thyroïde, à l'origine d'un artefact de cône d'ombre masquant partiellement les muscles crico-aryténoïdiens latéraux droit et gauche.

III. Discussion

1. Bilan : choix du protocole d'examen

Le protocole adopté doit assurer une qualité optimale des images à analyser, tout en étant réalisable rapidement et dans de bonnes conditions de sécurité.

La fenêtre latérale ne permettant de visualiser le muscle crico-aryténoïdien dorsal que de façon inconstante, on se concentre sur le muscle crico-aryténoïdien latéral, décrit comme plus informatif dans la littérature, que l'on centre sur les images en vue longitudinale et transversale.

Les chevaux sont placés dans un travail, et tranquilisés avec 0,5 mL de DETOGESIC®. Selon la coopération des chevaux, des injections de 0,2 à 0,3 mL de DETOGESIC® pourront être répétées. Une personne soutient la tête du cheval en ouvrant légèrement l'angle entre la tête et l'encolure pendant l'examen.

La zone d'examen est systématiquement tondue et aussitôt saturée d'alcool. La zone est couverte de gel échographique des deux côtés avant de commencer l'examen.

L'échographe SONOSITE M-TURBO équipé d'une sonde linéaire de 2,5 cm de long est redémarré avant chaque examen. Au démarrage, il est réglé en mode musculaire et le gain est paramétré en mode *Général*, la vis sans fin réglant le gain général étant tournée de 180° dans le sens horaire.

Chaque cheval est examiné successivement par chaque opérateur. Chaque opérateur réalise, sur chaque cheval, l'acquisition de trois images en vue longitudinale puis de trois images en vue transversale dans la fenêtre acoustique latérale droite, puis dans la fenêtre latérale gauche.

2. Limites de ce protocole

En considérant les paramètres intrinsèques de l'échographe comme contrôlés, l'échogénicité globale de l'image, et donc des muscles crico-aryténoïdien latéral et vocal, dépend d'une part de l'orientation de la sonde par le manipulateur et d'autre part de la perméabilité de la peau et des structures situées superficiellement à la région d'intérêt.

La principale limite technique de ce protocole est le biais inhérent à la pénétration des ultrasons au travers de la peau, la perméabilité de la peau aux ultrasons dépendant de sa nature et de sa préparation. En effet, si l'application d'alcool et de gel échographique sur la zone à explorer améliore instantanément le contact entre la sonde et la peau en chassant l'air, on constate que

l'image s'améliore progressivement durant les premières minutes d'examen. Ce délai d'imprégnation cutanée par le gel échographique, bien connu des opérateurs expérimentés et probablement secondaire à une hydratation supérieure de la peau obtenue au cours de l'examen, est également décrit par Guérin et Coquel (2009) pour l'échographie transcutanée chez la femme enceinte.

Pour cette raison, on veillera à attendre quelques minutes entre la première application de gel échographique et l'acquisition de la première image.

Par ailleurs, les éventuelles minéralisations du cartilage thyroïde décrites par Chalmers *et al.* (2006) et retrouvées sur un de nos quatre chevaux altèrent l'échogénicité des structures plus profondes, dont on veut mesurer l'échogénicité dans cette étude. Le développement de la technique d'analyse des images doit permettre de limiter l'impact de ces artéfacts dans la quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral.

Chapitre II : Mise au point d'une méthode quantitative d'évaluation de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral chez le cheval

L'évaluation subjective de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien par un opérateur unique a montré une très bonne concordance avec l'examen endoscopique à l'effort, examen de référence pour le diagnostic de l'hémiplégie laryngée récurrente (Garrett *et al.*, 2010 ; Chalmers *et al.*, 2012).

L'absence de critères objectifs et d'études de concordance inter-opérateurs pour cet examen a motivé la mise au point d'une méthode quantitative d'évaluation de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral chez le cheval.

Notre hypothèse était que l'on pouvait mettre au point un protocole d'acquisition et de traitement des images échographiques du larynx permettant une bonne concordance inter-opérateurs. Dans cette étude, nous avons comparé différentes méthodes de quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral, l'objectif étant de définir les paramètres dont la valeur chiffrée était la plus concordante entre deux échographistes. A titre de comparaison, les images acquises ont également été analysées selon la méthode de lecture semi-quantitative définie d'après Chalmers *et al.*, 2012.

I. Matériels et méthode

1. Cahier des charges

La méthode devait répondre au cahier des charges suivant :

Elle devait permettre de quantifier l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral, c'est-à-dire de déduire d'une aire correspondant au muscle crico-aryténoïdien latéral sur les images échographiques acquises, une valeur chiffrée représentant l'échogénicité moyenne de la zone évaluée.

Cette valeur chiffrée devait refléter au mieux les caractéristiques intrinsèques du muscle. La valeur d'échogénicité obtenue devait donc être soumise au moins de variations artéfactuelles possibles. Cela impliquait d'une part de limiter l'impact des artéfacts liés à l'acquisition des images, et d'autre part de veiller à n'introduire aucun biais lors du traitement des images. Le critère retenu pour évaluer la fiabilité des différents protocoles d'analyse d'images testés était la concordance inter-opérateurs. Chaque cheval ayant été examiné indépendamment par deux échographistes, la valeur d'échogénicité obtenue à partir des images d'un échographiste était confrontée à celle obtenue à partir des images de l'autre échographiste.

Pour minimiser l'impact des variations d'échogénicité artéfactuelles liées à l'acquisition des images, nous nous sommes intéressés à l'échogénicité relative du muscle crico-aryténoïdien latéral par rapport à une autre structure présente sur la même fenêtre en introduisant un ratio d'échogénicité. Nous avons donc évalué puis comparé entre eux le paramètre « valeur d'échogénicité absolue » et le paramètre « valeur d'échogénicité relative ».

Le mode de sélection des aires à analyser sur les images échographiques devait permettre l'exploitation d'un maximum d'informations relatives au muscle crico-aryténoïdien latéral tout en éliminant les artéfacts. Nous avons donc testé différents modes de sélection des aires à analyser, que nous appellerons par la suite régions d'intérêt.

Enfin, les régions d'intérêt devaient être de dimension identique d'une image à l'autre et d'une structure à l'autre, lorsque l'on souhaitait calculer un ratio d'échogénicité entre deux structures présentes sur une même image.

2. Chevaux

Vingt chevaux ont été recrutés pour cette étude à l'occasion d'un examen endoscopique des voies respiratoires supérieures (tableau 6).

Cinq chevaux présentant un grade endoscopique I, selon le système de gradation du statut endoscopique au repos d'Havermeyer (Dixon *et al.*, 2003) ont été retenus comme chevaux sains. D'après l'étude menée par Garrett *et al.* en 2010, nous avons considéré qu'aucun des chevaux présentant un grade I au repos ne souffrait d'un défaut d'abduction laryngée à l'effort.

Parmi les chevaux présentant un grade endoscopique de III au repos, référés par des confrères et examinés à l'effort sur tapis roulant, dix chevaux ont été recrutés, dont cinq souffraient d'un défaut d'abduction laryngée à l'effort (grade B ou C) tandis que les cinq autres ont maintenu une abduction complète pendant la durée de l'examen (grade A).

Enfin, cinq chevaux de grade IV au repos ont également été recrutés.

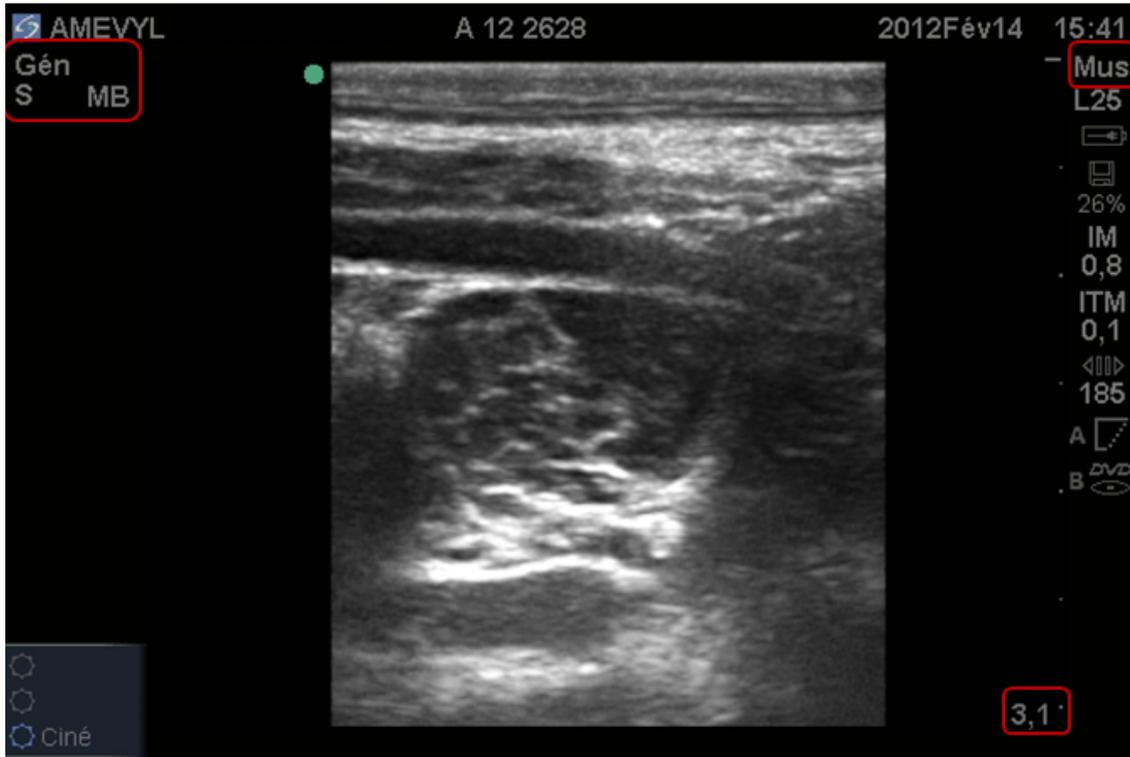
Tableau 6 : Recrutement des chevaux de l'étude

Grade endoscopique au repos	Grade endoscopique à l'effort	Nom	Race	Age (années)
I	(A)	AMEVYL	TF	2
		VOYAGE	TF	3
		VIBRATO	TF	3
		ULEX	TF	4
		VAPRICCIO	TF	3
III	A	VIRIEU	AQPS	4
		STORMY	PS	4
		SUPERFICIEL	PS	4
		RISK TOO	SF	4
		VODKA	PS	4
	B ou C	ASTON FOX	PS	9
		JUNKIE	PS	10
		SONATE	PS	7
		SNICKERS	PS	10
		REDDY	PS	4
IV	(C)	UNCRACK	SF	4
		SIRE	SF	6
		TIBO	PS	NC
		LORING	AQPS	8
		KING	PS	3

3. Matériels

L'échographe, un SONOSITE M-TURBO®, connecté à une sonde linéaire de 2,5 cm, 7,5-13 MHz était réglé en mode musculaire, général et à une profondeur de 3,1 cm (figure 31). Le gain général était fixé grâce à un marqueur sur le bouton de commande.

Figure 31 : Paramétrage de l'échographe



Pour chaque examen échographique, l'ensemble des images au format JPEG était exporté via une clé USB de l'échographe vers un ordinateur équipé du programme EchoQuant, développé sous le logiciel Matlab® par l'Unité de Biomécanique du Cheval pour la documentation des lésions tendineuses chez le cheval. Le programme EchoQuant permet la quantification de l'échogénicité d'une région d'intérêt présente sur une image échographique en fournissant pour cette zone la matrice de répartition des pixels par niveaux de gris.

4. Méthode

a) Opérateurs

Deux opérateurs ont réalisé indépendamment l'ensemble du protocole d'examen échographique du larynx défini au chapitre précédent sur chacun des vingt chevaux. L'un (AL) était un vétérinaire résident en chirurgie, habitué à manipuler un échographe tandis que l'autre (LV) était une étudiante vétérinaire novice. Les deux opérateurs se sont formés à la technique d'échographie du larynx lors de l'étude préliminaire décrite dans le chapitre précédent.

Un seul des deux opérateurs (LV) a réalisé le traitement informatique de l'ensemble des images acquises, après s'être familiarisé avec le programme EchoQuant sur des images issues de l'étude préliminaire.

b) Acquisition des images

• **Contention et préparation des chevaux**

Pour chaque examen, le cheval était placé dans un travail, et tranquilisé avec 0,5mL de DETOGESIC®. Selon la coopération des chevaux, des injections de 0,2 à 0,3mL de DETOGESIC® pouvaient être réitérées. La tête était soutenue à environ un mètre du sol par un support de tête ou, lorsque le cheval refusait de s'y appuyer, par une personne. L'angle entre la tête et l'encolure étant légèrement ouvert, comme sur la figure 32.

Figure 32 : Contention du cheval et positionnement de la sonde



La zone d'examen était systématiquement tondu et aussitôt saturée à l'alcool. La zone était couverte de gel échographique des deux côtés avant de commencer l'examen.

• **Paramétrage de l'échographe**

L'échographe SONOSITE M-TURBO équipé d'une sonde linéaire de 2,5 cm de long et d'une fréquence de 7,5-13 MHz était redémarré avant chaque examen. Avant le démarrage, la vis sans fin réglant le gain général était tournée de façon à placer le marqueur à midi. Au démarrage, l'échographe était réglé en mode musculaire et le gain était paramétré en mode Général, la vis sans fin réglant le gain général étant tournée de 180° dans le sens horaire, jusqu'à 6 heures. Le gain différentiel était réglé selon les paramètres par défaut, les vis sans fin correspondantes étant laissées dans leur position de démarrage.

• **Réalisation pratique de l'examen échographique**

Chaque cheval était examiné successivement par chacun des deux opérateurs. Chaque opérateur réalisait, dans cet ordre, l'acquisition de :

- 3 images en vue longitudinale dans la fenêtre acoustique latérale droite ;
- 3 images en vue transversale dans la fenêtre acoustique latérale droite ;
- 3 images en vue longitudinale dans la fenêtre acoustique latérale gauche ;
- 3 images en vue transversale dans la fenêtre acoustique latérale gauche.

c) Traitement des images

Les images obtenues étaient classées en dossiers, chaque dossier correspondant au bilan d'un cheval par un opérateur, soit douze images.

- **Analyse semi-quantitative**

Pour les quarante dossiers ainsi obtenus, l'identité du cheval et celle de l'échographiste étaient masquées afin de permettre une lecture des images en aveugle. Un lecteur, LV, a analysé l'ensemble des quarante dossiers selon la grille de notation présentée dans le tableau 7. Cette grille repose sur des critères d'architecture et d'échogénicité définis d'après Chalmers *et al.*, 2012.

Tableau 7 : Grille d'évaluation du muscle crico-aryténoïdien latéral selon la méthode semi-quantitative

Fenêtre acoustique	Latérale gauche		Latérale droite	
	AL	LV	AL	LV
Echographiste				
Architecture du CAL 0 : régulière 1 : quelques vacuoles 2 : absence de trame musculaire				
Echogénicité du CAL par rapport au muscle vocal 0 : hypoéchogène 1 : isoéchogène 2 : hyperéchogène				
Moyenne				

Cette méthode permettait d'attribuer à chaque cheval une note moyenne comprise entre 0 et 2, pour chaque côté du larynx, par échographiste.

La concordance entre échographistes était évaluée grâce au test de concordance de Lin.

- **Analyse quantitative**

Chaque image était ouverte dans le programme EchoQuant afin d'y sélectionner des régions d'intérêt, régions dont on souhaitait obtenir la répartition des pixels par niveau de gris.

- **Définition des régions d'intérêt**

La définition des régions d'intérêt devait répondre aux critères suivants :

- Sélectionner des régions d'intérêt de dimension identique pour permettre l'analyse statistique des résultats ;
- Permettre l'exploitation d'un maximum d'informations relatives au muscle crico-aryténoïdien latéral, donc couvrir une proportion maximale de ce muscle ;

- Limiter l'impact de la variation artificielle de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral. Cette variation étant liée à la variation d'épaisseur et de perméabilité aux ultrasons des tissus situés entre la sonde et le muscle CAL, ceci implique de :
 - placer la région d'intérêt en dehors de tout artefact échographique, en particulier hors des cônes d'ombre engendrés par les éventuelles minéralisations du cartilage thyroïde ;
 - s'affranchir de l'impact de la variabilité de l'échogénicité globale de l'image en définissant un coefficient d'échogénicité relative du muscle crico-aryténoïdien latéral, grâce à une structure de référence présente sur la même fenêtre acoustique.

