# VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2020 - Thèse n°060

# ETUDE DE L'ADAPTABILITE DU TEST DE VENTILATION FORCEE CHEZ LES BOVINS

# **THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I (Médecine - Pharmacie) et soutenue publiquement le 23 octobre 2020 pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

AMRANI Ines





# VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2020 - Thèse n°060

# ETUDE DE L'ADAPTABILITE DU TEST DE VENTILATION FORCEE CHEZ LES BOVINS

# **THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I (Médecine - Pharmacie) et soutenue publiquement le 23 octobre 2020 pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

AMRANI Ines





### Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (01-09-2019)

ABITBOL Marie DEPT-BASIC-SCIENCES Professeur ALVES-DE-OLIVEIRA Laurent DEPT-BASIC-SCIENCES Maître de conférences ARCANGIOLI Marie-Anne **DEPT-ELEVAGE-SPV** Professeur Maître de conférences AYRAL Florence DEPT-ELEVAGE-SPV BECKER DEPT-ELEVAGE-SPV Maître de conférences Claire **BELLUCO** DEPT-AC-LOISIR-SPORT Maître de conférences Sara BENAMOU-SMITH DEPT-AC-LOISIR-SPORT Maître de conférences Agnès BENOTE Etienne **DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur **DEPT-BASIC-SCIENCES BERNY** Philippe Professeur Jeanne-Marie BONNET-GARIN **DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur **BOULOCHER** Caroline **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences BOURDOISEAU Gilles DEPT-ELEVAGE-SPV Professeur **BOURGOIN** Gilles Maître de conférences **DEPT-ELEVAGE-SPV** BRUYERE Pierre **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences BUFF Samuel **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences BURONFOSSE Thierry **DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur CACHON Thibaut DEPT-AC-LOISIR-SPORT Maître de conférences CADORÉ **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** lean-Luc Professeur CALLAIT-CARDINAL Marie-Pierre DEPT-ELEVAGE-SPV Maître de conférences CARO770 Claude DEPT-AC-LOISIR-SPORT Maître de conférences **CHABANNE** Luc **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Professeur CHALVET-MONFRAY Karine **DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur DE BOYER DES ROCHES Alice **DEPT-ELEVAGE-SPV** Maître de conférences **DELIGNETTE-MULLER** Marie-Laure **DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur DJELOUADJI 7orée DEPT-ELEVAGE-SPV Maître de conférences Catherine DEPT-AC-LOISIR-SPORT **ESCRIOU** Maître de conférences FRIKHA Mohamed-Ridha DEPT-ELEVAGE-SPV Maître de conférences Maître de conférences **GALIA** Wessam DEPT-ELEVAGE-SPV GILOT-FROMONT Emmanuelle DEPT-ELEVAGE-SPV Professeur **GONTHIER** DEPT-ELEVAGE-SPV Maître de conférences Alain **GRANCHER** Denis **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences Delphine **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences **GREZEL** HUGONNARD Maître de conférences Marine **DEPT-AC-LOISIR-SPORT JANKOWIAK** Bernard **DEPT-ELEVAGE-SPV** Maître de conférences JOSSON-SCHRAMME Anne **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences JUNOT Stéphane **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Maître de conférences KODJO DEPT-ELEVAGE-SPV Angeli Professeur DEPT-AC-LOISIR-SPORT Maître de conférences KRAFFT Fmilie **LAABERKI** Maria-Halima **DEPT-ELEVAGE-SPV** Maître de conférences LAMBERT Véronique **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences LE GRAND Dominique **DEPT-ELEVAGE-SPV** Professeur LEBLOND DEPT-AC-LOISIR-SPORT Agnès Professeur Dorothée Maître de conférences LEDOUX DEPT-FLEVAGE-SPV **LEFEBVRE** Sébastien **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences **DEPT-BASIC-SCIENCES** LEFRANC-POHL Anne-Cécile Maître de conférences **LEGROS** Vincent **DEPT-ELEVAGE-SPV** Maître de conférences **LEPAGE** Olivier **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Professeur LOUZIER **DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur Vanessa MARCHAL Thierry **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Professeur MOISSONNIER Pierre **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Professeur MOUNIER DEPT-ELEVAGE-SPV Luc Professeur **PEPIN** Michel **DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur PIN Didier DEPT-AC-LOISIR-SPORT Professeur Frédérique **PONCE** DEPT-AC-LOISIR-SPORT Professeur **PORTIER DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Karine Professeur POUZOT-NEVORET Céline **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Maître de conférences **PROUILLAC** Caroline **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences REMY Denise DEPT-AC-LOISIR-SPORT Professeur RENE MARTELLET Maître de conférences Magalie **DEPT-ELEVAGE-SPV ROGER DEPT-BASIC-SCIENCES** Professeur Thierry SABATIER Philippe DEPT-ELEVAGE-SPV Professeur **SAWAYA** Serge **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences **SCHRAMME** Michael **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Professeur SERGENTET Delphine **DEPT-ELEVAGE-SPV** Professeur **THIEBAULT** Jean-Jacques **DEPT-BASIC-SCIENCES** Maître de conférences THOMAS-CANCIAN Aurélie DEPT-AC-LOISIR-SPORT Maître de conférences **TORTEREAU** Antonin **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Maître de conférences **VIGUIER** Eric **DEPT-AC-LOISIR-SPORT** Professeur VIRIEUX-WATRELOT Dorothée DEPT-AC-LOISIR-SPORT Maître de conférences **ZENNER** Lionel **DEPT-ELEVAGE-SPV** Professeur

# REMERCIEMENTS

# A Monsieur le Professeur SEVE,

De la Faculté de Médecine de Lyon,

Pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury,

Hommages respectueux.

### A Madame le Professeur LOUZIER,

De VetAgro Sup campus vétérinaire de Lyon,

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'encadrer cette thèse,

Pour m'avoir soutenue tout au long de ce projet,

Mes plus sincères remerciements.

#### A Madame le Professeur ARCANGIOLI

De VetAgro Sup campus vétérinaire de Lyon,

Pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse

Mes sincères remerciements.

# Table des matières

Intro	oductio	n	. 19
Par	tie I : B	ibliographie	. 21
1.	. Org	anisation anatomo-physiologique de l'appareil respiratoire des bovins	. 21
	1.1	Structure générale de l'appareil respiratoire du bovin	. 21
	1.2	Physiologie de l'appareil respiratoire des bovins	. 28
2. é		mparaison anatomique et physiologique de l'appareil respiratoire des bovins et d	
	2.1	Différences structurales entre bovins et équins	. 33
	2.2	Différences de capacité respiratoire entre équins et bovins	. 35
	2.3 leur m	Comparaison de la consommation en dioxygène des 2 espèces en fonction de node de vie	
3.	. L'ex	kamen de l'appareil respiratoire des bovins	. 38
	3.1	L'examen à distance	. 38
	3.2	Palpation – percussion	. 38
	3.3	Auscultation pulmonaire	. 39
4	. Tes	t de ventilation forcée chez les équidés	. 43
	4.1	Indications du test de ventilation forcée	. 43
	4.2	Réalisation du test	. 43
	4.3	Limites	. 46
5.	. Indi	cations et intérêt du test de ventilation forcée chez les bovins	. 47
	5.1. P	révalence des maladies respiratoires en élevage bovin et impact économique	. 47
	5.2. U	ne aide au diagnostic	. 47
	5.3 Pı	remiers résultats de tests similaires en recherche animale	. 48
		Pré-expérimentation : étude de faisabilité d'un test de ventilation forcée chez les	
1.	•	ectif	
2.		rériel et méthodes	
	2.1	Echantillon étudié et matériel	
	2.2	Méthodes	
3.		sultats	
	3.1	Réaction générale des bovins au test	
	3.2	Résultats liés au volume du sac plastique	
	3.3	Résultats de l'auscultation pulmonaire	
	3.4	Résultats liés à la durée du test	
4.		cussion	
	4.1	Volume du sac idéal	. 53

4.2	Durée du test idéale	53
4.3	Autres constatations	54
4.4	Points à améliorer	54
4.5	Améliorations envisagées	54
	Expérimentation principale : Etude afin de définir des paramètres standard on du test chez la vache laitière	
1. Mat	tériel et méthodes	57
1.1	Réalisation du panier pour bovins	57
1.2	Autre matériel utilisé	58
2. Mét	thodes	59
2.1	Recrutement des élevages	59
2.2	Critères de sélection de l'échantillonnage	59
2.3	Planning et conditions de réalisation des tests	60
2.4	Etapes préliminaires à la réalisation du test	63
2.5	Déroulement du test	64
2.6	Suivi des animaux	65
2.7	Analyse statistique	65
3. Rés	sultats	65
3.1	Description de la population testée	65
3.2	Synthèse des résultats	67
3.3	Effet du stade physiologique sur les résultats du test au sac	71
4. Dis	cussion	74
4.1	Etude préliminaire	74
4.2	Biais de sélection et représentativité du groupe	74
4.3	Discussion sur le protocole de test	75
4.4	Discussion sur les résultats	76
4.5	Perspectives	77
5. App	olication clinique	78
5.1	Cas n°1	78
5.2	Cas n°2	79
5.3	Intérêt du test de ventilation forcée	80
Conclusion	nErreur ! Signet no	on défini.

# Table des annexes

- Annexe 1 Fiche individuelle bovin étude préliminaire Annexe 2 Fiche d'expérimentation étude préliminaire Annexe 3 Tableau de données étude principale

- Annexe 4 Script RStudio pour l'étude statistique

# Table des figures

Figure 1 - Mufle du bœuf. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)	1
Figure 2 - Coupe paramédiane du pharynx et du larynx de boeuf. D'après (CHATELAIN, 1985)	2
Figure 3 - Coupe médiale du larynx de boeuf. D'après (BARONE, 1997)	
Figure 4 - Anatomie de la trachée et des bronches principales. D'après (DEE FAILS,	J
MAGEE, 2018)	4
Figure 5 - Aspect des poumons des bovins. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002) 29	
Figure 6 - Schéma général de l'arbre bronchique des bovins, de la trachée à l'alvéole.	
D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)	6
Figure 7 - Topographie des poumons et des plèvres au sein de la cavité thoracique. D'après	
(CHATELAIN, 1985)	6
Figure 8 - Vue ventrale schématique du thorax durant l'inspiration. Les flèches montrent les	
directions de l'élargissement du thorax lorsque le diaphragme et les muscles intercostaux se	
contractent. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002b)2	7
Figure 9 - Schéma bilan : volumes et capacités respiratoires, déterminés en partie à partir de	ķ
la spirométrie chez l'homme. D'après (WEST, 2012a)29	9
Figure 10 - Schéma des deux types d'écoulements3	1
Figure 11 - Poumons du cheval (A) et du bovin (B) en vue dorsale. a : trachée, b : bronches	
primaires, c : bronche trachéale, d : bronches secondaires. Mauve : lobe crânial gauche ;	
rouge: lobe caudal gauche; jaune: lobe crânial droit; vert: lobe moyen droit; bleu clair:	
lobe caudal droit; bleu foncé: lobe accessoire. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018) 33	3
Figure 12 - Disposition du poumon gauche chez le bovin et chez le cheval, vue en coupe du	
thorax. a : lobe crânial; a' : partie crâniale du lobe crânial; b : partie caudale du lobe crânial; c	)
: lobe caudal; d : diaphragme; e : cœur. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)34	4
Figure 13 - Comparaison de la consommation en O2 et la capacité de diffusion de l'O2	
rapportée au poids entre le bœuf et le cheval. D'après (WEIBEL, 1983)3	7
Figure 14 - Deux méthodes de percussion. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002b) 39	
Figure 15 - Aire d'auscultation pulmonaire à droite chez la vache. D'après (STOBER, 1985),	
(ROSENBERGER, 1979)	0
Figure 16 - Aire d'auscultation pulmonaire à gauche chez la vache. D'après (STOBER,	
1985), (ROSENBERGER, 1979)	
Figure 17 - Positionnement du panier avant le test. Cliché : E. DURBEC	
Figure 18 - Test de ventilation forcée chez un cheval. Cliché : E.DURBEC4	4
Figure 19- Aire d'auscultation pulmonaire. EIC : espace intercostal. D'après (DEQUIER,	_
CADORE, 2010). Cliché : MORI M	
Figure 20 - Schématisation du panier pour bovins	
Figure 21 - Schéma de la disposition des bovins pour faciliter l'expérimentation	
Figure 22 - Panier mis en place sur le bovin	3
Figure 23 - Dispositif panier + sac plastique. A gauche : avec un aide qui tient le sac, à	
droite : en autonomie avec un lien	4
Figure 24 - Répartition des vaches testées selon leur mois de lactation. (en ordonnées :	_
nombre de bovins, en abscisse : mois de lactation)	
Figure 25 - Répartition des vaches gestantes testées selon leur mois de gestation	
Figure 26 - Répartition des vaches testées selon leur rang de lactation	1
Figure 27 - Répartition des fréquences respiratoires du groupe de vaches non gestantes et du groupe de vaches au dernier tiers de gestation.	0
ou oronge de vacues au dernier ners de destallon	$\alpha$

Figure 28 – Histogramme des effectifs : répartition des bovins testés en fonction de la durée
nécessaire avant l'augmentation des bruits respiratoires (en secondes)69
Figure 29 - Histogramme des effectifs : répartition des bovins testés en fonction du délai
avant le retour à la fréquence respiratoire au repos70
Figure 30 - Diagrammes en boîte représentant le délai avant l'augmentation d'intensité des
bruits respiratoires dans deux groupes : vaches gestantes et vaches non gestantes71
Figure 31 - Diagramme en boîte représentant le délai avant retour à la fréquence respiratoire
au repos dans deux groupes : vaches gestantes et vaches non gestantes72
Figure 32 – Diagrammes en boîte représentant le délai avant l'augmentation d'intensité des
bruits respiratoires dans deux groupes : primipares et multipares73
Figure 33 - Diagramme en boîte représentant le délai avant retour à la fréquence respiratoire
au repos dans deux groupes : primipares et multipares73

# Table des tableaux

Tableau 1 - Rapport entre le volume d'espace mort et le volume courant chez différentes	
espèces. D'après (KIRSCHVINK, REINHOLD, 2008)	30
Tableau 2 - Particularités anatomiques du parenchyme pulmonaire de différentes espèces.	
D'après (KIRSCHVINK, REINHOLD, 2008)	35
Tableau 3 - Anatomie et physiologie comparée du bœuf et du cheval	36
Tableau 4 - Bruits respiratoires anormaux. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002b),	
(BONAL, 1992), (CURTIS et al., 1986)	42
Tableau 5 - Bruits audibles lors de l'auscultation pulmonaire du cheval et interprétation.	
D'après (DEQUIER, CADORE, 2010)	46
Tableau 6 - Principaux virus respiratoires bovins et évaluation du pouvoir pathogène. D'api	rès
(MEYER et al., 2011)	47
Tableau 7 - Intervalle de temps avant augmentation des bruits respiratoires pour chaque	
bovin testé	52
Tableau 8 - Observations en fonction de la durée du test pour chaque bovin	53
Tableau 9 - Planning des tests et nombre de bovins testés par élevage	61
Tableau 10 - Comparaison de la répartition des rangs de lactation des bovins de l'échantille	on
à la moyenne nationale Montbéliardes. D'après (INSTITUT ELEVAGE, 2018)	75

# Liste des abréviations

ATT: Aspiration Trans-Trachéale

**BCoV**: Bovine CoronaVirus

**BoHV-1**: Bovine alphaHerpesVirus 1

**BVDV**: Bovine Viral Diarrhea Virus – Virus de la Diarrhée Virale Bovine

**CPT**: Capacité Pulmonaire Totale

CV: Capacité Vitale

D: Débit ventilatoire

**EIC**: Espace InterCostal

FC: Fréquence Cardiaque

FR: Fréquence Respiratoire

**GAEC**: Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

IBR: Infectious Bovine Rhinotracheitis - Rhinotrachéite infectieuse bovine

LBA: Lavage Broncho-Alveolaire

LCR : Liquide Céphalo-Rachidien

**NEC**: Note d'Etat Corporel

PaCO2 : Pression partielle en dioxyde de carbone

PaO2 : Pression partielle en dioxygène

pH: Potentiel Hydrogène

Pl3b: virus Para-Influenza 3 bovin

**SNC**: Système Nerveux Central

T : période du cycle ventilatoire

**UCRA** : Unité Clinique Rurale de l'Arbresle

V: Volume courant

Va: Ventilation alvéolaire

**VD**: espace mort

VO2 : consommation en dioxygène

VO2max : consommation en dioxygène maximale

VR: Volume Residuel

VRE : Volume de Reserve Expiratoire

**VRI** : Volume de Reserve Inspiratoire

**VRSB**: Virus Syncytial Bovin

# Introduction

Le test de ventilation forcée est utilisé en pratique courante pour évaluer la capacité pulmonaire des chevaux. C'est un test simple à mettre en place, peu couteux et peu invasif pour l'animal. Il permet une auscultation précise et simplifiée des poumons et participe ainsi à l'élaboration du diagnostic lors d'atteintes pulmonaires.

L'enjeu de cette étude est de déterminer s'il est possible d'adapter ce test pour une utilisation sur les bovins. En effet, ces animaux sont sujets aux maladies respiratoires et leur auscultation simple est difficile. Les bruits respiratoires sont très peu audibles dans les premières phases des atteintes respiratoires. Souvent, le vétérinaire a recours à une antibiothérapie probabiliste sans avoir de certitude sur son diagnostic. Le test de ventilation forcée pourrait être un indicateur de la capacité pulmonaire des bovins et ainsi orienter le vétérinaire dans son traitement.

Peu d'études sur le test de ventilation forcée existent chez le cheval et aucune n'a été réalisée sur les bovins. Il sera donc difficile de s'appuyer sur des travaux précédents et cette étude se veut être préliminaire pour de futures expérimentations qui viendront étayer le sujet.

Dans un premier temps, nous étudierons l'appareil respiratoire des bovins et des chevaux et nous nous attarderons sur leur comparaison. Ainsi, les différences et les similitudes anatomiques et physiologiques seront des clefs de compréhension des résultats des tests. Puis, la réalisation de l'examen de l'appareil respiratoire des bovins sera détaillée : il est nécessaire de savoir la réaliser correctement pour obtenir des résultats fiables. Nous nous intéresserons ensuite au test de ventilation chez les chevaux, déjà décrit par d'autres auteurs, car il constitue le modèle de cette étude. Enfin, nous aborderons l'intérêt de réaliser ce test chez les bovins, et les études similaires déjà menées chez les veaux.

Dans un second temps, nous présenterons la partie expérimentale de cette étude menée pendant deux ans. Une étude préliminaire a permis d'optimiser le protocole du test de ventilation forcée chez les bovins. Puis, les expérimentations sur un échantillon de vaches laitières ont contribué à la détermination d'intervalles de confiance nécessaires pour standardiser le test. Les limites de cette méthode de diagnostic sont également évoquées ainsi que les perspectives d'améliorations. Une application clinique sur des bovins suspects donne un aperçu de ce qui pourra être réalisé par la suite.

# Partie I: Bibliographie

 Organisation anatomo-physiologique de l'appareil respiratoire des bovins

L'appareil respiratoire est « constitué par l'ensemble des organes qui assurent les échanges gazeux entre le sang et le milieu ambiant » (BARONE, 1997). On le définit par l'ensemble composé des voies respiratoires (cavités nasales, pharynx, larynx, trachée et bronches), du tissu pulmonaire associé aux plèvres et de la cavité thoracique.

