



Université de Montréal

**Évaluation de la valeur pronostique de la lactatémie lors de  
dilatation à droite de la caillette ou de volvulus abomasal  
chez la vache laitière**

par

GUILLAUME BOULAY

Département des sciences cliniques

Faculté de médecine vétérinaire

Mémoire présenté à la Faculté de médecine vétérinaire  
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)  
en sciences vétérinaires  
option sciences cliniques

Août 2012

© Guillaume Boulay, 2012

## Résumé

Dans les élevages laitiers d'aujourd'hui, les déplacements de la caillette sont parmi les conditions chirurgicales les plus souvent rencontrées. Le pronostic pour ces pathologies est cependant très différent que l'on soit en présence d'une dilatation de la caillette à droite (DCD) ou d'un volvulus de la caillette (VC). En pratique, la distinction en période préopératoire entre ces deux conditions est difficile. Afin de limiter les pertes économiques associées aux DCD/VC, l'identification et la réforme précoce des animaux ayant le plus grand risque d'avoir une mauvaise évolution postopératoire deviennent des enjeux de premier plan. Les objectifs de cette étude étaient de déterminer la valeur pronostique de la L-lactatémie (LAC) mesurée à la ferme en préopératoire à l'aide d'un appareil portatif chez des vaches souffrant de DCD ou VC et de suggérer des seuils de LAC cliniquement significatifs. Nos résultats indiquent que la LAC est un bon indicateur pronostique lors de DCD/VC. Une LAC  $\leq 2$  mmol/L est un bon indicateur de succès chirurgical et s'avère très utile pour appuyer la décision d'opérer l'animal (sensibilité, spécificité, valeurs prédictives positive et négative de respectivement 76.2, 82.7, 53.3 et 93.1%). Par ailleurs, il n'y a aucun avantage économique à effectuer une chirurgie chez des vaches commerciales souffrant de DCD/VC qui ont une LAC  $\geq 6$  mmol/L (sensibilité, spécificité, valeurs prédictives positive et négative de respectivement 28.6, 97.5, 75 et 84%). Par conséquent, ces animaux devraient, dans la plupart des cas, être réformés en raison de la probabilité élevée qu'ils aient une mauvaise évolution postopératoire.

**Mots-clés :** Vache laitière, service ambulatoire, chirurgie, caillette, dilatation à droite de l'abomasum, volvulus abomasal, pronostic préopératoire, lactate, issue postopératoire

## Abstract

Abomasal displacement is among the most commonly encountered surgical disorder in modern dairy herds. Prognosis, however, varies widely among type of abomasal displacement, and preoperative diagnostic may be difficult to assess. To control the economic loss associated with abomasal disorders, especially right displaced abomasum (RDA) and abomasal volvulus (AV), early identification and culling of animals at higher risk of developing a surgical failure (SF) would be of interest. The objectives of this study were to determine the prognostic value of preoperative L-lactate concentration (LAC) measured on farm with a portable clinical analyzer for cows with RDA or AV, and to suggest LAC clinical relevant decision thresholds. Our results showed that LAC was correlated with the prognosis of RDA/AV. A LAC  $\leq 2$  mmol/L seemed to be good indicator of surgical success and would be useful to support a surgical decision (sensitivity, specificity, positive and negative predictive values of 76.2, 82.7, 53.3 and 93.1%; respectively). On the other hand, there is no economic advantage to perform a surgery on commercial cows with RDA/AV that have LAC  $\geq 6$  mmol/L and these animals should potentially be culled according to their high probability of SF (sensitivity, specificity, positive and negative predictive values of 28.6, 97.5, 75 and 84%; respectively).

**Keywords** : Dairy cow, field service, surgery, abomasum, right displacement of the abomasum, abomasal volvulus, preoperative prognosis, lactate, postoperative outcome

# Table des matières

RÉSUMÉ .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES .....	x
LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS.....	xii
REMERCIEMENTS.....	xv
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 : RECENSION DE LA LITTÉRATURE.....	3
1.1 Problèmes de la caillette chez les bovins.....	3
1.1.1 Particularités anatomiques des problèmes de la caillette à droite.....	4
1.1.2 Signes cliniques associés aux problèmes de la caillette à droite .....	5
1.1.3 Physiologie des sécrétions abomasales.....	6
1.1.4 Physiopathologie des problèmes de la caillette à droite .....	7
1.1.4.1 Déséquilibres acido-basiques.....	8
1.1.4.2 La chlorémie .....	8
1.1.4.3 La kaliémie.....	9
1.1.4.4 La natrémie .....	9
1.1.4.5 Hypovolémie.....	10
1.1.4.6 Hypoperfusion et acidose métabolique.....	10
1.1.5 Pronostic des problèmes de la caillette à droite.....	11
1.2 Indicateurs pronostiques lors de problèmes de la caillette à droite .....	12
1.2.1 Indicateurs pronostiques préopératoires .....	13
1.2.1.1 Anamnèse et signes cliniques .....	13
1.2.1.2 Analyses de laboratoire.....	14
1.2.1.2.1 Électrolytes : chlorures .....	14

1.2.1.2.2 Marqueurs d'acidose : pH, bicarbonates, excès de base, anions résiduels et lactatémie .....	15
1.2.1.2.3 Marqueurs d'hypovolémie : hématoците et protéines totales .....	16
1.2.1.3 Combinaison de variables .....	16
1.2.2 Indicateurs pronostiques peropératoires .....	17
1.2.2.1 Dommages vasculaires à l'abomasum .....	18
1.2.2.2 Quantité et apparence du liquide abomasal .....	19
1.2.2.3 Combinaison de variables .....	20
1.2.3 Indicateurs pronostiques postopératoires .....	21
1.2.4 Valeur pronostique de la lactatémie .....	21
1.3 Physiologie et physiopathologie du lactate .....	22
1.3.1 Formes de lactates .....	22
1.3.2 Métabolisme du L-lactate .....	22
1.3.3 Lactatémie normale .....	25
1.3.3.1 Lactatémie normale des bovins .....	25
1.3.4 Hyperlactatémie et acidose lactique .....	26
1.3.4.1 Définitions .....	26
1.3.4.2 Physiopathologie .....	26
1.3.4.2.1 Physiopathologie de l'hyperlactatémie lors de septicémie, syndrome de la réponse inflammatoire systémique et endotoxémie .....	27
1.3.4.2.2 Physiopathologie de l'hyperlactatémie lors de problèmes digestifs obstructifs .....	27
1.3.4.3 Types d'acidose lactique .....	29
1.4 Détermination de la lactatémie .....	31
1.4.1 Méthodes de prélèvement .....	31
1.4.2 Méthodes de conservation .....	31
1.4.3 Méthodes d'analyses .....	32
1.5 Valeur pronostique de la lactatémie chez les autres espèces .....	33
1.5.1 Historique .....	33
1.5.2 Milieu hospitalier .....	34
1.5.2.1 Mesure ponctuelle de la lactatémie .....	34

1.5.2.2 Mesures répétées de la lactatémie.....	34
1.5.3 Maladies hypoxiques .....	36
1.5.4 Septicémie, syndrome de la réponse inflammatoire systémique et endotoxémie....	36
1.5.5 Problèmes digestifs .....	37
1.5.5.1 Dilatation et torsion gastrique chez le chien.....	37
1.5.5.1.1 Lactatémie et survie .....	37
1.5.5.1.2 Lactatémie et nécrose gastrique .....	38
1.5.5.2 Coliques chez le cheval.....	39
1.5.5.2.1 Lactatémie et survie .....	39
1.5.5.2.2 Lactatémie et type d'atteinte digestive .....	41
1.5.5.2.3 Combinaison de variables .....	41
1.6 Mesure des lactates péritonéaux .....	42
1.6.1 Diagnostic de péritonite septique.....	42
1.6.2 Valeur pronostique.....	43
1.6.2.1 Coliques chez le cheval.....	43
1.6.2.1.1 Lactates péritonéaux et survie.....	43
1.6.2.1.2 Lactates péritonéaux et types d'atteinte digestive .....	44
1.6.3 Volvulus de la caillette chez le bovin .....	44
1.7 Valeur pronostique de la lactatémie chez le bovin .....	45
1.7.1 Problèmes respiratoires.....	45
1.7.2 Problème de la caillette à droite.....	46
 HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE .....	 50
 CHAPITRE 2 : ARTICLES.....	 51
2.1 Short-term prognostic value of preoperative indicators in cattle with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus: 112 cases (2005-2011).....	51
2.2 Preoperative value of a cow-side lactatemia measurement to predict negative outcome in Holstein dairy cattle with right abomasal disorders.....	72

CHAPITRE 3 : DISCUSSION GÉNÉRALE .....	98
Valeur pronostique de la lactatémie.....	98
Pertinence des seuils de L-lactate mis en évidence .....	100
Élaboration des modèles de prédiction .....	103
Valeur pronostique complémentaire de la lactatémie.....	104
Retour sur le protocole.....	106
Pistes d'avenir.....	107
CONCLUSION.....	109
BIBLIOGRAPHIE .....	110
ANNEXE : Fiche de compilation projet lactate .....	xvii

## Liste des tableaux

**Tableau I.** Les mécanismes entraînant les acidoses lactiques de type A et de type B et les causes qui y sont associées. .... 30

**Tableau II.** Lactatémie en fonction de l'évolution des chevaux en colique et seuils de prédiction de la survie. .... 40

### **Article 1: Short-term prognostic value of preoperative indicators in cattle with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus: 112 cases (2005-2011)**

**Table 1.** Descriptive data of demographic, physical examination and laboratory variables for cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus presented by outcome. .... 65

**Table 2.** Individual logistic regression models of association between physical examination and clinico-pathological variables with risk of negative outcome for cows with right-sided abomasal disorders. .... 66

**Table 3.** Characteristics of different cut-points for heart rate, anion gap, creatinine, L-lactate and chloride concentrations to predict negative outcome in cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus. .... 67

**Table 4.** Multivariate logistic regression equation model of association between heart rate and L-lactate with risk of negative outcome in 58 cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus. .... 68

## **Article 2: Preoperative value of a cow-side lactatemia measurement to predict negative outcome in Holstein dairy cattle with right abomasal disorders**

**Table 1.** Important characteristics of a cohort of 102 cows with right-sided tympanic resonance and a subsequent surgical diagnosis of right displaced abomasum (RDA) or abomasal volvulus (AV). ..... 93

**Table 2.** Surgical failure probability across categories of pre-surgical L-lactate concentration and heart rate in a cohort of 102 cows with surgical diagnosis of right displaced abomasum or abomasal volvulus. .... 94

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Représentation d'une dilatation de la caillette (A) et d'un volvulus de la caillette (B).....	5
<b>Figure 2.</b> Échanges électrolytiques lors de la sécrétion de l'acide gastrique.....	7
<b>Figure 3.</b> Décoloration violacée de la caillette d'un veau dont l'apport vasculaire est compromis en raison d'un volvulus abomasal.....	19
<b>Figure 4.</b> Représentation schématique de la respiration cellulaire.....	24

### **Article 1: Short-term prognostic value of preoperative indicators in cattle with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus: 112 cases (2005-2011)**

<b>Fig 1.</b> Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of heart rate.....	69
<b>Fig 2.</b> Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of anion gap.....	69
<b>Fig 3.</b> Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of creatinine.....	70
<b>Fig 4.</b> Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of L-lactate concentration.....	70
<b>Fig 5.</b> Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of chloride.....	71

**Fig 6.** Plot of probability of negative outcome predicted by logistic regression model combining heart rate and L-lactate concentration..... 71

**Article 2: Preoperative value of a cow-side lactatemia measurement to predict negative outcome in Holstein dairy cattle with right abomasal disorders**

**Figure 1.** Relationship between L-lactate concentration and probability of a surgical failure (SF) across 3 categories of heart rate (HR) for 102 cows with diagnosis of right abomasal disorder. .... 95

**Figure 2.** Receiver operating characteristic curves displaying the general characteristics of L-lactate measurement, heart rate (HR) and L-lactate and HR together as diagnostic tests to predict surgical failure in 102 cows with diagnosis of right displaced abomasum or abomasal volvulus..... 96

**Figure 3.** Characteristics of different L-lactate cut-points as a diagnostic test to predict surgical failure in 102 cows with diagnosis of right displaced abomasum or abomasal volvulus..... 97

## Liste des sigles et des abréviations

AG :	Anion gap
ATP :	Adénosine triphosphate
AUC :	Area under the curve
AV :	Abomasal volvulus
BE :	Base excess
CHUV :	Centre hospitalier universitaire vétérinaire
CI :	Confidence interval
Cl :	Serum chloride
Creat :	Serum creatinine
DIM :	Days in milk
FN :	False negative
FP :	False positive
HR :	Heart rate
kg :	Kilogramme
L :	Litre
LAC :	L-lactate concentration
LDA :	Left displaced abomasum
MCT :	Misclassification cost term
mEq/L :	Milliéquivalent par litre
mm de Hg :	Millimètre de mercure
mM/L ou mmol/L :	Millimole par litre
n :	Nombre
Na :	Serum sodium
NO :	Negative outcome
NPV :	Negative predictive value
OR :	Odds ratio
PCA :	Portable clinical analyzer
PCV :	Packed cell volume
PO :	Positive outcome

PPV :	Positive predictive value
RDA :	Right displaced abomasum
ROC :	Receiver operating characteristic
Se :	Sensitivity
Sp :	Specificity
SRIS :	Syndrome de la réponse inflammatoire systémique
SF :	Surgical failure
SS :	Surgical success

*À la mémoire de Charles-Émile Boulay,  
travailleur de la terre et  
grand-papa en or...*

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dr Sébastien Buczinski, mon directeur de maîtrise, pour m'avoir donné la possibilité de poursuivre mon séminaire d'internat en projet de maîtrise. Ses conseils et ses encouragements précieux auront su m'aider afin de réaliser l'ensemble de ce projet.

Je tiens également à remercier mon co-directeur de maîtrise, Dr David Francoz, et Dre Elizabeth Doré pour leur collaboration remarquable tout au long de ce projet.

Je veux également remercier Dre Julie Arsenault, Dr Jérôme Carrier et Dr Jocelyn Dubuc qui ont su m'éveiller aux analyses statistiques et qui m'ont apporté leur aide pour le traitement de ma banque de données.

Je tiens sincèrement à remercier Dr Simon Dufour qui, par ses conseils, m'aura permis d'amener mon projet de maîtrise un peu plus loin, là où la clinique et l'épidémiologie se rencontrent.

Un remerciement tout spécial à la Dre Ariane Bonneville-Hébert qui m'a fait bénéficier de son expérience d'étudiante aux cycles supérieurs. Ses conseils au début du programme de maîtrise auront été très précieux.

Je tiens également à remercier Dre José Denis-Robichaud et Dr Nicolas Tison, tous deux étudiants à la maîtrise, avec qui j'ai eu la chance d'échanger sur divers sujets connexes à nos projets respectifs pendant ces deux années. Ces discussions constructives m'auront permis de mettre mon projet en perspective et de me stimuler à l'améliorer constamment.

J'aimerais exprimer toute ma gratitude aux producteurs laitiers de la clinique ambulatoire bovine qui ont accepté de participer à cette étude et de prendre le temps de répondre à mes traditionnelles « trois petites questions ».

Je ne pourrais passer sous silence la contribution remarquable des vétérinaires de la clinique ambulatoire bovine qui ont participé activement à la collecte de données de cette

étude. Un gros merci à Dr Mauricio Badillo, Dre Anne-Marie Bélanger, Dr Pierre-Alexandre Morin, Dr Jean-Philippe Roy et Dre Manon Veillette.

Je tiens à remercier du plus profond de mon cœur ma merveilleuse conjointe, Joëlle Bernatchez, qui m'a épaulé et encouragé tout au long de ce périple.

Je tiens également à remercier mes parents, Manon Joubert et Régis Boulay, qui m'ont appris que la persévérance rapporte toujours. L'aboutissement de ce projet est le fruit de leurs encouragements que j'ai reçus tout au long de mes études.

Finalement, je tiens à remercier le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies) et l'Université de Montréal (Fonds Pfizer de recherche clinique de la Clinique ambulatoire bovine) qui ont généreusement subventionné ce projet de recherche.

## Introduction

Les pathologies de la caillette sont un problème digestif majeur dans les troupeaux nord-américains (Detilleux et coll., 1997, Grohn et coll., 1998, Shaver, 1997). Les principaux problèmes rencontrés sont, du côté gauche de l'abdomen, le déplacement à gauche de la caillette et, du côté droit de l'abdomen, la dilatation à droite et le volvulus de la caillette. Malgré une différence d'un point de vue anatomique, la physiopathologie de ces conditions est relativement similaire et, dans tous les cas, une chirurgie est nécessaire afin de corriger la condition. En Amérique du Nord, la majorité des problèmes rencontrés sont des déplacements de la caillette à gauche (Aubry, 2005). Cliniquement, l'identification des déplacements de la caillette à gauche peut s'effectuer facilement à partir de l'examen physique (Richmond, 1964) et le pronostic suite au traitement de cette condition est très bon (Roy et coll., 2008, Sterner et coll., 2008). Cependant, parmi les problèmes de la caillette à droite, alors que le pronostic des dilatations est semblable à celui des déplacements à gauche, ce dernier est beaucoup plus réservé pour les volvulus de la caillette (Figueiredo et coll., 2006, Rohn et coll., 2004). Dans un contexte économique de plus en plus difficile pour les producteurs laitiers, une façon d'accroître leur rentabilité passe par la diminution des coûts d'exploitation et le contrôle des dépenses (Pellerin et Levallois, 2008). Par conséquent, par rapport aux coûts associés à la santé des animaux, la décision d'investir dans un traitement implique de plus en plus la connaissance des probabilités de retour en production de l'animal. À un point tel que la décision la plus économiquement justifiée pourrait être, parfois, la réforme de l'animal sans aucun traitement (Grohn et coll., 1990). Puisque les dilatations à droite et les volvulus de la caillette n'ont pas du tout le même pronostic, établir un diagnostic précoce pourrait d'emblée aider à formuler un pronostic. Malheureusement, il n'existe actuellement aucun moyen pour départager avec certitude en période préopératoire une dilatation à droite d'un volvulus de la caillette à partir de l'examen physique (Figueiredo et coll., 2006) ou même à l'aide d'examens complémentaires (Braun et Feller, 2008) et le diagnostic définitif n'est obtenu qu'au moment de la chirurgie correctrice. Dans une optique de contrôle des dépenses, éviter d'engager des traitements coûteux sur des animaux qui ont des probabilités élevées de ne pas retourner en production devient un objectif à atteindre et la recherche d'indicateurs pronostiques

préopératoires fiables est, en ce sens, incontournable. De plus, dans un contexte de première ligne, l'arrivée de toute une gamme d'appareils portatifs rend dorénavant possible l'exécution de divers tests complémentaires directement à la ferme, à la suite de l'examen physique de l'animal et avant même que des traitements soient débutés. Dès lors, il apparaît important d'identifier et de valider des outils diagnostiques, en complément de l'examen physique, qui permettraient de formuler un pronostic fiable afin d'identifier et de réformer rapidement les bovins atteints de dilatation à droite ou, de volvulus de la caillette qui sont susceptibles de ne pas retourner en production. À cet effet, la lactatémie constitue un examen complémentaire prometteur et cette étude s'est intéressée à sa valeur pronostique en milieux hospitalier et ambulatoire.

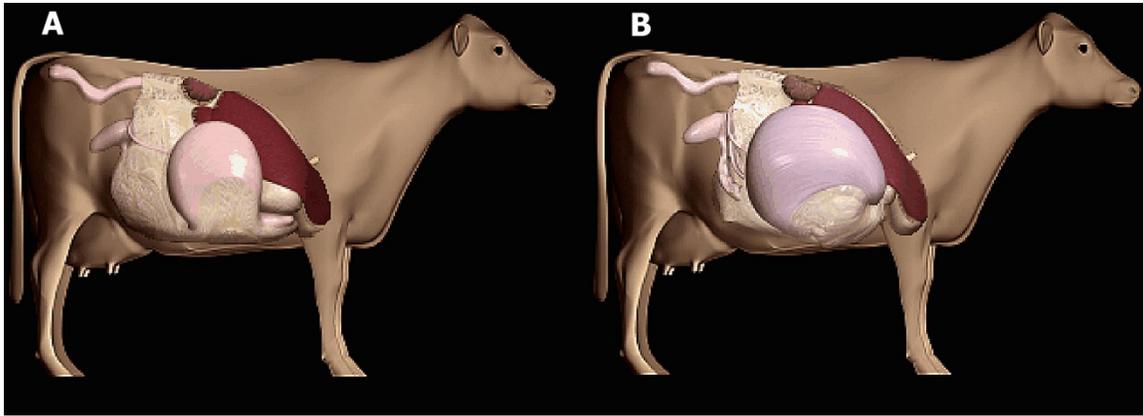
# Chapitre 1 : Recension de la littérature

## 1.1 Problèmes de la caillette chez les bovins

Durant les dernières décennies, une augmentation de l'incidence des déplacements de la caillette dans les troupeaux laitiers du Canada et des États-Unis a été observée (LeBlanc et coll., 2005). La caillette est, de par ses moyens d'attache lâches dans l'abdomen (petit et grand omentum), sujette à des problèmes de déplacement, dilatation à droite ou de volvulus (Barone, 2001). Un déplacement de la caillette peut s'effectuer du côté gauche ou du côté droit de l'abdomen. Le déplacement de l'abomasum du côté gauche est la pathologie la plus fréquente et représente 85 à 95.8% de tous les problèmes de la caillette (Trent, 1990). En raison de la diminution du tonus abomasal et/ou d'une ration riche en grain, le gaz produit par la fermentation microbienne s'accumule et distend la caillette ce qui peut entraîner un déplacement (Constable et coll., 1992a, Rohn et coll., 2004). Si l'abomasum est en position anormale du côté droit, ce dernier peut être soit uniquement dilaté (dilatation de la caillette), soit dilaté avec la présence d'un volvulus à sa base (volvulus de la caillette). En temps normal, la fréquence des dilatations de la caillette à droite est d'approximativement 10 à 15% de celle des déplacements de caillette à gauche (Smith, 2009). L'hypothèse avancée pour expliquer de quel côté s'effectuera le déplacement prend en compte la taille du rumen : un rumen petit et vide donnerait de l'espace pour que la caillette se déplace du côté gauche alors qu'un rumen plus volumineux rendrait un tel déplacement moins probable et la caillette s'orienterait alors plutôt du côté droit (Constable et coll., 1992a, Svendsen, 1969). Le pronostic de l'animal varie grandement en fonction du type d'affection à la caillette. En effet, les déplacements de la caillette à gauche et les dilatations de la caillette à droite ont un bon pronostic alors que les volvulus de la caillette ont un pronostic plutôt réservé (Figueiredo et coll., 2006, Rohn et coll., 2004, Roy et coll., 2008, Sterner et coll., 2008). Dans la revue de la littérature qui suit, l'intérêt sera uniquement porté sur les problèmes de la caillette à droite (dilatation et volvulus).

### **1.1.1 Particularités anatomiques des problèmes de la caillette à droite**

Lors de dilatation simple, la caillette est anormalement dilatée par du gaz ou du gaz et du liquide et la grande courbure de l'abomasum est déplacée dorsalement du côté droit de l'abdomen (Figure 1) (Fubini et coll., 1991). Pour sa part, un volvulus s'effectue simultanément dans deux différents plans de l'abomasum : d'abord sur son axe longitudinal (la grande courbure de la caillette est déplacée dorsalement) puis sur son axe mésentérique ou omental (le pylore et la portion proximale du duodénum sont forcés dans la région crâniale droite de l'abdomen, près du réticulum) (Figure 1) (Smith, 1978). Ainsi, lors de volvulus, l'abomasum effectue une rotation anti-horaire vue à la fois de l'arrière de l'animal et du côté droit de l'animal (Constable et coll., 1991b, Smith, 1978). Bien que le volvulus puisse parfois inclure le réticulum ou l'omasum (Espersen, 1961, Habel et Smith, 1981, Neal et Pinsent, 1960), le nœud du volvulus se situe le plus fréquemment à la jonction omaso-abomasale et seule la caillette est impliquée dans le volvulus (Constable et coll., 1991b). Actuellement, aucune étude n'a déterminé si une dilatation de la caillette était une étape préalable au volvulus. Bien que ces deux conditions soient différentes d'un point de vue mécanique, il est en pratique difficile voire impossible de différencier une dilatation d'un volvulus de la caillette en début de condition seulement à partir de l'examen physique (Smith, 1987, Smith et coll., 1982, Trent, 1990) ou à l'aide d'examen complémentaire (Braun et Feller, 2008). Puisqu'une telle distinction entre ces deux pathologies est cliniquement impossible et que, lors de volvulus, l'apport vasculaire à la caillette est compromis, menaçant ainsi la vie de l'animal, tout problème de la caillette à droite doit être considéré comme une urgence chirurgicale (Hoffsis et McGuirk, 1981). Dans cette situation, un traitement effectué rapidement optimisera les probabilités de retour en production de l'animal (Hoffsis et McGuirk, 1981). Puisqu'un traitement chirurgical est absolument nécessaire afin de repositionner et de fixer en position anatomique la caillette, peu importe qu'elle soit dilatée ou en volvulus, la position de l'abomasum pourra donc être directement visualisée au cours de cette procédure (Hoffsis et McGuirk, 1981). Ainsi, la mise en évidence de l'absence ou de la présence d'un nœud de volvulus lors de l'exploration chirurgicale demeure, à ce jour, la seule façon d'obtenir un diagnostic définitif de dilatation ou de volvulus de la caillette (Braun et Feller, 2008, Figueiredo et coll., 2006).



**Figure 1.** Représentation d'une dilatation de la caillette (A) et d'un volvulus de la caillette (B). Lors de volvulus de la caillette, le pylore se situe en position crâniale et le nœud du volvulus engendré obstrue l'apport vasculaire de la caillette.

Adaptée du CD-ROM « Chirurgie de la caillette chez les bovins, » par A. Desrochers et D. Harvey, 2002, *Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal*, version 2.0. © Laboratoire d'intégration des technologies informatiques en enseignement médical (2002). Reproduit avec permission.

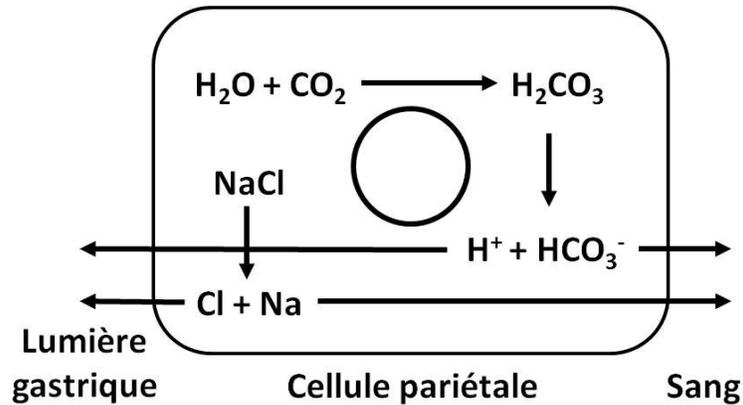
### 1.1.2 Signes cliniques associés aux problèmes de la caillette à droite

Bien que le diagnostic définitif de dilatation ou de volvulus de la caillette soit chirurgical, l'examen général peut tout de même donner certains indices au praticien puisque l'état général des animaux en dilatation de la caillette peut se rapprocher davantage de celui des vaches souffrant de déplacement à gauche plutôt que de volvulus abomasal. Ainsi, lors de dilatation de la caillette, une anorexie partielle, une diminution de la production laitière et des fèces de consistance normale à molle, mais produites en plus faible quantité, sont des signes cliniques qui peuvent être observés (Espersen, 1964, Neal et Pinsent, 1960, Svendsen, 1969). La fréquence cardiaque est habituellement normale (valeurs normales : 60-80 battements/minute) ou légèrement au-dessus des valeurs normales, le degré de déshydratation est variable (absente à moyenne) et les contractions ruminales sont diminuées à absente (Espersen, 1964, Neal et Pinsent, 1960, Svendsen, 1969). Lors de dilatation ou de volvulus de la caillette, une zone de résonance métallique peut être normalement entendue sous les 5

dernières côtes, dans la moitié dorsale de l'abdomen, lors de l'auscultation et de la percussion simultanées du flanc droit (Smith et coll., 1982). Par contre, dans le cas d'un volvulus de la caillette, l'état général de l'animal se détériore progressivement et les effets systémiques, conséquences de l'obstruction gastro-intestinale, seront beaucoup plus importants que lors d'une dilatation simple (Neal et Pinsent, 1960). En fait, lors de volvulus de la caillette, la déshydratation de l'animal (enophtalmie, persistance du pli cutané) sera souvent plus importante et la fréquence cardiaque fréquemment supérieure à 100 battements/minute (Espersen, 1964, Figueiredo et coll., 2006, Neal et Pinsent, 1960). Une distension abdominale bilatérale marquée, une stase ruminale complète, une succussion importante audible du côté droit et des fèces absentes ou liquides mais en faible quantité sont d'autres signes cliniques associés avec un volvulus de la caillette (Espersen, 1964, Neal et Pinsent, 1960). Dans les stades avancés du volvulus, c'est-à-dire entre 1 et 3 jours après le développement de la condition, les animaux deviennent abattus, en décubitus et la mort se produit normalement dans les heures suivant le commencement de ce stade (Espersen, 1964, Neal et Pinsent, 1960). Donc, à moins que la condition systémique de l'animal ne soit mauvaise comme dans les stades avancés, les praticiens bovins seront incapables de toujours différencier une dilatation d'un volvulus de la caillette à partir de l'examen physique ou des résultats de laboratoire (Figueiredo et coll., 2006) et le diagnostic définitif sera obtenu au cours de la chirurgie correctrice.

### **1.1.3 Physiologie des sécrétions abomasales**

Normalement, pour former de l'acide chlorhydrique, les ions hydrogènes sont sécrétés par les cellules pariétales dans la lumière abomasale sous l'influence de l'anhydrase carbonique et un chlorure sanguin est échangé contre une molécule de bicarbonate (Figure 2) (Cunningham et Klein, 2007). Puis, après que l'acide chlorhydrique ait traversé le pylore, l'ion hydrogène est neutralisé par les sécrétions pancréatiques et intestinales et l'ion chlorure est réabsorbé par l'intestin (Cunningham et Klein, 2007).



**Figure 2.** Échanges électrolytiques lors de la sécrétion de l'acide gastrique. Dans les cellules pariétales de la muqueuse abomasale, la production des ions hydrogène et bicarbonate fait suite à la transformation des molécules d'eau et de dioxyde de carbone et est stimulée par l'action de l'enzyme anhydrase carbonique. Les ions hydrogène et chlorure sont ensuite sécrétés dans la lumière abomasale alors que les ions bicarbonate et sodium sont réabsorbés dans le sang.

Adaptée de «Textbook of veterinary physiology,» par J.G. Cunningham et B.G. Klein, 2007, Figure 29-4, p. 330. © Elsevier (2007). Reproduit avec permission.

#### 1.1.4 Physiopathologie des problèmes de la caillette à droite

Parmi les problèmes de la caillette, la physiopathologie des dilatations de la caillette à droite est similaire à celle des déplacements de la caillette à gauche. Pour les volvulus de la caillette, quoique les anomalies acido-basiques et électrolytiques soient en partie semblables à celles observées lors d'un déplacement à gauche ou d'une dilatation de la caillette, ces changements sont généralement plus importants (Poulsen, 1974a). Lors de dilatation simple et, surtout, lors de volvulus de la caillette, puisqu'il y a une obstruction du duodénum et de la jonction omaso-abomasale, l'accumulation de fluides dans la caillette résulte en une alcalose métabolique, une hypochlorémie, une hypokaliémie (Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Poulsen, 1974b, Smith, 1978) et de l'hypovolémie (Pearson, 1973, Svendsen, 1969). Avec l'augmentation de la gravité du volvulus, ces changements électrolytiques deviendront de plus en plus prononcés (Smith, 1978). Cependant, en phase terminale du volvulus, certaines

variables qui diminuaient en début de condition peuvent augmenter (chlorures et potassium) alors que d'autres qui augmentaient initialement diminuent plus l'animal se rapproche de la mort (pH, bicarbonates, excès de base, hématocrite et protéines totales) (Fubini et coll., 1991, Garry et coll., 1988, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Simpson et coll., 1985), tel que discuté dans les sections 1.1.4.1, 1.1.4.2, 1.1.4.3 et 1.1.4.5.

#### **1.1.4.1 Déséquilibres acido-basiques**

Lors d'une dilatation ou d'un volvulus de la caillette, l'acide chlorhydrique qui est sécrété demeure séquestré dans l'abomasum. Ces sécrétions acides et riches en chlorures qui sont normalement absorbées au niveau du duodénum sont donc refoulées vers l'omasum et le rumen (vomissement interne) (Poulsen, 1974b, Smith, 1987, Svendsen, 1969). Afin de maintenir l'électroneutralité sanguine, la concentration de bicarbonate sanguin augmente et l'animal développe une alcalose métabolique (Constable et coll., 1991a, Svendsen, 1969). Cette alcalose se traduit par une augmentation du pH, de la concentration de bicarbonate et de l'excès de base sanguins (Fubini et coll., 1991). Contrairement aux dilatations simples, dans les cas avancés de volvulus de la caillette, en plus de l'alcalose métabolique, une acidose métabolique se surimpose et entraîne une diminution du pH, des bicarbonates et de l'excès de base vers des valeurs normales ou inférieures aux normes (Fubini et coll., 1991, Garry et coll., 1988, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Simpson et coll., 1985). L'explication pour ce renversement de situation sera discutée spécifiquement dans la section 1.1.4.6.

#### **1.1.4.2 La chlorémie**

Puisque les sécrétions gastriques sont riches en ions chlorures, leur séquestration dans l'abomasum lors de problèmes de la caillette et les vomissements internes vers les pré-estomacs limitent la réabsorption des chlorures au niveau du duodénum et entraînent une hypochlorémie (Poulsen, 1974b, Smith, 1987, Svendsen, 1969). Avec l'augmentation de la durée du problème de la caillette ou l'augmentation de la gravité du volvulus, l'hypochlorémie deviendra de plus en plus importante (Smith, 1978, Smith et coll., 1990). Cependant, lors de volvulus en phase terminale, une hypochlorémie moins importante peut être observée. Ce changement peut s'expliquer par la perte de la capacité de l'abomasum à produire de l'acide

chlorhydrique en raison de l'altération de son apport vasculaire (Fubini et coll., 1991). Par ailleurs, la déshydratation, la rétention rénale des chlorures et l'absorption des chlorures ruminiaux peuvent également expliquer l'augmentation relative de la chlorémie observée chez les vaches en phase terminale (Fubini et coll., 1991).

#### **1.1.4.3 La kaliémie**

Afin de tamponner l'alcalose métabolique présente chez l'animal ayant un problème de la caillette, le potassium extracellulaire est échangé contre des ions hydrogène intracellulaires ce qui entraîne une hypokaliémie (Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Svendsen, 1969). De plus, l'anorexie, l'excrétion urinaire et la séquestration abomasale de potassium sont d'autres facteurs qui contribuent à exacerber l'hypokaliémie chez les animaux souffrant de volvulus de la caillette (Fubini et coll., 1991). À l'inverse des dilatations simples ou des volvulus précoces de la caillette, un retour de la kaliémie normale ou même une hyperkaliémie peuvent être observées lors de volvulus avancé de la caillette. Cette augmentation de la concentration sanguine en potassium est la conséquence de la nécrose cellulaire, des échanges cellulaires dans le but de tamponner l'acidose métabolique et de la rhabdomyolyse qui entraîne une excrétion endogène d'ions potassium dans le liquide extracellulaire (Smith et coll., 1990).

#### **1.1.4.4 La natrémie**

Une diminution du sodium sanguin parallèlement à l'augmentation de la gravité de la maladie peut être observée (Fubini et coll., 1991, Smith, 1978). Cette diminution de la natrémie voire cette hyponatrémie qui peut se développer est secondaire à une diminution de l'apport alimentaire, une perte dans les sécrétions alimentaires (incluant la salive) et une excrétion urinaire des ions sodium (Lunn et coll., 1990, Smith et coll., 1990). De plus, les ions sodium peuvent se déplacer vers la lumière abomasale au fur et à mesure que le volume du liquide abomasal augmente, ce qui contribue également à la diminution du sodium plasmatique (Constable et coll., 1991a).

