

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES :	5
LISTE DES TABLEAUX :	6
LISTE DES ANNEXES :	7
LISTE DES ABBREVIATIONS UTILISÉES :	8
INTRODUCTION	11
PREMIÈRE PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	13
1.1 LE ROBOT DE TRAITE EN FRANCE	13
1.1.1 LE MARCHÉ DU ROBOT DE TRAITE EN FRANCE	13
1.1.2 LES MARQUES PRÉSENTES EN FRANCE	14
1.1.2.1 Lely	14
1.1.2.2 DeLaval	15
1.1.4 LE SYSTÈME DE TRAITE ROBOTISÉE	15
1.1.4.1 Qu'est-ce qu'un robot de traite	15
1.1.4.2 Conséquences de l'utilisation d'un robot de traite pour l'éleveur	19
1.1.4.2.1 Avantages	19
1.1.4.2.2 Inconvénients	20
1.1.4.3 Conséquences de l'utilisation d'un robot de traite pour le troupeau	21
1.2 SYSTÈME DE SUIVI DES MAMMITES PAR LE ROBOT DE TRAITE	23
1.2.1 IMPORTANCE DE LA DÉTECTION DES MAMMITES	23
1.2.1.1 Qu'est-ce qu'une mammité	23
1.2.1.1.1 Description des mammites	23
1.2.1.1.2 Importance des mammites et de leur détection	24
1.2.1.2 La détection des mammites en traite conventionnelle	25
1.2.2 LA DÉTECTION DES MAMMITES EN SYSTÈME DE TRAITE ROBOTISÉE	27
1.2.2.1 La conductivité électrique	27
1.2.2.1.1 Qu'est-ce que la conductivité électrique	27
1.2.2.1.2 L'utilisation de la conductivité électrique dans la détection des mammites	27
1.2.2.1.3 Les systèmes de mesure de la conductivité électrique	28
1.2.2.2 Le comptage des cellules somatiques	28
1.2.2.2.1 Définition	28
1.2.2.2.2 Les techniques de mesure disponibles	29
1.2.2.3 La colorimétrie	30

1.2.2.4 L'enzyme L-Lactate déshydrogénase	31
1.2.3 LA FIABILITE DE CES SYSTEMES	31
1.2.3.1 Limites des techniques disponibles.....	31
1.2.3.1.1 La conductivité électrique	31
1.2.3.1.2 Le comptage cellulaire	32
1.2.3.1.3 La colorimétrie	33
1.2.3.1.4 La L-Lactate déshydrogénase	34
1.2.3.2 Les résultats.....	34
1.2.3.2.1 La conductivité électrique	34
1.2.3.2.2 Le comptage cellulaire	35
1.2.3.2.3 La colorimétrie	36
1.2.3.2.4 La Lactate-déshydrogénase.....	36
1.2.3.3 Combinaison des différentes données récoltées	37
1.2.4 LES PERSPECTIVES FUTURES	39
1.2.4.1 La N-acétyl- β -D-glucosaminidase.....	39
1.2.4.2 Le lactose.....	40
1.2.4.3 Les protéines spécifiques des phases inflammatoires	40
1.2.4.4 Détection des grumeaux dans le lait par caméra digitale.....	41
1.2.5 BILAN DE LA DETECTION DES MAMMITES EN TRAITE ROBOTISEE	42
1.3 QUANTITE PRODUITE ET QUALITE DU LAIT EN TRAITE ROBOTISEE	43
1.3.1 VARIATION DE LA PRODUCTION LAITIERE	43
1.3.2 LES TRIGLYCERIDES ET LA LIPOLYSE	44
1.3.3 LES CELLULES SOMATIQUES.....	45
1.3.3.1 Évolution des concentrations de cellules somatiques dans le lait	45
1.3.3.2 Éléments d'explication de cette évolution négative	46
1.3.4 LES AUTRES COMPOSANTS DU LAIT	46
1.3.4.1 Les protéines.....	46
1.3.4.2 L'urée.....	47
1.4 LE CONTROLE LAITIER OFFICIEL ET LA TRAITE AUTOMATISEE.....	48
1.4.1 PRESENTATION DU CONTROLE LAITIER OFFICIEL	48
1.4.1.1 Les acteurs du Contrôle Laitier Officiel	48
1.4.1.2 Les missions du CLO.....	48
1.4.1.2.1 L'aspect collectif.....	48
1.4.1.2.2 L'aspect individuel.....	49
1.4.2 ADAPATION DU CLO AUX ELEVAGES A TRAITE ROBOTISEE	49