Nous étudierons ici la structure de l'appareil respiratoire afin de pouvoir réaliser une auscultation efficace (ainsi nous ne nous intéresserons qu'aux parties de l'appareil respiratoire relatives à l'auscultation).

## 1.1 Structure générale de l'appareil respiratoire du bovin

L'appareil respiratoire est divisé en deux parties, supérieure et inférieure, délimitées arbitrairement par le bord caudal du cartilage cricoïde du larynx. (BREEZE, 1985)

Les voies aériennes supérieures conduisent l'air depuis le milieu ambiant jusqu'aux poumons où s'effectuent alors les échanges gazeux. Elles assurent le réchauffement et l'humidification de l'air, protégeant ainsi l'arbre aérifère des agressions exogènes et favorisant les échanges gazeux au niveau des poumons.

#### 1.1.1 Les cavités nasales

Les cavités nasales sont divisées en deux parties symétriques qui permettent l'entrée de l'air dans l'organisme, qu'elles réchauffent, humidifient et dépoussièrent.

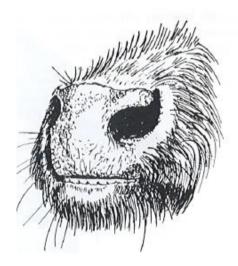


Figure 1 - Mufle du bœuf. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)

Elles débutent par le mufle (cf Fig.1), abondamment humidifié par les glandes séreuses situées au niveau des fovéoles (DEE FAILS, MAGEE, 2018). Puis elles se prolongent par les cornets nasaux : ventral, à double enroulement chez les ruminants ; moyen, assez volumineux ; et dorsal, plus faible et plus simple. Ils sont séparés par des méats qui permettent la circulation de l'air. (BARONE, 1997)

La muqueuse pituitaire tapisse les cavités nasales : elle est très irriguée et permet ainsi de réchauffer et humidifier l'air inspiré. (CHATELAIN, 1985). Elle retient une grande partie des particules inhalées et joue le rôle de filtre. Pendant le passage de l'air du milieu extérieur à l'appareil respiratoire supérieur, l'air est réchauffé jusqu'à la température du corps et son taux d'humidité monte à 95% environ. 0.75L de sécrétions nasales sont nécessaires pour humidifier 10 000L d'air inspiré, ce qui correspond à la quantité d'air inspiré par jour par un bovin de 600kg environ. Ces sécrétions sont composées à 95% d'eau, 1% de protéines, 1% de glucides, 1% de lipides (dont du surfactant) et 1% de matière inorganique. (BREEZE, 1985)

Les sinus paranasaux ne jouent aucun rôle dans la respiration à proprement parler, nous ne développerons pas leur anatomie.

# 1.1.2 Le pharynx

Le pharynx est un large conduit musculo-membraneux, court chez le bœuf distingué en un nasopharynx et un laryngopharynx (CHATELAIN, 1985). C'est le carrefour entre les voies digestives et respiratoires (cf Fig.2). Il est appendu aux choanes et à l'isthme du gosier et se continue par l'œsophage au-delà du larynx.

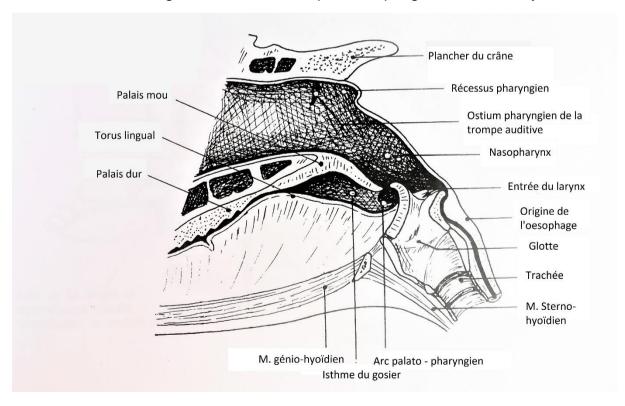


Figure 2 - Coupe paramédiane du pharynx et du larynx de boeuf. D'après (CHATELAIN, 1985)

# 1.1.3 Le Larynx

Le larynx permet le passage de l'air du pharynx à la trachée et empêche les aliments de passer dans la trachée (DEE FAILS, MAGEE, 2018). Mobile, il augmente ou réduit le débit d'air entrant. Il est très innervé et comprend des récepteurs sensitifs qui, lorsqu'ils sont activés, sont responsables du réflexe de la toux. Il est constitué de différents cartilages, principaux et accessoires, mobilisés et liés par des ligaments et des muscles (cf Fig.3). L'action de ces muscles peut augmenter ou diminuer le calibre des voies aériennes, modifiant ainsi la résistance au passage de l'air. Ils sont activés et coordonnés avec la phase inspiratoire et peuvent éviter une fausse déglutition.

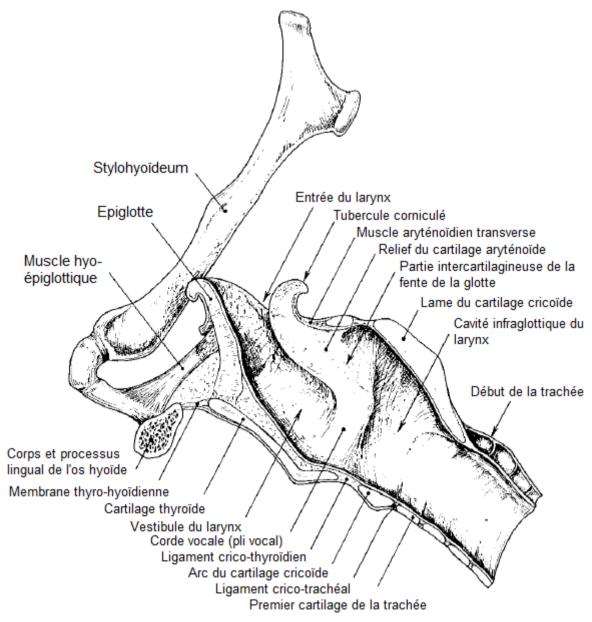


Figure 3 - Coupe médiale du larynx de boeuf. D'après (BARONE, 1997)

#### 1.1.4 La trachée

Directement associée au larynx, la trachée est un tube maintenu ouvert par des anneaux cartilagineux, qui permet la conduction de l'air jusqu'aux poumons. Elle est longue de 60 cm environ chez le bœuf, composée de 45 à 60 cartilages, et son calibre est variable sur sa longueur mais aussi pendant le cycle respiratoire (augmenté à l'expiration). Elle se termine par la bifurcation trachéale (cf Fig.4), distribuant l'air à chaque poumon par une bronche principale. (BARONE, 1997). Quelques centimètres avant la bifurcation terminale, elle distribue la bronche trachéale.

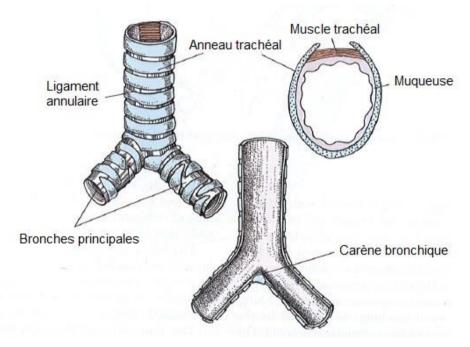


Figure 4 - Anatomie de la trachée et des bronches principales. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)

La bronche principale gauche se divise ensuite en une bronche lobaire caudale et un tronc commun (bronche lobaire crâniale et bronche lobaire moyenne). La bronche principale droite se divise en une bronche lobaire moyenne et une bronche lobaire caudale (puis lobaire accessoire).

Les bronches lobaires se divisent ensuite en bronches segmentaires, qui elles-mêmes se divisent en rameaux subsegmentaires qui aboutissent aux bronchioles. Ainsi, les multiples subdivisions de l'arbre bronchique ont pour effet de ralentir la vitesse de circulation de l'air dans les dernières segmentations et de favoriser ainsi les échanges gazeux. (BREEZE, 1985)

#### 1.1.5 Les poumons

Les poumons sont le siège de l'hématose. Ils occupent une bonne partie de la cavité du thorax, et sont entourés d'une séreuse : la plèvre.

Les deux poumons des bovins sont de structure et de capacité différentes (cf Fig.5) : le poumon droit représente à lui seul 55 à 65% du volume pulmonaire total (2.5 à 2.8kg

sur animal saigné) (CHATELAIN, 1985). Il est divisé en 6 lobes : caudal (le plus épais), accessoire, médial, moyen caudal, moyen crânial et crânial. Il est très développé et se recourbe sous la trachée en refoulant une partie du médiastin crânial. Contrairement aux autres espèces, la bronche du lobe pulmonaire crânial droit des ruminants prend source directement de la trachée et non pas de la bronche principale. Le poumon gauche quant à lui ne comporte que 3 lobes : caudal, moyen et crânial.

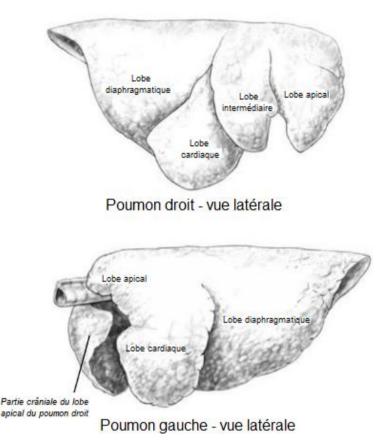


Figure 5 - Aspect des poumons des bovins. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002)

Le parenchyme pulmonaire est divisé en lobules pulmonaires qui sont chacun associés à une bronchiole supralobulaire et deux artérioles provenant de l'artère pulmonaire et de l'artère bronchique. Les bronchioles supralobulaires se divisent ensuite en nombreuses bronchioles terminales qui se termineront en bronchioles respiratoires, dont chacune dessert de nombreuses alvéoles (cf Fig.6). La densité du tissu pulmonaire (le rapport entre la masse de l'organe et celle d'un même volume d'eau) est relativement faible à cause de la présence d'air dans les alvéoles, elle est généralement de 0.5. (BARONE, 1997)

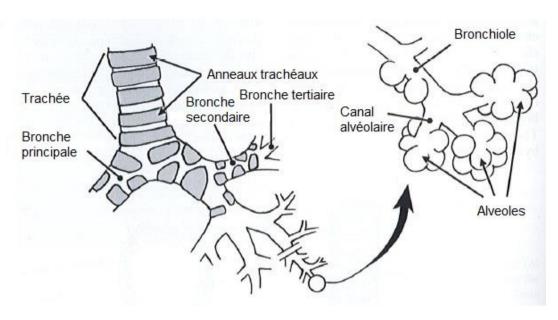


Figure 6 - Schéma général de l'arbre bronchique des bovins, de la trachée à l'alvéole. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)

# 1.1.6. Les plèvres et la cavité thoracique

Les plèvres sont formées d'un feuillet pariétal et d'un feuillet viscéral (plus fin). Elles limitent la cavité pleurale où la pression est légèrement inférieure à la pression atmosphérique. L'espace pleural sépare les deux feuillets de la plèvre et contient un liquide pauvre en protéines (0.3mL par Kg de poids vif) qui permet le glissement des deux feuillets. (MISEROCCHI, NEGRINI, 1991)

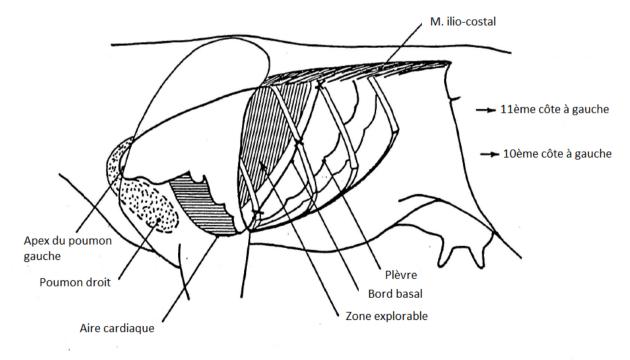


Figure 7 - Topographie des poumons et des plèvres au sein de la cavité thoracique. D'après (CHATELAIN, 1985)

Les plèvres des bovins sont très épaisses, les travées interlobulaires sont particulièrement développées et donnent un aspect en mosaïque au poumon.

La cavité thoracique est un espace clos mais dynamique, communiquant avec l'extérieur par les voies aériennes supérieures. Ses limites sont composées du sternum en partie ventrale, des vertèbres thoraciques en partie dorsale, de l'entrée de la poitrine en partie crâniale, du diaphragme en partie caudale et des côtes et muscles intercostaux latéralement (cf Fig.7).

## 1.1.7. Les muscles impliqués dans la respiration

Le diaphragme est le muscle principal de l'inspiration. Il sépare les cavités abdominale et thoracique par une cloison musculo-aponévrotique en forme de coupole convexe cranialement. Il est attaché ventralement au sternum, latéralement aux côtes les plus caudales et dorsalement aux vertèbres lombaires. La contraction des fibres du diaphragme force les organes abdominaux caudalement vers l'abdomen ; le volume du thorax augmente et la pression intra-thoracique diminue, permettant l'entrée d'air dans les poumons (cf Fig.8).

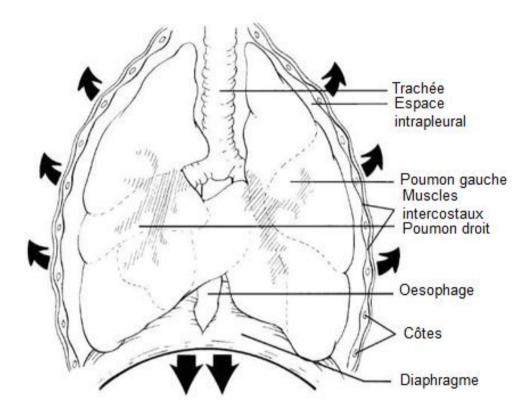


Figure 8 - Vue ventrale schématique du thorax durant l'inspiration. Les flèches montrent les directions de l'élargissement du thorax lorsque le diaphragme et les muscles intercostaux se contractent. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002b)

Les muscles intercostaux externes, qui relient les côtes entre elles et dont les fibres sont orientées en direction ventro-caudale, jouent également un rôle lors de l'inspiration : lors de leur contraction, les côtes montent et s'écartent, contribuant ainsi à l'augmentation du volume thoracique.

Les muscles intercostaux internes, dont les fibres sont orientées en direction ventro-crâniale, agissent lors de l'expiration forcée, uniquement pathologique chez les bovins. (DEE FAILS, MAGEE, 2018)

# 1.2 Physiologie de l'appareil respiratoire des bovins

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence les particularités physiologiques de la fonction respiratoire bovine afin de mieux comprendre l'intérêt et le fonctionnement du test de ventilation forcée.

### 1.2.1. Le cycle respiratoire

L'enchaînement de l'inspiration suivie de l'expiration forme le cycle respiratoire.

La première phase de la ventilation, l'inspiration, est un phénomène actif qui nécessite l'action de différents muscles (le diaphragme, les muscles intercostaux externes, les muscles sternomastoïdiens, les muscles scalènes et les muscles laryngés). Elle contribue à l'augmentation du volume pulmonaire ainsi que de la cage thoracique, diminuant alors la pression inter-pleurale.

La deuxième phase de la ventilation, au contraire, est un phénomène principalement passif. Les muscles engagés dans l'inspiration se relâchent. Cependant, lors d'une expiration forcée (phénomène pathologique ou déclenché par exemple lors du test au sac), cette phase devient active en faisant intervenir les muscles intercostaux, obliques, transverses et droit de l'abdomen.

# 1.2.2. Volumes et capacités respiratoires

Le volume courant (V), est le volume d'air déplacé au cours de chaque cycle ventilatoire. La période (T) du cycle ventilatoire est la durée nécessaire entre le début de l'inspiration d'un cycle jusqu'au début de l'inspiration du cycle suivant. Ainsi, on définit la fréquence respiratoire comme étant 1/T. Elle augmente lorsque la taille de l'animal diminue, lors de l'exercice physique, lors d'une augmentation de température ou lors d'une diminution de la pression atmosphérique.

Le débit ventilatoire est la quantité d'air mobilisée au cours de la ventilation par unité de temps (D), il dépend du volume courant (V) et de la fréquence respiratoire (1/T) tel que :

# D = V/T

On définit également les volumes de réserve inspiratoire (VRI) et expiratoire (VRE) tels que les volumes d'air que peut inspirer ou expirer l'animal après une inspiration ou une expiration normale. (GUSTIN et al., 1986)

Le volume résiduel (VR) n'est pas mobilisable par l'animal lors de l'expiration : ainsi, le volume pulmonaire n'est jamais nul.

La capacité vitale (CV) est la somme des volumes mobilisables par l'animal soit le volume courant mais aussi les volumes inspiratoire et expiratoire de réserve telle que :

#### CV = V + VRE + VRI

Enfin, la capacité pulmonaire totale (CPT) est la somme de l'ensemble des volumes pulmonaires, c'est le volume d'air maximal emmagasiné dans les poumons.

#### CPT = CV + VR

La Figure 9 schématise les différents types de volumes pulmonaires détaillés :

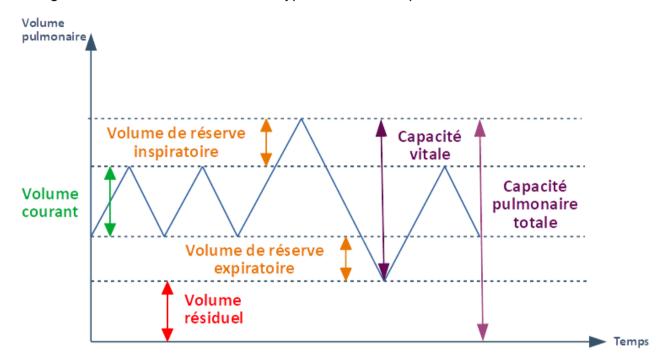


Figure 9 - Schéma bilan : volumes et capacités respiratoires, déterminés en partie à partir de la spirométrie chez l'homme. D'après (WEST, 2012a)

# 1.2.3 Espace mort

Lors de la ventilation, la totalité de l'air inspiré n'atteint pas dans les alvéoles. En effet, une partie de l'air inspiré reste dans l'arbre aérifère (appareil respiratoire supérieur ou inférieur) et n'entre donc jamais en contact avec les surfaces d'échange alvéolo-capillaire. L'animal fournit donc de l'énergie pour le faire circuler à travers l'appareil respiratoire sans qu'il ne tire parti de l'oxygène de cette fraction d'air. Il s'agit de l'espace mort (VD) : les zones ventilées qui ne sont pas perfusées.

Le rapport entre le volume d'espace mort et le volume courant nous permet d'évaluer le risque d'hypoventilation chez une espèce donnée (cf Tableau 1). Ainsi, plus le rapport est élevé, plus l'espèce est sensible aux maladies pulmonaires obstructives. (KIRSCHVINK, REINHOLD, 2008).

Tableau 1 - Rapport entre le volume d'espace mort et le volume courant chez différentes espèces. D'après (KIRSCHVINK, REINHOLD, 2008)

Espèce	VD/V
Cochon d'Inde	38%
Humain	29 – 40%
Chien	33%
Mouton	58%
Porc	53 – 59%
Bœuf	40 – 55% (jusqu'à 75%)
Cheval	49 – 75%

L'espace mort chez le cheval au repos représente 49 à 55% du volume courant, ce qui correspond à un volume d'environ 3.5L (MARLIN, NANKERVIS, 2002). Chez le bovin, l'espace mort estimé par l'étude de (STAHL, 1967) pour une masse de 600kg est de 1.3L environ, soit 40 à 55% du volume courant.

