

Université de Montréal

L'UTILISATION DU PRÉMÉLANGE RUMENSIN® CHEZ LES VACHES  
LACTIÈRES : LES FACTEURS INFLUENÇANT SON EFFET SUR LA  
PRODUCTION ET LA COMPOSITION DU LAIT

par

JOCELYN DUBUC

Département de sciences cliniques  
Faculté de médecine vétérinaire

Mémoire présenté à la Faculté de études supérieures  
en vue de l'obtention du grade  
Maître ès Sciences (M.Sc.)  
en sciences vétérinaires  
option sciences cliniques

Avril 2007



© Jocelyn Dubuc, 2007

SF  
607  
U54  
2007  
V.012



## AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

## NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

L'UTILISATION DU PRÉMÉLANGE RUMENSIN® CHEZ LES VACHES  
LACTIÈRES : LES FACTEURS INFLUENÇANT SON EFFET SUR LA  
PRODUCTION ET LA COMPOSITION DU LAIT

Présenté par :  
JOCELYN DUBUC

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dr Émile Bouchard  
Président-rapporteur  
Dr Luc DesCôteaux  
Directeur de recherche  
Dr Daniel Scholl  
Membre du jury

Mémoire accepté le 24 avril 2007

## RÉSUMÉ

Depuis l'homologation du prémélange de sodium de monensin en 2004 (Prémélange Rumensin<sup>®</sup>, Elanco Santé Animale, Canada), de plus en plus de vétérinaires québécois recommandent son utilisation chez les vaches laitières. Beaucoup de médecins vétérinaires, qui désirent prescrire ce produit dans leurs troupeaux, sont à la recherche d'informations pratiques pour prédire les effets d'un éventuel traitement. Le but principal de cet essai clinique est de vérifier si le sodium de monensin utilisé à une concentration de 16 ppm chez des troupeaux laitiers commerciaux provoque une hausse de la production laitière et une baisse du pourcentage de gras du lait. Un autre but de cette étude est d'identifier des facteurs nutritionnels ayant une interaction avec le monensin sur la production de lait et de gras. L'identification de ces facteurs pourrait permettre de développer des outils de prédiction de ces effets sur les fermes laitières. Dans le but de répondre à ces objectifs, un essai clinique sur 49 troupeaux laitiers Holstein a été fait au Québec (Canada) entre novembre 2005 et mai 2006. Le troupeau était considéré comme l'unité d'intérêt de cette étude. Les troupeaux participants ont été balancés en deux groupes selon leur production laitière, leur type de stabulation, leur système d'alimentation et la taille de la ferme. Le traitement au monensin a été alloué aléatoirement selon un protocole croisé pour chaque groupe. Le prémélange de monensin a été inclus dans la ration des vaches laitières pour une période de 3 mois pour chaque troupeau. La composition de la ration et la taille des particules alimentaires ont été évaluées sur les fermes à chaque deux mois. Les valeurs de production laitière (PROD) et de pourcentage de gras du lait (GRAS) provenaient de mesures hebdomadaires du réservoir de lait de chaque troupeau et ont été considérées comme variables dépendantes dans des modèles linéaires mixtes. Les valeurs hebdomadaires de PROD et GRAS ont été traitées comme mesures répétées à l'intérieur des troupeaux. Tous les modèles statistiques incluaient les covariables imposées suivantes:

traitement, groupe, saison, parité moyenne et jours en lait moyens du troupeau. Les différences étaient considérées significatives si  $P \leq 0.05$ . La majorité des troupeaux étaient alimentés par une ration totale mélangée ( $n=30$ ; 61%) et étaient logés en stabulation attachée ( $n=42$ ; 86%). L'effet global du monensin sur la production laitière n'était pas significatif. Le monensin a causé une chute du pourcentage de gras du lait (-0.16%;  $P \leq 0.01$ ). Plusieurs interactions statistiques entre le monensin et les variables alimentaires étaient significatives. La concentration en hydrates de carbones non structuraux de la ration, la proportion de fibres physiquement efficaces dans la ration et l'administration de foin sec comme premier repas du matin sont des facteurs qui influencent l'effet du monensin sur le pourcentage de gras du lait. Tous ces facteurs alimentaires sont des indicateurs théoriques et pratiques des niveaux de glucides dans l'alimentation. Les glucides alimentaires influencent donc les effets du monensin. Les résultats de cette étude apportent des outils pratiques pour prédire les effets du monensin sur les paramètres de production laitière.

(Mots clés: monensin, production laitière, gras, nutrition)

## ABSTRACT

Monensin sodium premix (Rumensin<sup>®</sup> Premix, Elanco Animal Health, Canada) has been cleared in 2004 for its use in dairy cows. Since this time, dairy practitioners have asked for practical on-farm tools to predict monensin effects on milk production and milk fat percentage. The goal of this field trial was to evaluate if the use of 16 ppm of monensin sodium in commercial dairy herds increases milk production (PROD) and decreases milk fat percentage (MFP). Another goal of this study was to identify possible interactions between monensin and nutritional factors on PROD and MFP. A randomized clinical trial was conducted on 49 Holstein dairy herds in Québec (Canada) between November 2005 and May 2006. The herd was considered as the unit of interest. The herds were balanced in two groups for milk production, housing system, feeding system and size of farm. Monensin treatment was allocated in a crossover designed trial for each group. The monensin premix was added to the lactating dairy cow rations for a consecutive 3-month period for every herd. Diet composition and particle size evaluation data were collected on farm every two months. Milk production and MFP were from weekly averages of daily bulk tank data. Milk production and MFP were considered as outcome variables in linear mixed models. Milk production and MFP were treated as weekly repeated measures within herds. All models included treatment, group, season, parity and days in milk as forced covariates. Significance was declared as  $P \leq 0.05$ . Majority of herds were fed total mixed ration ( $n=30$ ; 61%) and were housed in tie-stalls ( $n=42$ ; 86%). Overall monensin effect on PROD was not significant. Monensin had a decreasing effect on MFP (-0.16%;  $P \leq 0.01$ ). Statistical interactions with monensin on MFP were observed for some nutritional factors. Diet NFC level, diet physically effective fiber level and feeding hay as first meal in the morning did influence the effects of monensin on milk production and fat percentage. The results of this trial are consistent with previous studies and confirm that monensin lowers herd

MFP at a dose of 16 ppm in lactating dairy cows. Also, interactions between monensin and nutritional factors having effects on PROD and MFP were mostly related to carbohydrate levels in the diet. Results of this study give more tools for predicting the effects of monensin of milk production parameters.

(Key Words: Monensin, Milk production, Milk Fat Percentage, Nutrition)

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>VII</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>IX</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>X</b>
<b>Liste des sigles et abréviations</b> .....	<b>XI</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>RECENSION DE LITTÉRATURE</b> .....	<b>2</b>
1- <b>PHYSIOLOGIE DE LA DIGESTION RUMINALE CHEZ LA VACHE</b> .....	<b>2</b>
2- <b>SYNTHÈSE BIOCHIMIQUE DU LAIT ET DE SES COMPOSANTS</b> .....	<b>3</b>
2.1 <i>Synthèse du lait</i> .....	<b>3</b>
2.2 <i>Synthèse du gras</i> .....	<b>4</b>
2.3 <i>Synthèse de la protéine</i> .....	<b>6</b>
3- <b>FACTEURS INFLUENÇANT LA PRODUCTION LAITIÈRE</b> .....	<b>7</b>
3.1 <i>Facteurs non alimentaires</i> .....	<b>7</b>
3.2 <i>Facteurs alimentaires</i> .....	<b>8</b>
3.2.1 Effets de la consommation volontaire de matière sèche .....	<b>8</b>
3.2.2 Effets du ratio fourrages:concentrés .....	<b>9</b>
3.2.3 Effets des lipides alimentaires .....	<b>9</b>
3.2.4 Effets des additifs alimentaires .....	<b>10</b>
4- <b>FACTEURS INFLUENÇANT LA PRODUCTION DE MATIÈRE GRASSE DU LAIT</b> .....	<b>10</b>
4.1 <i>Facteurs non alimentaires</i> .....	<b>10</b>
4.2 <i>Facteurs alimentaires</i> .....	<b>12</b>
4.2.1 Introduction aux théories de chute du pourcentage de gras .....	<b>12</b>
4.2.1.1 Théorie de modification des proportions d'AGV .....	<b>12</b>
4.2.1.2 Théorie gluconéogénique .....	<b>13</b>
4.2.1.3 Théorie des acides gras insaturés .....	<b>13</b>
4.2.2 Effets de la quantité de fibres alimentaires efficaces .....	<b>15</b>
4.2.2.1 Niveau insuffisant de fibres efficaces .....	<b>15</b>
4.2.2.2 Niveau suffisant de fibres efficaces .....	<b>16</b>
4.2.3 Effets des lipides alimentaires .....	<b>17</b>
4.2.4 Effets des additifs alimentaires .....	<b>18</b>
5- <b>UTILISATION DU MONENSIN CHEZ LA VACHE LAITIÈRE</b> .....	<b>19</b>
5.1 <i>Mode d'action sur la flore du rumen</i> .....	<b>19</b>
5.2 <i>Effets sur le métabolisme énergétique de la vache</i> .....	<b>21</b>
5.3 <i>Effets sur le métabolisme protéique de la vache</i> .....	<b>22</b>
5.4 <i>Utilisations potentielles du monensin chez les bovins laitiers</i> .....	<b>23</b>
5.4.1 Effets sur la production laitière .....	<b>23</b>
5.4.2 Effets sur la production de matière grasse du lait .....	<b>24</b>
5.4.3 Effets sur la production de protéine du lait .....	<b>26</b>
5.4.4 Effets sur l'efficacité alimentaire de la production laitière .....	<b>26</b>
5.4.5 Effets sur la consommation volontaire de matière sèche (CVMS) .....	<b>27</b>
5.4.6 Effets lors des situations d'acidose subaiguë du rumen .....	<b>27</b>
5.4.7 Effets sur la santé .....	<b>28</b>
5.4.8 Effets sur la reproduction .....	<b>29</b>
5.4.9 Temps de retrait .....	<b>29</b>
5.5 <i>Interactions entre le monensin et les facteurs alimentaires</i> .....	<b>29</b>
5.5.1 Effets sur la production laitière .....	<b>29</b>
5.5.2 Effets sur le gras du lait .....	<b>30</b>

<b>MISE EN SITUATION DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>32</b>
<b>PRÉSENTATION DE L'ARTICLE .....</b>	<b>33</b>
<b>AUTRES RÉSULTATS ET DISCUSSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>60</b>
PRODUCTION LAITIÈRE.....	60
POURCENTAGE DE GRAS DU LAIT .....	62
ÉCRITURE DES ANALYSES STATISTIQUES .....	63
UTILISATION PRATIQUE DES RÉSULTATS DE CETTE ÉTUDE .....	63
LIMITES DE L'ÉTUDE.....	64
FORCES ET FAIBLESSES DE CETTE ÉTUDE.....	64
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>67</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>XV</b>
ANNEXE 1. INTERACTION ENTRE LES HYDRATES DE CARBONE NON STRUCTURAUX DE LA RATION ET LE TRAITEMENT AU MONENSIN (HCNS*TX) SUR LA PRODUCTION LAITIÈRE QUOTIDIENNE PAR VACHE DE 49 TROUPEAUX (P<0.01). LES CARRÉS NOIRS ET LA LIGNE DE RÉGRESSION PLEINE SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX NON TRAITÉS AU MONENSIN. LES CERCLES BLANCS ET LA LIGNE DE RÉGRESSION POINTILLÉE SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX TRAITÉS AU MONENSIN (16 PPM). CHAQUE POINT REPRÉSENTE UNE MESURE RÉPÉTÉE DE HCNS QUI A ÉTÉ RÉCOLTÉE À QUATRE REPRISES PAR TROUPEAU DURANT LE PROJET DE RECHERCHE. ....	XV
ANNEXE 2. MOYENNES DES MOINDRES CARRÉS DE LA PRODUCTION LAITIÈRE QUOTIDIENNE PAR VACHE SELON L'EFFET DU TRAITEMENT AU MONENSIN ET STRATIFIÉ PAR LA CONCENTRATION DE LA RATION EN HYDRATES DE CARBONE NON STRUCTURAUX (HCNS) DANS 49 TROUPEAUX. AUCUNE DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE N'A ÉTÉ NOTÉE. LES HISTOGRAMMES NOIRS SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX NON TRAITÉS AU MONENSIN. LES HISTOGRAMMES BLANCS SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX TRAITÉS AU MONENSIN (16 PPM). ....	XVI
ANNEXE 3. INTERACTION ENTRE LES HYDRATES DE CARBONE NON STRUCTURAUX DE LA RATION ET LE TRAITEMENT AU MONENSIN (HCNS*TX) SUR LE POURCENTAGE DE GRAS DU LAIT HEBDOMADAIRE DE 49 TROUPEAUX (P=0.01). LES CARRÉS NOIRS ET LA LIGNE DE RÉGRESSION PLEINE SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX NON TRAITÉS AU MONENSIN. LES CERCLES BLANCS ET LA LIGNE DE RÉGRESSION POINTILLÉE SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX TRAITÉS AU MONENSIN (16 PPM). CHAQUE POINT REPRÉSENTE UNE MESURE RÉPÉTÉE DE HCNS QUI A ÉTÉ RÉCOLTÉE À QUATRE REPRISES PAR TROUPEAU DURANT LE PROJET DE RECHERCHE. ....	XVII
ANNEXE 4. INTERACTION ENTRE LA FIBRE PHYSIQUEMENT EFFICACE DE LA RATION ET LE TRAITEMENT AU MONENSIN (PEF*TX) SUR LE POURCENTAGE DE GRAS DU LAIT HEBDOMADAIRE DE 49 TROUPEAUX (P<0.01). LES CARRÉS NOIRS ET LA LIGNE DE RÉGRESSION PLEINE SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX NON TRAITÉS AU MONENSIN. LES CERCLES BLANCS ET LA LIGNE DE RÉGRESSION POINTILLÉE SONT ASSOCIÉS AUX TROUPEAUX TRAITÉS AU MONENSIN (16 PPM). CHAQUE POINT REPRÉSENTE UNE MESURE RÉPÉTÉE DE PEF QUI A ÉTÉ RÉCOLTÉE À QUATRE REPRISES PAR TROUPEAU DURANT LE PROJET DE RECHERCHE .....	XVIII
ANNEXE 5. ÉCRITURE DES MODÈLES STATISTIQUES DANS SAS. ....	XIX
<i>A) Statistiques descriptives et modèles préliminaires.....</i>	<i>xix</i>
<i>B) Modèles statistiques finaux.....</i>	<i>xxv</i>
ANNEXE 6. TABLEAU DU DEVIS EXPÉRIMENTAL DE CET ESSAI CLINIQUE SUR LES EFFETS DU TRAITEMENT AU MONENSIN SODIQUÉ (16 PPM) CHEZ 49 TROUPEAUX LAITIERS HOLSTEIN. LE TRAITEMENT AU MONENSIN EST INDIQUÉ PAR LE SIGLE TX. ....	XXVIII
ANNEXE 7. CALENDRIER DE LA NUMÉROTATION DES SEMAINES DE CE PROJET. ....	XXIX
ANNEXE 8. QUESTIONNAIRE UTILISÉ AUPRÈS DES VÉTÉRINAIRES PRATICIENS POUR RECRUTER LES TROUPEAUX POTENTIELS POUR CE PROJET DE RECHERCHE. ....	XXX
ANNEXE 9. QUESTIONNAIRE UTILISÉ AUPRÈS DES PRODUCTEURS LAITIERS POUR RÉCOLTER LES INFORMATIONS DE TROUPEAUX AU DÉBUT DU PROJET DE RECHERCHE.....	XXXI
ANNEXE 10. DÉFINITION ET DESCRIPTION DES VARIABLES UTILISÉES LORS DES ANALYSES STATISTIQUES DE CE PROJET DE RECHERCHE. ....	XXXIV
<i>A) Variables diverses.....</i>	<i>xxxiv</i>
<i>B) Variables dépendantes.....</i>	<i>xxxiv</i>
<i>C) Variables indépendantes.....</i>	<i>xxxiv</i>

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau I.** Comparaison de l'effet du monensin sodique sur le pourcentage de gras du lait des vaches Holstein selon plusieurs études.....25

Tableaux de l'article «*Dietary Interactions and Effects of Monensin Premix on Milk Production and Fat Percentage in Dairy Herds.*»

**Tableau 1.** *Herd and diet composition description for continuous variables*.....51

**Tableau 2.** *Descriptive statistics (mean) of crude weekly bulk tank milk production and milk fat percentage in 49 Holstein herds for categorical variables according to monensin treatment period*.....52

**Tableau 3.** *Estimates for daily milk production from final mixed model using weekly repeated measures within herd for 49 Holstein herds* .....53

**Tableau 4.** *Estimates for weekly milk fat percentage from final mixed model using weekly repeated measures within herd for 49 Holstein herds*.....54

## LISTE DES FIGURES

**Figure 1.** Processus de biohydrogénation ruminale de l'acide linoléique conjugué.  
Figure traduite et adaptée de Bauman et Griinari (1999).....15

Figures de l'article «*Dietary Interactions and Effects of Monensin Premix on Milk Production and Fat Percentage in Dairy Herds.*»

**Figure 1.** *The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM  $\pm$  SE) in 49 Holstein herds.....56*

**Figure 2.** *The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM  $\pm$  SE) stratified by the use of dry hay fed as first meal (HAY) in 49 Holstein herds.....57*

**Figure 3.** *The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM  $\pm$ SE) stratified by diet non fiber carbohydrates level (NFC) in 49 Holstein herds.....58*

**Figure 4.** *The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM  $\pm$ SE) stratified by diet physically effective fiber level (PEF) in 49 Holstein herds.....59*

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AA	acides aminés
AG	acides gras
AGV	acides gras volatiles
ALC	acides linoléiques conjugués
ARN	acide ribonucléique
ASAR	acidose subaiguë du rumen
ATPase	adénosine triphosphatase
BHB	$\beta$ -hydroxybutyrate
BT	réservoir de lait
CP	protéine brute
CRC	capsule à libération contrôlée
CPG	chute du pourcentage de gras
CVMS	consommation volontaire de matière sèche
DF	degrés de liberté
DIM	jours en lait
DHI	dairy herd improvement (contrôle laitier)
dl	degrés de liberté
DSA	logiciel «dossiers de santé animale»
ET	écart-type
GPS	système de transformation des grains
GRAS	pourcentage de gras du lait
HAY	foin sec servi le matin
HCNS	hydrates de carbones non structuraux
LSM	moyenne des moindres carrés
MAX	maximum
MFP	pourcentage de gras du lait
MIN	minimum
n	nombre
NDF	fibres au détergent neutre

NFC	hydrates de carbones non structuraux
OR	rapport de cote
P	probabilité
ppm	parties par million
PEF	fibre physiquement efficace
PROD	production laitière
PSPS	séparateur de particules PennState
PUFA	acides gras polyinsaturés
SARA	acidose subaiguë du rumen
SD	écart-type
SE	erreur-type
SEM	erreur-type de la moyenne
TMR	ration totale mélangée
TX	traitement

## REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier plusieurs personnes grâce à qui j'ai passé un formidable séjour à la maîtrise. En voici la liste non exhaustive :

Avril Hamel-Jolette, ma copine, complice et partenaire de voyages, pour m'avoir incité à faire cette maîtrise. Elle m'a supporté tout au long de ce projet et m'a accompagné dans plusieurs voyages. Il nous reste tant de pays à découvrir, j'espère que nous aurons la chance d'en visiter plusieurs dans le futur.

Luc DesCôteaux, mon directeur et agent professionnel, pour m'avoir recruté et avoir cru en mes capacités à faire de la recherche. Il m'a fait totalement confiance et m'a laissé réaliser ce projet de recherche avec beaucoup de liberté. Il m'a fourni les outils nécessaires pour que je travaille à mon aise. Il m'a aussi permis de débiter ma carrière en enseignement, ce que j'ai beaucoup apprécié. Finalement, je n'aurais pas pu trouver un meilleur agent pour négocier mes conditions salariales!

Denis DuTremblay, pour m'avoir aidé et soutenu, de mille et une façons, durant tout ce projet. Je sais qu'il prendra sa «retraite» bientôt et je lui souhaite bonne chance dans sa nouvelle carrière. Je me rappellerai longtemps des innombrables fois où je suis entré dans son bureau juste pour jaser et lui ai dit : «Denis, faut qu'on parle...»

Marcel Brodeur, pour m'avoir fait confiance et m'avoir fait avancer en alimentation. J'ai énormément progressé depuis 2 ans et je crois que sa motivation m'a beaucoup stimulé à en apprendre toujours plus à ce sujet.

Les collaborateurs d'Elanco (Jean Baril, Randy Bagg et Gord Vessie) qui ont cru en ce projet et qui m'ont épaulé dans la réalisation de cette étude. Le

financement de ce projet de recherche n'aurait pas été possible sans eux. De plus, leur soutien financier à mon égard a été extrêmement apprécié.

La gang de l'ambul (AMB, MB, BM, LD, PA, JPR, DH, LH, ID, DD, FD, MT, VS, EB, SB) qui m'ont fait confiance en clinique et avec qui j'ai passé de fantastiques moments lors de nos 5 à 7 du jeudi/vendredi soir.

Julie Arsenault, pour son aide et ses suggestions précieuses. Je crois que j'aurais difficilement pu trouver mieux comme voisine de bureau!

Guy Beauchamp, pour son aide lors des analyses statistiques.

Mes parents et amis, pour leur soutien dans l'éternelle progression de mon éducation.

Le Fonds du centenaire de la FMV, pour son soutien financier durant cette maîtrise qui a été très apprécié.

## INTRODUCTION

En 2004, trois nouvelles homologations du prémélange Rumensin<sup>®</sup> (sodium de monensin, Elanco Santé Animale, Guelph, ON) ont été acceptées par Santé Canada pour son utilisation chez les vaches laitières. Les trois utilisations approuvées sont : pour la réduction du pourcentage de gras du lait à une dose de 16 à 24 ppm, pour minimiser la perte de condition corporelle pendant la lactation à une dose de 8 à 24 ppm et pour améliorer l'efficacité alimentaire pour la production de protéine du lait à une dose de 16 à 24 ppm.

Plusieurs études sur l'utilisation du prémélange Rumensin<sup>®</sup> chez les vaches laitières ont été publiées. La plupart des chercheurs font état d'une amélioration de l'efficacité de la production laitière soit en augmentant la production laitière ou en diminuant la consommation volontaire de matière sèche. Le prémélange Rumensin<sup>®</sup> cause aussi une diminution variable du pourcentage de gras du lait. Plusieurs facteurs environnementaux, la majorité étant reliés à la composition et la gestion de la ration alimentaire, influencent les effets du prémélange Rumensin<sup>®</sup> sur le pourcentage de gras du lait.

Le but de cet essai clinique est d'isoler les effets du prémélange Rumensin<sup>®</sup>, à une dose de 16 ppm chez les vaches laitières, pour fournir plus d'informations aux intervenants du milieu laitier qui désirent le recommander à leurs producteurs. Cette étude a pour objectif d'analyser les effets du prémélange Rumensin<sup>®</sup> à une dose de 16 ppm sur la production laitière et le pourcentage de gras du lait. De plus, l'analyse des relations potentielles entre l'utilisation du prémélange Rumensin<sup>®</sup> et les facteurs de gestion alimentaire sera effectuée.

## RECENSION DE LITTÉRATURE

Avant de décrire les différents effets du monensin sur la production et le gras du lait, les premiers chapitres de cette recension de littérature porteront respectivement sur la physiologie de la digestion ruminale, la synthèse biochimique du lait et les facteurs influençant la production du lait et de ses composants.