SECONDE PARTIE : ENQUÊTE PERSONNELLE	51
INTRODUCTION	51
2.1 MATERIELS ET METHODES.....	51
2.1.1 CHOIX DE L'ÉCHANTILLON	51
2.1.2 PRESENTATION DU QUESTIONNAIRE.....	52
2.1.3 DIFFUSION DU QUESTIONNAIRE	53
2.1.4 METHODE D'ANALYSE.....	54
2.2 RESULTATS	54
2.2.1 CARACTERISTIQUES DE L'ÉCHANTILLON	54
2.2.2 CARACTERISTIQUES DES TROUPEAUX DE L'ÉCHANTILLON.....	55
2.2.3 CARACTERISTIQUES DES ROBOTS DE TRAITE DE L'ÉCHANTILLON	58
2.2.4 LES ELEMENTS DE SANTE MAMMAIRE DU TROUPEAU.....	59
2.2.4 LE SUIVI TECHNIQUE DU TROUPEAU	62
2.2.5 LE SUIVI DE LA QUALITE DU LAIT PAR LE ROBOT	62
2.3 DISCUSSION.....	66
2.3.1 LIMITES DE L'ÉTUDE	66
2.3.2 LES MAMMITES EN ELEVAGE A TRAITE ROBOTISEE	68
2.3.2.1 <i>Situation sanitaire des élevages de l'échantillon</i>	<i>68</i>
2.3.2.2 <i>Détection des mammites.....</i>	<i>69</i>
2.3.3 L'ÉLEVEUR ET SES INTERLOCUTEURS.....	70
2.3.3.1 <i>Le Contrôle Laitier Officiel</i>	<i>70</i>
2.3.3.2 <i>Le vétérinaire.....</i>	<i>71</i>
CONCLUSION	75
BIBLIOGRAPHIE	77
ANNEXES	87

Liste des figures :

Figure 1 : Évolution du nombre de robots de traite dans le monde (d'après de Koning, 2012).....	13
Figure 2 : Répartition nationale du nombre d'élevages possédant au moins un robot de traite (données Institut de l'Élevage, 2012).....	14
Figure 3 : Répartition des troupeaux de l'échantillon par nombre de vaches laitières détenues.....	56
Figure 4 : Comparaison de la répartition des élevages par nombre de vaches laitières détenues – Échantillon/Pays de la Loire (données recensement agricole 2010)	56
Figure 5 : Comparaison des niveaux d'étable moyens selon la race des élevages de l'échantillon, de la Mayenne et des adhérents au CLO en France (données Institut de l'élevage, 2012).....	57
Figure 6 : Répartition des robots de traite de l'échantillon (25 élevages) en fonction de l'année de l'installation et de la marque.....	58
Figure 7 : Répartition des élevages en fonction du nombre de vaches laitières par stalle de traite et de la marque du robot.....	59
Figure 8 : Répartition des élevages en fonction de la moyenne des taux cellulaires de tank (sur trois mois) et de la marque.....	60
Figure 9 : Répartition des élevages en fonction du nombre de mammites traitées pour 100 vaches laitières présentes lors de la campagne 2012-2013.....	61
Figure 10 : Répartition des exploitations de l'échantillon en fonction du profil méthodologique appliqué concernant la détection des mammites.....	64
Figure 11 : Répartition des élevages laitiers et des élevages de l'échantillon (n=24) par canton en Mayenne (données Chambre agriculture de Mayenne 2012).....	67

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Classification du statut d'une vache vis-à-vis des mammites subcliniques selon le comptage cellulaire – échelle Contrôle Laitier Officiel (d'après Remy, 2010).....	24
Tableau 2 : Correspondance entre le comptage cellulaire et le barème du CMT (d'après Remy, 2010).....	26
Tableau 3 : Répartition des élevages de l'échantillon et des Pays de la Loire en fonction de la taille du cheptel (données Recensement agricole Agreste 2010).....	55
Tableau 4 : Niveaux d'étable moyen (en kg de lait par an), selon la race, des élevages de l'échantillon, de la Mayenne et des adhérents au CLO en France (données Institut de l'élevage, 2012)	57
Tableau 5 : Répartition des élevages en fonction de la marque du robot, la date d'installation du robot et des comptages cellulaires sur lait de tank.....	60
Tableau 6 : Répartition des élevages en fonction de la marque du robot, la date d'installation du robot et des comptages cellulaires sur lait de tank.....	61
Tableau 7 : Répartition des exploitations de l'échantillon en fonction du profil méthodologique appliqué concernant la détection des mammites.....	64