On trouve deux types d'espace mort physiologiques :

- l'espace mort anatomique soit la fraction de l'air inspiré circulant dans les voies respiratoires mais n'entrant pas en contact avec les surfaces d'échange respiratoire (alvéoles ou surface respiratoire de bronchiole). Il correspond à l'ensemble des volumes des naseaux, du nasopharynx, de la trachée, des bronches et des premières bronchioles.
- l'espace mort alvéolaire soit le volume d'air qui entre dans les alvéoles sans participer aux échanges gazeux car la zone n'est pas perfusée par les capillaires pulmonaires.

La ventilation alvéolaire (Va), plus représentative des échanges gazeux réels, est donc le débit d'air inspiré qui pénètre dans les alvéoles et participe aux échanges gazeux, telle que :

*Va* = (*V*-*VD*)\**FR*, avec *FR* la fréquence respiratoire

### 1.2.4 Les résistances pulmonaires

Lorsque le flux d'air circule dans les voies aériennes, il est soumis à des résistances. Les résistances sont définies comme la difficulté que rencontre le flux d'air pour circuler dans les voies respiratoires sous l'action d'un gradient de pression. De par la conformation spécifique des cavités nasales et du larynx des chevaux et des bovins, les résistances sont principalement causées par les voies respiratoires supérieures extrathoraciques (plus de 2/3 des résistances totales chez les jeunes bovins). Le reste des résistances est partagé entre les résistances liées aux voies périphériques (bronches, bronchioles), et les résistances du tissu pulmonaire lié au frottement des tissus les uns contre les autres. (LEKEUX, 1997)

A faible débit, le flux est dit laminaire : la circulation de l'air est parallèle au conduit des voies aériennes (cf Fig.10). Le débit volumique suit alors la loi de Poiseuille :

 $V = \frac{P \pi r^4}{8 n \, l} \quad \text{avec P la pression, r le rayon, n la viscosité, et l la longueur du conduit}$  On peut donc calculer la résistance (R) lorsque le flux est laminaire car PV=R d'où :

$$R = \frac{8 \text{ n l}}{\pi \text{ r}^4}$$

A haut débit, le flux est qualifié de turbulent : la circulation de l'air dans le conduit devient désorganisée avec la formation de tourbillons (cf Fig.10). (WEST, 2012a)

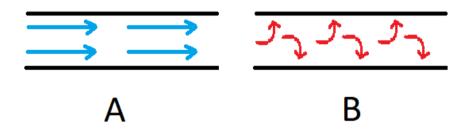


Figure 10 - Schéma des deux types d'écoulements A : laminaire, B : turbulent

#### 1.2.5 Le contrôle de la respiration par chémosensibilité

La ventilation est adaptée en fonction des concentrations sanguines en CO2, O2 et H+ et des besoins métaboliques de l'animal. Chez les bovins, la réponse ventilatoire à l'hypercapnie et à l'hypoxie est plus faible que chez les autres animaux domestiques. (LEKEUX, 1997)

Lors d'un processus pathologique, l'organisme cherche à maintenir les PaCO2, PaO2 et le pH sanguin. Si la PaO2 ou le pH diminue, ou la PaCO2 augmente, on provoque une hyperventilation. A l'inverse si la PaO2 ou le pH augmente ou la PaCO2 diminue, on provoque une hypoventilation.

Lors du test de ventilation forcée, on modifie les échanges gazeux : la PaCO2 augmente dans le sac, et la PO2 diminue. La pression partielle en CO2 artérielle augmente et la pression partielle en O2 artérielle diminue.

La régulation chimique est alors effectuée en partie par les chémorécepteurs périphériques, qui sont situés dans les corpuscules carotidiens et aortiques. Ils sont sensibles aux variations de PaO2 et envoient des influx nerveux par le biais du nerf glossopharyngien jusqu'aux centres respiratoires bulbaires. Cette régulation chimique a également lieu au niveau des chémorécepteurs centraux, situés à la surface ventrale du bulbe. Ils sont sensibles aux variations de la concentration d'ions H+ de de CO2 dans le liquide céphalo rachidien. Lorsque le pH du LCR diminue, les neurones inspiratoires sont stimulés et provoquent alors une hyperventilation.

La réponse des chémorécepteurs périphériques est nettement moins importante que celle des chémorécepteurs centraux (moins de 20% pour un individu soumis à une augmentation de la PCO2 de l'air inspiré). Mais elle est beaucoup plus rapide et utile lors de changements brusques de PCO2 de l'air, comme c'est le cas lors du test de ventilation forcée. (WEST, 2012b)

# 1.2.6. Le contrôle de la respiration par les mécanorécepteurs

La régulation mécanique de la ventilation a lieu dans le parenchyme pulmonaire et les voies aériennes, au niveau des mécanorécepteurs. Ces derniers sont sensibles à l'étirement : lorsque le niveau d'inflation devient trop élevé, ils envoient un influx nerveux via le nerf X jusqu'au centre bulbaire, responsable de l'arrêt de l'inspiration. Ils engendrent ainsi le réflexe de Hering – Breuer. Certains mécanorécepteurs sont situés dans la paroi pharyngée et activent les muscles dilatateurs du pharynx lorsque l'étirement devient important. (SHERWOOD et al., 2016) (Bruce, Cherniack, 1987). Lors du test au sac, le niveau d'inflation devient artificiellement élevé car le volume d'air est limité à 50 litres.

# 1.2.7. Le contrôle de la respiration par les autres afférences respiratoires

D'autres stimuli respiratoires exercent des influences modulatrices sur la fréquence respiratoire de base, notamment : (SILBERNAGL, DESPOPOULOS, 2017)

- Des terminaisons nerveuses sensibles à l'irritation, situées dans la muqueuse bronchique : en cas de diminution du volume pulmonaire, de gaz ou particules irritants, la fréquence respiratoire augmente.
- Des terminaisons des fibres C dans la paroi alvéolaire et bronchique : elles sont stimulées en cas d'œdème pulmonaire et provoquent une apnée.
- Des centres supérieurs du SNC (cortex, système limbique, hypothalamus, pont) lors de réactions de peur ou lors de réflexes tels que l'éternuement, la toux ou la déglutition.
- Des barorécepteurs : lors d'une chute de pression sanguine, ils induisent une hyperpnée.
- Du centre thermorégulateur : une augmentation ou une baisse de la température corporelle provoquent une hyperpnée.
- De certaines hormones comme la progestérone qui augmente la fréquence respiratoire durant la gestation notamment.
- 2. Comparaison anatomique et physiologique de l'appareil respiratoire des bovins et des équidés

Le test de ventilation forcée est couramment utilisé chez les chevaux or les bovins et les chevaux ont une structure et des capacités respiratoires différentes. Connaître ces différences est indispensable afin de transposer le protocole du test de ventilation forcée d'une espèce à l'autre.

### 2.1 Différences structurales entre bovins et équins

### 2.1.1. Les cavités nasales, le pharynx et le larynx

Plus courtes chez le bovin que chez le cheval, les cavités nasales sont également plus larges en partie rostrale et rétrécies en partie caudale. (BARONE, 1997) La forme de la tête du bovin est ainsi nettement différente de celle des équidés : plus massive et plus courte, presque triangulaire.

Le pharynx des ruminants est bien plus court que celui des équidés. Le larynx du bœuf possède un cartilage cricoïde très épais.

#### 2.1.4 La trachée

La longueur de la trachée varie entre les deux espèces : elle fait 75 cm de long chez le cheval contre 60 cm chez le bovin. Les anneaux trachéaux sont au nombre de 50 chez le bœuf contre 52 chez le cheval et leur disposition est différente : chez les équidés, les extrémités des cartilages hyalins des anneaux se chevauchent légèrement ou restent très proches tandis que chez le bovin, ces extrémités se relèvent et s'adossent, formant une crête dorsale.(BARONE, 1997)

### 2.1.5 Les poumons

Tandis que chez le cheval, les poumons sont relativement symétriques avec une répartition des bronches identique dans les deux parties, chez le bœuf, les bronches ont une répartition inégale avec un développement plus important à droite qu'à gauche (cf Fig.11).

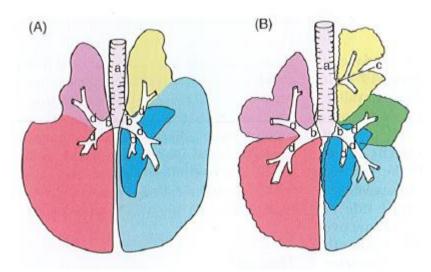


Figure 11 - Poumons du cheval (A) et du bovin (B) en vue dorsale. a : trachée, b : bronches primaires, c : bronche trachéale, d : bronches secondaires. Mauve : lobe crânial gauche ; rouge : lobe caudal gauche ; jaune : lobe crânial droit ; vert : lobe moyen droit ; bleu clair : lobe caudal droit ; bleu foncé : lobe accessoire. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)

Le cheval ne possède pas de lobe moyen, mais le lobe accessoire est bien développé. L'encoche cardiaque correspond à un espace entre les lobes le long de la marge ventrale des poumons, plus marqué chez le cheval (cf Fig.12).

Les poumons des équidés sont nettement plus lourds que les poumons des bovins. Le poids relatif est de l'ordre de 1.5% du poids vif chez le cheval contre 1% chez le bœuf. (BARONE, 1997). Le parenchyme constitue 73% du volume pulmonaire total du cheval, contre seulement 61% chez le bœuf. (CONSTANTINOPOL et al., 1989)

Le Tableau 2 récapitule les principales différences anatomiques du parenchyme pulmonaire selon l'espèce étudiée.

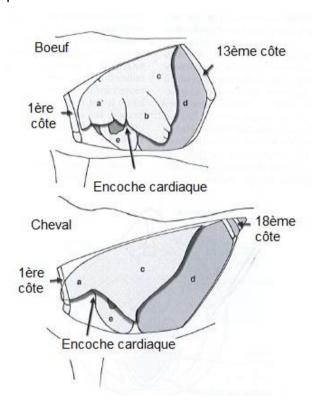


Figure 12 - Disposition du poumon gauche chez le bovin et chez le cheval, vue en coupe du thorax. a : lobe crânial; a' : partie crâniale du lobe crânial; b : partie caudale du lobe crânial; c : lobe caudal; d : diaphragme; e : cœur. D'après (DEE FAILS, MAGEE, 2018)

Tableau 2 - Particularités anatomiques du parenchyme pulmonaire de différentes espèces. D'après (KIRSCHVINK, REINHOLD, 2008)

	Boeuf, Mouton, Porc	Chien, Chat, Singe	Cheval
Lobulation des	extrêmement bien	Absent	développement
poumons	développé		imparfait
Plèvre	Epaisse	Fine	épaisse
Bronchioles terminales	Présentes	Absentes	présentes
Bronchioles respiratoires	peu nombreuses	Présentes	présentes
Respiration collatérale	absente (partielle chez le mouton)	bien développée	présente partiellement
Terminaison de l'artère bronchiale	voies respiratoires distales	voies respiratoires distales	voies respiratoires distales et alvéoles
Veines pulmonaires	suivent les bronches et les artères pulmonaires jusqu'à la périphérie	parcourent le parenchyme pulmonaire à distance des bronches et des artères pulmonaires	suivent les bronches et les artères pulmonaires en périphérie mais s'écartent à proximité du hile
Shunts entre les artères bronchiales et les artères pulmonaires	Présents	non observés	Présents

#### 2.2 Différences de capacité respiratoire entre équins et bovins

Les bovins possèdent 4 caractéristiques morphologiques qui sont un frein à une ventilation efficace : une faible surface d'échanges gazeux par rapport aux besoins en O2, un faible nombre de capillaires par unité de surface alvéolaire, une forte compartimentalisation des poumons et des voies respiratoires extrathoraciques particulièrement étroites. Les résistances sont donc plus élevées dans cette espèce. (LEKEUX, 1997)

Le bœuf a donc la plus petite capacité physiologique d'échange gazeux parmi les mammifères domestiques, sa ventilation est donc plus grande pour permettre une oxygénation suffisante. Il utilise 2.1 fois plus de volume d'air en respiration de base que les autres mammifères (40 à 120 litres par minute, 3 à 8 litres par cycle respiratoire), le coût énergétique de la respiration est donc plus important (cf Tableau 3). La vitesse du flux d'air entrant est 3 fois plus grande, ce qui le prédispose à des lésions intraluminales. (CHATELAIN, 1985). De plus, la réserve ventilatoire, nécessaire dans une situation pathologique, est réduite. Il n'y a pas de respiration collatérale entre les différents lobules pulmonaires chez le bovin : toute zone se situant en aval d'une obstruction bronchique est condamnée à ne plus être ventilée.

Le cheval a un volume courant plus important, en partie lié à son volume pulmonaire plus important que la vache. La compliance du poumon des chevaux est également supérieure à celle des bovins (cf Tableau 3): il s'agit de la capacité du poumon à modifier son volume en réponse à des variations de pression. C'est la présence de nombreuses lobulations qui rend le poumon du bovin moins compliant que celui du cheval. De plus, le cheval possède une phase d'expiration active, contrairement au bœuf, ce qui permet une ventilation plus efficace. En effet, les muscles abdominaux se contractent et provoquent une expiration forcée (tandis qu'elle n'est que passive chez le bovin), ce qui permet de lutter contre les résistances des voies respiratoires supérieures.

Cependant les différences structurales entre les poumons de cheval et de bœuf n'expliquent pas à elles seules les différences de propriétés mécaniques pulmonaires : elles seraient en partie liées aux différences de forme du diaphragme et de l'abdomen, qui influent sur la distribution des forces qui agissent sur les poumons durant la respiration. (GALLIVAN et al., 1989)

Tableau 3 - Anatomie et physiologie comparée du bœuf et du cheval

	Bovin laitier	Cheval de selle	Source
Masse corporelle	600	450	Choisies pour les
(kg)			paramètres suivants
Surface corporelle		494.1 (formule	(TRIBOUT, 2013)
(m²)		de HOGSON)	
Poids poumons	4.5	7	
(kg)			
% poids du corps	1	1.5	(BARONE, 1997)
Volume courant	3400 – 4200	5000 – 6000	(MENARD, 2014)
(mL)			
Fréquence	10 – 20	8 – 15	(MENARD, 2014)
respiratoire			
Ventilation (L/min)	45 (MENARD, 2014)	66	(MENARD, 2014)
	40 – 120		
	(CHATELAIN, 1985)		
Ventilation	64	146	(MENARD, 2014)
rapportée au poids			
(mL/min/kg)			
Compliance	2.4	4.3	(LEKEUX, 1997)
dynamique			
pulmonaire			
(l/kPa/kg)			
Résistance	7 – 8.5	3.6	(LEKEUX, 1997)
pulmonaire totale			
(kPa)			

La capacité de diffusion pulmonaire (DL) de l'O2 est définie comme le volume de dioxygène transféré en mL/min/mmHg de pression partielle alvéolaire. Lorsque l'on compare la consommation et la diffusion de l'O2 entre les deux espèces (cf Fig.13), elles sont toutes les deux plus de deux fois supérieures chez le cheval.

Toutefois, la diffusion est quasiment proportionnelle aux besoins en O2 de l'animal chez les deux espèces. (WEIBEL, 1983)

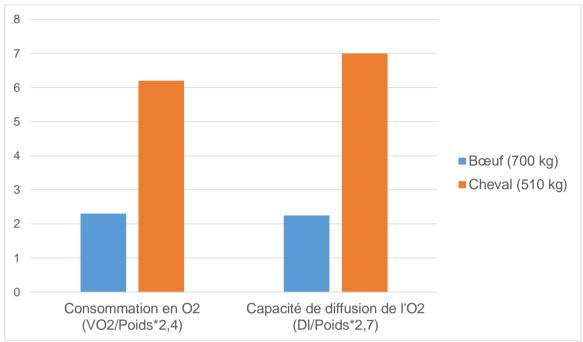


Figure 13 - Comparaison de la consommation en O2 et la capacité de diffusion de l'O2 rapportée au poids entre le bœuf et le cheval. D'après (WEIBEL, 1983)

### 2.3 Comparaison de la consommation en dioxygène des 2 espèces en fonction de leur mode de vie

Le cheval et le bœuf, bien que tous deux des animaux de grande taille, sont utilisés de façon complètement différente l'un de l'autre. Les bovins sont essentiellement des animaux de production, se déplaçant peu et à faible allure, et dont l'énergie dépensée est ciblée sur l'ingestion, la digestion, la gestation et la production laitière. Les chevaux ont longtemps été considérés comme animaux de rente et leurs besoins énergétiques étaient calculés sur la base des ruminants (FORTIER, 2014). Ils sont aujourd'hui davantage utilisés à des fins sportives (loisir ou compétition) et sont considérés comme de véritables athlètes. Les calculs de dépense énergétique ont donc été révisés et permettent de distinguer le bœuf et le cheval sur la base de leur utilisation.

La consommation en dioxygène (VO<sub>2</sub>) au repos est d'environ 4mL/kg/min chez le bœuf et 3.3mL/kg/min chez le cheval (WEIBEL, 1983). Au cours d'un exercice, la VO<sub>2</sub> augmente progressivement jusqu'à atteindre une limite maximale lorsque l'intensité de l'effort est maximale : on définit alors la VO<sub>2 max</sub> qui est la consommation en dioxygène maximale. Cette valeur nous permet d'évaluer les capacités d'un athlète car elle reflète l'aptitude cardiorespiratoire (FORTIER, 2014). On détermine alors chez des chevaux d'utilisation différente les valeurs de VO<sub>2 max</sub>, et on les compare à celle d'un bovin (cf Tableau 4).

Tableau 4 - Comparaison des VO2max selon l'utilisation du cheval. D'après (FORTIER, 2014), (CONSTANTINOPOL et al., 1989)

	VO <sub>2 max</sub> (ml/min/kg)
Chevaux trotteurs tout niveau	140
Chevaux trotteurs performants	165
Chevaux galopeurs	130 à 200
Chevaux non entrainés âgés	80
Bovin (taurillon)	51

Dans les études (CONSTANTINOPOL et al., 1989) (JONES et al., 1989) qui comparent les Vo2max des deux espèces, les auteurs obtiennent une différence significative entre les deux valeurs, avec une VO2max 2.6 fois plus élevée chez le cheval entrainé que chez le taurillon.

#### 3. L'examen de l'appareil respiratoire des bovins

#### 3.1L'examen à distance

Il est important d'observer l'animal à distance, dans un environnement calme et sans perturbations. Le bovin sain a une fréquence respiratoire comprise entre 15 et 35 mouvements par minute, que l'on évalue en suivant le mouvement des côtes en se plaçant derrière et sur un coté de l'animal. On observe également les autres animaux du troupeau car les pathologies respiratoires se propagent rapidement au sein du groupe.

Plus particulièrement, on contrôle la fréquence, l'intensité, le type et la chronologie des mouvements respiratoires : on distingue ainsi l'eupnée (respiration normale) des respirations pathologiques telles que la dyspnée inspiratoire, expiratoire ou mixte. La caractérisation d'une anomalie respiratoire peut indiquer où siège l'affection. Par exemple, si la dyspnée est strictement inspiratoire, l'atteinte concerne les voies respiratoires supérieures. (STOBER, 1985). On vérifie également l'absence de toux.

#### 3.2 Palpation – percussion

La palpation a pour objectif de repérer une éventuelle sténose des voies respiratoires supérieures et de détecter une éventuelle asymétrie du larynx, pharynx ou de la trachée. Le vétérinaire place les pointes des doigts des deux mains de part et d'autre des parties de l'appareil respiratoire supérieur.