#### **1.1.4.5 Hypovolémie**

Puisque l'animal souffrant de dilatation ou de volvulus de la caillette consomme moins d'eau et que du liquide est séquestré dans la caillette, il est possible d'observer une augmentation de l'hématocrite et des protéines totales qui sont des indicateurs d'hémoconcentration et de déshydratation chez l'animal (Fubini et coll., 1991, Smith, 1978). Par ailleurs, la caillette distendue comprime la veine cave caudale ce qui diminue le retour veineux et contribue à l'hypovolémie (Espersen, 1961, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a). Bien qu'il y ait une stimulation du système nerveux sympathique et une augmentation de la fréquence cardiaque pour compenser cette situation, une diminution du débit cardiaque est le résultat final et entraîne une diminution de la perfusion tissulaire périphérique, une augmentation de la lactatémie sanguine et de la créatinine (Hjortkjaer et Svendsen, 1979a). Cependant, malgré la déshydratation importante des cas avancés de volvulus de la caillette, les valeurs d'hématocrite et de protéines totales ont plutôt tendance à diminuer chez ces animaux (Fubini et coll., 1991). Cette diminution en phase terminale serait le résultat des dommages vasculaires à la muqueuse abomasale qui entraînent des hémorragies intra-luminales et l'accumulation d'un transsudat modifié dans la cavité péritonéale (Fubini et coll., 1991).

#### **1.1.4.6 Hypoperfusion et acidose métabolique**

Contrairement aux dilatations simples, l'animal en phase avancée de volvulus de la caillette peut avoir une acidose métabolique qui se surimpose à l'alcalose déjà présente. Cette acidose est la conséquence de plusieurs facteurs incluant la déshydratation marquée qui provoque de l'hypovolémie et une diminution de la perfusion tissulaire (Simpson et coll., 1985), l'anorexie qui entraîne le catabolisme tissulaire et la relâche d'ions phosphates et sulfates dans la circulation, l'augmentation de la formation des corps cétoniques en raison de l'oxydation incomplète des gras et, le plus important, la génération d'acides organiques par le métabolisme anaérobie (Garry et coll., 1988). La formation anaérobie du lactate et d'autres acides organiques anioniques en périphérie est une conséquence de l'hypoperfusion. Localement, cette production est secondaire à l'obstruction de l'apport vasculaire et en oxygène de la caillette par le nœud du volvulus ainsi qu'à la distension importante de l'abomasum (Garry et coll., 1988, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Simpson et coll., 1985). En

fait, la pression intra-abomasale est plus élevée lors de volvulus par rapport aux déplacements de caillettes à gauche et plus cette pression est élevée, plus la perfusion, principalement de la muqueuse abomasale, diminue (Constable et coll., 1992b, Wittek et coll., 2004). Peu de temps avant la mort de l'animal, le choc septique associé à la nécrose de la caillette et/ou la présence de péritonite contribue également à l'aggravation de l'acidose métabolique (Fubini et coll., 1991).

Cliniquement, en plus de la lactatémie qui est un indicateur de mauvaise perfusion tissulaire, une augmentation des anions résiduels peut également être observée lors des stades avancés du volvulus de la caillette en raison de l'apparition de l'acidose métabolique. Cependant, il est difficile de déterminer quelles fractions des anions résiduels (lactates sanguins, corps cétoniques, anions urémiques ou les autres anions tel les phosphates, les sulfates et l'albumine) sont responsables de cette augmentation (Constable et coll., 1991a, Oh et Carroll, 1977, Shull, 1978).

### **1.1.5 Pronostic des problèmes de la caillette à droite**

Étant donnée la réduction de l'apport vasculaire de la caillette lors de volvulus, les probabilités d'avoir une évolution négative suite à la correction chirurgicale sont plus élevées que lors de dilatation simple. En fait, il est rapporté qu'entre 8.7 et 16.7 % des dilatations (Figueiredo et coll., 2006, Fubini et coll., 1991, Kumper, 1995, Rohn et coll., 2004) avaient une évolution insatisfaisante alors que c'était le cas de 25.2 à 65 % des volvulus (Boucher et Abt, 1968, Constable et coll., 1991a, Constable et coll., 1998, Figueiredo et coll., 2006, Fubini et coll., 1991, Gabel et Heath, 1969, Garry et coll., 1988, Kumper, 1995, Rohn et coll., 2004, Simpson et coll., 1985, Smith, 1978). L'échec au traitement des volvulus de la caillette est corrélé avec la gravité des dommages tissulaires et l'accumulation de fluide dans l'abomasum (Constable et coll., 1991b, Fubini et coll., 1991, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a). En fait, ces dommages peuvent résulter en la perforation de l'abomasum, une péritonite, une septicémie, des déchirures de l'omentum ou une dysfonction neuromusculaire persistante (Figueiredo et coll., 2006). L'indigestion chronique est la principale complication chez les vaches qui ont survécu à un important volvulus de la caillette. Cette pathologie est secondaire à l'incapacité de l'abomasum de reprendre une fonction normale en raison de la distension prolongée de ce

dernier et des séquelles laissées par le nœud du volvulus sur les nerfs et sur l'apport vasculaire de l'organe (Boucher et Abt, 1968, Sattler et coll., 2000, Smith, 1978). Généralement, 1 à 2 semaines après la chirurgie, les aliments commencent à s'accumuler dans l'abomasum jusqu'à l'impaction de ce dernier. En raison de cette obstruction, le rumen se distend à son tour, son contenu devient plus liquide que la normale et la vache devient anorexique et ne produit plus de fèces ou de lait (Sattler et coll., 2000, Smith, 1978). Jusqu'à maintenant, aucun traitement chirurgical (pyloroplastie, fistule abomasale ou ruminale) ou médical (procinétique, laxatif) n'a démontré d'efficacité pour traiter cette condition (Pearson, 1973, Smith, 1978). Cette complication se produit dans 12.1 à 17.5% des problèmes de la caillette à droite (Garry et coll., 1988, Sattler et coll., 2000, Smith, 1978) et une fois les signes d'indigestion présents, les taux de mortalité rapportés oscillent entre 80 et 88.5% (Rebhun et coll., 1988, Sattler et coll., 2000, Wallace, 1989). À l'autopsie des animaux atteints d'indigestion chronique, il est généralement possible d'observer une ou plusieurs lésions typiques dont la dilatation des compartiments gastriques, la présence de péritonite, la nécrose ou l'ulcération de la paroi abomasale, de la thrombose vasculaire et des lésions à la branche ventrale du nerf vague (Sattler et coll., 2000).

## **1.2 Indicateurs pronostiques lors de problèmes de la caillette à droite**

Puisque le pronostic est plus sombre pour les volvulus que pour les dilatations de la caillette mais que le diagnostic définitif n'est posé qu'au moment de la chirurgie, le moment idéal afin d'établir un pronostic chez les animaux souffrants d'un problème de la caillette à droite se situe avant de réaliser l'intervention chirurgicale. Ce moment est le plus adéquat puisque l'investissement financier pour traiter l'animal n'est pas encore effectué et que la possibilité de réformer l'animal demeure toujours une option. D'autre part, des indices obtenus durant la chirurgie ou durant la période de convalescence peuvent également aider le clinicien à établir le pronostic de l'animal et à justifier la poursuite des traitements mis en place (Constable et coll., 1991b, Grohn et coll., 1990). Cette section présentera donc les différentes variables de l'examen clinique et clinico-pathologique qui peuvent être utilisés par les vétérinaires afin de les aider à établir un pronostic. Dans cette section, à moins d'indication

contraire, la définition d'une bonne évolution est un animal qui était productif au moment de recevoir son congé d'un centre de référence. Par ailleurs, une mauvaise évolution se définit comme un animal qui était non-productif, c'est-à-dire qu'il était vivant au moment de son congé mais avait une probabilité élevée d'être éventuellement réformé, qu'il était mort ou qu'il avait été euthanasié en cours d'hospitalisation.

## **1.2.1 Indicateurs pronostiques préopératoires**

### **1.2.1.1 Anamnèse et signes cliniques**

Lors de problèmes de la caillette à droite, la durée de l'anorexie peut aider à formuler un pronostic. Par exemple, les animaux qui sont anorexiques depuis moins de 24 heures avant la présentation ont une meilleure évolution, ce qui suggère qu'un diagnostic précoce et une correction chirurgicale rapide d'un volvulus est compatible avec une évolution favorable (Constable et coll., 1991a). De plus, les animaux ayant un mauvais pronostic peuvent avoir une fréquence de contraction ruminale diminuée en raison de l'anorexie et de la douleur générée par la distension de la caillette (Constable et coll., 1991a, Titchen, 1958). La production d'une plus faible quantité de fèces ou une coloration foncée présage également d'un moins bon pronostic puisque du méléna à l'examen initial suggère l'existence d'hémorragies ou de nécrose de la muqueuse de l'abomasum ou du duodénum adjacent au nœud du volvulus (Constable et coll., 1991a). Par ailleurs, les animaux très déshydratés en raison de la séquestration de liquide dans la caillette ont plus de risques d'avoir une mauvaise évolution (Constable et coll., 1991a, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Pearson, 1973, Svendsen, 1969). En raison de l'hypovolémie et du choc circulatoire qui se développent chez les animaux les plus gravement atteints, une température corporelle relativement plus basse est compatible avec la mort ou l'euthanasie de l'animal en cours d'hospitalisation (Fubini et coll., 1991).

En raison de leur objectivité, facilité à mesurer et importance clinique, certaines variables ont fait l'objet d'études plus approfondies. Par exemple, il a été déterminé que l'augmentation de la fréquence cardiaque en raison du volvulus de la caillette, de la diminution du débit cardiaque et de la stimulation du système nerveux sympathique, est compatible avec un pronostic plus réservé (Constable et coll., 1991a, Figueiredo et coll., 2006,

Fubini et coll., 1991, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Smith, 1978). Plus exactement, des animaux avec une fréquence cardiaque  $\geq 100$  battements/minute ou  $\geq 120$  battements/minute avaient respectivement des probabilités de 56% (sensibilité de 71% et spécificité de 78% pour une proportion d'évolutions négatives de 26.3%; sensibilité de 48.3% et spécificité de 80.7% pour une proportion d'évolutions négatives de 33.7%) et 67% (sensibilité de 38% et spécificité de 93% pour une proportion d'évolutions négatives de 26.3%) d'avoir une évolution négative alors que les animaux avec une fréquence cardiaque  $< 100$  battements/minute ou  $< 120$  battements/minute avaient respectivement des probabilités de 12 à 25% et 19% d'avoir une évolution négative (Constable et coll., 1991a, Smith, 1978).

### **1.2.1.2 Analyses de laboratoire**

#### *1.2.1.2.1 Électrolytes : chlorures*

Lors de problèmes de la caillette à droite, la mesure de la chlorémie apporte une information pronostique. En effet, lors de dilatation simple et, surtout, lors de volvulus de la caillette, les chlorures se retrouvent séquestrés dans l'abomasum et les animaux qui ont les plus mauvaises évolutions sont également ceux qui sont les plus hypochlorémiques (Constable et coll., 1991a, Figueiredo et coll., 2006, Fubini et coll., 1991, Smith, 1978). En fait, parmi les animaux avec des chlorures sanguins  $\geq 80$  mEq/L<sup>1</sup>, 26% étaient non-productifs au moment du congé alors que c'est le cas pour 82% des animaux qui avaient des chlorures sanguins  $\leq 79$  mEq/L (sensibilité de 39.1% et spécificité de 95.2% pour une proportion d'évolutions négatives de 35.4%) (Smith, 1978). Bien qu'une autre étude ait remarqué la même tendance, elle rapporte cependant que ce seuil n'est pas vraiment fiable pour identifier les mauvaises évolutions puisque qu'uniquement 38% des animaux avec des chlorures  $\leq 79$  mEq/L ont effectivement eu une évolution insatisfaisante (sensibilité de 40% et spécificité de 78% pour une proportion d'évolutions négatives de 26.3%) alors que c'était le cas pour 22% des animaux avec des chlorures  $> 79$  mEq/L (Constable et coll., 1991a). De plus, il est rapporté que 63% des cas de volvulus qui avaient des chlorures  $\leq 84$  mEq/L étaient morts ou avaient

---

<sup>1</sup> Note de l'auteur : les mEq/L sont une unité de mesure de concentration équivalente aux mmol/L dans le cas des ions monovalents.

été euthanasiés en cours d'hospitalisation (sensibilité de 55.6% et spécificité de 85% pour une proportion de morts et d'euthanasies en cours d'hospitalisation de 31%) alors que c'était le cas pour 19% des animaux avec des chlorures  $> 84$  mEq/L (Garry et coll., 1988).

#### *1.2.1.2.2 Marqueurs d'acidose : pH, bicarbonates, excès de base, anions résiduels et lactatémie*

L'acidose métabolique qui se surimpose à l'alcalose métabolique n'est pas de bon augure pour la survie de l'animal et les différentes variables permettant d'identifier cette situation sont également de bons indicateurs pronostiques. Ainsi, avec la diminution du pH sanguin, des bicarbonates et de l'excès de base, les probabilités de l'animal de retourner en production diminuent également (Fubini et coll., 1991, Garry et coll., 1988, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Simpson et coll., 1985, Smith et coll., 1990). Plus précisément, 50% des animaux avec un pH  $< 7.35$  (sensibilité de 25% et spécificité de 92% pour une proportion d'évolutions négatives de 25.3%) avaient un pronostic sombre suite à la correction chirurgicale du volvulus (par rapport à 22% pour les animaux avec un pH  $\geq 7.35$ ) (Constable et coll., 1991a), 50% des animaux avec un excès de base  $\leq -0.1$  mEq/L (sensibilité de 42.3% et spécificité de 85.5% pour une proportion de morts et d'euthanasies en cours d'hospitalisation de 25.5%) (Simpson et coll., 1985) et 59% des animaux avec un excès de base  $\leq -2.5$  mEq/L (sensibilité de 55.6% et spécificité de 82.5% pour une proportion de morts et d'euthanasies en cours d'hospitalisation de 31%) (Garry et coll., 1988) étaient mort ou avaient été euthanasiés en cours d'hospitalisation alors que c'était le cas pour 19% des animaux avec un excès de base  $> -0.1$  mEq/L et pour 20% de ceux qui avaient un excès de base  $> -2.5$  mEq/L. Une augmentation des anions résiduels est compatible avec une moins bonne évolution de l'animal puisqu'elle est un indicateur d'une diminution de la perfusion tissulaire, d'un métabolisme cellulaire altéré ou d'une acidose métabolique (Fubini et coll., 1991, Garry et coll., 1988). En fait, il est rapporté que 84% des animaux qui avaient des anions résiduels  $\geq 30$  mEq/L avaient une évolution subséquente insatisfaisante (sensibilité de 88.9% et spécificité de 92.5% pour une proportion de morts et d'euthanasies en cours d'hospitalisation de 31%) alors que c'était le cas pour 5% des animaux avec des anions résiduels  $< 30$  mEq/L (Garry et coll., 1988). Certains composants des anions résiduels tels le lactate peuvent également augmenter avec

l'aggravation de la condition de l'animal. Cependant, l'utilité pronostique de la lactatémie lors de volvulus de la caillette sera traitée spécifiquement ultérieurement dans la section 1.7.2.

#### *1.2.1.2.3 Marqueurs d'hypovolémie : hémocrite et protéines totales*

Une diminution de la volémie peut entraîner une diminution de la perfusion tissulaire systémique et favoriser l'acidose métabolique (Simpson et coll., 1985). Ainsi, des indicateurs indiquant la présence d'hypovolémie apportent de l'information pertinente pour aider à formuler un pronostic. Par exemple, l'augmentation de l'hématocrite et des protéines totales en raison de l'hémoconcentration reflètent le niveau d'hydratation de l'animal et, lors de volvulus de la caillette, il est rapporté que les animaux qui ont une évolution négative ont un hémocrite et des protéines totales plus élevés (Figueiredo et coll., 2006, Fubini et coll., 1991, Poulsen, 1974a). Cependant, d'autres études n'ont pas réussi à mettre en évidence une telle valeur pronostique bien que les animaux qui ont un moins bon pronostic soient cliniquement plus déshydratés que les survivants (Constable et coll., 1991a, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Smith, 1978). L'explication réside dans le fait que l'hématocrite et les protéines totales n'ont pas une relation linéaire en fonction de l'augmentation de la gravité de la maladie au même titre que d'autres variables telles que le pH, les bicarbonates et l'excès de base. Ainsi, ces variables augmenteront en début de condition et pourront diminuer en phase terminale. Par conséquent, il est important d'interpréter les résultats en fonction de l'état de l'animal puisque des valeurs considérées comme normales peuvent précéder la phase terminale du volvulus de la caillette (Fubini et coll., 1991).

#### **1.2.1.3 Combinaison de variables**

Afin d'identifier les animaux ayant de mauvaises évolutions avec plus de précision, des études rapportent que la combinaison de variables telle que l'addition de l'excès de base à la lactatémie pourrait être une meilleure alternative que l'utilisation de variables individuelles (Hjortkjaer et Svendsen, 1979a). Suivant cette logique, des auteurs ont créé des modèles comprenant plusieurs variables afin d'augmenter l'exactitude de la prédiction. Par exemple, un modèle de régression logistique combinant les valeurs de fréquence cardiaque, d'excès de base et de la chlorémie permettait, en préopératoire, de prédire avec précision le pronostic des

animaux (Grohn et coll., 1990). En effet, 68.5% des animaux qui avaient une probabilité calculée plus élevée que le seuil de décision établi dans ce cas à 0.5, avaient une évolution postopératoire négative (sensibilité de 39.8% et spécificité de 93% pour une proportion d'évolutions négatives de 27.8%) alors que c'était le cas pour 20% des animaux qui avaient une probabilité calculée  $< 0.5$ . À partir de ce modèle, le rapport de cote (intervalle de confiance 95%) d'avoir une évolution négative était de 1.03 (1.01 – 1.05) pour chaque augmentation de 1 battement/minute de la fréquence cardiaque, de 0.9 (0.87 – 0.94) pour chaque augmentation de 1 mEq/L de l'excès de base et de 0.93 (0.90 – 0.97) pour chaque augmentation de 1 mEq/L de la chlorémie (Grohn et coll., 1990). Une autre étude a déterminé que le pourcentage de déshydratation, la fréquence cardiaque et la durée de l'anorexie étaient la combinaison de variables de l'examen physique procurant la meilleure valeur pronostique lors de volvulus de la caillette (Constable et coll., 1991a). En fait, il est rapporté que 69% des animaux qui avaient une probabilité calculée plus élevée que le seuil de décision établi dans ce cas à 0.5, avaient une évolution postopératoire insatisfaisante (sensibilité de 58% et spécificité de 90% pour une proportion d'évolutions négatives de 28.4%) alors que c'était le cas pour 14% des animaux qui avaient une probabilité calculée  $< 0.5$  (Constable et coll., 1991a). Finalement, il a été rapporté qu'un modèle composé de la valeur de la chlorémie, de la fréquence cardiaque et de la lactatémie plasmatique était la meilleure combinaison de variable pour permettre de prédire l'évolution des animaux dans une autre étude (Figueiredo et coll., 2006). À partir de ce modèle, le rapport de cote (intervalle de confiance 95%) d'avoir un animal mort ou réformé 30 jours après la chirurgie correctrice était de 0.91 (0.83 – 0.99) pour chaque augmentation de 1 mEq/L de la chlorémie, de 1.002 (0.96 – 1.04) pour chaque augmentation de 1 battement/minute de la fréquence cardiaque et de 1.28 (1.04 – 1.56) pour chaque augmentation de 1 mmol/L de la lactatémie (Figueiredo et coll., 2006).

## **1.2.2 Indicateurs pronostiques peropératoires**

Si un traitement chirurgical est mis de l'avant, certaines informations recueillies au cours de la laparotomie pourront aider le clinicien à évaluer les probabilités de survie de l'animal.

### **1.2.2.1 Dommages vasculaires à l'abomasum**

Tout d'abord, un diagnostic définitif de dilatation ou de volvulus de la caillette pourra être posé pendant la chirurgie et la séreuse de la caillette pourra être visualisée et palpée. Plus l'apport vasculaire de la caillette est compromis, plus la paroi de la caillette sera anormale (apparence violacée ou noire, zones d'œdème ou de nécrose; Figure 3) et plus les animaux risqueront d'avoir une mauvaise évolution (Constable et coll., 1991b, Espersen, 1964, Fubini et coll., 1991, Habel et Smith, 1981, Pearson, 1973, Wallace, 1989). De plus, le nombre de pré-estomacs qui sont impliqués dans le volvulus est une autre raison influençant négativement les probabilités de survie des animaux. En effet, il est rapporté que près de 45% des volvulus impliquant l'omasum avaient une mauvaise évolution (Constable et coll., 1991b) alors que c'est 80% des animaux qui avaient une évolution insatisfaisante lorsque le réseau était inclus dans le nœud du volvulus (Wallace, 1989). La raison expliquant cette différence demeure inconnue bien qu'un volvulus omaso-abomasal risque d'être associé à des dommages vasculaires et nerveux plus importants qu'un volvulus impliquant uniquement l'abomasum (Constable et coll., 1991b). Par ailleurs, en plus du nœud de volvulus, la thrombose des veines gastrique gauche et/ou gastro-épiploïque peut également compromettre l'apport vasculaire de la caillette et la présence de telles lésions est compatible avec une mauvaise évolution postopératoire des animaux (Constable et coll., 1991b, Fubini et coll., 1991, Wallace, 1989). De l'œdème autour de la partie proximale du duodénum et une déchirure de l'omentum à son attache sur la caillette sont d'autres signes suggérant un pronostic sombre pour l'animal (Pearson, 1973).



**Figure 3.** Décoloration violacée de la caillette d'un veau dont l'apport vasculaire est compromis en raison d'un volvulus abomasal.

Adaptée de «Rebhun's diseases of dairy cattle,» par S. Fubini et T.J. Divers, 2008, Figure 5-48 A, p. 166. © Elsevier (2008). Reproduit avec permission.

### 1.2.2.2 Quantité et apparence du liquide abomasal

Il a été remarqué que lorsque l'omasum est impliqué dans le volvulus, plus de liquide s'accumule dans la caillette que lors de volvulus abomasal. Normalement, la caillette sécrète entre 30 et 35 L de liquide par jour et plus la quantité de liquide séquestré est élevée, plus la condition serait présente depuis longtemps (Constable et coll., 1991b, Hill, 1965). Ainsi, il est rapporté que les animaux avec plus de 30 L de fluide dans la caillette ont entre 64 et 88% de probabilités d'avoir une mauvaise évolution (Constable et coll., 1991b, Espersen, 1964, Smith, 1978). Dans le même ordre d'idée, lorsqu'il est nécessaire de faire une abomasotomie pour retirer le liquide de la caillette afin de corriger le volvulus, les animaux ont 60% de risque d'avoir une mauvaise évolution alors que c'est le cas de 24% des animaux qui nécessitent uniquement une décompression gazeuse à l'aiguille (Fubini et coll., 1991, Smith, 1978).

Finalement, un liquide abomasal sanguinolent ou de couleur café est un autre signe suggérant un pronostic sombre (Espersen, 1961, Pearson, 1973).

### **1.2.2.3 Combinaison de variables**

Au même titre que les indicateurs préopératoires, il est possible d'associer différentes variables de l'examen physique et peropératoire afin de donner un pronostic plus fiable. Par exemple, un modèle de prédiction combinant la fréquence cardiaque, l'excès de base, le diagnostic (dilatation ou volvulus), la méthode de décompression utilisée (aiguille ou tube gastrique) et l'apparence de la séreuse abomasale permet de mieux prédire le devenir des animaux (Grohn et coll., 1990). En effet, 76.1% des animaux qui avaient une probabilité calculée plus élevée que le seuil de décision établi dans ce cas à 0.5, avaient une évolution postopératoire négative (sensibilité de 54.8% et spécificité de 93.4% pour une proportion d'évolutions négatives de 27.7%) alors que c'était le cas de 16% des animaux qui avaient une probabilité calculée  $< 0.5$ . À partir de ce modèle, le rapport de cote (intervalle de confiance 95%) d'avoir une évolution négative était de 1.02 (1.00 – 1.04) pour chaque augmentation de 1 battement/minute de la fréquence cardiaque et de 0.93 (0.90 – 0.97) pour chaque augmentation de 1 mEq/L de l'excès de base. De plus, un animal diagnostiqué avec un volvulus de la caillette avait 4.6 (2.1 – 9.9) fois plus de probabilités d'avoir une évolution négative par rapport à un animal souffrant d'une dilatation de la caillette. Un animal nécessitant le retrait de liquide abomasal afin de remettre en place la caillette avait 4.2 (2.3 – 7.6) fois plus de probabilités d'avoir une évolution négative par rapport à un animal qui nécessitait uniquement le retrait de gaz. Finalement, un animal dont la séreuse abomasale présentait des zones d'inflammation ou, encore, des zones de nécroses, avait respectivement 2.5 (1.4 – 4.5) et 11.7 (3.0 – 45.3) fois plus de probabilités d'avoir une évolution négative par rapport à un animal qui avait une séreuse abomasale normale (Grohn et coll., 1990). Bien que ce modèle chirurgical procure un pronostic plus exact que le modèle préopératoire, à ce stade-ci, l'éleveur aura déjà investi dans une intervention chirurgicale. L'utilité d'un tel modèle réside donc dans sa capacité à vérifier si la poursuite des traitements est toujours indiquée (Grohn et coll., 1990).

### **1.2.3 Indicateurs pronostiques postopératoires**

En postopératoire, certaines variables pourront également permettre de déterminer si l'évolution est adéquate ou si le pronostic de l'animal est sombre. Par exemple, un appétit moyen et de la diarrhée sont normalement présents pour 24 heures après la correction d'un volvulus. Par la suite, les fèces retrouvent leur consistance normale et l'appétit devrait s'améliorer significativement dans les 3 jours suivant la chirurgie (Constable et coll., 1991b). Dans les jours suivant la chirurgie, un animal qui n'a toujours pas d'appétit, dont la déshydratation ou la tachycardie persistent ou qui produit une faible quantité de fèces molles, avec ou sans méléna, a une probabilité plus élevée d'avoir une mauvaise évolution (Espersen, 1964, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Sattler et coll., 2000, Smith, 1978). En fait, une fréquence cardiaque de plus de 80 battements/minute était présente jusqu'au quatrième jour suivant la chirurgie chez des animaux qui étaient plus tard réformés (Constable et coll., 1991b). Cette tachycardie s'explique par l'hypovolémie persistante et la douleur abdominale créée par la présence de péritonite, de distension et d'ulcération abomasale (Constable et coll., 1991b). Donc, une diminution de la motilité gastro-intestinale et une fréquence cardiaque supérieure à la normale en période postopératoire sont annonciateurs d'un pronostic sombre et possiblement de complications telles que l'indigestion chronique (Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Sattler et coll., 2000). Bien que les variables mesurant le degré de déséquilibre métabolique tels que les anions résiduels, la chlorémie ou l'excès de base permettent de prédire la survie ou la mort des animaux, leur capacité à prédire les vaches qui risquent de développer une indigestion chronique est plutôt limitée. En fait, puisqu'une indigestion chronique est principalement le résultat de problèmes d'innervation ou de motilité de la caillette plutôt que d'atteinte métabolique, les variables évaluant les dommages mécaniques de l'abomasum (degré de torsion, d'étirement et d'atteinte de l'apport vasculaire et nerveux) semblent être plus pertinents pour prédire une telle complication (Garry et coll., 1988).

### **1.2.4 Valeur pronostique de la lactatémie**

La valeur pronostique de la lactatémie sera discutée en détail ultérieurement dans ce mémoire à la section 1.7.2. Pour le moment, afin d'approfondir ce qu'est le lactate et de mieux

comprendre sa valeur pronostique, il sera maintenant discuté spécifiquement de la physiologie, la physiopathologie ainsi que de l'utilisation de la lactatémie en tant qu'indicateur pronostique pour d'autres espèces animales dans diverses situations cliniques.

## **1.3 Physiologie et physiopathologie du lactate**

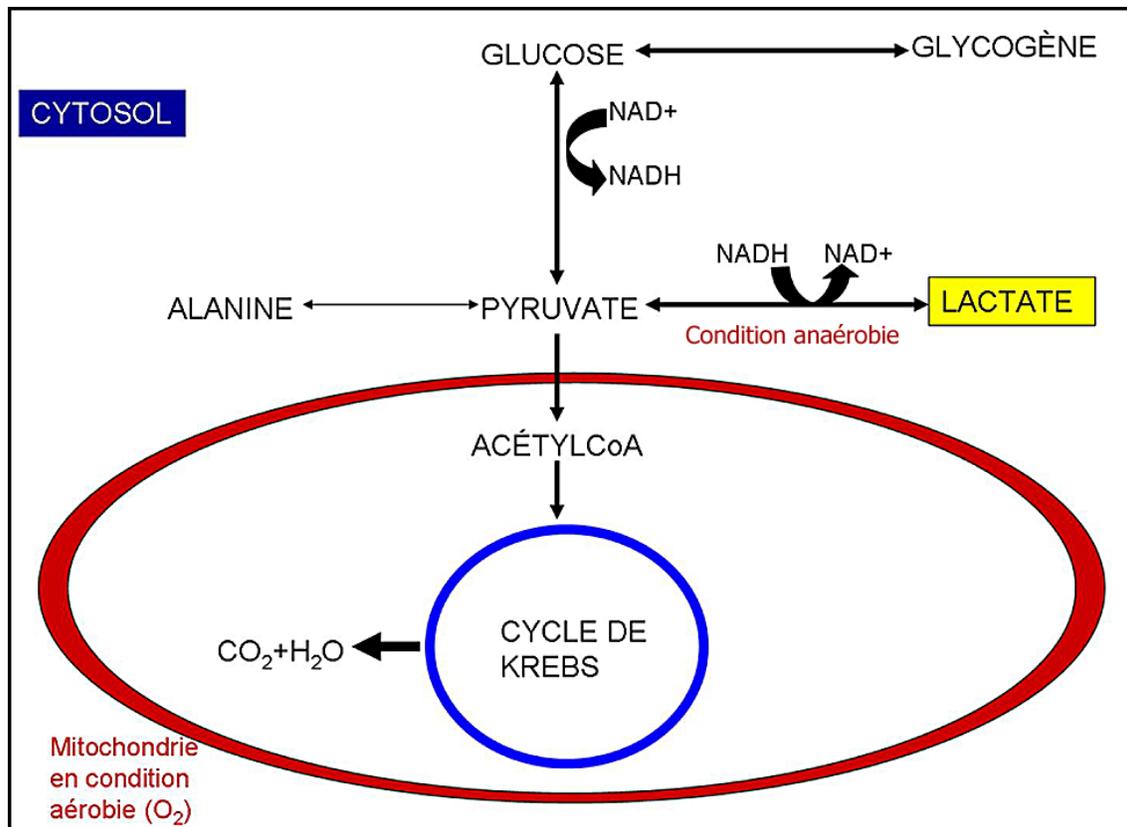
### **1.3.1 Formes de lactates**

La molécule de lactate peut exister sous deux formes ou énantiomères distincts : le D-lactate et le L-lactate. Le D-lactate provient de la fermentation bactérienne du glucose et des hydrates de carbones dans le tractus digestif (Dunlop et Hammond, 1965) et une surproduction de D-lactate peut se produire chez les ruminants lors d'acidose ruminale secondairement à une surcharge en grain ou lors de diarrhée néonatale (Dunlop et Hammond, 1965, Ewaschuk et coll., 2004). Bien qu'une augmentation du D-lactate puisse précipiter un animal dans un état d'acidose métabolique (Oh et coll., 1979, Omole et coll., 2001), l'absence de méthodes commerciales permettant de le mesurer rapidement limite l'utilisation du D-lactate en clinique (Ewaschuk et coll., 2004). Pour sa part, le L-lactate est le sous-produit de la respiration cellulaire anaérobie où les cellules des mammifères produisent leur énergie en absence d'oxygène. Même en présence d'oxygène, certains organes produisent une partie ou toute leur énergie en transformant le pyruvate en L-lactate. C'est le cas notamment des muscles striés squelettiques, des muscles lisses, des érythrocytes, des cellules nerveuses, du tractus gastro-intestinal, de la rétine, de la peau et de la médulla rénale (Fall et Szerlip, 2005, Madias, 1986, Murray et Harper, 2002). Dans l'ensemble du mémoire, nous ferons référence uniquement au L-lactate lorsque nous parlerons de la lactatémie.

### **1.3.2 Métabolisme du L-lactate**

La première étape dans la production de l'énergie au niveau cellulaire passe par la transformation du glucose en pyruvate par un processus appelé glycolyse. Puis, en fonction de la présence ou de l'absence d'oxygène, la transformation du pyruvate en énergie peut s'effectuer par deux voies distinctes. En présence d'oxygène, le pyruvate pénètre dans la mitochondrie pour y subir la décarboxylation oxydative qui se produit dans le cycle de Krebs.

La respiration cellulaire aérobie entraîne la production de dioxyde de carbone, d'eau et génère jusqu'à 38 moles d'adénosine triphosphate (ATP) par molécule de glucose métabolisée (Murray et Harper, 2002). En absence d'oxygène, le pyruvate ne peut plus pénétrer dans la mitochondrie pour prendre part au cycle de Krebs et la production d'énergie s'effectue par la transformation du pyruvate en lactate (Murray et Harper, 2002). Cette dernière réaction est catalysée par l'enzyme lactate déshydrogénase et la quantité d'énergie qui en résulte est bien moindre qu'en présence d'oxygène soit deux moles d'ATP par molécule de glucose métabolisée (Murray et Harper, 2002). À défaut d'être efficace, cette voie métabolique permet de continuer la production d'énergie en absence d'oxygène. En condition physiologique normale, la quantité de lactate qui est produit par l'organisme est faible et le foie, les reins et le myocarde le reconvertissent en pyruvate à l'aide de l'enzyme lactate déshydrogénase (Cohen et Woods, 1976, Madias, 1986). Le foie métabolise la majorité du lactate (60% à 70%) et les reins en transforment entre 20% et 30% (Arieff et coll., 1980, Cohen et Woods, 1976, Madias, 1986). Le pyruvate ainsi formé pourra entrer dans le cycle de Krebs afin de produire de l'énergie en présence d'oxygène ou être transformé en glucose par le processus de néoglucogenèse (Figure 4). Au niveau hépatique, la transformation du pyruvate en glucose porte également le nom de cycle de Cori (Pang et Boysen, 2007). Comme le métabolisme du lactate par ces organes est un processus saturable, un état d'hyperlactatémie s'installe rapidement lorsque la production dépasse le métabolisme (Madias, 1986). Par ailleurs, en situation de choc, lorsque la perfusion hépatique, rénale ou du myocarde est compromise, ces organes deviennent à leur tour des producteurs de lactate en raison du manque d'apport en oxygène. Pour cette raison, il est important, chez ces animaux, de mettre en place des traitements visant à rétablir la perfusion tissulaire (Cohen et Woods, 1976, Murray et Harper, 2002, Nelimarkka et coll., 1984, Tashkin et coll., 1972).



**Figure 4.** Représentation schématique de la respiration cellulaire. En présence d'oxygène (respiration aérobie), la production énergétique cellulaire s'effectue dans la mitochondrie où le pyruvate est transformé en énergie dans le cycle de Krebs. En absence d'oxygène (respiration anaérobie), la production énergétique cellulaire s'effectue dans le cytosol où le pyruvate est transformé en lactate.

Adaptée de «Lactate in veterinary critical care: pathophysiology and management,» par D.S. Pang et S. Boysen, 2007, *Journal of the American Animal Hospital Association*, 43, p. 272.  
 © American Animal Hospital Association (2007). Reproduit avec permission.