Liste des annexes :

Annexe 1 : Le type de mammites détecté en fonction de la méthode de détection.....	87
Annexe 2 : Explications des tableaux de détection des mammites pour les éleveurs utilisateurs de robot de traite Lely (Lely, 2013).....	88
Annexe 3 : Questionnaire envoyé aux éleveurs.....	93
Annexe 4 : Données brutes issues des 25 questionnaires de l'échantillon.....	97

Liste des abréviations utilisées :

ADN : Acide Désoxyribonucléique

AGL : Acides Gras Libres

CCST : Comptage de Cellules Somatiques du lait de Tank

CLO : Contrôle Laitier Officiel

CMT : Californian Mastitis Test

EARL : Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée

GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

ICAR : International Committee for Animal Recording

LDH : Lactate Déshydrogénase

MQC-C : Milk Quality Control and Cellular count

NAGase : N-acétyl- β -D-glucosaminidase

OCC : Online Cell Counter

TB : Taux Butyreux

TP : Taux Protéique

UPRA : Unité nationale de sélection et de Promotion de Race

VL : Vache Laitière

VMS : Voluntary Milking System

INTRODUCTION

Le robot de traite a fait son apparition il y a une quinzaine d'années en France et est en pleine expansion depuis. Il s'agit d'un équipement de traite qui automatise l'intégralité des tâches liées à la traite des vaches, du nettoyage des trayons à la pose des faisceaux trayeurs.

Cette automatisation s'accompagne de l'enregistrement de nombreuses données, telles que l'intervalle de traite, la consommation des aliments concentrés distribués lors de la traite, et des données renseignant sur la qualité du lait. L'éleveur a donc accès à de nombreuses données quotidiennes sur l'ensemble des vaches de son troupeau.

L'installation d'un robot de traite est également un enjeu de santé publique, puisque le lait issu de la traite automatique des vaches est un produit de consommation. La détection des infections intramammaires est désormais effectuée en partie par le robot de traite et non plus par l'éleveur qui réalisait cette tâche de détection lors de la traite en salle de traite conventionnelle.

Ce travail présente une étude bibliographique qui vise, après une présentation du robot de traite, à exposer les systèmes de détection des infections intramammaires utilisés sur le terrain et leur efficacité. Nous nous intéresserons également au rôle du Contrôle Laitier Officiel, pilier du suivi de la qualité du lait dans les élevages équipés de traite conventionnelle, qui aujourd'hui doit s'adapter à ces nouveaux équipements.

Une enquête personnelle a ensuite été réalisée auprès des éleveurs équipés de robots de traite en Mayenne permettant une description de ces élevages et soulevant la question de la détection des mammites dans ces élevages ainsi que leurs relations avec le Contrôle Laitier Officiel et leurs vétérinaires.

PREMIÈRE PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Le Robot de traite en France

1.1.1 Le marché du robot de traite en France

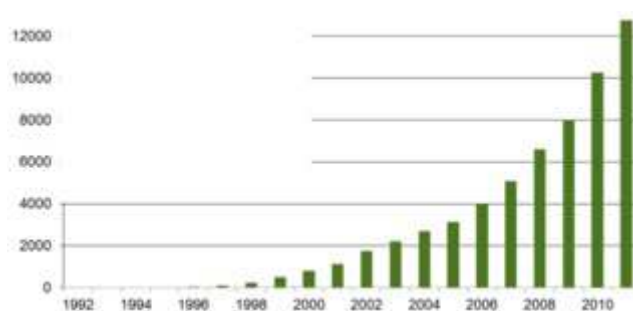
Le marché français des robots de traite s'est fortement développé au cours des dernières années, suivant la croissance exponentielle du marché mondial. Alors que l'on comptait environ 600 installations en 2007, la France compte désormais plus de 2 500 élevages équipés de robots de traite (données Institut de l'élevage et Allain, Juin 2012).