Figure 14 - Deux méthodes de percussion. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002b)

La percussion se réalise dans le calme avec les doigts ou à l'aide d'un marteau et d'une cuvette plessimétrique (cf Fig.14). Elle doit couvrir tout le champ pulmonaire, de droite à gauche, en tapant deux coups secs à chaque reprise. L'analyse du son obtenu permet d'orienter le diagnostic :

- Un son clair non retentissant est un son pulmonaire normal
- Un son tympanique retentissant peut orienter vers un emphysème pulmonaire
- Un son mat, étouffé évoque la présence de liquide, notamment lors de pleurésie ou de pneumonie interstitielle aigue. (ROSENBERGER, 1979)

#### 3.3 Auscultation pulmonaire

A l'aide d'un stéthoscope et dans un environnement calme, on écoute les sons intrathoraciques en se focalisant sur ceux qui émanent de l'appareil respiratoire. Le stéthoscope doit rester mobile pour couvrir toute l'aire pulmonaire durant l'auscultation, afin de rechercher tout bruit anormal, sa localisation et sa position dans le cycle respiratoire. (JACKSON, COCKCROFT, 2002b)

L'aire d'auscultation respiratoire moyenne s'étend caudo-dorsalement à la cote thoracique XI, passe à mi-hauteur de la IXème cote, et ventro-craniâlement en bas de la VIIème cote (cf Fig.15, Fig.16). L'auscultation débute cranio-dorsalement, puis s'étend de proche en proche vers l'arrière. On ne perçoit les anomalies qu'à moins de 10 centimètres de la paroi thoracique, il faut donc ausculter le champ pulmonaire dans sa totalité. L'auscultation est réalisée en plaçant la capsule du stéthoscope à chaque endroit pendant un à deux mouvements respiratoires.

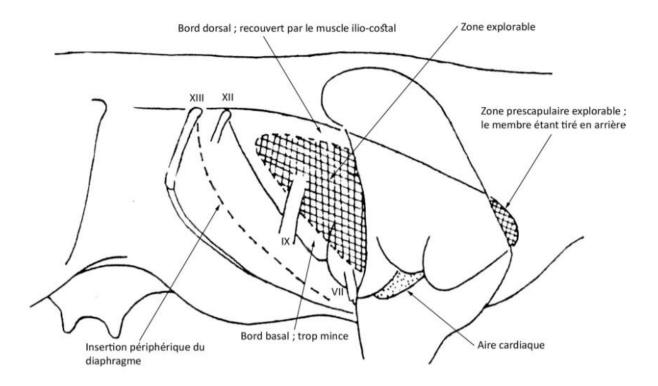


Figure 15 - Aire d'auscultation pulmonaire à droite chez la vache. D'après (STOBER, 1985), (ROSENBERGER, 1979)

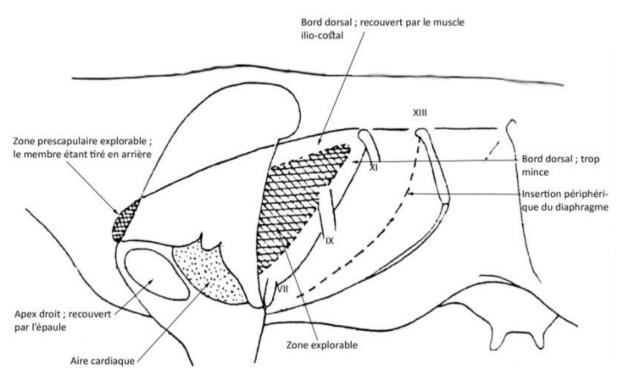


Figure 16 - Aire d'auscultation pulmonaire à gauche chez la vache. D'après (STOBER, 1985), (ROSENBERGER, 1979)

#### 3.3.1 Bruits respiratoires physiologiques

Il est normal d'entendre des bruits respiratoires lors de l'auscultation d'un bovin en bonne santé. Ceux-ci sont produits par le mouvement de l'air le long de l'appareil respiratoire. Ils varient en intensité selon la vitesse du flux d'air. Ils sont normalement plus audibles à la base de la trachée et lors de l'inspiration (active). Au contraire, ils sont moins audibles vers les lobes diaphragmatiques du poumon et lors de l'expiration (passive). Attention, les animaux avec une Note d'Etat Corporel (NEC) supérieure à la moyenne auront des bruits respiratoires plus difficilement audibles.(CURTIS et al., 1986) (JACKSON, COCKCROFT, 2002b)

Les bruits respiratoires physiologiques sont classés en trois catégories selon leurs localisations anatomiques. On distingue ainsi :

- Les bruits respiratoires bronchiques : on les entend à la fois pendant l'inspiration et l'expiration et ils sont localisés au niveau de la trachée et de la région hilaire des poumons.
- Les bruits respiratoires broncho-alvéolaires : faibles durant l'inspiration, on les entend également pendant l'expiration sous forme d'un son bref, plus audible que les bruits alvéolaires
- Les bruits respiratoires alvéolaires : audibles à la périphérie des poumons, ils sont faibles et brefs durant l'expiration.

#### 3.3.2 Bruits d'origine externe à l'appareil respiratoire

Lors de l'auscultation pulmonaire, il faut faire abstraction de ces bruits parasites produits par les autres organes de l'animal. Ainsi, on doit reconnaitre les bruits liés à l'appareil cardiovasculaire, la régurgitation, l'éructation, la rumination, la trémulation musculaire, le grincement des dents ou tout simplement le mouvement des poils lors du passage de la capsule du stéthoscope.

#### 3.3.3 Augmentation d'intensité des bruits respiratoires normaux

L'intensité des bruits respiratoires augmente de façon physiologique lors de l'effort physique. Ainsi, il faut tenir compte de l'état de tranquillité de l'animal et réaliser l'auscultation dans un environnement calme. Toutefois, une augmentation de l'intensité des bruits respiratoires, normalement peu audibles, peut indiquer une atélectasie ou une consolidation pulmonaire secondaire à une pneumonie (le son est mieux transmis dans un matériel dense). (JACKSON, COCKCROFT, 2002b)

#### 3.3.4 Diminution d'intensité des bruits respiratoires normaux

Lorsque l'audibilité lors de l'auscultation pulmonaire est quasiment nulle, on doit suspecter différents états pathologiques : en effet la diffusion du son est diminuée par la présence de liquide ou d'air dans l'espace thoracique. Une effusion pleurale, un pneumothorax, ou des lésions liquidiennes sont à explorer.

#### 3.3.5 Bruits inspiratoires anormaux

Parmi les bruits inspiratoires, le stridor peut indiquer une réduction de la section transversale du larynx. Un ronflement peut être causé par un abcès rétropharyngé qui augmente la pression sur le larynx ou sur le reste de l'appareil respiratoire supérieur.

#### 3.3.6 Bruits expiratoires anormaux

Des plaintes expiratoires indiquent souvent une douleur thoracique, pouvant être causée par une pneumonie ou une pleurésie sévères. Un grognement lors de l'expiration peut révéler une consolidation pulmonaire ou de l'emphysème.

Les différents bruits respiratoires anormaux sont regroupés dans le Tableau 6.

Tableau 4 - Bruits respiratoires anormaux. D'après (JACKSON, COCKCROFT, 2002b), (BONAL, 1992), (CURTIS et al., 1986)

Type de bruit	Caractérisation	Mécanisme	Interprétation
Crépitements	Discontinus, de brève durée, semblables à une explosion de bulles au sein des sécrétions des voies aériennes	Egalisation des pressions lors de l'ouverture d'une voie aérienne obstruée	- En fin d'inspiration : œdème, pneumonie interstitielle - En début d'inspiration ou d'expiration : bronchopneumonie
Sifflements	Continus, ronflants (basse fréquence) ou sibilants (haute fréquence)	Vibration des parois des voies aériennes ou de substances intraluminales	<ul> <li>Inspiratoires :     atteinte du larynx     ou de la trachée</li> <li>Expiratoires :     atteinte des voies     aériennes     intrathoraciques</li> </ul>
Frottements	Localisés et plus superficiels que les crépitements	Mouvements altérés entre la plèvre pariétale et viscérale	Pleurésie au stade initial

#### 4. Test de ventilation forcée chez les équidés

#### 4.1 Indications du test de ventilation forcée

Chez le cheval, le test de ventilation forcée est couramment utilisé comme moyen de diagnostic d'une anomalie respiratoire. Il est utilisé notamment en cas de suspicion directe d'atteinte respiratoire (signes cliniques d'ordre respiratoire) mais également pour révéler ou exclure une atteinte respiratoire en cas de signes plus frustres comme une hyperthermie ou une contre-performance. Ce test est aussi réalisé en routine en tant qu'examen préopératoire ou bien lors de visites d'achat.

#### 4.2 Réalisation du test

#### 4.2.1 Matériel

En pratique, on utilise un sac plastique neuf de 10 à 20 litres et un stéthoscope. Dans l'étude de standardisation du test de ventilation chez le cheval (LE CORRE, CADORE, 2018), on préconise l'utilisation d'un sac plastique de 50 litres soit 10 fois le volume courant d'un cheval de 500kg (10mL/kg). On positionne un panier sur la tête du cheval pour éviter des mouvements de panique lors de l'inspiration : le sac ne s'engouffre ainsi pas dans les naseaux (cf Fig.17).



Figure 17 - Positionnement du panier avant le test. Cliché : E. DURBEC

#### 4.2.2 Réalisation

Le sac en plastique est placé hermétiquement sur les naseaux du cheval ou autour du panier si l'opérateur en utilise un (cf Fig.18). L'auscultation est réalisée pendant la durée du test et au moment du retrait du sac, lors de la phase de récupération. Dans l'idéal, deux personnes auscultent chacune un poumon.



Figure 18 - Test de ventilation forcée chez un cheval. Cliché : E.DURBEC

Il faut réaliser une auscultation de la trachée puis de l'ensemble de la région pulmonaire. Chez le cheval, elle est définie par 3 repères (cf Fig.19) :

- L'intersection de l'insertion des muscles dorsaux et du 16ème espace intercostal
- De la pointe de la fesse au 14ème espace intercostal
- De la pointe de l'épaule au 10<sup>ème</sup> espace intercostal

Chaque zone auscultée doit l'être pour un cycle respiratoire complet. (DEQUIER, CADORE, 2010)

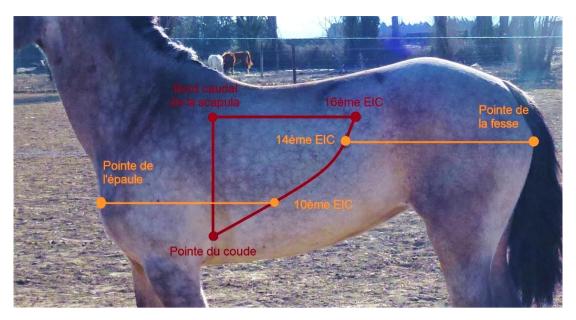


Figure 19 - Aire d'auscultation pulmonaire. EIC : espace intercostal. D'après (DEQUIER, CADORE, 2010). Cliché : MORI M.

Dans l'unique étude sur la méthodologie du test de ventilation forcée, la durée idéale pour procéder à une auscultation complète a été fixée à 3 minutes. Elle permet d'obtenir le maximum d'informations en un minimum de temps de test. (LE CORRE, CADORE, 2018)

#### 4.2.3 Interprétation

Tout bruit anormal (voire toux) provoqué par l'hyperventilation forcée fait suspecter une atteinte de l'appareil respiratoire. Une augmentation du temps de retour à la fréquence respiratoire au repos est également anormale. Un jetage séreux ou de discrètes sécrétions trachéales à l'issue du test sont toutefois normales.

Pour une durée de 3 minutes avec un sac de 50 litres pour des chevaux de taille moyenne, le seuil de récupération est établi à 10 mouvements chez un cheval de plus de 5 ans ou sans activité physique, et 6 chez les chevaux jeunes ou sportifs. (LE CORRE, CADORE, 2018).

Le vétérinaire doit localiser l'origine du bruit anormal, sa position dans le cycle respiratoire et sa caractérisation pour déterminer le type d'atteinte respiratoire. (MC GORUM, DIXON, 2000). Le Tableau 5 décrit les principales interprétations imputables aux bruits pulmonaires anormaux chez le cheval.

Tableau 5 - Bruits audibles lors de l'auscultation pulmonaire du cheval et interprétation. D'après (DEQUIER, CADORE, 2010)

	A l'auscultation	Interprétation
Modification des bruits	Augmentation de	Infiltration tissulaire,
respiratoires	l'intensité	consolidation pulmonaire
	Diminution de l'intensité	Obstruction bronchique,
		Masse, œdème
		pulmonaire,
		pneumothorax
Bruits respiratoires	Crépitations	Sécrétions luminales
surajoutés		Fin d'inspiration :
		ouverture des voies
		obstruées
	Sifflements	Rétrécissement ou
		obstruction des bronches
	Frictions / frottements	Pleurésie

Dans une étude réalisée chez des chevaux atteints de la maladie pulmonaire obstructive chronique (M.P.O.C) de (NAYLOR et al., 1992), l'auscultation après réalisation du test de ventilation forcée a été démontrée comme étant plus sensible que l'auscultation au repos avec 88% des chevaux atteints de M.P.O.C. détectés après le test contre 69% en auscultation simple.

#### 4.3 Limites

Le test n'est pas réalisable sur un animal en détresse respiratoire. Les animaux stressés ne supportent pas le test et les résultats ne sont pas interprétables.

D'autres méthodes permettent de tester la capacité respiratoire du cheval, comme l'hyperventilation induite par l'injection de lobéline (alcaloïde ayant une action stimulante sur le centre respiratoire bulbaire) ou l'exercice physique véritable. L'injection de lobéline permet une hyperventilation plus importante et plus immédiate. L'exercice physique véritable permet d'observer d'autres pathologies éventuelles du cheval et ne nécessite pas de matériel. De plus, le test au sac ne provoque qu'une courte hyperpnée, l'auscultation doit donc être rapide. (ART et al., 1991)

#### 5. Indications et intérêt du test de ventilation forcée chez les bovins

## 5.1. Prévalence des maladies respiratoires en élevage bovin et impact économique

Les maladies respiratoires sont très fréquentes chez les bovins. En Europe, chaque année, les maladies respiratoires sont responsables de plus de 500 millions d'euros de pertes pour le secteur bovin. (BOUBET, 2018). Le Tableau 6 reprend les principales infections respiratoires, leur pouvoir pathogène et leur prévalence en France.

En France, les infections liées au virus syncytial bovin (VRSB) et au virus parainfluenza 3 bovin (Pl3b) sont fréquentes avec des séroprévalences estimées à 60% -70% avant 3 ans. En ce qui concerne la rhinotrachéite infectieuse bovine (IBR), la prévalence nationale moyenne d'ateliers infectés dans les élevages laitiers était de 4.2% en 2009, avec de fortes variations selon le département. (MEYER et al., 2011)

Tableau 6 - Principaux virus respiratoires bovins et évaluation du pouvoir pathogène.

D'après (MEYER et al., 2011)

	Pouvoir pathogène (à partir d'études épidémiologiques)	Prévalence estimée lors d'infections respiratoires
VRSB	+++	Forte
BoHV-1	+++	Variable selon les régions
Pl3b	++	Forte
BVDV	++	Moyenne
BCoV	++	Moyenne
Adénovirus bovins	+	Moyenne

#### 5.2. Une aide au diagnostic

Au quotidien, les examens complémentaires permettant la confirmation du diagnostic de maladie respiratoire sont peu employés car peu fiables (écouvillon nasal), coûteux et invasifs (ATT ou LBA). De plus, ils ne sont utilisés que lorsque l'animal présente des signes cliniques évidents. Le test de ventilation forcée, même s'il ne permet pas la mise en évidence du pathogène, serait une aide au diagnostic facile à mettre en place et peu couteuse. Il pourrait être utilisé lorsque les signes cliniques sont très frustres (hyperthermie et baisse de production laitière principalement) et permettrait de resserrer les hypothèses diagnostiques en confirmant ou infirmant une hypothèse respiratoire.

Ce test nécessite le savoir-faire propre du clinicien : l'auscultation pulmonaire ne peut être réalisée que par le vétérinaire et implique une pratique régulière pour être en mesure de reconnaitre les bruits respiratoires pathologiques.

#### 5.3 Premiers résultats de tests similaires en recherche animale

Des études sur la réinhalation de l'air chez de jeunes bovins afin d'évaluer leur ventilation maximale ont déjà été réalisées. Elles ont été inspirées du test de ventilation forcée mais n'impliquaient pas l'utilisation d'un sac plastique : un tube semi-rigide de volume quatre fois supérieur à celui du volume courant moyen d'un veau, relié à un pneumotachographe, a été utilisé. Dans l'étude de (BUREAU et al., 1999), les veaux ont présenté des augmentations nettes des paramètres étudiés (fréquence respiratoire, volume courant et volume expiratoire) entre la 3ème et la 4ème minute après le début du test. Après l'arrêt du test, la durée nécessaire avant le retour aux valeurs au repos a été inférieure à 90 secondes. Les auteurs de cette étude ont également comparé le test de réhinalation avec l'injection de lobéline ou l'exercice physique, et ont conclu sur une plus forte augmentation de la ventilation lors du test de réhinalation.

## Partie II - Pré-expérimentation : étude de faisabilité d'un test de ventilation forcée chez les bovins

Avant de réaliser le test de ventilation forcée chez des bovins, et de standardiser un protocole, il a été nécessaire de mettre en place une pré-expérimentation pour appréhender les réactions des bovins, et les éventuelles difficultés de mise en œuvre.

#### 1. Objectif

L'objectif de la pré-expérimentation était de déterminer les adaptations à réaliser pour les bovins en prenant comme modèle le protocole utilisé chez les chevaux. Plus particulièrement, on a cherché à déterminer la contenance idéale du sac plastique et la durée du test pour un confort optimal de l'animal et des résultats les plus probants possibles. On a observé également toutes les difficultés rencontrées lors de la mise en pratique du test : niveau de stress des animaux, praticité du matériel, efficacité de la contention etc.

#### 2. Matériel et méthodes

#### 2.1 Echantillon étudié et matériel

La pré-expérimentation a été réalisée sur 6 vaches du troupeau pédagogique de VetAgro Sup, de race Montbéliarde, non gestantes et hors lactation, vivant au pré toute l'année.

Nous avons utilisé différents volumes de sac plastique : 10, 20 et 50 litres, afin de déterminer quelle est la contenance optimale. Un chronomètre et un stéthoscope Littman<sup>®</sup> classic ont été utilisés pour mesurer la durée des tests et pour l'auscultation pulmonaire.

#### 2.2 Méthodes

Les étapes réalisées lors de la pré-expérimentation étaient les suivantes :

- 1. Mise au cornadis des bovins dans le calme au maximum
- 2. Temps de retour au calme : attendre au moins 10 minutes avant de réaliser l'étape suivante, afin que l'intégralité du troupeau soit calme.
- 3. Examen clinique de chaque bovin au repos : fiche n°1 remplie (Annexe 1)
- 4. Test de ventilation forcée sur chaque bovin avec sacs plastiques de volumes variés et durées de test variées : fiche n°2 remplie (Annexe 2)

#### 3. Résultats

#### 3.1 Réaction générale des bovins au test

Globalement, les 6 bovins n'ont pas présenté de réactions liées au stress excessives. Après un retour au calme une fois bloqués au cornadis, les bovins ont toléré le passage du sac autour du museau et l'auscultation.