### 1- Physiologie de la digestion ruminale chez la vache

La vache est un ruminant. Son système digestif est composé de plusieurs compartiments (rumen, réseau, omasum et abomasum) qui favorisent la digestion des aliments fourragers. Le rumen est un écosystème anaérobie de fermentation dans lequel vivent plusieurs populations microbiennes utilisant les aliments comme substrats. Les protozoaires, les bactéries et les levures sont les plus importants en nombre. L'activité de digestion ruminale est surtout modulée par les bactéries (Bath, 1982) (Russell and Strobel, 1989) (Kennelly, 2001). La vache doit être en mesure, par son alimentation, de nourrir les microbes de son rumen et de se nourrir elle-même. Elle utilise principalement les produits de la fermentation ruminale pour combler ses besoins.

Le procédé de fermentation ruminale est complexe. Les microbes du rumen fermentent les glucides et protéines pour produire de l'énergie et des nutriments essentiels à leur croissance. Cette fermentation produit aussi des acides gras volatiles (**AGV**) et des protéines microbiennes. Les AGV sont une source importante d'énergie pouvant combler jusqu'à 70 % des besoins de la vache alors que les protéines microbiennes sont une source importante d'azote. La fermentation ruminale produit également du méthane, de l'ammoniac et de la chaleur (Ipharraguerre and Clark, 2003) (Owens et al., 1998) (Bath, 1982).

La contribution des bactéries à la fermentation ruminale est importante et dépend de leur type. La classification la plus couramment utilisée est celle de la coloration de Gram qui les distingue en bactéries à Gram positif ou à Gram négatif. La principale différence entre ces deux types de bactéries est la complexité de leur membrane cellulaire. Les bactéries à Gram positif ont une membrane beaucoup moins complexe et produisent, lors de la fermentation ruminale, de l'acétate, du butyrate, du lactate, du formate, de l'ammoniac et du méthane. Les bactéries à Gram négatif produisent, quant à elles, du propionate et du succinate (Ipharraguerre and Clark, 2003).

Une ration alimentaire contenant principalement des fourrages entraîne la production d'AGV dans les proportions suivantes : 65 % d'acétate, 20 % de propionate, 12 % de butyrate et 3 % d'autres produits. Le ratio acétate:propionate normal est d'environ 3:1. La quantité totale d'AGV produits quotidiennement varie peu selon la ration alimentaire servie. Par contre, le pourcentage des différents AGV peut varier grandement selon le type de bactéries favorisées par l'alimentation (Corah, 1991). Les variations de ces AGV peuvent aussi provoquer une variation de la quantité de gaz émanant de la fermentation. Par exemple, une ration favorisant les bactéries à Gram négatif a pour effet de diminuer la production de méthane (Bergen and Bates, 1984).

## **2- Synthèse biochimique du lait et de ses composants**

### **2.1 Synthèse du lait**

Le lait est synthétisé dans les cellules épithéliales alvéolaires de la glande mammaire. Il est sécrété dans la lumière des alvéoles mammaires et il s'écoule via un système de canaux dans la citerne de la glande (Boutinaud et al., 2004). Le lait est composé d'environ 87.5% d'eau, 5.0% de lactose, 3.6% de gras, 3.2% de protéine et de 0.7% de minéraux et vitamines (Kennelly, 2001).

Le principal facteur de régulation de la production laitière est le lactose. Le texte qui suit décrit sa synthèse. Suite à la fermentation ruminale, le propionate est absorbé par la muqueuse du rumen. Il est capté par le système veineux et entre en circulation. Il passe au foie et est transformé en glucose par les hépatocytes (Ipharraguerre and Clark, 2003). Ce glucose prend à son tour la circulation sanguine et se retrouve en périphérie. Une portion du glucose qui passe par la glande mammaire est capté par ses cellules épithéliales. Le glucose y est transformé en lactose dans l'appareil de Golgi des cellules. Le lactose est ensuite entreposé dans les alvéoles mammaires. Sa présence provoque un appel d'eau très important. Une grande quantité d'eau diffuse alors du sang vers les alvéoles. Pour chaque volume de lait sécrété par la glande mammaire, environ 500 volumes de sang sont nécessaires (Emery, 1988). De par cet effet osmotique, le lactose est le principal régulateur de la production laitière. Il est à noter que sa concentration est très peu variable dans le lait (Emery, 1988).

Une augmentation expérimentale de la synthèse du lactose dans la glande mammaire est suivie par une absorption accrue d'eau et une augmentation de production laitière subséquente. À l'inverse, une diminution de la synthèse du lactose provoque une diminution de la production (Kennelly, 2001).

La production et composition du lait peuvent être influencées par une multitude de facteurs : diète, race, génétique, stade de lactation, régie nutritionnelle, climat et santé de la vache (Kennelly, 2001). Tous ces facteurs seront abordés plus en détails dans les sections «3- Facteurs influençant la production laitière» et «4- Facteurs influençant la production de matière grasse du lait».

## **2.2 Synthèse du gras**

La matière grasse du lait est composé principalement de triglycérides (95-98%) et d'autres lipides en faibles proportions tels phospholipides,

cholestérol, acides gras libres et monoglycérides (Palmquist et al., 1993). Parmi tous les composants du lait, la concentration en gras est le paramètre le plus variable numériquement (Bauman and Griinari, 2003).

Les triglycérides du lait proviennent de l'unification d'acides gras sanguins à un noyau glycérol au niveau du réticulum endoplasmique lisse des cellules mammaires. On classifie les acides gras sanguins selon la longueur de leurs chaînes principales en atomes de carbone. Ces acides gras sont en grande majorité (65%) formés à partir des AGV provenant de la fermentation ruminale. De ces AGV, l'acétate est le plus important suivi par le butyrate (Huhtanen et al., 1993) (Corah, 1991). Ces AGV sont les précurseurs de la synthèse *de novo* d'acides gras du lait (acides gras à moyennes ou courtes chaînes : C4-C16) avant d'être transformés par estérification dans le réticulum endoplasmique lisse des cellules épithéliales de la glande mammaire (Kennelly, 2001).

Les lipides sanguins circulants sont une autre source de précurseurs d'acides gras du lait. Ces lipides sanguins sont composés d'acides gras à longues chaînes (C16-C18). Ils proviennent principalement de deux sources. La source la plus importante est la lipomobilisation sanguine des tissus adipeux représentant 25% des d'acides gras du lait. Les lipides alimentaires absorbés directement dans l'intestin représentent le 10% restant (Palmquist et al., 1993) (Grummer, 1991) (Bauman and Griinari, 2003). Ces précurseurs d'acides gras du lait sont captés par les cellules épithéliales mammaires pour être transformés en triglycérides.

Les facteurs influençant la production de gras du lait seront vus en détails dans la section «4- Facteurs influençant la production de matière grasse du lait».

## 2.3 Synthèse de la protéine

La protéine du lait est composée de caséine (78%), de protéine de petit lait (16%) et d'azote non-protéique (6%). Les proportions de ces fractions sont variables et principalement influencées par la race. La concentration de protéine dans le lait est peu variable et l'ampleur de cette variation est petite. Lorsque la protéine du lait est mesurée en laboratoire, le résultat global inclut la protéine vraie (caséine et petit lait) et l'azote non-protéique. Cette notion de protéine vraie est parfois utilisée dans l'industrie de la transformation du lait (Kennelly, 2001). La protéine du lait est synthétisée dans les ribosomes des cellules épithéliales mammaires à partir des acides aminés (**AA**) sanguins circulants. Si un de ces AA est manquant, la synthèse arrête. Deux acides aminés importants qui limitent la production de protéine sont connus. Il s'agit de la méthionine et la lysine (Emery, 1988).

La génétique est le principal facteur régulateur de la teneur en protéine du lait. La race et le stade de lactation sont d'autres facteurs ayant de l'influence (Kennelly, 2001).

Une alimentation adéquate permet une pleine expression du potentiel génétique de production de la protéine (Eicher, 2004). La production de protéine laitière est influencée par la combinaison d'apport en énergie (hydrates de carbone non structuraux) et en protéines alimentaires présentes dans le rumen. Cette combinaison utilisée par les microbes du rumen entraîne une production optimale de protéine. Des expérimentations montrent que l'ajout de protéines alimentaires ou d'énergie, lorsqu'un de ces deux facteurs est limitant, permet d'augmenter la production de protéine du lait. Le même résultat est observé lorsque la disponibilité des acides aminés dans le rumen est augmentée (Hurtaud et al., 1993).

### **3- Facteurs influençant la production laitière**

Plusieurs facteurs influencent la production laitière des bovins. Le chapitre qui suit vous présente ces facteurs divisés en deux catégories principales : non alimentaires et alimentaires.

#### **3.1 Facteurs non alimentaires**

Le nombre de cellules épithéliales présentes dans la glande mammaire est, sans aucun doute, un facteur important qui influence la production laitière. Plus le nombre est grand et l'activité des cellules intense, plus le volume de lait produit est grand. Il existe une multitude de facteurs qui font varier le nombre et l'activité des cellules. Parmi ceux-ci, on retrouve le stade de lactation et la gestation. Une vache au pic de lactation produit plus de lait qu'une vache en fin de lactation. Cette observation est corrélée avec une augmentation du nombre de cellules au pic et une baisse par la suite. La gestation provoque une diminution du nombre de cellules épithéliales et de la production laitière. L'utilisation de l'hormone de croissance chez les bovins laitiers provoque une augmentation du nombre de cellules et une hausse simultanée de la production laitière (Boutinaud et al., 2004). Une augmentation du nombre de traites par jour provoque aussi une augmentation de production laitière (Boutinaud et al., 2004) (Dahl et al., 2004). Cette observation est due à l'augmentation de l'activité des cellules épithéliales mammaires (Boutinaud et al., 2004).

La génétique et l'environnement sont des facteurs qui font varier la production laitière (Hargrove et al., 1981) (Veerkamp et al., 1994).

La génétique regroupe deux catégories de facteurs d'influence : la race et la sélection des taureaux. Les vaches de race Holstein produisent généralement plus de lait que les races ayant une robe colorée telles Ayrshire, Jersey et Suisse Brune (Kennelly, 2001) (Hutjens, 1995) (Boutinaud et al., 2004).

Les facteurs environnementaux ayant de l'influence sur la production sont la température, le stress, la dominance, la photopériode et la saison. Le confort de l'animal est aussi très important.

Les maladies ont beaucoup d'effets sur la production laitière. La plupart du temps ces effets sont négatifs. L'acétonémie, le déplacement de la caillette, la mammite et la boiterie sont des exemples de conditions pathologiques influentes (Kennelly, 2001) (Ipharraguerre and Clark, 2003).

Une période de tarissement d'une durée plus grande que trente jours permet aux cellules épithéliales mammaires de se régénérer complètement. Une étude montre qu'une période de trente jours de tarissement entraîne une production plus élevée chez les primipares durant leur seconde lactation lorsque comparée à l'absence de période de tarissement (Annen et al., 2004).

### **3.2 Facteurs alimentaires**

L'alimentation influence beaucoup la production laitière des vaches. Pour faciliter la structure de ce texte, les facteurs alimentaires sont présentés selon plusieurs catégories : consommation d'aliments, rapport fourrages/concentrés, lipides et additifs alimentaires.

#### *3.2.1 Effets de la consommation volontaire de matière sèche*

La consommation volontaire de matière sèche (**CVMS**) représente la consommation quotidienne d'aliments sur une base 100 % sèche. Ce facteur a une influence positive sur la production laitière. La durée quotidienne d'accès aux aliments a aussi le même effet positif sur la production laitière. Il en est de même pour l'augmentation de la fréquence des repas (Sutton et al., 1985). La disponibilité et la consommation d'eau sont aussi d'autres éléments ayant une influence positive majeure.

### *3.2.2 Effets du ratio fourrages:concentrés*

La ration des bovins laitiers est composée de fourrages et de concentrés. Les fourrages sont riches en sucres structuraux alors que les concentrés contiennent une importante quantité de sucres non structuraux. La production laitière est augmentée généralement lorsqu'on diminue le ratio fourrages:concentrés. Tel que discuté dans une section précédente, une ration contenant beaucoup de concentrés favorise la production de propionate. Ce dernier est un important précurseur du glucose et a un effet positif sur la quantité de lactose et de lait produits par la glande mammaire (Cant et al., 2002) (Gordon, 1984) (Sutton and Morant, 1989) (Jenkins and McGuire, 2005). Cet effet positif de l'augmentation des concentrés alimentaires sur la production laitière n'est pas linéaire. Un ratio fourrages:concentrés plus petit que 45:55 ne provoque plus de hausse de la production laitière mais plutôt une légère baisse. Cet effet peut être expliqué par le développement d'acidose subaiguë du rumen qui provoque un changement du pH ruminal et des populations microbiennes présentes (Sutton and Morant, 1989).

### *3.2.3 Effets des lipides alimentaires*

L'ajout de lipides alimentaires dans la ration des vaches provoque des changements de production qui sont variables selon le type de lipides utilisés. L'ajout de 3 % d'huile de palme protégée par des sels de calcium (Mégalac<sup>®</sup>) fait augmenter la production de 1.2 kg par jour. Dans cette étude, les vaches en début de lactation obtiennent de meilleures performances que les autres (Onetti and Grummer, 2004). Un résultat semblable est obtenue par Heinrich lorsqu'il sert un mélange de gras animal et végétal (Heinrichs et al., 1981). Onetti n'a pas réussi à démontrer d'effet du gras animal seul sur la production laitière (Onetti and Grummer, 2004). L'ajout de gras protégé ou de graines de lin entière provoque aussi une augmentation de la production laitière (Petit et al., 2004).

### *3.2.4 Effets des additifs alimentaires*

L'utilisation d'additifs alimentaires peut influencer la production. L'ajout de thiamine, méthionine et lysine dans la ration provoque une augmentation de la production laitière variant entre 0,3 kg et 2,7 kg (Shaver and Bal, 2000) (Misciatteilli et al., 2003). L'ajout de choline protégée à une dose de 56 g par jour permet d'augmenter significativement la production laitière en début de lactation (Zahra et al., 2004) (Zahra et al., 2006). Le monensin par son effet glucogénique provoque habituellement une augmentation de production laitière (Mackintosh et al., 2002). Cependant, l'influence du monensin sur la production laitière donne des résultats souvent variables. Ce sujet sera traité plus en détails dans la section «5- Utilisation du monensin chez la vache laitière».

## **4- Facteurs influençant la production de matière grasse du lait**

Plusieurs facteurs influencent la production de matière grasse du lait des bovins. Le chapitre qui suit vous présente ces différents facteurs divisés en deux catégories principales: non alimentaires et alimentaires.

### **4.1 Facteurs non alimentaires**

Collectivement, les facteurs non alimentaires ont autant d'influence que les facteurs alimentaires. Par contre, l'effet des facteurs non alimentaires autres que la génétique et la manipulation du lait est souvent confondu avec celui des facteurs nutritionnels (Emery, 1988).

La production quotidienne de matière grasse du lait est relativement constante tout au long de la lactation. Par contre, comme le niveau de production laitière varie énormément durant cette même période, on note une variation importante de la concentration de gras du lait. Une forte production laitière entraîne une dilution de la quantité de gras produite. À

l'inverse, une faible production provoque une augmentation du pourcentage de gras. Le stade de lactation a donc un effet important sur la concentration de gras (Onetti and Grummer, 2004) (Emery, 1988) (Hutjens, 1995) (Eicher, 2004).

La sélection génétique permet d'influencer la production de gras du lait (Everett, 1990) (Bauman and Griinari, 2003). La race, l'âge, les conditions climatiques, la région et la saison peuvent provoquer une variation significative du pourcentage de gras. (Eicher, 2004) (Emery, 1988) (Palmquist et al., 1993).

Un intervalle inégal entre les traites peut modifier la concentration de gras du lait (Emery, 1988). Une vache traite six fois par jour en début de lactation (J1-21) produit plus de gras quotidiennement que si elle n'est traite seulement que trois fois (Dahl et al., 2004).

Les maladies font varier la production de gras. La mammite provoque une baisse de la concentration de gras du lait (Emery, 1988). L'acétonémie clinique, le jeûne et une perte de poids excessive provoquent une lipomobilisation corporelle et une augmentation du pourcentage de gras du lait (Palmquist et al., 1993).

Le fonctionnement du système de refroidissement du lait sur la ferme peut influencer le pourcentage de gras du lait. Un mauvais fonctionnement peut altérer les micelles de triglycérides et faire varier la mesure du laboratoire (Emery, 1988).

Il est important de mentionner qu'il existe aussi des facteurs non alimentaires qui font varier la composition des acides gras du lait. Le stade de lactation, la saison, la génétique et la race sont des sources de ces variations (Palmquist et al., 1993) (Grummer, 1991). Par exemple, les vaches Jersey ont une plus grande proportion d'acides gras à courtes chaînes dans leur lait que les vaches Holstein (Kennelly, 2001).

## 4.2 Facteurs alimentaires

### 4.2.1 Introduction aux théories de chute du pourcentage de gras

On retrouve fréquemment dans la littérature le phénomène de chute du pourcentage de gras du lait (**CPG** : traduction de Milk Fat Depression). Cette expression réfère à une chute anormale du pourcentage de gras du lait qui est causée habituellement par des facteurs alimentaires. Ce phénomène a été observé par Boussingault dès 1845 (cité par (Bauman and Griinari, 2003)). Il a été proposé par Bauman que deux conditions doivent être présentes simultanément pour qu'il y ait développement de CPG : une altération du processus microbien ruminal de fermentation et la présence d'acides gras insaturés. L'altération du processus ruminal peut être causé par de nombreux facteurs tels un manque de fibres efficaces dans la ration ou l'ajout de monensin (Bauman and Griinari, 2003).

Trois principales théories sont avancées pour expliquer la baisse anormale du pourcentage de gras du lait. Il s'agit des théories des proportions d'AGV, gluconogénique et des acides gras insaturés.

#### 4.2.1.1 Théorie de modification des proportions d'AGV

Cette théorie est la plus connue. Son fondement repose sur une augmentation de production du propionate dans le rumen qui provoque une augmentation du glucose sanguin. Cette hausse du propionate pourrait, par exemple, être due à une augmentation des concentrés dans la ration. Cette augmentation de propionate est accompagnée d'une baisse concomitante de la production d'acétate et de butyrate. La diminution de l'acétate en circulation sanguine cause une diminution de la synthèse d'acides gras au pis (Sauer et al., 1989) (Emery, 1988). Pour soutenir cette théorie, il a été démontré entre autre que l'infusion de butyrate dans le rumen provoque une hausse du pourcentage de gras (Huhtanen et al., 1993) alors qu'une infusion de propionate provoque une diminution de celui-ci (Hurtaud et al., 1993).

#### 4.2.1.2 Théorie gluconéogénique

Cette théorie s'inspire partiellement des fondements de la précédente. Une augmentation du propionate provoque une augmentation du glucose sanguin. Cette hausse de la glycémie a pour effet de stimuler le relâchement d'insuline dans le sang. Cette hyperinsulinémie favorise la lipogenèse et une diminution des acides gras sanguins disponibles pour la synthèse du gras du lait au niveau de la glande mammaire (Emery, 1988) (Gaynor et al., 1995) (Jenkins and McGuire, 2006) (Sauer et al., 1989). Une autre étude nuance cette théorie et propose plutôt que l'hyperinsulinémie est responsable d'une inhibition de la lipolyse et d'une diminution des acides gras sanguins (Corl et al., 2006).

#### 4.2.1.3 Théorie des acides gras insaturés

Cette troisième théorie explicative de la chute de gras du lait a été proposée en 1970 et est redevenue populaire récemment (Bauman and Griinari, 2003). Elle tient responsable le niveau des acides gras insaturés *trans*-C18 :1 dans le rumen. Les acides gras *trans* sont des métabolites de la biohydrogénation ruminale. Les acides gras du lait sont habituellement saturés (stéarique C18:0) par le complexe de biohydrogénation du rumen. Par contre, on peut retrouver dans certaines situations la présence d'acides gras insaturés dans le lait (oléique C18:1, linoléique C18:2, linoléique C18:3). La concentration des acides gras (**AG**) insaturés du lait peut être influencée par la quantité et la source de gras végétal ajouté dans la ration. Cette concentration est augmentée par exemple lorsqu'on augmente la quantité d'huile de soya dans la ration de 0 à 8 % (Bateman and Jenkins, 1998). L'ajout d'huile végétale insaturée dans la ration augmente la concentration en acides linoléiques conjugués (**ALC**; C18:2) du lait qui possèdent au moins un lien *trans*. Ces ALC regroupent des isomères qui ont la propriété de provoquer une baisse du gras du lait (Baumgard et al., 2000). La figure 1 présente les processus normal et altéré de biohydrogénation des huiles dans le rumen (Bauman and Griinari, 2003). Lorsqu'une ration riche en concentrés est servie aux vaches, on note une

baisse du pourcentage de gras. Le mécanisme exact de cette baisse n'est pas totalement compris et plusieurs auteurs ont proposé des théories légèrement différentes. Cette baisse de gras serait principalement due à une augmentation de l'ALC *trans-10, cis-12* selon certains auteurs (Peterson et al., 2003) (Baumgard et al., 2000). Baumgard a montré que l'ajout d'ALC *trans-10, cis-12* dans la caillette des vaches provoque une baisse de 42-44 % du pourcentage de gras du lait (Baumgard et al., 2000). Une baisse de 23 % a aussi été notée dans les mêmes circonstances chez des brebis (Lock et al., 2006). L'augmentation de la quantité d'AG *trans*-C18 :1 semble plutôt être en cause dans la chute du pourcentage de gras selon d'autres auteurs (Jenkins et al., 2003) (Gaynor et al., 1995) (Bradford and Allen, 2004) (Lor et al., 2005). L'augmentation du pourcentage de concentrés de la ration provoque une hausse de l'AG *trans-10* C18:1 dans le rumen. L'ALC *trans-10, cis-12* a été fortement soupçonné d'être le précurseur de l'AG *trans-10* C18:1 (Bauman and Griinari, 2003) (Bell et al., 2006). L'absorption et la présence dans le sang de ces AG *trans* sont aussi associées à une réduction de la synthèse et de l'estérification des acides gras au niveau de la glande mammaire. Ce phénomène s'expliquerait par une diminution de la production ARN messager pour la synthèse d'enzymes impliqués dans la synthèse du gras du lait (Peterson et al., 2003) (Perfield et al., 2006) (Lor et al., 2005).

La présence d'AG insaturés dans le sang semble donc impliquée dans le phénomène de chute anormale du pourcentage de gras du lait mais l'identification du ou des isomères ayant le plus d'effet négatif reste à préciser.

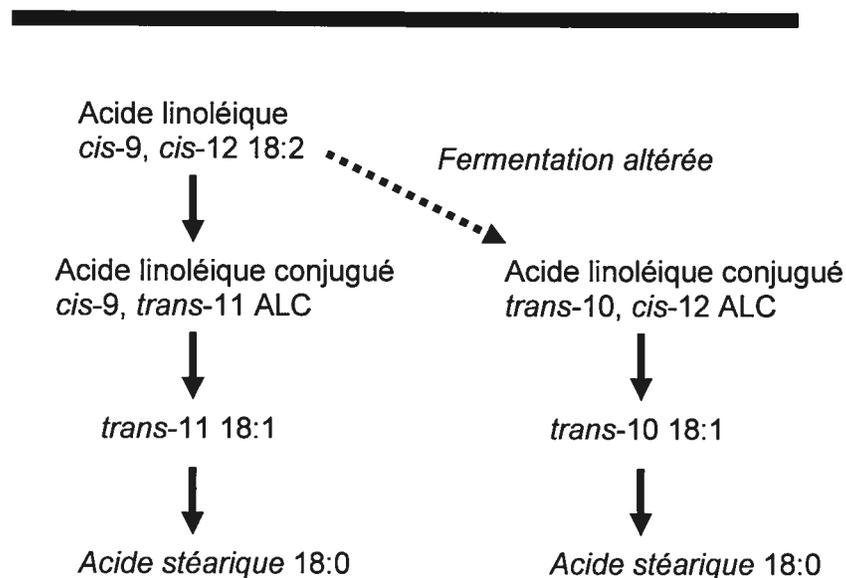
Cette théorie des AG insaturés est actuellement la plus populaire dans le milieu scientifique. Par contre, il est important de garder en tête qu'une étude semblable récente n'a pas permis de voir leur effet sur le gras du lait (Soita et al., 2005).