Comme le montre la figure 1, la progression s'est accélérée au cours des dernières années avec l'amélioration de la fiabilité des systèmes proposés, la diversification de l'offre et l'apparition de stalles sur le marché de l'occasion. Actuellement 40 à 50 % des nouvelles installations de traite en France sont des robots de traite (Portier, 2012)

Dans 75 % des cas, les installations concernent des troupeaux de taille moyenne (moins de 70 vaches en lactation) et ne comptent qu'une stalle. Les exploitations à deux stalles représentent 24 % des installations et celles à 3 stalles et plus seulement 1%. On compte donc environ 3 500 stalles en France.

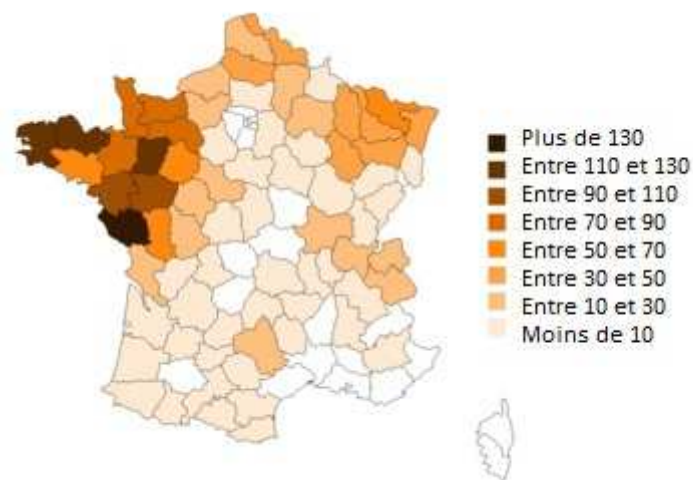
D'après De Koning (2012, cité par Institut de l'élevage et Allain, 2012), le nombre d'exploitations laitières équipées de robot de traite dans le monde est estimé à 12 700, la France représente donc 20 % du marché mondial.

Figure 1 : Évolution du nombre de robots de traite dans le monde (d'après de Koning, 2012, cité par Institut de l'élevage et Allain, 2012)



La répartition des installations sur le territoire français est assez générale dans les départements avec une production laitière notoire. On retrouve donc des installations dans tout le bassin laitier du Nord et Ouest ainsi que dans celui de l'Est de la France (voir figure 2).

Figure 2 : Répartition nationale du nombre d'élevages possédant au moins un robot de traite (données Institut de l'Élevage et Allain, 2012)



1.1.2 Les marques présentes en France

Nous avons vu que le marché français représentait une part importante de l'activité mondiale et est donc primordial pour les fabricants de robot de traite. Cependant seuls deux fabricants se partagent la quasi-intégralité de ce marché (près de 90 %), les fabricants Lely et DeLaval. On trouve plus rarement en France des stalles de quatre autres fabricants, GEA Farm Technologie, SAC Christensen, Boumatic et Fullwood Packo qui se partagent les 10 % restants du marché.

1.1.2.1 Lely

En 1992, Lely lance le premier robot de traite du marché, l'Astronaut.

Après 20 ans de commercialisation, en octobre 2012, Lely annonçait avoir vendu plus de 15 000 systèmes de traite robotisée, et se place en tant que leader du secteur en termes de vente. En 20 ans, quatre versions de son Astronaut sont sorties des chaînes de montage Lely, dont la version A3, sortie en 2005, toujours

commercialisée et très bien implantée en France. La dernière version, l'Astronaut A4, sorti très récemment, est encore peu présente dans nos exploitations françaises.

1.1.2.2 DeLaval

DeLaval est une entreprise suédoise créée en 1878 par Gustav de Laval, suite à une de ses multiples inventions dans le domaine de la production du lait. Longtemps pionnière, DeLaval a toutefois attendu 1998 pour lancer son premier robot de traite le VMS (*Voluntary Milking System*). Au cours de ces 15 dernières années, DeLaval a apporté de nombreuses améliorations à son robot, jusqu'à en sortir une nouvelle version, le VMS 2010 il y a trois ans. Cette version intègre toutes les nouvelles avancées et peut être couplée au logiciel pilote, Herd Navigator.