### **1.3.3 Lactatémie normale**

Pour un humain en santé, la production de lactate est d'environ 0.8 mmol/L par kg par heure, ce qui résulte en une lactatémie basale  $< 1$  mmol/L (Fall et Szerlip, 2005, Huckabee, 1961a, b). Idéalement, un intervalle de référence devrait être déterminé pour chaque population d'intérêt et, puisqu'il existe une grande variété d'appareils disponibles et que ces derniers n'utilisent pas nécessairement la même méthode d'analyse, il devrait être établi en fonction du type d'appareil utilisé par chaque établissement de santé. Par exemple, du côté animal, il a été déterminé que la lactatémie chez le chiot de moins de 70 jours (McMichael et coll., 2005) et le poulain nouveau-né ( $< 24$  heures) était plus élevée par rapport à l'adulte (Castagnetti et coll., 2010, Kitchen et Rossdale, 1975, Magdesian, 2003). Il devient donc évident qu'un intervalle de référence proposé pour l'adulte ne serait pas représentatif de la lactatémie du jeune animal dans ces situations.

#### **1.3.3.1 Lactatémie normale des bovins**

Chez le bovin, la lactatémie normale des animaux a déjà été rapportée comme étant de 0.6 à 2.2 mmol/L (Russell et Roussel, 2007) ce qui est assez similaire à ce qui est rapporté pour les autres espèces. Cependant, en plus de varier en fonction de l'âge des animaux, la lactatémie basale pourrait possiblement varier en fonction du statut de production (lactation ou non) des animaux. Ainsi, des intervalles de références ont été déterminés pour des veaux, des vaches tariées et des vaches en début de lactation ( $< 60$  jours en lait) et ils étaient respectivement de 0.6 à 1.3 mmol/L (Constable et coll., 1997), de 0.6 à 1.4 mmol/L (Constable et coll., 1997) et de 0.3 à 1.5 mmol/L (Figueiredo et coll., 2006). De plus, bien que les lactates péritonéaux ne soient pas couramment mesurés chez le bovin, comme cette variable pourrait être un indicateur d'ischémie intestinale ou abomasale, un intervalle de référence de 0.2 à 1.3 mmol/L pour des bovins en santé a également été déterminé (Wittek et coll., 2010).

## **1.3.4 Hyperlactatémie et acidose lactique**

### **1.3.4.1 Définitions**

Du côté humain, l'hyperlactatémie se définit par une augmentation légère à modérée (2 à 5 mmol/L) du L-lactate sans présence d'acidose métabolique concurrente. Pour sa part, l'acidose lactique se définit par une élévation persistante de la lactatémie (souvent > 5 mmol/L) en association avec une acidose métabolique (pH < 7.35) (Fall et Szerlip, 2005).

### **1.3.4.2 Physiopathologie**

L'hyperlactatémie peut se produire en absence d'acidose lactique si le système tampon (bicarbonates), la perfusion tissulaire et l'oxygénation sont adéquats. S'il y a surproduction ou s'il y a une diminution de l'élimination des lactates au niveau hépatique et rénal, l'organisme développera alors une acidose lactique en raison de l'épuisement des mécanismes de compensation (Nelimarkka et coll., 1984, Pang et Boysen, 2007, Tashkin et coll., 1972). Une fois le niveau d'oxygène revenu à la normale et la respiration aérobie restaurée, le lactate pourra être métabolisé au niveau hépatique et rénal et sa concentration sanguine devrait diminuer (Prittie, 2006). Cependant, dans certaines situations où l'état de choc est trop avancé (animal en décompensation, choc réfractaire), l'élimination des lactates pourrait ne pas s'effectuer même en présence d'une perfusion tissulaire adéquate (Bakker et coll., 1996, Vincent et coll., 1983). En fait, la persistance de l'hyperlactatémie après la stabilisation initiale peut s'expliquer par un volume intravasculaire insuffisant, la restauration de la perfusion tissulaire et/ou un métabolisme énergétique inadéquat (Wotman et coll., 2009).

D'un point de vue physiologique, il existe différentes situations où l'organisme se retrouve en hyperlactatémie. En effet, lorsqu'il y a un besoin énergétique élevé en absence d'un apport suffisant en oxygène, la respiration cellulaire anaérobie et la production d'acide lactique devient la seule alternative énergétique possible. C'est notamment le cas lors d'un exercice physique, de tremblements ou d'activité musculaire excessive (McGowan, 2008, Osnes et Hermansen, 1972, Robergs et coll., 2004). D'un point de vue pathologique, une augmentation de la concentration plasmatique de L-lactate est principalement due à une

mauvaise perfusion tissulaire systémique ayant pour conséquence l'hypoxie tissulaire (Huckabee, 1961a, b, Kreisberg, 1980, Madias, 1986). Différentes causes sont à l'origine d'un problème de perfusion tissulaire : la déshydratation, le choc, l'endotoxémie (Bakker et coll., 1996, Bernardin et coll., 1996, Weil et Afifi, 1970) ou l'hypoperfusion locale (Liao et coll., 1995, Wittek et coll., 2004).

#### *1.3.4.2.1 Physiopathologie de l'hyperlactatémie lors de septicémie, syndrome de la réponse inflammatoire systémique et endotoxémie*

Lors de septicémie, endotoxémie ou SRIS (syndrome de la réponse inflammatoire systémique ou « *systemic inflammatory response syndrome* »), l'origine de l'hyperlactatémie et de l'acidose lactique est très souvent multifactorielle. Par conséquent, si la lactatémie demeure élevée malgré un traitement de fluidothérapie, d'autres causes peuvent contribuer à la persistance de l'hyperlactatémie et devraient être mises en évidence (Neil, 2008). Par exemple, lors de septicémie, une mauvaise perfusion tissulaire systémique, une mauvaise élimination hépatique du lactate, un métabolisme accéléré, une augmentation de la glycolyse en raison de l'inflammation et, possiblement, une fonction mitochondriale anormale sont toutes des causes potentielles d'augmentation de la lactatémie (Bellomo et Ronco, 1999, Lagutchik et coll., 1996). Lors d'endotoxémie, l'hyperlactatémie est plutôt secondaire à une diminution de l'efficacité de la néoglucogénèse, une augmentation de la consommation d'oxygène et une augmentation marquée de la production de pyruvate (Franklin et Peloso, 2006). Donc, ce n'est pas le pathogène lui-même qui cause une augmentation de la lactatémie sanguine chez les poulains en septicémie mais bien une dysfonction métabolique et cardiovasculaire en raison du SRIS (Castagnetti et coll., 2010).

#### *1.3.4.2.2 Physiopathologie de l'hyperlactatémie lors de problèmes digestifs obstructifs*

Lors de certains problèmes digestifs tels que la dilatation et torsion gastrique chez le chien et les coliques chez le cheval, une augmentation de la lactatémie peut être constatée (de Papp et coll., 1999, Moore et coll., 1976) et les mécanismes physiopathologiques engendrés sont semblables à ceux retrouvés chez les bovins atteints de dilatation et volvulus de la caillette. En fait, dans ces deux pathologies, la distension des organes impliqués entraîne une

augmentation de la pression intra-gastrique, intra-intestinale et/ou abdominale. Dans ces circonstances, une diminution du flot sanguin dans les veines cave caudale et porte peut être constatée et a pour conséquence de diminuer le retour veineux et le débit cardiaque (choc obstructif), diminuer la perfusion tissulaire et favoriser la production de lactate (Zacher et coll., 2010). Par ailleurs, en raison de la diminution du retour veineux, le flot sanguin artériolaire et mésentérique devient éventuellement compromis (Dabareiner et coll., 2001, Moore et coll., 1996, Ruf et coll., 1980) et les intestins hypoxiques pourraient devenir une source importante d'élévation de la lactatémie (Johnston et coll., 2007). Cette situation a déjà été remarquée lors de volvulus du colon ascendant chez le cheval (Snyder et coll., 1990) et, le sang étant chassé de la muqueuse du colon, la diminution de l'apport en oxygène pouvait entraîner une dévitalisation du colon ascendant en quelques heures (Snyder et coll., 1992). De plus, ces animaux sont souvent endotoxémiques, déshydratés voire en choc circulatoire et l'ischémie qui en découle entraîne une hypoxie tissulaire généralisée (Green et coll., 2011, Johnston et coll., 2007, Neil, 2008). Cliniquement, les autres effets délétères qui seront observables incluent la nécrose gastrique, l'ischémie du myocarde, le SRIS, des dommages de reperfusion, des déséquilibres acido-basiques et/ou électrolytiques, la septicémie et le choc cardiogénique (Green et coll., 2011). Tous ces mécanismes ont pour effet de compromettre la perfusion intestinale et systémique et favoriser la production de lactate (Dabareiner et coll., 2001, Johnston et coll., 2007, Latson et coll., 2005, Moore et coll., 1996). Finalement, en absence de traitements, la mauvaise perfusion tissulaire pourrait compromettre la fonction des organes et précipiter l'animal dans un choc irréversible. Ce choc peut mener à la mort de l'animal en raison de la défaillance d'organes multiples (Zacher et coll., 2010).

Chez le bovin souffrant de volvulus de la caillette, il a été observé que la pression gazeuse moyenne dans l'abomasum (pression  $\pm$  écart-type) était significativement plus élevée ( $12.2 \pm 5.2$  mm de Hg) par rapport à la pression gazeuse moyenne dans l'abomasum de bovins souffrants de déplacement de la caillette à gauche ( $6.1 \pm 2.1$  mm de Hg) (Wittek et coll., 2004). Parallèlement, la saturation en oxygène moyenne de l'abomasum (saturation  $\pm$  écart-type) était significativement moins élevée ( $79.7 \pm 6.9\%$ ) pour les volvulus de la caillette par rapport à celle des déplacements de la caillette à gauche ( $83.6 \pm 5.2\%$ ) (Wittek et coll., 2004). Finalement, il a été déterminée que la lactatémie (lactatémie  $\pm$  écart-type) mesurée à partir de

la veine gastro-épliploïque droite était plus élevée ( $5.7 \pm 2.9$  mmol/L) que la lactatémie mesurée au même moment à partir de la veine jugulaire ( $4.8 \pm 2.8$  mmol/L) lors de volvulus de la caillette (Wittek et coll., 2004). Tous ces résultats confirment qu'un état d'ischémie abomasale est présent chez les bovins souffrants de volvulus de la caillette et que l'abomasum contribue également à l'augmentation de la lactatémie (Wittek et coll., 2004).

### **1.3.4.3 Types d'acidose lactique**

L'acidose lactique se divise en deux grandes catégories : le type A et le type B. Cette classification est établie en fonction de l'étiologie de l'acidose lactique. Ainsi, on parle d'acidose lactique de type A lorsqu'une mauvaise oxygénation tissulaire est présente. Inversement, dans le type B, l'acidose lactique se produit en présence d'un niveau d'oxygène tissulaire normal (Cohen et Woods, 1976). Le type A est lui-même classifié en deux catégories : l'acidose lactique dû à un mauvais apport tissulaire en oxygène ou en raison d'une augmentation de la demande en oxygène (Tableau I) (Pang et Boysen, 2007). Le type B se produit en présence d'un contenu en oxygène sanguin normal et d'une pression artérielle systémique normale. Tous les problèmes entraînant une mauvaise utilisation de l'oxygène ou une diminution de l'élimination du lactate peuvent éventuellement entraîner une acidose lactique de type B (Tableau I) (Pang et Boysen, 2007). En clinique, bien que l'acidose lactique de type A soit la plus fréquente, les deux types d'acidoses peuvent être présents en même temps dans de nombreux cas critiques (Lagutchik et coll., 1998, Stacpoole et coll., 1994).

**Tableau I.** Les mécanismes entraînant les acidoses lactiques de type A et de type B et les causes qui y sont associées. Tableau adapté et traduit de Pang et Boysen, 2007.

<b>Acidose lactique</b>					
<b>Type A</b>		<b>Type B</b>			
<b>Mauvais apport tissulaire en O<sub>2</sub></b>	<b>Augmentation de la demande en O<sub>2</sub></b>	<b>Mauvaise utilisation de l'O<sub>2</sub></b>	<b>Anomalies congénitales du métabolisme du lactate</b>	<b>Médicaments et produits toxiques</b>	<b>Autre</b>
Perte de sang	Exercice	Syndrome de la réponse inflammatoire systémique	Encephalomyopathie mitochondriale avec acidose lactique et syndrome de choc	Éthylène et propylène glycol	Acidose D-lactique
Choc cardiogénique	Convulsions	Septicémie		Cathécholamines	
Choc hypovolémique	Tremblements	Insuffisance rénale		Cyanure	
Choc septique		Diabète mellitus		Monoxyde de carbone	
Anémie importante		Néoplasme		Strychnine	
Hypoxie importante		Nutrition parentérale		Salicylates	
Empoisonnement au monoxyde de carbone		Déficience en thiamine		Nitroprusside	
				Bicarbonate	
				Halothane	
				Acetaminophène	
				Terbutaline	
				Charbon activé	

## **1.4 Détermination de la lactatémie**

### **1.4.1 Méthodes de prélèvement**

Lors de la mesure de la lactatémie sanguine, on peut se demander s'il est important d'interpréter le résultat en fonction du site de prélèvement. Plusieurs auteurs considèrent que la lactatémie veineuse est un reflet de la production périphérique alors que les échantillons artériels sont plutôt un reflet de la lactatémie systémique (Hughes et coll., 1999, Lagutchik et coll., 1996). Cependant, chez le chien et le cheval, il a été remarqué que les différences entre la lactatémie veineuse et artérielle étaient plutôt faibles (Corley, 2002, Hughes et coll., 1999) et que ces différences n'étaient pas cliniquement significatives (Hughes et coll., 1999). Par conséquent, l'interprétation de la mesure de la lactatémie ne serait pas influencée par le site de prélèvement (Adams et Hazard, 1988, Neil, 2008, Weil et coll., 1987). La lactatémie est cependant beaucoup plus dépendante du niveau d'agitation du patient puisque des animaux nécessitant une contention excessive, une occlusion veineuse prolongée ou présentant un niveau d'activité musculaire augmenté pourront présenter une augmentation transitoire de la lactatémie (Magdesian, 2004, Neil, 2008, Rand et coll., 2002).

### **1.4.2 Méthodes de conservation**

La conservation des échantillons est une étape très importante et peut avoir beaucoup d'impact sur la lactatémie puisque les globules rouges continuent de transformer le glucose en lactate dans le prélèvement sanguin (Christopher et O'Neill, 2000, Tennent-Brown et coll., 2010). En fait, il est recommandé d'effectuer l'analyse rapidement après le prélèvement (entre 5 et 30 minutes) puisque la lactatémie peut augmenter de 20% toutes les heures lorsque l'échantillon est conservé à une température de 25°C (Christopher et O'Neill, 2000). S'il est impossible d'effectuer l'analyse rapidement, afin de diminuer la production de lactate, il est possible de refroidir l'échantillon à 4 °C (Pang et Boysen, 2007), de séparer le plasma des globules rouges par centrifugation (Neil, 2008) ou encore d'utiliser un tube contenant du fluorure de sodium et/ou de l'oxalate de potassium qui va inhiber les enzymes glycolytiques (Astles et coll., 1994, Christopher et O'Neill, 2000, Ferrante et Kronfeld, 1994).

### 1.4.3 Méthodes d'analyses

L'analyse du lactate peut s'effectuer de deux façons : par ampérométrie enzymatique ou par spectrophotométrie (colorimétrie) enzymatique. La méthode ampérométrique est celle utilisée par les appareils à gaz sanguin : l'enzyme lactate oxydase convertie le lactate en pyruvate et en peroxyde d'hydrogène. Ce dernier sous-produit est oxydé sur une électrode et le courant produit est mesuré et est directement proportionnel à la quantité de lactate présent dans l'échantillon (Neil, 2008). Cette méthode est également utilisée pour différents appareils portatifs : i-STAT® (Heska Corporation, Colorado, USA), Lactate Pro® (Arkray, Minnesota, USA) et Lactate Scout® (SensLab, Leipzig, Allemagne). Les analyses devraient être effectuées sur du sang entier (tube sec) lorsque la mesure s'effectue rapidement et l'échantillon devrait être prélevé dans un tube hépariné si la lactatémie n'est pas mesurée immédiatement (Neil, 2008). L'utilisation de tubes contenant du fluorure de sodium ou du citrate de sodium est toutefois déconseillée pour la méthode ampérométrique puisque ces anticoagulants interfèrent avec la mesure du lactate (Neil, 2008, Wiese et coll., 1997).

D'autres appareils utilisent la méthode par spectrophotométrie : le NADH, un sous-produit de l'oxydation du lactate en pyruvate par l'enzyme lactate oxydase, est détecté dans l'échantillon par absorption spectrophotométrique et est directement proportionnel à la quantité de lactate présent dans le sang (Neil, 2008). Les appareils portatifs utilisant cette méthode sont l'Accutrend® (Roche Diagnostics, Basel, Suisse), l'Accutrend Plus® (Roche Diagnostics, Basel, Suisse) et l'Accusport® (Boehringer Mannheim, Allemagne) et les analyses devraient être effectuées sur du sang entier ou du plasma. Pour cette technique, l'échantillon devrait être prélevé dans un tube d'héparine de lithium lorsque l'analyse est effectuée rapidement et dans des tubes de fluorure de sodium ou de citrate de sodium si des délais avant la mesure de la lactatémie sont prévus (Christopher et O'Neill, 2000, Neil, 2008).

Bien que des différences allant jusqu'à 0.8 mmol/L ont été remarquées entre un appareil portatif et la méthode de référence (Stevenson et coll., 2007), plusieurs études ont obtenus de bonnes corrélations entre des appareils portatifs et des appareils de références et les valeurs de lactate obtenues par ces appareils étaient considérées comme fiables (Acierno et coll., 2008, Acierno et Mitchell, 2007, Schulman et coll., 2001, Sloet van Oldruitenborgh-

Oosterbaan et coll., 2008, Tas et coll., 2008, Tennent-Brown et coll., 2007, Thorneloe et coll., 2007). Puisque des études ont déjà validé la fiabilité de différents appareils portatifs par rapport à des méthodes de référence chez le bovin (Burfeind et Heuwieser, 2012, Doré et coll., 2010), la mesure de la lactatémie est un test objectif qui pourrait s'effectuer directement à la ferme en complément de l'examen physique. Néanmoins, il est important de garder en tête que, chez le bovin, un plus grand écart entre la mesure de l'appareil portatif et celle de la méthode de référence a été remarqué pour les valeurs élevées de lactate, rendant les mesures de lactatémies élevées un peu moins fiables (Doré et coll., 2010).

## **1.5 Valeur pronostique de la lactatémie chez les autres espèces**

La considération du lactate en tant qu'indicateur pronostique chez les bovins s'inspire grandement des résultats obtenus des recherches effectuées chez les autres espèces animales. Ainsi, dans cette section, la valeur pronostique de la lactatémie dans le cadre de conditions médicales spécifiques chez certaines espèces animales sera abordée.

### **1.5.1 Historique**

Parmi toutes les disciplines médicales, la médecine humaine a été la première à reconnaître que la mesure de la lactatémie apportait une information pronostique (Broder et Weil, 1964). Depuis, plusieurs études menées chez des patients aux soins intensifs ont également démontré la valeur pronostique de la lactatémie (Bernardin et coll., 1996, Cerovic et coll., 2003, Cheifetz et coll., 1997, Kaplan et Kellum, 2004, Meregalli et coll., 2004). Dans certains cas, la valeur ponctuelle de la lactatémie permettait d'établir un pronostic de survie. Par exemple, il a été déterminé que la survie de patients en choc diminuait de 90% à 10% lorsque la lactatémie sanguine passait de 2 à 8 mmol/L (Weil et Afifi, 1970). Par la suite, certaines études ont également reconnu que la diminution absolue ou relative de la lactatémie initiale après la mise en place du plan thérapeutique permettait de bien prédire l'évolution du patient (Bakker et coll., 1996, Bernardin et coll., 1996, Cerovic et coll., 2003, Husain et coll., 2003, Meregalli et coll., 2004). Plus récemment, la combinaison de la lactatémie à d'autres variables hémodynamiques tels que la pression artérielle et le statut acido-basique s'est avérée

être une bonne façon d'augmenter la fiabilité du pronostic chez le patient (Bernardin et coll., 1996, Kaplan et Kellum, 2004). Ainsi, au même titre que les patients incapables de diminuer leur lactatémie après 24 à 48 heures de traitements voient leurs chances de mourir augmentées, un taux de mortalité plus élevé (> 80%) a été constaté chez des patients qui étaient hypotendus et en hyperlactatémie (> 5 mmol/L) (Fall et Szerlip, 2005).

## **1.5.2 Milieu hospitalier**

### **1.5.2.1 Mesure ponctuelle de la lactatémie**

En s'inspirant des résultats prometteurs obtenus en médecine humaine, l'utilité de la lactatémie du côté vétérinaire est de plus en plus étudiée. Par exemple, chez le chien, une étude effectuée dans une unité de soins intensifs a démontré qu'à leur admission, les animaux qui avaient les plus hautes lactatémies sanguines avaient plus de risque de mourir (Lagutchik et coll., 1998). Par ailleurs, de façon générale, les poulains admis dans une unité néonatale mais qui mourraient en cours de traitement avaient une lactatémie à l'admission plus élevée que les poulains survivants (Castagnetti et coll., 2010, Corley et coll., 2005, Henderson et coll., 2008). Ainsi, à la lumière des études effectuées chez le poulain, il est possible d'avancer qu'une lactatémie à l'admission d'environ 5 mmol/L pourrait être utilisée afin de prédire la survie des poulains (Neil, 2008). Par contre, il est important de préciser que des animaux ayant une lactatémie au-dessus de 5 mmol/L pourront tout de même survivre et que le seuil pourrait être plutôt utilisé pour discuter du pronostic et des coûts des traitements avec le propriétaire (Neil, 2008). Ainsi, l'utilité d'une valeur individuelle de la lactatémie semble un indicateur pronostic intéressant dans ces situations.

### **1.5.2.2 Mesures répétées de la lactatémie**

Toujours du côté équin, bien qu'une lactatémie initiale élevée soit parfois un bon indicateur du pronostic, c'est plutôt une lactatémie élevée à l'admission et la persistance dans le temps de cette hyperlactatémie qui était associée à une probabilité élevée de mourir de poulains dans les unités de soins intensifs néonataux (Corley et coll., 2005, Henderson et coll., 2008, Wotman et coll., 2009) ou en urgence chez le cheval adulte (Gossett et coll., 1987,

Tennent-Brown et coll., 2010). Cette hyperlactatémie, bien qu'elle n'apporte pas d'information sur le diagnostic, permet de quantifier la gravité de la maladie et de vérifier la nécessité d'un traitement précoce et agressif (Castagnetti et coll., 2010). Par exemple, pour chaque augmentation de 1 mmol/L de la lactatémie à l'admission, 12, 24, 48 et 72 heures après l'admission, les probabilités d'avoir une mauvaise évolution pour les chevaux était respectivement 1.29 fois, 3.8 fois, 5.6 fois, 3.8 fois et 50 fois plus élevées (Tennent-Brown et coll., 2010). Par ailleurs, en mesurant la lactatémie toutes les 12 ou 24 heures, il a été déterminé que les poulains nécessitant une thérapie intensive auront de bonnes chances de survivre si la lactatémie diminue significativement 24 heures après l'admission (Castagnetti et coll., 2010, Wotman et coll., 2009). Ainsi, la mesure de la lactatémie à plusieurs intervalles de temps aurait le potentiel de mieux prédire la survie des animaux en comparaison d'une mesure ponctuelle (Tennent-Brown, 2012, Wotman et coll., 2009).

Chez l'espèce canine, une étude était également arrivée à la même conclusion (Stevenson et coll., 2007). En effet, cette étude réalisée chez des chiens souffrant de différentes maladies de gravité variable a déterminé qu'une concentration de lactate initiale supérieure à l'intervalle de référence (établi à  $\leq 2.30$  mmol/L dans ce cas) ne permettait pas de prédire significativement l'évolution de l'animal (Stevenson et coll., 2007). Cependant, il a été remarqué que les animaux ayant une concentration de lactate  $> 2.3$  mmol/L 6 heures après le début de la fluidothérapie, avaient 16 fois plus de risque de ne pas survivre en comparaison avec des animaux dont la lactatémie était revenue dans l'intervalle de référence. De plus, une hyperlactatémie qui a diminué de  $< 50\%$  dans les 6 heures suivant le début de la thérapie était significativement associée avec la mortalité de l'animal (Stevenson et coll., 2007). Ceci indique qu'il existe une association entre la réponse aux traitements, la diminution de la lactatémie et l'évolution de l'animal. Ces conclusions abondent dans le même sens que les études effectuées en médecine humaine où la cinétique des lactates pourrait être d'un meilleur intérêt pronostic qu'une mesure ponctuelle de la lactatémie (Bakker et coll., 1996, Husain et coll., 2003, Levraut et coll., 2003, Nguyen et coll., 2004).

### **1.5.3 Maladies hypoxiques**

La lactatémie s'est avérée être un bon indicateur pronostique chez des animaux souffrant d'anémie secondaire à une perte de sang, à une origine immunitaire ou à une origine infectieuse. Puisque le nombre de globules rouges diminue chez ces animaux, l'apport tissulaire en oxygène est réduit et l'augmentation de la lactatémie est un bon reflet du degré d'atteinte de l'animal. Lors d'hémorragie aiguë avec perte de sang importante ou lors d'un défaut d'érythropoïèse, la valeur de la lactatémie pouvait indiquer la nécessité d'effectuer une transfusion sanguine (Hurcombe et coll., 2007, Magdesian et coll., 2006) ou la probabilité de survie de l'animal (Wade et coll., 1989). En raison de l'hémolyse des globules rouges secondairement à l'anémie hémolytique à médiation immunitaire idiopathique chez le chien (Holahan et coll., 2010), l'anémie hémolytique chez le cheval (Hurcombe et coll., 2007) et l'isoérythrolyse néonatale chez le poulain (Castagnetti et coll., 2010), l'augmentation de la lactatémie est un bon indicateur de la sévérité de l'hypoxie cellulaire. Finalement, l'utilité de la lactatémie a également été démontrée lors de maladies infectieuses telles que la babésiose canine (Nel et coll., 2004).

### **1.5.4 Septicémie, syndrome de la réponse inflammatoire systémique et endotoxémie**

La lactatémie semble être également un bon indicateur pronostique lors de septicémie, d'endotoxémie ou de SRIS. En fait, il est rapporté dans la littérature que des poulains en bactériémie, en SRIS ou choc septique avaient une lactatémie plus élevée et plus de risques d'avoir une mauvaise évolution que les animaux qui n'avaient pas ces conditions (Corley et coll., 2005). De plus, les poulains en acidose lactique avaient moins de chances de survie que ceux étant uniquement en hyperlactatémie sans acidose concomitante (Corley et coll., 2005). Par ailleurs, des chiens qui ont survécus à un SRIS avaient une concentration de lactate inférieure (1 mmol/L) comparativement aux chiens non-survivants (2 mmol/L) (Butler et coll., 2008). Cependant, une autre étude rapporte que la lactatémie préopératoire n'est pas un indicateur fiable de l'évolution et de la durée de l'hospitalisation chez des chiennes souffrant de pyomètre (Hagman et coll., 2009).

## 1.5.5 Problèmes digestifs

Dans la littérature, l'intérêt pronostic de la lactatémie a été spécifiquement étudié pour certaines maladies. Ces maladies ciblées peuvent entraîner des déséquilibres hémodynamiques affectant la circulation sanguine ainsi que l'oxygénation tissulaire. Étant donné les nombreuses similitudes entre la dilatation et torsion gastrique chez le chien et les coliques chez le cheval avec les dilatations et volvulus de la caillette chez le bovin, une attention particulière sera portée à la valeur pronostique de la lactatémie dans le cadre de ces deux maladies.

### 1.5.5.1 Dilatation et torsion gastrique chez le chien

#### 1.5.5.1.1 Lactatémie et survie

Lors de dilatation et torsion gastrique chez le chien, la mesure de la lactatémie permet d'évaluer les probabilités de mourir des animaux et des études ont mis en évidence certains seuils significatifs. Par exemple, il a été déterminé que des chiens qui avaient une valeur plasmatique de lactate  $> 6$  mmol/L avaient 42% de probabilité de mourir (sensibilité de 92.9% et spécificité de 79.3% pour une proportion d'animaux morts de 13.9%) alors que ceux ayant une valeur  $< 6$  mmol/L avaient une probabilité de mourir de 1% (de Papp et coll., 1999). D'autres auteurs ont plutôt suggéré qu'un seuil de 4.1 mmol/L serait plus adéquat pour déterminer les probabilités de mourir. En utilisant ce dernier, il a été possible de prédire la mort des animaux ayant une lactatémie  $\geq 4.1$  mmol/L avec une sensibilité de 90% et une spécificité de 60.8% (Green et coll., 2011). En fait, 23.7% des animaux avec une lactatémie  $\geq 4.1$  mmol/L sont mort alors que c'était le cas pour 2.2% des chiens avec une lactatémie  $< 4.1$  mmol/L (proportion d'animaux morts de 11.9%) (Green et coll., 2011). Afin d'avoir une bonne spécificité du seuil de prédiction de la mortalité de l'animal souffrant de dilatation-torsion gastrique, une étude a proposé un seuil de lactate plus élevé. En effet, une lactatémie initiale  $> 9$  mmol/L était reliée à une probabilité de mourir de 54% (sensibilité de 73.3% et spécificité de 73.5% pour une proportion d'animaux morts de 23.4%) alors que les chiens qui avaient une lactatémie  $\leq 9$  mmol/L n'avaient qu'une probabilité de mourir de 10% (Zacher et coll., 2010). Bien que différents, ces trois seuils nous démontrent qu'un animal ayant une faible lactatémie initiale aura de bonnes chances de survie alors que les probabilités de survie

d'un animal ayant une lactatémie initiale élevée sont beaucoup plus imprévisibles. Devant la problématique d'établir un pronostic fiable chez les chiens ayant une valeur initiale de lactate élevée, différentes alternatives ont été avancées. Par exemple, chez les animaux avec une lactatémie initiale  $> 9$  mmol/L, le pronostic était favorable lorsque la lactatémie finale (après les traitements) était  $\leq 6.4$  mmol/L (9.1% de mortalité; 76.9% de mortalité si lactatémie finale  $> 6.4$  mmol/L), lorsqu'une diminution absolue de la lactatémie était de  $> 4$  mmol/L (14.3% de mortalité; 90% de mortalité si diminution absolue de la lactatémie  $\leq 4$  mmol/L) et lorsqu'une diminution relative de la concentration initiale de lactate était de  $> 42.5\%$  (0% de mortalité; 84.6% de mortalité si diminution relative de la concentration initiale de la lactatémie  $\leq 42.5\%$ ) (Zacher et coll., 2010). D'autres auteurs ont déterminé une probabilité de mourir de 30% chez les chiens dont la lactatémie initiale a diminué de  $\geq 50\%$  dans les 12 heures suivant le début du traitement (100% de mortalité si diminution relative  $< 50\%$ ) (Green et coll., 2011). D'un point de vue clinique, les animaux identifiés comme étant les plus sujets à mourir à partir de ces seuils sont dans un état d'hypoperfusion sévère. Leur organisme est en cours de décompensation et évolue vers le choc réfractaire (irréversible) avec dysfonction d'organes puis, finalement, la mort (Zacher et coll., 2010). À la lumière de ces observations, bien que la lactatémie initiale apporte une information pertinente, il semble que l'évolution de la lactatémie suivant la mise en place d'un plan thérapeutique serait un meilleur indicateur du pronostic des animaux.

#### *1.5.5.1.2 Lactatémie et nécrose gastrique*

Lors de dilatation-torsion gastrique chez le chien, l'une des complications possible est la nécrose gastrique secondaire à l'hypoxie tissulaire. L'augmentation de la lactatémie étant une conséquence du manque d'apport d'oxygène au niveau cellulaire, une étude a mis en évidence un lien entre la lactatémie et la nécrose gastrique. En effet, de la nécrose gastrique était observée chez 74% des chiens ayant une lactatémie préopératoire  $> 6$  mmol/L alors qu'uniquement 21% des chiens ayant une lactatémie  $< 6$  mmol/L présentaient de la nécrose gastrique. Le seuil utilisé dans cette étude possède une spécificité de 88%, une sensibilité de 61% et une valeur prédictive positive de nécrose gastrique de 75% (proportion des chiens avec de la nécrose gastrique de 37%) (de Papp et coll., 1999). Cependant, ces conclusions sont

quelque peu remises en doute dans les études subséquentes (Green et coll., 2011). En effet, les auteurs n'ont pas été en mesure de conclure que le seuil de lactate  $\geq 6$  mmol/L était un bon indicateur de nécrose gastrique. En fait, l'étude avance qu'un seuil  $\geq 2.9$  mmol/L de lactate prédirait la nécrose gastrique avec une sensibilité de 93.8% et une spécificité de 42.6% (proportion des chiens avec de la nécrose gastrique de 19%). Par conséquent, 27.8% des chiens ayant une lactatémie  $\geq 2.9$  mmol/L présentait de la nécrose gastrique alors que c'était le cas pour 3.3% des animaux avec une lactatémie  $< 2.9$  mmol/L. Cependant, les auteurs doutent de la significativité clinique de ce seuil puisqu'il est plus élevé de seulement 0.4 mmol/L par rapport à l'intervalle de référence pour la lactatémie établi chez le chien à  $< 2.5$  mmol/L (Green et coll., 2011).

### **1.5.5.2 Coliques chez le cheval**

#### *1.5.5.2.1 Lactatémie et survie*

Par ailleurs, la mesure de la lactatémie s'est révélée être un indicateur fiable permettant de qualifier la gravité des coliques chez le cheval et de quantifier les probabilités de survie de l'animal malade. Initialement, il a été déterminé que les chevaux en coliques avec de hautes valeurs de lactatémie avaient de faibles chances de survie (Donawick et coll., 1975, Moore et coll., 1976). Les études subséquentes ont également reconnu la valeur pronostique de la lactatémie lors de colique chez le cheval (Tableau II). Ainsi, plus la lactatémie des chevaux en coliques est élevée au moment de l'admission, plus il y a de risques d'avoir une mauvaise évolution. Bien qu'une valeur ponctuelle de lactatémie ait une valeur pronostique, certaines études ont également déterminé que les animaux avec une lactatémie persistante avaient plus de risque d'évoluer défavorablement (Hashimoto-Hill et coll., 2011, Johnston et coll., 2007, Tennent-Brown et coll., 2010). Dans cette situation, le retour à la normale ou près de la normale de la lactatémie dans les heures suivant la mise en place du traitement semble être un bon indicateur de la survie des animaux (Hashimoto-Hill et coll., 2011, Johnston et coll., 2007, Tennent-Brown et coll., 2010).