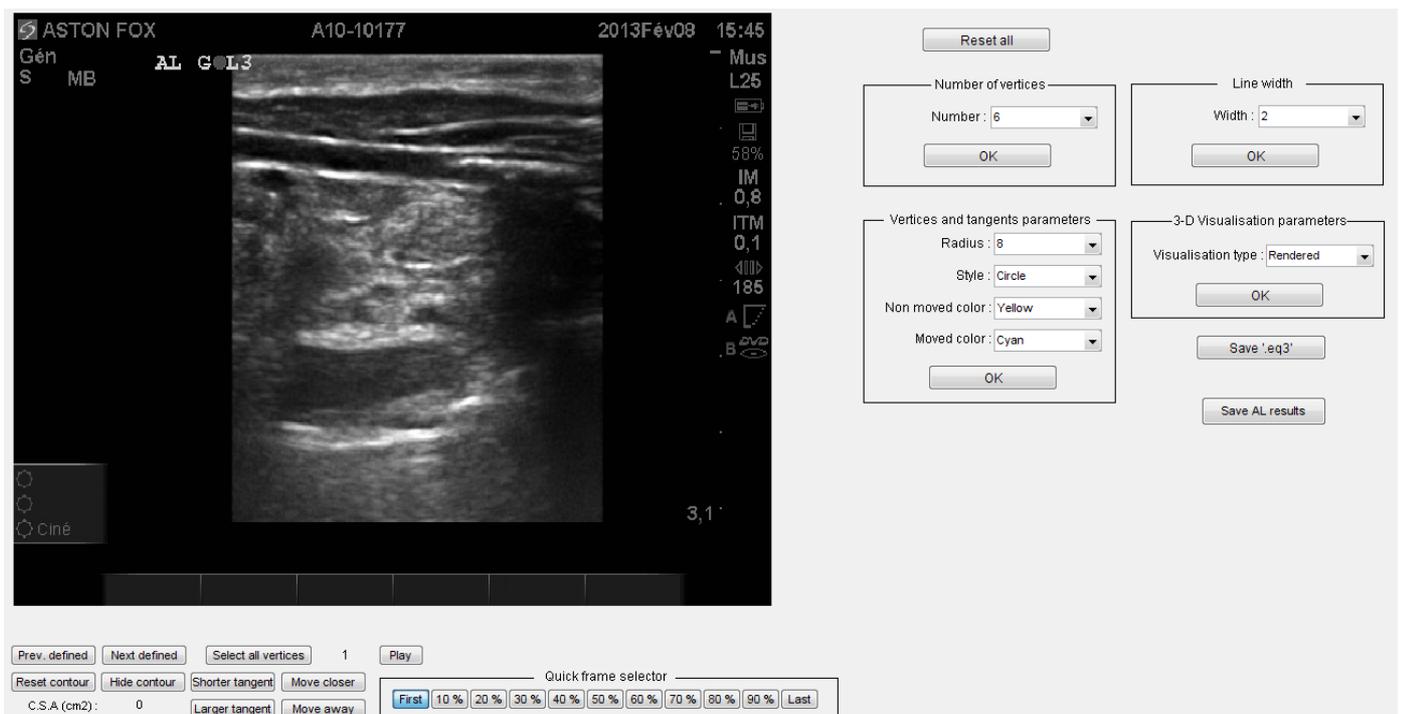
o *Dimension fixe des régions d'intérêt*

Pour chaque dossier, constitué des douze images acquises par un opérateur sur un cheval, chaque image était renommée selon la fenêtre employée et l'ordre d'acquisition (exemple, l'image DL1 était la première image acquise à droite en vue longitudinale) puis ouverte dans le programme EchoQuant. Pour cela, une fois le programme EchoQuant lancé, on sélectionnait « open series of JPEG files » sous l'onglet « File » et on recherchait l'image à analyser.

Dans l'onglet « videoparameters », la dimension des images (nombre de pixels par millimètre) était définie. Puis la fenêtre présentée figure 33 était ouverte en cliquant sur l'onglet « Region of interest ».

Dans cette fenêtre, on définissait les paramètres « Number of vertices » (6) et « Vertices and tangents parameters » (8, Circle, Yellow, Cyan). On modifiait ensuite la taille de la forme apparaissant ainsi sur l'image en cliquant à quatre reprises sur « Move closer » et à deux reprises sur « Shorter tangent » pour obtenir un disque de 1130 pixels. La forme était placée sur la région d'intérêt et le programme EchoQuant permettait d'en extraire la répartition des pixels par niveaux de gris sous la forme d'une matrice de pourcentages.

Figure 33 : Fenêtre de sélection des régions d'intérêt du programme EchoQuant



○ *Nombre de régions d'intérêt par image*

Afin d'agrandir l'échantillon de pixels analysés dans le muscle crico-aryténoïdien latéral tout en conservant l'homogénéité du nombre de pixels analysés, trois formes de sélection circulaires de 1130 pixels ont été placées sans chevauchement sur le muscle crico-aryténoïdien latéral sur chaque image analysée, en vue longitudinale comme en vue transversale.

Le muscle vocal, choisi comme structure de référence pour l'évaluation de l'échogénicité relative du muscle crico-aryténoïdien latéral, permettait quant à lui d'accueillir deux disques de 1130 pixels distincts.

Cette méthode, dans laquelle cinq disques de sélection de 1130 pixels étaient définis a été comparée à une autre méthode où seuls deux disques de sélection de 1130 pixels étaient définis sur chaque image, l'un dans le muscle crico-aryténoïdien latéral, l'autre dans le muscle vocal.

○ *Localisation des régions d'intérêt*

Le positionnement des régions d'intérêt s'est fait selon différentes règles, dont la hiérarchie est présentée dans le tableau 8. Les derniers critères n'ont pas toujours pu être remplis, selon les images.

Tableau 8 : Règles de positionnement des régions d'intérêt

	2 disques		5 disques	
	1 disque dans le muscle CAL	1 disque dans le muscle vocal	3 disques dans le muscle CAL	2 disques dans le muscle vocal
1	Localisation exclusivement dans le muscle CAL	Localisation exclusivement dans le muscle vocal	Localisation exclusivement dans le muscle CAL	Localisation exclusivement dans le muscle vocal
2	Pas de chevauchement entre les disques		Pas de chevauchement entre les disques	
3	Exclusion de tout artéfact		Exclusion de tout artéfact	
4	Zone homogène du muscle CAL	Zone alignée verticalement avec le disque de sélection placé dans le muscle CAL	Zone homogène du muscle CAL	Zone alignée verticalement avec la zone de localisation des disques de sélection placés dans le muscle CAL
5	Centre du muscle CAL	–	–	–

Les figures 34 et 35 présentent un exemple de disposition des disques de sélection sur les régions d'intérêt.

Figure 34 : Définition des régions d'intérêt sur les muscles CAL et Vocal en coupe transversale

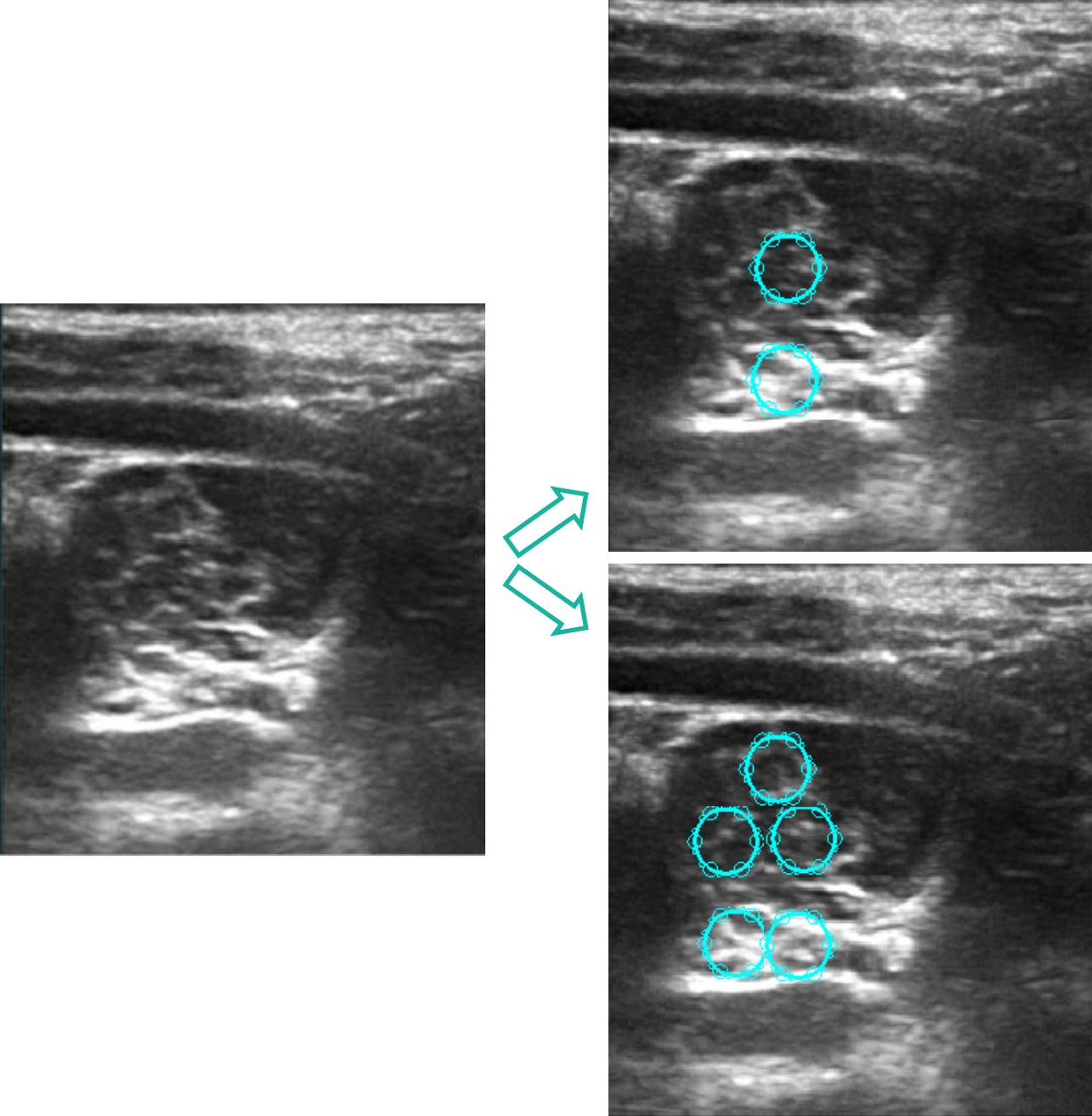
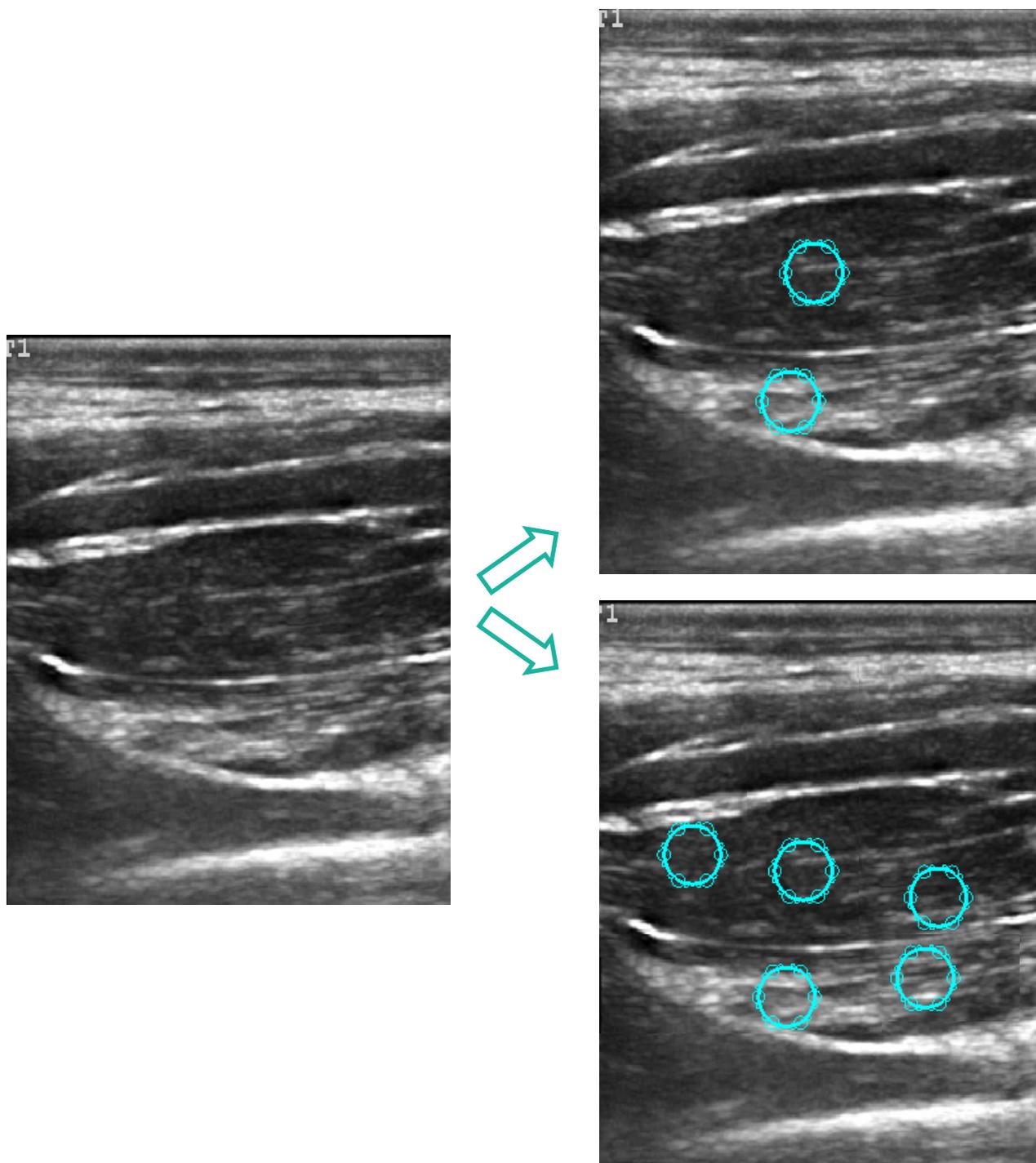


Figure 35 : Définition des régions d'intérêt sur les muscles CAL et Vocal en coupe longitudinale



▪ **Matrice de traitement des données**

La répartition des pixels par niveaux de gris dans les régions d'intérêt définies sur une image se présentait sous la forme d'une matrice de pourcentages où chaque ligne correspondait à un des 256 niveaux de gris représentés et chaque colonne à une région d'intérêt définie sur l'image.

Cette matrice obtenue grâce au programme EchoQuant était transférée sur une page de calcul EXCEL®, permettant de déduire les niveaux de gris moyens de chaque région d'intérêt, et de les intégrer dans des ratios et moyennes pour obtenir les paramètres présentés dans le tableau 9.

Les paramètres définis sur une seule image de chaque l'étaient sur la première image acquise de chaque série.