1.1.4 Le système de traite robotisée

Le développement des robots de traite a commencé dans les années 1980 avec les premières recherches sur un système d'accrochage automatique du manchon trayeur. En effet, après le développement de la machine à traire, des salles de traite et des systèmes de décrochage automatique de la griffe, la seule étape manquante à une automatisation complète du processus de traite était le branchement des manchons trayeurs (de Koning, 2002).

1.1.4.1 Qu'est-ce qu'un robot de traite

Le robot de traite est apparu dans les années 1990 aux Pays-Bas avant de se démocratiser en Europe de l'Ouest essentiellement.

Le robot de traite doit remplacer intégralement le trayeur lors de la traite de la vache, il doit donc effectuer toutes les étapes de la traite de façon autonome. L'installation, quel que soit le fabricant, se compose de six modules principaux :

- La stalle de traite :

Les robots de traite peuvent comporter une stalle de traite ou plusieurs (2 à 4), ce sont alors des systèmes dits à multi-stalles. Les systèmes mono-stalle sont composés d'une stalle avec une machine à traire intégrée ainsi qu'un système automatique de branchement des manchons trayeurs, alors que les systèmes multi-stalles comportent plusieurs stalles reliées par un bras robotisé mobile se déplaçant de stalle en stalle pour assurer le branchement correct des manchons trayeurs aux trayons de la vache présente sur la stalle. La majorité des stalles de traite sont désormais équipées d'un distributeur automatique de concentrés rendant le système plus attractif pour les vaches (Ketelaar-de Lauwere *et al.*, 1998).

- Le système de détection des trayons

La forme de la mamelle et la position des trayons sont différentes pour chaque vache et varient également en fonction de la quantité de lait, de l'intervalle entre deux traites successives, de la déformation de la mamelle suite à un couchage de plus ou moins longue durée ou encore selon le stade de lactation pour une même vache. Les vaches, une fois retenues au niveau de la stalle, peuvent encore bouger, la position de la mamelle et des trayons changeant également. C'est pourquoi, la mesure, le stockage et l'utilisation de données individuelles, telles que la position de la mamelle et des trayons ne suffisent pas pour le branchement correct et efficace des manchons trayeurs. Les systèmes automatisés nécessitent donc un système de détection actif afin de localiser précisément les trayons. Nous verrons qu'il en existe de plusieurs sortes selon les fabricants et les modèles de robot, tels que les ultrasons, le laser ou encore les caméras. Toutes ces techniques permettent de définir la position du trayon par rapport au bras robotisé, chargé du branchement des trayons. Les performances de ces systèmes sont conditionnées par un entretien régulier, car ils sont très exposés à l'humidité, la poussière et au fumier (de Koning, 2002).

- Le système de nettoyage/désinfection des trayons

Le but du nettoyage des trayons est de retirer les saletés et autres particules pouvant contaminer le lait lors de la traite. N'ayant pas de contrôle visuel juste avant le branchement du trayon, comme en traite conventionnelle via le trayeur, le système de nettoyage du robot doit partir du principe que le trayon est très sale et effectuer un nettoyage complet.

Ici encore, les systèmes diffèrent d'un fabricant à l'autre, certains proposant des brosses rotatives avec ou sans action conjuguée d'un jet d'eau ou d'air sous pression, et d'autres un système de manchons trayeur lavant.

Le système mécanique de nettoyage des trayons est parfois équipé d'un système de désinfection, permettant son nettoyage entre deux trayons et limitant ainsi les risques de transmission d'éléments pathogènes de trayon à trayon et de vache à vache. Ce nettoyage mécanique permet également une stimulation tactile de la mamelle et provoque ainsi l'éjection du lait alvéolaire par un arc réflexe via la sécrétion d'ocytocine (Dzidic *et al.*, 2004). Bruckmaier *et al.* (2001) ont ainsi montré que le nettoyage des trayons en système de traite robotisée permettait une sécrétion suffisante d'ocytocine avant la traite et ainsi une bonne descente du lait.

- Le bras robotisé

Le bras robotisé est l'élément mobile du système, effectuant les tâches de nettoyage des trayons et la pose et dépose des gobelets trayeurs. Il est conçu de façon à imiter le bras du trayeur en traite conventionnelle, allant chercher chaque gobelet trayeur un par un pour les brancher sur les trayons arrières puis sur les trayons avant.