**Tableau II.** Lactatémie en fonction de l'évolution des chevaux en colique et seuils de prédiction de la survie.

Étude		Survivants		Non-survivants		Seuils	
Auteurs	Type	n	Lactatémie (mmol/L)	n	Lactatémie (mmol/L)	Lactatémie (mmol/L)	Prédiction
(Donawick et coll., 1975)	P	23	2.4 ± 0.4 <sup>1</sup>	13	8.7 ± 0.9 <sup>1</sup>	< 3.6 > 6.7	100% de survie Peu de chance de survie
(Moore et coll., 1976)	P	27		9		< 8.3 > 11.2	93% de survie 25% de survie
(Svendsen et coll., 1979)	P	20		20		> 8.5	Aucun survivant
(Parry et coll., 1983a)	P	56		17		1 4 8	88% de survie 30% de survie 3% de survie
(Parry et coll., 1983b)	P	57	1.9 ± 0.2 <sup>1</sup>	17	4.3 ± 0.6 <sup>1</sup>		
(Orsini et coll., 1988)	R	17	3.1 ± 0.7 <sup>1</sup>	12	5.7 ± 0.9 <sup>1</sup>	≥ 7	Aucun survivant
(Furr et coll., 1995)	P	131	2.7 ± 0.2 <sup>2</sup>	34	6.5 ± 0.8 <sup>2</sup>		
(Schulman et coll., 2001)	P	43		5		> 8	Aucun survivant
(Johnston et coll., 2007)	R	61	3.0 ± 2.5 <sup>2</sup>	12	9.5 ± 5.2 <sup>2</sup>	< 6 > 7 > 10.6	90% de survie 30% de survie Aucun survivant
(Delesalle et coll., 2007)	P	67	1.1 (1.3) <sup>3</sup>	39	6.3 (3.5) <sup>3</sup>	> 8.6	Aucun survivant

P = Prospective

R = Rétrospective

N = Nombre d'animaux par groupe

<sup>1</sup> = Moyenne ± erreur-type

<sup>2</sup> = Moyenne ± écart-type

<sup>3</sup> = Moyenne (étendue interquartile)

#### *1.5.5.2 Lactatémie et type d'atteinte digestive*

La lactatémie pourrait également permettre de différencier le type de lésion (strangulée ou non) dont est atteint le cheval en colique. En fait, les chevaux avec des obstructions strangulées ont des lactatémies sanguines plus élevées (4.9 – 6 mmol/L) en comparaison de ceux ayant une obstruction non-strangulée (1.2 – 2.3 mmol/L) (Delesalle et coll., 2007, Latson et coll., 2005, Yamout et coll., 2011). Puisqu'il n'est pas nécessairement aisé de déterminer hors de tout doute le type de colique dont souffre l'animal à partir de l'examen clinique, la lactatémie pourrait donc aider le vétérinaire à déterminer avec plus de précision les animaux nécessitant un traitement chirurgical. Par ailleurs, l'augmentation de la lactatémie est un bon indicateur de la viabilité du colon lors de volvulus du colon ascendant de plus de 360°. En fait, il a été observé que la lactatémie était moins élevée chez les chevaux qui avaient un colon viable après un examen histologique (3.3 mmol/L) en comparaison de chevaux qui avaient un colon non-viable (9.1 mmol/L) (Johnston et coll., 2007). Puisque que l'évaluation histopathologique nécessite une intervention chirurgicale et n'est pas disponible à tous les vétérinaires, la lactatémie pourrait être une alternative intéressante et accessible à plus de praticiens afin de déterminer la viabilité du gros intestin en préopératoire (Johnston et coll., 2007). Malgré tout, la lactatémie seule devrait principalement être utilisée en tant qu'indicateur pronostique et non pas comme outil diagnostique ou pour déterminer la nécessité d'une chirurgie pour l'animal. Dans ces deux dernières situations, la lactatémie doit être interprétée en tenant compte des autres variables de l'examen clinique avant de prendre une décision (Moore et coll., 1976).

#### *1.5.5.3 Combinaison de variables*

Bien que la lactatémie semble être un bon indicateur individuel du pronostic des animaux en coliques, l'utilisation en combinaison avec d'autres variables de l'examen physique ou d'analyses clinico-pathologiques pourrait permettre de prédire l'évolution des animaux avec plus de précision. Que ce soit en combinant la lactatémie sanguine avec l'hématocrite (Orsini et coll., 1988) ou avec la fréquence cardiaque, la coloration des muqueuses et les protéines totales du liquide péritonéal (Furr et coll., 1995), ces deux modèles

permettaient de donner un pronostic fiable chez des chevaux en coliques. En effet, 85.7% des chevaux en coliques qui avaient une probabilité calculée moins élevée que le seuil de décision établi dans ce cas à 0.608 étaient morts ou avaient été euthanasiés en cours d'hospitalisation (sensibilité de 50% et spécificité de 94.1% pour une proportion de non-survivants de 41.4%) alors que c'était le cas pour 27.2% des chevaux qui avaient une probabilité calculée  $> 0.608$  (Orsini et coll., 1988). Concernant le deuxième modèle, 58.1% des animaux qui avaient un index calculé  $\geq 8$  avaient une évolution négative (sensibilité de 52.9% et spécificité de 90.1% pour une proportion de chevaux non-survivants de 20.6%) alors que c'était le cas pour 11.9% des chevaux qui avaient un index calculé  $\leq 7$  (Furr et coll., 1995). De plus, la combinaison d'indicateurs hémodynamiques tels que la lactatémie sanguine, la pression artérielle systolique, l'urée et l'hématocrite permettait de bien prédire l'évolution des animaux (Parry et coll., 1983a). En effet, 80% des animaux dont le modèle avait prédit une évolution négative étaient morts ou avaient été euthanasiés en cours d'hospitalisation (sensibilité de 94.1% et spécificité de 92.9% pour une proportion de non-survivants de 23.3%) alors que c'était le cas pour 1.9% des chevaux dont le modèle avait prédit la survie (Parry et coll., 1983a). Finalement, il a été rapporté que la combinaison du temps de remplissage capillaire, de l'hématocrite, de la lactatémie et des anions résiduels permettait de bien prédire la survie ou la mort de chevaux en coliques dans 90% des cas (Ebert, 1995).

## **1.6 Mesure des lactates péritonéaux**

### **1.6.1 Diagnostic de péritonite septique**

La mesure des lactates dans le liquide d'effusion péritonéal s'est avéré être un test fiable afin d'aider au diagnostic de péritonite septique chez le chien et le chat (Bonczynski et coll., 2003, Levin et coll., 2004). Dans ces études, tous les patients qui avaient une péritonite septique avaient des lactates péritonéaux plus élevés que la lactatémie. En fait, une différence entre la concentration des lactates péritonéaux et la lactatémie  $> 2$  mmol/L était considérée 100% spécifique et 100% sensible pour diagnostiquer une péritonite septique (Bonczynski et coll., 2003). De plus, tous les chiens avec une effusion péritonéale septique avaient une concentration en lactates péritonéaux  $> 2.5$  mmol/L (Levin et coll., 2004).

## **1.6.2 Valeur pronostique**

Outre la lactatémie, l'intérêt pronostique des lactates péritonéaux a largement été étudiée chez le cheval (Latson et coll., 2005, Moore et coll., 1977, Parry et coll., 1983b) et plusieurs études ont mis en évidence leur valeur pronostique pour des chevaux en colique (Donawick et coll., 1975, Latson et coll., 2005, Moore et coll., 1977). Chez l'animal sain, les lactates péritonéaux sont normalement moins élevés que la lactatémie (Moore et coll., 1977, Parry et Crisman, 1991) et le ratio lactatémie : lactates péritonéaux est généralement  $> 1$  (Delesalle et coll., 2007, Latson et coll., 2005, Moore et coll., 1977). Cependant, chez les chevaux en colique, les lactates péritonéaux deviennent plus élevés que la lactatémie plasmatique et le ratio devient  $< 1$  (Hjortkjaer et Svendsen, 1979b, Latson et coll., 2005, Parry et coll., 1983b). Lors de colique, l'ischémie intestinale rend la membrane cellulaire plus perméable et les métabolites cellulaires tel le lactate sont relâchés dans la circulation systémique et dans la cavité péritonéale (Liao et coll., 1995, Moore et coll., 1976). En début de pathologie, puisque l'animal est généralement stable d'un point de vue cardiovasculaire et que les voies métaboliques du lactate sont fonctionnelles, les lactates péritonéaux augmentent plus rapidement que la lactatémie (DeLaurier et coll., 1989, Liao et coll., 1995). Si l'animal devient endotoxémique ou en choc circulatoire, la lactatémie augmente abruptement en raison de la mauvaise perfusion hépatique (diminution du métabolisme du lactate) et elle se rapproche de la concentration des lactates péritonéaux (DeLaurier et coll., 1989, Latson et coll., 2005, Parry et coll., 1983b). Cette augmentation désynchronisée de la lactatémie aux niveaux péritonéal et plasmatique a déjà été observée après avoir expérimentalement induit une ischémie intestinale chez le lapin (Liao et coll., 1995), le chien (DeLaurier et coll., 1989) et chez le cheval (Hjortkjaer et Svendsen, 1979b).

### **1.6.2.1 Coliques chez le cheval**

#### *1.6.2.1.1 Lactates péritonéaux et survie*

Au même titre que la lactatémie sanguine, les lactates péritonéaux permettent de donner un pronostic pour les chevaux en colique. En fait, les chevaux non-survivants ont des lactates péritonéaux plus élevés (8.6 – 14 mmol/L) que les chevaux survivants (2.8 – 4

mmol/L) (Delesalle et coll., 2007, Parry et coll., 1983b) et il a été rapporté qu'aucun cheval en colique avec une concentration en lactates péritonéaux  $> 16.9$  mmol/L n'a survécu (Delesalle et coll., 2007).

#### *1.6.2.1.2 Lactates péritonéaux et types d'atteinte digestive*

De plus, les lactates péritonéaux pourraient aider à déterminer si l'animal souffre d'une colique strangulée ou non et, du même coup, indiquer la nécessité de recourir à une chirurgie ou à une résection intestinale (Moore et coll., 1977, Neil, 2008). En fait, les obstructions strangulées avaient une concentration en lactates péritonéaux plus élevée (8.5 – 12.5 mmol/L) que les chevaux avec des obstructions non strangulées (2.1 – 3 mmol/L) (Delesalle et coll., 2007, Latson et coll., 2005, Yamout et coll., 2011). Par ailleurs, en fonction du type de colique, les probabilités d'avoir une mauvaise évolution basée sur les lactates péritonéaux ne seront pas les mêmes. Par exemple, des concentrations en lactates péritonéaux de 1, 6, 12 et 16 mmol/L correspondent respectivement à un risque de mourir de 11, 29, 63 et 82% chez des chevaux souffrant d'une obstruction non strangulée alors que les risques de mourir sont plutôt de 25, 52, 82 et 92% chez les chevaux souffrant d'obstruction strangulée (Delesalle et coll., 2007). À la lumière de ces résultats, certains auteurs suggèrent que les lactates péritonéaux et/ou le ratio lactatémie : lactates péritonéaux seraient plus adaptés et plus sensibles que la lactatémie seule pour la reconnaissance précoce d'ischémie intestinale et pour la prédiction de l'évolution de l'animal (Delesalle et coll., 2007, Latson et coll., 2005).

### **1.6.3 Volvulus de la caillette chez le bovin**

En comparaison aux félins, canins et équins, la mesure des lactates dans le liquide péritonéal chez le bovin est un test complémentaire qui est effectué depuis quelques années seulement (Grosche et coll., 2012, Wittek et coll., 2010). L'intervalle de référence des lactates péritonéaux qui a été déterminée chez cette espèce est de 0.2 – 1.3 mmol/L (Wittek et coll., 2010). Lors de volvulus de la caillette, il est rapporté que la concentration des lactates péritonéaux est plus élevée (6.5 mmol/L) que l'intervalle de référence ce qui suggère que la mesure des lactates péritonéaux pourrait être un bon indicateur pour évaluer la gravité des dommages ischémiques à l'abomasum (Grosche et coll., 2012).

## **1.7 Valeur pronostique de la lactatémie chez le bovin**

Ainsi, la lactatémie s'est avérée être un bon indicateur pronostique chez différentes espèces animales et pour diverses maladies dont certaines avaient une physiopathologie similaire aux dilatations et volvulus de la caillette chez le bovin. Dans cette section du mémoire, la valeur pronostique de la lactatémie chez l'espèce bovine sera spécifiquement traitée et les connaissances actuelles disponibles pour cette espèce seront présentées.

### **1.7.1 Problèmes respiratoires**

Bien que peu d'études aient été réalisées afin de déterminer la valeur pronostique de la lactatémie chez le bovin, cette dernière variable semble être un bon indicateur de mortalité chez les animaux souffrant de problèmes respiratoires. En fait, dans leur forme avancée, les maladies respiratoires rendent les animaux hypoxémiques et hypercapniques en raison des défauts de ventilation, de perfusion et de diffusion des gaz (dioxyde de carbone et oxygène) au niveau pulmonaire et la lactatémie tend à être plus élevée chez les animaux qui mouraient dans les 24 heures (2.8 mmol/L) par rapport à ceux qui ont survécus > 24 heures (1.3 mmol/L) (Nagy et coll., 2006). De plus, 91.4% des veaux qui ont survécus > 24 heures avaient une lactatémie inférieure à l'intervalle de référence (< 2.2 mmol/L) reconnue dans cette étude (Nagy et coll., 2006). Une autre étude a également déterminé qu'une lactatémie > 3.6 mmol/L permettait de prédire avec assez de fiabilité (90.9% de mortalité) la mort des veaux souffrant de pneumonie dans les 24 heures suivant la prise de sang (sensibilité de 95% et spécificité de 96% pour une proportion d'animaux morts de 20.2%) alors que c'était le cas pour 2.3% des veaux qui avaient une lactatémie  $\leq$  3.6 mmol/L (Coghe et coll., 2000). À la lumière de ces études, l'augmentation de la lactatémie lors de bronchopneumonie serait un prédicteur de la mortalité des animaux dans les 24 heures suivant le prélèvement. Ainsi, la mesure de lactatémie pourrait être un test pertinent à réaliser afin d'aider les éleveurs aux prises avec la décision économique de cibler les animaux qui devraient être traités (Coghe et coll., 2000, Nagy et coll., 2006).

### 1.7.2 Problème de la caillette à droite

Par ailleurs, l'utilité de la lactatémie en préopératoire est de plus en plus étudiée chez le bovin souffrant de dilatation ou de volvulus de la caillette. Au même titre que le pH, les bicarbonates et l'excès de base qui diminuent en phase terminale, l'augmentation de la lactatémie est un indicateur d'acidose métabolique. Cependant, contrairement à ces variables qui pourront avoir des valeurs normales dans les stades avancés de la maladie en raison de déséquilibres mixtes (acidose métabolique surimposée à l'alcalose métabolique ou hypochlorémie moins importante en phase terminale), ce qui pourraient limiter leur utilité pronostique, la lactatémie, pour sa part, augmentera en fonction de la gravité de l'ischémie, de l'acidose et de la déshydratation chez l'animal (Fubini et coll., 1991, Smith et coll., 1990). L'augmentation de la lactatémie peut être également secondaire à un métabolisme hépatique anormal et à l'augmentation du métabolisme anaérobie en raison de l'hypovolémie et de la diminution de la perfusion tissulaire périphérique (Hjortkjaer et Svendsen, 1979a, Smith et coll., 1990). De plus, en raison de l'obstruction de l'apport vasculaire de la caillette lors d'un volvulus, une hypoperfusion locale se développe et une augmentation du métabolisme anaérobie, de la lactatémie et, éventuellement, la nécrose de l'abomasum pourra en découler (Figueiredo et coll., 2006). En fait, une étude a déterminé que la caillette contribue également à l'augmentation de la lactatémie lors de volvulus puisque la lactatémie de la veine gastro-épiplœique était plus élevée que la lactatémie de la veine jugulaire (Wittek et coll., 2004). Par ailleurs, il a été déterminé que les animaux présentant un volvulus de la caillette avaient une lactatémie plasmatique plus élevée (3.8 mmol/L) que l'intervalle de référence de vaches en santé établit à < 1.4 mmol/L (Constable et coll., 1998). Cette augmentation de la lactatémie plasmatique s'effectue parallèlement à l'augmentation des lactates péritonéaux et une forte corrélation existe entre ces deux variables lors de volvulus de la caillette (coefficient de corrélation = 0.9) (Grosche et coll., 2012). Ainsi, il a été déterminé que la concentration des lactates péritonéaux lors de volvulus de la caillette est plus élevée (6.5 mmol/L) que l'intervalle de référence (< 1.3 mmol/L) ce qui suggère que la mesure des lactates péritonéaux pourrait être un autre bon indicateur pour évaluer la gravité des dommages ischémiques (Grosche et coll., 2012). Étant donné que le lactate est une des molécules composant les anions résiduels, une augmentation de ce dernier peut indiquer une augmentation de la

lactatémie (Constable et coll., 1997, Oh et Carroll, 1977, Shull, 1978). Cependant, l'intérêt de mesurer directement la lactatémie vient de sa capacité à renseigner le clinicien sur l'état acido-basique, sur la perfusion tissulaire de l'animal et sur le degré d'ischémie cellulaire sans recourir à un calcul nécessitant quatre variables, comme c'est le cas pour les anions résiduels. De plus, bien que les anions résiduels, le pH et l'excès de base soient corrélés avec la lactatémie et puissent indirectement en évaluer la valeur, la lactatémie est une variable pertinente à mesurer directement puisque, en plus d'augmenter avec la gravité de la maladie, l'analyse ne requière pas nécessairement la proximité d'un laboratoire (Constable et coll., 1997, Figueiredo et coll., 2006, Fubini et coll., 1991).

Bien que l'utilité de la lactatémie soit de plus en plus étudiée chez le bovin, il n'en demeure pas moins que le nombre d'études qui ont tenté de déterminer la valeur pronostique de la lactatémie lors de problèmes de la caillette à droite est plutôt limité. Parmi ces études, la majorité provient du milieu hospitalier et les conclusions sont difficilement extrapolables à la réalité d'un vétérinaire praticien. De plus, le devis rétrospectif de certaines études peut également introduire certains biais et limiter leur validité interne. Tout d'abord, il a été déterminé que la lactatémie augmente en phase terminale lorsque l'animal devient en acidose métabolique et deux vaches qui avaient un excès de base inférieur à 0 avaient des lactatémies de 11.1 et 14.7 mmol/L (Hjortkjaer et Svendsen, 1979a). De plus, il a été déterminé que des animaux en volvulus de la caillette ou ayant un problème de la caillette à droite (dilatation ou volvulus) avaient respectivement des lactatémies moyennes (4.8 mmol/L) et médianes (4.1 mmol/L) plus élevées que des animaux avec un déplacement de la caillette à gauche (respectivement 2 mmol/L et 1.2 mmol/L) (Figueiredo et coll., 2006, Wittek et coll., 2004). Ces résultats indiquent que les animaux avec un volvulus de la caillette voient leur lactatémie augmenter en raison de l'hypoxie cellulaire, de l'hypovolémie et de la diminution de l'apport d'oxygène, ce qui favorise le métabolisme anaérobie (Constable et coll., 1998). En règle générale, la lactatémie semble être un bon indicateur pronostique lors de problèmes de la caillette à droite puisque les animaux qui avaient une mauvaise évolution avaient des lactatémies médianes (5.9 mmol/L) ou moyennes (7.1 mmol/L) plus élevées que ceux qui avaient une évolution satisfaisante (respectivement 3.2 mmol/L et 5.4 mmol/L) (Figueiredo et coll., 2006, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a). La lactatémie est également significative dans un

modèle de prédiction lorsqu'elle est combinée avec la chlorémie et la fréquence cardiaque et pour chaque augmentation de 1 mmol/L de la lactatémie d'un animal souffrant de dilatation ou de volvulus de la caillette, la probabilité (intervalle de confiance 95%) d'avoir une évolution négative augmente de 1.28 (1.04 – 1.56) fois (Figueiredo et coll., 2006). De plus, cette étude a déterminé que la mesure de la valeur de la lactatémie préopératoire est un meilleur indicateur pronostique que la fréquence cardiaque dans les cas de problèmes de la caillette à droite (Figueiredo et coll., 2006). Cependant, une étude précédente semble être en désaccord avec la valeur pronostique de la lactatémie lors de volvulus de la caillette. Dans cette dernière, aucune différence n'a été observée entre la lactatémie des animaux productifs ( $4.5 \pm 3.9$  mmol/L) et les animaux non-productifs ( $3.5 \pm 2.4$  mmol/L) suite à l'intervention chirurgicale visant à rétablir la position de la caillette (Constable et coll., 1998). Concernant cette étude, il est d'intérêt de mentionner qu'une plus longue période de suivi postopératoire (12 mois) a été utilisée avant de déterminer si l'animal était productif ou non (Constable et coll., 1998). Bien que les études se contredisent face à la valeur pronostique de la lactatémie lors de problèmes de la caillette chez le bovin, il semble tout de même que les cas ayant des évolutions négatives ont de plus grandes probabilités d'avoir des valeurs de lactate augmentées.

À la lumière de cette revue de la littérature, il est possible de remarquer qu'il existe peu d'études dont l'objectif était de déterminer la valeur pronostique de la lactatémie lors de problèmes de la caillette à droite. Or, dans le contexte économique actuel, la détermination de facteurs pronostiques pour de telles pathologies devient d'intérêt puisque le pronostic est très variable selon le type d'affection et les conséquences économiques d'une mauvaise décision préopératoire peuvent être importantes (intervention chirurgicale chez un animal avec un mauvais pronostic). Les résultats chez les autres espèces (cheval, chien) suggèrent que la lactatémie est un bon indicateur pronostique lors de problèmes digestifs ischémiques. Chez le bovin atteint de problèmes de la caillette à droite cependant, les études disponibles quant à la valeur pronostique de la lactatémie et qui ont été réalisées en milieu hospitalier sont plutôt contradictoires. Par ailleurs, bien que certaines études réalisées en milieu hospitalier affirment que leurs conclusions pourront être utiles aux vétérinaires praticiens, aucune étude n'a encore été menée à la ferme dans le but de valider la pertinence de ce test complémentaire. Avec l'arrivée d'appareils portatifs relativement fiables, la mesure de la lactatémie à la ferme

pourrait être, pour le vétérinaire praticien, un outil accessible et objectif permettant d'établir un pronostic préopératoire précis en même temps que l'examen clinique est effectué. Afin de vérifier la valeur pronostique de la lactatémie en milieu hospitalier et d'évaluer l'intérêt de la lactatémie pour les problèmes de la caillette à droite traités à la ferme, des études spécifiques réalisées dans un contexte hospitalier et, ensuite, dans un contexte de médecine ambulatoire bovine sont donc nécessaires.

## **Hypothèses et objectifs de l'étude**

Notre hypothèse initiale était qu'une lactatémie préopératoire élevée chez des bovins souffrants de problèmes de la caillette à droite augmentait les probabilités d'avoir une mauvaise évolution postopératoire, autant dans un contexte hospitalier que dans un contexte ambulatoire.

Notre seconde hypothèse était que la lactatémie pouvait être combinée à des variables de l'examen clinique dans le but de procurer un pronostic plus précis lors de problèmes de la caillette à droite tout en apportant une information pronostique complémentaire pertinente dans un contexte hospitalier et ambulatoire.

L'objectif principal de cette étude était donc de déterminer si la lactatémie était un bon indicateur pronostique lors de problèmes de la caillette à droite chez des vaches laitières dans un contexte hospitalier et ambulatoire.

L'objectif secondaire de cette étude était de déterminer la valeur pronostique de la lactatémie, en complément de l'examen clinique, lors de problèmes de la caillette à droite chez des vaches laitières dans un contexte hospitalier et ambulatoire.

## **Chapitre 2 : Articles**

### **2.1 Short-term prognostic value of preoperative indicators in cattle with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus: 112 cases (2005-2011)**

Article à soumettre au Journal of Veterinary Internal Medicine

**Short-term prognostic value of preoperative indicators in cattle with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus: 112 cases (2005-2011)**

**G. Boulay, D. Francoz, E. Doré, S. Buczinski.**

From the Département des sciences cliniques, Faculté de médecine vétérinaire, Saint-Hyacinthe, Université de Montréal, Québec, Canada

Corresponding author: Guillaume Boulay, DMV

Clinique ambulatoire bovine, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal, C.P. 5000, Saint-Hyacinthe, Québec, Canada, J2S 7C6

**Running head:** Prognostic indicators in right abomasal disorders

**Keywords:** Dairy cow, abomasal disorder, lactate, postoperative outcome

## **Abstract**

Background: Right displaced abomasum (RDA) and abomasal volvulus (AV) are common surgical conditions in dairy cows which carry different prognosis. Preoperative prognosis may be challenging since clinical presentation cannot reliably differentiate AV from RDA.

Hypothesis/Objectives: Preoperative clinico-pathological values including tests that are inexpensive and rapidly assessed (L-lactate concentration (LAC) and heart rate (HR)) and other chemistry markers accessible in hospital settings can be used as predictors of the outcome for cows with RDA/AV.

Animals: 112 dairy cows from a referral hospital. Cows were included if RDA/AV was confirmed during surgery and if biochemistry panel and/or blood gas analysis results were performed upon admission.

Methods: Retrospective study. Univariate and multivariate logistic regressions modeling.

Results: Heart rate, anion gap, creatinine, LAC, pH, chloride and packed cell volume were associated with the prognosis in univariate analysis. Using a multivariate logistic regression model with LAC and HR as predictive variables, LAC was not significant ( $P = 0.16$ ). Each increment of 10 beats/min of HR increase the probability for a negative outcome (NO) by 50% (odds ratio; 95% confidence interval (OR; 95% CI) = 1.50; 1.06 – 2.11) while increment of each 1 mmol/L of LAC increase the probability for a NO by 12% (OR; 95% CI = 1.12; 0.96 – 1.30) for cows with RDA/AV.

Conclusion and clinical importance: This study confirmed that several variables have preoperative prognostic value. Although HR and LAC were identified as good individual predictors of NO for RDA/AV in a referral context, further studies are needed to assess the impact of these two readily available variables in an on-farm setting.

Right displaced abomasum (RDA) and abomasal volvulus (AV) are two challenging conditions occurring in cows, especially dairy cows.<sup>1</sup> Although AV will lead to various stages of hypovolemic and septic shock, preoperative clinical distinction of these two conditions is difficult to assess in less advanced stages of the volvulus.<sup>1</sup> Currently, final diagnosis of RDA or AV can only be obtained during surgical correction. Despite adequate surgical and medical treatment, the prognosis for cows with AV is lower than RDA. Previous studies reported that from 8.7 to 16.7 % of cows with RDA,<sup>2-4</sup> and from 25.2 to 42.2 % of cows with AV<sup>2-8</sup> have negative outcome (non-survivors and/or salvaged) in the postoperative period. Because of the cost associated with the surgical procedure and the postoperative care, prediction of an accurate prognosis before investing on a laparotomy becomes of primary importance, especially in commercial dairies.

In the past, various preoperative,<sup>1,2,7-10</sup> intra-operative,<sup>2,5,9,11,12</sup> and postoperative<sup>8,9,12,13</sup> clinico-pathological markers have been studied as prognostic factors in RDA/AV. Preoperative prognostic tests are, however, the most relevant category from an economical perspective since they may help the clinician and the producer decide whether or not treatments or surgery are indicated considering cow's probability of recovery and economic value. Generally, preoperative prognostic indicators in RDA/AV are used to assess the severity of hypovolemic shock (dehydration, heart rate (HR), packed cell volume (PCV), serum creatinine (Creat), L-lactate concentration (LAC)), the acido-basic status (blood pH, LAC, bicarbonates, base excess (BE), anion gap (AG)) or electrolytic variations (chloride (Cl), sodium (Na) and potassium). As results from previous studies evaluating the prognostic value of these markers are sometimes controversial,<sup>1,2,5-8,10, a</sup> further studies on these preoperative prognostic indicators are required in order to validate them as ancillary tests which would help practitioners suggest to owners whether or not to treat cows with RDA/AV.

Some of the preoperative indicators previously studied are, however, restricted to a hospital setting. For example, delay before obtaining the results (Creat, PCV, total solids) or costs associated with the procedure (Na, Cl, potassium, bicarbonate, BE, AG or pH) are both limitations for on-farm clinical application of these indicators. On the other hand, some ancillary tests are less expensive (hydration status, HR or LAC) or could be measured with

small hand-held portable devices (LAC)<sup>14,15</sup> and can consequently be used in a field setting. Blood LAC is of specific interest since it is an indicator of increased anaerobic glycolysis indicating cellular hypoperfusion which occurs during hypovolemia, tissue hypoxia, shock, sepsis or endotoxemia.<sup>16,17</sup> Since abomasal ischemia results in abomasal damage, which is associated with a poor prognosis,<sup>13</sup> LAC measurement seems to be of prognostic value in RDA/AV as recognized in previous studies,<sup>1,10</sup> but not in another one.<sup>a</sup>

First objective of the present study was to determine the usefulness of preoperative clinico-pathological tests that could be measured rapidly cow-side (HR, percentage of dehydration, ruminal contraction frequency and LAC) as short-term prognostic factors for cows with RDA/AV for field setting utilisation. A second objective of this study was to assess short-term preoperative prognostic value of markers from physical examination and ancillary tests in cows with RDA/AV for hospital setting utilisation.

## **Materials and methods**

Case selection – Medical records of mature dairy cows (first lactation and higher) examined at the Centre hospitalier universitaire vétérinaire (CHUV) of the Université de Montréal and archived with a diagnosis of RDA or AV from June 2005 to September 2011 were recruited in this retrospective study and reviewed. Cows were included in this study when the diagnosis of RDA or AV was confirmed by direct visualization or palpation during surgery, and blood gas analysis and/or complete biochemistry panels upon arrival were available.

Medical records review – The following information was obtained, if available, from the medical records: age, days in milk, surgical findings, type of abomasal fixation, short-term outcome (positive outcome (PO) – animal discharged from CHUV with good appetite, good milk production and normal postoperative evolution as judged by the clinician on the discharge file; salvaged – animal discharge alive from CHUV with poor appetite, poor milk production and unsatisfying postoperative evolution as judged by the clinician on the discharge file; nonsurvivors – animal that either died or were euthanized during hospitalisation). Data from physical examination, biochemistry and blood gas analyses

recognized for their prognostic value in previous reports were collected. Variables from physical examination were HR,<sup>1</sup> percentage of dehydration,<sup>8</sup> temperature,<sup>2</sup> and ruminal contraction frequency.<sup>8</sup> In medical records, hydration status was divided in 4 categories: no dehydration (< 5%), mild (5-7%), moderate (8-10%) and severe (> 10%). Variables from biochemistry panel were AG,<sup>7</sup> Creat,<sup>8</sup> Na,<sup>2,8</sup> Cl,<sup>2,5,8</sup> potassium,<sup>5</sup> and total CO<sub>2</sub>. Variables from blood gas analyses were pH,<sup>8</sup> LAC,<sup>1</sup> bicarbonate,<sup>2,5</sup> and BE.<sup>6,7</sup> Other variables were PCV determined by microcapillary technique,<sup>1,2</sup> and total solids determined by refractometry.<sup>2</sup>

### ***Statistical analysis***

Statistical analyses were performed with a commercial software package.<sup>b</sup> Because the mean values of studied variables in salvaged cows did not differ (Student t-test;  $P > 0.05$ ) from values in the nonsurvivors group and because the objective of this study was to identify good evolution from unsatisfying evolution, the salvaged and nonsurvivors groups were combined to form a negative outcome (NO) group. In all the following analyses, clinico-pathological values were the explanatory variables while the outcome of interest was the short-term PO or NO (salvaged and nonsurvivors). Furthermore, since it may be difficult to distinguish RDA from AV before surgery, these two categories were combined for further statistical analysis as previously described.<sup>1</sup>

Variables excluded – Explanatory variables were not considered for further analysis if data quality was questionable or if results from statistical analyses were obviously inconsistent.

Prognostic value of individual variables – Descriptive statistics were generated for cow's demographic and clinico-pathological data (Table 1). As only 2 animals were dehydrated > 10%, moderate and severe dehydration were grouped in a same category (> 7 %). Furthermore, since quality of medical records about ruminal contraction frequency was often questionable and inconsistent, this variable was not considered for further analyses. Prior to logistic regression modeling, clinico-pathological variables linearity with outcome was assessed. Briefly, data distributions of continuous variables were divided into quartiles. Mean of the explanatory variable and log odds of the outcome were calculated for each category and

results from the four quartiles were plotted graphically. Function order was then visually determined as either linear (1st order) or quadratic (2nd order).

Clinico-pathological variables (Table 2) were submitted to individual logistic regressions to determine those that were important prognostic indicators (PROC Genmod). Variables were entered into the regression considering their respective function order (i.e.; 1st or 2nd order) or as a categorical variable, and the dependent variable was the probability of NO. For percentage of dehydration, the category of cows dehydrated < 5 % was considered as the reference class.

Multivariate models building – Variables which had potential to predict NO (Table 2, individual logistic regression,  $P$ -value < 0.15) were kept for multivariate logistic regression modeling. First, a cow-side predictive model from physical examination (HR, percentage of dehydration and ruminal contraction frequency) and ancillary test (LAC) was built through backward elimination (PROC Genmod). Variables with highest  $P$ -value in the model were removed sequentially until none of the terms remaining in the final model had a  $P$ -value > 0.05. A hospital predictive model was also built via backward elimination with all significant (Table 2, individual logistic regression,  $P$ -value < 0.15) clinico-pathological variables (PROC Genmod). Variables with highest  $P$ -value in the model were removed sequentially until none of the terms remaining in the final model had a  $P$ -value > 0.05. In both models, a variable was considered confounding if log odds ratio from reduced model varied  $\geq 30\%$  after removal from the original model. Therefore, any confounding variable was later reintroduced into the model if the variable affected by this confounder remained in the final model.<sup>18</sup>

Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) were reported for individual and multivariate logistic regression models while estimates and Wald Chi-Square were reported for multivariate logistic regression models only. Odds ratio and 95% CI for HR, Creat and CI were rescaled for clinical convenience.

For statistically significant (Table 2,  $P$ -value < 0.05) linear (1st order) variables (i.e.; HR, AG, Creat, LAC and CI), tests characteristics (i.e.; sensibility, specificity, positive and negative predictive values) for arbitrary thresholds were assessed. In the current study,

positive predictive value corresponded to the probability that cows had NO when variables predicted so (i.e.; HR, AG, Creat, LAC above cut-points and Cl below cut-points). On the other hand, negative predictive value corresponded to the probability that cows had PO when variables predicted this issue (i.e.; HR, AG, Creat, LAC below cut-points and Cl above cut-points). Statistical significance of cut-points was assessed with Chi-Square analysis (PROC Freq).

For statistically significant (Table 2,  $P$ -value  $< 0.05$ ) linear (1st order) variables, predicted probabilities of NO obtained from individual logistic regression, and from multivariate logistic regression were plotted graphically. For every plot of the current study, predicted probabilities of NO were assessed according to the variable's range in the original data set and no or limited extrapolations were realized. Results of all statistical analyses were considered statistically significant when  $P$ -value  $< 0.05$ .

## **Results**

One hundred and thirty medical records were archived with a diagnostic of AV ( $n = 74$ ) or RDA ( $n = 56$ ) during the study period. Among these, 112 (70 AV and 42 RDA) met the criteria for inclusion in the study. Reasons for exclusion were normal abomasum position during surgery ( $n = 8$ ), no blood gas or biochemistry assessed upon arrival ( $n = 6$ ), no confirmation of diagnosis by surgery ( $n = 2$ ), pregnant heifer ( $n = 1$ ) and lost record ( $n = 1$ ). All cows were Holstein except 1 that was an Ayrshire. Descriptive information about study animals and clinico-pathological variables are presented by outcome in Table 1. Among NO, 10 cows were salvaged (8 AV and 2 RDA) and 19 were nonsurvivors (15 AV and 4 RDA).

### ***Prognostic value of individual variables***

Among continuous variables, all except pH, PCV, Na and total CO<sub>2</sub> which have a quadratic (2nd order) pattern, had a linear function (1st order) pattern in predicting probabilities of NO. Results for individual logistic regression analyses are listed from best to worst prognostic indicators in Table 2. Odds ratio in this table indicated, for example, that for 1 unit increment of LAC, risk of NO increased by 23%. Significant (pH, PCV and Na) and

non significant (total CO<sub>2</sub>) variables with quadratic function were listed in Table 2. Since OR of percentage of dehydration were illogical (i.e.; OR did not increase as percentage of dehydration increase; Table 2), this variable was not considered for further analyses.

In order to illustrate the prognostic value of significant variables (i.e.; HR, AG, Creat, LAC and Cl), predicted probabilities of NO after calculation with coefficient issuing from the logistic regression has been plotted graphically (Fig 1 to 5). Observation of these plots indicated that cows with HR > 115 beats/min (Fig 1) or AG > 30 (Fig 2) or Creat > 210 µmol/L (Fig 3) or LAC > 11 mmol/L (Fig 4) or Cl < 70 mmol/L (Fig 5) had more than 50% predicted probability of NO. Sensibility, specificity, positive and predictive values of arbitrary thresholds from these variables are presented in Table 3.