#### 3.2 Résultats liés au volume du sac plastique

Le test sur les 6 bovins a été réalisé avec plusieurs volumes de sacs en plastique : 10, 20 et 50 litres. Le sac plastique de 10 litres a été testé quelques secondes sur le bovin n°1 : la dépression d'air a fait aussitôt rentrer le plastique dans les narines du bovin. Le sac plastique de 20 litres a provoqué le même résultat (testé sur le bovin n°2). Le sac plastique de 50 litres a été testé sur le bovin n°3 : la dépression était nettement moins visible et n'est apparue qu'au bout de plusieurs dizaines de secondes après le début du test.

#### 3.3 Résultats de l'auscultation pulmonaire

L'auscultation des 6 bovins a montré des similitudes. Au bout d'un certain temps, les bruits respiratoires ont augmenté nettement d'intensité dans tous les cadrans de la zone d'auscultation pulmonaire (cf Tableau 7). La moyenne du délai nécessaire avant l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires était de 46.7 secondes, avec un écart-type de la moyenne de 3.57 secondes.

Tableau 7 - Intervalle de temps avant augmentation des bruits respiratoires pour chaque bovin testé

Numéro du bovin	Laps de temps avant augmentation des bruits respiratoires (secondes)
1	40
2	55
3	60
4	45
5	40
6	40
Moyenne	46.7
Ecart-type de la moyenne (SEM)	3.57

#### 3.4 Résultats liés à la durée du test

Plusieurs durées de test ont été successivement réalisées sur certains bovins (n°4, 5 et 6). Les tests étaient entrecoupés d'une pause d'une demi-heure. Les bovins testés pendant 180 secondes ont présenté de la toux au-delà des 120 secondes. Le bovin

n°4 n'a pas présenté de toux pendant son test qui a duré 240 secondes (cf Tableau 8).

Tableau 8 - Observations en fonction de la durée du test pour chaque bovin

Numéro du bovin	Durée du test (secondes)	Présence de toux
1	120	Non
2	120	Non
3	120	Non
4	120	Non
5	120	Non
6	120	Non
5	180	Oui (140 <sup>ème</sup> seconde)
6	180	Oui (165 <sup>ème</sup> seconde)
4	240	Non

#### 4. Discussion

De premier abord, la pré-expérimentation s'est bien déroulée et le test a semblé adaptable aux bovins. Elle a permis de déterminer un protocole standardisé qui pourra ensuite être testé.

#### 4.1 Volume du sac idéal

Chez les chevaux, on utilise classiquement un sac de 10 ou 20 litres, mais il est décrit que le sac de 50 litres est le plus efficace pour limiter la contrainte du test et maximiser la tolérance des chevaux. Après essai sur les bovins, les sacs de 10 et 20 litres étaient de taille insuffisante car ils ont provoqué un grand stress chez les animaux, le plastique entrant dans les narines dès les premières inspirations. Avec un sac de 50 litres, il était plus facile de maintenir le plastique loin des narines et le test était tout aussi efficace.

#### 4.2 Durée du test idéale

La durée du test doit être un compromis entre le bien-être de l'animal et l'efficience de l'expérimentation. En effet, le test doit être suffisamment long pour que les bruits respiratoires deviennent audibles, sans être trop long pour que l'animal ne souffre pas pendant le test. Après avoir testé plusieurs durées sur les 6 bovins, le temps de test idéal a semblé être de 2 minutes. Au-delà, certains des bovins présentaient des quintes de toux fortes (test à 3 et 4 minutes). De plus, la durée était suffisante pour que le test soit indicatif car l'augmentation d'intensité se produisait entre 40 et 60 secondes après le début du test.

#### 4.3 Autres constatations

A l'issue du test, la présence de sécrétions muqueuses et de gouttelettes a été observée dans le sac pour chaque bovin.

#### 4.4 Points à améliorer

La pré-expérimentation a été l'occasion de relever certains problèmes qu'il faudra résoudre pour l'expérimentation finale :

- Il faut laisser un espace de deux cornadis fermés entre chaque vache testée pour avoir la possibilité de l'ausculter facilement.
- Il n'est pas possible d'être seul pour l'expérimentation dans les conditions actuelles : une personne doit tenir le sac pendant que l'autre ausculte le bovin.
- La dépression dans le sac a provoqué l'entrée dans les narines du plastique et fait paniquer le bovin ce qui a induit un biais dans les mesures.

#### 4.5 Améliorations envisagées

Lors de l'expérimentation finale, les points relevés dans le paragraphe précédents ont été améliorés par différentes mesures :

- L'utilisation d'un panier réalisé pour l'occasion sur le modèle des paniers pour chevaux a empêché le plastique d'entrer dans les narines du bovin. Il a été conçu d'après les mesures d'une tête de vache laitière et est adaptable en longueur. Il est facilement retirable en cas de besoin.
- L'utilisation d'un sac plastique avec des liens a permis de positionner le sac autour du panier de façon hermétique sans que la présence d'un aide ne soit nécessaire. Ainsi, le test a pu être réalisé seul.
- Il faut prévoir un passage d'homme entre les cornadis proche du lieu d'expérimentation pour pouvoir facilement passer de la table d'alimentation (tête de la vache) à la stabulation (corps de la vache).

# Partie III - Expérimentation principale : Etude afin de définir des paramètres standards suite à l'utilisation du test chez la vache laitière

A l'issue de la pré-expérimentation, la conception d'un panier pour empêcher le sac plastique de s'engouffrer dans les narines du bovin a semblé nécessaire. Chez les chevaux, on utilise le panier muselière qui permet de mettre l'animal à jeun. Mais il n'existe pas de panier de ce type chez les bovins.

#### 1. Matériel et méthodes

1.1 Réalisation du panier pour bovins

Pour réaliser le panier, plusieurs impératifs étaient à considérer :

- La possibilité de pouvoir laver et désinfecter le panier entre chaque élevage pour éviter tout risque infectieux.
- La facilité de conception (peu de moyens)
- La sécurité pour le bovin (pas de risque de blessure)
- L'adaptabilité selon la taille de la tête du bovin

Le panier a donc été conçu en grillage fin en métal avec un renfort en ruban adhésif imperméable pour sécuriser les extrémités. Le tour de tête a été réalisé à l'aide de deux ceintures en cuir, qui permettent d'ajuster la longueur du panier à la taille de la tête de l'animal. Le plan est détaillé en Figure 20.

La désinfection du panier entre chaque élevage a été réalisée en plusieurs étapes, d'après le guide des bonnes pratiques d'hygiène en élevage bovin (CONFEDERATION NATIONALE DE L'ELEVAGE, 2011) :

- Nettoyage : par trempage immersion et brossage, à l'aide d'une solution détergente qui permet de retirer les souillures et la matière organique.
- Rinçage intermédiaire
- Désinfection : par aérosolisation d'un produit désinfectant (biocide, par exemple à base de chlorophénol, efficace contre les virus et bactéries à tropisme respiratoire en 30 minutes) sur l'ensemble du panier. (VALLARINO, 2013)
- Rinçage final

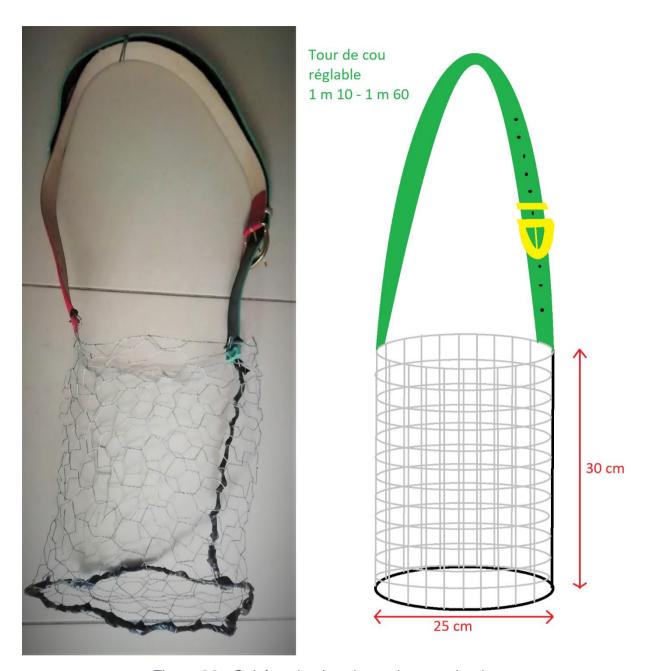


Figure 20 - Schématisation du panier pour bovins

#### 1.2 Autre matériel utilisé

Pour réaliser le test, un sac plastique de 50 litres avec liens a été utilisé. Il est à usage unique pour éviter tout risque de transmission d'infection entre les bovins.

Un stéthoscope Littmann® classic est utilisé pour l'auscultation, ainsi qu'un chronomètre pour mesurer la durée du test.

#### 2. Méthodes

#### 2.1 Recrutement des élevages

Quatre élevages ont été choisis pour réaliser les tests. Deux d'entre eux se situaient dans le Rhône, les deux autres en Haute-Saône. Les deux premiers élevages ont été recrutés dans la clientèle de l'Unité Clinique Rurale de l'Arbresle en lien avec VetAgro Sup. Les deux autres élevages ont été recrutés dans la clientèle du Cabinet vétérinaire Les Mances à Jussey. Il était nécessaire d'avoir une large plage de temps libre pour réaliser les tests, j'ai donc choisi ces deux clientèles par praticité et proximité (avec l'école pour l'U.C.R.A. et avec mon emploi de remplacement pour le Cabinet Les Mances). Les élevages sélectionnés sont à direction laitière, en race Montbéliarde exclusivement. Une des exigences était la présence de cornadis avec un accès rapide de part et d'autre pour pouvoir ausculter l'animal après la pose du dispositif. Les quatre élevages participants étaient :

- L'élevage de Mr Barberet Christian, à Savigny (69210). Il comptait une cinquantaine de vaches Montbéliardes qui avaient accès à l'extérieur une partie de l'année.
- L'élevage de Mr Furin Jean-Paul, à Savigny (69210). Il comptait une vingtaine de vaches Montbéliardes qui avaient accès à l'extérieur une partie de l'année.
- Le GAEC Duparterre à Venisey (70500). Il comptait plus d'une soixantaine de vaches Montbéliardes qui avaient accès à l'extérieur une partie de l'année.
- Le GAEC Du Parge à Aisey et Richecourt (70500). Il comptait plus d'une soixantaine de vaches Montbéliardes qui avaient accès à l'extérieur et qui faisaient 2 kilomètres tous les jours pour accéder aux pâtures.

#### 2.2 Critères de sélection de l'échantillonnage

Les bovins testés faisaient partie des quatre élevages sélectionnés. Les critères d'inclusion utilisés pour déterminer l'échantillon de référence ont été établis *a priori*. L'objectif était d'inclure dans l'étude uniquement des animaux sains du point de vue respiratoire et d'avoir un échantillon homogène afin d'élaborer un protocole de référence pour le test de ventilation forcée.

#### 2.2.1 Critères d'inclusion

Pour être éligibles au test, les individus devaient être :

- de l'espèce Bos taurus
- de race Montbéliarde
- de sexe femelle
- ayant déjà vêlé une fois
- en lactation

- ayant un historique médical sans antécédents ayant une possible répercussion respiratoire, incluant notamment :
  - o absence de maladie respiratoire
  - o absence d'épisodes de toux
  - o absence de maladie chronique
- n'ayant pas subi de vaccination contre PI3, BRSV et Mannheimia haemolytica
- avec un examen clinique général sans anomalies (température rectale, auscultation pulmonaire et cardiaque)
- n'ayant pas reçu de traitement systémique à visée respiratoire
- supportant la contention au cornadis

#### 2.2.2 Critères de non inclusion

Les individus non inclus dans l'étude étaient donc ceux ne répondant pas aux critères d'inclusion préalablement définis, et notamment pour apporter plus de précision à l'éleveur :

- les vaches taries
- les génisses et les mâles
- les animaux malades ou ayant un historique de maladies respiratoires
- les animaux excessivement stressés ou agressifs

#### 2.2.3 Critères d'exclusion

Certains animaux ont été exclus au cours de l'étude et notamment ceux :

- n'ayant pas eu un examen clinique satisfaisant, réalisé juste avant le test
- ne supportant pas la pose du panier et/ou du sac plastique
- présentant des réactions agressives envers le manipulateur, ou de peur
- présentant des difficultés respiratoires ou une forte toux au cours du test
- développant des signes cliniques respiratoires dans le mois qui suivait la réalisation du test

#### 2.3 Planning et conditions de réalisation des tests

Voici le planning de réalisation des tests et le nombre de bovins testés par élevage : (cf Tableau 9)

Tableau 9 - Planning des tests et nombre de bovins testés par élevage

Nom de l'élevage	Date des tests	Nombre de bovins testés
Elevage de Mr Barberet	06/03/2019	11
Elevage de Mr Furin	02/05/2019 et 03/05/2019	17
GAEC Duparterre	04/09/2019	8
GAEC Du Parge	05/09/2019	9

Dans chaque élevage, les conditions de réalisation des tests étaient similaires. Les tests étaient réalisés juste après la traite pour éviter que le stress lié au test ne modifie la qualité du lait (notamment le comptage cellulaire). Les vaches étaient bloquées au cornadis avec accès à la ration. Deux vaches sur trois étaient libérées et les cornadis étaient bloqués en position fermée pour éviter qu'une autre vache ne vienne à cette place, cela afin d'avoir la place de réaliser l'auscultation autour de la vache testée (cf Figure 21). Une fois la vache testée, elle était libérée.



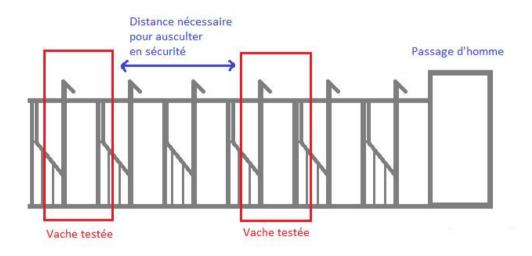


Figure 21 - Schéma de la disposition des bovins pour faciliter l'expérimentation

L'expérimentateur se plaçait à proximité d'un passage d'homme pour pouvoir aisément passer d'un côté et de l'autre des cornadis. Les expérimentations ne nécessitaient pas la présence de l'éleveur, je les ai réalisées en autonomie. A la fin de la séance, un débriefing était réalisé avec l'éleveur et il fournissait les informations concernant les vaches testées (date de naissance, stade de gestation etc...)

#### 2.4 Etapes préliminaires à la réalisation du test

Avant chaque séance de test et une fois les bovins bloqués au cornadis, un examen clinique rapide était réalisé. Il comprenait :

- un examen de l'animal à distance : aspect extérieur de l'animal, présence ou non de plaies, de jetage ou d'autres anomalies externes.
- une prise de température rectale. Celle-çi devait être comprise dans les valeurs usuelles soit entre 38 et 39.4 pour une vache laitière (BURFEIND et al., 2010)
- une auscultation cardiaque avec prise de la fréquence cardiaque. Celle-ci devait être comprise dans les valeurs usuelles soit entre 60 et 80 battements par minute (JACKSON, COCKCROFT, 2002a)
- une auscultation respiratoire avec prise de la fréquence respiratoire. Celle-ci devait être comprise dans les valeurs usuelles soit entre 12 et 40 mouvements par minute (KOVACS et al., 2014), (JACKSON, COCKCROFT, 2002b). L'auscultation était particulièrement minutieuse et devait déterminer la présence ou non de bruits respiratoires au repos.

L'examen clinique permettait de déterminer si l'animal était agressif ou particulièrement stressé, auquel cas il était exclu de l'étude.

Si l'examen clinique ne révélait pas d'anomalies, on disposait alors le panier autour de la tête de l'animal et on le laissait s'habituer au dispositif pendant quelques secondes (cf Figure 22). On vérifiait qu'il était facilement retirable.

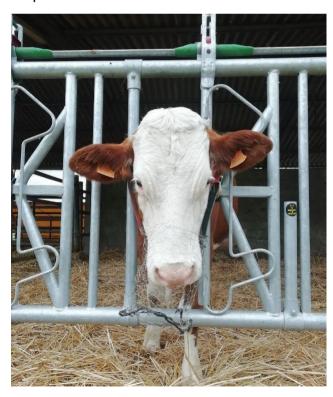


Figure 22 - Panier mis en place sur le bovin

#### 2.5 Déroulement du test

Une fois l'animal habitué à la présence du panier, on disposait le sac plastique de 50 litres et on serrait les liens autour du panier de façon à ce que le dispositif soit hermétique (cf Fig. 23). On déclenchait le chronomètre et on passait de l'autre côté de la rangée de cornadis pour réaliser l'auscultation. Les déplacements se faisaient dans le calme pour ne pas augmenter le niveau de stress de l'animal.

L'auscultation se déroulait toujours de la même façon et toujours par le même expérimentateur :

- De 0 à 10 secondes : franchissement des cornadis
- De 10 à 60 secondes : auscultation du côté gauche de la zone d'auscultation pulmonaire
- De 60 à 90 secondes : auscultation du côté droit de la zone d'auscultation pulmonaire
- De 90 à 110 secondes : auscultation du côté gauche de la zone d'auscultation pulmonaire
- De 110 à 120 secondes : franchissement des cornadis

Durant le test, on retenait la durée au bout de laquelle l'intensité des bruits respiratoires était nettement augmentée. Cet instant est qualitatif et varie en fonction de l'expérimentateur c'est pourquoi les tests ont tous été réalisés par la même personne, afin d'être le plus représentatif possible.

On notait également les éventuels épisodes de toux et l'arrêt du test pouvait se faire à tout moment facilement sans avoir à repasser de l'autre côté des cornadis, en retirant le dispositif.



Figure 23 - Dispositif panier + sac plastique. A gauche : avec un aide qui tient le sac, à droite : en autonomie avec un lien.

Au moment du retrait du dispositif, on déclenchait à nouveau le chronomètre et on comptait le nombre d'expirations forcées (naseaux dilatés, utilisation des muscles abdominaux) réalisées par le bovin. On arrêtait le chronomètre lorsque le bovin retrouvait sa fréquence respiratoire au repos.

#### 2.6 Suivi des animaux

A la suite des tests, l'éleveur obtenait la liste des animaux qui avaient fait partie de l'étude et devait communiquer tout symptôme respiratoire chez ces bovins qui apparaitrait dans le mois qui suivait le test. Ainsi, tout animal suspect serait retiré a postériori de l'étude.

#### 2.7 Analyse statistique

Toutes les données ont été inscrites sur un tableau récapitulatif (annexe), lui-même reporté sur *Microsoft Excel*®. Les tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel *R Studio*®

#### 3. Résultats

#### 3.1 Description de la population testée

45 bovins ont été testés et seul 1 bovin a été exclu de l'étude car il a présenté un épisode de forte toux dès le début du test. L'échantillon représenté est donc constitué de 44 bovins.

Les profils physiologiques (les stades de gestation et lactation, le numéro de lactation et l'âge) des bovins sont variés.

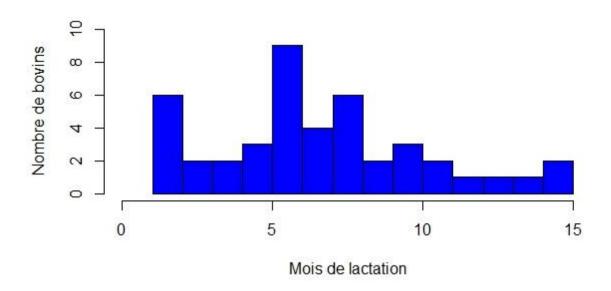


Figure 24 - Répartition des vaches testées selon leur mois de lactation. (en ordonnées : nombre de bovins, en abscisse : mois de lactation)

Le stade moyen de lactation des vaches de l'échantillon était d'environ 7 mois avec une répartition entre 1 et 15 mois assez homogène avec une médiane de 6.5 mois (cf Fig. 24).