Tableau 9 : Paramètres d'échogénicité quantitatifs définis

	Protocole 2 régions d'intérêt	Protocole 5 régions d'intérêt
1 image de chaque côté	<p><i>écho.cal</i> Niveau de gris moyen de la région d'intérêt placée dans le CAL</p>	<p><i>écho.cal1, echo.cal2, echo.cal3</i> Niveau de gris moyen de chaque région d'intérêt placée dans le CAL</p> <p><i>écho.cal</i> Niveau de gris moyen de la réunion des régions d'intérêt placées dans le CAL</p>
	<p><i>écho.voc</i> Niveau de gris moyen de la région d'intérêt placée dans le muscle vocal</p>	<p><i>écho.voc1, echo.voc2</i> Niveau de gris moyen de chaque région d'intérêt placée dans le muscle vocal</p> <p><i>écho.voc</i> Niveau de gris moyen de la réunion des régions d'intérêt placées dans le muscle vocal</p>
	<p><i>écho.calG/écho.calD</i> Ratio entre les niveaux de gris moyens des RI placées dans le CAL gauche et dans le CAL droit.</p>	<p><i>écho.calG/écho.calD</i> Ratio entre les niveaux de gris moyens de la réunion des RI placées dans le CAL gauche et dans le CAL droit.</p>
	<p><i>écho.cal/écho.voc</i> Ratio entre les niveaux de gris moyens des RI placées dans le CAL et dans muscle vocal</p>	<p><i>écho.cal/écho.voc</i> Ratio entre les niveaux de gris moyens de la réunion des RI placées dans le CAL et dans muscle vocal</p>
1 série de 3 images de chaque côté	<p><i>moy.écho.cal</i> Moyenne des <i>écho.cal</i> de chacune des 3 images</p>	
	<p><i>moy (écho.cal/écho.voc)</i> Moyenne des ratios <i>écho.cal / écho.voc</i> de chacune des 3 images</p>	
	<p><i>moy (écho.calG/écho.calD)</i> Moyenne des ratios <i>écho.calG/écho.calD</i> de chacune des 3 images</p>	

▪ **Concordance inter-opérateurs des différents paramètres définis**

La concordance inter-opérateurs a ensuite été testée pour les paramètres *écho.cal*, *moy.écho.cal*, *écho.cal/écho.voc*, *moy (écho.cal/écho.voc)*, *écho.calG/écho.calD*, *moy (écho.calG/écho.calD)*, pour le mode de sélection avec deux ou avec cinq régions d'intérêt, et en vue longitudinale ou transversale.

L'objectif était d'identifier le paramètre, le protocole de sélection des régions d'intérêt, et la vue offrant la meilleure concordance inter-opérateurs.

S'agissant de tester la concordance entre des variables quantitatives, le test de Lin a été utilisé.

II. Résultats

L'ensemble des chevaux a été soumis à l'intégralité du protocole d'examen. La durée moyenne d'examen par cheval était de vingt minutes par échographiste. Sur les vingt chevaux examinés, seize ont pu être examinés avec le protocole de sédation défini préalablement, soit 0,5 mL de DETOGESIC® (détomidine). Les quatre autres ont nécessité une tranquillisation supplémentaire allant jusqu'à un total de 1,1 mL de DETOGESIC® et 0,5 mL de TORBUGESIC® (butorphanol) pour le cheval le moins coopératif.

1. Analyse semi-quantitative

L'ensemble des notes de l'analyse semi-quantitative est présenté en annexe 1. Le coefficient de concordance inter-échographistes était de 0,9 pour l'analyse semi-quantitative. L'annexe 11 présente la répartition des chevaux des différents grades endoscopiques selon leur note semi-quantitative.

2. Analyse quantitative

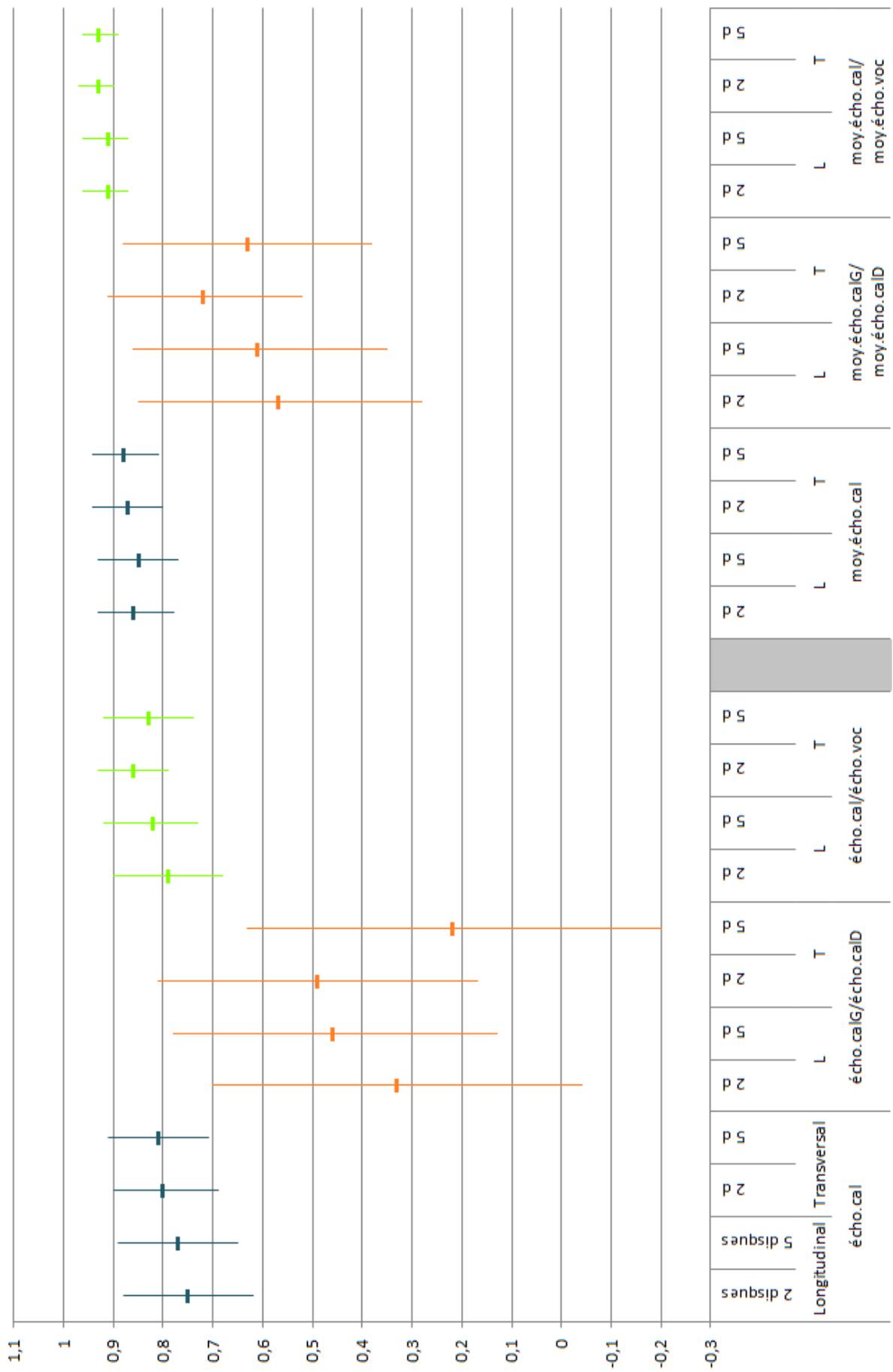
Les tableaux présentant la valeur des paramètres testés sont présentés en annexes 2 à 7.

Le tableau 10 et la figure 36 présentent les coefficients de concordance de Lin inter-échographistes, et leurs intervalles de confiance, obtenus pour chacun des paramètres testés, sur les vingt chevaux.

Tableau 10 : Coefficient de concordance de Lin inter-échographistes et son intervalle de confiance pour les différents paramètres quantitatifs testés

Vue		Longitudinale		Transversale	
		2 disques	5 disques	2 disques	5 disques
1 image	<i>écho.cal</i>	0,75 [0,62 ; 0,88]	0,77 [0,65 ; 0,89]	0,80 [0,69 ; 0,90]	0,81 [0,71 ; 0,91]
	<i>écho.calG/écho.calD</i>	0,33 [-0,04 ; 0,70]	0,46 [0,13 ; 0,78]	0,49 [0,17 ; 0,81]	0,22 [-0,20 ; 0,63]
	<i>écho.cal/écho.voc</i>	0,79 [0,68 ; 0,90]	0,82 [0,73 ; 0,92]	0,86 [0,79 ; 0,93]	0,83 [0,74 ; 0,92]
1 série de 3 images	<i>moy.écho.cal</i>	0,86 [0,78 ; 0,93]	0,85 [0,77 ; 0,93]	0,87 [0,80 ; 0,94]	0,88 [0,81 ; 0,94]
	<i>moy.écho.calG/moy.écho.calD</i>	0,57 [0,28 ; 0,85]	0,61 [0,35 ; 0,86]	0,72 [0,52 ; 0,91]	0,63 [0,38 ; 0,88]
	<i>moy.écho.cal/moy.écho.voc</i>	0,91 [0,87 ; 0,96]	0,91 [0,87 ; 0,96]	0,93 [0,90 ; 0,97]	0,93 [0,89 ; 0,96]

Figure 36 : Coefficient de concordance de Lin inter-échographistes pour les différents paramètres quantitatifs testés



Il y a une différence de concordance inter-opérateurs significative entre les protocoles de définition des régions d'intérêt. Les ratios entre les muscles crico-aryténoïdien latéral gauche et droit, qui sont visualisés sur des images différentes, donnent les valeurs les moins concordantes. Les valeurs absolues d'échogénéité du muscle crico-aryténoïdien latéral montrent une meilleure concordance. La concordance la meilleure est obtenue avec le ratio muscle CAL/muscle vocal ipsilatéral.

La moyenne sur trois images améliore significativement la concordance inter-opérateurs par rapport à une seule image.

Les valeurs mesurées ou calculées à partir des images acquises en vue transversale sont sensiblement plus concordantes que celles issues des images acquises en vue longitudinale.

Il n'y a pas de différence significative entre les valeurs issues du protocole mettant en jeu deux disques de sélection et celles issues de celui mettant en jeu cinq disques de sélection.

In fine, la meilleure concordance inter-opérateurs est obtenue pour le paramètre *moy.écho.cal/moy.écho.voc* en vue transversale, avec un coefficient de Lin de 0,93. Le paramètre optimal de quantification de l'échogénéité du muscle crico-aryténoïdien latéral semble donc être la moyenne, sur trois images acquises en vue transversale, du ratio entre l'échogénéité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle crico-aryténoïdien latéral, et l'échogénéité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle vocal.

III. Discussion

1. Intérêt de l'emploi d'un ratio d'échogénéité

La quantification d'échogénéité brute sur une région d'intérêt est difficilement répétable en raison de facteurs intrinsèques et extrinsèques, contrôlés au maximum dans cette étude. L'utilisation d'un ratio d'échogénéité entre le muscle crico-aryténoïdien latéral et une structure présente dans la même fenêtre acoustique n'a jamais été décrite dans la littérature. Les ratios d'échogénéité employés par Chalmers *et al.* en 2012 sont établis entre les muscles crico-aryténoïdiens latéraux gauche et droit ou entre les muscles crico-aryténoïdiens et le muscle thyro-hyoïdien ipsilatéral, également innervé par le nerf laryngé caudal gauche, et visualisé dans la fenêtre acoustique ventrale moyenne. Dans ces deux cas, le muscle dont on évalue l'échogénéité (muscle crico-aryténoïdien latéral gauche) et la structure de référence (muscle crico-aryténoïdien droit ou muscle thyro-hyoïdien) sont visualisés dans des fenêtres acoustiques différentes et figurent donc sur des images différentes. L'intérêt de la technique mise au point ici est que le ratio entre deux structures adjacentes, visualisées sur la même image échographique permet de s'affranchir du biais inhérent à la variabilité de l'échogénéité globale de l'image d'une image à l'autre, selon l'orientation de la sonde, et d'un côté à l'autre selon la préparation de la peau.

Néanmoins, s'il semble intéressant d'utiliser une structure de référence présente sur la même image, il est essentiel que l'échogénéité de la structure de référence soit stable et, en particulier, qu'elle ne soit pas modifiée par l'hémiplégie laryngée récurrente.

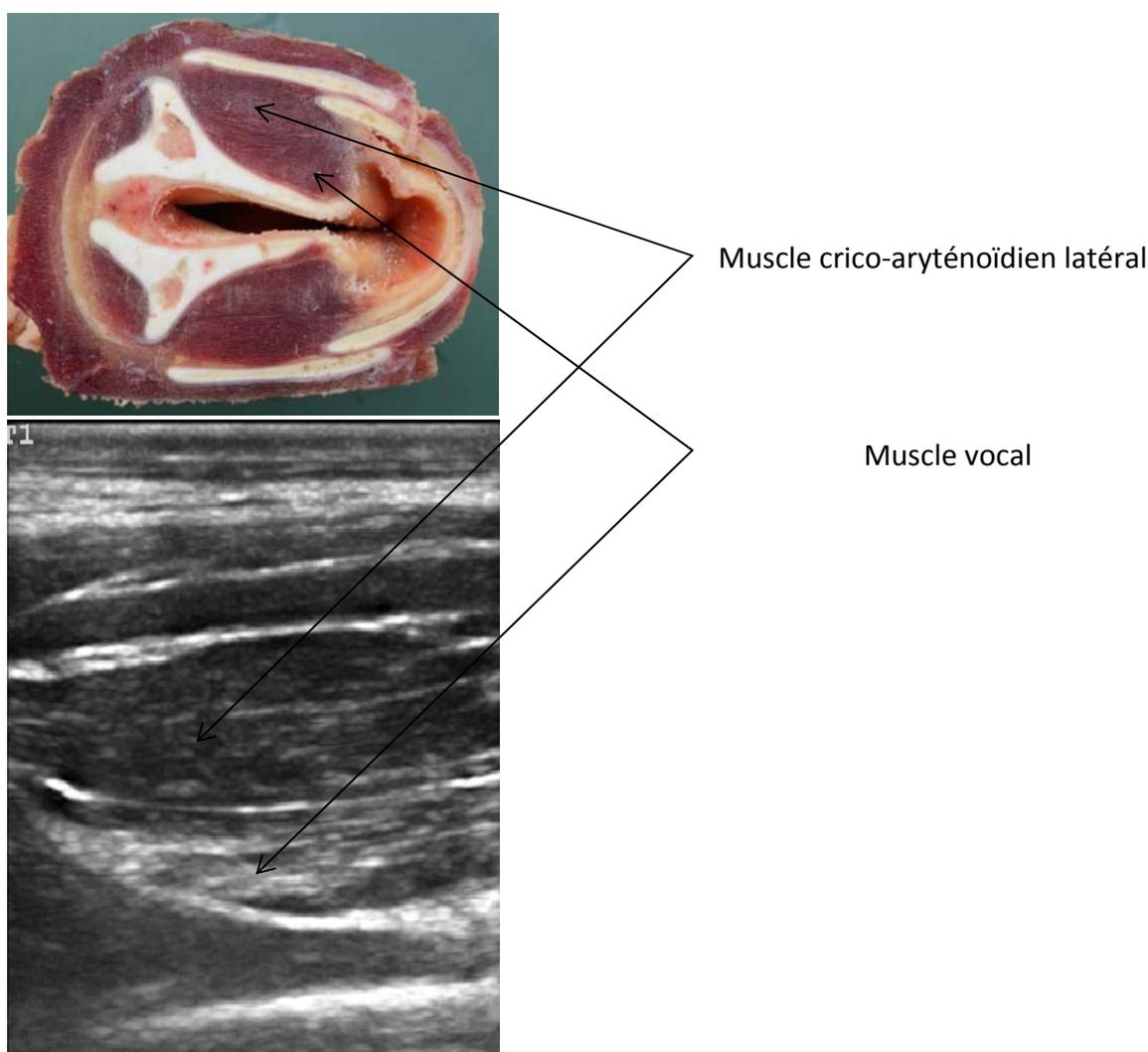
La structure de référence idéale serait donc un muscle présent dans la même fenêtre acoustique que le muscle crico-aryténoïdien latéral, et innervé par un nerf autre que le nerf laryngé caudal. Seul muscle laryngé intrinsèque innervé par le nerf laryngé crânial, le muscle crico-thyroïdien apparaît comme un candidat idéal. Cependant, il nous a été impossible de le visualiser de façon constante chez l'ensemble des chevaux examinés.