### ***Multivariate models building***

Cow-side multivariate logistic regression model was built with remaining available variables (HR and LAC). Addition of HR to LAC in the model resulted in LAC becoming not significant ( $P = 0.16$ ). Removal of LAC from original model produced a variation in log odds ratio of HR in the reduced model of 30.3%. Thus, LAC acted as a confounding variable on HR and this variable has been forced into the final model. This model is presented in Table 4. Predicted probabilities of NO from cow-side logistic regression model with HR as a continuous variable and LAC as 3 different categories are plotted graphically and presented in Fig 6. Observation of this plot indicate that cows with HR > 130 beats/min and LAC < 6 mmol/L or HR > 115 beats/min and LAC between 6 to 12 mmol/L or HR > 100 beats/min and LAC > 12 mmol/L had more than 50% predicted probability of NO.

Considering potential predictors of NO (HR, AG, Creat, LAC, pH, Cl, PCV and Na), hospital multivariate logistic regression model could not be achieved due to the small amount of RDA/AV which have a complete data set (33 cases).

### **Discussion**

The present study showed that HR, AG, LAC, Creat, Cl, pH and PCV were associated with the probabilities of NO in cattle with RDA/AV in a hospital setting. Although previous

studies have shown that rectal temperature,<sup>2</sup> serum potassium,<sup>5,8</sup> total solids,<sup>2</sup> and BE<sup>6-8,10</sup> can be associated with the probability of NO, this was not shown by our study. Among significant variables, some indicate metabolic acidosis (AG, LAC, pH), hypovolemia (HR, PCV), dehydration (Creat) or severity of upper gastro-intestinal obstruction (Cl) which all could be reliable prognostic indicators for RDA/AV. Graphical representation of the ability of these individual variables to predict the probability of NO (Fig 1 to 5) are valuable for clinical purpose. Therefore, these graphs could be consulted cow-side in order to help practitioner give an accurate prognosis for RDA/AV. Positive predictive values from some cut-points were similar to other studies which reinforce practical relevance of our proposed models. For example, positive predictive values (Table 3) were in accordance with previous studies for HR  $\geq 100$  beats/min,<sup>5,8</sup> or  $\geq 120$  beats/min,<sup>8</sup> AG  $\geq 30$ ,<sup>7</sup> and Cl  $\leq 95$  mmol/L,<sup>5,8</sup> or  $\leq 85$  mmol/L,<sup>7</sup> or  $\leq 75$  mmol/L.<sup>7</sup> Majority of these thresholds were indicative of high probabilities for a NO (i.e.; from 50 to 75%) which could be sufficient for a clinician to adapt his therapeutic plan and/or prepare owner for a guarded or poor prognosis.

Previous studies have also shown that multivariate logistic regression models could be used to predict outcome of cows with RDA/AV,<sup>1,9</sup> or AV.<sup>11</sup> Building a model which considers only AV could be useful to predict the outcome per-operatively because final diagnostic of AV is obtained mainly during surgical correction. Thus, this model is not useful as a preoperative prognostic aid in the decision to perform or not the surgical correction. Previous preoperative models available in RDA/AV cows combined HR, BE and Cl,<sup>9</sup> or HR, LAC and Cl.<sup>1</sup> Those models were suitable for hospital setting utilisation but were less adapted for on-farm clinical application. Building a complex preoperative predictive model of NO with variables from physical examination and ancillary tests for hospital setting utilisation was, however, a secondary objective of this study. In fact, the main objective of this study was to determine the usefulness of variables that are obtained rapidly and at low cost in a simple model that could be used cow-side by practitioners. Thus, due to the delay of time and the addition of cost associated with ancillary tests, adding more than two variables in a predictive model would limit cow-side use of such a model and make it less “user-friendly” to first line practical utilisation. Although this model was developed for on-farm utilisation, it was built from a referral population and could also be used in hospital setting.

A limit of this study was the exclusion of some physical examination variables from individual (ruminal contraction frequency) or multivariate (percentage of dehydration) logistic regression modeling. For ruminal contraction frequency, rumen atonia combined with a ruminal contraction frequency  $> 0$ /min, or ruminal hypermotility associated with normal ruminal contraction frequency (i.e.; 1 – 2 contractions/min) were some of the inconsistent situations encountered in medical records. In the case of percentage of dehydration, the reference class (i.e.;  $< 5\%$ ) was associated with higher probability for a NO in comparison with cows which were reported to be dehydrated 5 – 7% (Table 2). Inconsistent data quality is, however, a problem with retrospective studies. Prospective studies with uniform data collection would have been a solution to objectivate these variables which were recognized significant in a previous prospective study.<sup>8</sup>

In the present study, LAC was found to be associated with the prognosis through individual logistic regression model but not in the multivariate logistic regression model which also considered HR. Although this was an unexpected finding, it can be explained by several factors. First, increased HR can be associated with increased LAC since various causes of hyperlactatemia are also associated with tachycardia. Statistically, confounding was present between these two variables ( $\geq 30\%$  variation in log odds ratio) which implied that a part of HR predictive potential for NO could be explained by LAC and vice versa. Therefore, confounding was significant enough to justify the presence of LAC in the final logistic regression model.<sup>18</sup> Furthermore, the retrospective design of this study could also influence this finding. Animals which later had PO seemed to be less subjected to blood gas analysis (i.e.; LAC measurement) in comparison with RDA/AV that had NO (respectively 53.0% (95% CI; 42.3 – 63.7) and 69.0% (95% CI; 52.1 – 85.8)). Therefore, managing data from retrospective studies can be challenging especially when data from a subset of the population is missing, which could later affect the validity of individual and multivariate logistic regression models. Then, as only 58 cases had both HR and LAC available, lack of power could be another explanation for LAC not being significant in the multivariate model. Incomplete data sets were also a limit in building hospital multivariate model. In order to assess a logistic regression model with eight different predictors, complete sets of data from 90 cases would be required.<sup>18</sup> In this study, as only 33 cases had a complete data set, a model

with only two or three predictors could be validated. Therefore, further studies are needed to verify the prognostic value of variables which have demonstrated a potential to predict NO in this study (Table 2, individual logistic regression,  $P$ -value < 0.15) in a future multivariate logistic regression model.

Building an accurate predictive model for positive or negative outcome is the ultimate goal of any ancillary test. Comparing these ancillary tests or models with each other can help determine which test (i.e.; individual value or combination of variables) is the most useful to predict outcome. Prognosis establishment through utilisation of individual values or combination of clinico-pathological variables, however, relies solely on mathematical algorithms, and does not take into account other clinical variables which are currently available to help clinicians build their own prognosis. Therefore, clinical judgement is based on the interpretation, analysis and synthesis of many clinical data, including history and physical examination, which are sometimes subjective, and ancillary test results, and relies partly on practitioner's clinical experience.<sup>19,20</sup> The reliability of practitioner's judgement to predict postoperative outcome of RDA/AV, however, should be evaluated in further researches both under hospital and field conditions and compared with measurable predictive prognostic indicators. This type of evaluation would be the most interesting to objectivate the real benefit of any suggested prognostic indicator in comparison with the clinician's experience.

### **Acknowledgments**

The authors wish to thank Drs. Jérôme Carrier and Julie Arsenault for their contribution to the statistical analyses. This study was supported by the ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec through the Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies and by the Université de Montréal through the Pfizer fund for clinical research of the bovine ambulatory clinic.

## Footnotes

<sup>a</sup> Constable PD, Streeter RK, Koenig GR, Perkins NR. Blood L-lactate and pyruvate concentrations and lactate – pyruvate ratio in 41 cattle with abomasal volvulus. Proceedings of the XXth World Buiatrics Congress; 1998 July 5-10; Sydney, Australia. p. 121-23.

<sup>b</sup> SAS Institute Inc., Version 9.2, Cary, NC, USA

## References

1. Figueiredo MD, Nydam DV, Perkins GA, et al. Prognostic value of plasma L-lactate concentration measured cow-side with a portable clinical analyzer in Holstein dairy cattle with abomasal disorders. *J Vet Intern Med* 2006;20:1463-1470.
2. Fubini SL, Grohn YT, Smith DF. Right displacement of the abomasum and abomasal volvulus in dairy cows: 458 cases (1980-1987). *J Am Vet Med Assoc* 1991;198:460-464.
3. Kumper H. [Right displacement of the abomasum in cattle. 1. Pathogenesis, clinical course and prognosis]. *Tierarztl Prax* 1995;23:351-359.
4. Rohn M, Tenhagen BA, Hofmann W. Survival of dairy cows after surgery to correct abomasal displacement: 1. Clinical and laboratory parameters and overall survival. *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med* 2004;51:294-299.
5. Smith DF. Right-side torsion of the abomasum in dairy cows: classification of severity and evaluation of outcome. *J Am Vet Med Assoc* 1978;173:108-111.
6. Simpson DF, Erb HN, Smith DF. Base excess as a prognostic and diagnostic indicator in cows with abomasal volvulus or right displacement of the abomasum. *Am J Vet Res* 1985;46:796-797.
7. Garry FB, Hull BL, Rings DM, et al. Prognostic value of anion gap calculation in cattle with abomasal volvulus: 58 cases (1980-1985). *J Am Vet Med Assoc* 1988;192:1107-1112.
8. Constable PD, St. Jean G, Hull BL, et al. Preoperative prognostic indicators in cattle with abomasal volvulus. *J Am Vet Med Assoc* 1991;198:2077-2085.

9. Grohn YT, Fubini SL, Smith DF. Use of a multiple logistic regression model to determine prognosis of dairy cows with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus. *Am J Vet Res* 1990;51:1895-1899.
10. Hjortkjaer RK, Svendsen CK. Right abomasal displacement in dairy cows, clinical, clinical chemical and hemodynamic findings with special reference to prognosis and circulatory disturbance. *Nord Vet Med* 1979;31:(Suppl. II) 1-28.
11. Constable PD, St. Jean G, Hull BL, et al. Prognostic value of surgical and postoperative findings in cattle with abomasal volvulus. *J Am Vet Med Assoc* 1991;199:892-898.
12. Espersen G. Dilatation and displacement of the abomasum to the right flank, and dilatation and dislocation of the caecum. *Vet Rec* 1964;76:1423-1428.
13. Sattler N, Fecteau G, Helie P, et al. Etiology, forms, and prognosis of gastrointestinal dysfunction resembling vagal indigestion occurring after surgical correction of right abomasal displacement. *Can Vet J* 2000;41:777-785.
14. Coghe J, Uystepuyst C, Bureau F, et al. Validation and prognostic value of plasma lactate measurement in bovine respiratory disease. *Vet J* 2000;160:139-146.
15. Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM, van den Broek ETW, Spierenburg AJ. Evaluation of the usefulness of the portable device Lactate Pro for measurement of lactate concentrations in equine whole blood. *J Vet Diagn Invest* 2008;20:83-85.
16. Magdesian KG. Monitoring the critically ill equine patient. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2004;20:11-39.
17. Pang DS, Boysen S. Lactate in veterinary critical care: pathophysiology and management. *J Am Anim Hosp Assoc* 2007;43:270-279.
18. Dohoo IR, Martin SW, Stryhn H. *Veterinary epidemiologic research*, 2nd ed. Charlottetown, P.E.I.: VER Inc.; 2009;865.
19. Ferrero F, Nascimento-Carvalho CM. Clinical prediction rules and pediatric infectious diseases. *Pediatr Infect Dis J* 2012;31:628-629.
20. Thompson M, Van den Bruel A, Verbakel J, et al. Systematic review and validation of prediction rules for identifying children with serious infections in emergency departments and urgent-access primary care. *Health Technol Assess* 2012;16:1-100.

**Table 1.** Descriptive data of demographic, physical examination and laboratory variables for cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus presented by outcome.

Variable	PO (n = 83)		NO (n = 29)	
	n	Median (25 <sup>th</sup> – 75 <sup>th</sup> ) <sup>a</sup>	n	Median (25 <sup>th</sup> – 75 <sup>th</sup> ) <sup>a</sup>
Age (y)	79	4.5 (3.5–5.5)	27	4.5 (3.5–5.5)
DIM (d)	61	12 (7–30)	19	21 (7–150)
Heart rate (beats/min)	81	84 (72–100)	29	114 (100–120)
Rectal temperature (°C)	81	38.7 (38.3–39.2)	29	38.8 (38.2–39.1)
Ruminal contraction frequency (/min)	55	1 (0–2)	19	1 (0–1)
Dehydration (%)	58		26	
< 5	8	---	4	---
5 – 7	34	---	7	---
> 7	16	---	15	---
PCV (L/L)	72	35 (30–37)	24	35 (30–44)
Total solids (g/L)	72	73 (69–80)	24	75 (67–90)
Serum biochemistry	65		23	
Anion gap		20.6 (17.3–23.9)		25.8 (19.3–33.9)
Creatinine (µmol/L)		101 (84–118)		122 (97–250)
Chloride (mmol/L)		93.7 (87.7–98.3)		86.7 (78.7–92.6)
Sodium (mmol/L)		137.8 (136.1–140.5)		137.2 (131.7–140.7)
Potassium (mmol/L)		3.7 (3.2–4.1)		3.6 (3.3–3.9)
Total CO <sub>2</sub> (mmol/L)		27.9 (25.0 – 32.2)		28.6 (22.3 – 36.9)
Blood gas	43		20	
L-lactate (mmol/L)		4.2 (2.3–7.0)		10.7 (5.6–14.0)
pH		7.47 (7.43–7.50)		7.46 (7.38–7.52)
Bicarbonate (mmol/L)		28.8 (23.8–35.6)		28.6 (24.8–37.6)
Base excess (mmol/L)		3.9 (-0.7–11.5)		4.4 (-0.1–14.5)

PO, positive outcome; NO, negative outcome; DIM, days in milk; PCV, packed cell volume.

<sup>a</sup> Results listed as median (25<sup>th</sup> – 75<sup>th</sup> percentile values).

**Table 2.** Individual logistic regression models of association between physical examination and clinico-pathological variables with risk of negative outcome for cows with right-sided abomasal disorders.

Variable	n	Odds ratio	95% CI	<i>P</i>
Heart rate (10 beats/min)	110	1.67 <sup>c</sup>	1.32 – 2.13	< 0.001
Anion gap	88	1.14	1.06 – 1.24	< 0.001
Creatinine (10 µmol/L)	88	1.16 <sup>c</sup>	1.05 – 1.25	< 0.001
L-lactate (mmol/L)	60	1.23	1.08 – 1.41	< 0.001
pH <sup>a</sup>	63	---	---	
pH				0.001
pH*pH				0.001
Chloride (5 mmol/L)	88	0.77 <sup>d</sup>	0.63 – 0.94	0.007
Dehydration (%) <sup>b</sup>	84			0.016
> 7		1.87	0.47 – 7.54	
5 – 7		0.41	0.10 – 1.76	
< 5		Reference		
PCV (%) <sup>a</sup>	96	---	---	
PCV				0.035
PCV*PCV				0.019
Sodium (mmol/L) <sup>a</sup>	88	---	---	
Na				0.051
Na*Na				0.054
Total CO <sub>2</sub> (mmol/L) <sup>a</sup>	88	---	---	
Tot CO <sub>2</sub>				0.15
Tot CO <sub>2</sub> *Tot CO <sub>2</sub>				0.14
Total solids (g/L)	96	1.03	0.98 – 1.07	0.25
Bicarbonate (mmol/L)	63	1.01	0.96 – 1.08	0.64
Base excess (mmol/L)	62	1.01	0.96 – 1.07	0.67
Potassium (mmol/L)	88	1.06	0.52 – 2.16	0.87
Rectal temperature (°C)	110	0.97	0.51 – 1.85	0.93

CI, confidence interval; PCV, packed cell volume.

<sup>a</sup> Quadratic function.

<sup>b</sup> Categorical variable.

<sup>c</sup> Odds ratio for a negative outcome by 10 units increment.

<sup>d</sup> Odds ratio for a negative outcome by 5 units increment.

**Table 3.** Characteristics of different cut-points for heart rate, anion gap, creatinine, L-lactate and chloride concentrations to predict negative outcome in cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus.

Cut-point	n	NO (%)	<i>P</i>	Se (95% CI)	Sp (95% CI)	PPV (95% CI)	NPV (95% CI)
HR (beats/min)	110	26.4					
≥ 80 vs < 80			0.050	82.8 (69.0 – 96.5)	37.0 (26.5 – 47.6)	32.0 (21.4 – 42.6)	85.7 (74.1 – 97.3)
≥ 100 vs < 100			< 0.001	75.9 (60.3 – 91.4)	72.8 (63.2 – 82.5)	50.0 (35.2 – 64.8)	89.4 (82.0 – 96.8)
≥ 120 vs < 120			< 0.001	44.8 (26.7 – 62.9)	93.8 (88.6 – 99.1)	72.2 (51.5 – 92.9)	82.6 (74.9 – 90.4)
≥ 135 vs < 135			0.005	17.2 (3.5 – 31.0)	98.8 (96.4 – 100)	83.3 (53.5 – 100)	76.9 (68.8 – 85.0)
Anion gap	88	26.1					
≥ 25 vs < 25			0.006	52.2 (31.8 – 72.6)	78.5 (68.5 – 88.5)	46.2 (27.0 – 65.3)	82.3 (72.7 – 91.8)
≥ 30 vs < 30			< 0.001	34.8 (15.3 – 54.2)	95.4 (90.3 – 100)	72.7 (46.4 – 99.0)	80.5 (71.7 – 89.4)
≥ 34 vs < 34			0.004	21.7 (4.9 – 38.6)	98.5 (95.5 – 100)	83.3 (53.5 – 100)	78.0 (69.1 – 87.0)
Creat (µmol/L)	88	26.1					
≥ 130 vs < 130			0.006	43.5 (23.2 – 63.7)	86.2 (77.8 – 94.6)	52.6 (30.2 – 75.1)	81.2 (71.9 – 90.4)
≥ 200 vs < 200			< 0.001	34.8 (15.3 – 54.2)	95.4 (90.3 – 100)	72.7 (46.4 – 99.0)	80.5 (71.7 – 89.4)
≥ 250 vs < 250			0.001	26.1 (8.1 – 44.0)	98.5 (95.5 – 100)	85.7 (59.8 – 100)	79.0 (70.1 – 87.9)
LAC (mmol/L)	60	31.2					
≥ 6 vs < 6			0.020	73.7 (53.9 – 93.5)	58.5 (43.5 – 73.6)	45.2 (27.6 – 62.7)	82.8 (69.0 – 96.5)
≥ 9 vs < 9			< 0.001	57.9 (35.7 – 80.1)	85.4 (74.5 – 96.2)	64.7 (42.0 – 87.4)	81.4 (69.8 – 93.0)
≥ 12 vs < 12			0.003	42.1 (19.9 – 64.3)	92.7 (84.7 – 100)	72.7 (46.4 – 99.0)	77.6 (65.9 – 89.2)
Cl (mmol/L)	88	26.1					
≤ 95 vs > 95			0.021	82.6 (67.1 – 98.1)	44.6 (32.5 – 56.7)	34.5 (22.0 – 47.1)	87.9 (76.7 – 99.0)
≤ 85 vs > 85			0.006	47.8 (27.4 – 68.2)	81.5 (72.1 – 91.0)	47.8 (27.4 – 68.2)	81.5 (72.1 – 91.0)
≤ 75 vs > 75			0.049	21.7 (4.9 – 38.6)	93.8 (88.0 – 99.7)	55.6 (23.1 – 88.0)	77.2 (68.0 – 86.5)

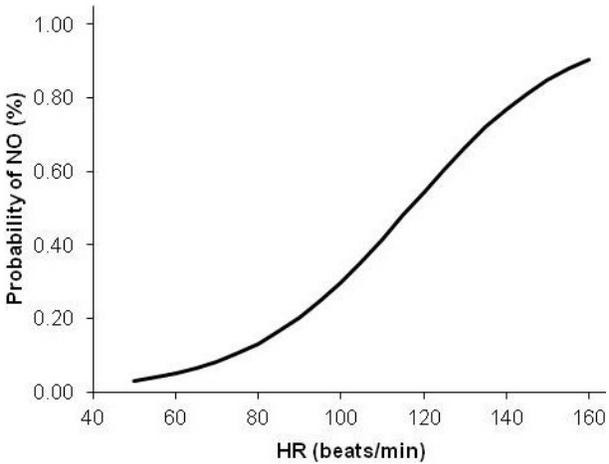
HR, heart rate; Creat, creatinine; LAC, L-lactate; Cl, chloride; NO, negative outcome; Se, sensitivity; CI, confidence interval; Sp, specificity; PPV, positive predictive value; NPV, negative predictive value.

**Table 4.** Multivariate logistic regression equation model of association between heart rate and L-lactate with risk of negative outcome in 58 cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus.

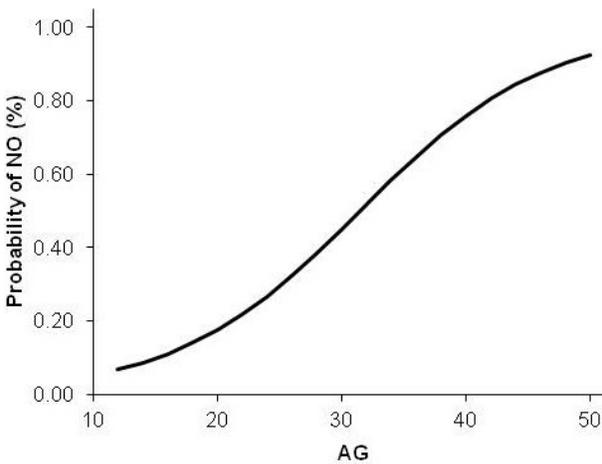
Variable	Estimate	Wald Chi-Square	<i>P</i> > Chi-Square	Odds ratio	95% CI
Intercept	- 5.62	11.0	< 0.001		
HR (10 beats/min)	0.40	5.3	0.02	1.50 <sup>a</sup>	1.06 – 2.11
LAC (mmol/L)	0.11	2.0	0.16	1.12	0.96 – 1.30

HR, heart rate; LAC, L-lactate; CI, confidence interval.

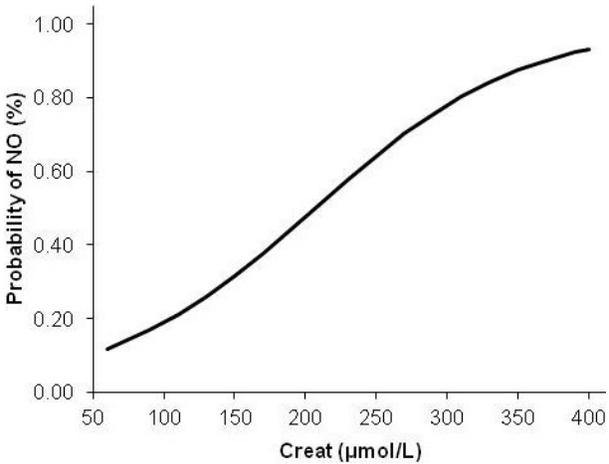
<sup>a</sup> Odds ratio for a negative outcome by 10 units increment.



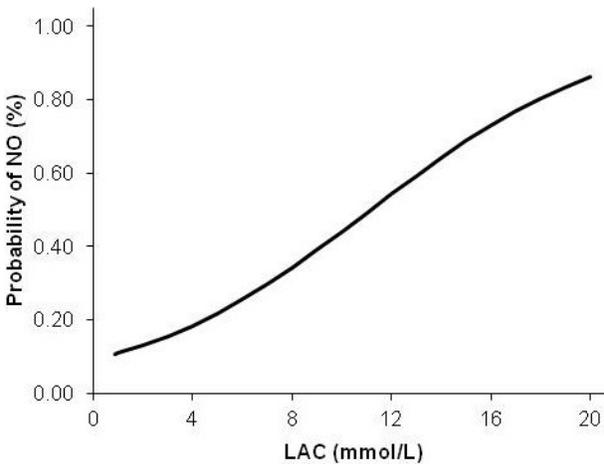
**Fig 1.** Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of heart rate. Heart rate was a significant preoperative prognosis indicator for cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus ( $P < 0.001$ ). NO = negative outcome; HR = heart rate.



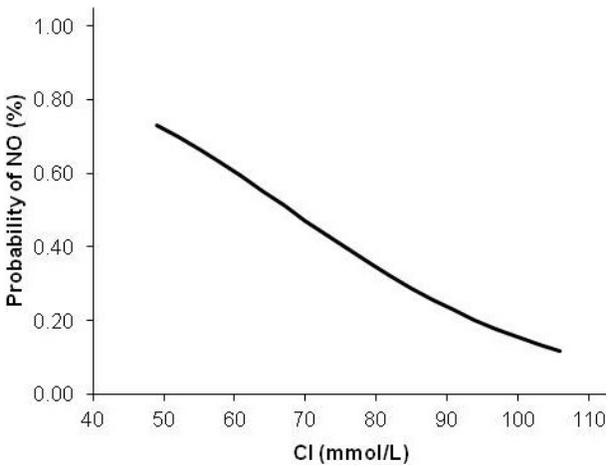
**Fig 2.** Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of anion gap. Anion gap was a significant preoperative prognosis indicator of cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus ( $P < 0.001$ ). NO = negative outcome; AG = anion gap.



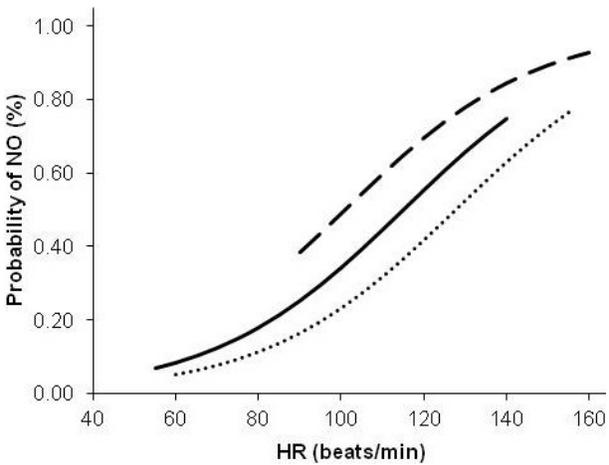
**Fig 3.** Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of creatinine. Creatinine was a significant preoperative prognosis indicator of cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus ( $P < 0.001$ ). NO = negative outcome; Creat = creatinine.



**Fig 4.** Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of L-lactate concentration. L-lactate concentration was a significant preoperative prognosis indicator of cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus ( $P < 0.001$ ). NO = negative outcome; LAC = L-lactate concentration.



**Fig 5.** Plot of probability of negative outcome predicted by the logistic regression model of chloride. Chloride was a significant preoperative prognosis indicator of cows with right displaced abomasum or abomasal volvulus ( $P = 0.007$ ). NO = negative outcome; Cl = chloride.



**Fig 6.** Plot of probability of negative outcome predicted by logistic regression model combining heart rate and L-lactate concentration; heart rate is the continuous variable and L-lactate concentration is presented as 3 different categories: L-lactate concentration < 6 mmol/L (dotted line),  $6 \leq$  L-lactate concentration  $\leq$  12 mmol/L (bolded line) and L-lactate concentration > 12 mmol/L (dashed line). NO = negative outcome; HR = heart rate.

## **2.2 Preoperative value of a cow-side lactatemia measurement to predict negative outcome in Holstein dairy cattle with right abomasal disorders**

Article à soumettre au Journal of Dairy Science

## INTERPRETIVE SUMMARY

**Predicting negative outcome of right abomasal disorders using plasma lactate.** *By Boulay et al.* The usefulness of preoperative L-lactate concentration, in addition to heart rate measurement, as a predictor of surgical failure for right displaced abomasum or abomasal volvulus in dairy cattle was evaluated. L-lactate concentration was found to be a valuable prognosis indicator, and the combination with heart rate improved surgical failure predictive accuracy in comparison with heart rate alone. L-lactate thresholds indicating benefit of treatment versus culling of animal suffering from these pathologies were identified.

Running head: LACTATE AND ABOMASAL DISORDERS OUTCOME

**Preoperative value of a cow-side lactatemia measurement to predict negative outcome in Holstein dairy cattle with right abomasal disorders**

**G. Boulay<sup>\*</sup>, D. Francoz<sup>\*</sup>, E. Doré<sup>\*</sup>, S. Dufour<sup>†, ‡</sup>, M. Veillette<sup>\*</sup>, M. Badillo<sup>\*</sup>, A.-M. Bélanger<sup>\*</sup>, S. Buczinski<sup>\*</sup>**

\*Département de sciences cliniques and

†Département de pathologie et microbiologie, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal, C.P. 5000, St-Hyacinthe, Québec, Canada, J2S 7C6

‡Canadian bovine mastitis research network, C.P. 5000, St-Hyacinthe, Québec, J2S 7C6, Canada

**Corresponding author: Guillaume Boulay**

Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal,  
C.P. 5000, St-Hyacinthe, Québec, Canada, J2S 7C6

Tel: +1 (450) 773-8521 ext: 15986

Fax: +1 (450) 778-8120

## **ABSTRACT**

The objectives of the current study were to determine the prognostic value of preoperative L-lactate concentration (**LAC**) measured on farm with a portable clinical analyzer for cows with right displaced abomasum (**RDA**) or abomasal volvulus (**AV**), to evaluate if a pre-surgical LAC measurement would improve significantly the preoperative prognosis that can already be established with an objective physical examination value (i.e.; heart rate (**HR**)), and to suggest LAC clinical relevant thresholds. A cohort of 102 cows which had on farm surgical diagnostic of RDA or AV was obtained from June 2009 through December 2011. Blood was drawn from coccygeal vessels prior to the surgery and plasma LAC was immediately measured with a portable clinical analyzer. Dairy producers were interviewed by phone 30 d following surgery and outcome determined: surgical success (**SS**) if the owner was satisfied of the overall evolution 30 d postoperatively; surgical failure (**SF**) if the cow was culled, died or if the owner reported to be unsatisfied 30 d postoperatively. The area under the curve (**AUC**) of the receiver operating characteristic (**ROC**) curve for LAC alone was 0.92 and was significantly higher than the AUC of the ROC curve of HR alone (0.77) which indicates that LAC, in general, performed better than HR alone to predict SF. The ability to predict SF was, however, significantly improved when LAC measurement was taken into consideration in addition to the already available HR. The AUC of the ROC curve of the model with LAC and HR was 0.93 and was higher than the AUC of the ROC curve of the model with HR solely (0.77). Values of LAC were selected as potential thresholds because important reduction (2 mM/L) and maximal reduction (6 mM/L) of misclassification cost term were observed at these cut-points. These thresholds had a sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value for predicting SF of 76.2, 82.7, 53.3 and 93.1%, and of 28.6, 97.5, 75 and 84% respectively. A  $LAC \leq 2$  mM/L seemed to be a good indicator of SS and would be useful to support a surgical decision. Treatment decision of cows with LAC between 2 and 6 mM/L was, however, dependent of the economic context. On the other hand, there is no economic advantage to perform a surgery on commercial cows with RDA/AV that have  $LAC \geq 6$  mM/L and these animals should potentially be culled according to their high probability of SF.

**Key words:** Dairy cow, abomasal disorder, lactate, prognosis

## INTRODUCTION

Abomasal displacement is among the most commonly encountered surgical disorder in modern dairy herds (Shaver, 1997) and associated treatments and milk loss can have a substantial impact on dairies profitability (Cameron et al., 1998, Detilleux et al., 1997, Grohn et al., 1998, Shaver, 1997). Unlike left displaced abomasum (**LDA**) and right displaced abomasum (**RDA**), abomasal volvulus (**AV**) is a life-threatening condition and may lead to a negative outcome due to ischemic lesions to the abomasum, peritonitis or vagal nerve damage (Sattler et al., 2000). To control the economic losses associated with abomasal disorders, early identification and culling of animals that are at higher risk of developing a negative outcome would be of interest. Negative outcome has been reported to range from 12 to 18% of cases for LDA (Figueiredo et al., 2006, Rohn et al., 2004, Roy et al., 2008, Sterner et al., 2008), 8.7 to 16.7% for RDA (Figueiredo et al., 2006, Fubini et al., 1991, Kumper, 1995, Rohn et al., 2004), and 25.2 to 65.0% for AV (Boucher and Abt, 1968, Constable et al., 1991a, Constable et al., 1998, Figueiredo et al., 2006, Fubini et al., 1991, Gabel and Heath, 1969, Garry et al., 1988, Kumper, 1995, Rohn et al., 2004, Simpson et al., 1985, Smith, 1978). Due to the abnormal position of the abomasum against the left abdominal wall, clinical diagnosis of LDA is relatively straightforward. For right-sided abomasal disorders, however, it is almost impossible to differentiate with absolute certainty RDA from AV with a routine physical examination, and, most of the time, final diagnosis must be established through surgical exploration (Smith, 1987, Smith et al., 1982, Trent, 1990). As the prognosis of these disorders differ, it would be very helpful to have pre-surgical indicators that could assist the veterinary practitioner in predicting outcome of these cows.

To date, few pre-surgical clinical variables have been identified as potential prognostic tools in cases of RDA/AV. Among these, heart rate (**HR**) (Constable et al., 1991a, Hjortkjaer and Svendsen, 1979, Smith, 1978) and hydration status (Constable et al., 1991a, Hjortkjaer and Svendsen, 1979) have been suggested as the most valuable. Hydration status is, however, a subjective measure and, despite the presence of guidelines to estimate dehydration percentage, evaluation of this clinical sign can yield variable results between practitioners (Radostits et al., 2007). Heart rate, on the other hand, is usually considered as the most objective and best prognostic indicator that can be obtained prior to surgery. Increased HR is

associated with decreased chances of recovery under referral hospital conditions (Constable et al., 1991a, Grohn et al., 1990). In fact, 56% of AV with HR  $\geq$  100 beats/min were salvaged, euthanized or died in course of hospitalisation while it was the case for 12 to 25% of AV with HR < 100 beats/min (Constable et al., 1991a, Smith, 1978). The determination of HR is routinely done as a part of the physical examination of a sick animal by the veterinarian, so its inclusion as a prognostic factor can easily be applied on a farm setting. Nevertheless, HR can be modulated by many factors and this variable has been shown to be less specific in its intermediate range of values (i.e.; between 90 – 120 beats/min) (Radostits et al., 2007). For these reasons, the development of an ancillary test that could help practitioners to establish more precisely a pre-surgical prognostic in case of RDA/AV would be of value.

Various blood markers have been linked with prognosis in cows with RDA/AV. These variables are indicators of the severity of metabolic acidosis/hypoperfusion (anion gap, L-lactate concentration (**LAC**), bicarbonate, pH and creatinine), or the importance of abomasal stasis (chloride). Most of these markers except LAC cannot be assessed rapidly and at low cost on the farm. L-lactate is produced under normal stage of anaerobic metabolism such as exercise, trembling, and excessive muscular activity but concentration can increase under pathologic conditions due to poor systemic tissue perfusion, reduced peripheral perfusion (Bakker et al., 1996, Bernardin et al., 1996, Weil and Afifi, 1970) as well as local hypoperfusion (Liao et al., 1995, Wittek et al., 2004). Higher LAC have been associated with poor outcome in dogs with gastric dilatation and volvulus (de Papp et al., 1999, Zacher et al., 2010) and in horses with colic (Delesalle et al., 2007, Johnston et al., 2007, Moore et al., 1976). A recent study on cows with RDA and AV conducted in hospital settings has shown a substantial prognostic potential for this metabolite (Figueiredo et al., 2006) and, thus, LAC could potentially be used to establish a prognosis for RDA/AV. With the recent availability of L-lactate portable clinical analyzer (**PCA**), LAC can now be measured on farm with results available in one minute at low cost (< \$3.00 US or CAN).

Currently, no field study has evaluated the potential of L-lactate as a complementary diagnostic tool that could be used to establish a pre-surgical prognosis for on farm RDA/AV. Consequently, the objectives of this study were: (1) to determine the prognostic potential, the

test characteristics, and to suggest threshold values for L-lactate measurement when used on farm with a PCA as a prognostic indicator for cows with RDA/AV; and (2) to evaluate if a pre-surgical L-lactate measurement would improve in a significant manner the pre-surgical prognosis that can already be established with HR.