Dans certains systèmes multi-stalles, le bras robotisé est commun pour les différentes stalles et nettoie et branche les gobelets trayeurs à partir d'un portoir spécifique à chaque stalle.

Le bras robotisé, souvent inspiré des systèmes de l'industrie, doit être capable de fonctionner dans un milieu hostile et résister à la poussière, au fumier, à l'humidité mais aussi aux coups de pieds des vaches.

- Le système de contrôle et les capteurs

Le robot de traite a besoin de capteurs permettant l'observation et le contrôle du processus de traite, de la même façon que le trayeur le fait en traite conventionnelle.

Ces capteurs sont les yeux du robot et doivent être capable de détecter toute anomalie au cours de la traite. Ces capteurs doivent contrôler le bon fonctionnement du robot, des tâches d'identification de la vache, de la distribution correcte des concentrés, de la pose des manchons trayeurs, du niveau de vide ainsi que du démarrage correct de la traite. Désormais la majorité des robots de traite sont également équipés de capteurs contrôlant la qualité du lait, mesurant ainsi la production laitière, la température du lait, et détectant les anomalies du lait. Ces derniers systèmes seront plus largement décrits dans la partie traitant de la détection des mammites.

Toutes les données issues de ces mesures sont stockées dans la base de données et ensuite analysées par le logiciel pilote du robot qui rend compte, sous forme de rapports et d'alertes, du processus de traite à l'éleveur lorsque ce dernier consulte son système informatique.

- Le système de traite

La machine à traire en elle-même est plus ou moins similaire à celle utilisée en traite conventionnelle, mise à part la griffe qui n'est pas présente, ainsi chaque quartier est traité indépendamment.

Le système de stockage du lait est en général spécifique au robot de traite car doit être adapté à une arrivée de lait par petites quantités, et doit permettre un

refroidissement optimal du lait, en veillant toutefois à ne pas congeler le lait lorsque le niveau de remplissage du tank est très faible.

- Le système de nettoyage des manchons trayeurs et des tubulures

Après chaque traite, les manchons trayeurs et leurs tubulures sont rincés à l'eau et dans la majorité des cas, un désinfectant est ajouté, afin de limiter la transmission de germes de vache à vache.

Plusieurs fois par jour, l'accès au robot est temporairement bloqué, et un cycle de lavage plus complet est effectué, intégrant toutes les canalisations.

1.1.4.2 Conséquences de l'utilisation d'un robot de traite pour l'éleveur

1.1.4.2.1 Avantages

La principale motivation des éleveurs lors de l'achat de leur robot est la fin de la routine de traite (Jensen, 2004). En effet en système de traite conventionnel, l'éleveur doit traire ses vaches à heures fixes matin et soir tous les jours, sans exception. Une tâche qui est souvent considérée comme répétitive et parfois contraignante.

Le robot est plus qu'une solution de remplacement du système de traite, il apporte à l'éleveur des informations complémentaires aussi bien à l'échelle du troupeau qu'à l'échelle de l'individu. L'éleveur aura ainsi à disposition des données sur la santé de la mamelle, sur la production laitière, sur la consommation des concentrés, données qui n'étaient pas disponibles avec les équipements précédents (Spahr et Maltz, 1997) Nous reviendrons ultérieurement sur les données nouvellement apportées à l'éleveur et leurs utilisations possibles.

Grâce au robot, l'éleveur peut penser la traite au niveau de l'individu et non plus à celui du troupeau (Svennersten-Sjaunja et Petterson, 2008). Il peut ainsi adapter le nombre de traites journalières pour chaque vache en fonction de sa production et surtout de son stade de lactation. L'éleveur a la possibilité de prévoir

jusqu'à 4 traites pour les vaches étant à leur pic de lactation contre une seule traite quotidienne pour celles étant en fin de lactation et ne produisant plus qu'une dizaine de litres quotidiennement. Cet ajustement permet ainsi de tirer meilleur profit du robot en évitant le blocage de la stalle par des vaches en fin de lactation et laissant ainsi plus de disponibilités pour les plus hautes productrices.