Bessa a identifié trois facteurs qui affectent la concentration des isomères d'AG *trans*-C18:1 produits par le rumen. Il s'agit du pH du rumen, de la

concentration d'acides gras insaturés des aliments et des ionophores (Bessa et al., 2000).

Pour revenir aux facteurs alimentaires de variation du gras du lait, ils sont regroupés dans le texte qui suit sous trois catégories principales inspirées de l'article de Bessa mentionné ci-haut. Il s'agit de l'acidose subaiguë du rumen, des lipides alimentaires et des additifs alimentaires.

### Biohydrogénation ruminale



**Figure 1.** Processus de biohydrogénation ruminale de l'acide linoléique conjugué. Traduit et adapté de Bauman et Griinari (1999).

#### 4.2.2 Effets de la quantité de fibres alimentaires efficaces

Ce concept de fibres efficaces est important et est une cause majeure de CPG (Bauman and Griinari, 2003) (Grant et al., 1990).

##### 4.2.2.1 Niveau insuffisant de fibres efficaces

L'acidose subaiguë du rumen (**ASAR**) est une des causes majeures de chute du pourcentage de gras du lait (Hutjens, 1995) (Eicher, 2004)

(Jenkins and McGuire, 2005) (Grant et al., 1990) (Bauman and Griinari, 2003) (Bath, 1982). Cette condition est caractérisée par une déficience en fibres efficaces ingérées par la vache et par une accumulation d'acides organiques dans le rumen (Owens et al., 1998). La relation entre la quantité de fibres alimentaires ingérées et le pourcentage de gras du lait est linéaire (Sutton and Morant, 1989). Une déficience en fibres efficaces, un apport excessif en glucides non-fibreux (> 40%), une mouture trop fine des grains et une CVMS basse peuvent provoquer une baisse du pourcentage de gras du lait (Hutjens, 1995) (Emery, 1988) (Bauman and Griinari, 2003). La concentration de la ration en fibres, en plus de la CVMS, peuvent être utilisées pour prédire les variations de concentration de gras dans le lait (Sutton, 1989). Le ratio fourrages:concentrés est souvent utilisé pour mettre facilement en évidence la proportion de chacun de ces derniers dans la ration.

Lors de situation d'ASAR, la composition des acides gras présents dans le lait est différente. Le rumen étant moins efficace pour faire la biohydrogénation à un pH plus bas, les acides gras du rumen qui diffusent dans le sang sont insaturés en plus grande proportion que normalement (Palmquist et al., 1993). Habituellement lors de la fermentation ruminale normale, les acides gras à courtes chaînes sont prédominants. Lorsqu'un apport en grain est élevé (> 50% CVMS), les acides gras à longues chaînes sont plutôt formés (Palmquist et al., 1993).

#### 4.2.2.2 Niveau suffisant de fibres efficaces

Une quantité suffisante de fibres alimentaires efficaces permet de maintenir un pourcentage de gras élevé dans le lait. Le fait de remplacer une ration contenant beaucoup d'amidon par des aliments plus riches en fibres provoque une augmentation du pourcentage de gras (Kennelly, 2001) (Bath, 1982). La distribution de foin sec avant celle des concentrés aide aussi à prévenir la chute du pourcentage de gras (Emery, 1988). La consommation de fibres efficaces, la rumination et la fermentation ruminale sont étroitement reliées à la salivation. La salive contient des substances

tampons qui aide à maintenir le pH ruminal à un niveau adéquat (Owens et al., 1998). La durée quotidienne de rumination et le nombre de coups de mâchoire par bolus sont les facteurs primaires qui déterminent la production quotidienne de salive. La taille des particules alimentaires est un indicateur fiable de la rumination (Beauchemin and Yang, 2005). La présence de fibres dans la ration doit être couplée à une longueur adéquate de ces dernières pour provoquer la rumination. La taille des particules des fourrages est un facteur d'influence sur le gras du lait (Eicher, 2004). La longueur minimale des particules alimentaires pour provoquer la rumination a longtemps été considérée comme étant de 8 mm (Lammers et al., 1996) (Heinrichs et al., 1999). Plus récemment, il a été proposé que cette longueur devrait être plutôt de 1.18 mm (Kononoff et al., 2003). Ces deux seuils ont été comparés entre eux dans une étude récente et le seuil de 8 mm serait le plus adéquat (Yang and Beauchemin, 2006). L'évaluation de la longueur des fibres d'une ration peut être réalisée facilement sur la ferme par le Séparateur de Particules Penn State (Lammers et al., 1996) (Heinrichs et al., 1999).

Plusieurs facteurs alimentaires relatifs aux concentrés ont aussi un effet sur la teneur en gras du lait. La méthode de transformation des grains et la fréquence de leur distribution aux animaux en sont des exemples (Bradford and Allen, 2004) (Sutton et al., 1985). Lors de situation d'ASAR, la CPG peut être atténuée lorsque le nombre de repas de concentrés servis augmente jusqu'à six par jour. Par contre, aucune différence n'est notée lorsque plus de six repas quotidiens sont servis. La taille des repas de concentrés ne devrait idéalement pas dépasser 4 kg par repas (sur base de matière sèche) (Sutton et al., 1985).

#### *4.2.3 Effets des lipides alimentaires*

Les lipides alimentaires ingérés par la vache sont rapidement hydrolysés et biohydrogénés par les microbes du rumen. Le résultat de ce processus est la présence d'AG majoritairement saturés dans le rumen. Ces derniers entrent dans la circulation sanguine et une certaine proportion est

transformée en AG monoinsaturés par l'activité de l'enzyme désaturase au niveau mammaire. Cela aide à augmenter la fluidité du gras pour en assurer une sécrétion efficace par les cellules mammaire dans le lait (Grummer, 1991). De ce fait, les acides gras présents dans le lait sont donc majoritairement saturés (Grummer, 1991).

L'effet des lipides alimentaires sur la production de gras du lait dépend de plusieurs facteurs dont la quantité et le type de lipides (Onetti and Grummer, 2004). La présence d'huile végétale insaturée en faible quantité dans la ration a peu d'effet sur le pourcentage de gras du lait (Jenkins and McGuire, 2005). On observe par contre une chute du pourcentage de gras lorsque des huiles ou gras non protégés sont présents en grandes quantités dans la ration (>6%) (Sutton, 1989) (Bauman and Griinari, 2003) (Heinrichs et al., 1981). Il existe des gras que l'on dit protégés. Ils sont en fait protégés, totalement ou en partie, contre le complexe de biohydrogénation du rumen. Leur absorption se fait donc dans le petit intestin. L'ajout d'huile de palme protégée par des sels de calcium (Megalac<sup>®</sup>) fait augmenter la production quotidienne de gras du lait. Le gras animal, quant à lui, provoque une diminution de la concentration du gras dans le lait mais n'a aucune influence sur sa production quotidienne (Onetti and Grummer, 2004).

#### *4.2.4 Effets des additifs alimentaires*

Plusieurs types d'additifs sont conçus pour avoir un effet direct sur la production de gras du lait. L'ajout de tampons (ex : bicarbonate de sodium ou oxyde de magnésium) dans une ration riche en concentrés atténue la chute du pourcentage de matière grasse du lait en stabilisant le pH du rumen (Owens et al., 1998). Cet environnement est plus propice à la croissance des bactéries produisant de l'acétate (Block and Muller, 1985) (Kennelly, 2001) (Khorasani and Kennelly, 2001) (Bauman and Griinari, 2003).

L'ajout de méthionine, choline et niacine à la ration des vaches aide à prévenir la chute de gras (Emery, 1988). L'ajout de lysine et de méthionine

dans la ration de vaches en lactation fait augmenter la production quotidienne de gras du lait (Misciatteilli et al., 2003).

La vitamine E peut réduire la formation d'AG *trans-10* C18:1 dans le rumen et diminuer la chute potentielle de gras du lait. Pour obtenir un effet notable, la vitamine E doit être donnée à la vache en même temps que le gras alimentaire à une dose minimale de 12 000 UI par jour (Pottier et al., 2006).

L'utilisation du monensin est homologuée au Canada pour faire diminuer le pourcentage de gras. Cette molécule provoque une baisse du gras mais l'ampleur de la chute est plutôt variable sur les fermes. L'ajout de monensin à la ration des vaches en ASAR modifie peu la composition des AG du lait (Mutsvangwa et al., 2003) (Mutsvangwa et al., 2002). Le monensin interfère avec le processus de biohydrogénation du rumen de façon semblable aux huiles insaturées. On retrouve ainsi dans le rumen des vaches traitées une plus grande concentration d'AG *trans-10* C18 :1 et d'ALC (voir Figure 1) (Jenkins et al., 2003) (Sauer et al., 1998).

Les effets du monensin sur la chute du pourcentage de gras seront vus plus en détails dans la section suivante.

## **5- Utilisation du monensin chez la vache laitière**

### **5.1 Mode d'action sur la flore du rumen**

Le monensin est un produit biologique sécrété par *Streptomyces cinnamonensis* (Richardson et al., 1976). Il fait partie de la classe des ionophores polyéthers carboxyliques (Bergen and Bates, 1984). Il est un composé hautement lipophile qui est toxique pour plusieurs types de bactéries, protozoaires, fongi et autres organismes plus complexes (Ipharraguerre and Clark, 2003) (Russell and Strobel, 1989). La molécule de monensin doit se lier à un cation monovalent (surtout Na<sup>+</sup>) pour retrouver l'électroneutralité. On appelle ce complexe le sodium de

monensin. Il se lie de façon non sélective aux particules alimentaires et aux microbes du rumen (Lana and Russell, 1996). Il interfère avec le flux d'ions de part et d'autre de la membrane cellulaire des bactéries sensibles. La distribution normale des ions  $\text{Na}^+$  est surtout extracellulaire alors que celle des ions  $\text{K}^+$  est surtout intracellulaire (Russell and Strobel, 1989). Le sodium de monensin se loge dans la membrane cellulaire et agit comme un antiport  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  ou  $\text{K}^+/\text{H}^+$ . Cela signifie qu'un ion  $\text{H}^+$  est échangé pour un  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$  à la surface de la membrane cellulaire (Fellner et al., 1997). Cette procédure entraîne une variation de la distribution des ions et du pH à l'intérieur de la cellule (Bergen and Bates, 1984). Les bactéries sensibles au monensin utilisent leurs pompes  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase et  $\text{H}^+$  ATPase pour rétablir l'équilibre ionique de part et d'autre de la membrane cellulaire. L'utilisation d'énergie pour faire fonctionner ces pompes ne leur laisse plus d'énergie pour croître et se reproduire (Bergen and Bates, 1984) (Ipharraguerre and Clark, 2003). Les bactéries insensibles au monensin ne subissent, quant à elles, aucun effet.

Le monensin provoque un changement de la flore ruminale qui est noté *in vivo* dans un délai de 3-5 jours (Yang and Russell, 1993). Lana propose que le monensin influence le processus et les produits de la fermentation sans altérer les populations microbiennes (Lana and Russell, 1996). De façon générale, le monensin favorise la survie des bactéries amylolytiques (à Gram négatif) possédant l'enzyme fumarate réductase alors qu'il inhibe la croissance des bactéries cellulolytiques (à Gram positif) (Bergen and Bates, 1984) (Ipharraguerre and Clark, 2003). Ce changement favorise donc les bactéries produisant du propionate au détriment de celles qui produisent de l'acétate et du butyrate. Il a été proposé par Russell qu'une adaptation des microorganismes a lieu et que différentes bactéries se chargent de digérer la cellulose lorsque le monensin est servi en continu (Russell and Strobel, 1989).

Le monensin cause aussi une diminution de la production de méthane et de dioxyde de carbone dans le rumen (Chalupa et al., 1980) (Chen and Russell, 1991) Cette diminution du méthane est due à une diminution de la

production d'hydrogène par les micro-organismes. La croissance des protozoaires du rumen est inhibée en présence de monensin mais leur population ne diminue pas (Russell and Strobel, 1989).

Le monensin est un produit toxique lorsqu'il est administré à forte dose. Il peut même entraîner la mort de la vache (Bergen and Bates, 1984). À des doses élevées (72 à 240 ppm), le monensin peut causer de l'anorexie et une chute de production laitière marquées chez la vache (Bagg et al., 2005). À ces doses, l'effet négatif sur la CVMS est visible dès le deuxième jour du traitement. La CVMS revient à la normale dans les sept jours suivant l'arrêt du produit. Pour ce qui est de la production laitière, la chute est visible deux à trois jours après de début du traitement. À l'arrêt de la médication, la production redevient graduellement ce qu'elle était avant le traitement (Bagg et al., 2005). Le monensin peut entraîner la création de résistance chez les bactéries du rumen (Russell and Strobel, 1989). Des études *in vitro* montrent que les bactéries à Gram positif peuvent développer de la résistance au monensin (Sauer et al., 1998).

## **5.2 Effets sur le métabolisme énergétique de la vache**

Le monensin ajouté à la ration (300 mg/jour) change significativement les proportions molaires d'acides gras volatiles dans le rumen. On note une augmentation de la quantité de propionate produite et une diminution de l'acétate, butyrate et du méthane produits (Richardson et al., 1976) (Mackintosh et al., 2002) (Ipharraguerre and Clark, 2003) (Broderick, 2004) (Chalupa et al., 1980) (Ruiz et al., 2001). Il a été montré que la fermentation ruminale produisant du propionate, un précurseur glucogénique, procure une meilleure efficacité énergétique à la vache (Richardson et al., 1976). Basés sur cette observation, de nombreux chercheurs ont proposé que cette augmentation du propionate devrait se manifester par une augmentation du glucose sanguin. Seulement quatre des seize études effectuées à ce sujet ont confirmé cette hypothèse. La

théorie actuelle sur ce sujet propose que l'insuline soit impliquée dans le processus. Ainsi, malgré une hausse du flux glucogénique causé par le monensin, la glycémie n'est pas élevée chez les vaches traitées (Ipharraguerre and Clark, 2003)

Cette amélioration de l'efficacité énergétique peut être observée principalement de deux manières. Les vaches traitées au monensin à des doses de 150, 300 et 450 mg par jour présentent une meilleure efficacité alimentaire. Phipps rapporte que ces vaches augmentent significativement la quantité de lait produit par rapport à la CVMS (Phipps et al., 2000) (Sauer et al., 1998). Un autre effet de l'amélioration du métabolisme énergétique est que le monensin diminue le risque d'acétonémie (Jonker et al., 1998) (Duffield et al., 2002). L'introduction du monensin à 300 mg par jour chez les vaches en période prépartum a significativement réduit la concentration du sang en  $\beta$ -hydroxybutyrate (**BHB**) et en acétoacétate (Phipps et al., 2000). Ces deux corps cétoniques, mais principalement le BHB, sont des indicateurs de déficit énergétique chez la vache laitière (Duffield and Bagg, 2000).

Une augmentation significative des dystocies est notée lorsque le monensin est administré à 300 mg par jour durant environ 50-70 jours prépartum. Ceci est attribué au gain de condition corporelle chez les vaches tarées. L'accumulation de gras dans le pelvis aurait pour conséquence de provoquer des problèmes lors du vêlage. Une autre explication possible est l'augmentation du glucose sanguin chez la vache qui provoque un gain de poids important chez le veau en fin de gestation (Melendez et al., 2006).

### **5.3 Effets sur le métabolisme protéique de la vache**

Le monensin diminue l'activité protéolytique des microbes du rumen. Cette diminution vient de son influence négative sur les bactéries à Gram positif qui ont une activité de désamination importante. Cela a pour effet de diminuer la concentration d'ammoniac dans le fluide ruminal et de

permettre le passage intact des protéines alimentaires et acides aminés dans le duodénum pour absorption (Ruiz et al., 2001) (Bergen and Bates, 1984) (Chalupa et al., 1980) (Poos et al., 1979) (Lana and Russell, 1996) (Lana and Russell, 1997) (Yang and Russell, 1993) (Russell and Strobel, 1989). L'absorption de ces protéines et acides aminés augmenterait la gluconéogénèse hépatique et la synthèse de protéine du lait. Cependant, aucune confirmation scientifique n'appuie encore cette hypothèse (Ipharraguerre and Clark, 2003). Il semble cependant clair que le monensin améliore l'utilisation du contenu azoté des aliments (Corah, 1991).

#### **5.4 Utilisations potentielles du monensin chez les bovins laitiers**

Le monensin a été homologué à l'origine pour réduire la coccidiose chez la volaille (Richardson et al., 1976). Depuis ce temps, plusieurs autres homologations se sont ajoutées à la liste. Le monensin est homologué au Canada pour son utilisation en prémélange chez les vaches laitières depuis juin 2004. Les doses homologuées sont de 8 à 24 ppm. Trois utilisations sont approuvées par Santé Canada. La première étant pour réduire la teneur en matière grasse du lait. La seconde étant pour minimiser la perte d'état corporel durant la lactation. La troisième étant pour améliorer l'efficacité alimentaire pour la production de protéine du lait. Le monensin peut aussi être administré quotidiennement dans une capsule à libération contrôlée. Cette capsule fournit environ 335 mg de monensin par jour pendant 95 jours. À cause de ces multiples homologations, beaucoup d'expériences ont été faites sur le monensin. Plusieurs utilisations ont été essayées pour découvrir de nouvelles applications de la molécule dans l'industrie des bovins laitiers. Un résumé des effets du monensin est présenté dans cette section.

##### *5.4.1 Effets sur la production laitière*

L'effet du monensin sur la production laitière est évoqué dans la plupart des publications mais les résultats diffèrent d'une étude à l'autre. Environ la

moitié des études démontrent une augmentation de la production lorsque le monensin est servi chez la vache et chez la chèvre (Cant et al., 1997) (Sauer et al., 1989) (Brown and Hogue, 1985) (Erasmus et al., 2005) (Ipharraguerre and Clark, 2003). Ces augmentations sont habituellement de l'ordre de 0.4 à 2.8 kg de lait par jour (Ipharraguerre and Clark, 2003) (Lynch et al., 1990) (Phipps et al., 2000) (Sauer et al., 1998) (Beckett et al., 1998). La hausse la plus importante ayant été vue lors de l'utilisation d'une dose de 150 mg chez des vaches nourries avec environ 65% de fourrages (Phipps et al., 2000). Néanmoins, les hausses les plus fréquemment rapportées sont de l'ordre de 0.5 à 1.5 kg de lait par jour. Cette augmentation de production est visible surtout chez les multipares et durant les 150 premiers jours de lactation (Melendez et al., 2006) (Guide à l'intention des conseillers en production laitière, 2004)

Toutes les études à ce sujet utilisent des vaches individuelles comme unité d'intérêt (Ipharraguerre and Clark, 2003). Aucune étude ayant le troupeau comme unité d'analyse n'a été publiée jusqu'à ce jour.

#### *5.4.2 Effets sur la production de matière grasse du lait*

La chute du pourcentage de matière grasse du lait provoquée par le monensin est presque toujours notée numériquement dans les études. Par contre, cette baisse est considérée statistiquement significative dans seulement la moitié des cas (Ipharraguerre and Clark, 2003). Plusieurs facteurs semblent causer cette variation des résultats. Les plus importants étant la dose administrée et la composition de la ration alimentaire servie aux vaches. Les études ne portent pas toujours sur la même dose et le même type d'alimentation, ce qui complique l'interprétation des résultats (Ipharraguerre and Clark, 2003).

Un résumé des études à ce sujet est présenté dans le texte qui suit. Le monensin provoque habituellement une chute du pourcentage de matière grasse. Par contre, la quantité de gras produite par jour reste habituellement inchangée. Ceci serait dû à l'augmentation de la production laitière concomitante ayant un effet de dilution sur les composants du lait

(Mackintosh et al., 2002) (Phipps et al., 2000) (Beckett et al., 1998) (Juchem et al., 2004).

Le tableau I présente les résultats des études récentes ayant évalué les effets du monensin sur le pourcentage de gras du lait. Seules les études ayant observé une diminution significative du pourcentage de gras du lait sont présentées dans ce tableau. On peut noter l'effet négatif variable du monensin sur le pourcentage de gras selon les différentes études et doses.

**Tableau I.** Comparaison de l'effet du monensin sodique sur le pourcentage de gras du lait des vaches Holstein selon plusieurs études.

Auteur	Année	Dose quotidienne de monensin	Effet significatif du monensin sur le pourcentage de gras du lait
Phipps et al.	2000	150 mg	- 0,27 %
Hayes et al.	1996		
Phipps et al.	2000	300 mg	- 0,10 % à - 0,56 %
McGuffey et al.	2001		
Werf et al.	1998	450 mg	- 0,4 % à - 0,9 %
Sauer et al.	1998		

Sauer et al. (1998) suggère la possibilité d'une adaptation de la flore du rumen au monensin lorsqu'on arrête son administration et qu'on la recommence 6 mois plus tard. Il note que l'effet rapporté habituellement sur les composants du lait est beaucoup moindre, sinon inexistant, dans cette situation. Lors d'expérimentation sur des vaches individuelles, les variations du pourcentage de matière grasse sont expliquées par des changements de proportions des AGV dans la plupart des cas (Sutton and Morant, 1989).

Les théories expliquant la chute de gras du lait, vues dans les sections 4.2.1.1, 4.2.1.2 et 4.2.1.3, sont proposées par plusieurs auteurs pour expliquer cet effet négatif du monensin sur le pourcentage de gras. La

théorie des acides gras insaturés est la plus populaire présentement (Ipharraguerre and Clark, 2003). Le monensin diminuerait la biohydrogénation des acides gras dans le rumen. Cela aurait pour effet d'augmenter la concentration des acides gras insaturés dans le fluide ruminal (Fellner et al., 1997). De ces acides gras insaturés, les *trans*-C18 :1 semblent être les plus influents sur la production de gras du lait. Leur présence en circulation sanguine périphérique aurait un potentiel inhibiteur sur la synthèse *de novo* des acides gras et du pourcentage de gras du lait. Ce phénomène semble en grande partie responsable de la chute du gras du lait lorsque le monensin est présent dans la ration (Bauman and Griinari, 2003).

#### *5.4.3 Effets sur la production de protéine du lait*

L'effet du monensin sur le pourcentage de protéine du lait semble plutôt faible. La grande majorité des études revues par Ipharraguerre présentent des résultats numériquement différents mais peu (3 sur 24) ont observé des différences statistiquement significatives. Ces baisses sont habituellement expliquées par l'augmentation de production de lait et l'effet de dilution qui s'en suit (Ipharraguerre and Clark, 2003). Depuis 2003, Broderick a décrit une baisse significative du pourcentage de protéine lors de l'utilisation d'un dosage de 250 mg par jour (Broderick, 2004). De façon générale, le monensin semble avoir peu d'influence de la production de protéine du lait.

#### *5.4.4 Effets sur l'efficacité alimentaire de la production laitière*

L'efficacité alimentaire est améliorée par le monensin. Une étude rapporte que les vaches recevant une dose de 450 mg par jour ont augmenté significativement leur poids vif durant la période de traitement. Cette augmentation a été notée sans augmentation concomitante de la condition corporelle (Phipps et al., 2000). Les résultats de cette étude vont dans le même sens que les effets rapportés du monensin chez les bovins de boucherie en parc d'engraissement (Bergen and Bates, 1984).