## **MATERIALS AND METHODS**

### ***Study Population***

From June 2009 through December 2011, all mature cows (first lactation and higher) presented to the bovine field service of the Faculté de médecine vétérinaire of the Université de Montréal and for which a diagnosis of RDA or AV was suspected based on presence of a typical right-sided tympanic resonance were recruited in this cohort study. This study was approved by the Comité d'éthique sur l'utilisation des animaux de la Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal. The cows were enrolled in the study if the diagnosis of RDA/AV was confirmed by explorative laparotomy and excluded if another diagnosis (ileus, duodenal sigmoid flexure volvulus) was found during surgery. Duodenal sigmoid flexure volvulus was excluded from this study because this condition could be differentiate clinically from a RDA/AV (Vogel et al., 2012). Cows were also excluded from this study if they had been previously treated for another medical condition in days (< 7 days) before finally developing a RDA/AV. Information on participating cows was collected by veterinarians during farm visits and recorded on data sheets. Collected data included cow identification, parity, stage of lactation, and general physical examination findings.

### ***Lactate measurements***

Blood was drawn from coccygeal vessels prior to surgery and before institution of any treatment. Plasma LAC was immediately measured with a PCA (Lactate Pro, Arkray KDK, Kyoto, Japan). This PCA has been found accurate and reliable when compared with the method of reference in bovine species (Doré et al., 2010). L-lactate measurement with this PCA requires the transformation of this molecule in the sample. Lactate reacts with potassium ferricyanide and lactate oxidase to form potassium ferrocyanide and pyruvate. Upon

application of a given voltage, ferrocyanide is oxidised, releasing electrons and creating a current. This current is measured amperometrically and is directly proportional to the lactate concentration of the sample (Tanner et al., 2010). Sample analysis time is 60 s and this PCA displays lactate concentrations from 0.8 to 23.3 mM/L. Values out of that range are reported as “HI” if more than 23.3 mM/L or “LO” if under 0.8 mM/L. Lactate concentration was noted by owner or by a veterinary student and the clinicians were blinded to the L-lactate measurement to avoid any impact on case management. Surgery was then performed and the type of surgical technique used and treatments administered during the farm visit were recorded.

### ***Surgical Findings***

Laparotomy in the right paralumbar fossa under regional anesthesia was performed on all cows. Differentiation between RDA, AV, or other conditions was established by direct visualization of the stomach compartment at the time of surgery. A RDA was defined as abnormal enlargement of the abomasum attributable to gas or gas and fluid, such that the greater curvature of the body of the abomasum had become displaced dorsally, and the lesser curvature was positioned ventrally (Fubini et al., 1991). Furthermore, cows with obstruction of the cranial part of the duodenum (Fubini et al., 1991), or for which a clockwise rotation of the abomasum during gas decompression was observed (Constable et al., 1991b), were not considered as having a RDA. An AV was diagnosed whenever a distinct twist of the abomasoduodenal loop, with or without a variable degree of omasal involvement was identified, when the cranial part of the duodenum coursed between the rumino-omasal or the omaso-abomasal junction (Fubini et al., 1991), or when surgical correction required clockwise rotation of the abomasum (when viewed from the right side of the animal) (Constable et al., 1991b). Diagnosis and surgical correction were made by 10 different surgeons who had 2 to 12 years of clinical experience. In all but 2 cows that died during surgery, abomasal position was corrected and stabilized by omentopexy with or without pyloropexy depending on the surgeon’s preference and omental integrity. In all instances, surgeries were conducted as suggested in the literature (Fubini and Ducharme, 2004).

### ***Follow-up***

Dairy producers were interviewed by phone by the first author (GB) 30 d following surgery. Owners were asked to provide the following information: whether the cow was alive or dead; whether she was still in the herd; whether or not appetite and milk production were in the expected range of contemporary herd mates (from 0% to 100%); and whether the owner was satisfied or not with the animal evolution. If the cow was culled from the herd, the owner was asked when she was culled, the reason for culling and if it was related with the initial digestive problem.

### ***Statistical Analysis***

In all the following analyses, the outcome was success or failure of the surgery. A surgery was defined as successful (**SS**) if the owner was satisfied of the overall evolution 30 d postoperatively and as a failure (**SF**) if the cow was culled, died, or if the owner reported to be unsatisfied 30 d postoperatively. Such a case definition was chosen based on the assumption that the dairy producer would probably have decided not to have the surgery performed if he had known in the first place that he would later be unsatisfied of the results. In the following analyses the interest always resided in predicting failure of the surgery, since it was the outcome that one would want to avoid. For statistical considerations, an LAC of 0.79 mM/L was attributed to “LO” PCA L-lactate results.

First, descriptive statistics were calculated and distributions inspected for LAC and HR. Box-Cox transformations (Box and Cox, 1964) were evaluated for their ability to improve normality of the L-lactate distribution. Box-Cox transformations provided, in general, only relatively modest improvements of the normality and L-lactate measures were, therefore, kept on the original data set to facilitate interpretation of the results.

Difference in prevalence of SF between cows diagnosed with AV from those diagnosed with RDA was evaluated through logistic regression (quadrature approximation using 7 quadrature points, GLIMMIX procedure of SAS, SAS Institute Inc., version 9.2, Cary, NC). For medians LAC and HR, differences between SF and SS for RDA/AV, and AV and RDA specifically were assessed through Wilcoxon rank sum tests.

***Relevance of L-lactate Values to Predict Surgical Failure.*** In the current study, sensitivity (**Se**) was defined as the proportion of SF which was correctly identified as such by the L-lactate measurement. Specificity (**Sp**) was defined as the proportion of SS which were correctly identified as such using L-lactate. Characteristics of the L-lactate test across range of L-lactate values were explored. These analyses were realized to better inform dairy producers and practitioners on the practical prognosis value of a given L-lactate value in our study population. This was done by computing the Se, Sp, positive predictive value (**PPV**), and negative predictive value (**NPV**) across L-lactate values as indicated by Dohoo et al. (2009).

L-lactate receiver operating characteristic (**ROC**) curve taking into account clustering of observations by farms (quadrature approximation using 7 quadrature points, GLIMMIX procedure) was then drawn and visually compared to HR ROC curve (LOGISTIC procedure). Receiver operating characteristic curve is a graphical plot which illustrates the performance of a test to predict a binary outcome across all the range of possible threshold values. It is created by plotting the proportion of truly positive animals that are correctly identified by the diagnosis test (i.e.; Se) against the inverse of the proportion of truly negative animals that are correctly identified as negative by the test (i.e.;  $1 - Sp$ ) for all possible thresholds. Receiver operating curves approaching the upper left corner (perfect Se and Sp), have greater area under the curve (**AUC**) and are indicative of a very accurate test across the range of potential thresholds and for the prevalence of disease observed (Dohoo et al., 2009). In order to assess which variable was the most accurate to predict SF, AUC of LAC and HR were compared with the nonparametric approach of DeLong et al. (1988) (LOGISTIC procedure).

Furthermore, to determine potential L-lactate thresholds above which a surgical correction may be too costly considering the probability of a SS, plot of misclassification cost term (**MCT**) against range of L-lactate values were drawn and visually inspected for a range of different plausible false negative (**FN**) to false positive (**FP**) cost ratio (ranging from 1:1 to 1:10). Misclassification cost term can be used to select cut-off values that take into account that the financial cost or outcome of a FN may be more undesirable than a FP (or the other way around) and can be computed using the following formula (Greiner, 1996, Greiner et al., 2000):

$$MCT=(1-p)*(1-Sp) + rp(1-Se)$$

where  $p$  is the disease prevalence,  $Se$  and  $Sp$  are the test sensitivity and specificity and  $r$  is the FN: FP costs ratio. In the current study, the health cost of a FN (test indicated that surgery would be valuable but a SF occurred) were deemed to be  $\leq$  than that of a FP (test indicated that the cow should be culled, but the surgery would actually have been a success). In the first situation, the inappropriate decision would yield losses mainly from the unnecessary surgical correction and associated milk withdrawal time. In the case of a FP, cost for replacement of the inappropriately culled cow would be engaged, though a simple surgical correction may have actually solved the problem.

***Complementary Prognosis Value of L-lactate.*** Finally, to evaluate the usefulness of LAC measurement (when used with the proposed thresholds) to improve the prognosis that can already be established using the available HR, a log-likelihood ratio statistic comparing full model (LAC and HR) to reduced model (HR) was used. For this purpose, logistic models taking into account clustering of observations by farms were used with a maximum likelihood approximation (quadrature approximation using 7 quadrature points, GLIMMIX procedure). In order to assess which model (HR or HR and LAC) was the most accurate to predict SF, AUC of both models were compared with the nonparametric approach of DeLong et al. (1988) (LOGISTIC procedure). Results of all statistical analyses were considered significant when  $P$ -value  $< 0.05$ .

## RESULTS

During the study period, 113 Holsteins cows were presented with right-sided tympanic resonance and 103 of these cows had a RDA or AV and were, therefore, recruited. Of the 10 excluded cows, 3 were diagnosed with duodenal sigmoid flexure volvulus, 3 were diagnosed with RDA and duodenal sigmoid flexure volvulus, which was considered different than a simple RDA (Vogel et al., 2012), 2 were diagnosed with an ileus, 1 had an omasal impaction, and 1 had an unknown diagnosis. Of the 103 cows, 1 cow was excluded because she had been previously treated for ileus on numerous occasions before finally developing a RDA. The remaining 102 cows with RDA or AV were all included in the study. The included cows came

from 64 commercial dairy farms, milking between 25 and 230 cows (primarily Holstein cattle) and using mostly tie-stall housing ( $n = 53$ ). Most farms had only 1 case ( $n = 45$ ) but some had up to 5 cases during the study period. Of the 102 cows, 87 had an omentopexy, 12 had a pyloro-omentopexy, 1 had a pyloropexy and 2 died during surgery before any abomasal correction could be performed. Descriptive data from study population are presented in Table 1. All but 7 cows were in lactation. Surgical failure (SF; 95% CI) was significantly more frequent for AV (40%; 26 – 54) in comparison with RDA (5.3%; 0 – 11) ( $P = 0.005$ ). Median LAC was significantly higher in cows with SF (2.7 mM/L) than SS (0.8 mM/L) ( $P < 0.001$ ). Median HR was also significantly higher in cows with SF (100 beats/min) in comparison with SS (80 beats/min) ( $P < 0.001$ ). In cows with AV, medians LAC and HR were also significantly higher for SF (3.0 mM/L and 104 beats/min) than for SS (1.2 mM/L and 88 beats/min) (respectively  $P < 0.001$ , and  $P = 0.005$ ). In cows with RDA, no significant medians LAC or HR differences could be seen between SF (1.0 mM/L and 72 beats/min) and SS (0.8 mM/L and 80 beats/min) (respectively  $P = 0.66$ , and  $P = 0.25$ ).

### ***Relationship Between L-lactate, HR and Probability of a SF***

Relationships between LAC, HR and probability of a SF are presented in Figure 1. The probability of a SF was higher as LAC or HR increased. Furthermore, the association between LAC and probability of a surgical failure appeared to be constant across HR categories.

### ***Relevance of L-lactate Values to Predict SF***

Receiver operating characteristic (ROC) curves displaying the general characteristics of LAC as a prognostic indicator for SF is presented in Figure 2. The AUC (95% CI) of the ROC curve for LAC alone was 0.92 (0.87 – 0.97) and was significantly higher ( $P = 0.013$ ) than the AUC of the ROC curve of HR alone (0.77; 0.64 – 0.90) which indicates that LAC, in general, performed better than HR alone to predict SF. Prognostic predictive performance of LAC and HR were, however, relatively equivalent when cut-off values with high Sp ( $> 0.90$ ) were chosen (Figure 2).

Characteristics of L-lactate measurement as a diagnostic test to predict SF are presented in Figure 3. The PPV (i.e.; the probability that a cow really had SF when LAC would predict so) was quickly increasing up to a value of 50% (corresponding to a LAC of 2 mM/L). The PPV was then relatively stable between LAC from 2 to 4 mM/L and a second improvement was then seen up to a value of approximately 7 mM/L. No further improvement of the PPV could be observed with higher LAC cut-off. The NPV, on the other hand, slowly decreased to roughly 80% at LAC of 3 mM/L and remained stable afterward. Misclassification cost term across the range of L-lactate values and for FN: FP health cost ratios ranging from 1:1 to 1:10 are presented in Figure 3. In Figure 3, decrease of MCT percentage from 80% at LAC of 0.8 mM/L to 20% at LAC of 2 mM/L indicated that 60% of misclassification cost associated to FN and FP could be controlled by increasing LAC threshold. Very similar MCT behavior could be seen among the 3 FN: FP health cost ratios: firstly an important MCT reduction up to LAC of approximately 2 mM/L followed by an additional but relatively smaller MCT decrease up to LAC of approximately 6 mM/L. No important gain in misclassification cost term could be observed above LAC of 6 mM/L (Figure 3). Values of 2 mM/L and 6 mM/L, were therefore selected as potential cut-off for subsequent analyses since they corresponded to the inflection points where an important (at 2 mM/L) and then nearly all (at 6 mM/L) the misclassification costs could be controlled. Sensitivity, Sp, PPV and NPV of 76.2, 82.7, 53.3 and 93.1%, and of 28.6, 97.5, 75 and 84% were observed for 2 mM/L and 6 mM/L, respectively.

### ***Complementary Prognosis Value of L-lactate***

The ability to predict SF was significantly improved when LAC was taken into account in addition to the already available HR ( $P < 0.001$ ). The AUC (95% CI) of the ROC curve of the model with LAC and HR was 0.93 (0.87 – 0.99) and was higher ( $P < 0.001$ ) than the AUC of the ROC curve of the model with HR alone (0.77; 0.64 – 0.90) (Figure 2). Moreover, in comparison with the model with only HR, considering LAC in addition to HR improved the Se of the test at cut-off values yielding higher Sp which greatly improves accuracy when predicting SF, especially at intermediate LAC (i.e.; between 2 – 6 mM/L) and HR (i.e.; between 90 – 115 beats/min) values (Figure 2; Table 2). Therefore, combining LAC to HR

allows a better classification of the prognosis for intermediate HR values (i.e.; 90 – 115 beats/min) (Table 2). Thus, the proportion of cows that fall in the “grey zone” decreased from 31% (i.e.; HR: 90 – 115 beats/min) to 13% (i.e.; HR: 90 – 115 beats/min; L-lactate: 2 – 6 mM/L) by adding the measure of LAC.

## DISCUSSION

This study is the first to evaluate the use of LAC measurement as an ancillary test that could be used in combination with HR to establish a pre-surgical prognosis for cows with RDA/AV in farm settings. In the current study, clinicians were blinded to LAC and this value could not influence the therapeutic plan proposed and prognosis given to the owner.

Our results indicated that increased LAC was associated with increased probability of SF of cows with RDA/AV. Previous studies on prognostic importance of lactatemia have given conflictual results (Constable et al., 1998, Figueiredo et al., 2006, Hjortkjaer and Svendsen, 1979). The prognostic importance of lactatemia was found in one recent study (Figueiredo et al., 2006) but not in a previous one (Constable et al., 1998). This difference could be explained by the fact that a longer follow-up (12 months) period was used in Constable et al. (1998) study for outcome classification which could lead to increased number of culled for reasons unrelated to SF.

In the current study, two LAC thresholds seemed to stand out when predicting outcome for RDA/AV. Based on our results, a threshold value of  $LAC \geq 6$  mM/L could potentially be used to decide to cull a cow with RDA/AV instead of performing a surgical correction. Such a threshold was appropriately controlling nearly all of the health costs associated with diagnostic errors by optimizing the PPV and NPV values. Using such a threshold in a population similar to the one studied, a practitioner would have a 75% probability of taking the right decision when deciding to cull a cow rather than to perform the surgery (i.e.; PPV = 75%). The 6 mM/L threshold would, therefore, be particularly useful to support a culling decision. To support a surgical correction decision, on the other hand, a different threshold may perform better. In this case, a threshold of  $LAC \leq 2$  mM/L could be used to decide to treat a cow with RDA/AV. As can be seen from the MCT plot (Figure 3), with a 2 mM/L threshold, a large part

of the health costs associated with diagnostic errors was already controlled. With this threshold and in a population similar to the one studied, a practitioner would actually have a 93% probability of taking the correct decision when recommending a surgical correction of the abomasal disorder (i.e.; NPV = 93%). Thus, the 2 mM/L threshold would strongly support a decision to perform surgical correction of RDA/AV. In the current study, only 23% of the cows recruited would have fallen in the “grey zone” (between 2 and 6 mM/L). At these intermediate LAC values, the NPV was relatively stable at approximately 85%, but the PPV was rapidly increasing from 50 to 75% between LAC values of 4 to 6 mM/L. While a 50% probability of correctly recommending culling of a cow (at LAC from 2 to 4 mM/L) rather than surgical correction may seem like a leap of faith for many practitioners, PPV values between 50 and 75% may be sufficient in some instances and could also be considered.

The fact that the MCT curves vary little with the different FN: FP ratio investigated is rather comforting. This observation suggests that knowing the exact health costs involved would have little impact on the proposed cut-points, as long as the cost of a FN is deemed to be equal or lower than that of a FP. In fact, MCT curves are influenced by combined variation of PPV and NPV across L-lactate values. If the cost associated with a FP is deemed to be greater than that associated with a FN, then MCT curve is more strongly influenced by variation of the PPV. Nevertheless, in an economic context where animal price and costs for replacement are high (FN: FP ratio = 1:10), a decision to perform the surgery would be economically justified at  $LAC \leq 2$  mM/L, and decision to cull would be justified at  $LAC \geq 6$  mM/L. For LAC of 2 to 6 mM/L however, practitioner could inform owners of their cow’s probability of SF and let them choose to treat or not the animal. On the other hand, in an economic context where costs for replacement are low (FN: FP ratio = 1:1), a decision to perform a surgery on animals with  $LAC \leq 2$  mM/L is economically justified while culling animals with  $LAC > 2$  mM/L is also relevant. Although this last cut-point seems radical, it has been observed that 93.8% (95% CI; 82.8 – 98.7) of healthy early lactating Holstein cows had a  $LAC < 0.8$  mM/L as measured by a PCA, which suggest that normal lactatemia for healthy cows seems to be lower than the 2 mM/L threshold proposed (G. Boulay, unpublished data). Results from the current study suggest, however, that no matter the FN: FP ratio and, thus, the

economic context, there is no economic advantage to perform a surgery on commercial animals that have  $LAC \geq 6$  mM/L and a poor prognosis should be given to the owner.

Based on the ROC curves and their respective AUC, L-lactate seemed to be a better individual prognostic indicator than HR when considering the whole range of possible values. This observation that using only LAC is better than using only HR to predict surgical outcome of cows with RDA/AV has already been observed in another hospital-based study (Figueiredo et al., 2006). There are many physiologic or pathologic pathways that can increase HR without threatening animal survival which prove that this variable is certainly not specific to negative outcome of RDA and AV (Radostits et al., 2007). Heart rate, however, is an objective, inexpensive, and easily collected value, and this measure will always be available for dairy practitioners to establish a pre-surgical prognosis. For this latter reason, it is the authors' opinion that performance of L-lactate as an ancillary test should be assessed by comparing LAC and HR measurements together against HR measurement alone, as was done in the current study. When such a comparison was made, predicting the surgical outcome was significantly improved by the complementary LAC measurement and this gain was, in part, mediated by the gain in Se around threshold values yielding the highest Sp (Figure 2). Therefore, combining LAC to HR allows a better classification of the prognosis for intermediate HR values (i.e.; 90 – 115 beats/min) (Table 2) and decreased the proportion of cows falling in the “grey zone”. Consequently, depending on which categories of HR and LAC the animal suffering from RDA/AV falls into, practitioner would be able to relay to owner an accurate probability of SF (Table 2). Thus, RDA/AV would have a high probability of SF if  $LAC > 6$  mM/L and  $HR > 90$  beats/min or if LAC is between 2 and 6 mM/L and  $HR > 115$  beats/min. Right abomasal disorders would have a low probability of SF if  $LAC < 2$  mM/L or if LAC falls between 2 and 6 mM/L and  $HR < 90$  beats/min. The probability of SF would however be mitigate if LAC falls between 2 and 6 mM/L and HR between 90 and 115 beats/min.

Different authors have already mentioned that it could be advantageous to use a multivariate model in comparison with a single value to predict outcome of cows with RDA or AV because multivariate analyses provide a more reliable prognosis prediction (Constable et

al., 1991a, Grohn et al., 1990). For instance, a hospital-based study has observed that the combination of LAC, chloride and HR had a greater predictive power than a model with HR only (Figueiredo et al., 2006). Currently, prognosis is mainly established based on clinical judgement which has the potential to be a better prognostic indicator than HR or LAC or even their combination. Clinical judgement is based on the interpretation, analysis and synthesis of many clinical data which are sometimes subjective, and relay in part on the practitioner's clinical experience. Thus, further researches could evaluate if the proposed predictive models are superior to the practitioner's clinical judgement to predict SF and bring relevant additional information.

Surgical failure was more frequent for AV in comparison with RDA. This observation has already been reported in the literature (Fubini et al., 1991, Kumper, 1995). Our proportion of SF for right-sided abomasal disorders was, however, lower than another study conducted on a referral population which reported 14.7% of negative outcome for RDA and 65% for AV (Figueiredo et al., 2006). Hospital-based studies may have higher proportion of negative outcome than farm settings study since, most of the time, cows referred to a second line veterinary hospital are more critically ill partly because of time required for transportation which delays surgical correction and are more likely to develop complications or to necessitate additional supportive treatment than cows treated at the farm as a first line medical intervention. For this reason, inferences from the current study should be drawn strictly to first line RDA/AV presentation.

The current study has some limits. For example, animals which were excluded because of final diagnosis different than RDA/AV could have been included in this study. Inclusion of those cases could have helped our proposed model to get nearer to the practitioners' reality. As this situation only applies to 7 cases in our study, this could have slightly overestimated our model predictive performance. Furthermore, measure of surgical outcome would have been more objective if death of animal or level of milk production were used as the outcome of interest as was done in other studies (Figueiredo et al., 2006, Roy et al., 2008). In the current study, the outcome definition was instead the satisfaction of the owner 30 d postoperatively and was chosen based on the assumption that the dairy producer would probably have decided

not to have the surgery performed if he had known in the first place that he would later be unsatisfied of the results. In that circumstance, asking for the satisfaction of the owner for his animal's evolution implicitly includes a mixture of information on appetite, dairy production, complications, economics, and culling or survival status of the animal. Such an aggregated measurement of these different components of "owner satisfaction" precludes any costs-benefice analysis associated with the use of this ancillary test. Furthermore, thresholds suggested in this study could not be validated using the same population, since using the same data to establish and validate LAC thresholds would likely introduce an upward bias. These thresholds will have to be validated in a future study in a distinct population. An economical study should also be performed to quantify the benefit of using this ancillary test. Finally, although LAC in addition to HR allowed a better prediction of SF than HR only for RDA/AV, it remains to be determined if this combination of variables is more effective and reliable than the practitioner's clinical judgement to provide an accurate preoperative prognosis.

## **CONCLUSION**

This study indicates that LAC, in addition to HR, is a useful prognostic indicator for RDA/AV in dairy cows. The combination of LAC and HR significantly improved the SF predictive accuracy when compared with HR alone. A  $LAC \leq 2$  mM/L seemed to be a good indicator of SS and would be useful to support a surgical decision. Cows with  $LAC \geq 6$  mM/L, on the other hand, seemed to have a very poor prognosis and should be culled, in most instances (i.e.; average commercial cows) without surgical treatment.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors wish to thank all the dairy producers and veterinarians who participated in this study; and Drs. Jérôme Carrier and Jocelyn Dubuc for their contribution to the statistical analyses. This research was financed by the Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec through the Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies and by the Université de Montréal through the Pfizer fund for clinical research of the bovine ambulatory clinic.

## REFERENCES

- Bakker, J., P. Gris, M. Coffernils, R. J. Kahn, and J. L. Vincent. 1996. Serial blood lactate levels can predict the development of multiple organ failure following septic shock. *Am. J. Surg.* 171(2):221-226.
- Bernardin, G., C. Pradier, F. Tiger, P. Deloffre, and M. Mattei. 1996. Blood pressure and arterial lactate level are early indicators of short-term survival in human septic shock. *Intensive Care Med.* 22(1):17-25.
- Boucher, W. B. and D. Abt. 1968. Right-sided dilatation of the bovine abomasum with torsion. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 153(1):76-80.
- Box, G. E. P. and D. R. Cox. 1964. An Analysis of Transformations. *J. R. Stat. Soc. Ser. B* 26(2):211-252.
- Cameron, R. E. B., P. B. Dyk, T. H. Herdt, J. B. Kaneene, R. Miller, H. F. Bucholtz, J. S. Liesman, M. J. Vandehaar, and R. S. Emery. 1998. Dry cow diet, management, and energy balance as risk factors for displaced abomasum in high producing dairy herds. *J. Dairy Sci.* 81(1):132-139.
- Constable, P. D., G. St. Jean, B. L. Hull, D. M. Rings, and G. F. Hoffsis. 1991a. Preoperative prognostic indicators in cattle with abomasal volvulus. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 198(12):2077-2085.
- Constable, P. D., G. St. Jean, B. L. Hull, D. M. Rings, and G. F. Hoffsis. 1991b. Prognostic value of surgical and postoperative findings in cattle with abomasal volvulus. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 199(7):892-898.
- Constable, P. D., R. K. Streeter, G. R. Koeinig, and N. R. Perkins. 1998. Blood L-lactate and pyruvate concentrations and lactate-pyruvate ratio in 41 cattle with abomasal volvulus. Pages 121-123 in *Proc. XXth World Buiatrics Congress, Sydney, Australia.*
- de Papp, E., K. J. Drobatz, and D. Hughes. 1999. Plasma lactate concentration as a predictor of gastric necrosis and survival among dogs with gastric dilatation-volvulus: 102 cases (1995-1998). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 215(1):49-52.
- Delesalle, C., J. Dewulf, R. A. Lefebvre, J. A. J. Schuurkes, J. Proot, L. Lefere, and P. Deprez. 2007. Determination of lactate concentrations in blood plasma and peritoneal fluid in horses with colic by an accusport analyzer. *J. Vet. Intern. Med.* 21(2):293-301.

- DeLong, E. R., D. M. DeLong, and D. L. Clarke-Pearson. 1988. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 44(3):837-845.
- Detilleux, J. C., Y. T. Grohn, S. W. Eicker, and R. L. Quaas. 1997. Effects of left displaced abomasum on test day milk yields of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80(1):121-126.
- Dohoo, I. R., S. W. Martin, and H. Stryhn. 2009. *Veterinary epidemiologic research*. 2nd ed. VER Inc., Charlottetown, P.E.I.
- Doré, E., S. Buczinski, G. Boulay, C. Bernard, G. Beauchamp, and D. Francoz. 2010. Evaluation of a hand-held device for measurement of whole blood lactate concentration in cattle. in *Proc. XXVIth World Buiatrics Congress*, Santiago, Chile.
- Figueiredo, M. D., D. V. Nydam, G. A. Perkins, H. M. Mitchell, and T. J. Divers. 2006. Prognostic value of plasma L-lactate concentration measured cow-side with a portable clinical analyzer in Holstein dairy cattle with abomasal disorders. *J. Vet. Intern. Med.* 20(6):1463-1470.
- Fubini, S. L. and N. G. Ducharme. 2004. *Farm animal surgery*. Saunders, St. Louis, Mo.
- Fubini, S. L., Y. T. Grohn, and D. F. Smith. 1991. Right displacement of the abomasum and abomasal volvulus in dairy cows: 458 cases (1980-1987). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 198(3):460-464.
- Gabel, A. A. and R. B. Heath. 1969. Treatment of right-sided torsion of the abomasum in cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 155(4):642-644.
- Garry, F. B., B. L. Hull, D. M. Rings, K. Kersting, and G. F. Hoffsis. 1988. Prognostic value of anion gap calculation in cattle with abomasal volvulus: 58 cases (1980-1985). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 192(8):1107-1112.
- Greiner, M. 1996. Two-graph receiver operating characteristic (TG-ROC): update version supports optimisation of cut-off values that minimise overall misclassification costs. *J. Immunol. Methods* 191(1):93-94.
- Greiner, M., D. Pfeiffer, and R. D. Smith. 2000. Principles and practical application of the receiver-operating characteristic analysis for diagnostic tests. *Prev. Vet. Med.* 45(1-2):23-41.
- Grohn, Y. T., S. W. Eicker, V. Ducrocq, and J. A. Hertl. 1998. Effect of diseases on the culling of Holstein dairy cows in New York State. *J. Dairy Sci.* 81(4):966-978.

- Grohn, Y. T., S. L. Fubini, and D. F. Smith. 1990. Use of a multiple logistic regression model to determine prognosis of dairy cows with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus. *Am. J. Vet. Res.* 51(12):1895-1899.
- Hjortkjaer, R. K. and C. K. Svendsen. 1979. Right abomasal displacement in dairy cows, clinical, clinical chemical and hemodynamic findings with special reference to prognosis and circulatory disturbance. *Nord. Vet. Med.* 31(12):(Suppl. II) 1-28.
- Johnston, K., S. J. Holcombe, and J. G. Hauptman. 2007. Plasma lactate as a predictor of colonic viability and survival after 360 degrees volvulus of the ascending colon in horses. *Vet. Surg.* 36(6):563-567.
- Kumper, H. 1995. [Right displacement of the abomasum in cattle. 1. Pathogenesis, clinical course and prognosis]. *Tierarztl. Prax.* 23(4):351-359.
- Liao, X. P., Y. X. She, C. R. Shi, and M. Li. 1995. Changes in body fluid markers in intestinal ischemia. *J. Pediatr. Surg.* 30(10):1412-1415.
- Moore, J. N., R. R. Owen, and J. H. Lumsden. 1976. Clinical evaluation of blood lactate levels in equine colic. *Equine Vet. J.* 8(2):49-54.
- Radostits, O. M., S. H. Done, and D. C. Blood. 2007. *Veterinary medicine : a textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats.* 10th ed. Elsevier Saunders, New York.
- Rohn, M., B. A. Tenhagen, and W. Hofmann. 2004. Survival of dairy cows after surgery to correct abomasal displacement: 1. Clinical and laboratory parameters and overall survival. *J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 51(6):294-299.
- Roy, J.-P., D. Harvey, A.-M. Belanger, and S. Buczinski. 2008. Comparison of 2-step laparoscopy-guided abomasopexy versus omentopexy via right flank laparotomy for the treatment of dairy cows with left displacement of the abomasum in on-farm settings. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 232(11):1700-1706.
- Sattler, N., G. Fecteau, P. Helie, J. M. Lapointe, L. Chouinard, M. Babkine, A. Desrochers, Y. Couture, and P. Dubreuil. 2000. Etiology, forms, and prognosis of gastrointestinal dysfunction resembling vagal indigestion occurring after surgical correction of right abomasal displacement. *Can. Vet. J.* 41(10):777-785.
- Shaver, R. D. 1997. Nutritional risk factors in the etiology of left displaced abomasum in dairy cows: a review. *J. Dairy Sci.* 80(10):2449-2453.

- Simpson, D. F., H. N. Erb, and D. F. Smith. 1985. Base excess as a prognostic and diagnostic indicator in cows with abomasal volvulus or right displacement of the abomasum. *Am. J. Vet. Res.* 46(4):796-797.
- Smith, D. F. 1978. Right-side torsion of the abomasum in dairy cows: classification of severity and evaluation of outcome. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 173(1):108-111.
- Smith, D. F. 1987. Abomasal volvulus. *Bovine Pract.* 22:162-164.
- Smith, D. F., H. N. Erb, K. M. Kalaher, and W. C. Rebhun. 1982. The identification of structures and conditions responsible for right side tympanitic resonance (ping) in adult cattle. *Cornell Vet.* 72(2):180-199.
- Sterner, K. E., J. Grymer, P. C. Bartlett, and M. J. Miekstyn. 2008. Factors influencing the survival of dairy cows after correction of left displaced abomasum. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 232(10):1521-1529.
- Tanner, R. K., K. L. Fuller, and M. L. R. Ross. 2010. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur. J. Appl. Physiol.* 109(3):551-559.
- Trent, A. M. 1990. Surgery of the bovine abomasum. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 6(2):399-348.
- Vogel, S. R., S. Nichols, S. Buczinski, A. Desrochers, M. Babkine, M. Veillette, D. Francoz, E. Doré, G. Fecteau, A.-M. Bélanger, and M. Badillo. 2012. Duodenal obstruction caused by duodenal sigmoid flexure volvulus in dairy cattle: 29 cases (2006–2010). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 241(5):621-625.
- Weil, M. H. and A. A. Afifi. 1970. Experimental and clinical studies on lactate and pyruvate as indicators of the severity of acute circulatory failure (shock). *Circulation* 41(6):989-1001.
- Wittek, T., P. D. Constable, and M. Furll. 2004. Comparison of abomasal luminal gas pressure and volume and perfusion of the abomasum in dairy cows with left displaced abomasum or abomasal volvulus. *Am. J. Vet. Res.* 65(5):597-603.
- Zacher, L. A., J. Berg, S. P. Shaw, and R. K. Kudej. 2010. Association between outcome and changes in plasma lactate concentration during presurgical treatment in dogs with gastric dilatation-volvulus: 64 cases (2002-2008). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 236(8):892-897.

**Table 1.** Important characteristics of a cohort of 102 cows with right-sided tympanic resonance and a subsequent surgical diagnosis of right displaced abomasum (RDA) or abomasal volvulus (AV); surgical success (SS) is defined as a satisfied owner 30 d postoperatively; failure of the surgical procedure (SF) is defined as an unsatisfied owner 30 d postoperatively, or a cow that was culled or died.

Variable	RDA		AV	
	SS	SF	SS	SF
Number of cows	54	3	27	18
Lactation <sup>1</sup>	3 (1–3)	4 (2–4)	2 (1–3)	2.5 (2–3)
DIM <sup>1</sup>	14 (7–45)	5 (4–6)	19 (7–45)	26.5 (8–45)
L-lactate <sup>1</sup> (mM/L)	0.8 (0.79–1.2)	1.0 (0.79–1.8)	1.2 (0.79–2.3)	3.0 (2.4–6.6)
Heart rate <sup>1</sup> (beats/min)	80 (72–88)	72 (60–80)	88 (78–100)	104 (92–120)

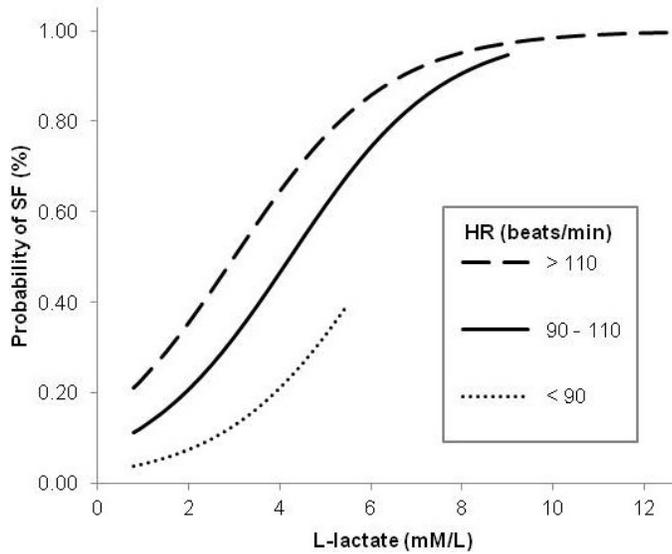
<sup>1</sup>Median (25th and 75th percentiles).