2. Pertinence de l'utilisation du muscle vocal comme référence

L'impossibilité de visualiser le muscle crico-thyroïdien systématiquement a imposé l'utilisation du muscle vocal comme référence.

L'intérêt du muscle vocal est sa localisation adjacente au muscle crico-aryténoïdien latéral. Localisé entre les mêmes structures cartilagineuses, juste en profondeur du muscle crico-aryténoïdien latéral, il est soumis aux mêmes variations artéfactuelles d'échogénicité (figure 37). Ainsi, sous réserve de la stabilité de l'échogénicité du muscle vocal, le ratio d'échogénicité entre le muscle crico-aryténoïdien latéral et le muscle vocal permet d'évaluer la structure du muscle crico-aryténoïdien latéral de façon moins biaisée que son échogénicité absolue.

Figure 37 : Rapports anatomiques entre le muscle crico-aryténoïdien latéral et le muscle vocal



Néanmoins, le muscle vocal étant également innervé par le nerf laryngé récurrent, sa structure est susceptible d'être altérée en cas d'hémiplégie laryngée récurrente. En pratique, les chevaux de grade endoscopique à l'effort B ou C ne présentaient pas plus d'hyperéchogénicité du muscle vocal gauche par rapport au muscle vocal droit que les chevaux de grade A (annexe 8). En cas

d'hémiplégie laryngée récurrente, l'échogénicité du muscle vocal semble donc moins modifiée que celle du muscle crico-aryténoïdien latéral.

D'après Duncan *et al.* (1974), et Cahill et Goulden (1986), le muscle crico-aryténoïdien latéral est le premier muscle à s'atrophier et le plus sévèrement modifié histologiquement en cas d'hémiplégie laryngée récurrente. Le muscle vocal est donc probablement réellement moins altéré que le muscle crico-aryténoïdien latéral chez les chevaux présentant un grade endoscopique B ou C à l'effort. Par ailleurs, sa localisation profondément au muscle crico-aryténoïdien latéral réduit artéfactuellement son échogénicité lorsque celle du muscle crico-aryténoïdien augmente, par un effet de cône d'ombre. Ainsi, la moindre altération du muscle vocal par rapport au muscle crico-aryténoïdien latéral d'une part, et la réduction artéfactuelle de l'échogénicité du muscle vocal associée à l'hyperéchogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral concourent à faire du muscle vocal une structure de référence acceptable pour quantifier l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral.

3. Supériorité des paramètres moyens sur trois images identiques par rapport à ceux obtenus sur une seule image

Pour chacun des critères testés (échogénicité absolue du CAL, ratio CALG/CALD, ou ratio CAL/VOC), les deux échographistes étaient toujours sensiblement plus concordants sur la moyenne de trois images analysées que sur une seule image analysée. Cet effet positif de la moyenne sur la concordance inter-opérateur était prévisible, puisque la multiplication des images acquises pour une même structure améliore la justesse de son appréciation. En multipliant les images d'une même structure, chacun des deux échographistes tend à neutraliser les biais aléatoires inhérents à l'acquisition des images, et plus particulièrement à l'orientation de la sonde. Chacun améliore ainsi la justesse de son appréciation du muscle et donc, sa concordance avec l'autre échographiste.

4. Supériorité de l'analyse mettant en jeu deux régions d'intérêt par rapport à cinq régions d'intérêt

La légère supériorité (non significative) de l'analyse mettant en jeu deux régions d'intérêt par rapport à celle en mettant en jeu cinq est *a priori* plus surprenante. En effet, on pourrait penser que la réduction du nombre de pixels analysés dans chaque muscle, à l'image de la diminution de la taille d'un échantillon, éloigne la valeur d'échogénicité observée de la valeur d'échogénicité réelle du muscle, et donc diminue la concordance inter-échographistes pour cette valeur d'échogénicité observée.

En pratique, les règles de positionnement des régions d'intérêt orientent vers la sélection de la zone présentant le moins d'artéfacts et la structure la plus homogène possible, et non vers la sélection de la zone la plus représentative de l'échogénicité globale du muscle crico-aryténoïdien latéral. Or plus l'échantillon sélectionné est petit, plus il peut respecter les critères de sélection. Globalement, l'analyse mettant en jeu cinq régions d'intérêt a imposé une sélection moins rigoureuse que celle mettant en jeu seulement deux régions d'intérêt. Dans cette dernière, on excluait plus aisément les zones artéfactuelles, limitant ainsi la variabilité aléatoire de l'échogénicité moyenne de la région d'intérêt. Ceci est vrai à condition de considérer que les artéfacts apparaissaient principalement de façon aléatoire, selon l'orientation de la sonde, par exemple.

5. Nécessité d'évaluer la concordance inter-lecteur

Le protocole d'acquisition et de traitement des images échographiques du larynx défini dans cette étude a montré une très bonne concordance inter-échographistes (0,93) pour le paramètre ratio moyen CAL/VOC sur trois images en vue transversale. A titre de comparaison, l'analyse semi-quantitative définie d'après Chalmers *et al.*, 2012, appliquée à ces mêmes images a montré une concordance inter-échographistes de 0,9. Un des principaux biais de l'examen échographique étant la variabilité inhérente à la technique d'acquisition et à la lecture des images, cette étude montre que le protocole d'acquisition des images défini dans le premier chapitre permet une bonne répétabilité des mesures entre deux échographistes, qu'il soit couplé à une analyse semi-quantitative ou à l'analyse quantitative mise en œuvre ici.

Par ailleurs, l'analyse quantitative proposée dans ce chapitre devrait réduire la part de subjectivité de lecture des images. D'après une étude réalisée par Pillen en 2010, la quantification de l'échogénicité du muscle est plus objective et moins lecteur-dépendante que l'analyse qualitative ou semi-quantitative des images. Cette méthode de quantification de l'échogénicité devrait donc améliorer la fiabilité, et probablement la sensibilité de l'échographie des muscles laryngés par rapport à l'analyse qualitative.

Une limite de cette étude est l'absence d'évaluation de la concordance inter-lecteur pour l'analyse quantitative, qui devrait être le point fort majeur de l'analyse quantitative par rapport à l'analyse qualitative ou semi-quantitative. Avec la méthode d'analyse quantitative présentée dans cette étude, le choix des régions d'intérêt constitue la seule source de variation d'un lecteur à l'autre, source de variation par ailleurs limitée par le respect des règles de positionnement des régions d'intérêt définies dans le tableau 8. Il serait néanmoins intéressant d'évaluer cette variabilité en testant la concordance inter-lecteur, et de la comparer à celle de l'analyse semi-quantitative. La meilleure façon d'évaluer la fiabilité de cet examen serait de comparer les résultats de l'analyse quantitative effectuée par deux échographistes différents sur leurs propres images, qu'ils auraient acquises indépendamment, sur les mêmes chevaux.

6. Absence d'évaluation de l'architecture du muscle crico-aryténoïdien latéral

La grille d'évaluation semi-quantitative du muscle crico-aryténoïdien latéral définie par Chalmers *et al.* (2012) prend en compte son échogénicité par rapport à celle du muscle thyro-hyoïdien ipsilatéral ou du muscle crico-aryténoïdien controlatéral d'une part, et son architecture d'autre part. L'architecture du muscle est qualifiée selon l'homogénéité de son écho texture, et la netteté de son contour.

L'analyse quantitative des images se réduit à la quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral via une moyenne de niveaux de gris enregistrés sur 1130 pixels. Elle ne prend donc absolument pas en compte la répartition spatiale de ces niveaux de gris, et donc le caractère homogène ou hétérogène du muscle évalué. Or, la fibrose et l'infiltration graisseuse dans le muscle lésé se traduisent certes par une hyperéchogénicité, mais aussi par une perte de l'architecture fibrillaire des muscles (Pillen, 2010). L'observation des règles de positionnement des régions d'intérêt, définies dans le tableau 8 implique d'exploiter une zone la plus homogène possible au sein du muscle, afin d'éviter de calculer un niveau de gris moyen entre des zones d'échogénicité très différentes. Ceci permet d'éviter que des variations d'architecture n'interfèrent avec la quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral. L'effet de cette interférence sur la quantification de l'échogénicité (surestimation systématique, sous-estimation systématique, aléatoire) n'a pas été identifié ici.

Pour autant, si cette méthode permet d'éviter, dans la mesure du possible, que les variations d'architecture du muscle crico-aryténoïdien ne biaisent l'évaluation de son échogénicité, elle ne permet pas de prendre en compte l'architecture du muscle, pourtant très informative.

On pourrait envisager d'étoffer le traitement des images de façon à analyser la répartition spatiale et l'amplitude de variation des niveaux de gris sur la région d'intérêt pour quantifier l'hétérogénéité de l'écho-architecture du muscle crico-aryténoïdien latéral. Ceci supposerait de revoir les règles de positionnement des régions d'intérêt.

7. Limites pratiques de l'analyse quantitative

a) Rigueur dans la standardisation du protocole d'acquisition des images

La meilleure sensibilité diagnostique de la quantification de l'échogénicité par analyse des niveaux de gris par rapport à l'analyse subjective est aujourd'hui communément admise (Maurtis *et al.*, 2003 ; Pillen, 2010). Mais la justesse et la précision de l'analyse quantitative sont conditionnées par la standardisation du protocole d'acquisition des images. De nombreux facteurs extrinsèques tels que l'épaisseur et les propriétés de la peau et des tissus sous-cutanés, la longueur et la propreté du poil, ou encore l'application de gel ou d'alcool durant l'examen échographique, sont susceptibles d'affecter l'échogénicité des tissus. La faible concordance inter-échographistes observée pour les paramètres absolus mesurés en témoigne. Ainsi, le paramètre moy.écho.cal quantifiant l'échogénicité absolue du muscle crico-aryténoïdien latéral présente un coefficient de concordance de Lin nettement inférieur (0,87) au ratio moy.écho.cal/moy.écho.voc (0,93). Ces facteurs de variation extrinsèques inhérents à l'acquisition des images semblent se cumuler, la concordance inter-échographistes étant amoindrie lorsqu'un ratio entre des structures acquises dans différentes fenêtres acoustiques est utilisé (0,72 pour le paramètre moy.écho.calG/moy.écho.calD).

Malgré la réduction de l'impact de ces facteurs de variation extrinsèques par l'utilisation d'un ratio entre deux structures adjacentes, visualisées sur la même image échographique, la standardisation de l'acquisition des images reste le meilleur gage de qualité de cet examen.

b) Nécessité de traitement informatique

Enfin, la principale limite de l'analyse quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral reste la complexité pratique du traitement informatique des images. En effet, dans cette étude, l'analyse quantitative des images a nécessité le transfert sur ordinateur des images échographiques acquises, leur traitement grâce à un logiciel dédié, et le traitement des données brutes de répartition des pixels par niveau de gris sous EXCEL® afin d'obtenir les paramètres retenus pour quantifier l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral.

Chapitre III : Confrontation des résultats obtenus avec ceux du Gold Standard et définition de seuils

Les deux chapitres précédents ont permis de développer un protocole d'examen et d'analyse quantitative des images échographiques répétable et concordant entre deux opérateurs différents. La question est désormais de savoir si la quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral permise par cette méthode donne des valeurs chiffrées corrélées aux grades de l'examen endoscopique à l'effort, examen de référence pour le diagnostic de l'hémiplégie laryngée récurrente.

Notre hypothèse était que la valeur chiffrée du ratio d'échogénicité entre le muscle crico-aryténoïdien latéral et le muscle vocal ipsilatéral, obtenue selon la méthode définie dans le chapitre II, permettait de discriminer les chevaux cliniquement sains et les chevaux présentant un défaut d'abduction laryngée à l'effort. Le corolaire de cette hypothèse est que l'on pourrait définir pour cette technique des ratios seuils, discriminant les chevaux présentant un défaut d'abduction laryngée à l'effort.

I. Matériels et méthode

Cette étude repose sur la comparaison des résultats obtenus avec la méthode testée et la méthode de référence, pour vingt chevaux.

1. Chevaux

Cette étude porte sur les vingt chevaux recrutés pour l'étude de concordance inter-opérateurs présentée dans le chapitre précédent, dont la liste figure dans le tableau 5. Ils ont été recrutés par un examen endoscopique du larynx au repos, complété, pour les chevaux présentant un grade endoscopique au repos supérieur à I, par un examen endoscopique à l'effort, sur tapis roulant à grande vitesse.

2. Matériel

- a) Examen de référence : évaluation endoscopique des mouvements du cartilage aryténoïde gauche

Pour la réalisation des examens endoscopiques au repos, le vidéo-endoscope OPTOMED® de la clinique équine ou du service de médecine sportive de l'ENVA ont été utilisés.

Les examens endoscopiques à l'effort ont été réalisés au CIRALE, au sein du service de médecine sportive de l'ENVA. Pour leur réalisation, le tapis à grande vitesse du service de médecine sportive de l'ENVA et son système de ventilation ont été utilisés. Un dispositif de monitoring cardiaque permettait de mesurer la fréquence cardiaque en fonction de la vitesse afin de déterminer quand le cheval atteignait son niveau d'effort maximal. Un vidéo-endoscope embarqué OPTOMED® relié par antenne à un écran portatif permettait la visualisation des images en temps réel. Un système d'enregistrement sur carte mémoire permettait de stocker les vidéos en vue d'une lecture différée. Pour l'examen à l'effort, chaque cheval était équipé d'un surfaix et de protections de travail sur les membres.

- b) Examen testé : quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche

La quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche a été réalisée selon le protocole défini dans les deux chapitres précédents. Pour l'examen échographique, un

échographe SONOSITE M-TURBO®, connecté à une sonde linéaire de 2,5 cm, 7,5-13 MHz a été utilisé. Il était réglé en mode musculaire, général et à une profondeur de 3,1 cm. Le gain général était fixé grâce à un marqueur sur le bouton de commande. Chaque image était ensuite analysée quantitativement sur ordinateur, grâce au programme EchoQuant, développé sous le logiciel Matlab®.

3. Méthode

a) Recrutement des chevaux

Cinq jeunes trotteurs réformés des courses ont subi un examen endoscopique au repos révélant des mouvements normaux des cartilages aryténoïdes. Ces chevaux, de grade endoscopique I au repos, ont été retenus pour la première catégorie.

Les quinze autres chevaux ont été recrutés grâce à un appel aux praticiens vétérinaires équins français lancé par la clinique équine de l'ENVA et concernant les chevaux présentant un grade endoscopique au repos supérieur ou égal à II.

Parmi les dix-neuf chevaux référés, cinq présentaient un grade endoscopique au repos égal à IV. Ils ont été retenus pour la catégorie « grade IV ».

Les quatorze chevaux restant présentaient un grade endoscopique au repos égal à II ou III. Ils ont été soumis à un examen endoscopique à l'effort et deux groupes de cinq chevaux de grade III au repos ont été constitués. Le premier regroupait des chevaux présentant une abduction complète des cartilages aryténoïdes durant l'inspiration (grade A à l'effort) tandis que le second était constitué de chevaux présentant un défaut d'abduction des cartilages aryténoïdes durant l'inspiration (grade B ou C à l'effort). Les quatre chevaux restant n'ont pas été retenus pour l'étude car trop dangereux à manipuler.

Les quatre groupes ainsi constitués sont présentés dans le tableau 6.

b) Examen échographique

Le protocole d'acquisition des images échographiques est celui retenu à l'issue du chapitre I, et présenté dans la rubrique matériel et méthode du chapitre II.

c) Analyse des images

- **Analyse semi-quantitative**

Pour les quarante dossiers ainsi obtenus, l'identité du cheval et celle de l'échographiste étaient masquées afin de permettre une lecture des images en aveugle. Un lecteur, LV, a analysé l'ensemble des quarante dossiers selon la grille de notation reposant sur des critères d'architecture et d'échogénicité définis d'après Chalmers *et al.*, 2012. Cette méthode permettait d'attribuer à chaque cheval une note moyenne comprise entre 0 et 2, pour chaque côté du larynx, par échographiste.

La concordance entre échographistes était évaluée grâce au test de concordance de Lin.