Parmi les vaches testées, 18 d'entre elles étaient non gestantes et 26 étaient gestantes. La répartition du stade de gestation était comprise entre le 1<sup>er</sup> et le 7<sup>ème</sup> mois de gestation car les vaches taries n'étaient pas incluses dans l'étude (cf Fig. 25). Le mois de gestation moyen était de 4 avec une médiane également à 4 pour les vaches gestantes.

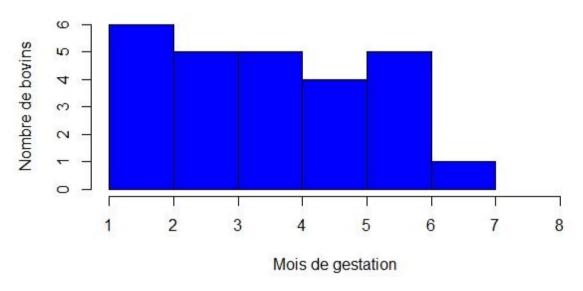


Figure 25 - Répartition des vaches gestantes testées selon leur mois de gestation

La majorité des vaches testées étaient en 1ère ou 2ème lactation (plus de 52% de l'effectif). Le rang de lactation moyen était de 3 avec une médiane à 2 (cf Fig. 26).

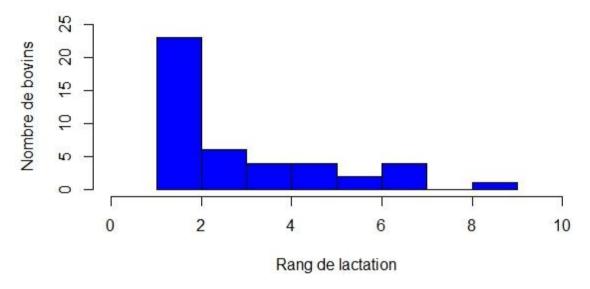


Figure 26 - Répartition des vaches testées selon leur rang de lactation

#### 3.2 Synthèse des résultats

#### 3.2.1 Fréquences cardiaque et respiratoire, température rectale au repos

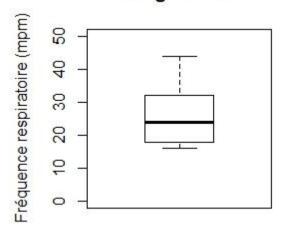
La première étape de l'expérimentation consistait en un examen clinique général des bovins. Les températures rectales prises ont toutes été inférieures à 39.4°C avec une moyenne de 38°C. Aucune fréquence cardiaque n'était anormale, avec une moyenne de 68 battements par minute. Concernant l'auscultation pulmonaire, aucun bovin ne présentait de bruits respiratoires surajoutés. La fréquence respiratoire était en moyenne de 27 mouvements par minutes.

Les examens cliniques étant tous corrects, tous les bovins de l'échantillon ont été soumis au test.

On a également comparé les fréquences respiratoires des vaches gestantes au dernier tiers de gestation (5<sup>ème</sup> au 7<sup>ème</sup> mois) et des vaches non gestantes (cf Fig. 27).

#### Non gestantes

#### Dernier tiers de gestation



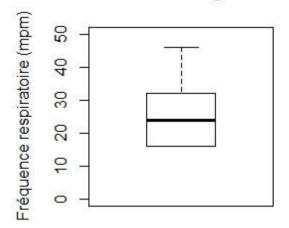


Figure 27 - Répartition des fréquences respiratoires du groupe de vaches non gestantes et du groupe de vaches au dernier tiers de gestation

La moyenne des fréquences respiratoires des vaches non gestantes était d'environ 25 mouvements par minutes contre 26 pour les vaches au dernier tiers de gestation. Les diagrammes en boite étant symétriques, on a pu supposer que les variables étudiées suivaient une loi Normale (cf Fig. 27). Les variances n'étaient pas égales (boîte plus allongée pour les vaches au dernier tiers de gestation) donc on a utilisé un test de Welch avec variances inégales pour comparer les deux moyennes. ). La différence n'était pas significative (p = 0.83). On ne pouvait pas conclure qu'il y ait une différence de fréquence respiratoire entre les vaches gestantes et les vaches au dernier tiers de gestation.

#### 3.2.2 Augmentation d'intensité des bruits respiratoires

La détermination du temps nécessaire avant l'augmentation nette d'intensité des bruits respiratoires normaux nous permettrait de définir un protocole précis pour le test de ventilation forcée. Les mesures ont toutes été prises par le même manipulateur.

La durée moyenne avant l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires était d'environ 57.2 secondes. La médiane était de 60 secondes.

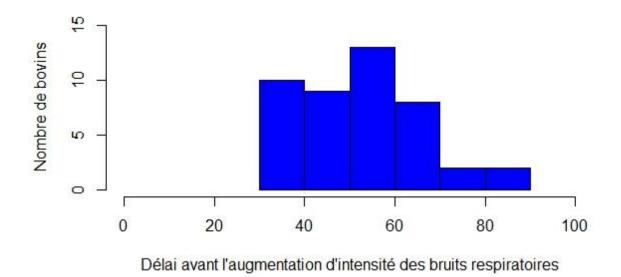


Figure 28 – Histogramme des effectifs : répartition des bovins testés en fonction de la durée nécessaire avant l'augmentation des bruits respiratoires (en secondes)

La visualisation de l'histogramme des effectifs (cf Fig. 28) combinée à un test de Shapiro nous a permis de savoir si la variable étudiée suivait approximativement une loi Normale, afin de réaliser un test statistique pour déterminer l'intervalle de confiance autour de la variable étudiée. Ici, le test de Shapiro avait une p-value inférieure à 0.05 (p = 0.0035), indiquant que la distribution des données était significativement différente de la distribution d'une loi Normale.

## 3.2.3 Intervalle de confiance calculé pour le délai avant l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires

La distribution des données ne pouvant pas être assimilée à la distribution d'une loi Normale, on a dû utiliser le test de Wilcoxon de conformité à une médiane théorique.

A l'aide du logiciel R, on a obtenu un intervalle de confiance de [50.0; 60.0]. On peut donc dire avec un seuil de confiance de 95% que la durée avant l'augmentation des bruits respiratoires lors du test de ventilation forcée se trouvait entre 50 et 60 secondes.

#### 3.2.4 Toux et bruits respiratoires surajoutés pendant le test

24% des bovins ont présenté de la toux au cours du test parmi lesquels un bovin a présenté une forte quinte de toux qui a motivé l'arrêt du test à 60 secondes pour cet animal.

Deux bovins ont présenté des crépitements en fin d'inspiration au cours du test. Ces crépitements étaient de faible intensité et localisés dans le cadran inférieur crânial à gauche.

#### 3.2.5 Délai avant le retour à la fréquence respiratoire de repos

Le délai avant le retour à la fréquence respiratoire de repos a été chronométré dès le retrait du dispositif. Le même manipulateur a effectué toutes les mesures pour qu'elles soient le plus représentatif possible.

La durée moyenne du délai avant le retour à la fréquence respiratoire au repos était de 20,0 secondes avec une médiane à 20 secondes.

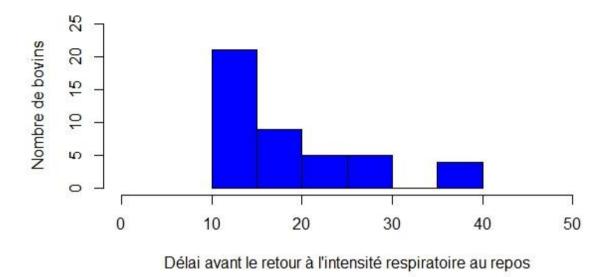


Figure 29 - Histogramme des effectifs : répartition des bovins testés en fonction du délai avant le retour à la fréquence respiratoire au repos.

De même que pour la variable précédente, on a visualisé l'histogramme des effectifs (cf Fig. 29) et on a réalisé un test de Shapiro pour juger de la normalité de la distribution. Le test de Shapiro avait une p-value inférieure à 0.05 (p = 0.0002161), indiquant que la distribution des données était significativement différente de la distribution d'une loi Normale

## 3.2.6 Intervalle de confiance calculé pour le délai avant le retour à la fréquence respiratoire de repos

A l'aide du logiciel R, on a obtenu un intervalle de confiance de [17.5 ; 22.5] avec le test de Wilcoxon. On peut donc dire avec un seuil de confiance à 95% que la durée avant le retour à la fréquence respiratoire au repos était comprise entre 17 et 22 secondes.

# 3.3.1 Effet de la gestation

A partir des données acquises sur l'échantillon, nous avons pu générer deux sous-groupes comportant les vaches gestantes (26 individus) d'un côté et les vaches non gestantes de l'autre (18 individus). L'objectif était de déterminer si la gestation avait un impact sur les résultats du test au sac chez les vaches testées.

Concernant le délai avant l'augmentation des bruits respiratoires, la moyenne était de 55.2 secondes chez les vaches gestantes contre 60 secondes chez les vaches non gestantes. Les diagrammes en boite étant relativement symétriques (cf Fig. 30), et les tests de Shapiro étant respectivement d'une p-value supérieure à 0.05 (p = 0.2445 pour les vaches non gestantes et p = 0.2621 pour les vaches gestantes), la distribution des données n'était pas significativement différente d'une loi Normale. On a donc pu approximer cette répartition par une loi Normale. Les variances n'étant pas égales (boîte plus allongée pour les vaches non gestantes), on a utilisé un test de Welch avec variances inégales pour comparer les deux moyennes.

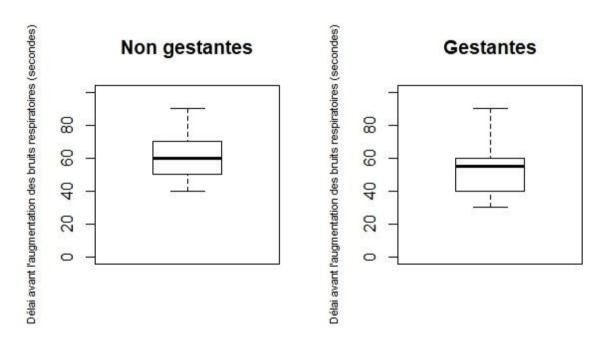


Figure 30 - Diagrammes en boîte représentant le délai avant l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires dans deux groupes : vaches gestantes et vaches non gestantes

A l'aide du logiciel R, on a réalisé le test : la différence entre les deux moyennes n'était pas significative (p = 0.27). On ne peut pas conclure qu'il y ait une différence pour le délai avant l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires entre les vaches gestantes et les vaches non gestantes.

Concernant le délai avant le retour à l'intensité respiratoire au repos, la moyenne était de 21.7 secondes chez les vaches gestantes contre 17.5 secondes chez les

vaches non gestantes. Les diagrammes en boite étaient relativement symétriques (cf Fig. 31) mais le test de Shapiro pour les vaches non gestantes avait une p-value inférieure à 0.05 (p = 0.0003), la distribution des données était donc significativement différente d'une loi Normale pour les vaches non gestantes.

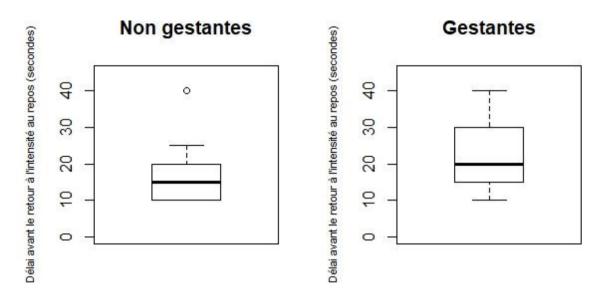


Figure 31 - Diagramme en boîte représentant le délai avant retour à la fréquence respiratoire au repos dans deux groupes : vaches gestantes et vaches non gestantes

On a donc réalisé un test de Wilcoxon pour petits échantillons (n < 30) ne suivant pas une loi normale. On a obtenu une p-value légèrement supérieure à 0.05 (p=0.052) donc on ne peut pas conclure sur une différence entre les deux groupes des vaches gestantes et non gestantes.

## 3.3.2 Effet du rang de lactation

A partir de l'échantillon, nous avons réalisé deux sous-groupes comportant d'une part les vaches primipares (14 individus), d'autre part les vaches multipares (30 individus). L'objectif était de déterminer si le rang de lactation avait un impact sur les résultats du test au sac.

On a utilisé le même raisonnement et les mêmes tests que dans le paragraphe précédent. On s'est intéressé au délai avant l'augmentation de l'intensité des bruits respiratoires. Les diagrammes en boites semblaient symétriques (cf Fig. 32) mais l'un des tests de Shapiro avait une p-value inférieure à 0.05 (p = 0.01 pour les vaches multipares), on ne pouvait donc pas approximer la répartition des données par une loi Normale.

On a réalisé le test de Wilcoxon à l'aide du logiciel R : la différence entre les deux moyennes (53.9 secondes pour les primipares et 58.6 secondes pour les multipares) n'était pas significative (p = 0.36). On ne peut donc pas conclure qu'il y ait une différence pour le délai avant l'augmentation des bruits respiratoire entre les vaches primipares et les vaches multipares.

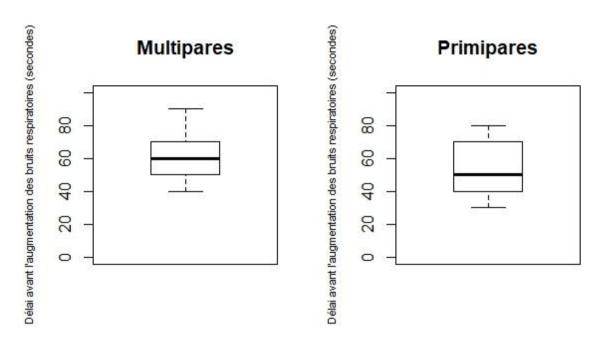


Figure 32 – Diagrammes en boîte représentant le délai avant l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires dans deux groupes : primipares et multipares.

Concernant le délai avant retour à une fréquence respiratoire au repos entre les vaches primipares et multipares, la représentation en diagramme en boîte (cf Fig.33) ne nous a pas permis d'approximer une loi Normale : la boîte concernant les primipares n'etait pas symétrique (et le test de Shapiro avait une p-value inférieure à 0.05 avec p = 0.01 pour les primipares)

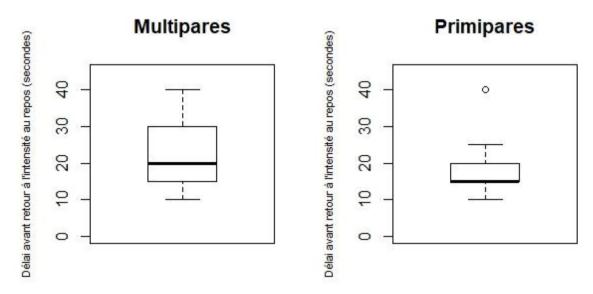


Figure 33 - Diagramme en boîte représentant le délai avant retour à la fréquence respiratoire au repos dans deux groupes : primipares et multipares

On a donc réalisé sur R un test W de Wilcoxon pour petits échantillons ( n <30) ne suivant pas une loi normale. La différence entre les deux moyennes n'étant pas

significative (p = 0.42), on ne peut pas conclure sur une différence entre les deux sousgroupes multipares et primipares.

#### 4. Discussion

Notre étude a permis de déterminer des intervalles de référence pour le protocole de test de ventilation forcée chez les vaches laitières et plus particulièrement les vaches Montbéliardes.

Il est important d'être conscient des limites de cette étude, que ce soit au niveau de la taille de l'échantillon ou de la subjectivité de l'auscultation.

# 4.1 Etude préliminaire

Cette expérience visait à observer la réaction des bovins face au test, à définir le matériel adéquat et la méthode de test idéale. Elle a été réalisée sur un faible nombre d'animaux (6 bovins) ce qui ne permet pas de conclure sur la répétabilité du test mais permet d'évaluer la pertinence du protocole. La réalisation du panier était notamment une étape nécessaire qui a pu être objectivée lors de cette première étape.

# 4.2 Biais de sélection et représentativité du groupe

## 4.2.1 Sélection des élevages

La sélection des élevages a été réalisée par praticité (proximité) et selon la volonté de l'éleveur de participer ou non. Il existe donc un biais dans la sélection des élevages qui ne sont pas totalement représentatifs de l'ensemble des élevages français de vaches Montbéliardes. Toutefois, deux départements français (Rhône et Haute Saône) sont représentés et comptent parmi les départements où la race Montbéliarde est fortement développée (CARREZ, 2016)

#### 4.2.2 Sélection des bovins

Le choix des bovins participants à l'étude a été aléatoire (une vache sur trois au cornadis). Lorsque l'on étudie les rangs de lactation des bovins présents dans l'étude, on s'aperçoit qu'ils sont assez représentatifs de la population de Montbéliardes française au contrôle laitier (selon les résultats du contrôle laitier 2018 (INSTITUT ELEVAGE, 2017), cf Tableau 10).

Tableau 10 - Comparaison de la répartition des rangs de lactation des bovins de l'échantillon à la moyenne nationale Montbéliardes. D'après (INSTITUT ELEVAGE, 2017)

Rang de lactation	% de bovins dans	% de bovins au contrôle	
_	l'échantillon	laitier 2018	
1	31	29.1	
2	22	23.4	
3	13	17.2	
4	9	12.4	
5	9	8.2	
6	4	5	
7 et +	11	4.6	

La taille de l'échantillon (45 bovins) a été limitée par le temps nécessaire pour réaliser les tests et le nombre de bovins présents dans les élevages sélectionnés. La difficulté de recruter des élevages n'a pas permis de réaliser le test sur un plus grand nombre de bovins. On note que les éleveurs ont été parfois réticents à laisser performer le test par peur d'un impact sur la santé de leurs animaux.

Tous les tests ont été réalisés sur des bovins en lactation, aucune vache tarie n'a été testée ce qui pourrait modifier les résultats.

#### 4.2.3 Choix de la race Montbéliarde

L'étude a concerné les vaches laitières, qui sont la population cible du test de ventilation forcée. Le choix de la race Montbéliarde s'est fait par praticité (proximité d'élevages de Montbéliardes) vis-à-vis des races Prim'Holstein et Normande. Toutefois, le panier réalisé est utilisable sur toutes les vaches laitières (réglable en longueur) et deux cas cliniques ont été réalisés sur des vaches de race Normande. Il serait intéressant de réaliser une étude similaire sur les autres races laitières, et de réfléchir à une éventuelle adaptation sur les vaches allaitantes.

## 4.3 Discussion sur le protocole de test

## 4.3.1 Biais lié à la subjectivité de l'expérimentateur

Bien que le même expérimentateur ait réalisé tous les tests, l'expérience et la subjectivité entrent en compte dans les résultats.

Il existe un réel biais lié à l'expérience du manipulateur lors de l'auscultation : un vétérinaire ayant une plus grande expérience et ayant réalisé un plus grand nombre d'auscultations pulmonaires aurait pu détecter avec plus de précision le moment de l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires.