**Table 2.** Surgical failure probability across categories of pre-surgical L-lactate concentration and heart rate in a cohort of 102 cows with surgical diagnosis of right displaced abomasum or abomasal volvulus; failure of the surgical procedure is defined as an unsatisfied owner 30 d postoperatively, or a cow that was culled or died.<sup>1</sup>

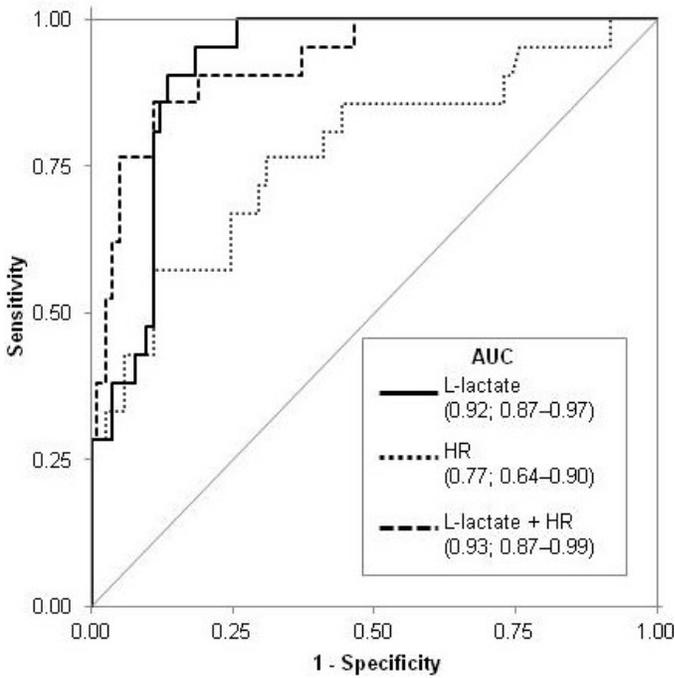
	Heart rate (beats/min)			Overall
	< 90	90 – 115	> 115	
L-lactate (mM/L)				
< 2	7.5	0	33.3	6.9
2 – 6	14.3	53.8	66.7	43.5
> 6	-- <sup>2</sup>	66.7	100	85.7
Overall	8.3	28.1	70.0	

<sup>1</sup>Results presented as probability of surgical failure.

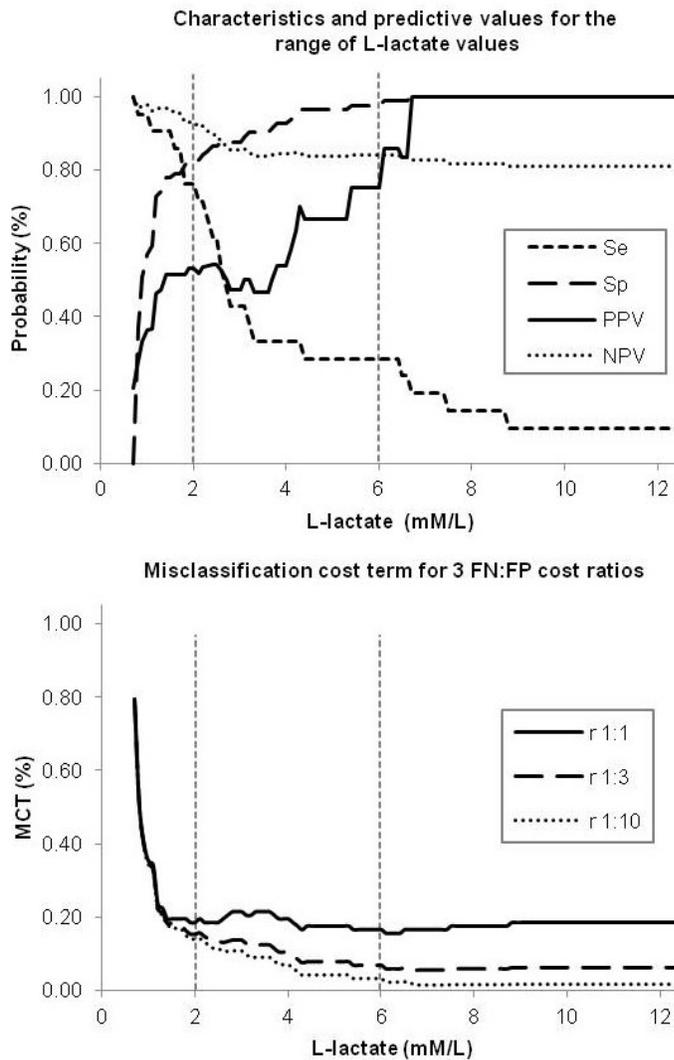
<sup>2</sup>No animal in that category.



**Figure 1.** Relationship between L-lactate concentration and probability of a surgical failure (SF) across 3 categories of heart rate (HR) for 102 cows with diagnosis of right abomasal disorder; failure of the surgical procedure is defined as an unsatisfied owner 30 d postoperatively, or a cow that was culled or died.



**Figure 2.** Receiver operating characteristic curves displaying the general characteristics of L-lactate measurement, heart rate (HR) and L-lactate and HR together as diagnostic tests to predict surgical failure in 102 cows with diagnosis of right displaced abomasum or abomasal volvulus; areas under the curves (AUC) and their 95% confidence interval are reported for each test or combination of tests; receiver operating characteristic curves are taking into account clustering of observation by herd.



**Figure 3.** Characteristics of different L-lactate cut-points as a diagnostic test to predict surgical failure in 102 cows with diagnosis of right displaced abomasum or abomasal volvulus. Sensitivity (Se), specificity (Sp), positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) are reported for the range of L-lactate values observed. Misclassification cost term (MCT) are reported for a range of false negative (FN) to false-positive (FP) health cost ratio ( $r$ ) (from 1:1 to 1:10) and across the range of L-lactate values observed; thresholds of 2 and 6 mM/L to predict surgical failure are represented by vertical dashed lines.

## **Chapitre 3 : Discussion générale**

### **Valeur pronostique de la lactatémie**

L'ensemble des résultats présentés précédemment démontre que la mesure de la concentration de L-lactate en préopératoire est un bon indicateur pronostique autant en milieu hospitalier qu'à la ferme. Une augmentation de la lactatémie durant la période précédant la correction chirurgicale était donc associée avec une probabilité plus élevée d'avoir une mauvaise évolution postopératoire pour les vaches souffrant de dilatation à droite ou de volvulus de la caillette. Dans la littérature, il semble cependant que l'importance de la lactatémie en tant qu'indicateur pronostique soit mitigée lors de problèmes de la caillette à droite. En fait, certaines études ont démontré qu'une augmentation de la lactatémie était associée avec un mauvais pronostic (Figueiredo et coll., 2006, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a) alors qu'une autre étude n'a pas trouvé de différence entre la lactatémie des animaux productifs et non-productifs (Constable et coll., 1998). Cette différence entre les études peut s'expliquer par le fait qu'une plus longue période de suivi postopératoire (12 mois) a été utilisée dans l'étude de Constable et coll. (1998) avant de déterminer si l'animal avait une issue positive ou négative. Cette façon de faire peut avoir mené à une augmentation du nombre de vaches réformées pour des raisons qui n'étaient pas nécessairement liées avec la chirurgie initiale. Par ailleurs, l'étude de Constable et coll. (1998) a été réalisée uniquement sur des volvulus de la caillette, contrairement aux autres études (Figueiredo et coll., 2006, Hjortkjaer et Svendsen, 1979a) où des dilatations à droite et des volvulus de la caillette étaient compilés. La réalisation d'études sur des populations d'animaux différentes est une autre hypothèse pouvant expliquer les résultats discordants de la littérature. Finalement, un manque d'uniformité dans la définition de l'issue négative existe entre les différentes études. En effet, dans l'étude de Constable et coll. (1998), un animal était considéré comme ayant une évolution négative lorsqu'il était mort ou avait été réformé lors du rappel 12 mois après la chirurgie. De plus, Hjortkjaer et Svendsen (1979a) considéraient que le rétablissement postopératoire était insatisfaisant lorsque l'animal avait été réformé ou euthanasié jusqu'à 6 mois après la chirurgie. Pour sa part, Figueiredo et coll. (2006) considéraient qu'un animal avait

une issue négative lorsqu'il était mort ou avait été réformé dans les 30 jours suivant le congé de l'hôpital. Par conséquent, toutes ces définitions différentes d'issue négative peuvent également avoir contribué à la publication de conclusions différentes.

### **Cinétique de la lactatémie**

Dans les études présentées précédemment, nous nous sommes limités à vérifier si une mesure ponctuelle de la lactatémie, avant la mise en place d'un plan thérapeutique, était corrélée avec le pronostic des animaux. Or, dans la littérature, il est mentionné que la cinétique de la lactatémie, soit l'augmentation ou la diminution de la lactatémie dans le temps, qu'elles soient absolues ou relatives, pourrait permettre de mieux identifier les animaux qui ont les plus grandes probabilités de mourir, par rapport à une mesure ponctuelle. Ces observations ont été réalisées dans le cadre de maladies similaires aux dilatations et volvulus chez la vache laitière soient les coliques chez le cheval (Hashimoto-Hill et coll., 2011, Johnston et coll., 2007, Tennent-Brown et coll., 2010) ou lors de dilatation-torsion gastrique chez le chien (Green et coll., 2011, Zacher et coll., 2010). Au moment d'effectuer notre étude prospective, nous avons considéré l'idée d'évaluer si la réponse de l'animal aux traitements mis en place en mesurant la lactatémie à plusieurs points dans le temps pourrait être un meilleur indicateur pronostique que la lactatémie initiale. Cependant, un objectif de cette étude était de fournir un indicateur pronostique préopératoire et l'utilisation de la cinétique était incompatible avec l'atteinte de ce but. De ce fait, l'utilité pronostique de la cinétique de la lactatémie lors de dilatation ou de volvulus serait obtenue, dans le meilleur des cas, en postopératoire. Par conséquent, le gain financier potentiel de réformer en préopératoire les animaux ayant le plus de risques d'avoir une mauvaise évolution serait perdu. Une autre raison justifiant notre décision de ne pas avoir évalué la valeur pronostique de la cinétique était que la mesure de la lactatémie à plusieurs points fixes dans le temps n'était pas vraiment compatible avec une utilisation en première ligne en raison des multiples visites nécessaires pour amasser les données. En contrepartie, d'éventuelles études prospectives réalisées en milieu hospitalier pourraient s'intéresser à la cinétique de la lactatémie en tant qu'indicateur pronostique pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la facilité d'y effectuer des mesures répétées à des temps fixes rend la mesure de la cinétique de la lactatémie possible. Par ailleurs, puisque la valeur moyenne des animaux d'une

population référée est plus élevée qu'une population de première ligne, un traitement sera habituellement tenté en milieu hospitalier, peu importe la condition de l'animal. La variation de la lactatémie dans le temps pourrait donc aider à formuler un pronostic fiable, comme c'est le cas chez les petits animaux (Green et coll., 2011, Stevenson et coll., 2007, Zacher et coll., 2010), les chevaux (Hashimoto-Hill et coll., 2011, Tennent-Brown et coll., 2010, Wotman et coll., 2009) et en médecine humaine (Nguyen et coll., 2004, Vincent et coll., 1983). Éventuellement, chez les bovins, des seuils au-delà desquels l'arrêt des traitements serait justifié pourraient être déterminés afin d'éviter l'acharnement thérapeutique.

### **Lactates péritonéaux**

Bien que les études précédentes se soient concentrées sur la concentration du L-lactate sanguin, les lactates péritonéaux sont une autre variable qu'il aurait pu être pertinent d'examiner. En effet, l'utilité pronostique des lactates péritonéaux a déjà été reconnue chez les chevaux en colique (Delesalle et coll., 2007, Latson et coll., 2005, Moore et coll., 1977, Parry et coll., 1983b). Certains auteurs ont même avancé que les lactates péritonéaux seraient plus adaptés et plus sensibles que la lactatémie sanguine pour la reconnaissance précoce d'ischémie intestinale et pour la prédiction de l'évolution de l'animal (Delesalle et coll., 2007, Latson et coll., 2005). En fait, lors d'ischémie intestinale, les lactates augmenteraient d'abord au niveau péritonéal et augmenteraient ensuite au niveau sanguin (Hjortkjaer et Svendsen, 1979b, Liao et coll., 1995). D'ailleurs, chez le bovin, il a déjà été déterminé que les lactates péritonéaux était plus élevés chez les animaux en volvulus de la caillette par rapport à ceux ayant des déplacements de la caillette à gauche ou à des vaches en santé (Grosche et coll., 2012, Wittek et coll., 2010). D'autres études sont toutefois nécessaires afin de déterminer la valeur pronostique des lactates péritonéaux lors de dilatation et de volvulus de la caillette.

### **Pertinence des seuils de L-lactate mis en évidence**

Dans l'étude prospective, deux seuils de L-lactate permettant de prédire le succès ou l'échec chirurgical ont été mis en évidence. Ces résultats indiquent qu'un seuil de L-lactate  $\geq 6$  mmol/L pourrait être utilisé pour prendre la décision de réformer une vache avec une dilatation ou un volvulus de la caillette plutôt que d'effectuer une chirurgie correctrice. Un tel

seuil permettait de contrôler adéquatement presque tous les coûts de santé associés avec l'attribution d'un mauvais pronostic puisqu'il optimisait à la fois la valeur prédictive positive et la valeur prédictive négative. En utilisant un tel seuil dans une population similaire à la nôtre (proportion d'éleveurs insatisfaits de l'évolution de leur animal 30 jours après la correction chirurgicale de 20.6%), un médecin vétérinaire praticien aurait 75% de probabilités de prendre la bonne décision en réformant l'animal plutôt que de procéder à la chirurgie (valeur prédictive positive = 75%). En conséquence, un seuil de 6 mmol/L serait particulièrement utile pour supporter une décision de réforme.

Afin de supporter une décision de procéder à la correction chirurgicale, cependant, un seuil différent semble plus pertinent. Dans cette situation, un seuil de L-lactate  $\leq 2$  mmol/L pourrait être utilisé pour décider de traiter une vache avec une dilatation ou un volvulus de la caillette. En fait, il est possible de remarquer sur le graphique de la variation des coûts des mauvaises classifications du pronostic (c.f. section 2.2, Figure 3) qu'avec un seuil de 2 mmol/L, une grande partie des coûts de santé associés avec l'attribution d'un mauvais pronostic étaient déjà contrôlés. Ainsi, dans une population similaire à celle étudiée, en utilisant un seuil de 2 mmol/L, un médecin vétérinaire praticien aurait 93% de probabilités de prendre la bonne décision lorsqu'il recommande d'effectuer une chirurgie correctrice (valeur prédictive négative = 93%). En conséquence, un seuil de 2 mmol/L supporterait très bien une décision d'opérer l'animal.

Dans l'étude prospective, uniquement 23% des animaux avaient une lactatémie intermédiaire, soit entre 2 et 6 mmol/L. À ces concentrations de L-lactate, la valeur prédictive négative était relativement stable (environ 85%) alors que la valeur prédictive positive augmentait rapidement de 50% (entre 2 et 4 mmol/L) à 75% (6 mmol/L). Lorsqu'il est question d'appuyer une décision de réforme de l'animal, l'utilisation d'un seuil de décision qui prédit une probabilité de 50% d'avoir un échec chirurgical peut sembler, pour plusieurs médecins vétérinaires praticiens, aussi utile que de laisser le hasard décider. Cependant, des seuils prédisant des probabilités entre 50% et 75% d'échec chirurgical (entre 4 et 6 mmol/L) pourraient être suffisants, dans certaines situations (parité élevée, animal non gestant, statut mammaire précaire), pour appuyer la décision de réformer l'animal. Par exemple, dans la

littérature, il est reconnu que les animaux ayant un haut comptage leucocytaire dans le lait (Caraviello et coll., 2005, De Vlieghe et coll., 2005), étant porteurs d'une bactérie intramammaire contagieuse comme *Staphylococcus aureus* (Reksen et coll., 2006, Whist et coll., 2009) ou dont la production laitière est plus faible (De Vlieghe et coll., 2005, Grohn et coll., 1998, Hadley et coll., 2006) sont plus sujets à être réformés. Ainsi, une lactatémie de 4 mmol/L, associée à une probabilité de mauvaise évolution postopératoire de 50%, pourrait être suffisante pour convaincre un propriétaire de réformer un animal ayant un mauvais statut mammaire ou une faible production laitière. D'un autre côté, une lactatémie de 6 mmol/L, associée à une probabilité d'échec chirurgical de 75%, serait sans doute nécessaire pour convaincre un éleveur de réformer un animal ayant un bon statut mammaire ou une forte production laitière.

Par ailleurs, il est plutôt rassurant de constater que les courbes de la variation des coûts des mauvaises classifications du pronostic varient très peu entre les différents ratios faux négatif : faux positif utilisés. Cette observation suggère que de connaître les coûts exacts impliqués dans chaque décision (ex : perte du lait jeté en raison des temps de retrait, diminution de la production laitière, temps du producteur, revenu provenant de la réforme ainsi que les coûts associés à la procédure chirurgicale, aux médicaments utilisés et au remplacement de l'animal) n'aurait que très peu d'impact sur les seuils proposés, aussi longtemps que le coût associé à un faux négatif est réputé être égal ou plus faible à celui associé à un faux positif. En fait, les courbes de la variation des coûts des mauvaises classifications du pronostic sont influencées par les changements de la valeur prédictive positive et de la valeur prédictive négative associées aux différentes valeurs de L-lactate. Si le coût associé à un faux positif est plus élevé que celui associé à un faux négatif, la courbe de la variation des coûts des mauvaises classifications du pronostic est alors plus fortement influencée par les variations de la valeur prédictive positive. Ainsi, dans un contexte économique où le prix des animaux et les coûts de remplacement sont élevés (ratio faux négatif : faux positif = 1 :10), une décision d'effectuer une chirurgie correctrice serait économiquement justifiée pour toutes les concentrations de L-lactate  $\leq 2$  mmol/L, et une décision de réformer l'animal serait justifiée pour toutes les concentrations de L-lactate  $\geq 6$  mmol/L. Entre 2 et 6 mmol/L cependant, le praticien pourrait informer le propriétaire des

probabilités de son animal d'avoir un échec chirurgical et lui laisser la décision de le faire traiter ou non. D'un autre côté, dans un contexte économique où les coûts de remplacement sont faibles (ratio faux négatif : faux positif = 1 :1), une décision d'effectuer une chirurgie correctrice serait économiquement justifiée pour toutes les concentrations de L-lactate  $\leq 2$  mmol/L alors que la réforme des animaux avec une lactatémie  $> 2$  mmol/L serait également justifiée. Bien que ce dernier seuil semble quelque peu radical, il a été observé que 93.8% (intervalle de confiance 95%; 82.8 – 98.7) des vaches Holstein en santé et en début de lactation avaient une concentration de L-lactate  $< 0.8$  mmol/L mesurée à l'aide d'un appareil portatif, ce qui suggère que la lactatémie normale pour les vaches en santé semble être plus basse que le seuil de 2 mmol/L proposé (G. Boulay, données non publiées). Ainsi, les résultats de l'étude prospective suggèrent que, peu importe le ratio faux négatif : faux positif, et donc, le contexte économique, il n'y a aucun avantage à effectuer une chirurgie chez des animaux commerciaux ayant une lactatémie  $\geq 6$  mmol/L et un mauvais pronostic devrait être donné au propriétaire.

Afin de s'assurer que les seuils proposés dans cette étude sont adéquats, une étude de validation devrait être éventuellement effectuée sur une population distincte de dilatations et de volvulus de la caillette traités en première ligne. Une telle étude est nécessaire puisque la validation de ces seuils à partir des mêmes données qui ont servi à les déterminer risquerait d'introduire un biais important.

## **Élaboration des modèles de prédiction**

Bien qu'il a été déterminé que la lactatémie était un bon indicateur du pronostic lors de dilatation ou de volvulus de la caillette, certains auteurs suggèrent que l'utilisation de variables pronostiques individuels n'est pas avantageuse lorsqu'il est question de prédire les probabilités d'échec chirurgical et que des modèles multivariés apporteraient des prédictions plus précises et fiables (Constable et coll., 1991a, Figueiredo et coll., 2006, Grohn et coll., 1990). De ce fait, l'élaboration d'un modèle complexe pour la prédiction de l'évolution postopératoire des animaux était un objectif secondaire de notre étude. Néanmoins, notre objectif principal était de combiner des variables pouvant s'obtenir facilement, rapidement et à faible coût dans un

modèle simple qui pourrait être utilisé au chevet de l'animal par des vétérinaires de première ligne. Ainsi, l'ajout de plus de deux variables dans un modèle de prédiction rendrait plus difficile son utilisation directement à la ferme.

Actuellement, les modèles pronostiques qui sont proposés dans la littérature concernent soit les dilatations et les volvulus de la caillette (Figueiredo et coll., 2006, Grohn et coll., 1990), soit les volvulus abomasaux seulement (Constable et coll., 1991a). L'élaboration d'un modèle qui tient compte uniquement des volvulus de la caillette peut s'avérer utile pour déterminer les meilleurs indicateurs pronostiques pour cette condition. Cependant, puisqu'une chirurgie correctrice est à toute fin pratique la seule façon de poser un diagnostic final de volvulus de la caillette, il est évident que l'utilité, en pratique, d'un tel modèle pronostique en préopératoire peut être sérieusement remise en doute. Dans les cas des dilatations ou des volvulus de la caillette, les modèles préopératoires élaborés en milieu hospitalier combinaient soit la fréquence cardiaque, l'excès de base et les chlorures (Grohn et coll., 1990), soit la fréquence cardiaque, la lactatémie et les chlorures (Figueiredo et coll., 2006). La présence de la fréquence cardiaque et de la lactatémie dans ces modèles hospitaliers est un bon indice de la pertinence de ces variables en tant qu'indicateur pronostique. De plus, ces variables étant objectives, peu dispendieuses et facilement mesurables à la ferme, il était tout à fait justifié de les combiner dans un modèle multivarié de prédiction de l'évolution des animaux pour une éventuelle utilisation en première ligne.

## **Valeur pronostique complémentaire de la lactatémie**

Contrairement à l'étude prospective, la lactatémie n'apportait pas une information pronostique significative lorsque la fréquence cardiaque était considérée dans le modèle de régression logistique multivarié de l'étude rétrospective. Ce résultat de l'étude rétrospective peut s'expliquer de différentes façons, incluant le fait que plusieurs causes d'hyperlactatémie sont également associées avec de la tachycardie. Statistiquement, il a été remarqué dans l'étude rétrospective que de la confusion ou de la colinéarité existait entre la lactatémie et la fréquence cardiaque. Ainsi, une partie de la valeur pronostique de la fréquence cardiaque est expliqué par la lactatémie et vice versa. Puisque la confusion entre ces deux variables était

significative, il était justifié de forcer la lactatémie dans le modèle final (Dohoo et coll., 2009). De plus, le devis rétrospectif peut avoir influencé le résultat puisque les animaux qui avaient une bonne évolution postopératoire semblaient être moins susceptibles d'avoir eu un gaz sanguin (et, donc, une mesure de la lactatémie) à leur arrivée en comparaison avec les dilatations et les volvulus de la caillette qui avaient une mauvaise évolution postopératoire (respectivement 53.0% (intervalle de confiance 95%; 42.3 – 63.7) et 69.0% (intervalle de confiance 95%; 52.1 – 85.8)). L'analyse de données rétrospectives peut introduire des biais, surtout lorsqu'une partie des données nécessaires pour élaborer un modèle de régression sont manquantes pour un sous-groupe de la population à l'étude. En fait, dans l'étude rétrospective, seulement 58 cas avaient à la fois une mesure de la fréquence cardiaque et de la lactatémie, ce qui diminue notre puissance statistique et pourrait expliquer pourquoi il nous a été impossible de trouver la lactatémie significative dans le modèle multivarié.

Dans l'étude prospective cependant, la mesure de la lactatémie, en complément de la fréquence cardiaque, permettait d'améliorer significativement la prédiction de l'issue postopératoire par rapport à la fréquence cardiaque seule. Cette observation avait d'ailleurs déjà été relevée dans l'étude de Figueiredo et coll. (2006). Dans notre étude, la combinaison de la lactatémie et de la fréquence cardiaque permettait une meilleure classification du pronostic pour les valeurs intermédiaires de fréquence cardiaque (90 – 115 battements/minute; c.f. section 2.2, Table 2) et diminuait la proportion de vaches tombant dans la zone où le pronostic était incertain (environ 50% de risque d'avoir une mauvaise évolution) de 31% (fréquence cardiaque seulement) à 13% (fréquence cardiaque et lactatémie combinées). Donc, en fonction des catégories pour la fréquence cardiaque et pour la lactatémie où se retrouveraient les dilatations et les volvulus de la caillette, les praticiens seraient en mesure de renseigner les propriétaires des probabilités qu'aura leur animal d'avoir une mauvaise évolution postopératoire avec plus de précision qu'en utilisant seulement la fréquence cardiaque (c.f. section 2.2, Table 2).

## Retour sur le protocole

Cette étude est la première qui a tenté d'évaluer l'utilité de la mesure de la lactatémie en supplément de la fréquence cardiaque pour établir un pronostic préopératoire lors de dilatation et de volvulus de la caillette gérés en première ligne. Dans l'étude prospective, un important biais a pu être contrôlé en menant cette étude à l'aveugle. Les cliniciens ne connaissant pas la concentration de L-lactate des animaux, cette valeur n'a pas pu influencer le plan thérapeutique proposé et le pronostic donné aux éleveurs.

Néanmoins, la présente étude comporte également certaines limites. Par exemple, les animaux qui ont été exclus parce qu'ils n'avaient pas un diagnostic final de dilatation à droite ou de volvulus de la caillette auraient pu être inclus dans cette étude. Cette précaution aurait permis à notre modèle d'être plus représentatif de la réalité d'un médecin vétérinaire praticien où des animaux avec une zone de résonance dans le flanc droit et dont le diagnostic chirurgical n'est pas une dilatation ou un volvulus de la caillette sont parfois opérés. Bien que nous ayons exclu uniquement sept cas en raison d'un diagnostic chirurgical qui n'était pas une dilatation ou un volvulus de la caillette, ces exclusions peuvent avoir entraîné une légère surestimation des performances de notre modèle de prédiction. Afin d'objectiver ce biais, il aurait été intéressant de comparer un modèle de prédiction construit en tenant compte de tous les cas où l'on soupçonnait une dilatation ou un volvulus de caillette en préopératoire (cas inclus et exclus) à notre modèle de prédiction (cas inclus seulement). Ainsi, une faible variation entre les modèles indiquerait que le biais entraîné par l'exclusion des cas est négligeable.

De plus, la mesure de l'échec ou du succès chirurgical aurait pu être plus objective en utilisant la mort de l'animal ou le niveau relatif de production laitière comme ce fut le cas dans d'autres études (Figueiredo et coll., 2006, Roy et coll., 2008). Dans cette étude, la définition de l'issue était plutôt la satisfaction du propriétaire 30 jours après la chirurgie. Cette définition a été choisie en se basant sur l'hypothèse que le producteur laitier n'aurait probablement pas opté pour l'option chirurgicale s'il avait su dès le départ qu'il allait être insatisfait de l'évolution postopératoire de son animal. Dans ce cas, demander la satisfaction de l'éleveur par rapport à l'évolution de son animal nous permettait d'obtenir un mélange d'informations

concernant l'appétit, la production laitière, les complications, l'aspect financier et la réforme ou le statut vital de l'animal. Cependant, lors de la détermination du niveau de satisfaction, étant donné que le niveau d'importance accordé à chacune de ces informations pouvait varier significativement d'un producteur à l'autre, rendant cette information plus subjective, la mesure du niveau de satisfaction ne nous permettait pas de mesurer l'impact économique exact associé à l'amélioration de la classification du pronostic. Pour y parvenir, nous aurions dû mesurer des paramètres tels que la production laitière subséquente, le statut de reproduction, les traitements additionnels administrés et les retraits de lait, les pertes au niveau de la réforme, etc. Par conséquent, une analyse économique exhaustive serait une étude pertinente à réaliser éventuellement afin de quantifier le bénéfice réel d'utiliser ce test complémentaire.

Par ailleurs, la participation de dix médecins vétérinaires praticiens différents qui n'avaient pas le même nombre d'années d'expérience clinique et l'utilisation d'un protocole de correction chirurgicale variable sont d'autres critères qui peuvent avoir influencés l'évolution postopératoire des animaux de l'étude prospective.

## **Pistes d'avenir**

Bien que cette étude ait démontré qu'une mesure ponctuelle de la lactatémie apporte une information pronostique significative chez les bovins souffrants de dilatation à droite ou de volvulus de la caillette, il serait intéressant de vérifier si la cinétique de la lactatémie ne serait pas un meilleur indicateur pronostique comme c'est le cas chez les chiens en dilatation-torsion gastrique (Green et coll., 2011, Zacher et coll., 2010) et pour les chevaux en colique (Hashimoto-Hill et coll., 2011, Johnston et coll., 2007, Tennent-Brown et coll., 2010). Ainsi, d'autres études seront nécessaires dans le but de vérifier cette hypothèse chez l'espèce bovine. Cependant, en raison des nombreuses mesures à temps fixes de la lactatémie requises pour réaliser une telle étude, il serait plus pertinent d'effectuer un tel projet dans un contexte hospitalier. Par ailleurs, puisque les lactates péritonéaux s'avèrent être un bon indicateur pronostique chez le cheval en colique (Delesalle et coll., 2007, Latson et coll., 2005, Moore et coll., 1977, Parry et coll., 1983b) et qu'ils sont plus élevés chez les bovins en volvulus de la

caillette par rapport à des déplacements de la caillette à gauche ou à des vaches en santé (Grosche et coll., 2012, Wittek et coll., 2010), il serait également pertinent d'étudier, éventuellement, la capacité des lactates péritonéaux à prédire l'évolution postopératoire des bovins souffrants de dilatation à droite ou de volvulus de la caillette.

Construire un modèle de prédiction précis et fiable pour identifier correctement les issues positives et négatives est le but ultime de tout test complémentaire. Une fois les modèles construits, la comparaison entre eux à l'aide d'analyses statistiques peut aider à déterminer quel test est le plus fiable et performant pour prédire l'issue d'intérêt. Cependant, dans ces différents modèles, l'élaboration du pronostic à partir de variables individuelles ou de la combinaison de variables clinico-pathologiques repose uniquement sur des algorithmes mathématiques et ne tient pas compte des autres variables cliniques qui sont disponibles aux cliniciens sur le terrain lorsqu'ils ont à établir un pronostic. Dans ce dernier cas, le clinicien établit son pronostic à l'aide de son jugement clinique qui est basé sur l'interprétation, l'analyse et la synthèse de plusieurs données cliniques qui sont parfois subjectives, incluant l'anamnèse, l'examen physique et des résultats de tests complémentaires, et dont le raisonnement repose en partie sur son expérience clinique (Ferrero et Nascimento-Carvalho, 2012, Thompson et coll., 2012). La fiabilité du jugement clinique du médecin vétérinaire praticien pour prédire l'issue postopératoire lors de dilatation ou de volvulus de la caillette devrait être évaluée dans de prochaines études, autant en milieu hospitalier que dans un contexte ambulatoire, afin de pouvoir la comparer à des modèles univariés ou multivariés « traditionnels » qui sont élaborés à partir de différentes variables objectives et mesurables. Ce genre d'évaluation serait des plus intéressantes pour objectiver le bénéfice réel des indicateurs pronostiques pertinents qui sont mis en évidence. Ainsi, en comparant ces modèles avec le jugement clinique du praticien, il serait possible d'observer si ces modèles apportent réellement une information pronostique complémentaire significative aux cliniciens.

## Conclusion

Cette étude a démontré que la lactatémie préopératoire était un bon indicateur pronostique lors de dilatation de la caillette et de volvulus abomasal dans un contexte ambulatoire et hospitalier. Cette étude a également déterminé que la concentration de L-lactate, en complément de la fréquence cardiaque, apportait une information pronostique pertinente lors de problèmes de la caillette à droite dans un contexte ambulatoire, alors que cet apport n'était pas significatif en milieu hospitalier. Néanmoins, la combinaison de la lactatémie et de la fréquence cardiaque en préopératoire améliorait significativement la précision de la prédiction de l'issue postopératoire en comparaison avec la fréquence cardiaque seule. Concernant les animaux traités à la ferme, une concentration de L-lactate  $\leq 2$  mmol/L était un bon indicateur de succès chirurgical et semblait très utile pour supporter une décision d'opérer l'animal. D'un autre côté, les vaches avec une concentration de L-lactate  $\geq 6$  mmol/L avaient généralement une mauvaise évolution postopératoire. Par conséquent, des animaux avec une lactatémie  $\geq 6$  mmol/L devraient, dans la plupart des cas (vaches commerciales), être réformés sans traitement chirurgical.

## Bibliographie

- Acierno, M. J., M. E. Johnson, L. A. Eddleman, et M. A. Mitchell. 2008. Measuring statistical agreement between four point of care (POC) lactate meters and a laboratory blood analyzer in cats. *J. Feline Med. Surg.* 10(2):110-114.
- Acierno, M. J. et M. A. Mitchell. 2007. Evaluation of four point-of-care meters for rapid determination of blood lactate concentrations in dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 230(9):1315-1318.
- Adams, J., 2nd et P. Hazard. 1988. Comparison of blood lactate concentrations in arterial and peripheral venous blood. *Crit. Care Med.* 16(9):913-914.
- Arieff, A. I., R. Park, W. J. Leach, et V. C. Lazarowitz. 1980. Pathophysiology of experimental lactic acidosis in dogs. *Am. J. Physiol.* 239(2):F135-142.
- Astles, R., C. P. Williams, et F. Sedor. 1994. Stability of plasma lactate in vitro in the presence of antiglycolytic agents. *Clin. Chem.* 40(7):1327-1330.
- Aubry, P. 2005. Routine surgical procedures in dairy cattle under field conditions: abomasal surgery, dehorning, and tail docking. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 21(1):55-72.
- Bakker, J., P. Gris, M. Coffernils, R. J. Kahn, et J. L. Vincent. 1996. Serial blood lactate levels can predict the development of multiple organ failure following septic shock. *Am. J. Surg.* 171(2):221-226.
- Barone, R. 2001. Anatomie comparée des mammifères domestiques. Vol. 4 Splanchnologie II. 3e ed. Vigot, Paris.
- Bellomo, R. et C. Ronco. 1999. The pathogenesis of lactic acidosis in sepsis. *Curr. Opin. Crit. Care.* 5(6):452-457.
- Bernardin, G., C. Pradier, F. Tiger, P. Deloffre, et M. Mattei. 1996. Blood pressure and arterial lactate level are early indicators of short-term survival in human septic shock. *Intensive Care Med.* 22(1):17-25.
- Bonczynski, J. J., L. L. Ludwig, L. J. Barton, A. Loar, et M. E. Peterson. 2003. Comparison of peritoneal fluid and peripheral blood pH, bicarbonate, glucose, and lactate concentration as a diagnostic tool for septic peritonitis in dogs and cats. *Vet. Surg.* 32(2):161-166.

- Boucher, W. B. et D. Abt. 1968. Right-sided dilatation of the bovine abomasum with torsion. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 153(1):76-80.
- Box, G. E. P. et D. R. Cox. 1964. An Analysis of Transformations. *J. R. Stat. Soc. Ser. B* 26(2):211-252.
- Braun, U. et B. Feller. 2008. Ultrasonographic findings in cows with right displacement of the abomasum and abomasal volvulus. *Vet. Rec.* 162(10):311-315.
- Broder, G. et M. H. Weil. 1964. Excess Lactate: An Index of Reversibility of Shock in Human Patients. *Science* 143(3613):1457-1459.
- Burfeind, O. et W. Heuwieser. 2012. Validation of handheld meters to measure blood l-lactate concentration in dairy cows and calves. *J. Dairy Sci.* 95(11):6449-6456.
- Butler, A. L., V. L. Campbell, A. E. Wagner, C. D. Sedacca, et T. B. Hackett. 2008. Lithium dilution cardiac output and oxygen delivery in conscious dogs with systemic inflammatory response syndrome. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 18(3):246-257.
- Cameron, R. E. B., P. B. Dyk, T. H. Herdt, J. B. Kaneene, R. Miller, H. F. Bucholtz, J. S. Liesman, M. J. Vandehaar, et R. S. Emery. 1998. Dry cow diet, management, and energy balance as risk factors for displaced abomasum in high producing dairy herds. *J. Dairy Sci.* 81(1):132-139.
- Caraviello, D. Z., K. A. Weigel, G. E. Shook, et P. L. Ruegg. 2005. Assessment of the impact of somatic cell count on functional longevity in Holstein and Jersey cattle using survival analysis methodology. *J. Dairy Sci.* 88(2):804-811.
- Castagnetti, C., A. Pirrone, J. Mariella, et G. Mari. 2010. Venous blood lactate evaluation in equine neonatal intensive care. *Theriogenology* 73(3):343-357.
- Cerovic, O., V. Golubovic, A. Spec-Marn, B. Kremzar, et G. Vidmar. 2003. Relationship between injury severity and lactate levels in severely injured patients. *Intensive Care Med.* 29(8):1300-1305.
- Cheifetz, I. M., F. H. Kern, S. R. Schulman, W. J. Greeley, R. M. Ungerleider, et J. N. Meliones. 1997. Serum lactates correlate with mortality after operations for complex congenital heart disease. *Ann. Thorac. Surg.* 64(3):735-738.
- Christopher, M. M. et S. O'Neill. 2000. Effect of specimen collection and storage on blood glucose and lactate concentrations in healthy, hyperthyroid and diabetic cats. *Vet. Clin. Pathol.* 29(1):22-28.