Quelques études ont aussi analysé l'effet du monensin sur l'efficacité de production des vaches laitières. Ces études ont montré une amélioration significative (Phipps et al., 2000) (Werf et al., 1998) ou numérique (Ramanzin et al., 1997).

Cette augmentation de l'efficacité serait attribuée principalement à la hausse de la valeur énergétique des aliments (Phipps et al., 2000).

#### *5.4.5 Effets sur la consommation volontaire de matière sèche (CVMS)*

L'effet du monensin sur la CVMS est controversé. L'ajout de monensin n'a pas provoqué de baisse de la CVMS dans la majorité (8 sur 12) des études effectuées sur ce sujet (Ipharraguerre and Clark, 2003). Broderick en est venu à la même conclusion plus récemment (Broderick, 2004). D'autres auteurs ont cependant remarqué une diminution de la CVMS (Erasmus et al., 2005) (Sauer et al., 1998). Selon Ramanzin, cette baisse de CVMS est surtout observée chez les vaches nourries avec une ration riche en concentrés (50%) contenant du monensin (300 mg par jour) (Ramanzin et al., 1997). L'étude nord-américaine effectuée par la compagnie Elanco pour l'homologation du prémélange Rumensin<sup>®</sup> a rapporté une baisse de CVMS seulement lorsque la dose administrée aux vaches est de 24 ppm (Thomas et al., 2004).

#### *5.4.6 Effets lors des situations d'acidose subaiguë du rumen*

L'effet du monensin lors de situation d'acidose subaiguë du rumen semble incertain. Le monensin atténue la chute du pH ruminal en inhibant la production de bactéries productrices de lactate lors de situation d'acidose aiguë du rumen (Bergen and Bates, 1984) (Osborne et al., 2004) (Corah, 1991). Par contre, l'ajout de 300 mg par jour de monensin à la ration des vaches en acidose subaiguë du rumen n'a pas démontré d'amélioration de la CVMS, la production laitière et du pH ruminal (Mutsvangwa et al., 2002) (Lunn et al., 2005) (Osborne et al., 2004). Le monensin exacerbe la chute du pourcentage de gras du lait lors d'acidose subaiguë du rumen (Mutsvangwa et al., 2002). Ces résultats différents obtenus entre les études sont probablement dus au niveau d'acidose inégal entre les études.

#### 5.4.7 Effets sur la santé

Les effets du monensin sur la santé des vaches ont surtout été étudiés lors de son administration sous la forme d'une capsule à libération lente (Rumensin® **CRC**). La capsule CRC est homologuée au Canada pour la prévention de l'acétonémie clinique et subclinique chez les vaches laitières (Duffield et al., 2002). D'autres études ont aussi rapporté les bénéfices de cette capsule sur la santé par la prévention du tympanisme spumeux, du déplacement de la caillette et de la rétention placentaire (Duffield et al., 2002) (Agnew et al., 2000). Les effets du prémélange de monensin sur la santé des vaches ont été peu étudiés jusqu'à ce jour. Le texte qui suit présente les effets rapportés de ce prémélange sur la santé des vaches laitières.

L'utilisation du monensin en prémélange durant toute la période de tarissement a pour effet d'augmenter de 2.1 fois le risque de dystocie par rapport aux vaches contrôles (voir section : «5.2 Effets sur le métabolisme énergétique de la vache»). Son utilisation dans les mêmes conditions a aussi un effet préventif (OR = 0.8) sur le développement de métrite en période postpartum. Cette observation provient de la meilleure santé métabolique des vaches et de la réduction de corps cétoniques circulant dans le sang. Les corps cétoniques réduisent l'efficacité du système immunitaire (Melendez et al., 2006). La réduction de l'incidence des infections intramammaires en début de lactation chez les vaches traitées est basée sur cette même explication d'amélioration de la santé métabolique (Heuer et al., 2001). Beckett, quant à lui, n'a trouvé aucun effet significatif du monensin sur la santé des vaches au pâturage en Australie (Beckett et al., 1998).

Le monensin est efficace pour la prévention de la coccidiose chez les bovins. Par contre, son efficacité est partielle pour traiter la coccidiose clinique (Corah, 1991).

Le monensin réduit l'excrétion fécale de *Mycobacterium paratuberculosis* chez les vaches adultes lorsque traitées à une dose de 335 mg par jour. La

signification biologique de cette récente trouvaille reste cependant à établir (Hendrick et al., 2006).

#### *5.4.8 Effets sur la reproduction*

Cinq études cliniques (4735 vaches) réalisées dans 6 pays, dont le Canada, n'ont démontré aucun effet important du monensin sur l'amélioration de la reproduction (Ipharraguerre and Clark, 2003) (Lean et al., 1994) (Hayes et al., 1996) (Beckett et al., 1998) (Heuer et al., 2001). Abe et Tallam en sont venus à la même conclusion (Abe et al., 1994) (Tallam et al., 2003).

#### *5.4.9 Temps de retrait*

Aucun temps de retrait dans le lait et la viande n'est requis au Canada lors de l'utilisation de monensin à une dose allant jusqu'à 24 ppm, soit la dose homologuée la plus élevée (Bagg et al., 2005). De plus, aucun résidu n'a été détecté dans le lait des vaches traitées à des doses très élevées de 240 ppm, soit 10 fois la dose permise (Bagg et al., 2005).

## **5.5 Interactions entre le monensin et les facteurs alimentaires**

La présence d'interactions (ou d'effets multiplicatifs) entre l'ajout de monensin et les facteurs alimentaires n'a été que peu étudiée à ce jour. Le texte qui suit présente les différentes interactions rapportées dans la littérature selon leur effet sur la production et le gras du lait.

#### *5.5.1 Effets sur la production laitière*

Le monensin administré en période prépartum influence la production laitière de la lactation subséquente. L'évaluation de l'effet du traitement sur la production laitière a révélé une interaction entre le monensin, la parité et le stade de lactation. L'influence positive du monensin est plus importante lors du deuxième mois de lactation, soit au pic de production (Hayes et al., 1996) (Thomas et al., 2004). Ramanzin n'a pas détecté d'interaction entre le monensin et le ratio fourrages:concentrés sur la production et les

composants du lait. Sa seule constatation a été de trouver un effet multiplicatif entre ces deux facteurs sur les proportions molaires des AGV du fluide ruminal (Ramanzin et al., 1997). La présence concomitante de monensin et de supplément à base de mélasse chez des vaches au pâturage a aussi un effet d'interaction sur les proportions molaires d'AGV (Grazin and Dryden, 2005).

L'utilisation du monensin chez des vaches de races différentes peut influencer son effet. Van Der Werf rapporte des résultats différents entre les races Holstein et Jersey. Il présente aussi des résultats différents à l'intérieur même de la race Holstein selon leur potentiel génétique de production laitière (Werf et al., 1998).

Une interaction entre le monensin et la condition corporelle a un effet sur la production laitière. Par contre, les études se contredisent. L'effet du monensin est plus grand chez les vaches grasses ( $> 3,75$ ) en début de lactation (Duffield et al., 1999). Selon Zahra, l'effet du monensin est plus faible chez les vaches ayant une condition corporelle plus grande ou égale à 4,0 (Zahra et al., 2006).

#### *5.5.2 Effets sur le gras du lait*

Jenkins a réalisé une étude *in vitro* sur les populations bactériennes du rumen. Il a noté la présence d'une interaction entre le monensin et l'huile de soya (huile végétale insaturée) sur la production d'AGV. En effet, une augmentation du propionate est notée lorsqu'ils sont utilisés seuls. Par contre, la présence des deux traitements en même temps a provoqué une baisse significative du propionate et une augmentation des AG *trans-10* C18 :1. Cet effet est surtout important pour les rations à base d'orge et peu important pour celles à base de maïs. On peut donc dire que l'ajout de monensin, d'huile de soya et d'orge dans une ration est plus à risque de chute de gras (Jenkins et al., 2003). Une interaction, entre le monensin et le niveau d'huile de soya dans la ration, ayant un effet négatif sur le gras du lait a aussi été observée lors de deux études faites par Alzahal (Alzahal et al., 2005) (Alzahal et al., 2006).

La présence de monensin (15 ppm) et d'huile de poisson (2 %) dans une ration a un effet multiplicatif sur la chute de gras. Les effets de cette interaction sont aussi visibles sur la CVMS et la production quotidienne de gras et protéine du lait (Cant et al., 1997). Broderick, quant à lui, n'a pas réussi à montrer la présence d'interaction entre le monensin (10 ppm) et l'huile de poisson (3 %) et leurs effets sur la CVMS, production et composition du lait (Broderick, 2004).

Aucune interaction entre le monensin et l'huile de carthame sur le gras du lait n'a été observée (Bell et al., 2006). Des résultats semblables ont été obtenus lors de la combinaison de monensin, d'huiles essentielles et de choline protégée (Benchaar et al., 2006) (Zahra et al., 2004) (Zahra et al., 2006).

L'interaction entre la quantité de fibres efficaces et la quantité d'huile insaturée dans la ration est bien connue pour ses effets négatifs sur le pourcentage de gras du lait (Griinari et al., 1998). Par contre, aucune étude n'a exploré cet effet lorsque le monensin y est ajouté.

## MISE EN SITUATION DE L'ÉTUDE

Depuis son homologation en 2004, de plus en plus de vétérinaires québécois recommandent l'utilisation du prémélange Rumensin® chez les vaches laitières. Aucune étude indépendante n'a été effectuée à ce jour au Québec pour évaluer les effets du monensin sur les paramètres de production laitière. Beaucoup de médecins vétérinaires, qui désirent prescrire ce produit dans leurs troupeaux, sont à la recherche d'informations pratiques pour prédire leur réaction lors d'un éventuel traitement.

L'hypothèse de cet essai clinique est que l'administration de prémélange de monensin à des troupeaux laitiers provoquera une hausse de la production laitière quotidienne et une chute du pourcentage de matières grasses du lait.

Cette étude a pour objectif d'analyser les effets du prémélange Rumensin® à une dose de 16 ppm sur la production laitière et le pourcentage de gras du lait. De plus, l'analyse des relations potentielles entre l'utilisation du prémélange Rumensin® et les facteurs de gestion alimentaire sera effectuée.

L'article qui suit contient la méthodologie et les résultats de ce projet de recherche.

## PRÉSENTATION DE L'ARTICLE

Jocelyn Dubuc, Denis DuTremblay, Marcel Brodeur, Randy Bagg, Paul Dick, Jean Baril and Luc DesCôteaux: *Dietary Interactions and Effects of Monensin Premix on Milk Production and Fat Percentage in Dairy Herds*. (À soumettre au Journal of Dairy Science, mai 2007)

## **Dietary Interactions and Effects of Monensin Premix on Milk Production and Fat Percentage in Dairy Herds.**

**J. Dubuc<sup>1</sup>, D. DuTremblay<sup>1</sup>, M. Brodeur<sup>1</sup>, R. Bagg<sup>2</sup>,  
P. Dick<sup>2</sup>, J. Baril<sup>2</sup> and L. DesCôteaux<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal  
C.P. 5000, Saint-Hyacinthe, Québec, J2S 7C6, Canada

<sup>2</sup> Elanco Animal Health, 150 Research Lane, Suite 120,  
Guelph, Ontario, N1G 4T2, Canada

### **Corresponding author**

Jocelyn Dubuc

Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal

C.P. 5000, Saint-Hyacinthe, Québec, J2S 7C6, Canada.

Phone (450) 778-8123

Fax: (450) 778-8120

E-mail [REDACTED]

## ABSTRACT

This field trial evaluated the effects of 16 ppm of monensin sodium (Rumensin Premix, Elanco Animal Health, Canada) on milk production (PROD) and milk fat percentage (MFP) of commercial dairy herds. Possible interactions between monensin and nutritional factors on PROD and MFP were also studied. A randomized clinical trial was conducted on 49 Holstein dairy herds in Québec (Canada) between November 2005 and May 2006. The herd was considered as the unit of interest. The herds were balanced in two groups for milk production, housing system, feeding system and size of farm. Enrolled herds were followed for a 7-month period. Monensin treatment was allocated in a crossover designed trial for each group. Monensin was added to the lactating dairy cow rations for a consecutive 3-month period within this time frame. Diet composition and particle size evaluation data were collected on farm every two months. Milk production and milk fat percentage came from weekly averages of daily bulk tank data. Data were analyzed in linear mixed models where PROD and MFP were considered as outcome variables. PROD and MFP were treated as repeated measures in herds. All models included treatment, group, season, parity and days in milk as forced covariates. Significance was declared as  $P \leq 0.05$ . Majority of herds were fed total mixed ration ( $n=30$ ; 61%) and were housed in tie-stalls ( $n=42$ ; 86%). Overall monensin effect on PROD was not significant ( $P=0.71$ ). Monensin had a decreasing effect on MFP ( $-0.16\%$ ;  $P \leq 0.01$ ). Statistical interactions with monensin on MFP were observed for some nutritional factors. The decreasing MFP effects were larger for herds: having a diet high in NFC; having low proportion of physically effective fiber in TMR when adding the results of the two top sieves of Penn State Particle Separator ( $\geq 8$  mm); and not feeding dry hay as first meal in the morning. The results of this trial are consistent with previous studies and confirm that monensin lowers herd milk fat percentage at a dose of 16 ppm in lactating dairy cows. Interactions between monensin and nutritional factors having

effects on PROD and MFP were mostly related to carbohydrate levels in the diet.

**(Key Words:** Monensin, Dairy cow, Milk production, Milk percentage, Milk composition, Nutrition)

## INTRODUCTION

Monensin is a biological product produced by *Streptomyces cinnamonensis* (Richardson et al., 1976). It is classified as a monovalent carboxylic polyether ionophore (Bergen and Bates, 1984). Monensin alters the flux of ions across the membranes of gram-positive bacteria. This alters the bacterial population in the rumen and favours bacteria that synthesize propionic acid. Propionic acid is a precursor of glucose in ruminant. As a consequence, monensin has numerous potential effects when fed to dairy cows such as improved energy metabolism and reduced incidence of subclinical ketosis and abomasal displacement (Duffield and Bagg, 2000).

In many studies, monensin was shown to improve milk production (Beckett et al., 1998) (Duffield et al., 1999) (Phipps et al., 2000). However some studies have not found any effect of monensin on milk production (Erasmus et al., 2005) (Ramanzin et al., 1997). Parity and stage of lactation have been shown to influence the effect of monensin on milk production (Macciotta et al., 2006).

Monensin has been shown to cause a decrease of milk fat percentage in numerous studies. However, there are wide variations between the effects reported in those studies. Some factors influencing the decrease of milk fat percentage have been shown such as the dose of monensin administered, the stage of lactation, the composition of the diet and the method of delivery (Phipps et al., 2000) (Duffield and Bagg, 2000) (Mackintosh et al., 2002) (Duffield et al., 2003). The milk fat decreasing effect of monensin may be explained by a change in proportions of volatile fatty acids or by an incomplete biohydrogenation process of long-chain fatty acids in the rumen (Sauer et al., 1989) (Fellner et al., 1997) (Bauman and Griinari, 2003).

The variability in the milk-increasing and fat-decreasing effects of monensin could result from potential interactions with the diet and the nutritional

management on the farms (Duffield and Bagg, 2000) (Duffield et al., 2003). It should be noted that most studies that evaluated the effects of monensin on milk production and MFP used individual cows as the unit of interest (Ipharraguerre and Clark, 2003).

The hypothesis of this study are that monensin increases milk production and decreases milk fat percentage. Also, it is believed that dietary factors influence the monensin effect on production and milk fat percentage of milk. The objectives of this study were to determine the effects of monensin on milk production and milk fat percentage when fed to dairy cow herds at a dose of 16 ppm. Another objective was to identify potential interaction on milk production and milk fat percentage between herd dietary factors and the use of monensin.

## **MATERIALS AND METHODS**

Between November 2005 and May 2006, Holstein dairy herds ( $n = 49$ ) were selected by local veterinarians of Québec (Canada) for participating to this study. Nominated herds had to use monthly Quebec DHI (Valacta, Sainte-Anne-de-Bellevue, QC) individual milk recording service and had to be at least monthly followed by a veterinarian using the software DSA (DS@HR, Saint-Hyacinthe, QC) for reproduction and health management. At enrollment, mean of participating herd size was 73 cows (range: 40-175 cows); mean annual milk production per cow per herd was 8504 kg (range: 6702-10111 kg); and mean bulk tank milk fat percentage was 3.98 % (range: 3.55-4.43 %). The herd was considered as the unit of interest in this study. Herds were balanced in two groups according to milk production, housing system, feeding system and size of farm. Monensin treatment was randomly allocated in a crossover designed trial for each herd in each group. Monensin (Rumensin<sup>®</sup> Premix; Elanco Animal Health, Guelph, Ontario) was added to the lactating dairy cow rations for a consecutive 3-month period for every herd. One half on the herds received

the monensin treatment from November to January. The other half received it from March to May. No herd were treated during a 1-month period (February) for elimination of potential residual effect of monensin. The dose of monensin premix used in this trial was 16 ppm. No other source of monensin was permitted to be fed during the entire trial. The accuracy of the dose fed to animals was reviewed and validated within the first month of treatment for every herd. Diet information and monensin concentration data were used for this validation. Monensin was diluted into a premix of minerals, supplements or concentrates. This experiment was approved by the Animal Care Committee of the Université de Montréal.

Production data were collected from the farm bulk tank (**BT**) values appearing on the producer milk paycheck. Weekly sum of every other day BT milk production data were collected. Average daily milk production per cow (**PROD**) was then calculated for every week of the trial based on the actual weekly number of lactating cows. In Quebec, standard milk fat percentage analysis is done once a week by the Fédération des producteurs de lait du Québec. Weekly bulk tank milk fat percentage (**MFP**) data were collected.

A questionnaire on nutritional management was completed by the owner at the beginning of the trial. Every question of this survey were reviewed and validated on-farm in presence of the owner.

Farm visits were performed every two months during the trial. During each farm visit, a technician collected samples of wet forages and TMR. Samples were brought to the ruminant ambulatory clinic lab's of Faculté de médecine vétérinaire (Université de Montréal) for evaluation of dry matter content (Koster<sup>®</sup>) and particle size using a 2-sieve Penn State particle size separator according to the proper technique (Lammers et al., 1996). The separator is made of two screens and a bottom pan. The top and bottom screens collected respectively particles with greater size than 19 mm and

size from 19 mm to 8 mm. The pan collected particle size smaller than 8 mm. Proportions of particles collected on the 2 sieves were used as a practical on-farm indicator of physically effective fiber (**PEF**) of the feed ingredients and TMR (Yang and Beauchemin, 2006). For component-fed herds, the forages were tested separately for particle size and theoretical calculations were performed using the as fed proportions of every feed ingredient in the diet and their individual results of PEF in order to evaluate the proportion of PEF in the diet.

The composition and nutrient content data of the lactating dairy cow diet (group at peak of lactation) were collected every other months from the ration balancing programs of nutritionist of every farm. These data were from feed analysis and average book values depending on every nutritionist requirements. The diet nutritional data collected were: amount of every feed ingredients used, cow description, NDF (%), CP (%), NFC (%), energy (Mcal/kg), starch (%), lipids (%) and forage:concentrate ratio.

The software DSA was used by every participating veterinary clinic for entering data such as herd production data from milk paycheck, individual cow production from DHI, reproduction, calving, drying off and health records. These data were reviewed monthly by participating veterinarians to insure accuracy of weekly herd data such as number of lactating cows, mean DIM, mean parity, season (winter/spring), beginning and end dates of treatment period. All data were processed in the central data bank of DS@HR (Saint-Hyacinthe, QC) and used to build a common dataset with other data collected during the study.

### ***Statistical Analysis***

Statistical analyses were conducted using SAS (version 9.1; SAS Institute Inc., Cary, NC). Validation for finding outliers data was performed. MEANS and UNIVARIATE procedures in SAS were used for descriptive statistics. Data from specific weeks for 2 herds were voluntary treated as missing

data because one herd stopped the monensin treatment before the end of his period and one herd had an overdose of monensin. Continuous variables were centered on zero using the average respective value. Visual evaluation of the normal distribution of every variable residues was performed. Average daily milk production per lactating cow (PROD) and milk fat percentage (MFP) were considered as outcome variables and were treated in linear mixed models. Weekly PROD and MFP were treated as repeated measures within herds. Screening for significant variables and interactions with treatment was done using many independent mixed models. The following covariates were forced in all models: treatment, group, season, parity and DIM. Significance was declared as  $P \leq 0.15$ . A final mixed model was built for PROD and MFP using every previous significant interactions and variables. The models were adjusted for previously mentioned covariates. Backward elimination procedure was used for building these final models. Significant interactions of monensin with continuous variables in final models were classified using the median value to give practical on-farm indicators of these interactions. If the classified interaction using median value was not significant, different quantiles were tested according to biological meaning. Difference between classes were tested with Tukey-Kramer. Significance was declared as  $P \leq 0.05$ .

## RESULTS

A total of 49 herds were enrolled in this study. Most herds ( $n=30$ ) were fed a TMR while 19 herds were component-fed. Most herds ( $n=43$ ) were housed in tie-stalls while 6 herds were housed in free-stall barns. Of the 49 herds enrolled in this study, 48 fed corn silage, 45 fed haylage, 43 fed bicarbonates, 10 fed rumen protected fat, 7 fed whole flaxseed and 6 fed raw soybeans. Herd and diet information are presented in Table 1.

Monensin crude effects on PROD and MFP when stratifying for categorical variables are presented respectively in Table 2.

### ***Screening for significant variables or interactions***

Every nutritional variables and their interaction with treatment were tested in independent mixed models containing the following forced covariates (treatment, group, season, parity and DIM). Significance was declared as  $P < 0.15$ .

#### ***Milk Production***

Significant variables found in PROD models were diet PEF level ( $P < 0.01$ ); use of bicarbonates ( $P < 0.01$ ); feeding system (TMR vs component,  $P = 0.01$ ); grain processing system (commercial complete feed vs on-farm ground grains vs on-farm rolled grains;  $P = 0.08$ ); and use of whole flaxseed ( $P = 0.08$ ). The interaction between diet NFC level and monensin treatment was found significant ( $P = 0.03$ ).

#### ***Milk Fat Percentage***

Significant variables found in MFP model were diet NDF level ( $P < 0.01$ ); grain processing system (commercial complete feed vs on-farm ground grains vs on-farm rolled grains;  $P < 0.01$ ); and use of haylage ( $P = 0.02$ ). Significant interactions found between variables and treatment were for diet PEF level ( $P < 0.01$ ); diet NFC level ( $P = 0.03$ ); dry hay fed as first meal in the morning ( $P = 0.05$ ); use of haylage ( $P = 0.05$ ); diet lipids level ( $P = 0.06$ ); and use of rumen protected fat ( $P = 0.07$ ).

### ***Final models***

All significant variables presented previously were tested in a complete mixed model for respective outcome variables (PROD and MFP). The final models were built using backward elimination procedure. The estimates from final complete models are presented in Tables 3 and 4. Significance was declared as  $P < 0.05$ .

#### ***Milk Production***

The effect of monensin treatment (**TX**) on PROD was not significant ( $P=0.71$ ). The effect was a numerically increase of 0.08 liter per cow per day. Forced covariates that had significant effect on PROD were season ( $P<0.01$ ), DIM ( $P<0.01$ ) and parity ( $P=0.03$ ). Physically effective fiber (PEF) level and use of bicarbonates in diet were also highly significant. The diet NFC level had a significant interaction with monensin treatment (NFC\*TX,  $P<0.01$ ). Monensin treatment increased milk production when high level of diet NFC was fed. However, classification of this interaction revealed no significant cutpoints.