Il existe également un biais lié à la subjectivité de l'expérimentateur : il doit détecter le moment où l'intensité des bruits respiratoires est nettement augmentée. Ce moment

peut être perçu différemment selon l'expérimentateur. Toutefois, en ayant recours toujours au même expérimentateur, nous avons limité les erreurs dans les résultats car on peut supposer que l'expérimentateur a réalisé toujours le test de la même façon.

## 4.3.2 Limites des méthodes de mesure

L'étude a présenté des limites dans les méthodes de mesure des paramètres du test.

D'une part, l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires a été mesurée de façon subjective par l'expérimentateur. Avec des moyens supplémentaires, il aurait été possible d'enregistrer l'auscultation à l'aide d'un stéthoscope électronique et de traiter la bande audio pour déterminer précisément l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires.

De plus, lors de la phase de récupération, avec un manipulateur supplémentaire, il aurait été possible de mesurer plus précisément le retour à la fréquence respiratoire au repos. En effet, il était difficile de retirer le dispositif tout en lançant le chronomètre pour mesurer le temps nécessaire avant le retour à la fréquence respiratoire au repos. Toutefois, on a estimé que cette erreur ne devait pas excéder les 2 secondes et concernait tous les bovins (moins problématique que si elle n'avait concerné qu'une partie des bovins). De plus, l'intérêt de n'avoir recours qu'à un seul expérimentateur était de se rapprocher des situations concrètes d'utilisation future de ce test en pratique vétérinaire courante (il est rarement possible d'avoir un aide).

#### 4.4 Discussion sur les résultats

Jusqu'à présent, aucune étude n'existe concernant l'utilisation du test de ventilation forcée chez les bovins. Il est donc impossible de comparer les résultats de cette étude avec ceux d'études précédentes. Ces résultats constituent donc une base de données qu'il sera nécessaire de renforcer par la suite.

#### 4.4.1 Discussion autour des intervalles de confiance

L'étude a permis de donner des intervalles de temps de référence à l'utilisateur du test dans lequel il doit s'attendre à voir augmenter l'intensité des bruits respiratoires (51 à 61 secondes après le début du test) ou dans lequel il doit s'attendre à voir le bovin récupérer une fréquence respiratoire au repos (17 à 23 secondes après la fin du test). La détermination de ces délais a permis de standardiser le protocole du test au sac : on s'attend chez une vache montbéliarde saine à obtenir des valeurs proches de ces intervalles.

# 4.4.2 Comparaisons selon le stade physiologique

L'étude n'a pas démontré de différence significative dans les résultats du test au sac selon le stade physiologique. Toutefois, il est possible que la taille de l'échantillon ne fût pas suffisante pour obtenir une différence. La gravidité entraine une perte d'espace dans l'abdomen et pourrait modifier la capacité respiratoire de la vache dans les dernières semaines de gestation. De plus, l'âge du bovin (assimilé au rang de lactation) pourrait également influer sur ses performances respiratoires.

## 4.5 Perspectives

Cette étude étant la première sur le sujet, voici quelques axes que nous aurions souhaité mettre en place pour compléter ce travail.

# 4.5.1 Etude sur un plus grand échantillon

L'étude sur un plus grand échantillon aurait permis d'améliorer la puissance des tests statistiques réalisés, et d'obtenir des intervalles de référence plus recentrés.

# 4.5.2 Etude sur plusieurs races

lci, l'étude concernait les vaches de race Montbéliarde. Il serait intéressant de comparer les résultats obtenus avec un groupe de Prim'Holstein (race la plus présente sur le territoire français en vache laitière) et éventuellement un groupe de Normande.

L'inclusion de vaches allaitantes dans une étude sur le test de ventilation forcée nécessiterait des installations plus sécurisées (cage de contention à la place des cornadis) impliquant davantage de temps et un aide. De plus, l'utilité de ce test sur ces animaux est moindre : il est plus difficile de repérer des signes cliniques frustres (baisse de production, abattement) sur des vaches allaitantes qui ne passent pas à la traite tous les jours et sont souvent dehors. Toutefois, dans le cadre de la recherche, il serait intéressant de comparer leur capacité respiratoire avec celle des vaches laitières.

#### 4.5.3 Etude sur animaux atteints

La finalité de cette étude est d'utiliser le test sur des animaux potentiellement atteints au niveau respiratoire, mais encore faiblement symptomatiques (baisse de production, hyperthermie, abattement). La difficulté d'inclure des animaux atteints dans une étude provient du recrutement, de la variabilité et de la taille de l'échantillon. Toutefois, nous avons réalisé le test sur deux bovins suspects pour évaluer l'intérêt du protocole.

# 5. Application clinique

L'objectif de l'étude étant de proposer un protocole standardisé du test de ventilation forcée aux vétérinaires praticiens, nous leur avons proposé d'essayer le test lors de visites. Les vétérinaires de la clinique de Périers ont participé à l'essai.

#### 5.1 Cas n°1

L'éleveur a appelé la clinique le 12 février 2020 pour une vache « coupée en lait » (chute brutale de production laitière).

#### 5.1.1 Anamnèse et commémoratifs

L'animal était une vache de race Normande, n°1453846163, en 1ère lactation. Elle avait vêlé le 29 aout 2019, soit 5 mois avant la visite environ. Elle était gestante depuis le 25 octobre 2019 soit depuis 3 mois et demi.

Depuis deux traites successives, elle a présenté une chute significative de la production laitière. Elle semblait également abattue mais elle faisait partie d'un élevage où les bovins étaient très calmes en temps normal.

Quelques jours avant la visite, les génisses de l'élevage avaient présenté de la toux et une chute de la rumination détectée par les colliers connectés. L'épisode s'était résolu spontanément.

#### 5.1.2 Examen clinique

La vache avait une température rectale de 39.7°C. Elle n'avait aucun signe respiratoire apparent (pas de dyspnée, pas de toux ni de jetage). Sa fréquence respiratoire était de 60 mouvements par minute. A l'auscultation pulmonaire, l'intensité des bruits respiratoires était normale et il n'y avait aucun bruit surajouté.

Elle présentait une diarrhée modérée. A la palpation transrectale, il n'y avait aucune anomalie hormis la présence de selles liquides dans le colon. A l'auscultation abdominale, on ne suspectait pas de déplacement ni de dilatation de caillette, les bruits digestifs étaient normaux. La vache était toujours gestante.

La mamelle était souple et indolore. Le test buvard était négatif, ce qui n'était donc pas évocateur de mammite.

L'acétonémie était normale. La vache ne présentait pas d'autres anomalies.

#### 5.1.3 Réalisation du test

On a réalisé le test avec un sac plastique de 50L pendant une durée de deux minutes. Au bout de 40 secondes, l'intensité des bruits respiratoires était nettement augmentée. Des crépitements dans le cadran antérieur à droite étaient audibles.

A l'issue du test, le bovin a mis plus de 30 secondes à récupérer une fréquence respiratoire de repos.

# 5.1.4 Hypothèses diagnostiques

Le vétérinaire a suspecté une maladie infectieuse à tropisme respiratoire et digestif dans l'élevage, ayant débuté dans le groupe des génisses.

## 5.1.5 Traitement

Le vétérinaire a mis en place un traitement antibiotique et anti-inflammatoire associé à de la dexaméthasone.

#### 5.2 Cas n°2

Le même éleveur a rappelé la clinique deux jours plus tard. Plusieurs vaches étaient abattues et la vache traitée précédemment allait mieux.

#### 5.2.1 Anamnèse et commémoratifs

L'animal était une vache de race Normande, n°1453846146, en 1ère lactation. Elle avait vêlé le 15 juillet 2019, 6 mois auparavant environ. Elle n'était pas gestante.

Depuis la veille, elle présentait une chute de la rumination détectée par collier connecté. Elle semblait également abattue et elle avait présenté une chute modérée de la production laitière. Elle avait été en contact avec la première vache atteinte.

### 5.2.2 Examen clinique

La vache avait une température rectale de 39.2°C. Elle n'avait aucun signe respiratoire apparent (pas de dyspnée, pas de toux ni de jetage). Sa fréquence respiratoire était de 40 mouvements par minute. A l'auscultation pulmonaire, l'intensité des bruits respiratoires était normale et il n'y avait aucun bruit surajouté.

A la palpation transrectale, il n'y avait aucune anomalie. A l'auscultation abdominale, on ne suspectait pas de déplacement ni de dilatation de caillette, les bruits digestifs étaient normaux.

La mamelle était souple et indolore. Le test buvard était négatif, ce qui n'était donc pas évocateur de mammite.

L'acétonémie était normale. La vache ne présentait pas d'autres anomalies.

#### 5.2.3 Réalisation du test

On a réalisé le test avec un sac plastique de 50L pendant une durée de deux minutes. Au bout de 55 secondes, l'intensité des bruits respiratoires était nettement augmentée. Aucun bruit surajouté n'était audible.

A l'issue du test, le bovin met 10 secondes à récupérer une fréquence respiratoire de repos.

# 5.2.4 Hypothèses diagnostiques

On a suspecté un passage infectieux dans l'élevage. Cette vache pouvait être à un stade plus précoce de la maladie que la première ou bien elle présentait une forme atténuée de la maladie.

Au cours de la visite, on a observé deux autres vaches atteintes (fréquence respiratoire anormale et rumination très basse).

#### 5.2.5 Traitement

Le vétérinaire a mis en place un protocole de soins pour les vaches de l'élevage :

- Celles qui présentaient une hyperthermie et une baisse de production sans signes respiratoires étaient traitées avec un anti-inflammatoire et surveillées.
- Celles qui présentaient des signes respiratoires en addition étaient mises sous antibiotiques et dexamethasone.
- De l'argile a été ajouté à la ration des vaches en lactation.

#### 5.3 Intérêt du test de ventilation forcée

Le test a permis d'appuyer une suspicion d'infection à visée respiratoire chez le premier bovin testé. Sans le test, le diagnostic aurait pu être orienté vers un traitement digestif. Il a permis également de faire le tri entre les animaux à mettre sous antibiotiques et ceux chez lesquels ce n'est pas nécessaire.

Les vétérinaires ayant utilisé le test ont été intéressés par la méthode qu'ils ont jugé rapide et informative.

# CONCLUSION

Les maladies respiratoires chez les bovins sont responsables de pertes économiques importantes. L'éleveur est parfois démuni face aux épidémies et le vétérinaire est souvent appelé lors que l'état clinique des animaux est avancé. L'avenir de la médecine vétérinaire passe avant tout par la prévention de ces épidémies, et par leur découverte précoce.

Malheureusement, l'examen de l'appareil respiratoire des bovins est difficile à interpréter, et souvent peu satisfaisant pour poser un diagnostic d'atteinte respiratoire. Le test de ventilation forcée, utilisé couramment en pratique équine, est un atout diagnostique incontestable pour le praticien dans cette espèce. Utilisé chez les bovins il permettrait d'amplifier les bruits respiratoires et de détecter les atteintes respiratoires plus précocement. Ce travail a consisté à mettre au point ce test de ventilation forcée chez les bovins.

Les travaux réalisés au cours de cette étude nous ont permis de constater que le test de ventilation forcée, habituellement utilisé chez les chevaux, est adaptable aux bovins. Afin de réaliser ce test, un prototype de matériel, dont le plan est fourni dans ce manuscrit, a été mis au point. Le protocole a été défini et les différentes phases de réalisation test ont été décrites. Des intervalles de valeurs, comme le délai avant l'augmentation des bruits respiratoires ou le délai avant retour à la fréquence respiratoire au repos ont été définis. Ces valeurs constituent des indications utiles pour le praticien afin d'interpréter ce test. Les réponses au test selon le stade physiologique de l'animal ont également été comparées et aucune différence significative n'a été mise en évidence.

Les principales limites de cette étude sont liées aux méthodes de mesure et à la subjectivité de l'opérateur lors de l'auscultation. De même, afin de travailler sur un échantillon homogène, nous avons pris le parti de travailler avec des vaches de races Montbéliarde en lactation exclusivement.

Notre étude a montré que le test de ventilation forcée était applicable aux bovins et permettait d'amplifier les bruits respiratoires dans cette espèce. Une étude à plus grande échelle, répétée, devra être menée afin de confirmer l'intérêt de ce test dans le diagnostic différentiel des maladies respiratoires chez les bovins. Ce travail ne constitue donc qu'un préambule à d'autres travaux qui pourraient être réalisés afin de mettre en évidence l'intérêt de ce test pour le vétérinaire rural dans sa pratique courante.

# Bibliographie

ART, T., DESMECHT, D., AMORY, H. et LEKEUX, P., 1991. Lobeline-Induced Hyperpnea in Equids: Comparison with Rebreathing Bag and Exercise. In: *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 1991. Vol. 38, n° 1-10, p. 148-152. DOI 10.1111/j.1439-0442.1991.tb00995.x.

BARONE, R., 1997. Deuxième Partie : Appareil respiratoire. In : *Anatomie Comparée des mammifères domestiques - Tome 3 - Splanchnologie I : Appareil digestif Appareil respiratoire*. Paris : Vigot. ISBN 2-7114-9012-2.

BONAL, C., 1992. Exploration fonctionnelle de l'appareil respiratoire des jeunes bovins. Thèse d'exercice vétérinaire. Toulouse : Université Paul Sabatier de Toulouse.

BOUBET, B., 2018. Maladies respiratoires des bovins Des agents pathogènes et des facteurs de risque. In : *GDS Creuse* [en ligne]. 2018. [Consulté le 5 mars 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.gdscreuse.fr/?p=6395.

BREEZE, R., 1985. Structure, Function, and Metabolism in the Lung. In: *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1985. Vol. 1, n° 2, p. 219-235. DOI 10.1016/S0749-0720(15)31325-6.

BRUCE, E. N. et CHERNIACK, N. S., 1987. Central chemoreceptors. In: *Journal of Applied Physiology*. 1987. Vol. 62, n° 2, p. 389-402. DOI 10.1152/jappl.1987.62.2.389.

BUREAU, F., COGHE, J., UYSTEPRUYST, C.H., DESMECHT, D. et LEKEUX, P., 1999. Maximal Ventilation Assessment in Healthy Calves. In: *The Veterinary Journal*. 1999. Vol. 157, n° 3, p. 309-314. DOI 10.1053/tvjl.1998.0300.

BURFEIND, O., VON KEYSERLINGK, M. A. G., WEARY, D. M., VEIRA, D. M. et HEUWIESER, W., 2010. Repeatability of measures of rectal temperature in dairy cows. In: *Journal of Dairy Science*. 2010. Vol. 93, n° 2, p. 624-627. DOI 10.3168/jds.2009-2689.

CARREZ, F., 2016. L'apport des nouvelles methodes de selection sur le standard de la race montbéliarde. Thèse d'exercice vétérinaire. Lyon : Université Claude Bernard - Lyon I.

CHATELAIN, E., 1985. Anatomie de l'appareil respiratoire des bovins. In : *Recueil de medecine veterinaire*. 1985. Vol. 161, n° 12, p. 995-1007.

CONFEDERATION NATIONALE DE L'ELEVAGE, 2011. Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène en élevage de gros bovins, veaux de boucherie, ovins et caprins. Paris : Les éditions des Journaux Officiels. ISBN 978-2-11-076899-5.

CONSTANTINOPOL, M., JONES, J. H., WEIBEL, E. R., TAYLOR, C. R., LINDHOLM, A. et KARAS, R. H., 1989. Oxygen transport during exercise in large mammals. II. Oxygen uptake by the pulmonary gas exchanger. In: *Journal of Applied Physiology*. 1989. Vol. 67, n° 2, p. 871-878. DOI 10.1152/jappl.1989.67.2.871.

CURTIS, R. A., VIEL, L., MC GUIRK, S. M., RADOSTITS, O. M. et HARRIS, F. W., 1986. Lung Sounds in Cattle, Horses, Sheep and Goats. In: *The Canadian Veterinary Journal*. 1986. Vol. 27, n° 4, p. 170-172.

DEE FAILS, A. et MAGEE, C., 2018. Chapter 19: The respiratory system. In: DEE FAILS, A. et MAGEE, C., *Anatomy and Physiology of Farm Animals*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. p. 349-368. ISBN 978-1-119-23971-0.

- DEQUIER, L.-A. et CADORE, J.-L., 2010. Réalisation du test de ventilation forcée et interprétation. In : *Pratique veterinaire équine*. 2010. Vol. 42, n° 166, p. 79-80.
- FORTIER, J., 2014. *Contribution à l'estimation de la dépense énergétique liée à l'exercice chez le cheval trotteur attelé*. Thèse de 3ème cycle. Dijon : Université de Bourgogne.
- GALLIVAN, G.J., MC DONELL, W.N. et FORREST, J.B., 1989. Comparative pulmonary mechanics in the horse and the cow. In: *Research in Veterinary Science*. 1989. Vol. 46, n° 3, p. 322-330. DOI 10.1016/S0034-5288(18)31174-3.
- GUSTIN, P., LEKEUX, P., ART, T., BAKIMA, M. et LOMBA, F., 1986. Specificities of the mechanics of breathing and gas exchanges in double-muscled cattle. In: *Proceedings of the 5th Comparative Respiratory Society Meeting*. 1986.
- INSTITUT ELEVAGE, 2017. Résultats contrôle laitier race Montbéliarde Mémo statistiques. In : *Montbéliarde Association* [en ligne]. 2017. [Consulté le 1 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.montbeliarde.org/assets/files/Publications/fiches-techniques/2016\_fiche\_CL-memo-statistiques\_pour\_site\_web.pdf.
- JACKSON, P. et COCKCROFT, P., 2002a. Chapter 6: Clinical Examination of the Cardiovascular System. In: JACKSON, P. et COCKCROFT, P., *Clinical Examination of Farm Animals* [en ligne]. Oxford: Blackwell Science Ltd. ISBN 0-632-05706-8. Disponible à l'adresse: https://www-dawsonera-com.ezproxy.vetagro-sup.fr/readonline/9781405147392.
- JACKSON, P. et COCKCROFT, P., 2002b. Chapter 7: Clinical Examination of the Respiratory System. In: JACKSON, P. et COCKCROFT, P., *Clinical Examination of Farm Animals* [en ligne]. Oxford: Blackwell Science Ltd. ISBN 0-632-05706-8. Disponible à l'adresse: https://www-dawsonera-com.ezproxy.vetagro-sup.fr/readonline/9781405147392.
- JONES, J. H., LONGWORTH, K. E., LINDHOLM, A., CONLEY, K. E., KARAS, R. H., KAYAR, S. R. et TAYLOR, C. R., 1989. Oxygen transport during exercise in large mammals. I. Adaptive variation in oxygen demand. In: *Journal of Applied Physiology*. 1989. Vol. 67, n° 2, p. 862-870. DOI 10.1152/jappl.1989.67.2.862.
- KIRSCHVINK, N. et REINHOLD, P., 2008. Use of Alternative Animals as Asthma Models. In: *Current Drug Targets*. 2008. Vol. 9, n° 6, p. 470-484. DOI 10.2174/138945008784533525.
- KOVACS, L., JURKOVICH, V., BAKONY, M., SZENCI, O., POTI, P. et TOZSER, J., 2014. Welfare implication of measuring heart rate and heart rate variability in dairy cattle: litterature review and conclusions for future research. In: . 2014. Vol. 8, n° 2, p. 316-330. DOI 10.1017/S1751731113002140.
- LE CORRE, S. et CADORE, J.-L., 2018. *Standardisation du test de ventilation forcée chez le cheval*. Rapport de fin d'internat en équine. Lyon, VetAgro Sup.
- LEKEUX, P., 1997. Physiologie et physiopathologie respiratoires des grands animaux domestiques. In : *Maladies respiratoires. Journées nationales des GTV, Vichy, 21-23 mai.* 1997. p. 21-26.
- MARLIN, D. et NANKERVIS, K., 2002. *Equine exercise physiology* [en ligne]. Oxford: Blackwell Science Ltd. [Consulté le 27 février 2020]. Disponible à l'adresse: https://www.academia.edu/32768644/D.\_Marlin\_K.\_Nankervis\_Equine\_exercise\_physiology\_2002\_B lackwell\_Science\_Oxford\_0632055529\_p.\_296\_29.95\_Soft\_.
- MC GORUM, B. C. et DIXON, P. M., 2000. Clinical Examination of the Respiratory Tract. In : *Equine Respiratory Medicine and Surgery* [en ligne]. Philadelphie, Pennsylvanie : Elsevier.