- **Analyse quantitative**

Chaque image acquise en vue transversale, dans la fenêtre acoustique latérale gauche était ouverte dans le programme EchoQuant afin d'y sélectionner des régions d'intérêt, régions dont on souhaitait obtenir la répartition des pixels par niveau de gris.

Sur chaque image, une région d'intérêt de 1130 pixels était placée dans le muscle crico-aryténoïdien latéral et dans le muscle vocal, selon le protocole présenté dans la rubrique « matériels et méthode » du chapitre 2. La répartition des pixels par niveau de gris au sein de chacune de ces régions d'intérêt

était alors exportée du logiciel Matlab vers un classeur Excel présenté en annexe 10. Ce classeur permettait d'extraire des données brutes le paramètre apparaissant comme le plus concordant entre deux échographistes, d'après le chapitre 2. Ce paramètre est la moyenne, sur trois images acquises en vue transversale, du ratio entre l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle crico-aryténoïdien latéral, et l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle vocal.

d) Confrontation des résultats

La note obtenue à l'issue de l'analyse semi-quantitative du muscle crico-aryténoïdien latéral et la valeur du paramètre échographique quantitatif obtenue pour chaque cheval étaient ensuite confrontées au statut endoscopique de ce dernier.

II. Résultats

1. Analyse semi-quantitative

Les résultats de l'analyse semi-quantitative sont présentés dans l'annexe 1. Le tableau 11 illustre la répartition des différents grades endoscopiques selon l'évaluation échographique semi-quantitative du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche.

Tableau 11 : Répartition des chevaux de l'étude, de grades endoscopiques IA en vert, IIIA en bleu, IIIB ou IIIC en orange et IVC en rouge, selon l'évaluation échographique semi-quantitative de leur muscle crico-aryténoïdien latéral gauche par chaque échographiste

		AL				
		0	0,5	1	1,5	2
LV	0	AMEVYL VOYAGE VIBRATO VAPRICCIO ULEX VIRIEU	RISK TOO			
	0,5	VODKA	SUPERFICIEL			
	1			STORMY SONATE	TIBO	
	1,5					
	2				JUNKIE SIRE	ASTON FOX REDDY SNICKERS UNCRAK LORING KING

La confrontation des résultats de la méthode semi-quantitative, avec les grades endoscopiques obtenus par la méthode de référence permet de définir une note seuil, discriminant les chevaux présentant une abduction normale à l'effort des chevaux (grade A) des autres (grades B ou C).

La note-seuil de 0,5 permet, dans cette étude, de dépister 100% des chevaux présentant un défaut d'abduction des cartilages aryténoïdes à l'effort, soit une sensibilité de 1, avec une spécificité de 0,9.

La note-seuil de 1 permet, dans cette étude, de dépister 90% des chevaux présentant un défaut d'abduction des cartilages aryténoïdes à l'effort, soit une sensibilité de 0,9, avec une spécificité de 1.

Le tableau 12 présente les caractéristiques statistiques de ces seuils semi-quantitatifs.

Tableau 12 : Caractéristiques statistiques des notes-seuil 0,5 et 1 définies pour l'analyse semi-quantitative des images échographiques du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche. (Sensibilité, Spécificité, Valeur prédictive positive et Valeur prédictive négative).

Seuil	0,5	1
Sensibilité	1	0,90
Spécificité	0,90	1
VPP	0,91	1
VPN	1	0,91

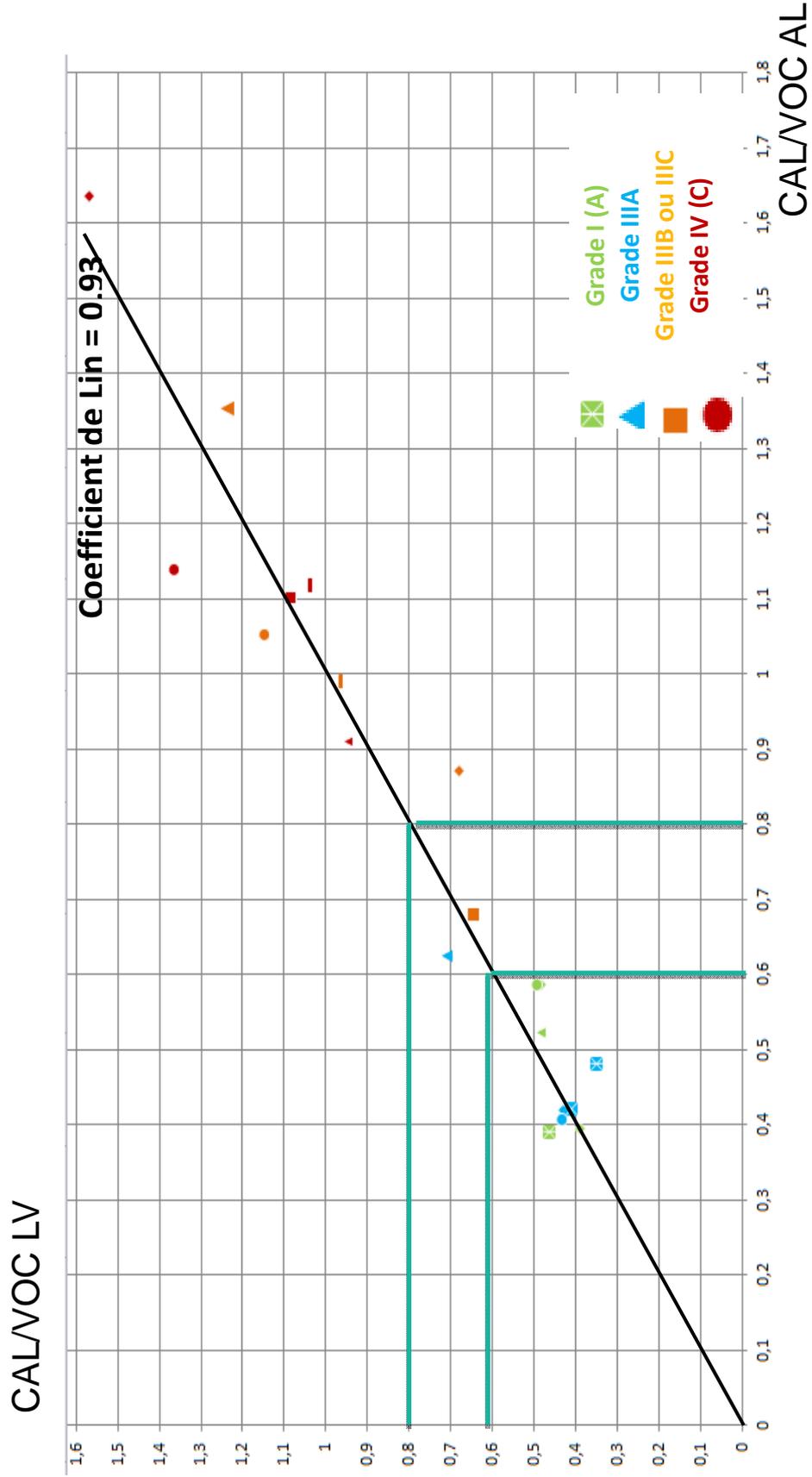
2. Analyse quantitative

L'annexe 9 présente, pour chaque cheval, la moyenne, sur trois images acquises en vue transversale, du ratio entre l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle crico-aryténoïdien latéral, et l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle vocal. Par la suite, on appellera ce paramètre « ratio CAL/VOC ». La figure 38 confronte ces résultats obtenus du côté gauche aux grades endoscopiques établis lors du recrutement des chevaux.

Le ratio CAL/VOC des images obtenues par l'échographiste AL figure en abscisses et celui des images obtenues par LV en ordonnées. La très bonne corrélation inter-opérateurs de ce paramètre, mise en évidence dans le chapitre précédent, se manifeste graphiquement par la disposition des points à proximité de l'axe de coordonnées $Y=X$. Rappelons que le coefficient de Lin pour le paramètre « ratio CAL/VOC » est de 0,93.

Les chevaux présentant une abduction normale des cartilages aryténoïdes à l'effort sont représentés par des marqueurs verts (grade I A) et bleus (grade II A). Les chevaux présentant un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'effort sont représentés par des marqueurs oranges (grade III B ou C) et rouges (grade IV C).

Figure 38 : Analyse quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche et confrontation avec le grade endoscopique



Dans cette étude, 100 % des chevaux présentant un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'effort ont un ratio CAL/VOC supérieur à 0,6 à gauche, tandis que 100 % des chevaux présentant une abduction normale à l'effort ont un ratio CAL/VOC inférieur à 0,8.

Le ratio CAL/VOC permet donc de différencier les chevaux susceptibles de présenter un défaut d'abduction des cartilages aryténoïdes à l'effort. Les deux seuils de discrimination qui se dégagent de cette étude pour le ratio CAL/VOC sont 0,6 et 0,8.

Le tableau 13 présente leurs caractéristiques :

Tableau 13 : Caractéristiques statistiques des ratios CAL/VOC seuils de 0,6 et 0,8 définis pour l'analyse quantitative des images échographiques du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche. (Sensibilité, Spécificité, Valeur prédictive positive et Valeur prédictive négative).

Seuil	0,6	0,8
Sensibilité	1	0,90
Spécificité	0,90	1
VPP	0,91	1
VPN	1	0,91

Le seuil de 0,6 aurait permis, dans notre étude, de dépister un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche avec une sensibilité de 1 et une spécificité de 0,9. La valeur prédictive positive du seuil de 0,6 est de 0,91 et sa valeur prédictive négative est de 1. Cela signifie que le lot de chevaux testés présentant un ratio CAL/VOC supérieur à 0,6 compte 91 % de chevaux manifestant un défaut d'abduction à l'effort, et 9 % de chevaux sains, et que le lot de chevaux testés présentant un ratio CAL/VOC inférieur à 0,6 compte 100 % de chevaux sains.

Le seuil de 0,8 aurait permis, dans notre étude, de dépister un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche avec une sensibilité de 0,9 et une spécificité de 1. La valeur prédictive positive du seuil de 0,6 est de 1 et sa valeur prédictive négative est de 0,91. Cela signifie que le lot de chevaux testés présentant un ratio CAL/VOC supérieur à 0,8 compte 100 % de chevaux manifestant un défaut d'abduction à l'effort, et que le lot de chevaux testés présentant un ratio CAL/VOC inférieur à 0,8 compte 91 % de chevaux sains, et 9 % de chevaux sains.

Afin de vérifier qu'il existe une réelle association statistique entre le défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche observé à l'endoscopie et l'observation d'un ratio CAL/VOC au-delà de 0,6, on teste la probabilité que la répartition des chevaux de part et d'autre du seuil de 0,6 observée dans cette étude soit le fruit du hasard. L'annexe 12 présente le test de Fisher réalisé pour cette étude. L'association statistique entre le défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche observé à l'endoscopie et le calcul d'un ratio CAL/VOC au-delà de 0,6 est significative, avec une p-value < 0,001.

III. Discussion

1. Des résultats encourageants, à valider à plus grande échelle

Cette étude pilote sur vingt chevaux a permis de mettre en évidence une très bonne concordance entre l'endoscopie à l'effort et l'évaluation quantitative et semi-quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral. L'évaluation quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche a pu être réalisée de façon fiable grâce à l'utilisation d'un ratio moyen d'échogénicité entre le muscle crico-aryténoïdien latéral et le muscle vocal ipsilatéral sur trois images. Ce ratio est caractérisé par une très bonne concordance inter-échographistes, mais la

concordance inter-lecteurs n'a pas pu être évaluée dans cette étude. Si cette méthode semble fiable et bien corrélée à l'examen endoscopique à l'effort, une étude à plus grande échelle devrait valider ou invalider ces résultats.

2. Que penser des chevaux présentant une abduction des aryténoïdes normale à l'effort et un muscle crico-aryténoïdien latéral gauche hyperéchogène ?

L'échogénicité d'une structure est déterminée principalement par son impédance acoustique. L'amplitude des ondes ultrasonores réfléchies vers la sonde par les tissus échographiés dépend des variations d'impédance acoustique rencontrées par le faisceau ultrasonore à chaque interface tissulaire. L'augmentation d'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche observée en cas d'hémiplégie laryngée récurrente est imputable à de multiples modifications histologiques musculaires concomitantes, incluant la fibrose, l'infiltration graisseuse, la réduction du diamètre des fibres musculaires et le changement de type de fibres musculaires. (Chalmers *et al.*, 2012). Dans notre étude, l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche (évaluée via le paramètre « ratio CAL/VOC ») était significativement augmentée chez les chevaux présentant un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'examen endoscopique. Cette observation implique que l'altération progressive du muscle crico-aryténoïdien latéral associée à l'apparition d'un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde s'accompagne d'une augmentation de son échogénicité. Dans l'échantillon étudié, la gradation de l'hyperéchogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche n'a pas pu être suffisamment fine pour différencier les chevaux de grades endoscopiques III et IV. D'autre part, notre protocole de recrutement n'a pas permis d'évaluer des chevaux de grade II, ni de différencier les chevaux de grade B des chevaux de grade C. Néanmoins, le muscle crico-aryténoïdien latéral gauche étant lésé plus précocement que les muscles abducteurs des cartilages aryténoïdes (Chalmers *et al.*, 2012), on peut se demander si l'augmentation de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche n'est pas un signe d'hémiplégie laryngée récurrente plus précoce que le défaut d'abduction observé à l'examen endoscopique à l'effort. L'évaluation quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche pourrait dans ce cas présenter un intérêt pour le dépistage précoce de l'hémiplégie laryngée récurrente.

Une étude histologique du muscle crico-aryténoïdien latéral chez des chevaux présentant différents grades d'hémiplégie laryngée récurrente permettrait d'objectiver le processus histologique conduisant à l'augmentation d'échogénicité ainsi que son évolution dans le temps, conjointement à l'apparition du défaut d'abduction.

Une étude moins invasive et réalisable à plus grande échelle est actuellement en cours de réalisation pour évaluer la pertinence du ratio CAL/VOC dans le dépistage précoce de l'hémiplégie laryngée récurrente. Elle consiste à recruter des pur-sangs de 2 ans à l'entraînement présentant un ratio CAL/VOC supérieur à 0,6 et à suivre l'évolution de ce ratio et de leur grade endoscopique à l'effort dans le temps.

3. Comment utiliser l'échographie de larynx sur le terrain ?

L'enjeu du développement de l'échographie des muscles laryngés est d'offrir une alternative à l'examen endoscopique au repos de première intention chez le cheval pour le diagnostic de l'hémiplégie laryngée récurrente. La plus grande disponibilité de l'échographie sur le terrain, sa mise en œuvre plus aisée et sa meilleure concordance avec l'examen endoscopique à l'effort que l'examen endoscopique au repos (Garrett *et al.*, 2010) en font un examen de choix pour le dépistage de l'hémiplégie laryngée récurrente chez le cheval. L'examen échographique du larynx permettrait donc d'orienter les chevaux susceptibles de présenter un défaut d'abduction vers un examen endoscopique à l'effort des voies respiratoires supérieures, examen de référence que l'échographie ne saurait en aucun cas supplanter.

Ce tri pourrait s'effectuer grâce aux seuils définis pour l'analyse semi-quantitative ou pour l'analyse quantitative.

L'analyse quantitative a permis de définir deux seuils pour le ratio CAL/VOC :

Le seuil de 0,6 permet, dans notre étude, de dépister un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche avec une sensibilité de 1 et donc une valeur prédictive négative de 1. Ce seuil de 0.6 correspond à valeur de ratio en deçà de laquelle on ne trouve que des chevaux normaux à l'endoscopie à l'effort et au-delà de laquelle 91 % des chevaux présentent un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'effort. Ce seuil a une spécificité satisfaisante de 0,9. Dans notre étude, si on utilisait ce seuil pour trier les chevaux à soumettre à un examen endoscopique à l'effort, on retiendrait tous les chevaux présentant un défaut d'abduction des aryténoïdes, mais parmi le lot sélectionné, on retiendrait également 9 % de chevaux sans défaut d'abduction.