1.1.4.2.2 Inconvénients

Une fois le robot de traite mis en place, l'éleveur, qui était auparavant trayeur également, est remplacé par la machine pour de nombreuses tâches (Spahr et Maltz, 1997). En effet, lors de la traite conventionnelle, le trayeur avait accès à chacune de ses vaches deux fois par jour et pouvait entre autres évaluer la santé de la mamelle. Cette évaluation est désormais déléguée au robot. Nous aborderons ultérieurement les technologies utilisées et les résultats obtenus par ce nouveau moyen d'évaluation.

Toutes ces tâches effectuées par le robot et ces nombreux capteurs apportent à l'éleveur une grande quantité de nouvelles informations qui peuvent être alors mal interprétées ou utilisées de façon non optimale (Jacobs et Siegford, 2012a). L'informatique et l'électronique acquièrent une grande importance au sein de l'élevage et la moindre panne peut engendrer de lourdes pertes. C'est pourquoi il est essentiel que les éleveurs aient une formation solide sur le logiciel de base de données propre à leur installation, afin de trouver les informations dont ils ont besoin et les analyser correctement.

La fonctionnalité de ce système repose sur le fait que les vaches aillent volontairement au robot se faire traire, le nombre de fois par jour programmé par l'éleveur. Pour cela, lors de l'installation du robot de traite, ce dernier va devoir effectuer une période d'apprentissage de 3 à 4 semaines pour l'ensemble du troupeau, ce qui constitue une surcharge de travail très importante (Rodenburg, 2002). Par la suite, cette période d'apprentissage ne concernera que les génisses nouvellement intégrées au lot des vaches en lactation. L'efficacité de cet apprentissage conditionne la réussite de l'implantation du robot de traite au sein de l'élevage (Jacobs et Siegford, 2012b). Malgré cela, il reste un nombre de vaches, appelées vaches « récalcitrantes », que l'éleveur va devoir amener lui-même au

robot après avoir vu sur son ordinateur qu'elles ne s'étaient pas fait traire depuis un trop grand laps de temps. Ce laps de temps, avant le déclenchement de l'alerte est programmable par l'éleveur. Amener ces vaches représente une surcharge de travail conséquente dans certains élevages et devient un nouveau motif de réforme en élevage laitier à traite robotisée. À ces nouvelles réformes non prévues initialement, l'éleveur doit ajouter chaque année la réforme d'un certain nombre de génisses à cause d'une mauvaise anatomie de la mamelle ne permettant pas l'attachement correct des manchons trayeurs par le robot. Miller *et al.* (1995) ont démontré qu'une distance trop réduite entre les trayons arrière était le principal défaut amenant à la réforme de la vache. Ce taux de réforme peut atteindre 8 % des génisses nouvellement intégrées au troupeau (Woolford *et al.*, 2004).

1.1.4.3 Conséquences de l'utilisation d'un robot de traite pour le troupeau

L'installation d'un robot de traite ne se fait pas sans changements à l'échelle du troupeau. L'éleveur doit repenser l'organisation de sa stabulation afin d'accueillir le robot, de le placer idéalement et de créer un nouveau trafic afin d'optimiser la fréquentation du robot et donc son fonctionnement, ainsi que de favoriser un comportement normal des vaches lors des phases d'alimentation et de couchage (Armstrong et Daugherty, 1997). Il existe actuellement trois systèmes de circulation des vaches : la circulation libre, la circulation guidée et la circulation libre contrôlée.

Le premier système de circulation, la circulation libre, donne toute la liberté aux vaches qui peuvent circuler librement entre l'aire d'alimentation, l'aire de repos, et le robot de traite. Il n'y a donc aucune restriction dans ce système tant au niveau de l'accès à l'alimentation que celui de l'accès aux abreuvoirs.

Le deuxième système, la circulation guidée, impose à la vache un sens de déplacement, elle ne peut se déplacer de l'aire de repos à l'aire d'alimentation qu'en passant par le robot de traite. Ce système oblige à aménager une aire d'attente devant le robot avec une porte anti-retour et un circuit spécifique guidant les vaches. Il est donc plus onéreux à mettre en place que le système de circulation libre.

Le dernier système de circulation est la circulation libre contrôlée. Il s'agit d'une circulation mixte entre les deux précédentes. Il comporte des portes « intelligentes » qui après identification de la vache et envoi des données au logiciel de pilotage du robot, va s'ouvrir soit en direction du robot de traite si la vache n'y est pas allée depuis longtemps, soit vers l'aire d'alimentation si la vache a été traite récemment. Ce système est plus souple que le système de circulation guidée et permet d'optimiser l'utilisation du robot.