#### *Milk Fat Percentage*

The effect of TX on MFP was highly significant ( $P<0.01$ ). A decreasing effect of 0.16% on MFP was found. Least square means (LSM) of MFP ( $\pm$  SE) in herds receiving or not monensin are presented in Figure 1. Significant covariates were group ( $P=0.05$ ) and grain processing system ( $P<0.01$ ). Many interactions between nutritional variables and treatment were found to be significant. Feeding dry hay as first meal in the morning (**HAY**) did interact with monensin treatment (HAY\*TX;  $P=0.01$ , Figure 2). Diet NFC level (NFC\*TX,  $P=0.01$ ) and diet PEF (PEF\*TX,  $P<0.01$ ) also interacted with monensin treatment. Classification of the two last interactions mentioned revealed significant cutpoints. The effect of monensin treatment in herds having high diet NFC level  $> 39.7$  % was more important than in herds at lower level (NFC\*TX,  $P=0.04$ , Figure 3). When classified, the effect of monensin treatment was significant for both classes of diet NFC level. The effect of monensin treatment in herds having low diet PEF level  $\leq 45.0$  % was more important than in herds at higher level (PEF\*TX,  $P=0.02$ , Figure 4). When classified, the effect of monensin treatment was significant for both classes of diet PEF level.

## DISCUSSION

### *Milk Production*

Many studies have been conducted in order to evaluate the effect of monensin on milk production. Most studies have found that monensin increases milk production usually between 0.3 and 0.7 kg per cow per day (Ipharraguerre and Clark, 2003). The effect of monensin on milk production in our study is smaller (+0.08 kg/cow/day) and was not statistically significant. Our study used the herd as the unit of interest. The weekly measure of milk production was a daily average of bulk tank milk production divided by number of lactating cows in the herd. Others studies have used cow-level data. This difference in our study design could explain the small increase in milk production caused by monensin treatment observed in majority of herds. Stage of lactation has a major influence on the observed effect of monensin on milk production (Duffield and Bagg, 2000) (Phipps et al., 2000). Studies using cow-level measures usually consider only cows at early stage of lactation to avoid this potential confounding effect (Duffield et al., 1999) (Phipps et al., 2000). In our case, the increasing effect of monensin on milk production could be diluted by the cows at other stages of lactation who had smaller or no effect. Moreover, the monensin treatment period only lasted 3 months in our experiment which might not be sufficient to make a complete evaluation of its effect on milk production during a whole lactation.

In our trial, the interaction between diet NFC level and monensin was found significant on milk production. To our knowledge, this interaction has not been reported before. The increase of milk production related to monensin is higher at high level of NFC in the diet than at lower level. This could be explained by the fact that herds feeding high level of NFC in their diet are usually close to developing subacute ruminal acidosis (**SARA**) (Owens et al., 1998) (Sutton et al., 1985). Feeding monensin in this case would increase meal frequency and would attenuate the SARA condition by

increasing dry matter intake and lowering meal size (Lunn et al., 2005) (Mutsvangwa et al., 2002).

### ***Milk Fat Percentage***

Monensin fed at a concentration of 16 ppm to dairy cows has been shown to cause a decrease of milk fat percentage in numerous studies. The results of our trial are consistent with previous studies (Duffield et al., 2003) (Phipps et al., 2000) (Mackintosh et al., 2002). Monensin caused a significant decrease on MFP of 0.16 % in our study. This effect of monensin has been show to be dependent of many factors such as stage of lactation, diet composition and diet management (Duffield et al., 2003).

An interaction between classified diet NFC level and monensin treatment was found significant in our trial. The MFP decreasing effect of monensin treatment was significant for both classes but larger when diet NFC level was high ( $\geq 39.7$  %, Figure 3). A NFC interaction with monensin treatment has also been reported in a recent study but the effects were in the opposite directions. In this recent paper, the decreasing effect of monensin on MFP reported was only present when diet NFC level was below 40.2% (Duffield et al., 2003). However, considering the biological meaning of those two different results, we believe that our finding has more biological sense. A diet high in NFC should be considered as having a high level of grains or low level of fibers which alters the rumen biohydrogenation process (Bessa et al., 2000). Dietary fat and monensin are also known to alter rumen biohydrogenation and to cause a decrease in milk fat percentage (Bessa et al., 2000). When monensin is fed in a high grain diet, our results show that those effects are not additive but multiplicative. A practical impact of those results is that monensin effect on MFP can be attenuated when fed in a low NFC diet. However, if a herd is looking for more important milk fat percentage decrease, monensin should be recommended in herds feeding high NFC diet.

In Figure 3, the milk fat percentage of not treated herds feeding diet NFC level > 39.7% is statistically higher than for herds feeding lower diet NFC level. This finding is somehow interesting since high grain diets have been shown to decrease milk fat percentage when compared with low grain diets (Khorasani and Kennelly, 2001). However, our data show that herds with high NFC level diets used very frequently rumen protected fat which can increase milk fat percentage when total dietary fat does not exceed 6 % DM (Onetti and Grummer, 2004) (Sutton, 1989). Since the highest dietary fat level in this trial was 5.2 %, this could be identified as the potential cause of this situation.

An interaction between classified diet physically effective fibers (PEF) and monensin treatment was found significant. The MFP decreasing effect of monensin treatment was significant for both classes but larger when diet PEF level was low ( $\leq 45.0$  %, Figure 4). The PEF value comes from the results of proportions retained on 2 top sieves of the Penn State Particle Separator. The PEF value is considered as a good practical indicator of physically effective fibers in the diet (Yang and Beauchemin, 2006). Diets having low PEF results indicate a poor proportion of effective fibers and could promote a SARA condition in the herd. Diets low in physically effective fiber reduce stimulation for cud chewing and decrease the cow production of bicarbonates in saliva. This situation reduces rumen pH and biohydrogenation of long chain fatty acids. It causes an increase in production of trans fatty acids and reduces MFP. Monensin treatment and SARA condition have been shown separately to reduce rumen biohydrogenation process and to decrease MFP (Bessa et al., 2000) (Duffield et al., 2003). This suggests that when present together, the SARA condition could exacerbates the MFP depression caused by monensin treatment.

Feeding dry long stem hay in the morning as first meal was found to significantly interact with monensin treatment on MFP. Herds that did not

feed dry hay in the morning had a much important MFP decrease caused by monensin treatment (Figure 2). This can be explained by the fact that herds feeding hay in the morning have more effective fiber in their diet which contributes to improve cud chewing as previously discussed (Duffield et al., 2003). Moreover, feeding this hay as first meal has a positive effect of starting the day with sufficient effective fiber to promote a good fiber mattress in the rumen and to favor rumination (Sutton, 1989). Herds not receiving dry hay in the morning could also be considered more at risk of feeding a insufficient level of effective fiber in diet. This corroborate the effect previously described with low level of physically effective fibers.

Each nutritional data used in this trial was validated for accuracy on the farm with producers and nutritionists. It should be considered as one of the strong points of our study. The effects of interactions between practical nutritional variables and monensin treatment have been investigated in this study. However, due to budgetary and logistic restrictions, it was not possible to evaluate some other nutritional parameters having potential effects such as types of oils fed, polyunsaturated fatty acid (**PUFA**) level and profile of diet lipids.

This study was designed in order to measure the herd level effects of monensin premix fed at 16 ppm on milk production and milk fat percentage of dairy cows. It was not the goal of this study to measure the impact of feeding monensin at cow level. The interpretation of results of this study should be limited to Holstein herds not receiving simultaneously other sources of monensin.

## **CONCLUSIONS**

This study has found that feeding monensin to Holstein dairy cows at a dose of 16 ppm has a significant decreasing effect of 0.16 % on bulk tank milk fat percentage of treated herds. However, no significant effect on herd

milk production was observed. Many nutritional and management factors had significant interactions with monensin on milk fat percentage. All those factors such as diet physically effective fibers level, diet NFC level and hay feeding as first meal in the morning were related to grain and fiber levels in the diet. More specifically, our results suggest that the monensin effect on MFP is exacerbated when fed to herd at high level of NFC in diet ( $> 39.7\%$ ) and low level of effective fiber ( $\leq 45.0\%$  on the top two sieve of PennState Particle Separator). Feeding sufficient effective fiber level to cows is important for minimizing the milk fat decrease caused by monensin. The results of this study may help to predict a potential response before starting the monensin treatment.

### **ACKNOWLEDGMENTS**

The authors would like to thank the participating farmers, veterinarians and nutritionists for making this trial possible. We would also like to express our gratitude to François Dubois for assistance in technical procedures on feedstuff. Gratitude is extended to Guy Beauchamp and Julie Arsenault for assistance with statistical analysis. This study was funded by Elanco Animal Health (Guelph, ON, Canada) and the Faculté de médecine vétérinaire of Université de Montréal (Saint-Hyacinthe, QC, Canada). Jocelyn Dubuc was financially supported by the Fonds du centenaire of the Université de Montréal.

### **REFERENCES**

- Bauman, D. E. and J. M. Griinari. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23:203-227.
- Beckett, S., I. Lean, R. Dyson, W. Tranter, and L. Wade. 1998. Effects of monensin on the reproduction, health, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81(6):1563-1573.
- Bergen, W. G. and D. B. Bates. 1984. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science* 58(6):1465-1483.

- Bessa, R. J. B., J. Santos-Silva, J. M. R. Ribeiro, and A. V. Portugal. 2000. Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Livestock Production Science* 63(3):201-211.
- Duffield, T., R. Bagg, D. Kelton, P. Dick, and J. Wilson. 2003. A field study of dietary interactions with monensin on milk fat percentage in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86(12):4161-4166.
- Duffield, T. F. and R. N. Bagg. 2000. Use of ionophores in lactating dairy cattle: a review. *Canadian Veterinary Journal* 41(5):388-394.
- Duffield, T. F., K. E. Leslie, D. Sandals, K. Lissemore, B. W. McBride, J. H. Lumsden, P. Dick, and R. Bagg. 1999. Effect of prepartum administration of monensin in a controlled-release capsule on milk production and milk components in early lactation. *Journal of Dairy Science* 82(2):272-279.
- Erasmus, L. J., P. H. Robinson, A. Ahmadi, R. Hinders, and J. E. Garrett. 2005. Influence of prepartum and postpartum supplementation of a yeast culture and monensin, or both, on ruminal fermentation and performance of multiparous dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 122(3/4):219-239.
- Fellner, V., F. D. Sauer, and J. K. G. Kramer. 1997. Effect of nigericin, monensin, and tetronasin on biohydrogenation in continuous flow-through ruminal fermenters. *Journal of Dairy Science* 80(5):921-928.
- Ipharraguerre, I. R. and J. H. Clark. 2003. Usefulness of ionophores for lactating dairy cows: a review. *Animal Feed Science and Technology* 106(1/4):39-57.
- Khorasani, G. R. and J. J. Kennelly. 2001. Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield, and milk composition in late-lactation Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 84(7):1707-1716.
- Lammers, B. P., D. R. Buckmaster, and A. J. Heinrichs. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 79(5):922-928.
- Lunn, D. E., T. Mutsvangwa, N. E. Odongo, T. F. Duffield, R. Bagg, P. Dick, G. Vessie, and B. W. McBride. 2005. Effect of monensin on meal frequency during sub-acute ruminal acidosis in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 85(2):247-249.
- Macciotta, N. P. P., D. Vicario, and A. Cappio-Borlino. 2006. Use of multivariate analysis to extract latent variables related to level of production and lactation persistency in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89(8):3188-3194.
- Mackintosh, E. D., R. H. Phipps, J. D. Sutton, D. J. Humphries, and J. I. D. Wilkinson. 2002. Effect of monensin on rumen fermentation and digestion and milk production in lactating dairy cows. *Journal of Animal and Feed Sciences* 11(3):399-410.
- Mutsvangwa, T., J. P. Walton, J. C. Plaizier, T. F. Duffield, R. Bagg, P. Dick, G. Vessie, and B. W. McBride. 2002. Effects of a monensin controlled-release capsule or premix on attenuation of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85(12):3454-3461.

- Onetti, S. G. and R. R. Grummer. 2004. Response of lactating cows to three supplemental fat sources as affected by forage in the diet and stage of lactation: a meta-analysis of literature. *Animal Feed Science and Technology* 115(1/2):65-82.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, and D. R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: a review. *Journal of Animal Science* 76(1):275-286.
- Phipps, R. H., J. I. D. Wilkinson, L. J. Jonker, M. Tarrant, A. K. Jones, and A. Hodge. 2000. Effect of monensin on milk production of Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83(12):2789-2794.
- Ramanzin, M., L. Bailoni, S. Schiavon, and G. Bittante. 1997. Effect of monensin on milk production and efficiency of dairy cows fed two diets differing in forage to concentrate ratios. *Journal of Dairy Science* 80(6):1136-1142.
- Richardson, L. F., A. P. Raun, E. L. Potter, C. O. Cooley, and R. P. Rathmacher. 1976. Effect of monensin on rumen fermentation in vitro and in vivo. *Journal of Animal Science* 43(3):657-664.
- Sauer, F. D., J. K. G. Kramer, and W. J. Cantwell. 1989. Antiketogenic effects of monensin in early lactation. *Journal of Dairy Science* 72(2):436-442.
- Sutton, J. D. 1989. Altering milk composition by feeding. *Journal of Dairy Science* 72(10):2801-2814.
- Sutton, J. D., W. H. Broster, D. J. Napper, and J. W. Siviter. 1985. Feeding frequency for lactating cows: effects on digestion, milk production and energy utilization. *British Journal of Nutrition* 53(1):117-130.
- Yang, W. Z. and K. A. Beauchemin. 2006. Physically effective fiber: method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89(7):2618-2633.

**Table 1.** Herd and diet composition values (mean  $\pm$  SD) for continuous variables

Variables	Mean	SD	N or measures <sup>1</sup>
Number of lactating cows	62	26	49
Herd mean DIM (days)	172	22	49
Herd mean parity (parity)	2.5	0.3	49
Herd mean milk production (liters)	26.5	3.2	49
Herd mean milk fat percentage (%)	3.98	0.18	49
Diet NFC (%)	39.7	2.9	196
Diet NDF (%)	31.5	3.8	196
Diet starch (%)	29.0	2.8	196
Diet lipids (%)	3.6	0.6	164
Diet PEF <sup>2</sup> (%)	50.3	9.2	196
Number of concentrate meals (meals)	3	2	49

<sup>1</sup>Measures = Repeated measures during trial (1 measure every other month = 4 measures per herd).

<sup>2</sup>PEF = physically effective fibers (sum of proportions of particles retained on top two sieves of PennState Particle Separator).

**Table 2.** Descriptive statistics (mean) of crude weekly bulk tank milk production and milk fat percentage in 49 Holstein herds for categorical variables according to monensin treatment period (No TX vs TX). No analysis were performed on data and results should be considered as crude indicator of treatment effect

Variables	Subcategories	N or measures <sup>1</sup>	Milk production (liter per day)		Milk Fat Percentage	
			No TX <sup>2</sup>	TX <sup>2</sup>	No TX <sup>2</sup>	TX <sup>2</sup>
Herd feeding system	Component	19	25.3	25.6	4.03	3.89
	TMR	30	27.0	27.4	4.03	3.95
Herd housing system	Tie-stall	42	26.3	26.7	4.02	3.91
	Free-stall	7	26.5	26.6	4.10	4.02
Herd feeding dry hay in morning <sup>3</sup>	No	40	25.1	24.5	4.06	3.89
	Yes	9	26.6	27.1	4.03	3.93
Herd using rumen protected fat <sup>4</sup>	No	22	26.0	26.4	4.03	3.91
	Yes	27	26.8	27.0	4.04	3.95
Herd grain processing system	Commercial feed <sup>5</sup>	4	24.5	24.3	3.87	3.80
	On-farm ground grains	11	27.5	28.6	4.06	3.92
	On-farm rolled grains	34	26.2	26.3	4.04	3.94
Herd feeding rumensin during transition	No	122	26.0	26.7	4.03	3.91
	Yes	74	26.9	26.5	4.04	3.96
Herd feeding whole flaxseed	No	182	26.4	26.8	4.02	3.90
	Yes	14	23.7	25.9	4.20	3.95
Herd feeding haylage	No	12	23.9	25.6	3.98	3.71
	Yes	184	26.4	26.8	4.03	3.91
Herd feeding corn silage	No	24	25.3	25.1	4.01	3.94
	Yes	172	26.4	26.9	4.03	3.90
Herd feeding raw soybeans	No	180	26.1	26.7	4.03	3.91
	Yes	16	28.6	27.4	3.93	3.85
Herd feeding bicarbonates	No	164	23.9	23.3	4.09	3.94
	Yes	32	26.8	27.2	4.02	3.92

<sup>1</sup>Measures = Repeated measures during trial (1 measure every other month = 4 measures per herd)

<sup>2</sup>Treatment period: Treated (TX) =receiving daily 16 ppm of monensin premix during 12 weeks; Not treated (No TX) = receiving no monensin premix during 12 weeks.

<sup>3</sup>Dry hay fed as first meal in morning = minimal amount of 0.5 kg/cow/day.

<sup>4</sup>Rumen protected fat = minimal amount of 100 g/cow/day.

<sup>5</sup>Commercial feed = pelleted molasse complete feed.

**Table 3.** Estimates for daily milk production from final mixed model using weekly repeated measures within herd for 49 Holstein herds. The following covariates were forced in the model: treatment (TX<sup>1</sup>), group of treatment (group), season, parity and days in milk

Parameter	Class	df	Estimate	SE	P-value
Intercept		46	35.73	1.35	< 0.01
TX <sup>1</sup>	No	47	- 0.08	0.20	0.71
	Yes				
Group <sup>2</sup>	1	47	0.65	0.73	0.38
	2				
Season	Nov-Jan	47	- 1.51	0.20	< 0.01
	Mar-May				
Parity <sup>3</sup>		1143	0.93	0.42	0.03
DIM <sup>3</sup>		1143	- 0.05	0.003	< 0.01
NFC <sup>4-5</sup>		1143	0.10	0.05	0.05
NFC <sup>4-6</sup> x TX	0	1143	- 0.16	0.06	< 0.01
	1				
PEF <sup>4-6</sup>		1143	- 0.04	0.008	< 0.01
Bicarbonates	No	47	- 3.40	1.05	< 0.01
	Yes				

<sup>1</sup>Treatment: No = receiving no monensin premix during 12 weeks; Yes = receiving daily 16 ppm of monensin premix during 12 weeks.

<sup>2</sup>Group: 1 = Monensin treatment during the first 12 weeks and no treatment for the next 12 weeks; 2 = No monensin treatment for the first 12 weeks and monensin treatment for the next 12 weeks.

<sup>3</sup>Parity and DIM are herd mean weekly values estimated from cow level data.

<sup>4</sup>Values of NFC and physically effective fiber (PEF) are centered to zero on mean value.

<sup>5</sup>NFC represents diet NFC value.

<sup>6</sup>PEF value represents diet sum of proportions of particles retained on the top 2 sieves of PennState Particle Separator (>8 mm) .

**Table 4.** Estimates for weekly milk fat percentage from final mixed model using weekly repeated measures within herd for 49 Holstein herds. The following covariates were forced in the model: treatment (TX<sup>1</sup>), group of treatment (group), season, parity and days in milk

Parameter	Class	df	Estimate	SE	P-value
Intercept		44	3.86	0.10	< 0.01
TX <sup>1</sup>	No	46	0.09	0.02	< 0.01
	Yes				
Group <sup>2</sup>	1	46	0.07	0.03	0.05
	2				
Season	Nov-Jan	46	0.03	0.02	0.11
	Mar-May				
Parity <sup>3</sup>		1142	- 0.01	0.03	0.66
DIM <sup>3</sup>		1142	0.0004	0.0003	0.14
NFC <sup>4-5</sup>		1142	- 0.01	0.004	0.01
NFC <sup>4-5</sup> x TX	0	1142	0.01	0.005	0.01
	1				
PEF <sup>4-6</sup>		1142	0.002	0.0009	0.01
PEF <sup>4-6</sup> x TX	0	1142	- 0.004	0.001	< 0.01
	1				
GPS <sup>7</sup>	Commercial feed <sup>8</sup>	46	-0.22	0.07	< 0.01
	On-farm ground grains				
	On-farm rolled grains				
HAY <sup>9</sup>	No	46	- 0.07	0.05	0.16
	Yes				
HAY <sup>9</sup> x TX	No - No	46	0.13	0.05	0.01
	No - Yes				
	Yes - No				
	Yes - Yes				

<sup>1</sup>Treatment: No = receiving no monensin premix during 12 weeks; Yes = receiving daily 16 ppm of monensin premix during 12 weeks.

<sup>2</sup>Group: 1 = Monensin treatment during the first 12 weeks and no treatment for the next 12 weeks; 2 = No monensin treatment for the first 12 weeks and monensin treatment for the next 12 weeks.

<sup>3</sup>Parity and DIM are herd mean weekly values estimated from cow level data.

<sup>4</sup>Values of NFC and physically effective fiber (PEF) are centered to zero on mean value.

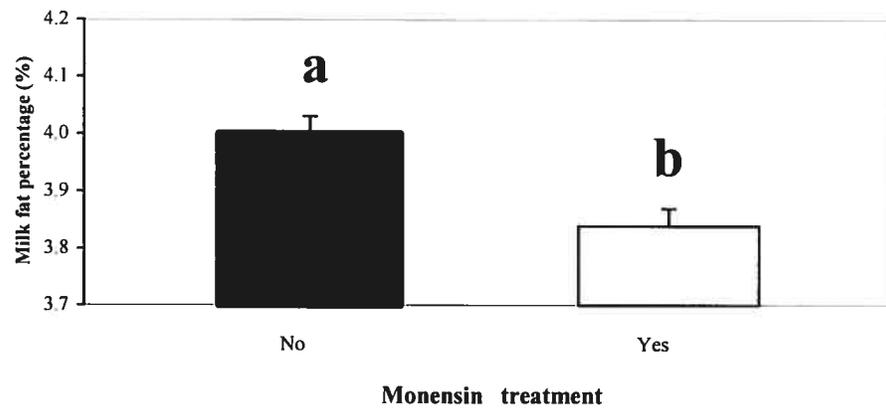
<sup>5</sup>NFC represents diet NFC value.

<sup>6</sup>PEF value represents diet sum of proportions of particles retained on the top 2 sieves of PennState Particle Separator (>8 mm) .

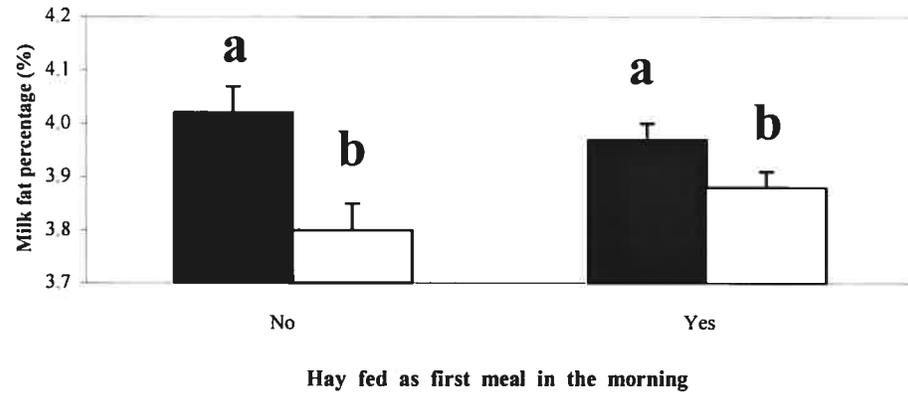
<sup>7</sup>GPS represents herd grain processing system.

<sup>8</sup>Commercial feed = pelleted molasse complete feed.