Le seuil de 0,8 permet, dans notre étude, de dépister un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche avec une spécificité de 1 et donc une valeur prédictive positive de 1. Ce seuil correspond à valeur de ratio CAL/VOC au-delà de laquelle tous les chevaux de notre étude présentent un défaut d'abduction à l'examen endoscopique à l'effort, et en-deçà de laquelle 91 % des chevaux présentent une abduction normale. Ce seuil 0,8 a une sensibilité de 0,9. Cela signifie que dans notre étude, si on utilisait ce seuil pour trier les chevaux à soumettre à un examen endoscopique à l'effort, on ne retiendrait que 90 % des chevaux anormaux.

Dans une logique de triage, il est donc plus avantageux d'utiliser le seuil de 0,6 pour se donner les meilleures chances de ne passer à côté d'aucun cheval présentant un défaut d'abduction des cartilages aryténoïdes.

L'analyse quantitative, bien que très informative et probablement moins sujette à la variabilité inter-lecteurs, nécessite une analyse des niveaux de gris non réalisable sur le terrain. En revanche, l'analyse semi-quantitative de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral semble tout à fait applicable sur le terrain et permettrait un dépistage et un suivi fiable de l'hémiplégie laryngée récurrente dans le temps, sous réserve d'une bonne standardisation des paramètres d'acquisition des images.

Selon le même raisonnement que pour l'analyse quantitative, le seuil à utiliser pour un dépistage est celui qui garantit la meilleure sensibilité. Pour l'analyse semi-quantitative, les chevaux à soumettre à un examen endoscopique à l'effort sont ceux présentant une note supérieure ou égale à 0,5.

CONCLUSION

Ces dernières années, les publications sur l'échographie du larynx se sont multipliées. L'intérêt de cet examen accessible, pertinent et non invasif, en complément de l'examen endoscopique, pour le diagnostic de l'hémiplégie laryngée n'est plus à démontrer. Néanmoins, le principal élément diagnostique étant l'augmentation de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral, la fiabilité de la quantification de l'échogénicité est essentielle.

Dans cette étude, nous avons démontré qu'il était possible de quantifier avec une très bonne concordance inter-opérateurs (coefficient de concordance de Lin : 0,93) l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral, en utilisant un ratio d'échogénicité entre le niveau de gris moyen du muscle crico-aryténoïdien latéral et celui d'une structure de référence présente dans la même fenêtre acoustique, à savoir le muscle vocal ipsilatéral. A notre connaissance, aucune étude n'avait utilisé cette méthode de quantification de l'échogénicité pour le muscle crico-aryténoïdien latéral auparavant.

La mise au point de la méthode de quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral présentée dans cette étude s'est accompagnée de l'élaboration d'un protocole standardisé d'acquisition des images échographiques, qui conditionne la fiabilité de l'analyse quantitative.

La confrontation des résultats obtenus avec l'examen endoscopique du larynx sur un lot de vingt chevaux, a montré une excellente corrélation (p -value < 0,001) entre ces deux examens et a permis de définir un seuil critique pour le ratio d'échogénicité calculé, qui aurait permis de dépister 100 % des chevaux présentant un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche dans cette étude, avec une spécificité de 90 %.

Cette étude pilote conduite sur un effectif réduit de chevaux appelle deux autres études en cours de réalisation. La première porte sur la validation de cette méthode de quantification de l'échogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral à grande échelle, sur une population de 120 yearlings. La seconde présente le suivi longitudinal de pur-sangs à l'entraînement manifestant, à l'âge de deux ans, une hyperéchogénicité du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche avec ou sans signes endoscopiques d'hémiplégie laryngée récurrente associés. L'objectif de cette seconde étude est d'évaluer la valeur prédictive de l'hyperéchogénicité du muscle cricoaryténoïdien latéral gauche, mesurée selon la méthode mise au point dans cette étude, sur l'apparition d'un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'effort ainsi que sur la carrière sportive du cheval en course.

BIBLIOGRAPHIE

- BARAKZAI S. *Handbook of equine respiratory endoscopy*. Saunders, Edinburgh, 2007. 135 pages.
- BARONE R. *Anatomie comparée des Mammifères domestiques, Tome 3 (Splanchnologie 1 : Appareils digestifs et respiratoires)*. Vigot, Paris, 1997, planches 346-366.
- CAHILL JI, GOULDEN BE. Equine laryngeal hemiplegia. Part IV. Muscle pathology. *N Z Vet J*. 1986, **34**, 186-90.
- CHALMERS HJ, CHEETHAM J, YEAGER AE, DUCHARME NG. Ultrasonography of the Equine Larynx. *Vet Radiol Ultrasound*, 2006, **47**, 476-481.
- CHALMERS HJ, YEAGER AE, CHEETHAM J, DUCHARME NG. Diagnostic sensitivity of subjective and quantitative laryngeal ultrasonography for recurrent laryngeal neuropathy in horses. *Vet Radiol Ultrasound*, 2012, **53**, 660-666.
- CHATEAU H, CREVIER-DENOIX N, DEGUEURCE C, ROBERT C. *Anatomie des membres et de la tête. Notes de cours A1-S6. Polycopié. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique d'anatomie des animaux domestiques*. 2010, 173 pages.
- CHEETHAM J, HOLCOMBE SJ, DUCHARME NG. Upper airway function of normal horses during exercise. In: Hinchliff KW, Kaneps AJ, Geor RJ. (editors). *Equine sports medicine and surgery. Basic and clinical sciences of the equine athlete*. 2nd ed., Saunders-Elsevier, St Louis, 2014, 529-547.
- DAVENPORT-GOODALL CLM, PARENTE EJ. Disorders of the larynx. *Vet. Clin. North America. Equine practice*, 2003, **19**, 169-187.
- DENOIX JM. *Guide de dissection des mammifères domestiques (équidés, ruminants, carnivores), dissection de la tête. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique d'anatomie des animaux domestiques*. 1989. 111 pages.
- DIXON P, ROBINSON E, WADE JF. Workshop Summary. In: *Proceedings of a workshop on Equine Recurrent Laryngeal Neuropathy*. Stratford-upon-Avon, UK, September 7-10, 2003. R & W Publications, Newmarket, 2004, 93-97.
- DUNCAN ID, GRIFFITHS IR, McQUEEN A, BAKER GO. The pathology of equine laryngeal hemiplegia. *Acta Neuropathol*, 1974, **27**, 337-348.
- DUPUIS TRICAUD MC. Génétique de la neuropathie laryngée récurrente chez le cheval. Thèse Méd. Vét., Liège, 2011.
- FINCK C. Evaluation de l'examen échographique dans le diagnostic des paralysies laryngées chez le chien : mise au point d'une technique d'examen et premiers résultats cliniques. Thèse Méd. Vét., Lyon, 2011, n°003.
- GARRETT KS, WOODIE JB, EMBERTSON RM, PEASE AP. Diagnosis of laryngeal dysplasia in five horses using magnetic resonance imaging and ultrasonography. *Equine vet. J.*, 2009, **41**, 766-771.

GARRETT KS, WOODIE JB, EMBERTSON RM. Association of treadmill upper airway endoscopic evaluation with results of ultrasonography and resting upper airway endoscopic evaluation. *Equine vet. J.*, 2010, **43**, 365-371.

GUERIN B, COQUEL Ph. Aspects techniques de l'examen échographique en obstétrique. In : Guerin B, Robert Y, Bourgeot P, Coquel P. (editors). *Echographie en pratique obstétricale*, 4e éd, Elsevier Masson, 2009, p2.

HOLCOMBE SJ, DUCHARME NG. Abnormalities of the upper airway. In: Hinchcliff KW, Kaneps AJ, Geor RJ. (editors). *Equine sports medicine and surgery. Basic and clinical sciences of the equine athlete*. Saunders, Philadelphia, 2004, 559-598.

IVANCICH-RICHER S. Les affections laryngo-pharyngées chez le cheval induisant un bruit respiratoire a l'exercice, appelé cornage. Thèse Méd. Vét., Maisons-Alfort, 2002.

JANICEK JC, KETZNER KM. Airflow mechanics, upper respiratory diagnostics, and performance-limiting pharyngeal disorders. *Compendium equine*. 2008, September, 366-379.

MAURTIS NM, BOLLEN AE, WINDHAUSEN A *et al.* Muscle ultrasound analysis: normal values and differentiation between myopathies and neuropathies. *Ultrasound Med. Biol.*, 2003, **29**, 215-225.

PARENTE EJ, FRANKLIN SH, DERKSEN FJ *et al.* Diagnostic techniques in equine upper respiratory tract disease. In: Auer JA, Stick JA. (editors). *Equine surgery*. 4th ed., Elsevier, St Louis, 2012, 536-555.

PILLEN S. Skeletal muscle ultrasound. *European Journal Translational Myology*. 2010,**1**, 145-155.

PORTER M. Arytenoid chondritis in a horse. In: Porter M. Michael Porter, Equine veterinarian. [en ligne]. 03/05/2013. [<http://michaelporterdvm.blogspot.fr/2013/05/arytenoid-chondritis-in-horse.html>]. (06/02/2014).

RICHARD F. *Anatomie de la tête du cheval Myologie-Ostéologie*. [en ligne]. Création en 2007. [<http://anatomie-cheval.11vm-serv.net/accueil.htm>] (Consulté le 19/01/2014)

Annexe 1 : Résultats de l'analyse semi-quantitative

Echographiste		AL			LV		
		Echogénicité	Architecture	Moyenne	Echogénicité	Architecture	Moyenne
AMEVYL	G	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0	0
VOYAGE	G	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0	0
VIBRATO	G	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0	0
VAPRICCIO	G	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0	0
ULEX	G	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0	0
UNCRACK	G	2	2	2	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0
SIRE	G	2	1	1,5	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0
TIBO	G	1	2	1,5	1	1	1
	D	0	0	0	0	0	0
LORING	G	2	2	2	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0
KING	G	2	2	2	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0
VIRIEU	G	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0	0
STORMY	G	1	1	1	1	1	1
	D	1	0	0,5	0	0	0
SUPERFICIEL	G	1	0	0,5	1	0	0,5
	D	1	0	0,5	0	0	0
RISK TOO	G	0	1	0,5	0	0	0
	D	0	0	0	0	0	0
VODKA	G	0	0	0	0	1	0,5
	D	0	0	0	0	1	0,5
ASTON FOX	G	2	2	2	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0
SONATE	G	1	1	1	1	1	1
	D	0	0	0	0	0	0
JUNKIE	G	2	1	1,5	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0
REDDY	G	2	2	2	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0
SNICKERS	G	2	2	2	2	2	2
	D	0	0	0	0	0	0

Annexe 2 : Niveau de gris moyen de la réunion des régions d'intérêt placées dans le CAL sur la première image de chaque série (écho.cal)

Vue		Longitudinale				Transversale			
Protocole		2 disques		5 disques		2 disques		5 disques	
Opérateur		AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	G	102,61	89,43	105,18	103,83	93,25	88,31	87,64	89,32
	D	59,39	65,69	59,59	57,43	90,22	46,33	75,22	55,42
VOYAGE	G	86,12	63,93	78,63	62,05	99,85	72,15	74,89	66,54
	D	58,59	38,89	45,89	53,74	62,70	54,18	59,79	52,14
VIBRATO	G	36,93	58,35	34,43	47,90	39,32	36,89	35,00	35,52
	D	31,55	32,66	29,14	31,89	33,48	38,75	32,41	32,93
VAPRICCIO	G	27,42	46,65	27,12	47,73	32,44	53,81	31,01	63,88
	D	36,67	40,69	36,45	43,97	51,99	34,43	48,97	32,41
ULEX	G	53,60	32,22	51,18	26,38	54,41	54,93	54,44	52,70
	D	29,37	81,04	25,37	59,24	67,70	54,06	65,34	52,86
UNCRACK	G	112,10	69,82	95,33	71,59	70,89	81,65	66,39	69,16
	D	37,82	36,24	35,18	27,94	40,97	32,39	37,30	32,51
SIRE	G	96,81	61,14	88,52	62,29	81,76	83,52	73,75	74,42
	D	78,22	66,99	68,99	65,79	42,18	46,72	37,17	55,17
TIBO	G	42,15	54,71	26,79	46,36	40,29	45,35	25,28	32,81
	D	19,27	30,11	16,91	24,76	14,55	19,70	20,13	14,39
LORING	G	144,94	168,65	125,04	133,40	113,35	108,90	85,66	87,05
	D	82,74	83,72	73,39	76,36	51,43	88,82	50,01	57,76
KING	G	87,41	143,37	74,20	110,30	111,18	102,30	96,36	87,48
	D	45,85	28,10	45,74	30,39	52,32	46,72	47,93	47,73
VIRIEU	G	32,49	45,44	26,01	37,45	32,95	31,04	33,35	28,43
	D	42,31	35,63	42,84	36,38	29,85	42,52	28,42	34,86
STORMY	G	77,89	94,75	76,30	109,64	83,13	93,96	86,95	81,44
	D	36,45	68,55	38,70	70,64	37,30	44,68	39,98	59,33
SUPERFICIEL	G	29,18	32,32	25,32	24,50	49,73	42,02	41,53	42,65
	D	38,74	49,09	48,27	53,21	40,74	37,85	46,31	38,53
RISK TOO	G	24,16	38,47	21,08	30,38	31,37	17,54	26,71	17,82
	D	24,40	29,41	23,58	27,67	14,89	25,20	10,37	23,87
VODKA	G	27,45	37,91	22,29	28,35	23,75	30,17	26,09	27,51
	D	17,74	26,42	13,61	20,07	17,12	19,54	15,81	20,00
ASTON FOX	G	97,68	68,54	103,72	57,37	115,06	71,51	104,17	61,67
	D	60,10	75,29	66,88	85,17	57,58	89,43	68,37	80,55
SONATE	G	79,12	85,82	85,69	79,35	56,70	71,05	62,39	61,64
	D	21,01	37,71	33,83	43,69	41,95	40,10	35,51	32,14
JUNKIE	G	50,68	37,54	51,38	48,51	63,48	45,49	48,79	46,46
	D	26,17	25,99	24,32	20,59	38,11	32,21	34,57	30,94
REDDY	G	74,51	70,16	56,34	65,26	84,49	60,10	75,45	61,22
	D	32,42	30,87	29,90	29,10	35,07	28,87	29,78	33,50
SNICKERS	G	64,75	82,40	57,63	84,22	101,44	115,97	74,78	112,25
	D	42,03	51,38	42,50	62,41	35,19	37,64	33,27	33,11

Annexe 3 : Moyenne des *écho.cal* des 3 images de chaque série (*moy.écho.cal*)