- Coghe, J., C. Uystepuyst, F. Bureau, J. Detilleux, T. Art, et P. Lekeux. 2000. Validation and prognostic value of plasma lactate measurement in bovine respiratory disease. *Vet. J.* 160(2):139-146.
- Cohen, R. D. et H. F. Woods. 1976. *Clinical and biochemical aspects of lactic acidosis.* Blackwell Scientific Publications ; distributed by J. B. Lippincott, Oxford Eng. ; Philadelphia.
- Constable, P. D., G. Y. Miller, G. F. Hoffsis, B. L. Hull, et D. M. Rings. 1992a. Risk factors for abomasal volvulus and left abomasal displacement in cattle. *Am. J. Vet. Res.* 53(7):1184-1192.
- Constable, P. D., G. St-Jean, G. R. Koenig, B. L. Hull, et D. M. Rings. 1992b. Abomasal luminal pressure in cattle with abomasal volvulus or left displaced abomasum. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 201(10):1564-1568.
- Constable, P. D., G. St. Jean, B. L. Hull, D. M. Rings, et G. F. Hoffsis. 1991a. Preoperative prognostic indicators in cattle with abomasal volvulus. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 198(12):2077-2085.
- Constable, P. D., G. St. Jean, B. L. Hull, D. M. Rings, et G. F. Hoffsis. 1991b. Prognostic value of surgical and postoperative findings in cattle with abomasal volvulus. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 199(7):892-898.
- Constable, P. D., R. K. Streeter, G. R. Koeinig, et N. R. Perkins. 1998. Blood L-lactate and pyruvate concentrations and lactate-pyruvate ratio in 41 cattle with abomasal volvulus. Pages 121-123 dans *Proc. XXth World Buiatrics Congress, Sydney, Australia.*
- Constable, P. D., R. N. Streeter, G. J. Koeing, N. R. Perkins, H. M. Gohar, et D. E. Morin. 1997. Determinants and utility of the anion gap in predicting hyperlactatemia in cattle. *J. Vet. Intern. Med.* 11(2):71-79.
- Corley, K. T. T. 2002. Monitoring and treating haemodynamic disturbances in critically ill neonatal foals. Part 1: Haemodynamic monitoring. *Equine Vet. Educ.* 14(5):270-279.
- Corley, K. T. T., L. L. Donaldson, et M. O. Furr. 2005. Arterial lactate concentration, hospital survival, sepsis and SIRS in critically ill neonatal foals. *Equine Vet. J.* 37(1):53-59.
- Cunningham, J. G. et B. G. Klein. 2007. *Textbook of veterinary physiology.* 4th ed. Saunders/Elsevier, St. Louis, Mo.

- Dabareiner, R. M., N. A. White, et L. L. Donaldson. 2001. Effects of intraluminal distention and decompression on microvascular permeability and hemodynamics of the equine jejunum. *Am. J. Vet. Res.* 62(2):225-236.
- de Papp, E., K. J. Drobatz, et D. Hughes. 1999. Plasma lactate concentration as a predictor of gastric necrosis and survival among dogs with gastric dilatation-volvulus: 102 cases (1995-1998). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 215(1):49-52.
- De Vliegher, S., H. W. Barkema, G. Opsomer, A. de Kruif, et L. Duchateau. 2005. Association between somatic cell count in early lactation and culling of dairy heifers using cox frailty models. *J. Dairy Sci.* 88(2):560-568.
- DeLaurier, G. A., R. M. Cannon, R. H. Johnson, Jr., J. F. Sisley, C. R. Baisden, et A. R. Mansberger, Jr. 1989. Increased peritoneal fluid lactic acid values and progressive bowel strangulation in dogs. *Am. J. Surg.* 158(1):32-35.
- Delesalle, C., J. Dewulf, R. A. Lefebvre, J. A. J. Schuurkes, J. Proot, L. Lefere, et P. Deprez. 2007. Determination of lactate concentrations in blood plasma and peritoneal fluid in horses with colic by an accusport analyzer. *J. Vet. Intern. Med.* 21(2):293-301.
- DeLong, E. R., D. M. DeLong, et D. L. Clarke-Pearson. 1988. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 44(3):837-845.
- Detilleux, J. C., Y. T. Grohn, S. W. Eicker, et R. L. Quaas. 1997. Effects of left displaced abomasum on test day milk yields of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80(1):121-126.
- Divers, T. J., S. F. Peek, et W. C. Rebhun. 2008. *Rebhun's diseases of dairy cattle*. 2nd ed. W.B. Saunders co, St. Louis.
- Dohoo, I. R., S. W. Martin, et H. Stryhn. 2009. *Veterinary epidemiologic research*. 2nd ed. VER Inc., Charlottetown, P.E.I.
- Donawick, W. J., C. F. Ramberg, S. R. Paul, et M. A. Hiza. 1975. The diagnostic and prognostic value of lactate determinations in horses with acute abdominal crisis. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 46(1):127.
- Doré, E., S. Buczinski, G. Boulay, C. Bernard, G. Beauchamp, et D. Francoz. 2010. Evaluation of a hand-held device for measurement of whole blood lactate concentration in cattle. dans *Proc. XXVIth World Buiatrics Congress*, Santiago, Chile.

- Dunlop, R. H. et P. B. Hammond. 1965. D-lactic acidosis of ruminants. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 119(3):1109-1132.
- Ebert, R. 1995. [Differentiated prognosis in the colicky horse]. *Tierarztl. Prax.* 23(5):475-480.
- Espersen, G. 1961. [Abomasal dilatation with right displacement in cattle]. *Nord. Vet. Med.* 13(1):(Suppl. I) 168 p.
- Espersen, G. 1964. Dilatation and displacement of the abomasum to the right flank, and dilatation and dislocation of the caecum. *Vet. Rec.* 76(49):1423-1428.
- Ewaschuk, J. B., J. M. Naylor, R. Palmer, S. J. Whiting, et G. A. Zello. 2004. D-lactate production and excretion in diarrheic calves. *J. Vet. Intern. Med.* 18(5):744-747.
- Fall, P. J. et H. M. Szerlip. 2005. Lactic acidosis: from sour milk to septic shock. *J. Intensive Care Med.* 20(5):255-271.
- Ferrante, P. L. et D. S. Kronfeld. 1994. Effect of sample handling on measurement of plasma glucose and blood lactate concentrations in horses before and after exercise. *Am. J. Vet. Res.* 55(11):1497-1500.
- Ferrero, F. et C. M. Nascimento-Carvalho. 2012. Clinical prediction rules and pediatric infectious diseases. *Pediatr. Infect. Dis. J.* 31(6):628-629.
- Figueiredo, M. D., D. V. Nydam, G. A. Perkins, H. M. Mitchell, et T. J. Divers. 2006. Prognostic value of plasma L-lactate concentration measured cow-side with a portable clinical analyzer in Holstein dairy cattle with abomasal disorders. *J. Vet. Intern. Med.* 20(6):1463-1470.
- Franklin, R. P. et J. G. Peloso. 2006. Review of the Clinical Use of Lactate. Pages 305-309 dans *Proc. 52th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, San Antonio, TX, USA.*
- Fubini, S. L. et N. G. Ducharme. 2004. *Farm animal surgery.* Saunders, St. Louis, Mo.
- Fubini, S. L., Y. T. Grohn, et D. F. Smith. 1991. Right displacement of the abomasum and abomasal volvulus in dairy cows: 458 cases (1980-1987). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 198(3):460-464.
- Furr, M. O., P. Lessard, et N. A. White, 2nd. 1995. Development of a colic severity score for predicting the outcome of equine colic. *Vet. Surg.* 24(2):97-101.
- Gabel, A. A. et R. B. Heath. 1969. Treatment of right-sided torsion of the abomasum in cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 155(4):642-644.

- Garry, F. B., B. L. Hull, D. M. Rings, K. Kersting, et G. F. Hoffsis. 1988. Prognostic value of anion gap calculation in cattle with abomasal volvulus: 58 cases (1980-1985). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 192(8):1107-1112.
- Gossett, K. A., B. Cleghorn, G. S. Martin, et G. E. Church. 1987. Correlation between anion gap, blood L lactate concentration and survival in horses. *Equine Vet. J.* 19(1):29-30.
- Green, T. I., C. C. Tonozzi, R. Kirby, et E. Rudloff. 2011. Evaluation of initial plasma lactate values as a predictor of gastric necrosis and initial and subsequent plasma lactate values as a predictor of survival in dogs with gastric dilatation-volvulus: 84 dogs (2003-2007). *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 21(1):36-44.
- Greiner, M. 1996. Two-graph receiver operating characteristic (TG-ROC): update version supports optimisation of cut-off values that minimise overall misclassification costs. *J. Immunol. Methods* 191(1):93-94.
- Greiner, M., D. Pfeiffer, et R. D. Smith. 2000. Principles and practical application of the receiver-operating characteristic analysis for diagnostic tests. *Prev. Vet. Med.* 45(1-2):23-41.
- Grohn, Y. T., S. W. Eicker, V. Ducrocq, et J. A. Hertl. 1998. Effect of diseases on the culling of Holstein dairy cows in New York State. *J. Dairy Sci.* 81(4):966-978.
- Grohn, Y. T., S. L. Fubini, et D. F. Smith. 1990. Use of a multiple logistic regression model to determine prognosis of dairy cows with right displacement of the abomasum or abomasal volvulus. *Am. J. Vet. Res.* 51(12):1895-1899.
- Grosche, A., M. Furll, et T. Wittek. 2012. Peritoneal fluid analysis in dairy cows with left displaced abomasum and abomasal volvulus. *Vet. Rec.* 170(16):413.
- Habel, R. E. et D. F. Smith. 1981. Volvulus of the bovine abomasum and omasum. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 179(5):447-455.
- Hadley, G. L., C. A. Wolf, et S. B. Harsh. 2006. Dairy cattle culling patterns, explanations, and implications. *J. Dairy Sci.* 89(6):2286-2296.
- Hagman, R., B. J. Reezigt, H. Bergstrom Ledin, et E. Karlstam. 2009. Blood lactate levels in 31 female dogs with pyometra. *Acta Vet. Scand.* 51:2.
- Hashimoto-Hill, S., K. G. Magdesian, et P. H. Kass. 2011. Serial measurement of lactate concentration in horses with acute colitis. *J. Vet. Intern. Med.* 25(6):1414-1419.

- Henderson, I. S. F., R. P. Franklin, P. A. Wilkins, et R. C. Boston. 2008. Association of hyperlactatemia with age, diagnosis, and survival in equine neonates. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 18(5):496-502.
- Hill, K. J. 1965. Abomasal secretory function in the sheep. Pages 221-230 dans *Physiology of digestion in the ruminant*. R. W. Dougherty, ed. Butterworth Inc, Washington.
- Hjortkjaer, R. K. et C. K. Svendsen. 1979a. Right abomasal displacement in dairy cows, clinical, clinical chemical and hemodynamic findings with special reference to prognosis and circulatory disturbance. *Nord. Vet. Med.* 31(12):(Suppl. II) 1-28.
- Hjortkjaer, R. K. et C. K. Svendsen. 1979b. Simulated small intestinal volvulus in the anaesthetized horse. *Nord. Vet. Med.* 31(11):466-483.
- Hoffsis, G. F. et S. M. McGuirk. 1981. Diseases of the abomasum and intestinal tract. Pages 891-910 dans *Current veterinary therapy. Food animal practice*. J. L. Howard, ed. W B Saunders, Philadelphia.
- Holahan, M. L., A. J. Brown, et K. J. Drobatz. 2010. The association of blood lactate concentration with outcome in dogs with idiopathic immune-mediated hemolytic anemia: 173 cases (2003-2006). *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 20(4):413-420.
- Huckabee, W. E. 1961a. Abnormal resting blood lactate: I. The significance of hyperlactatemia in hospitalized patients. *Am. J. Med.* 30(6):833-839.
- Huckabee, W. E. 1961b. Abnormal resting blood lactate: II. Lactic acidosis. *Am. J. Med.* 30(6):840-848.
- Hughes, D., E. R. Rozanski, F. S. Shofer, L. L. Laster, et K. J. Drobatz. 1999. Effect of sampling site, repeated sampling, pH, and PCO<sub>2</sub> on plasma lactate concentration in healthy dogs. *Am. J. Vet. Res.* 60(4):521-524.
- Hurcombe, S. D., M. C. Mudge, et K. W. Hinchcliff. 2007. Clinical and clinicopathologic variables in adult horses receiving blood transfusions: 31 cases (1999-2005). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 231(2):267-274.
- Husain, F. A., M. J. Martin, P. S. Mullenix, S. R. Steele, et D. C. Elliott. 2003. Serum lactate and base deficit as predictors of mortality and morbidity. *Am. J. Surg.* 185(5):485-491.
- Johnston, K., S. J. Holcombe, et J. G. Hauptman. 2007. Plasma lactate as a predictor of colonic viability and survival after 360 degrees volvulus of the ascending colon in horses. *Vet. Surg.* 36(6):563-567.

- Kaplan, L. J. et J. A. Kellum. 2004. Initial pH, base deficit, lactate, anion gap, strong ion difference, and strong ion gap predict outcome from major vascular injury. *Crit. Care Med.* 32(5):1120-1124.
- Kitchen, H. et P. D. Rossdale. 1975. Metabolic profiles of newborn foals. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* (23):705-707.
- Kreisberg, R. A. 1980. Lactate homeostasis and lactic acidosis. *Ann. Intern. Med.* 92(2):227-237.
- Kumper, H. 1995. [Right displacement of the abomasum in cattle. 1. Pathogenesis, clinical course and prognosis]. *Tierarztl. Prax.* 23(4):351-359.
- Lagutchik, M. S., G. K. Ogilvie, T. B. Hackett, et W. E. Wingfield. 1998. Increased Lactate Concentrations in Ill and Injured Dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 8(2):117-127.
- Lagutchik, M. S., G. K. Ogilvie, W. E. Wingfield, et T. B. Hackett. 1996. Lactate kinetics in veterinary critical care: a review. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 6(2):81-95.
- Latson, K. M., J. E. Nieto, P. M. Beldomenico, et J. R. Snyder. 2005. Evaluation of peritoneal fluid lactate as a marker of intestinal ischaemia in equine colic. *Equine Vet. J.* 37(4):342-346.
- LeBlanc, S. J., K. E. Leslie, et T. F. Duffield. 2005. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88(1):159-170.
- Levin, G. M., J. J. Bonczynski, L. L. Ludwig, L. J. Barton, et A. S. Loar. 2004. Lactate as a diagnostic test for septic peritoneal effusions in dogs and cats. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 40(5):364-371.
- Levrant, J., C. Ichai, I. Petit, J.-P. Ciebiera, O. Perus, et D. Grimaud. 2003. Low exogenous lactate clearance as an early predictor of mortality in normolactatemic critically ill septic patients. *Crit. Care Med.* 31(3):705-710.
- Liao, X. P., Y. X. She, C. R. Shi, et M. Li. 1995. Changes in body fluid markers in intestinal ischemia. *J. Pediatr. Surg.* 30(10):1412-1415.
- Lunn, D. P., S. M. McGuirk, D. F. Smith, et P. S. MacWilliams. 1990. Renal net acid and electrolyte excretion in an experimental model of hypochloremic metabolic alkalosis in sheep. *Am. J. Vet. Res.* 51(11):1723-1731.
- Madias, N. E. 1986. Lactic acidosis. *Kidney Int.* 29(3):752-774.

- Magdesian, K. G. 2003. Blood lactate levels in neonatal foals: normal values and temporal effects in the post-partum period. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 13(3):174.
- Magdesian, K. G. 2004. Monitoring the critically ill equine patient. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 20(1):11-39.
- Magdesian, K. G., C. L. Fielding, D. M. Rhodes, et R. E. Ruby. 2006. Changes in central venous pressure and blood lactate concentration in response to acute blood loss in horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 229(9):1458-1462.
- McGowan, C. 2008. Clinical pathology in the racing horse: the role of clinical pathology in assessing fitness and performance in the racehorse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 24(2):405-421.
- McMichael, M. A., G. E. Lees, J. Hennessey, M. Sanders, et M. Boggess. 2005. Serial plasma lactate concentrations in 68 puppies aged 4 to 80 days. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 15(1):17-21.
- Meregalli, A., R. P. Oliveira, et G. Friedman. 2004. Occult hypoperfusion is associated with increased mortality in hemodynamically stable, high-risk, surgical patients. *Crit. Care* 8(2):R60-65.
- Moore, J. N., R. R. Owen, et J. H. Lumsden. 1976. Clinical evaluation of blood lactate levels in equine colic. *Equine Vet. J.* 8(2):49-54.
- Moore, J. N., D. S. Traver, M. F. Turner, F. J. White, J. G. Huesgen, et T. S. Butera. 1977. Lactic acid concentration in peritoneal fluid of normal and diseased horses. *Res. Vet. Sci.* 23(1):117-118.
- Moore, R. M., S. R. Hance, J. Hardy, B. R. Moore, R. M. Embertson, et P. D. Constable. 1996. Colonic luminal pressure in horses with strangulating and nonstrangulating obstruction of the large colon. *Vet. Surg.* 25(2):134-141.
- Murray, R. K. et H. A. Harper. 2002. *Biochimie de Harper*. 25e ed. Presses de l'Université Laval ; De Boeck, Sainte-Foy, Québec ; Bruxelles.
- Nagy, O., H. Seidel, I. Paulikova, P. Mudron, et G. Kovac. 2006. Use of blood gases and lactic acid analyses in diagnosis and prognosis of respiratory diseases in calves. *Bull. Vet. Inst. Pulawy* 50(2):149-152.
- Neal, P. A. et P. J. N. Pinsent. 1960. Dilatation and torsion of the bovine abomasum. *Vet. Rec.* 72(10):175-180.

- Neil, K. 2008. How to use lactate in equine practice. *Aust. Equine Vet.* 27(4):34-48.
- Nel, M., R. G. Lobetti, N. Keller, et P. N. Thompson. 2004. Prognostic value of blood lactate, blood glucose, and hematocrit in canine babesiosis. *J. Vet. Intern. Med.* 18(4):471-476.
- Nelimarkka, O., L. Halkola, et J. Niinikoski. 1984. Renal hypoxia and lactate metabolism in hemorrhagic shock in dogs. *Crit. Care Med.* 12(8):656-660.
- Nguyen, H. B., E. P. Rivers, B. P. Knoblich, G. Jacobsen, A. Muzzin, J. A. Ressler, et M. C. Tomlanovich. 2004. Early lactate clearance is associated with improved outcome in severe sepsis and septic shock. *Crit. Care Med.* 32(8):1637-1642.
- Oh, M. S. et H. J. Carroll. 1977. The anion gap. *N. Engl. J. Med.* 297(15):814-817.
- Oh, M. S., K. R. Phelps, M. Traube, J. L. Barbosa-Saldivar, C. Boxhill, et H. J. Carroll. 1979. D-lactic acidosis in a man with the short-bowel syndrome. *N. Engl. J. Med.* 301(5):249-252.
- Omole, O. O., G. Nappert, J. M. Naylor, et G. A. Zello. 2001. Both L- and D-lactate contribute to metabolic acidosis in diarrheic calves. *J. Nutr.* 131(8):2128-2131.
- Orsini, J. A., A. H. Elser, D. T. Galligan, W. J. Donawick, et D. S. Kronfeld. 1988. Prognostic index for acute abdominal crisis (colic) in horses. *Am. J. Vet. Res.* 49(11):1969-1971.
- Osnes, J. B. et L. Hermansen. 1972. Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *J. Appl. Physiol.* 32(1):59-63.
- Pang, D. S. et S. Boysen. 2007. Lactate in veterinary critical care: pathophysiology and management. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 43(5):270-279.
- Parry, B. W., G. A. Anderson, et C. C. Gay. 1983a. Prognosis in equine colic: a comparative study of variables used to assess individual cases. *Equine Vet. J.* 15(3):211-215.
- Parry, B. W., G. A. Anderson, et C. C. Gay. 1983b. Prognosis in equine colic: a study of individual variables used in case assessment. *Equine Vet. J.* 15(4):337-344.
- Parry, B. W. et M. V. Crisman. 1991. Serum and peritoneal fluid amylase and lipase reference values in horses. *Equine Vet. J.* 23(5):390-391.
- Pearson, H. 1973. The treatment of surgical disorders of the bovine abdomen. *Vet. Rec.* 92(10):245-254.
- Pellerin, D. et R. Levallois. 2008. Comment augmenter le bénéfice d'une ferme laitière. Pages 17-32 dans *Les bovins laitiers*. C. Ferland, D. Jacques, C. Jean, et A. Pronovost, ed. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec.

- Poulsen, J. S. D. 1974a. Clinical chemical examination of a case of left-sided abomasal displacement, changing to right-sided abomasal displacement. *Nord. Vet. Med.* 26(2):91-96.
- Poulsen, J. S. D. 1974b. Right-sided abomasal displacement in dairy cows: pre- and postoperative clinical chemical findings. *Nord. Vet. Med.* 26(2):65-90.
- Prittie, J. 2006. Optimal endpoints of resuscitation and early goal-directed therapy. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* 16(4):329-339.
- Radostits, O. M., S. H. Done, et D. C. Blood. 2007. *Veterinary medicine : a textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats.* 10th ed. Elsevier Saunders, New York.
- Rand, J. S., E. Kinnaird, A. Baglioni, J. Blackshaw, et J. Priest. 2002. Acute stress hyperglycemia in cats is associated with struggling and increased concentrations of lactate and norepinephrine. *J. Vet. Intern. Med.* 16(2):123-132.
- Rebhun, W. C., S. L. Fubini, T. K. Miller, et F. R. Lesser. 1988. Vagus indigestion in cattle: clinical features, causes, treatments, and long-term follow-up of 112 cases. *Compend. Contin. Educ. Vet.* 10(3):387-391.
- Reksen, O., L. Solverod, A. J. Branscum, et O. Osteras. 2006. Relationships between milk culture results and treatment for clinical mastitis or culling in Norwegian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89(8):2928-2937.
- Richmond, D. H. 1964. The Use of Percussion and Auscultation as a Diagnostic Aid in Abomasal Displacement of Dairy Cows. *Can. Vet. J.* 5(1):5-7.
- Robergs, R. A., F. Ghiasvand, et D. Parker. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 287(3):R502-516.
- Rohn, M., B. A. Tenhagen, et W. Hofmann. 2004. Survival of dairy cows after surgery to correct abomasal displacement: 1. Clinical and laboratory parameters and overall survival. *J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 51(6):294-299.
- Roy, J.-P., D. Harvey, A.-M. Belanger, et S. Buczinski. 2008. Comparison of 2-step laparoscopy-guided abomasopexy versus omentopexy via right flank laparotomy for the treatment of dairy cows with left displacement of the abomasum in on-farm settings. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 232(11):1700-1706.

- Ruf, W., G. T. Suehiro, A. Suehiro, V. Pressler, et J. J. McNamara. 1980. Intestinal blood flow at various intraluminal pressures in the piglet with closed abdomen. *Ann. Surg.* 191(2):157-163.
- Russell, K. E. et A. J. Roussel. 2007. Evaluation of the ruminant serum chemistry profile. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 23(3):403-426.
- Sattler, N., G. Fecteau, P. Helie, J. M. Lapointe, L. Chouinard, M. Babkine, A. Desrochers, Y. Couture, et P. Dubreuil. 2000. Etiology, forms, and prognosis of gastrointestinal dysfunction resembling vagal indigestion occurring after surgical correction of right abomasal displacement. *Can. Vet. J.* 41(10):777-785.
- Schulman, M. L., J. P. Nurton, et A. J. Guthrie. 2001. Use of the Accusport semi-automated analyser to determine blood lactate as an aid in the clinical assessment of horses with colic. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 72(1):12-17.
- Shaver, R. D. 1997. Nutritional risk factors in the etiology of left displaced abomasum in dairy cows: a review. *J. Dairy Sci.* 80(10):2449-2453.
- Shull, R. M. 1978. The value of anion gap and osmolal gap determination in veterinary medicine. *Vet. Clin. Pathol.* 7(3):12-14.
- Simpson, D. F., H. N. Erb, et D. F. Smith. 1985. Base excess as a prognostic and diagnostic indicator in cows with abomasal volvulus or right displacement of the abomasum. *Am. J. Vet. Res.* 46(4):796-797.
- Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M., E. T. W. van den Broek, et A. J. Spierenburg. 2008. Evaluation of the usefulness of the portable device Lactate Pro for measurement of lactate concentrations in equine whole blood. *J. Vet. Diagn. Invest.* 20(1):83-85.
- Smith, B. P. 2009. *Large animal internal medicine*. 4th ed. Mosby Elsevier, St. Louis, Mo.
- Smith, D. F. 1978. Right-side torsion of the abomasum in dairy cows: classification of severity and evaluation of outcome. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 173(1):108-111.
- Smith, D. F. 1987. Abomasal volvulus. *Bovine Pract.* 22:162-164.
- Smith, D. F., H. N. Erb, K. M. Kalaher, et W. C. Rebhun. 1982. The identification of structures and conditions responsible for right side tympanitic resonance (ping) in adult cattle. *Cornell Vet.* 72(2):180-199.

- Smith, D. F., D. P. Lunn, G. M. Robinson, S. M. McGuirk, E. V. Nordheim, et P. S. MacWilliams. 1990. Experimental model of hypochloremic metabolic alkalosis caused by diversion of abomasal outflow in sheep. *Am. J. Vet. Res.* 51(11):1715-1722.
- Snyder, J. R., J. R. Pascoe, H. J. Olander, F. A. Harmon, D. M. Hinds, N. J. Vatisasa, et W. S. Tyler. 1992. Ultrastructural mucosal injury after experimental ischemia of the ascending colon in horses. *Am. J. Vet. Res.* 53(10):1917-1924.
- Snyder, J. R., J. R. Pascoe, H. J. Olander, D. M. Hinds, R. Young, et W. S. Tyler. 1990. Vascular injury associated with naturally occurring strangulating obstructions of the equine large colon. *Vet. Surg.* 19(6):446-455.
- Stacpoole, P. W., E. C. Wright, T. G. Baumgartner, R. M. Bersin, S. Buchalter, S. H. Curry, C. Duncan, E. M. Harman, G. N. Henderson, S. Jenkinson, J. M. Lachin, A. Lorenz, S. H. Schneider, J. H. Siegel, W. R. Summer, D. Thompson, C. L. Wolfe, et B. Zorovich. 1994. Natural history and course of acquired lactic acidosis in adults. *Am. J. Med.* 97(1):47-54.
- Sterner, K. E., J. Grymer, P. C. Bartlett, et M. J. Miekstyn. 2008. Factors influencing the survival of dairy cows after correction of left displaced abomasum. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 232(10):1521-1529.
- Stevenson, C. K., B. A. Kidney, T. Duke, E. C. R. Snead, R. C. Mainar-Jaime, et M. L. Jackson. 2007. Serial blood lactate concentrations in systemically ill dogs. *Vet. Clin. Pathol.* 36(3):234-239.
- Svendsen, C. K., R. K. Hjortkjaer, et M. Hesselholt. 1979. Colic in the horse. A clinical and clinical chemical study of 42 cases. *Nord. Vet. Med.* 31(10):Suppl 1-32.
- Svendsen, P. 1969. Etiology and pathogenesis of abomasal displacement in cattle. *Nord. Vet. Med.* 21:(Suppl. I) 1-42.
- Tanner, R. K., K. L. Fuller, et M. L. R. Ross. 2010. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur. J. Appl. Physiol.* 109(3):551-559.
- Tas, O., H. De Rooster, E. Baert, M. H. Doom, et L. Duchateau. 2008. The accuracy of the Lactate Pro hand-held analyser to determine blood lactate in healthy dogs. *J. Small Anim. Pract.* 49(10):504-508.

- Tashkin, D. P., P. J. Goldstein, et D. H. Simmons. 1972. Hepatic lactate uptake during decreased liver perfusion and hypoxemia. *Am. J. Physiol.* 223(4):968-974.
- Tennent-Brown, B. S. 2012. Interpreting Lactate Measurement in Critically Ill Horses: Diagnosis, Treatment, and Prognosis. *Compend. Contin. Educ. Vet.* 34(1):E1-E6.
- Tennent-Brown, B. S., P. A. Wilkins, S. Lindborg, G. Russell, et R. C. Boston. 2007. Assessment of a point-of-care lactate monitor in emergency admissions of adult horses to a referral hospital. *J. Vet. Intern. Med.* 21(5):1090-1098.
- Tennent-Brown, B. S., P. A. Wilkins, S. Lindborg, G. Russell, et R. C. Boston. 2010. Sequential plasma lactate concentrations as prognostic indicators in adult equine emergencies. *J. Vet. Intern. Med.* 24(1):198-205.
- Thompson, M., A. Van den Bruel, J. Verbakel, M. Lakhanpaul, T. Haj-Hassan, R. Stevens, H. Moll, F. Buntinx, M. Berger, B. Aertgeerts, R. Oostenbrink, et D. Mant. 2012. Systematic review and validation of prediction rules for identifying children with serious infections in emergency departments and urgent-access primary care. *Health Technol. Assess.* 16(15):1-100.
- Thorneloe, C., C. Bedard, et S. Boysen. 2007. Evaluation of a hand-held lactate analyzer in dogs. *Can. Vet. J.* 48(3):283-288.
- Titchen, D. A. 1958. Reflex stimulation and inhibition of reticulum contractions in the ruminant stomach. *J. Physiol. (Lond).* 141(1):1-21.
- Trent, A. M. 1990. Surgery of the bovine abomasum. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 6(2):399-348.
- Vincent, J. L., P. Dufaye, J. Berre, M. Leeman, J. P. Degaute, et R. J. Kahn. 1983. Serial lactate determinations during circulatory shock. *Crit. Care Med.* 11(6):449-451.
- Vogel, S. R., S. Nichols, S. Buczinski, A. Desrochers, M. Babkine, M. Veillette, D. Francoz, E. Doré, G. Fecteau, A.-M. Bélanger, et M. Badillo. 2012. Duodenal obstruction caused by duodenal sigmoid flexure volvulus in dairy cattle: 29 cases (2006–2010). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 241(5):621-625.
- Wade, C. E., D. S. Trail, V. L. Gildengorin, et J. P. Hannon. 1989. Blood lactate as a prognosticator of survival following hemorrhage in conscious swine. *Lab. Anim. Sci.* 39(1):44-46.

- Wallace, C. E. 1989. Reticulo, omasal, abomasal volvulus in dairy cows. *Bovine Pract.* 24:74-76.
- Weil, M. H. et A. A. Afifi. 1970. Experimental and clinical studies on lactate and pyruvate as indicators of the severity of acute circulatory failure (shock). *Circulation* 41(6):989-1001.
- Weil, M. H., S. Michaels, et E. C. Rackow. 1987. Comparison of blood lactate concentrations in central venous, pulmonary artery, and arterial blood. *Crit. Care Med.* 15(5):489-490.
- Whist, A. C., O. Osteras, et L. Solverod. 2009. Association between isolation of *Staphylococcus aureus* one week after calving and milk yield, somatic cell count, clinical mastitis, and culling through the remaining lactation. *J. Dairy Res.* 76(1):24-35.
- Wiese, J., A. Didwania, R. Kerzner, et B. Chernow. 1997. Use of different anticoagulants in test tubes for analysis of blood lactate concentrations: Part 2. Implications for the proper handling of blood specimens obtained from critically ill patients. *Crit. Care Med.* 25(11):1847-1850.
- Wittek, T., P. D. Constable, et M. Furll. 2004. Comparison of abomasal luminal gas pressure and volume and perfusion of the abomasum in dairy cows with left displaced abomasum or abomasal volvulus. *Am. J. Vet. Res.* 65(5):597-603.
- Wittek, T., A. Grosche, L. Locher, A. Alkaassem, et M. Furll. 2010. Biochemical constituents of peritoneal fluid in cows. *Vet. Rec.* 166(1):15-19.
- Wotman, K., P. A. Wilkins, J. E. Palmer, et R. C. Boston. 2009. Association of blood lactate concentration and outcome in foals. *J. Vet. Intern. Med.* 23(3):598-605.
- Yamout, S. Z., J. E. Nieto, P. M. Beldomenico, J. E. Dechant, S. Lejeune, et J. R. Snyder. 2011. Peritoneal and plasma D-lactate concentrations in horses with colic. *Vet. Surg.* 40(7):817-824.
- Zacher, L. A., J. Berg, S. P. Shaw, et R. K. Kudej. 2010. Association between outcome and changes in plasma lactate concentration during presurgical treatment in dogs with gastric dilatation-volvulus: 64 cases (2002-2008). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 236(8):892-897.

## **Annexe : Fiche de compilation projet lactate**

### **Identification des vaches**

Date : Vétérinaire :

Numéro ou nom de la vache Ferme

Age Lactation n Jour en lait

Antécédents médicaux

Traitement initiaux par le propriétaire

### **Examen physique**

T P R

CMT : BHB (precision Xtra):

Estimation clinique de la déshydratation :

Absente faible (5-7%) moyenne (8-10%) importante (>10%)

Distension abdominale : absente, moyenne, importante,  
unilatérale (droite, gauche), bilatérale

Succussion abdominale : oui non ; droite, gauche

Ping : oui non droite gauche caractéristique d'un organe oui non ; lequel :

Examen Transrectal : distension intestinale, caecale, bandes de tensions, torsion (caecum, utérus), masse indéterminée

Fumier : normal, mal digéré, sec, diarrhée, sang, fibrine, méléna

Quantité de fumier: absent, faible, normale, augmentée

Maladie concomitante :

### **Traitement médical**

Fluides : IV, PO type et quantité :

AINS : lequel et dose :

Autres traitements :

**Chirurgie** : oui non

Intervention : omentopexie, omentopyloropexie, pyloropexie, autre :

Liquide abdominal : absent, faible, important

Autres anomalies peropératoires :

Présence de signes de congestion des organes digestifs : aucun, moyen, important, zones de nécrose

Taille de la caillette : petite, moyenne, grosse

Liquide dans la caillette vs gaz : beaucoup de gaz, beaucoup de liquide, moitié-moitié

**Diagnostic final :****Prise de sang** : à la queue, analyse des lactates dans la minute qui suit le prélèvement<sup>2</sup>

Lactatémie J0 :

**Pronostic****Suivi téléphonique: J7.**

Appétit 0 25 50 75 100%

Production laitière 0 25 50 75 100%

Satisfaction de l'éleveur : insatisfaisant    satisfaisant    très satisfaisant

Noter si l'animal est mort, à quelle date par rapport à la visite initiale par le vétérinaire

Si réformé quel motif :

**Suivi téléphonique : J30.**

Appétit 0 25 50 75 100%

Production laitière 0 25 50 75 100%

Satisfaction de l'éleveur : insatisfaisant    satisfaisant    très satisfaisant

Noter si l'animal est mort, à quelle date par rapport à la visite initiale par le vétérinaire

Si réformé quel motif :

---

<sup>2</sup> Une feuille était annexée à ce formulaire afin que l'étudiant ou le producteur puisse y inscrire la lactatémie. Une fois inscrite, la feuille était repliée afin que le vétérinaire ne voit pas cette valeur.