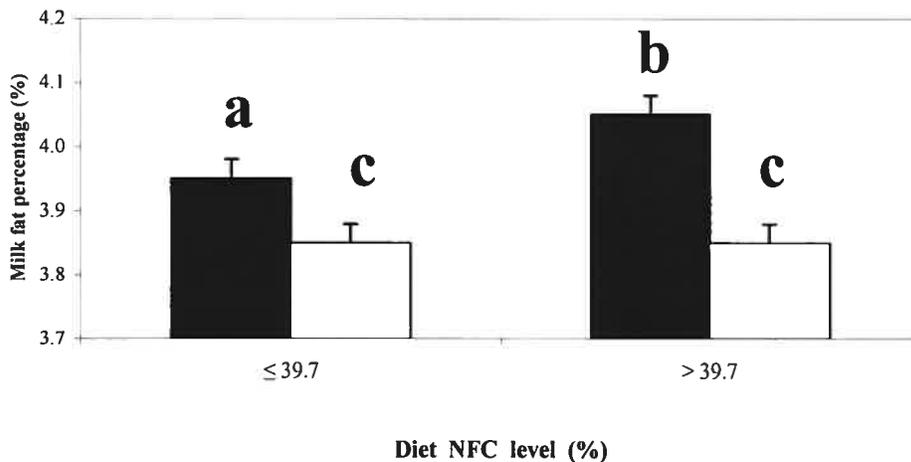
<sup>9</sup>HAY: No = Herds not feeding dry long stem hay as first meal in the morning; Yes = Herds feeding dry long stem hay as first meal in the morning.



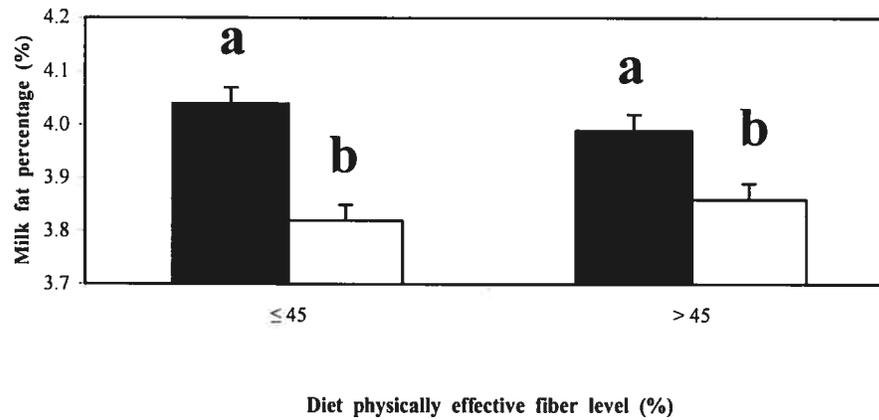
**Figure 1.** The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM  $\pm$  SE) in 49 Holstein herds. There was a decrease in milk fat percentage ( $P < 0.01$ ) when herds were treated with monensin.



**Figure 2.** The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM ± SE) stratified by the use of dry hay fed as first meal (HAY) in 49 Holstein herds. Herds not treated with monensin are presented in solid bars and herds treated with monensin are presented in open bars. Treatment differences are indicated by unlike letters ( $P \leq 0.05$ ).



**Figure 3.** The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM  $\pm$ SE) stratified by diet non fiber carbohydrates level (NFC) in 49 Holstein herds. Herds not treated with monensin are presented in solid bars and herds treated with monensin are presented in open bars. Treatment differences are indicated by unlike letters ( $P \leq 0.05$ ).



**Figure 4.** The effect of monensin treatment (TX) on bulk tank milk fat percentage (LSM  $\pm$ SE) stratified by diet physically effective fiber level (PEF) in 49 Holstein herds. Herds not treated with monensin are presented in solid bars and herds treated with monensin are presented in open bars. Treatment differences are indicated by unlike letters ( $P \leq 0.05$ ).

## **AUTRES RÉSULTATS ET DISCUSSION GÉNÉRALE**

L'article présenté dans la section précédente contient la plupart des résultats de recherche et une partie importante de la discussion. Par contre, certains éléments n'ont pas été abordés dans le cadre de cet article puisque les informations présentées doivent y être succinctes. Le présent chapitre de résultats et discussion générale a pour but de rappeler et discuter plus en profondeur les principaux résultats de l'étude.

Les analyses statistiques ont été faites en trois grandes étapes soient les analyses descriptives, les modèles préliminaires et les modèles finaux. Les statistiques descriptives ont été présentées dans l'article. Par contre, la construction des modèles préliminaires dans le but de trouver des variables significatives a été peu élaborée. Le texte qui suit résume les variables trouvées significatives lors de l'analyse de ces modèles préliminaires pour les deux variables dépendantes soit la production laitière (PROD) et le pourcentage de gras du lait (GRAS).

### **Production laitière**

Les variables alimentaires significatives pour les modèles préliminaires de PROD étaient la concentration en PEF (effet négatif;  $P < 0,01$ ), l'utilisation de bicarbonates (effet positif;  $P < 0,01$ ), le système d'alimentation (effet positif de RTM vs conventionnel;  $P = 0,01$ ), le système de transformation des grains (effet positif des grains moulus vs roulés;  $P = 0,08$ ) et l'utilisation de graines de lin (effet positif;  $P = 0,08$ ). Plusieurs de ces variables ont déjà été mentionnées dans la littérature comme ayant des effets sur la production laitière (Duffield et al., 2003) (Petit et al., 2004). L'objectif de cette étude n'étant pas sur ces facteurs, aucun développement ne sera fait sur leurs effets. Une découverte intéressante de l'étude a été que l'interaction entre

le traitement des vaches au monensin et la concentration de la ration en HCNS était significative ( $P=0,03$ ).

Le modèle préliminaire contenant uniquement les covariables imposées nous a permis de quantifier l'effet du traitement au monensin sur la production de lait des troupeaux. Cet effet était une augmentation moyenne de 0,15 litre par vache par jour. On peut donc dire que lorsque aucune variable alimentaire n'est considérée dans l'évaluation de l'effet du monensin (16 ppm) sur la production laitière, l'effet moyen attendu est de +0,15 litre/vache/jour (modèle préliminaire). Par contre, lorsque l'effet des covariables et des facteurs HCNS, PEF et l'utilisation des bicarbonates est considéré, l'effet moyen véritable du traitement était une augmentation de 0,08 litre/vache/jour (modèle final). Cet effet final est donc moindre que dans le modèle préliminaire mais représente mieux le véritable effet de l'ajout alimentaire de monensin sodique à raison de 16 ppm à l'échelle du troupeau.

Le modèle final de la production laitière contient une interaction significative soit HCNS\*TX (Tableau 3 de l'article). Un graphique de cette interaction peut être visualisé à l'annexe 1. Cette interaction n'a jamais été rapportée auparavant. Une tentative de classification de la variable HCNS a été faite pour rendre l'application de ces résultats plus concrète. La moyenne de la distribution de HCNS (39,7 %) a été testée comme seuil de classification. Dans ce cas, l'interaction HCNS\*TX s'est avéré non significative ( $P=0,07$ ). Le seuil arbitraire de 41,0 % s'est avéré être le seuil le plus significatif de tous ( $P=0,02$ ). Les différences des moindres carrés de cette interaction sont présentées dans l'annexe 2. L'effet du monensin sur la production laitière était donc de +0,7 litre par vache par jour lorsque la concentration de la ration en HCNS est plus élevée que 41,0%. Par contre, cette différence d'effet entre les classes n'était pas statistiquement significative. Un manque de puissance pourrait expliquer ce résultat.

### **Pourcentage de gras du lait**

Les variables alimentaires significatives pour les modèles de MFP étaient : la concentration de NDF ( $P < 0,01$ ), le système de traitement des grains ( $P < 0,01$ ) et l'administration de foin sec comme premier repas du matin ( $P = 0,02$ ). L'objectif de cette étude n'étant pas sur ces facteurs, aucun développement ne sera fait sur leurs effets. Les interactions entre le monensin et les variables alimentaires étaient significatives pour les variables suivantes : PEF ( $P < 0,01$ ), HCNS ( $P = 0,03$ ), l'administration de foin sec comme premier repas le matin ( $P = 0,05$ ), l'utilisation d'ensilage d'herbe ( $P = 0,05$ ), la concentration de lipides ( $P = 0,06$ ) et l'utilisation de gras protégés ( $P = 0,07$ ).

Le modèle final contenait les interactions significatives suivantes : HCNS\*TX, PEF\*TX et l'utilisation du foin sec le matin (FOIN\*TX).

L'interaction entre le traitement au monensin et la concentration de HCNS dans la ration est intéressante et a été abordée dans l'article. Un graphique de cette interaction est présenté à l'annexe 3. La moyenne de la distribution de HCNS (39,7 %) a été testée comme seuil de classification pour rendre ce résultat plus pratique. Ce seuil s'est avéré significatif ( $P = 0,04$ ). Les différences des moindres carrés de cette interaction sont présentées dans l'article (Figure 4). L'effet du monensin sur les troupeaux ayant une concentration de HCNS  $> 39,7$  % était beaucoup plus important (-0,20%) que chez ceux se retrouvant en dessous de ce même seuil.

L'interaction entre le traitement au monensin et la concentration de fibres efficaces (PEF) dans la ration est aussi un résultat intéressant. Un graphique de cette interaction peut être visualisé dans l'annexe 4. La moyenne de sa distribution (50,3%) a été testée comme seuil de classification. Ce seuil s'est avéré non significatif ( $P = 0,09$ ). Le seuil arbitraire de 45,0% de PEF s'est par contre avéré significatif ( $P = 0,02$ ). Les différences des moindres carrés sont présentées dans l'article (Figure 5).

L'effet du monensin sur les troupeaux ayant un niveau de fibres efficaces  $\leq 45,0\%$  est plus important (-0,22%).

L'interaction FOIN\*TX a été préalablement mentionnée et discutée dans l'article.

Le modèle préliminaire contenant uniquement les covariables forcées a permis d'évaluer l'effet global du monensin sur le pourcentage de gras du lait à -0,12%. Ce résultat indique que le fait d'inclure du monensin à une dose de 16 ppm provoque une baisse de 0,12% du pourcentage de gras du lait des troupeaux traités. Par contre, l'effet du traitement au monensin dans le modèle final, lorsque corrigé pour les autres facteurs présents, nous indique une baisse réelle de 0,16%. Cette différence est due au fait de considérer les facteurs alimentaires ou pas dans notre analyse.

### **Écriture des analyses statistiques**

Le patron d'écriture des modèles statistiques est présenté en annexe 5.

### **Utilisation pratique des résultats de cette étude**

Dans un esprit d'application pratique de ces résultats, l'utilisation du modèle final de production et de gras présentés dans l'article pourrait très certainement servir d'outils de prédiction de l'effet du monensin sur des troupeaux dont le traitement est envisagé. Il pourrait être utilisé sous forme d'arbre décisionnel.

Il est intéressant de constater que les interactions significatives, tant pour la production laitière que pour le pourcentage de gras du lait, sont toutes reliées de loin ou de proche au niveau de glucides de la ration. Les niveaux de glucides structuraux ou non structuraux semblent avoir une grande influence sur les effets du monensin sur les paramètres de production des troupeaux. La production laitière est surtout influencée positivement par un

niveau d'HCNS élevé dans la ration alors que le pourcentage de gras du lait est surtout influencé négativement par un niveau bas de PEF, un niveau élevé d'HCNS et une absence de foin sec. Les niveaux de glucides sont donc des facteurs importants à considérer lors d'un éventuel traitement au monensin.

### **Limites de l'étude**

L'inférence des résultats de cette étude est limitée. Les résultats peuvent facilement être inférés aux troupeaux laitiers de race Holstein du Canada. Il serait plus difficile de soutenir que ces résultats peuvent être inférés aux troupeaux des États-Unis car leur taille et leur régie peuvent être passablement différentes des troupeaux de notre étude. Par contre, ces résultats peuvent certainement être utilisés pour les petits troupeaux américains.

### **Forces et faiblesses de cette étude**

Malgré le bon déroulement de cette étude, quelques points auraient pu être améliorés. Un des aspects difficiles de cette étude a été de trouver des troupeaux pouvant participer à l'étude. Si elle était à refaire, la recherche des troupeaux devrait se faire à plus grande échelle pour tenter d'en collecter un plus grand nombre. De plus, le protocole devrait être revu et inclure des groupes contrôles traités et non traités durant toute la durée de l'étude. De cette façon, l'effet période aurait pu être contrôlé et quantifié. Plusieurs variables alimentaires telles que la concentration de la ration en amidon et en lipides pourraient être analysées en laboratoire au lieu d'être tirées des valeurs moyennes des livres de référence. Cette information aurait pu permettre de valider certaines données dont la variation peut être assez grande entre les fermes.

La covariable «groupe» a été intentionnellement forcée dans les modèles statistiques pour compenser le balancement imparfait causé par l'attribution

des groupes fait avant l'allocation du traitement. La covariable «groupe» avait un effet significatif sur le pourcentage de gras du lait dans le modèle final (Tableau 3 de l'article). Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que les groupes n'étaient pas bien balancés durant l'étude. Lorsque les troupeaux ont été engagés dans l'étude, ils ont été balancés en deux groupes selon plusieurs facteurs tels que la production laitière, le système d'alimentation, le type de logement et la taille des troupeaux. Par contre, les troupeaux n'ont pas été balancés pour leur pourcentage de gras du lait. Si cette étude était à refaire, le balancement des troupeaux à l'intérieur des groupes devrait inclure le facteur de pourcentage de gras du lait.

Plusieurs variables alimentaires ayant potentiellement de l'influence sur les effets du traitement au monensin pourraient être vérifiées lors d'une éventuelle étude. Les types de lipides alimentaires et la concentration des huiles polyinsaturées dans l'alimentation pourraient certainement être vérifiés. Ces variables n'ont pu être incluses dans ce projet de recherche pour des contraintes monétaire et logistique.

Les résultats de cette étude pourraient servir de façon pratique pour les intervenants du milieu des bovins laitiers. L'impact des niveaux d'hydrates de carbone non structuraux, de fibres efficaces et du foin sec servi comme premier repas le matin sont importants et peuvent influencer grandement les résultats obtenus lors de traitement au monensin. La construction d'arbres décisionnels pourrait être une façon pratique de vulgariser ces résultats. Ces résultats nous ont permis de vérifier nos hypothèses de départ. Nous n'avons pu confirmer notre hypothèse selon laquelle le monensin provoque une augmentation de la production laitière des troupeaux traités. Par contre, nous avons confirmé notre hypothèse selon laquelle le monensin provoque une baisse du pourcentage de gras du lait des troupeaux traités. Finalement, notre hypothèse que certains facteurs alimentaires influencent les effets du monensin s'est avérée confirmée.

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude suggèrent que le traitement des troupeaux laitiers au monensin à une dose 16 ppm ne provoque pas de hausse significative de la production laitière quotidienne moyenne par vache. L'effet de ce même traitement provoque une diminution significative du pourcentage de gras du lait chez les troupeaux traités. La concentration de la ration en HCNS est un facteur alimentaire qui a une influence positive significative sur l'effet du monensin sur la production laitière des troupeaux. La concentration élevée en hydrates de carbone non structuraux, la faible proportion de fibres efficaces dans la ration et l'absence de foin sec comme premier repas du matin sont des facteurs qui influencent négativement l'effet du monensin sur le pourcentage de gras du lait. Tous les facteurs alimentaires précédemment mentionnés sont des indicateurs théoriques et pratiques des niveaux de glucides dans l'alimentation des troupeaux traités. Les résultats de cette étude pourraient être utilisés pour prédire les effets potentiels du traitement au monensin sur les paramètres de production d'un troupeau.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abe, N., I. J. Lean, A. Rabiee, J. Porter, and C. Graham. 1994. Effects of sodium monensin on reproductive performance of dairy cattle. II. Effects on metabolites in plasma, resumption of ovarian cyclicity and oestrus in lactating cows. *Australian Veterinary Journal* 71(9):277-282.
- Agnew, K. E. M., C. A. Morris, and N. G. Cullen. 2000. Evaluation of a liquid formulation of monensin to control bloat in pasture-fed milking cows. *New Zealand Veterinary Journal* 48(3):74-77.
- Alzahal, O., N. E. Odongo, O.-R. M., T. Mutsvangwa, T. F. Duffield, R. Bagg, C. P. Dick, G. Vessie, and B. W. McBride. 2006. Effects of monensin and dietary soybean oil on milk fatty acid profile in lactating cows. *Journal of Dairy Science* 89(Suppl. 1):T233.
- Alzahal, O., N. E. Odongo, T. Mutsvangwa, T. Duffield, R. Bagg, C. P. Dick, and G. Vessie. 2005. Effects of monensin and dietary soy oil on milk fat percentage in lactating cows. *Journal of Dairy Science* 89(Suppl.1):T204.
- Annen, E. L., R. J. Collier, M. A. McGuire, J. L. Vicini, J. M. Ballam, and M. J. Lormore. 2004. Effect of modified dry period lengths and bovine somatotropin on yield and composition of milk from dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(11):3746-3761.
- Bagg, R., G. H. Vessie, C. P. Dick, T. Duffield, J. B. Wilson, and J. J. Aramini. 2005. Milk residues and performance of lactating dairy cows administered high doses of monensin. *Canadian Journal of Veterinary Research* 69(3):180-185.
- Bateman, H. G. and T. C. Jenkins. 1998. Influence of soybean oil in high fiber diets fed to non-lactating cows on ruminal unsaturated fatty acids and nutrient digestibility. *Journal of Dairy Science* 81(9):2451-2458.
- Bath, D. L. 1982. Reducing fat in milk and dairy products by feeding. *Journal of Dairy Science* 65(3):450-453.
- Bauman, D. E. and J. M. Griinari. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23:203-227.
- Baumgard, L. H., B. A. Corl, D. A. Dwyer, A. Saeb, and D. E. Bauman. 2000. Identification of the conjugated linoleic acid isomer that inhibits milk fat synthesis. *American Journal of Physiology* 278(1,II):R179-R184.
- Beauchemin, K. A. and W. Z. Yang. 2005. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science* 88(6):2117-2129.
- Beckett, S., I. Lean, R. Dyson, W. Tranter, and L. Wade. 1998. Effects of monensin on the reproduction, health, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81(6):1563-1573.
- Bell, J. A., J. M. Griinari, and J. J. Kennelly. 2006. Effect of safflower oil, flaxseed oil, monensin, and vitamin E on concentration of conjugated linoleic acid in bovine milk fat. *Journal of Dairy Science* 89(2):733-748.
- Benchaar, C., H. V. Petit, R. Berthiaume, T. D. Whyte, and C. P. Y. 2006. Effects of Addition of Essential Oils and Monensin Premix on Digestion,

- Ruminal Fermentation, Milk Production, and Milk Composition in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 89:4352-4364.
- Bergen, W. G. and D. B. Bates. 1984. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science* 58(6):1465-1483.
- Bessa, R. J. B., J. Santos-Silva, J. M. R. Ribeiro, and A. V. Portugal. 2000. Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Livestock Production Science* 63(3):201-211.
- Block, E. and L. D. Muller. 1985. Effect of abruptly adding buffers to the rations of lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 65(2):521-523.
- Boutinaud, M., J. Guinard-Flamenta, and H. Jammes. 2004. The number and activity of mammary epithelial cells, determining factors for milk production. *Reproduction, Nutrition, Development* 44(5):499-508.
- Bradford, B. J. and M. S. Allen. 2004. Milk fat responses to a change in diet fermentability vary by production level in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 87(11):3800-3807.
- Broderick, G. A. 2004. Effect of low level monensin supplementation on the production of dairy cows fed alfalfa silage. *Journal of Dairy Science* 87(2):359-368.
- Brown, D. L. and D. E. Hogue. 1985. Effects of feeding monensin sodium to lactating goats: milk composition and ruminal volatile fatty acids. *Journal of Dairy Science* 68(5):1141-1147.
- Cant, J. P., A. H. Fredeen, T. MacIntyre, J. Gunn, and N. Crowe. 1997. Effect of fish oil and monensin on milk composition in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 77(1):125-131.
- Cant, J. P., D. R. Trout, F. Qiao, and N. G. Purdie. 2002. Milk synthetic response of the bovine mammary gland to an increase in the local concentration of arterial glucose. *Journal of Dairy Science* 85(3):494-503.
- Chalupa, W., W. Corbett, and J. R. Brethour. 1980. Effects of monensin and ampicloral on rumen fermentation. *Journal of Animal Science* 51(1):170-179.
- Chen, G. and J. B. Russell. 1991. Effect of monensin and a protonophore on protein degradation, peptide accumulation, and deamination by mixed ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Animal Science* 69(5):2196-2203.
- Corah, L. R. 1991. Polyether ionophores-effect on rumen function in feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice* 7(1):127-132.
- Corl, B. A., S. T. Butler, W. R. Butler, and D. E. Bauman. 2006. Regulation of milk fat yield and fatty acid composition by insulin. *Journal of Dairy Science* 89(11):4172-4175.
- Dahl, G. E., R. L. Wallace, R. D. Shanks, and D. Lueking. 2004. Effects of frequent milking in early lactation on milk yield and udder health. *Journal of Dairy Science* 87(4):882-885.

- Duffield, T., R. Bagg, L. DesCoteaux, E. Bouchard, M. Brodeur, D. DuTremblay, G. Keefe, S. LeBlanc, and P. Dick. 2002. Prepartum monensin for the reduction of energy associated disease in postpartum dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85(2):397-405.
- Duffield, T., R. Bagg, D. Kelton, P. Dick, and J. Wilson. 2003. A field study of dietary interactions with monensin on milk fat percentage in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86(12):4161-4166.
- Duffield, T. F. and R. N. Bagg. 2000. Use of ionophores in lactating dairy cattle: a review. *Canadian Veterinary Journal* 41(5):388-394.
- Duffield, T. F., K. E. Leslie, D. Sandals, K. Lissemore, B. W. McBride, J. H. Lumsden, P. Dick, and R. Bagg. 1999. Effect of prepartum administration of monensin in a controlled-release capsule on milk production and milk components in early lactation. *Journal of Dairy Science* 82(2):272-279.
- Eicher, R. 2004. Evaluation of the metabolic and nutritional situation in dairy herds: diagnostic use of milk components. *Medecin Veterinaire du Quebec* 34(1/2):36-38.
- Emery, R. S. 1988. Milk fat depression and the influence of diet on milk composition. *Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice* 4(2):289-305.
- Erasmus, L. J., P. H. Robinson, A. Ahmadi, R. Hinders, and J. E. Garrett. 2005. Influence of prepartum and postpartum supplementation of a yeast culture and monensin, or both, on ruminal fermentation and performance of multiparous dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 122(3/4):219-239.
- Everett, R. W. 1990. Dealing with milkfat genetically. *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf. Cornell University, Ithaca, NY.*
- Fellner, V., F. D. Sauer, and J. K. G. Kramer. 1997. Effect of nigericin, monensin, and tetronasin on biohydrogenation in continuous flow-through ruminal fermenters. *Journal of Dairy Science* 80(5):921-928.
- Gaynor, P. J., D. R. Waldo, A. V. Capuco, R. A. Erdman, L. W. Douglass, and B. B. Teter. 1995. Milk fat depression, the glucogenic theory, and Trans-C18:1 fatty acids. *Journal of Dairy Science* 78(9):2008-2015.
- Gordon, F. J. 1984. The effect of level of concentrate supplementation given with grass silage during the winter on the total lactation performance of autumn-calving dairy cows. *Journal of Agricultural Science, UK* 102(1):163-179.
- Grant, R. J., V. F. Colenbrander, and D. R. Mertens. 1990. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. *Journal of Dairy Science* 73(7):1834-1842.
- Granzin, B. C. and G. M. Dryden. 2005. Monensin supplementation of lactating cows fed tropical grasses and cane molasses or grain. *Animal Feed Science and Technology* 120(1/2):1-16.
- Griinari, J. M., D. A. Dwyer, M. A. McGuire, D. E. Bauman, D. L. Palmquist, and K. V. V. Nurmela. 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81(5):1251-1261.
- Grummer, R. R. 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science* 74(9):3244-3257.