Vue		Longitudinale				Transversale			
Protocole		2 disques		5 disques		2 disques		5 disques	
Opérateur		AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	G	95,12	105,07	93,02	108,62	87,28	94,04	93,50	91,30
	D	67,85	77,90	65,46	70,18	84,59	56,64	76,88	59,14
VOYAGE	G	85,26	85,12	77,17	72,77	100,78	67,42	78,66	62,52
	D	70,90	58,87	62,57	64,82	64,79	58,34	55,09	61,03
VIBRATO	G	34,33	44,33	31,62	36,55	30,37	37,65	27,67	35,82
	D	25,69	31,52	22,63	28,99	32,03	30,14	28,32	27,50
VAPRICCIO	G	30,45	50,90	29,50	51,21	30,70	57,67	33,82	57,01
	D	39,01	41,78	34,40	40,39	40,57	32,88	43,90	31,00
ULEX	G	53,93	37,57	48,52	32,33	51,36	51,46	57,88	45,50
	D	49,39	69,55	45,78	62,89	61,36	53,22	63,53	58,11
UNCRACK	G	97,19	75,87	89,21	73,57	79,80	81,00	73,21	71,58
	D	38,13	45,71	39,90	39,23	40,88	34,64	34,27	31,04
SIRE	G	96,01	88,81	87,71	86,48	81,10	107,78	68,62	91,49
	D	75,78	59,91	68,66	61,22	47,03	51,59	44,20	54,96
TIBO	G	45,96	50,15	36,11	48,58	43,68	41,31	28,79	32,05
	D	20,72	23,73	18,55	18,76	18,78	19,94	18,97	15,95
LORING	G	138,42	135,71	126,45	122,23	92,59	107,80	86,21	84,98
	D	70,33	74,51	75,80	72,50	53,73	70,24	62,63	56,03
KING	G	107,47	125,49	97,06	107,58	102,29	99,69	94,37	91,68
	D	50,47	33,55	47,22	31,37	48,27	47,08	43,00	48,69
VIRIEU	G	35,69	43,29	25,60	42,13	32,43	33,32	33,00	28,27
	D	40,71	42,76	45,29	40,98	33,13	42,38	31,97	37,47
STORMY	G	96,13	105,02	91,91	106,08	78,22	81,51	71,41	76,74
	D	44,78	76,11	45,37	69,59	37,47	44,47	36,97	56,11
SUPERFICIEL	G	37,91	38,16	38,17	31,40	45,71	44,29	43,69	42,57
	D	41,24	50,67	50,78	50,51	40,21	34,57	45,71	35,97
RISK TOO	G	25,83	32,63	26,34	28,56	29,88	28,26	26,39	23,26
	D	24,45	31,45	23,06	30,98	17,70	22,79	14,35	24,40
VODKA	G	24,94	36,23	24,82	33,31	21,63	29,37	26,13	28,46
	D	21,36	31,40	14,78	26,91	14,87	23,13	14,62	22,58
ASTON FOX	G	105,50	74,75	105,91	65,06	114,58	90,48	101,99	81,25
	D	61,04	84,78	61,38	86,92	57,14	74,83	59,25	72,82
SONATE	G	79,33	74,69	80,79	73,08	60,22	62,98	65,94	57,30
	D	31,43	34,57	35,93	35,15	36,68	35,52	36,89	32,04
JUNKIE	G	62,61	47,38	55,75	49,11	69,13	52,66	57,55	49,85
	D	34,30	32,51	30,04	27,39	33,47	32,29	34,66	26,53
REDDY	G	78,20	71,80	67,69	65,09	69,84	64,22	64,15	63,52
	D	25,26	35,85	26,80	34,54	34,75	25,61	32,39	31,74
SNICKERS	G	56,38	73,81	57,94	75,45	105,36	107,37	87,97	107,61
	D	35,27	61,75	35,80	59,56	29,60	33,63	30,96	31,37

Annexe 4 : Ratio entre les niveaux de gris moyens de la réunion des RI placées dans le CAL gauche et dans le CAL droit, sur la première image de chaque série (écho.calG/écho.calD)

Vue	Longitudinale				Transversale			
	2 disques		5 disques		2 disques		5 disques	
Protocole	AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
Opérateur	AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	1,73	1,36	1,77	1,81	1,03	1,91	1,17	1,61
VOYAGE	1,47	1,64	1,71	1,15	1,59	1,33	1,25	1,28
VIBRATO	1,17	1,79	1,18	1,50	1,17	0,95	1,08	1,08
VAPRICCIO	0,75	1,15	0,74	1,09	0,62	1,56	0,63	1,97
ULEX	1,83	0,40	2,02	0,45	0,80	1,02	0,83	1,00
UNCRACK	2,96	1,93	2,71	2,56	1,73	2,52	1,78	2,13
SIRE	1,24	0,91	1,28	0,95	1,94	1,79	1,98	1,35
TIBO	2,19	1,82	1,58	1,87	2,77	2,30	1,26	2,28
LORING	1,75	2,01	1,70	1,75	2,20	1,23	1,71	1,51
KING	1,91	5,10	1,62	3,63	2,12	2,19	2,01	1,83
VIRIEU	0,77	1,28	0,61	1,03	1,10	0,73	1,17	0,82
STORMY	2,14	1,38	1,97	1,55	2,23	2,10	2,17	1,37
SUPERFICIEL	0,75	0,66	0,52	0,46	1,22	1,11	0,90	1,11
RISK TOO	0,99	1,31	0,89	1,10	2,11	0,70	2,58	0,75
VODKA	1,55	1,43	1,64	1,41	1,39	1,54	1,65	1,38
ASTON FOX	1,63	0,91	1,55	0,67	2,00	0,80	1,52	0,77
SONATE	3,77	2,28	2,53	1,82	1,35	1,77	1,76	1,92
JUNKIE	1,94	1,44	2,11	2,36	1,67	1,41	1,41	1,50
REDDY	2,30	2,27	1,88	2,24	2,41	2,08	2,53	1,83
SNICKERS	1,54	1,60	1,36	1,35	2,88	3,08	2,25	3,39

**Annexe 5 : Ratio moyen entre les niveaux de gris de la réunion des RI placées dans le
CAL gauche et dans le CAL droit, sur chaque série de 3 images
(*moy.écho.calG/moy.écho.calD*)**

Vue	Longitudinale				Transversale			
	2 disques		5 disques		2 disques		5 disques	
Protocole	AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	1,40	1,35	1,42	1,55	1,03	1,66	1,22	1,54
VOYAGE	1,20	1,45	1,23	1,12	1,56	1,16	1,43	1,02
VIBRATO	1,34	1,41	1,40	1,26	0,95	1,25	0,98	1,30
VAPRICCIO	0,78	1,22	0,86	1,27	0,76	1,75	0,77	1,84
ULEX	1,09	0,54	1,06	0,51	0,84	0,97	0,91	0,78
UNCRACK	2,55	1,66	2,24	1,88	1,95	2,34	2,14	2,31
SIRE	1,27	1,48	1,28	1,41	1,72	2,09	1,55	1,66
TIBO	2,22	2,11	1,95	2,59	2,33	2,07	1,52	2,01
LORING	1,97	1,82	1,67	1,69	1,72	1,53	1,38	1,52
KING	2,13	3,74	2,06	3,43	2,12	2,12	2,19	1,88
VIRIEU	0,88	1,01	0,57	1,03	0,98	0,79	1,03	0,75
STORMY	2,15	1,38	2,03	1,52	2,09	1,83	1,93	1,37
SUPERFICIEL	0,92	0,75	0,75	0,62	1,14	1,28	0,96	1,18
RISK TOO	1,06	1,04	1,14	0,92	1,69	1,24	1,84	0,95
VODKA	1,17	1,15	1,68	1,24	1,45	1,27	1,79	1,26
ASTON FOX	1,73	0,88	1,73	0,75	2,01	1,21	1,72	1,12
SONATE	2,52	2,16	2,25	2,08	1,64	1,77	1,79	1,79
JUNKIE	1,83	1,46	1,86	1,79	2,07	1,63	1,66	1,88
REDDY	3,10	2,00	2,53	1,88	2,01	2,51	1,98	2,00
SNICKERS	1,60	1,20	1,62	1,27	3,56	3,19	2,84	3,43

Annexe 6 : Ratio entre les niveaux de gris moyens de la réunion des RI placées dans le CAL et dans muscle vocal, sur la première image de chaque série (écho.cal/écho.voc)

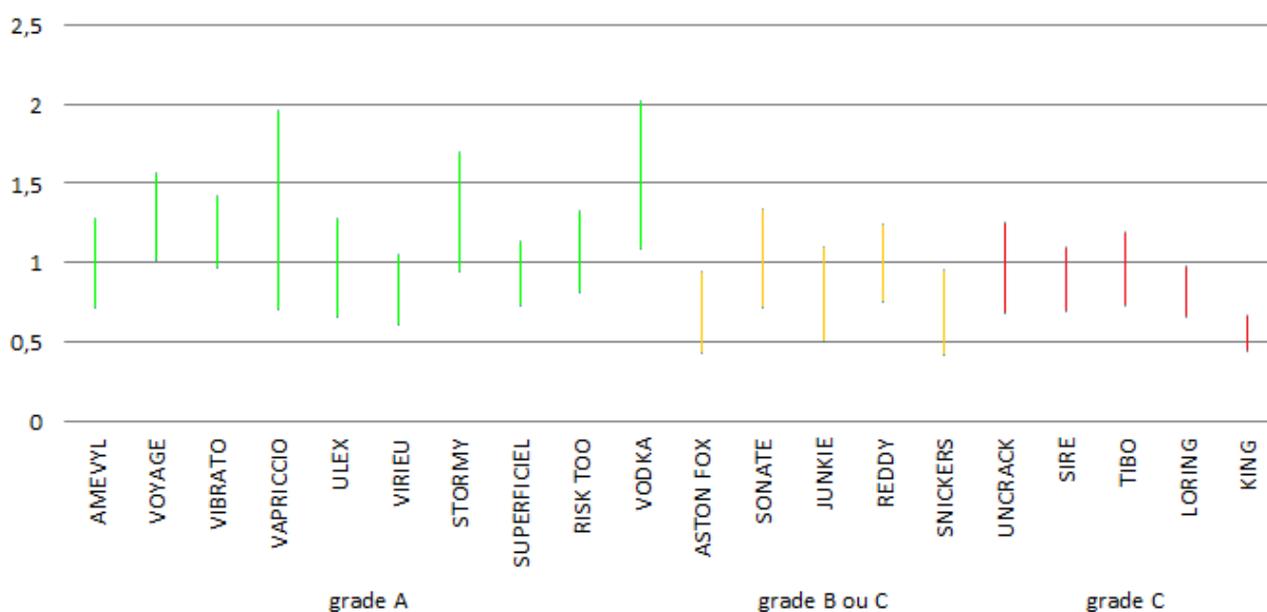
Vue		Longitudinale				Transversale			
Protocole		2 disques		5 disques		2 disques		5 disques	
Opérateur		AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	G	0,58	0,42	0,65	0,60	0,62	0,45	0,72	0,56
	D	0,32	0,41	0,35	0,39	0,62	0,35	0,45	0,43
VOYAGE	G	0,47	0,47	0,45	0,54	0,57	0,48	0,85	0,46
	D	0,53	0,45	0,52	0,52	0,54	0,40	0,60	0,66
VIBRATO	G	0,55	0,65	0,61	0,55	0,53	0,44	0,64	0,55
	D	0,60	0,50	0,51	0,56	0,56	0,47	0,59	0,53
VAPRICCIO	G	0,35	0,52	0,35	0,45	0,42	0,42	0,42	0,47
	D	0,30	0,42	0,37	0,48	0,49	0,55	0,56	0,42
ULEX	G	0,53	0,39	0,43	0,32	0,35	0,50	0,46	0,47
	D	0,25	0,58	0,25	0,52	0,46	0,40	0,51	0,44
UNCRACK	G	1,41	0,89	0,97	1,05	1,09	1,21	1,07	1,07
	D	0,47	0,47	0,48	0,38	0,50	0,33	0,51	0,45
SIRE	G	1,11	0,85	1,15	0,87	1,22	0,99	1,17	0,93
	D	0,74	0,51	0,69	0,53	0,52	0,59	0,48	0,68
TIBO	G	0,67	1,16	0,41	0,83	0,95	0,95	0,63	0,72
	D	0,30	0,39	0,32	0,35	0,21	0,32	0,33	0,26
LORING	G	1,03	1,17	1,01	0,94	1,22	1,05	1,02	1,10
	D	0,53	0,60	0,49	0,56	0,42	0,71	0,51	0,51
KING	G	1,67	1,76	1,35	1,38	1,59	1,72	1,47	1,48
	D	0,37	0,36	0,37	0,39	0,38	0,31	0,44	0,37
VIRIEU	G	0,52	0,39	0,35	0,37	0,46	0,46	0,53	0,44
	D	0,36	0,41	0,36	0,42	0,38	0,36	0,41	0,41
STORMY	G	0,70	0,56	0,60	0,67	0,49	0,73	0,54	0,64
	D	0,32	0,43	0,42	0,51	0,47	0,36	0,53	1,11
SUPERFICIEL	G	0,32	0,41	0,29	0,35	0,52	0,36	0,42	0,43
	D	0,42	0,39	0,47	0,45	0,36	0,35	0,37	0,41
RISK TOO	G	0,35	0,47	0,36	0,45	0,49	0,30	0,43	0,40
	D	0,41	0,47	0,37	0,39	0,32	0,36	0,28	0,35
VODKA	G	0,36	0,52	0,31	0,37	0,33	0,38	0,41	0,38
	D	0,78	0,52	0,56	0,37	0,41	0,29	0,31	0,30
ASTON FOX	G	0,81	0,81	0,85	0,70	1,14	1,10	1,11	1,07
	D	0,41	0,43	0,46	0,57	0,50	0,59	0,78	0,65
SONATE	G	0,60	0,75	0,75	0,70	0,67	0,59	0,74	0,70
	D	0,16	0,50	0,32	0,60	0,26	0,37	0,23	0,33
JUNKIE	G	0,78	1,19	0,86	1,30	1,02	1,00	0,94	0,91
	D	0,43	0,50	0,45	0,42	0,68	0,46	0,45	0,49
REDDY	G	0,71	0,85	0,76	0,81	1,08	0,53	1,02	0,58
	D	0,40	0,34	0,40	0,29	0,39	0,27	0,46	0,32
SNICKERS	G	1,18	1,05	1,01	1,20	1,48	1,19	1,13	1,13
	D	0,39	0,30	0,35	0,39	0,26	0,31	0,27	0,32

**Annexe 7 : Ratio moyen entre les niveaux de gris moyens de la réunion des RI placées dans le CAL et dans muscle vocal, sur chaque série de 3 images
(moy.écho.cal/moy.écho.voc)**

Vue		Longitudinale				Transversale			
Protocole		2 disques		5 disques		2 disques		5 disques	
Opérateur		AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	G	0,52	0,57	0,59	0,62	0,59	0,48	0,72	0,55
	D	0,39	0,50	0,38	0,51	0,52	0,36	0,42	0,41
VOYAGE	G	0,49	0,54	0,43	0,49	0,59	0,49	0,66	0,52
	D	0,50	0,52	0,51	0,52	0,59	0,48	0,55	0,60
VIBRATO	G	0,50	0,54	0,47	0,46	0,52	0,48	0,56	0,55
	D	0,47	0,52	0,40	0,52	0,59	0,50	0,57	0,52
VAPRICCIO	G	0,47	0,50	0,53	0,52	0,39	0,39	0,46	0,40
	D	0,39	0,40	0,38	0,44	0,40	0,45	0,50	0,40
ULEX	G	0,54	0,43	0,47	0,35	0,39	0,46	0,46	0,40
	D	0,36	0,52	0,41	0,58	0,57	0,42	0,66	0,49
UNCRACK	G	1,22	0,94	0,99	1,00	1,14	1,37	1,08	1,16
	D	0,52	0,47	0,55	0,40	0,50	0,39	0,49	0,45
SIRE	G	1,09	0,99	1,11	0,97	1,12	1,04	1,07	0,99
	D	0,63	0,57	0,61	0,63	0,61	0,57	0,54	0,60
TIBO	G	0,70	0,87	0,58	0,84	0,91	0,95	0,73	0,77
	D	0,34	0,40	0,35	0,33	0,35	0,33	0,38	0,27
LORING	G	1,00	1,00	1,03	0,98	1,10	1,08	1,10	1,07
	D	0,51	0,53	0,58	0,54	0,41	0,54	0,54	0,49
KING	G	1,85	2,23	1,62	1,83	1,64	1,57	1,63	1,44
	D	0,38	0,37	0,40	0,33	0,51	0,35	0,53	0,39
VIRIEU	G	0,55	0,42	0,34	0,43	0,42	0,43	0,49	0,38
	D	0,38	0,42	0,37	0,44	0,34	0,38	0,37	0,42
STORMY	G	0,68	0,71	0,70	0,70	0,63	0,71	0,59	0,71
	D	0,39	0,48	0,43	0,50	0,47	0,37	0,52	0,69
SUPERFICIEL	G	0,38	0,41	0,43	0,38	0,42	0,41	0,38	0,39
	D	0,45	0,42	0,53	0,45	0,34	0,35	0,41	0,37
RISK TOO	G	0,34	0,43	0,41	0,44	0,48	0,35	0,46	0,43
	D	0,39	0,47	0,38	0,43	0,36	0,32	0,33	0,36
VODKA	G	0,34	0,42	0,36	0,40	0,41	0,43	0,55	0,44
	D	0,60	0,51	0,44	0,44	0,37	0,40	0,34	0,37
ASTON FOX	G	0,85	1,07	0,87	0,90	1,05	1,15	1,01	1,12
	D	0,44	0,50	0,47	0,56	0,45	0,52	0,56	0,59
SONATE	G	0,63	0,64	0,71	0,73	0,68	0,64	0,76	0,74
	D	0,24	0,38	0,31	0,46	0,30	0,34	0,36	0,32
JUNKIE	G	1,08	1,24	0,98	1,26	0,99	0,96	0,95	0,93
	D	0,45	0,44	0,46	0,38	0,52	0,50	0,46	0,45
REDDY	G	0,71	0,80	0,67	0,80	0,87	0,68	0,79	0,64
	D	0,29	0,36	0,32	0,32	0,35	0,26	0,37	0,33
SNICKERS	G	1,11	1,02	1,10	1,04	1,35	1,24	1,19	1,26
	D	0,30	0,47	0,32	0,46	0,24	0,30	0,27	0,35