- p. 103-117. [Consulté le 6 février 2019]. ISBN 978-0-7020-2759-8. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780702027598500131.
- MENARD, C., 2014. Etude bibliographique comparée de la physiologie du coureur de fond et du cheval d'endurance : système cardiorespiratoire. Thèse d'exercice vétérinaire. Lyon : Université Claude Bernard Lyon I.
- MEYER, G., MAILLARD, R., CORBIERE, F. et SCHELCHER, F., 2011. Données actuelles sur les viroses respiratoires des bovins. In : *Le point vétérinaire*. 2011. Vol. 42, n° special, p. 26-33.
- MISEROCCHI, G. et NEGRINI, D., 1991. Pleural Lymphatics as Regulators of Pleural Fluid Dynamics. In: *Physiology* [en ligne]. 1991. [Consulté le 12 décembre 2019]. DOI 10.1152/physiologyonline.1991.6.4.153. Disponible à l'adresse: https://www.physiology.org/doi/abs/10.1152/physiologyonline.1991.6.4.153. world
- NAYLOR, J.M., CLARK, E.G. et CLAYTON, H.M., 1992. Chronic obstructive pulmonary disease: Usefulness of clinical signs, bronchoalveolar lavage, and lung biopsy as diagnostic and prognostic aids. In: *Canadian Veterinary Journal*. 1992. Vol. 33, p. 591-598.
- ROSENBERGER, G., 1979. Examen clinique des bovins. Maisons-Alfort : Le Point Vétérinaire.
- SHERWOOD, L., KLANDORF, H. et YANCEY, P. H., 2016. Chapitre 11: Systèmes respiratoires partie 10: Contrôle de la respiration. In: SHERWOOD, L., KLANDORF, H. et YANCEY, P. H., *Physiologie animale*. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur. p. 546-556. ISBN 978-2-8073-0286-0.
- SILBERNAGL, S. et DESPOPOULOS, A., 2017. Chapitre 5 : Respiration Régulation de la respiration, stimuli respiratoires. In : *Atlas de poche de physiologie*. Paris : Lavoisier. p. 140-141. ISBN 978-2-257-20552-0.
- STAHL, W. R., 1967. Scaling of respiratory variables in mammals. In: *Journal of Applied Physiology*. 1967. Vol. 22, n° 3, p. 453-460. DOI 10.1152/jappl.1967.22.3.453.
- STOBER, M., 1985. Examen clinique de l'appareil respiratoire des bovins. In : *Recueil de medecine veterinaire*. 1985. Vol. 161, n° 12, p. 1043-1051.
- TRIBOUT, P., 2013. Etude morphométrique du cheval d'endurance de race arabe et croisé arabe en relation avec la performance. Thèse d'exercice vétérinaire. Maisons-Alfort : Faculté de médecine de Créteil.
- VALLARINO, N., 2013. *La biosécurité dans les élevages bovins laitiers*. Thèse d'exercice vétérinaire. Maisons-Alfort : Faculté de médecine de Créteil.
- WEIBEL, E. R., 1983. How Does Lung Structure Affect Gas Exchange? In: *Chest.* 1983. Vol. 83, n° 4, p. 657-665. DOI 10.1378/chest.83.4.657.
- WEST, J. B., 2012a. Chapter 2 Ventilation How Gas Gets to the Alveoli. In: *Respiratory Physiology The essentials*. 9eme. Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins. p. 12-23. ISBN 978-1-60913.
- WEST, J. B., 2012b. Chapter 8 -Control of ventilation How gaz exchange is regulated. In: *Respiratory Physiology The essentials*. 9eme. Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins. p. 125-140. ISBN 978-1-60913.

# Annexe 1 : FICHE INDIVIDUELLE BOVIN - ETUDE PRELIMINAIRE

N° national	
Race	
Date de naissance	
Stade de lactation	
Stade de gestation	
Rang de lactation	
Antécédents pathologiques respiratoires et vaccinations	

# Examen clinique général

Attitude	
Auscultation	
cardiaque	
FC	
Température	

# Examen spécifique de la fonction pulmonaire

F	R	
Jet	age	
To	oux	
Auscultation	Inspiration	
pulmonaire	Expiration	
	Ronflants /crépitants	
Bruits	Sifflants	
surajoutés	Frottements pleurétiques	

# **Annexe 2 : FICHE D'EXPERIMENTATION – ETUDE PRELIMINAIRE**

FICHE BOVIN	N° national		
		Durée	
Heure de début du test	Heure de fin du test	totale	
			1
Contenance du sac			

	Pendant le test			Pe	ndant la phase	de récupérat	ion	
	FR	Auscultation pulmonaire	Bruits surajoutés	Etat général	FR	Auscultation pulmonaire	Bruits surajoutés	Etat général
0 - 60"								
	FR	Auscultation pulmonaire	Bruits surajoutés	Etat général				
60 - 120"								
	FR	Auscultation pulmonaire	Bruits surajoutés	Etat général				
120 - 180"								
180 - 240"	FR	Auscultation pulmonaire	Bruits surajoutés	Etat général				

# **Annexe 3: TABLEAU DE DONNEES - ETUDE PRINCIPALE**

DONNEES INDIVIDUELLES							
N°national Elevage Date de naissance Date du test Stade de lactation (mois) Stade de gestation (mois) Rang de lactation					Rang de lactation		
FRXXXXXXX	1	01/01/2015	01/01/2019	4	1	1	

AVANT TEST					
FR au repos	Température	FC	Bruits surajoutés		
16	38,2	42	NON		

PENDANT LE TEST						
Durée du test (secondes)	Délai avant augmentation intensité bruits respiratoires (secondes)	Delai avant toux (secondes)	Bruits surajoutés			
120	45	0	NON			

APRES LE TEST				
Delai avant retour à FR au repos (secondes)	Commentaires			
45				

# Annexe 4 : Script RStudio pour l'étude statistique

# 1. Chargement des données

Le fichier « donnees.txt » contient l'ensemble des informations collectées et des mesures réalisées sur l'échantillon de 44 vaches :

- Le numéro d'identification du bovin
- Le numéro de l'élevage
- La date de naissance du bovin
- La date du test
- Le stade de lactation du bovin
- Le stade de gestation du bovin
- Le rang de lactation du bovin
- Le statut vacciné ou non du bovin
- La fréquence respiratoire au repos
- La température rectale
- La fréquence cardiaque au repos
- La présence ou non de bruits surajoutés à l'auscultation

donnees <- read.table("donnees.txt",header=TRUE,dec=".")</pre>

On génère différents jeux de données codées sous la forme d'objet de type data.frame. Dans chaque fichier, on retrouve le délai avant l'augmentation des bruits respiratoires (« augmentation »), le délai avant le retour à l'intensité respiratoire de départ (« retour »), et la fréquence cardiaque (« fr ») pour certains fichiers.

- Pour les vaches gestantes :

```
> gestantes <-read.table("gestantes.txt",header=TRUE,dec=".")
  gestantes
   augmentation retour
1
               30
                      20
2
              40
                      30
3
               40
                      30
4
               80
                      10
5
               40
                      40
6
               50
                      15
7
               60
                      20
8
               50
                      40
9
               60
                      30
10
               90
                      20
               60
                      30
11
12
               60
                      20
13
               50
                      15
14
               70
                      10
15
               60
                      25
                      20
16
               50
17
              40
                      30
              70
                      25
18
19
               35
                      25
20
              40
                      15
21
              70
                      15
22
               60
                      10
23
               70
                      10
24
               50
                      20
25
               60
                      15
26
               50
                      25
Pour les vaches non gestantes (« vides ») :
> vides
```

```
augmentation retour fr
1
                      15 16
               60
2
                       10 18
               40
3
                       20 24
               60
4
                       20 20
               40
5
                       10 16
               60
6
                       10 20
               60
7
                       40 40
               50
8
               80
                       10 16
9
                       20 26
               40
10
               50
                       40 16
                       15 34
11
               70
12
               60
                       15 32
13
               70
                       15 24
14
               60
                       25 32
15
               90
                       10 22
16
               70
                       10 28
17
               70
                       15 28
18
               50
                       15 44
```

Pour les vaches primipares :

```
> primi <- read.table("primi.txt",header=TRUE,dec=".")
   augmentation retour
1
               30
                       20
2
               40
                       20
3
               60
                       10
4
               80
                       10
5
               50
                       15
6
               70
                       10
7
               50
                       20
8
               35
                       25
9
               50
                       40
10
               40
                       15
11
               70
                       15
12
               70
                       15
13
               60
                       15
14
               50
                       25
```

Pour les vaches multipares :

```
> multi <- read.table("multi.txt",header=TRUE,dec=".")
> multi
   augmentation retour
               60
2
               40
                       10
3
               60
                       20
4
               40
                       30
5
               60
                       10
6
               40
                       30
7
               40
                       40
8
               50
                       40
9
               50
                       15
10
               60
                       20
               80
11
                       10
12
               50
                       40
13
               40
                       20
14
               60
                       30
15
               90
                       20
16
               60
                       30
17
               60
                       20
18
               60
                       25
19
               40
                       30
               70
20
                       25
21
               60
                       10
22
               70
                       15
23
               60
                       25
24
               90
                       10
25
               70
                       10
               70
26
                       10
27
               50
                       20
28
               60
                       15
29
               70
                       15
30
               50
                       15
```

# 2. Description graphique

# 2.1 Mois de lactation

On réalise l'histogramme de la répartition des vaches testées selon leur mois de lactation :

```
hist(donnees\$Stadedelactation,breaks=15, xlab="Mois de lactation", ylab="No mbre de bovins", main="", col=4, xlim=c(0,15), ylim=c(0,10))
```

On calcule ensuite le mois moyen de lactation de l'échantillon ainsi que la médiane :

```
> mean(donnees$Stadedelactation)
[1] 6.954545
> median(donnees$Stadedelactation)
[1] 6.5
```

# 2.2 Mois de gestation

Après avoir créé un fichier txt reprenant le mois de gestation des vaches gestantes ( appelé « gestantesmois »), on calcule le mois moyen de gestation ainsi que la médiane :

```
> mean(gestantesmois$moisgestation)
[1] 3.961538
> median(gestantesmois$moisgestation)
[1] 4
```

On réalise l'histogramme de la répartition des vaches gestantes selon leur mois de gestation :

```
\label{lem:breaks} hist(gestantesmois\$moisgestation,breaks=8,\ x\ lab="Mois de gestation",\ y\ lab="Nombre de bovins",\ main="",\ col=4,\ x\ lim=c(0,8),\ y\ lim=c(0,6))
```

# 2.3 Rang de lactation

On calcule le rang moyen de lactation des vaches de l'échantillon, ainsi que la médiane :

```
> mean(donnees$Rangdelactation)
[1] 3.068182
> median(donnees$Rangdelactation)
[1] 2
```

On réalise ensuite l'histogramme de la répartition des rangs de lactation des vaches :

```
hist(donneesRangdelactation, main="",col=4, xlim=c(0,10),ylim=c(0,25),xlab="Rang de lactation", ylab="Nombre de bovins")
```

# 3. Synthèse des résultats

3.1 Fréquence cardiaque, fréquence respiratoire et température rectale au repos

On calcule la température rectale et les fréquences cardiaque et respiratoire moyennes des bovins de l'échantillon :

```
> mean(donnees$Temperature)
[1] 38.025
> mean(donnees$FC)
[1] 67.68182
> mean(donnees$FRaurepos)
[1] 26.68182
```

On réalise ensuite deux diagrammes en boîte, le premier représentant la répartition des fréquences respiratoires des vaches non gestantes, et le deuxième la répartition des fréquences respiratoires des vaches au dernier tiers de gestation.

```
> par(mfrow = c(1,2)) # fonction qui permet de séparer la fenêtre en deux
> boxplot(vides$fr, ylim=c(0,50), main="Non gestantes", ylab="Fréquence res
piratoire (mpm)")
> boxplot(derniertiers$fr, ylim=c(0,50), main="Dernier tiers de gestation",
ylab="Fréquence respiratoire (mpm)")
```

On réalise un test de Welch pour comparer les deux moyennes :

3.2 Augmentation d'intensité des bruits respiratoires

On calcule la moyenne et la médiane du délai avant l'augmentation d'intensité des bruits respiratoires sur l'échantillon des 44 bovins :

```
> mean(donnees$Délaiavantaugmentation)
[1] 57.15909
> median(donnees$Délaiavantaugmentation)
[1] 60
```

On trace ensuite l'histogramme de la répartition des délais avant l'augmentation des bruits respiratoires, et on réalise un test de Shapiro pour juger de la normalité de la distribution :

```
data: donnees$Délaiavantaugmentation
W = 0.94483, p-value = 0.03544
```

On réalise alors un test de Wilcoxon pour obtenir l'intervalle de confiance à 95% :

```
> wilcox.test(donnees$Délaiavantaugmentation,conf.int=TRUE)$conf.int
[1] 50.00002 60.00001
attr(,"conf.level")
[1] 0.95
```

3.3 Retour à l'intensité respiratoire de repos

On calcule la moyenne et la médiane du délai avant retour à l'intensité respiratoire au repos sur l'échantillon des 44 bovins :

```
> mean(donnees$Delaiavantretour)
[1] 20
> median(donnees$Delaiavantretour)
[1] 20
```

On trace ensuite l'histogramme de la répartition des délais avant le retour à l'intensité respiratoire au repos, et on réalise un test de Shapiro pour juger de la normalité de la distribution :

On réalise alors un test de Wilcoxon pour obtenir l'intervalle de confiance à 95%:

```
> wilcox.test(donnees$Delaiavantretour,conf.int=TRUE)$conf.int
[1] 17.49997 22.49999
attr(,"conf.level")
[1] 0.95
```

- 3.4 Effet de la gestation
- 3.4.1 Augmentation des bruits respiratoires

On calcule la moyenne du délai avant l'augmentation des bruits respiratoires dans le groupe des vaches gestantes et dans le groupe des vaches non gestantes :

```
> mean(gestantes$augmentation)
[1] 55.19231
> mean(vides$augmentation)
[1] 60
```

On trace ensuite les diagrammes en boîte des deux groupes de l'échantillon, et on réalise les deux tests de Shapiro pour évaluer la normalité de la distribution :

```
> boxplot(vides$augmentation, ylim=c(0,100), main="Non gestantes", ylab="Dé
lai avant l'augmentation des bruits respiratoires (secondes)")
> boxplot(gestantes$augmentation, ylim=c(0,100), main="Gestantes", ylab="Dé
lai avant l'augmentation des bruits respiratoires (secondes)")

> shapiro.test(vides$augmentation)
        Shapiro-wilk normality test

data: vides$augmentation
w = 0.93572, p-value = 0.2445

> shapiro.test(gestantes$augmentation)
        Shapiro-wilk normality test

data: gestantes$augmentation
w = 0.95228, p-value = 0.2621
```

L'approximation de la répartition par une loi Normale étant possible, on réalise un test de Welch avec variances inégales pour comparer les deux moyennes :

#### 3.4.2 Retour à l'intensité respiratoire au repos

On calcule la moyenne du délai avant le retour à l'intensité respiratoire au repos dans le groupe des vaches gestantes et dans le groupe des vaches non gestantes :

```
> mean(vides$retour)
[1] 17.5
> mean(gestantes$retour)
[1] 21.73077
```

On trace ensuite les diagrammes en boîte des deux groupes de l'échantillon, et on réalise les deux tests de Shapiro pour évaluer la normalité de la distribution :

```
> boxplot(vides$retour, ylim=c(0,45), main="Non gestantes", ylab="Délai ava
nt le retour à l'intensité au repos (secondes)")
```

3.5 Effet du rang de lactation

W = 314, p-value = 0.05287

3.5.1 Augmentation des bruits respiratoires

data: gestantes\$retour and vides\$retour

On calcule la moyenne du délai avant l'augmentation des bruits respiratoires dans le groupe des vaches primipares et dans le groupe des vaches multipares :

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

```
> mean(primi$augmentation)
[1] 53.92857
> mean(multi$augmentation)
[1] 58.66667
```

On trace ensuite les diagrammes en boîte des deux groupes de l'échantillon, et on réalise les deux tests de Shapiro pour évaluer la normalité de la distribution :

On réalise alors un test de Wilcoxon pour savoir si la différence entre les deux sous-g roupes est significative :

```
> wilcox.test(primi$augmentation, multi$augmentation)

Wilcoxon rank sum test with continuity correction
```

```
data: primi\alpha gmentation and multi\alpha multi\alpha
```

# 3.5.2 Retour à l'intensité respiratoire au repos

On calcule la moyenne du délai avant le retour à l'intensité respiratoire au repos dans le groupe des vaches primipares et dans le groupe des vaches multipares :

```
> mean(primi$retour)
[1] 18.21429
> mean(multi$retour)
[1] 20.83333
```

W = 0.89206, p-value = 0.0054

On trace ensuite les diagrammes en boîte des deux groupes de l'échantillon, et on réalise les deux tests de Shapiro pour évaluer la normalité de la distribution :

On réalise alors un test de Wilcoxon pour savoir si la différence entre les deux sous-groupes est

# significative:

# > wilcox.test(primi\$retour, multi\$retour)

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: primi\$retour and multi\$retour W=178, p-value = 0.4181 alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

## **AMRANI Ines**

# Etude de l'adaptabilité du test de ventilation forcée chez les bovins

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 23 octobre 2020

## **RESUME:**

Le test de ventilation forcée est utilisé en pratique courante pour évaluer la capacité pulmonaire des chevaux. Il permet une auscultation plus précise des poumons et la détection précoce d'une défaillance respiratoire. L'enjeu de cette étude était de déterminer s'il était possible d'adapter ce test pour une utilisation sur les bovins.

Le protocole idéal avec le matériel adéquat a été défini. Nous avons déterminé des intervalles de valeurs, chez les vaches de race Montbéliarde (le délai avant l'augmentation des bruits respiratoires, compris entre 50 et 60 secondes, le délai avant le retour à la fréquence respiratoire au repos, compris entre 17 et 22 secondes) qui sont des indications pour le praticien. Nous avons également comparé les réponses au test selon le stade physiologique de l'animal (stade de gestation, stade de lactation et numéro de lactation) : nous n'avons pas obtenu de différence significative. Toutefois, l'utilisation de ce test pour plusieurs cas concrets en pratique rurale courante s'est avérée utile, et pourra être adopté facilement par les vétérinaires ruraux dans le cadre du dépistage des atteintes respiratoires.

# **MOTS CLES:**

- auscultation pulmonaire - récupération

- bovins - fréquence respiratoire

- hyperventilation -

JURY:

Président : Monsieur le Professeur SEVE

1er Assesseur :Madame le Professeur LOUZIER2ème Assesseur :Madame le Professeur ARCANGIOLI

**DATE DE SOUTENANCE :** 23 octobre 2020