- Guide à l'intention des conseillers en production laitière. 2004. Prémélange Rumensin d'Elanco chez les bovins laitiers en lactation Elanco Santé Animale:1-8.
- Hargrove, G. L., D. A. Mbah, and J. L. Rosenberger. 1981. Genetic and environmental influences on milk and milk component production. *Journal of Dairy Science* 64(7):1593-1597.
- Hayes, D. P., D. U. Pfeiffer, and N. B. Williamson. 1996. Effect of intraruminal monensin capsules on reproductive performance and milk production of dairy cows fed pasture. *Journal of Dairy Science* 79(6):1000-1008.
- Heinrichs, A. J., D. R. Buckmaster, and B. P. Lammers. 1999. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *Journal of Animal Science* 77(1):180-186.
- Heinrichs, A. J., T. E. Noyes, and D. L. Palmquist. 1981. Added dietary fat for milk and fat production in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science* 64(2):353-357.
- Hendrick, S. H., D. F. Kelton, K. E. Leslie, K. D. Lissemore, M. Archambault, R. Bagg, P. Dick, and T. F. Duffield. 2006. Efficacy of monensin sodium for the reduction of fecal shedding of *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in infected dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine* 75(3/4):206-220.
- Heuer, C., Y. H. Schukken, L. J. Jonker, J. I. D. Wilkinson, and J. P. T. M. Noordhuizen. 2001. Effect of monensin on blood ketone bodies, incidence and recurrence of disease and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84(5):1085-1097.
- Huhtanen, P., H. Miettinen, and M. Ylinen. 1993. Effect of increasing ruminal butyrate on milk yield and blood constituents in dairy cows fed a grass silage-based diet. *Journal of Dairy Science* 76(4):1114-1124.
- Hurtaud, C., H. Rulquin, and R. Verite. 1993. Effect of infused volatile fatty acids and caseinate on milk composition and coagulation in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76(10):3011-3020.
- Hutjens, M. F. 1995. Diagnosing dairy feeding problems in the field. *Veterinary Clinical Nutrition* 2(3):108-112.
- Ipharraguerre, I. R. and J. H. Clark. 2003. Usefulness of ionophores for lactating dairy cows: a review. *Animal Feed Science and Technology* 106(1/4):39-57.
- Jenkins, T. C., V. Fellner, and R. K. McGuffey. 2003. Monensin by fat interactions on trans fatty acids in cultures of mixed ruminal microorganisms grown in continuous fermentors fed corn or barley. *Journal of Dairy Science* 86(1):324-330.
- Jenkins, T. C. and M. A. McGuire. 2005. Effects of nutrition on milk composition: a 25-year review of research reported in the *Journal of Dairy Science*. Pages 51-60 in *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference, Fort Wayne, Indiana, USA, 2-3 May, 2005*. M. L. Eastridge, ed. Ohio State University, Ohio.
- Jenkins, T. C. and M. A. McGuire. 2006. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* 89(4):1302-1310.

- Jonker, L. J., J. I. D. Wilkinson, and M. Tarrant. 1998. Alleviated nutrient imbalance by monensin premix (RomensinReg., RumensinReg.); reduced risk of ketonaemia in dairy cows. *Bovine Practitioner* 32(1):31-33.
- Juchem, S. O., F. A. P. Santos, H. Imaizumi, A. V. Pires, and E. C. Barnabe. 2004. Production and blood parameters of Holstein cows treated prepartum with sodium monensin or propylene glycol. *Journal of Dairy Science* 87(3):680-689.
- Kennelly, J. J. 2001. Producing milk with 2.5% fat - the biology and health implications for dairy cows. *Bulletin of the International Dairy Federation* 366:37-48.
- Khorasani, G. R. and J. J. Kennelly. 2001. Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield, and milk composition in late-lactation Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 84(7):1707-1716.
- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, and D. R. Buckmaster. 2003. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science* 86(5):1858-1863.
- Lammers, B. P., D. R. Buckmaster, and A. J. Heinrichs. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 79(5):922-928.
- Lana, R. P. and J. B. Russell. 1996. Use of potassium depletion to assess adaptation of ruminal bacteria to ionophores. *Applied and Environmental Microbiology* 62(12):4499-4503.
- Lana, R. P. and J. B. Russell. 1997. Effect of forage quality and monensin on the ruminal fermentation of fistulated cows fed continuously at a constant intake. *Journal of Animal Science* 75(1):224-229.
- Lean, I. J., M. Curtis, R. Dyson, and B. Lowe. 1994. Effects of sodium monensin on reproductive performance of dairy cattle. I. Effects on conception rates, calving-to-conception intervals, calving-to-heat and milk production in dairy cows. *Australian Veterinary Journal* 71(9):273-277.
- Lock, A. L., B. M. Teles, J. W. Perfield, II, D. E. Bauman, and L. A. Sinclair. 2006. A conjugated linoleic acid supplement containing trans-10, cis-12 reduces milk fat synthesis in lactating sheep. *Journal of Dairy Science* 89(5):1525-1532.
- Loor, J. J., A. Ferlay, A. Ollier, M. Doreau, and Y. Chilliard. 2005. Relationship among Trans and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. *Journal of Dairy Science* 88(2):726-740.
- Lunn, D. E., T. Mutsvangwa, N. E. Odongo, T. F. Duffield, R. Bagg, P. Dick, G. Vessie, and B. W. McBride. 2005. Effect of monensin on meal frequency during sub-acute ruminal acidosis in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 85(2):247-249.
- Lynch, G. A., M. E. Hunt, and S. N. McCutcheon. 1990. A note on the effect of monensin sodium administered by intraruminal controlled-release devices on productivity of dairy cows at pasture. *Animal Production* 51(2):418-421.

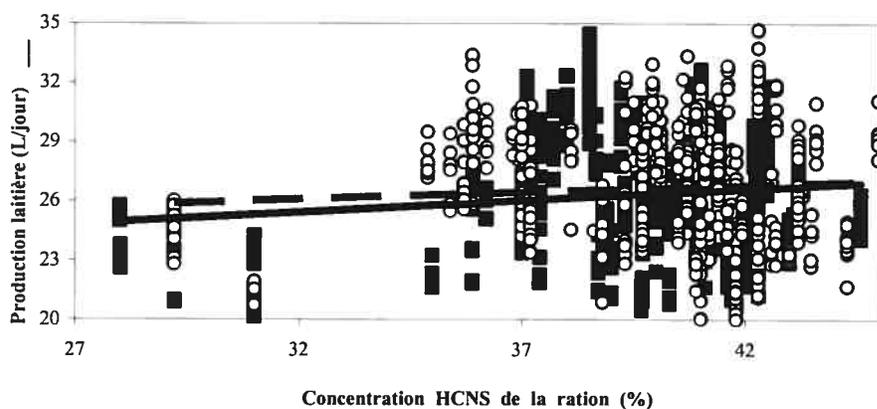
- Macciotta, N. P. P., D. Vicario, and A. Cappio-Borlino. 2006. Use of multivariate analysis to extract latent variables related to level of production and lactation persistency in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89(8):3188-3194.
- Mackintosh, E. D., R. H. Phipps, J. D. Sutton, D. J. Humphries, and J. I. D. Wilkinson. 2002. Effect of monensin on rumen fermentation and digestion and milk production in lactating dairy cows. *Journal of Animal and Feed Sciences* 11(3):399-410.
- Melendez, P., J. P. Goff, C. A. Risco, L. F. Archbald, R. C. Littell, and G. A. Donovan. 2006. Effect of administration of a controlled-release monensin capsule on incidence of calving-related disorders, fertility, and milk yield in dairy cows. *American Journal of Veterinary Research* 67(3):537-543.
- Misciatteilli, L., V. F. Kristensen, M. Vestergaard, M. R. Welsbjerg, K. Sejrsen, and T. Hvelplund. 2003. Milk production, nutrient utilization, and endocrine responses to increased postruminal lysine and methionine supply in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(1):275-286.
- Mutsvangwa, T., J. K. G. Kramer, C. B. Blackadar, T. F. Duffield, R. Bagg, P. Dick, G. Vessie, and B. W. McBride. 2003. Effects of a monensin premix on milk fatty acid content during subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(12):4043-4046.
- Mutsvangwa, T., J. P. Walton, J. C. Plaizier, T. F. Duffield, R. Bagg, P. Dick, G. Vessie, and B. W. McBride. 2002. Effects of a monensin controlled-release capsule or premix on attenuation of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85(12):3454-3461.
- Onetti, S. G. and R. R. Grummer. 2004. Response of lactating cows to three supplemental fat sources as affected by forage in the diet and stage of lactation: a meta-analysis of literature. *Animal Feed Science and Technology* 115(1/2):65-82.
- Osborne, J. K., T. Mutsvangwa, O. Alzahal, T. F. Duffield, R. Bagg, P. Dick, G. Vessie, and B. W. McBride. 2004. Effects of monensin on ruminal forage degradability and total tract diet digestibility in lactating dairy cows during grain-induced subacute ruminal acidosis. *Journal of Dairy Science* 87(6):1840-1847.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, and D. R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: a review. *Journal of Animal Science* 76(1):275-286.
- Palmquist, D. L., A. D. Beaulieu, and D. M. Barbano. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76(6):1753-1771.
- Perfield, J. W., II, P. Delmonte, A. L. Lock, M. P. Yurawecz, and D. E. Bauman. 2006. Trans-10, trans-12 conjugated linoleic acid does not affect milk fat yield but reduces Delta 9-desaturase index in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89(7):2559-2566.
- Peterson, D. G., E. A. Matitashvili, and D. E. Bauman. 2003. Diet-induced milk fat depression in dairy cows results in increased trans-10, cis-12 CLA in milk fat and coordinate suppression of mRNA abundance for mammary enzymes involved in milk fat synthesis. *Journal of Nutrition* 133(10):3098-3102.

- Petit, H. V., C. Germiquet, and D. Lebel. 2004. Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition, and prostaglandin secretion in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(11):3889-3898.
- Phipps, R. H., J. I. D. Wilkinson, L. J. Jonker, M. Tarrant, A. K. Jones, and A. Hodge. 2000. Effect of monensin on milk production of Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83(12):2789-2794.
- Poos, M. I., T. L. Hanson, and T. J. Klopfenstein. 1979. Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. *Journal of Animal Science* 48(6):1516-1524.
- Pottier, J., M. Focant, C. Debier, G. d. Buysser, C. Goffe, E. Mignolet, E. Froidmont, and Y. Larondelle. 2006. Effect of dietary vitamin E on rumen biohydrogenation pathways and milk fat depression in dairy cows fed high-fat diets. *Journal of Dairy Science* 89(2):685-692.
- Ramanzin, M., L. Bailoni, S. Schiavon, and G. Bittante. 1997. Effect of monensin on milk production and efficiency of dairy cows fed two diets differing in forage to concentrate ratios. *Journal of Dairy Science* 80(6):1136-1142.
- Richardson, L. F., A. P. Raun, E. L. Potter, C. O. Cooley, and R. P. Rathmacher. 1976. Effect of monensin on rumen fermentation in vitro and in vivo. *Journal of Animal Science* 43(3):657-664.
- Ruiz, R., G. L. Albrecht, L. O. Tedeschi, G. Jarvis, J. B. Russell, and D. G. Fox. 2001. Effect of monensin on the performance and nitrogen utilization of lactating dairy cows consuming fresh forage. *Journal of Dairy Science* 84(7):1717-1727.
- Russell, J. B. and H. J. Strobel. 1989. Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology* 55(1):1-6.
- Sauer, F. D., V. Fellner, R. Kinsman, J. K. G. Kramer, H. A. Jackson, A. J. Lee, and S. Chen. 1998. Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensin or unsaturated fat added to the diet. *Journal of Animal Science* 76(3):906-914.
- Sauer, F. D., J. K. G. Kramer, and W. J. Cantwell. 1989. Antiketogenic effects of monensin in early lactation. *Journal of Dairy Science* 72(2):436-442.
- Shaver, R. D. and M. A. Bal. 2000. Effect of dietary thiamin supplementation on milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83(10):2335-2340.
- Soita, H. W., M. Fehr, D. A. Christensen, and T. Mutsvangwa. 2005. Effects of corn silage particle length and forage:concentrate ratio on milk fatty acid composition in dairy cows fed supplemental flaxseed. *Journal of Dairy Science* 88(8):2813-2819.
- Sutton, J. D. 1989. Altering milk composition by feeding. *Journal of Dairy Science* 72(10):2801-2814.
- Sutton, J. D., W. H. Broster, D. J. Napper, and J. W. Siviter. 1985. Feeding frequency for lactating cows: effects on digestion, milk production and energy utilization. *British Journal of Nutrition* 53(1):117-130.

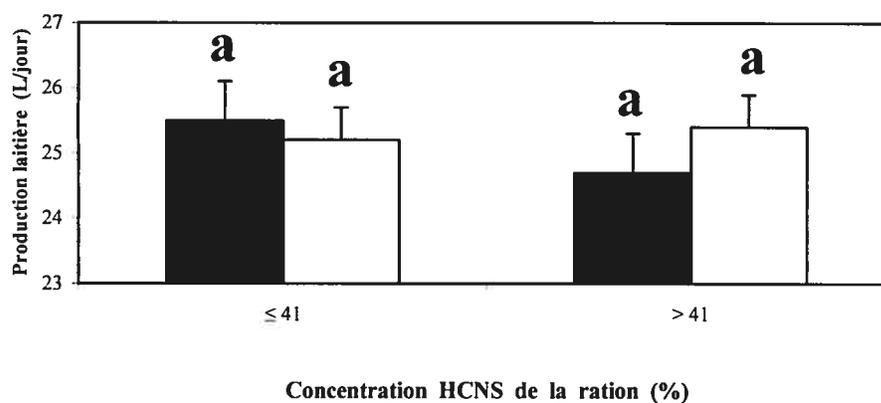
- Sutton, J. D. and S. V. Morant. 1989. A review of the potential of nutrition to modify milk fat and protein. *Livestock Production Science* 23(3-4):219-237.
- Tallam, S. K., T. F. Duffield, K. E. Leslie, R. Bagg, P. Dick, G. Vessie, and J. S. Walton. 2003. Ovarian follicular activity in lactating Holstein cows supplemented with monensin. *Journal of Dairy Science* 86(11):3498-3507.
- Thomas, E. E., H. B. Green, D. G. McClary, J. I. D. Wilkinson, R. K. McGuffey, A. A. Aguilar, G. D. Mechor, and Z. Cui. 2004. Effect of Rumensin (monensin sodium) on performance parameters of lactating dairy cows. TechTalk Elanco Animal Health.
- Veerkamp, R. F., G. Simm, and J. D. Oldham. 1994. Effects of interaction between genotype and feeding system on milk production, feed intake, efficiency and body tissue mobilization in dairy cows. *Livestock Production Science* 39(3):229-241.
- Werf, J. H. J. v. d., L. J. Jonker, and J. K. Oldenbroek. 1998. Effect of monensin on milk production by Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science* 81(2):427-433.
- Yang, C. M. J. and J. B. Russell. 1993. The effect of monensin supplementation on ruminal ammonia accumulation in vivo and the numbers of amino acid-fermenting bacteria. *Journal of Animal Science* 71(12):3470-3476.
- Yang, W. Z. and K. A. Beauchemin. 2006. Physically effective fiber: method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89(7):2618-2633.
- Zahra, L. C., T. F. Duffield, K. E. Leslie, T. R. Overton, D. Putnam, and S. J. LeBlanc. 2006. Effects of rumen-protected choline and monensin on milk production and metabolism of periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89(12):4808-4818.
- Zahra, L. C., S. J. LeBlanc, K. E. Leslie, T. F. Duffield, T. Overton, and D. Putnam. 2004. An evaluation of rumen-protected choline and monensin controlled-release capsule on milk production, health and metabolic function of periparturient dairy cows. Pages 183, 244-245 in *Proceedings of the Thirty-Seventh Annual Conference, American Association of Bovine Practitioners, Forth Worth, Texas, City, USA, 23-25 September, 2004*. R. A. Smith, ed. American Association of Bovine Practitioners, Stillwater.

## ANNEXES

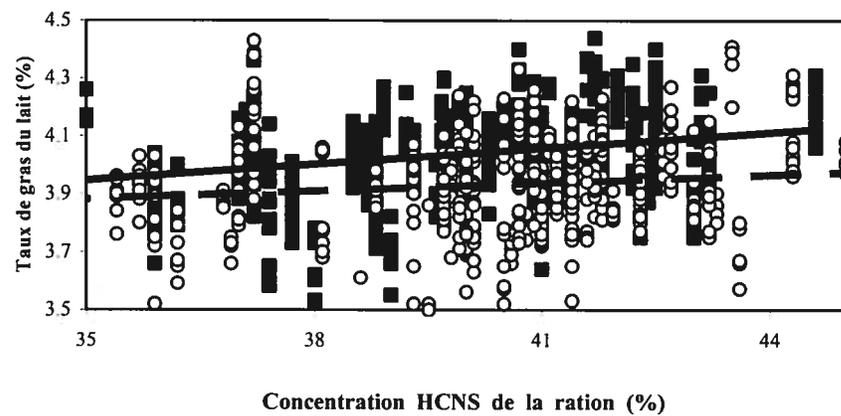
**Annexe 1.** Interaction entre les hydrates de carbone non structuraux de la ration et le traitement au monensin (HCNS\*TX) sur la production laitière quotidienne par vache de 49 troupeaux ( $P < 0.01$ ). Les carrés noirs et la ligne de régression pleine sont associés aux troupeaux non traités au monensin. Les cercles blancs et la ligne de régression pointillée sont associés aux troupeaux traités au monensin (16 ppm). Chaque point représente une mesure répétée de HCNS qui a été récoltée à quatre reprises par troupeau durant le projet de recherche.



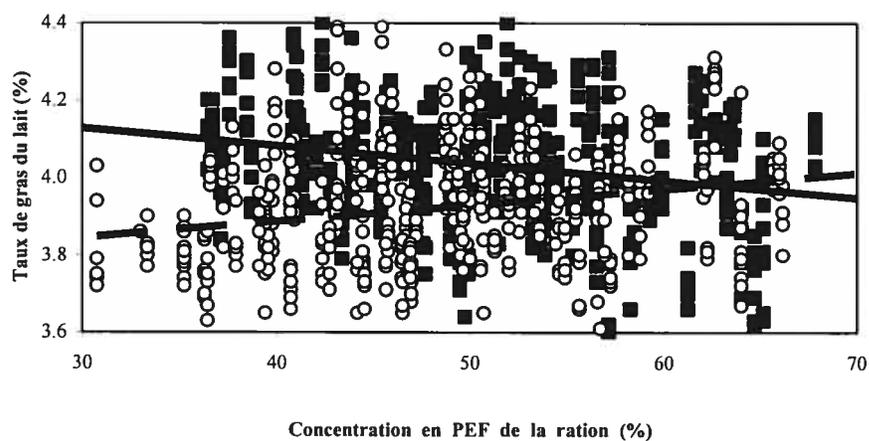
**Annexe 2.** Moyennes des moindres carrés de la production laitière quotidienne par vache selon l'effet du traitement au monensin et stratifié par la concentration de la ration en hydrates de carbone non structuraux (HCNS) dans 49 troupeaux. Aucune différence significative n'a été notée. Les histogrammes noirs sont associés aux troupeaux non traités au monensin. Les histogrammes blancs sont associés aux troupeaux traités au monensin (16 ppm).



**Annexe 3.** Interaction entre les hydrates de carbone non structuraux de la ration et le traitement au monensin (HCNS\*TX) sur le pourcentage de gras du lait hebdomadaire de 49 troupeaux ( $P=0.01$ ). Les carrés noirs et la ligne de régression pleine sont associés aux troupeaux non traités au monensin. Les cercles blancs et la ligne de régression pointillée sont associés aux troupeaux traités au monensin (16 ppm). Chaque point représente une mesure répétée de HCNS qui a été récoltée à quatre reprises par troupeau durant le projet de recherche.



**Annexe 4.** Interaction entre la fibre physiquement efficace de la ration et le traitement au monensin (PEF\*TX) sur le pourcentage de gras du lait hebdomadaire de 49 troupeaux ( $P < 0.01$ ). Les carrés noirs et la ligne de régression pleine sont associés aux troupeaux non traités au monensin. Les cercles blancs et la ligne de régression pointillée sont associés aux troupeaux traités au monensin (16 ppm). Chaque point représente une mesure répétée de PEF qui a été récoltée à quatre reprises par troupeau durant le projet de recherche



## Annexe 5. Écriture des modèles statistiques dans SAS.

### A) Statistiques descriptives et modèles préliminaires

```

dm 'log;clear;output;clear';
options ls=100;
PROC IMPORT OUT= WORK.RUMENSIN
    DATAFILE= "C:\Documents and Settings\Joce\Bureau\Données Rum
ensin\Banque données Rumensin5.xls"
    DBMS=EXCEL REPLACE;
    SHEET="Feuil1$";
    GETNAMES=YES;
    MIXED=NO;
    SCANTEXT=YES;
    USEDATE=YES;
    SCANTIME=YES;
RUN;
data rumensin;
set rumensin;
if sem = 14 or sem = 15 or sem = 16 or sem = 17 then delete;
if id = 14 and sem >= 21 then delete;
if id = 30 and sem >= 19 then delete;
if id = 34 and sem >= 25 then delete;
if periode ='A' then groupe ='1';
if periode ='B' then groupe ='2';
if sem < 17 then saison ='A';
if sem >17 then saison ='H';
clpdf=0;
lputile = log10(putile);
run;
/*
On regarde la distribution des variables continues.
*/;
proc univariate data = work.rumensin normal plot;
var pdf phcns putile prodlait;
run;
/*
Tout d'abord, il faut faire les stats descriptives en regardant chaque
classe et en voyant son effet sur la production et Gras. Ensuite, on fait la même
procédure en regardant si tx=0 et tx=1. Ne pas oublier de trier les variables catégorielles.
(stabulat foinsecm utilgras graintrav transrum lin ensilherbe ensilmais fevesoya utilsoda)
*/;
proc sort data = work.rumensin;
by saison ;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by saison; where tx = 0 ;
title 'saison tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by saison; where tx = 1;
title 'saison tx=1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by saison;
title 'saison';
run;

```

```
proc sort data = work.rumensin;
by groupe ;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by groupe; where tx = 0 ;
title 'groupe tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by groupe; where tx = 1;
title 'groupe tx=1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by groupe;
title 'groupe';
run;
proc sort data = work.rumensin;
by globale ;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by globale; where tx = 0 ;
title 'globale tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by globale; where tx = 1;
title 'globale tx=1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by globale;
title 'globale';
run;
proc sort data = work.rumensin;
by stabulat;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by stabulat; where tx = 0;
title 'stabulat tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by stabulat; where tx = 1;
title 'stabulat tx=1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by stabulat;
title 'stabulat';
run;
proc sort data = work.rumensin;
by foinsecm;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by foinsecm; where tx = 0;
title 'foinsecm tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
```

```

by foinsecm; where tx = 1;
title 'foinsecm tx=1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by foinsecm;
title 'foinsecm';
run;
proc sort data = work.rumensin;
by utilgras;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by utilgras; where tx = 0;
title 'utilgras tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by utilgras; where tx = 1;
title 'utilgras tx=1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by utilgras;
title 'utilgras';
run;
proc sort data = work.rumensin;
by graintrav;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by graintrav; where tx = 0;
title 'graintrav tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by graintrav; where tx = 1;
title 'graintrav tx = 1' ;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by graintrav;
title 'graintrav ' ;
run;
proc sort data = work.rumensin;
by transrum;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by transrum; where tx = 0;
title 'transrum tx=0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by transrum; where tx = 1;
title 'transrum tx =1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by transrum;
title 'transrum';
run;
proc sort data = work.prod;
by lin;