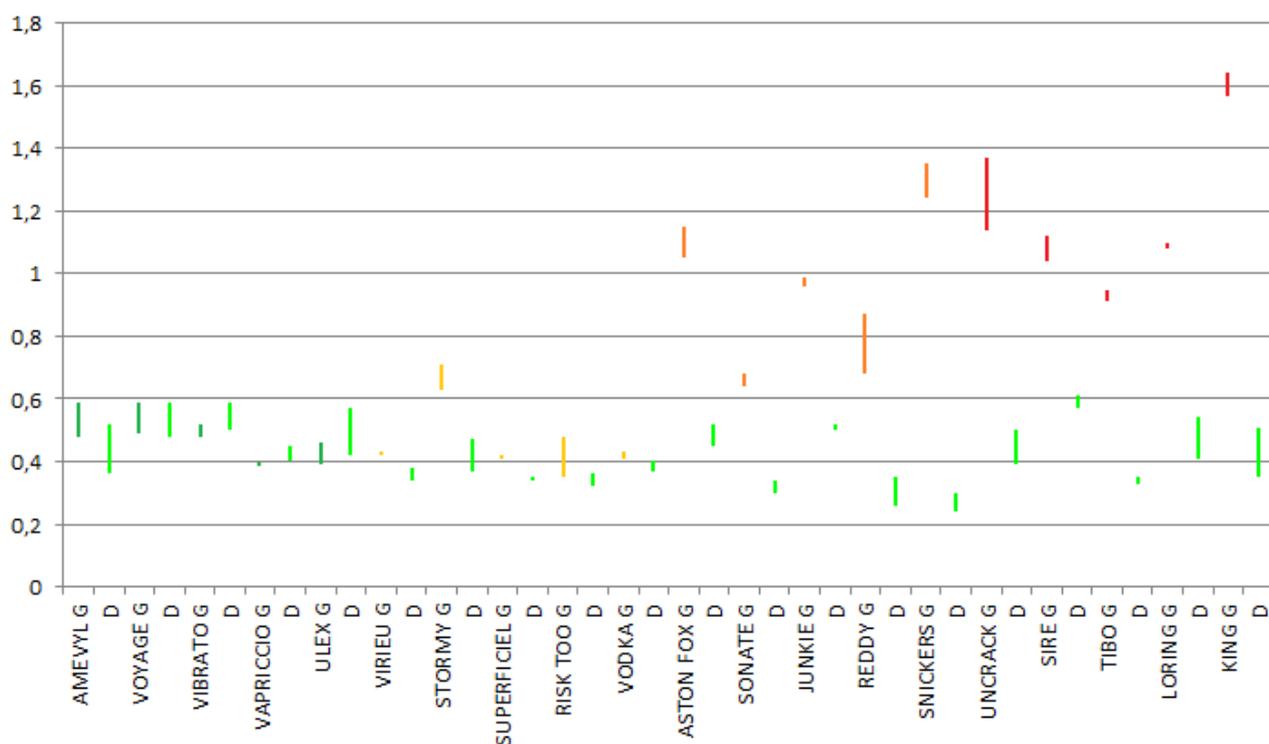
**Annexe 8 : Ratio moyen entre les niveaux de gris de la réunion des RI placées dans le muscle vocal gauche et dans le muscle vocal droit, sur chaque série de 3 images
(moy.écho.vocG/moy.écho.vocD)**

Vue	Longitudinale				Transversale			
	2 disques		5 disques		2 disques		5 disques	
Protocole	AL	LV	AL	LV	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	1,05	1,22	0,92	1,28	0,91	1,25	0,72	1,13
VOYAGE	1,24	1,40	1,44	1,20	1,56	1,01	1,24	1,17
VIBRATO	1,27	1,34	1,25	1,42	1,06	1,29	0,97	1,24
VAPRICCIO	0,70	1,00	0,70	1,07	0,76	1,96	0,84	1,86
ULEX	0,77	0,66	0,96	0,83	1,22	0,88	1,28	0,97
VIRIEU	0,61	1,02	0,61	1,05	0,79	0,70	0,77	0,83
STORMY	1,24	0,94	1,26	1,09	1,61	0,95	1,70	1,15
SUPERFICIEL	1,05	0,77	0,92	0,73	0,95	1,09	1,02	1,13
RISK TOO	1,20	1,15	1,04	0,88	1,27	0,93	1,32	0,81
VODKA	1,91	1,41	2,02	1,36	1,38	1,18	1,16	1,09
ASTON FOX	0,91	0,43	0,94	0,48	0,87	0,54	0,92	0,58
SONATE	0,96	1,26	0,96	1,34	0,71	0,96	0,76	0,78
JUNKIE	0,77	0,50	0,86	0,54	1,10	0,85	0,81	0,91
REDDY	1,24	0,90	1,21	0,75	0,80	0,97	0,89	1,05
SNICKERS	0,42	0,54	0,47	0,56	0,63	0,78	0,66	0,96
UNCRACK	1,08	0,80	1,25	0,77	0,86	0,68	0,97	0,90
SIRE	0,73	0,83	0,69	0,88	0,95	1,10	0,79	0,98
TIBO	1,08	0,97	1,19	0,99	0,84	0,73	0,78	0,73
LORING	0,98	0,96	0,93	0,94	0,65	0,77	0,68	0,71
KING	0,44	0,67	0,50	0,66	0,60	0,47	0,67	0,51



Annexe 9 : Ratio moyen entre les niveaux de gris moyens des RI placées dans le CAL et dans muscle vocal, sur chaque série de 3 images à gauche et à droite (moy.écho.calG/moy.écho.vocG et moy.écho.calD/moy.écho.vocD)

Vue	Transversale 2 disques			
	Gauche		Droite	
Protocole				
Opérateur	AL	LV	AL	LV
AMEVYL	0,59	0,48	0,52	0,36
VOYAGE	0,59	0,49	0,59	0,48
VIBRATO	0,52	0,48	0,59	0,50
VAPRICCIO	0,39	0,39	0,40	0,45
ULEX	0,39	0,46	0,57	0,42
VIRIEU	0,42	0,43	0,34	0,38
STORMY	0,63	0,71	0,47	0,37
SUPERFICIEL	0,42	0,41	0,34	0,35
RISK TOO	0,48	0,35	0,36	0,32
VODKA	0,41	0,43	0,37	0,40
ASTON FOX	1,05	1,15	0,45	0,52
SONATE	0,68	0,64	0,30	0,34
JUNKIE	0,99	0,96	0,52	0,50
REDDY	0,87	0,68	0,35	0,26
UNCRACK	1,14	1,37	0,50	0,39
SIRE	1,12	1,04	0,61	0,57
TIBO	0,91	0,95	0,35	0,33
LORING	1,10	1,08	0,41	0,54
KING	1,64	1,57	0,51	0,35



Annexe 10 : Classeur EXCEL utilisé pour l'analyse des données

Echographiste Image	AL						LV					
	DT1	DT2	DT3	GT1	GT2	GT3	DT1	DT2	DT3	GT1	GT2	GT3
Niveaux de gris	cal	V	cal	V	cal	V	cal	V	cal	V	cal	V
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
70	1,59	0	3,01	0	3,45	0	1,15	0	2,13	0,09	1,33	0
71	2,47	0	1,51	0,09	2,83	0	0,89	0	2,57	0	2,21	0,18
72	1,94	0	2,39	0	2,04	0	0,8	0	2,3	0	2,3	0
73	1,85	0	2,84	0,09	2,57	0	1,42	0	1,86	0	1,86	0,18
74	1,85	0	2,57	0	2,39	0	1,42	0	2,66	0,09	1,68	0,09
75	2,03	0	2,66	0,09	1,77	0	1,95	0	2,39	0	1,59	0,09
...
250	0	0	0	0,53	0	0,35	0	0	0,18	0	0,18	0
251	0	0	0	0,88	0	0,53	0	0	0,09	0	0,09	0
253	0	0	0	0,71	0	1,06	0	0	0,18	0	0,18	0
254	0	0	0	0,97	0	3,63	0	0	1,41	0	0,18	0
255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Niveau de gris moyen	90,2	146	85,5	171	78	176	93,3	150	83,5	170	85,1	131

Ratio échogénicité moyenne CAL/VOCAL ipsilatéral:

	DT			GT												
	AL			LV												
1	2	3 moyenne	1	2	3 moyenne											
CAL	90,22	85,54	78,00	84,59	46,33	69,31	54,29	56,64	93,25	83,53	85,06	87,28	88,31	90,58	103,24	94,04
VOCAL	145,56	171,46	176,30	164,44	133,97	154,41	184,52	157,63	150,39	169,87	130,98	150,42	197,92	214,85	176,86	196,54
CAL/VOCAL	0,62	0,50	0,44	0,52	0,35	0,45	0,29	0,36	0,62	0,49	0,65	0,59	0,45	0,42	0,58	0,48

**Annexe 11 : Répartition des chevaux de différents grades endoscopiques
selon l'évaluation semi-quantitative par deux opérateurs
du muscle crico-aryténoïdien latéral gauche**

Légende:

Grade I (A), Grade IIIA, Grade IIIB ou IIIC, Grade IV (C)

		AL				
		0	0,5	1	1,5	2
LV	0	AMEVYL VOYAGE VIBRATO VAPRICCIO ULEX VIRIEU	RISK TOO			
	0,5	VODKA	SUPERFICIEL			
	1			STORMY SONATE	TIBO	
	1,5					
	2				JUNKIE SIRE	ASTON FOX REDDY SNICKERS UNCRACK LORING KING

Annexe 12 : Test de Fisher de l'association statistique entre l'observation d'un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'examen endoscopique et le calcul d'un ratio CAL/VOC supérieur à 0,6 à gauche

La répartition observée est la suivante :

	Grade A	Grade B ou C	Total
Ratio CAL/VOC < 0,6	9	0	9
Ratio CAL/VOC > 0,6	1	10	11
Total	10	10	20

La probabilité d'obtenir la répartition observée avec les totaux marginaux donnés (10 chevaux de grade A ; 10 chevaux de grade B ou C ; 9 chevaux présentant un ratio < 0,6 ; 11 chevaux présentant un ratio > 0,6) est p1 :

$$p1 = \frac{10!10!11!9!}{10!1!0!9!20!} \quad \text{soit } p1 = 5,95 \times 10^{-5}$$

La seule autre répartition aussi ou plus éloignée de l'hypothèse nulle avec les mêmes totaux marginaux, est la table suivante :

	Grade A	Grade B ou C	Total
Ratio CAL/VOC < 0,6	0	9	9
Ratio CAL/VOC > 0,6	10	1	11
Total	10	10	20

La probabilité d'obtenir cette répartition avec les totaux marginaux donnés est p2 :

$$p2 = \frac{10!10!11!9!}{10!1!0!9!20!} = p1$$

Finalement, la probabilité d'observer par hasard une répartition aussi ou plus éloignée de celle attendue sous l'hypothèse nulle que celle observée est de P :

$$P = p1 + p2 = 0,000119$$

MISE AU POINT D'UNE MÉTHODE QUANTITATIVE D'ÉVALUATION ÉCHOGRAPHIQUE DE L'HÉMIPLÉGIE LARYNGÉE CHEZ LE CHEVAL

NOM et Prénom : VAVASSEUR Lucile

Résumé

L'exploration échographique du larynx par voie externe est un examen plus accessible sur le terrain, moins invasif et mieux corrélé à l'endoscopie à l'effort que l'endoscopie au repos pour le diagnostic de l'hémiplégie laryngée chez le cheval. Son utilisation pour le dépistage de l'hémiplégie laryngée en première intention semblerait pertinente, à condition de définir des critères échographiques de suspicion objectifs, conduisant à réaliser ou non un examen endoscopique à l'effort pour confirmer le diagnostic.

L'objectif de cette étude est de définir un paramètre échographique combinant une bonne concordance inter-échographistes et une bonne aptitude à discriminer les chevaux sains des chevaux présentant un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'effort.

Les images échographiques acquises par deux opérateurs dans la fenêtre acoustique latérale selon un protocole standardisé ont permis d'extraire différents paramètres quantitatifs d'échogénicité. La moyenne, sur trois images acquises en vue transversale, du ratio entre l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle crico-aryténoïdien latéral, et l'échogénicité moyenne d'un disque de 1130 pixels placé dans le muscle vocal est le paramètre garantissant la meilleure concordance inter-échographistes (Coefficient de concordance de Lin : 0,93).

Ce paramètre présente par ailleurs une très bonne corrélation avec l'examen endoscopique à l'effort, considéré comme l'examen de référence pour l'évaluation de l'hémiplégie laryngée récurrente. Dans cette étude sur vingt chevaux, le seuil de 0,6 pour ce paramètre permet de dépister les chevaux susceptibles de présenter un défaut d'abduction du cartilage aryténoïde gauche à l'effort avec une sensibilité de 1 et une spécificité de 0,9.

Mots clés

- **HÉMIPLÉGIE LARYNGÉE**
- **LARYNX**
- **MUSCLE**
- **CORNAGE**
- **ÉVALUATION**
- **PATHOLOGIE**
- **APPAREIL RESPIRATOIRE**
- **ÉQUIDÉ**
- **CHEVAL**

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Dr. MESPOULHES-RIVIERE Céline

Assesseur : Dr. ROBERT Céline

Invité : Dr. LECHARTIER Antoine

DEVELOPPEMENT OF A QUANTITATIVE METHOD FOR ULTRASONOGRAPHIC ASSESSMENT OF LARYNGEAL HEMIPLEGIA IN THE HORSE

SURNAME and Name: VAVASSEUR Lucile

Summary

Ultrasonography of the equine larynx allows a more affordable and less invasive assessment of laryngeal hemiplegia than resting endoscopy. This technique also provides a better correlation with dynamic endoscopy than resting endoscopy. Its use for early screening would seem relevant, provided that objective ultrasonographic suspicion criteria are defined. Such a method of early screening would then allow subjecting only suspected horses to a dynamic endoscopic exam for confirmation.

In this study, we tried to determine a quantitative ultrasonographic parameter that would both take concordant values between two different operators and reliably differentiate healthy horses from horses showing a decreased abduction of the arytenoid cartilages at dynamic endoscopic evaluation. Several quantitative echogenicity parameters were defined on the ultrasound images acquired by two operators in the right and left lateral acoustic windows using a standardized protocol. Calculated from three images in transverse section, the parameter that ensures the best inter-operators concordance is the mean ratio between mean echogenicity of a 1130 pixels disc located in the lateral cricoarytenoid muscle and mean echogenicity of a 1130 pixels disc located in the vocalis muscle (Lin coefficient : 0.93).

This parameter also provides a very good correlation with dynamic endoscopic exam, which is the gold standard technique for recurrent laryngeal neuropathy assessment. In our study on twenty horses, the threshold value of 0.6 is discriminant for horses showing a decreased abduction of the arytenoid cartilages at the dynamic endoscopic evaluation, with a sensitivity of 1 and a specificity of 0.9.

Keywords

- **LARYNGEAL HEMIPLEGIA**
- **LARYNX**
- **MUSCLE**
- **ROARING NOISE**
- **EVALUATION**
- **PATHOLOGY**
- **RESPIRATORY TRACT**
- **EQUINE**
- **HORSE**

Jury :

President: Pr.

Director: Dr. MESPOULHES-RIVIERE Céline

Assessor: Dr. ROBERT Céline

Guest: Dr. LECHARTIER Antoine