```

```

run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by lin; where tx = 0;
title 'lin tx=0';
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by lin; where tx = 1;
title 'lin tx=1';
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by lin;
title 'lin';
run;
proc sort data = work.prod;
by ensilherbe;
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by ensilherbe; where tx = 0;
title 'ensilherbe tx=0';
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by ensilherbe; where tx = 1;
title 'ensilherbe tx=1';
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by ensilherbe;
title 'ensilherbe';
run;
proc sort data = work.prod;
by ensilmais;
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by ensilmais; where tx = 0;
title 'ensilmais tx=0';
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by ensilmais; where tx = 1;
title 'ensilmais tx=1';
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by ensilmais;
title 'ensilmais';
run;
proc sort data = work.prod;
by fevesoya;
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by fevesoya; where tx = 0;
title 'fevesoya tx=0';
run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmojour gras ;
by fevesoya; where tx = 1;
title 'fevesoya tx=1';

```

```

run;
proc means data = work.prod mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by fevesoya;
title 'fevesoya';
run;
proc sort data = work.rumensin;
by utilsoda;
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by utilsoda; where tx = 0;
title 'utilsoda tx = 0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by utilsoda; where tx = 1;
title 'utilsoda tx = 1';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var prodmoyjour gras ;
by utilsoda;
title 'utilsoda';
run;
/*
On regarde les données descriptives des variables continues (toutes, sans et avec tx).
*/;
proc means data = work.rumensin mean median n std min max;
var amidon pndf phcns putile prodlait nbrepasconc nb lact jel gras prodmoyjour plipides ;
title 'variables continues';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var amidon pndf phcns putile prodlait nbrepasconc nb lact jel gras prodmoyjour plipides ; where tx =
0;
title 'variables continues tx = 0';
run;
proc means data = work.rumensin mean n std min max;
var amidon pndf phcns putile prodlait nbrepasconc nb lact jel gras prodmoyjour plipides ; where tx =
1;
title 'variables continues tx = 1';
run;
proc sort data = work.rumensin;
by utilgras;
run;
proc means data= work.rumensin mean n std min max;
var plipides;
by utilgras;
title 'plipides vs utilgras';
run;
proc means data= work.rumensin mean n std min max;
var plipides;
by utilgras; where tx =0;
title 'plipides vs utilgras0';
run;
proc means data= work.rumensin mean n std min max;
var plipides;
by utilgras; where tx =1;
title 'plipides vs utilgras0';
run;
proc means data= work.rumensin mean n std min max;
var plipides;
title 'plipides';
run;
proc sort data = work.rumensin;

```

```

by fevesoya;
run;
proc means data= work.rumensin mean n std min max;
var plipides;
by fevesoya;
title 'plipides vs fevesoya';
run;
proc means data= work.rumensin mean n std min max;
var plipides;
by fevesoya; where tx =0;
title 'plipides vs fevesoya0';
run;
proc means data= work.rumensin mean n std min max;
var plipides;
by fevesoya; where tx =1;
title 'plipides vs fevesoya1';
run;
/*
Modèle de base que l'on impose (les facteurs imposés). On travaille toujours
sur rumensin DF= 1000. variables = gras ou prodmoyjour
*/;
proc mixed data=work.rumensin;
class id tx groupe saison;
model gras=tx groupe saison lact jel/solution;
random id id*tx;
lsmeans tx groupe saison;
title 'prod simple de lait';
run;
proc mixed data=work.rumensin;
class id tx groupe saison;
model gras=tx groupe saison lact jel plipides plipides*tx /solution;
random id id*tx;
lsmeans tx groupe saison;
title 'gras plipides de lait';
run;
/*On teste les variables continues dans le modèles simples + une variable à la fois (DF=1000).

*ns: amidon p = 0.68;
proc mixed;
class id tx periode;
model gras=tx periode tx*periode lact jel Putile putile*tx/solution;
random id id(tx);
lsmeans tx periode tx*periode;
title 'GRAS de lait';
run;
*ns: PNDF p = 0.32, amidon p = 0.15;
proc mixed;
class id tx periode;
model prod=tx periode tx*periode lact jel PHCNS PHCNS*tx/solution;
random id id*tx;
lsmeans tx periode tx*periode;
title 'PROD de lait PHCNS';
run;

```

On doit trier les variables continues avant de les tester dans le modèle simple + une variable à la fois. On crée ensuite une nouvelle banque de données appeler prod avec les valeurs moyennes pour les deux demi-projet pour chaque troupeau. On utilisera cette table pour faire les analyses de catégorie par la suite. On teste chaque variable une par une.

```

*/;
proc sort data=work.rumensin;
by id tx groupe saison graintrav globale ensilherbe foinsecm utilisoda utilgras transrum lin ensilmais
fevesoya stabulat;
run;

```

```

proc means noprint;
  var lact jel prodmoyjour gras ;
  by id tx groupe saison ;
  output out=prod mean=lact jel prodmoyjour gras ;
run;
*ns: stabulat p = 0.15, globale p = 0.55, FoinSecM p = 0.15, UtilSoda p = 0.97, UtilGras p = 0.27
  TransRum p = 0.71, Lin p = 0.24, EnsilMais p = 0.68, FeveSoya p = 0.90, CondMoyJEL p = 0.20
  ProdLait p = 0.15, NbRepasConc p = 0.83, gras plipides p=0.89;

```

```

proc mixed data=work.prod;
  class id tx groupe saison;
  model gras = tx groupe saison lact jel /solution;
  random id;
  lsmeans tx groupe saison;
  title 'prod FACTEUR1 ';
run;

```

```

/*
*ns : stabulat p = 0.87, FoinSecM p = 0.27, UtilGras p = 0.23, GrainTrav p = 0.07, TransRum p =
0.48
  Lin p = 0.08, Ensilherbe p = 0.57, EnsilMais p = 0.37, FeveSoya p = 0.73, CondMoyJEL p = 0.28
  NbRepasConc p = 0.95;

```

On vérifie dans le classes.sas les classes des variables continues.  
Ensuite on passe au modèle complet complet.sas

## B) Modèles statistiques finaux

```

dm 'log;clear;output;clear';
options ls=100;
PROC IMPORT OUT= WORK.RUMENSIN
  DATAFILE= "C:\Documents and Settings\Joce\Bureau\Données Rum
ensin\Banque données Rumensin5.xls"
  DBMS=EXCEL REPLACE;
  SHEET="Feuil1$";
  GETNAMES=YES;
  MIXED=NO;
  SCANTEXT=YES;
  USEDATE=YES;
  SCANTIME=YES;
RUN;
data rumensin;
set rumensin;
if sem = 14 or sem = 15 or sem = 16 or sem = 17 then delete;
if id = 14 and sem >= 21 then delete;
if id = 30 and sem >= 19 then delete;
if id = 34 and sem >= 25 then delete;
if periode ='A' then groupe ='1';
if periode ='B' then groupe ='2';
if sem < 17 then saison ='A';
if sem > 17 then saison ='H';
clpdf=0;
if pdf>37 then clpdf=1;
if phcns =<40 then clphcns=0;
if phcns >40 then clphcns=1;
if putile =< 45 then clputile=0;
if putile > 45 then clputile=1;
if amidon <= 34.5 then clamidon=0;
if amidon > 33.5 then clamidon=1;
lputile = log10(putile);
if plipides <=3.5 then clplipides=0;
if plipides >3.5 then clplipides=1;
phcnscl=phcns - 39.74;
putilecl=putile - 50.28;
run;

```

```

/*
On travaille en classe avec toutes le variables qui étaient
significatives dans les modèles simples+variable ind.
*/;
proc mixed;
class id tx groupe saison;
  model gras=tx groupe saison lact jel/solution;
  random id id*tx;
  lsmeans tx groupe saison;
  title 'gras simple de lait';
run;
/*
Toutes les variables pour gras
*/;
proc sort data=work.rumensin;
  by id tx groupe saison ensilherbe graintrav foinsecm utilgras clphcns clputile;
run;

proc means noprint;
  var lact jel prodmoyjour gras plipides pdf ;
  by id tx groupe saison ensilherbe graintrav foinsecm utilgras clphcns clputile;
  output out=prod mean=lact jel prodmoyjour gras plipides pdf ensilherbe graintrav foinsecm
  utilgras clphcns clputile ;
run;
*ns: stabulat p = 0.15, globale p = 0.55, FoinSecM p = 0.15, UtilSoda p = 0.97, UtilGras p = 0.27
  TransRum p = 0.71, Lin p = 0.24, EnsilMais p = 0.68, FeveSoya p = 0.90, CondMoyJEL p = 0.20
  ProdLait p = 0.15, NbRepasConc p = 0.83;

proc mixed data = work.prod;
  class id tx groupe saison ensilherbe graintrav foinsecm utilgras clphcns clputile;
  model gras=tx groupe saison lact jel plipides clphcns*tx clputile*tx pdf ensilherbe ensilherbe*tx
  graintrav foinsecm*tx utilgras*tx/solution;
  random id;
  lsmeans tx groupe saison ensilherbe graintrav ;
  lsmeans foinsecm*tx utilgras*tx clputile*tx clphcns*tx ensilherbe*tx/adjust=tukey;
  title 'gras complet';
run;
proc sort data=work.rumensin;
  by id tx groupe saison lin utilsoda globale graintrav;
run;
proc means noprint;
  var lact jel prodmoyjour gras pdf putile prod lait ;
  by id tx groupe saison lin utilsoda globale graintrav ;
  output out=prod mean=lact jel prodmoyjour gras putile prod lait lin utilsoda graintrav globale;
run;
  proc means data=work.rumensin;
run;
data work.fusion;
merge work.prod work.rumensin; by id tx;
run;
proc mixed data = work.rumensin;
  class id tx groupe saison utilsoda ;
  model prodmoyjour=tx groupe saison lact jel phcncs phcncs*tx putile utilsoda /solution;
  random id id*tx*saison*groupe*utilsoda;
  lsmeans tx groupe saison utilsoda;
  title 'prod complet final';

run;
proc mixed data = work.rumensin;
  class id tx groupe saison graintrav foinsecm;
  model gras=tx groupe saison lact putilec putilec*tx jel phcncs phcncs*tx graintrav foinsecm
  foinsecm*tx/solution;
  random id id*tx*graintrav*foinsecm*groupe*saison;
  lsmeans tx groupe saison graintrav foinsecm foinsecm*tx;

```

```
lsmeans foinsecm*tx/adjust=tukey;  
title 'gras complet final';  
run;  
proc sort data = work.rumensin;  
by tx;  
run;
```

**Annexe 6.** Tableau du devis expérimental de cet essai clinique sur les effets du traitement au monensin sodique (16 ppm) chez 49 troupeaux laitiers Holstein. Le traitement au monensin est indiqué par le sigle TX.

	1 <sup>er</sup> novembre 2005 au 31 janvier 2006 Saison = hiver	Février 2006	1 <sup>er</sup> mars 2006 au 31 mai 2006 Saison = printemps
Groupe 1 25 troupeaux	TX 16 ppm	----	Non TX
Groupe 2 24 troupeaux	Non TX	----	TX 16 ppm

**Annexe 7.** Calendrier de la numérotation des semaines de ce projet.

Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim	SEM
31	1	2	3	4	5	6	1
7	8	9	10	11	12	13	2
14	15	16	17	18	19	20	3
21	22	23	24	25	26	27	4
28	29	30					5

Novembre 2005

	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim	SEM
			1	2	3	4	5
5	6	7	8	9	10	11	6
12	13	14	15	16	17	18	7
19	20	21	22	23	24	25	8
26	27	28	29	30	31	1	9

Décembre 2005

Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim	SEM
2	3	4	5	6	7	8	10
9	10	11	12	13	14	15	11
16	17	18	19	20	21	22	12
23	24	25	26	27	28	29	13
30	31						14

Janvier 2006

Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim	SEM
		1	2	3	4	5	14
6	7	8	9	10	11	12	15
13	14	15	16	17	18	19	16
20	21	22	23	24	25	26	17
27	28						18

Février 2006

Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim	SEM
		1	2	3	4	5	18
6	7	8	9	10	11	12	19
13	14	15	16	17	18	19	20
20	21	22	23	24	25	26	21
27	28	29	30	31			22

Mars 2006

Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim	SEM
					1	2	22
3	4	5	6	7	8	9	23
10	11	12	13	14	15	16	24
17	18	19	20	21	22	23	25
24	25	26	27	28	29	30	26

Avril 2006

Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim	SEM
1	2	3	4	5	6	7	27
8	9	10	11	12	13	14	28
15	16	17	18	19	20	21	29
22	23	24	25	26	27	28	30
29	30	31					31

Mai 2006

- Semaines du lundi au dimanche inclusivement.
- Si début  $\leq$  mercredi, prendre la semaine présente. Sinon, inscrire la semaine suivante.
- Si fin  $\leq$  mercredi, prendre la semaine présente Sinon, inscrire la semaine suivante.

**Annexe 8.** Questionnaire utilisé auprès des vétérinaires praticiens pour recruter les troupeaux potentiels pour ce projet de recherche.

Nom du troupeau	Numéro DSA	Type de stabulation	Type d'alimentation (RTM ou conventionnelle)	Nombre de vaches total dans le troupeau	Production laitière annuelle moyenne par vache

**Annexe 9.** Questionnaire utilisé auprès des producteurs laitiers pour récolter les informations de troupeaux au début du projet de recherche.

1- Identification de la ferme :

Nom de la ferme : \_\_\_\_\_

Adresse complète : \_\_\_\_\_

Nom du propriétaire : \_\_\_\_\_

Nom de la personne qui remplit le sondage : \_\_\_\_\_

Fonction de cette personne : \_\_\_\_\_

Préfixe du troupeau : \_\_\_\_\_

Numéro PATLQ (si connu) : \_\_\_\_\_

Numéro DSA (si connu) : \_\_\_\_\_

Téléphone : maison \_\_\_\_\_

Étable : \_\_\_\_\_

Courriel : \_\_\_\_\_

Télécopieur : \_\_\_\_\_

Vétérinaire responsable du suivi de troupeau \_\_\_\_\_

Clinique vétérinaire : \_\_\_\_\_

Nom (& compagnie) de votre meunerie: \_\_\_\_\_

Représentant de la meunerie avec qui vous faites affaire : \_\_\_\_\_

Téléphone de la meunerie : \_\_\_\_\_

2- Caractéristiques du troupeau :

Nombre total (tarées et en lactation) de vaches dans votre troupeau : \_\_\_\_

Nombre d'animaux de remplacement : \_\_\_\_\_

Race de vos vaches : \_\_\_\_\_

Production laitière moyenne annuelle par vache (estimé 305 jours) : \_\_\_\_

Quantité de quota détenu : \_\_\_\_\_ kg de M.G. par jour.

Type de stabulation de votre étable (encercler un seul) :

Vaches taries

Attachée                                      nombre de stalles : \_\_\_\_\_

Libre (salon de traite)                      nombre de stalles : \_\_\_\_\_

Vaches en lactation

Attachée                                      nombre de stalles : \_\_\_\_\_

Libre (salon de traite)                      nombre de stalles : \_\_\_\_\_

Libre (robot)                                    nombre de robots : \_\_\_\_\_

Écrire le ratio SNG/G apparaissant sur votre paie de lait pour les mois de 2005

janvier : \_\_\_\_\_ février : \_\_\_\_\_ mars : \_\_\_\_\_ avril : \_\_\_\_\_

mai : \_\_\_\_\_ juin : \_\_\_\_\_ juillet : \_\_\_\_\_ août : \_\_\_\_\_

septembre : \_\_\_\_\_

### 3- Caractéristiques de l'alimentation :

Encercler celui qui décrit le mieux votre façon de nourrir les vaches :

RTM totale ou RTM partielle ou Conventionnel à la main ou

Conventionnel (robot)

Décrire vos séquences alimentaires du matin au soir : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre de repas donnés par jour : \_\_\_\_\_

Nombre de groupes d'alimentation pour les vaches en lactation : \_\_\_\_\_

Critères des différents groupes

\_\_\_\_\_

Encercler la façon dont vos grains sont travaillés :

Rouleuse Moulange Meunerie

Utilisation de bicarbonates (soda) dans votre ration : Oui ou Non

Utilisation de gras dans votre ration : Oui ou Non

Dessiner un plan simple de votre étable en spécifiant les aires d'alimentation et abreuvement :

4- Caractéristiques des vaches autour du vêlage :

Utilisation des capsules de Rumensin CRC (encercler un seul) :

Oui (pour chaque vache avant le vêlage) ou Oui (parfois, selon le cas) ou Non

Si oui, les écrivez-vous toujours dans vos feuilles de suivi de troupeau :

Oui ou Non

Indiquer environ combien de capsules CRC Rumensin vous donnez par année : \_\_\_\_\_

Durée de la période de transition avant le vêlage (vaches) : \_\_\_\_\_ semaines.

Durée de la période de transition avant le vêlage (taures) : \_\_\_\_\_ semaines.

Est-ce que les vaches tarées en transition sont séparées des vaches en lactation : Oui ou Non

5- État corporel du troupeau (à remplir seulement lors de la visite de ferme) :

Évaluation moyenne de la condition corporelle des vaches au tarissement :

\_\_\_\_\_

Évaluation moyenne de la condition corporelle des vaches 30-120 jours en lait : \_\_\_\_\_

**Annexe 10.** Définition et description des variables utilisées lors des analyses statistiques de ce projet de recherche.

### **A) Variables diverses**

- ID = Identité du troupeau; 3 à 51 inclusivement.
- Sem = Numéro de la semaine du projet; 1 à 30 inclusivement.
- Per = Indicateur de la période de traitement; A signifie traitement semaines 2 à 13, B signifie traitement semaines 18 à 30.
- Tx = Traitement en cours; 0 signifie non, 1 signifie oui.
- Nb = Nombre de vaches en lactation (vêlées et non-taries) dans le troupeau; valeur numérique.

### **B) Variables dépendantes**

- Prod = Lait produit en litres durant 1 semaine pour tout le troupeau; valeur numérique.
- Prodmoysem = Production moyenne par vache de lait en litre durant 1 semaine; valeur numérique.
- Prodmoyjour = Production moyenne par vache de lait en litre par jour; valeur numérique.
- Gras = % hebdomadaire de gras du lait du réservoir; valeur numérique.
- Graskgsem = Quantité moyenne de gras du lait produit par vache par semaine; valeur numérique.
- Graskgjour = Quantité moyenne de gras du lait produit par vache par jour; valeur numérique.

### **C) Variables indépendantes**

- Lact = Lactation moyenne des vaches en lactation du troupeau; valeur numérique.
- JEL = Nombre de jours en lait moyen des vaches en lactation du troupeau; valeur numérique.
- %NDF = % NDF de la ration papier du groupe 1; valeur numérique.
- %PB = % protéine brute de la ration papier du groupe 1; valeur numérique.

- %HCNS = % HCNS de la ration papier du groupe 1; valeur numérique.
- %Energie = Concentration d'énergie de la ration papier du groupe 1 (MCal/kg); valeur numérique.
- Concentré = % concentrés de la ration papier du groupe 1; valeur numérique.
- Typestablact = Type de stabulation des vaches en lactation (questionnaire); attachée ou libre.
- Façonnourrir = Façon de nourrir les vaches (questionnaire); RTM totale ou RTM partielle ou Conventionnel (robot) ou Conventionnel à la main.
- Façonglob = Façon de nourrir les vaches en 2 catégories générales (questionnaire); RTM ou Conventionnel.
- Foinsecmatin = Reçoit foin sec le matin (1<sup>er</sup> repas, questionnaire); oui ou non.
- Utilisoda = Reçoit soda dans alimentation du groupe 1 (questionnaire); oui ou non.
- Utilgras = Reçoit gras dans l'alimentation du groupe 1 (questionnaire); oui ou non.
- CondmoyJEL = Condition corporelle moyenne des vaches en lactation (questionnaire); valeur numérique.
- CondectyJEL = Écart-type de la condition corporelle moyenne des vaches en lactation (questionnaire); valeur numérique.
- Graintrav = Façon dont les grains sont travaillés (questionnaire); rouleuse ou moulange ou meunerie.
- Nbrepasconc = Nombre de repas de concentrés par jour (questionnaire); valeur numérique.
- Transrum = Ajout de prémélange rumensin chez les vaches en transition durant le traitement (questionnaire); oui ou non.
- Prodlaitmoy = Production laitière annuelle moyenne par vache estimée par le producteur avant début étude en kg (questionnaire); valeur numérique.
- Putile = Valeur cumulative numérique des plateaux A et B (séparateur de particules PennState, testé lors de visites de ferme) pour la nourriture globale offerte aux vaches; si troupeau RTM alors valeur mesurée, si troupeau conventionnel alors valeur calculée.
- Lin = Présence de graine ou tourteau de lin dans l'alimentation du groupe 1 (ration papier); oui ou non.

- Ensilherbe = Présence d'ensilage d'herbe (d'ensilage de foin, de soya, foin de balles rondes ou carrées) dans la ration du groupe 1 (ration papier); oui ou non.
- Ensilmais = Présence d'ensilage de maïs dans la ration du groupe 1 (ration papier); oui ou non.
- Fevesoya = Présence de fève soya dans la ration du groupe 1 (ration papier); oui ou non.
- Tourtsoya = Présence de tourteau de soya dans la ration du groupe 1 (ration papier); oui ou non.
- Orge = Présence d'orge dans la ration du groupe 1 (ration papier); oui ou non.
- Ecaillesoya = Présence d'écailles de soya dans la ration du groupe 1 (ration papier); oui ou non.

## ACCORD ET PERMISSION DES COAUTEURS D'UN ARTICLE

### IDENTIFICATION DE L'ETUDIANT

<b>Nom de l'étudiant</b> Jocelyn Dubuc		<b>Code permanent</b> [REDACTED]
<b>Sigle du programme</b> M.Sc.	<b>Titre du programme</b> Sciences vétérinaires	<b>Option</b> Sciences cliniques

### DESCRIPTION DE L'ARTICLE

<b>Auteurs</b> Jocelyn Dubuc, Denis DuTremblay, Marcel Brodeur, Randy Bagg, Paul Dick, Jean Baril et Luc DesCôteaux.	
<b>Titre</b> Dietary Interactions and Effects of Monensin Premix on Milk Production and Fat Percentage in Dairy Herds.	
<b>Revue</b> Journal of Dairy Science	<b>Date de publication</b> À soumettre (mai 2007)

### DECLARATION DES COAUTEURS

<b>Déclaration</b> <i>À titre de coauteur de l'article identifié ci-dessus, j'autorise le microfilmage du mémoire et je suis d'accord que Jocelyn Dubuc inclut cet article dans son mémoire de maîtrise qui a pour titre : L'utilisation du prémélange Rumensin® chez les vaches laitières : les facteurs influençant son effet sur la production laitière et les composants du lait.</i>		
<b>Coauteur</b> Denis DuTremblay	<b>Sign</b> [REDACTED]	<b>Date</b> 2/3/07
<b>Coauteur</b> Marcel Brodeur	<b>Sign</b> [REDACTED]	<b>Date</b> 13/3/07
<b>Coauteur</b> Randy Bagg	<b>Sign</b> [REDACTED]	<b>Date</b> 14/03/07
<b>Coauteur</b> Paul Dick	<b>Sign</b> [REDACTED]	<b>Date</b> 14/03/07
<b>Coauteur</b> Jean Baril	<b>Sign</b> [REDACTED]	<b>Date</b> 19/03/07
<b>Coauteur</b> Luc DesCôteaux	<b>Sign</b> [REDACTED]	<b>Date</b> 12/3/07