Ces trois systèmes ne sont donc pas conçus selon le même modèle. Le système de circulation guidée est axé sur la fréquentation du robot, alors qu'en circulation libre, la liberté de la vache est une priorité. C'est pourquoi dans ce dernier système, la fréquence de traite moyenne des vaches est inférieure à celle obtenue avec les deux autres types de circulation (Bach *et al.*, 2009 ; Ketelaar de Lauwere *et al.*, 1998). Par contre le système de circulation guidée nécessite plus de vigilance de la part de l'éleveur qui doit s'assurer que les vaches d'un rang hiérarchique inférieur ne doivent pas attendre trop longtemps dans l'aire d'attente ce qui pourrait être préjudiciable pour leur production. Bach *et al.* (2009) ont montré que, quel que soit le système utilisé, le taux de production ne variait pas, tout comme le niveau de consommation des vaches. En effet en système libre, les vaches vont plus souvent à l'auge mais font des repas plus réduits qu'en système guidé.

Avec l'arrivée du système de traite robotisée, les vaches acquièrent la liberté de rythmer leur journée entre l'alimentation, la traite et le repos. Mais cette liberté reste toute relative dès qu'il s'agit de système de circulation guidée ou libre contrôlée. Au lieu d'avoir une amélioration du bien-être animal, on note plutôt une augmentation du stress chronique (Hagen *et al.*, 2005), avec des taux de cortisol et des fréquences cardiaques plus élevées. Ce stress peut-être dû à l'augmentation de l'importance de la hiérarchie des vaches au sein du troupeau, à la privation de nourriture et/ou d'eau dans les systèmes de circulation guidée, mais aussi à l'isolement de la vache durant la traite (Rushen *et al.*, 1999).

1.2 Système de suivi des mammites par le robot de traite

1.2.1 Importance de la détection des mammites

1.2.1.1 Qu'est-ce qu'une mammite

1.2.1.1.1 Description des mammites

Une mammite est une inflammation de la glande mammaire causée par des micro-organismes pathogènes, généralement des bactéries (Brandt *et al.*, 2010). Normalement, la mamelle est protégée du milieu extérieur par le canal du trayon, fermé par un sphincter. Mais à l'approche de la traite, lorsque la quantité de lait accumulée dans la mamelle est maximale, le sphincter peut s'ouvrir, provoquant des pertes de lait, mais surtout une continuité entre le milieu extérieur et la glande mammaire (Sordillo et Streicher, 2002). Ce sphincter reste également ouvert dans les 2 heures suivant la traite (Capuco *et al.*, 1992). Une fois à l'intérieur du quartier, les bactéries peuvent produire des toxines, provoquant un afflux de leucocytes, de polynucléaires neutrophiles et une sécrétion de cytokines par les cellules épithéliales (Zhao et Lacasse, 2008 ; Paape *et al.*, 2003).

Pour l'éleveur, la mammite est une inflammation d'un quartier associé à un changement d'apparence du lait (Blowey et Edmondson, 2010). Ce type de mammite, visualisée par l'éleveur n'est qu'un type de mammite. En effet, les mammites sont classées en deux catégories, les mammites dites cliniques, pour lesquelles un changement d'aspect du lait est présent, et les mammites dites subcliniques. La classification de l'état de santé du quartier en terme de mammite subclinique se fait, selon un consensus défini dès les années 1970, grâce au comptage cellulaire dans le lait, avec comme première limite 500 000 cellules/mL (IDF, 1977) : une vache dont le lait contient plus de 500 000 cellules/mL était alors considérée comme atteinte de mammite. Par la suite, Hillerton (1999) propose de descendre ce seuil à 200 000 cellules/mL. Le seuil actuellement retenu, et faisant consensus en France, est 300 000 cellules, à partir duquel on considère le quartier comme douteux.

La classification utilisée actuellement par le Contrôle Laitier est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Classification du statut d'une vache vis-à-vis des mammites subcliniques selon le comptage cellulaire – échelle Contrôle Laitier Officiel (d'après Remy, 2010)

	Comptage cellulaire somatique individuel		
(en Cellules/mm ³)	< 300 000	Entre 300 000 et 500 000	> 800 000
Dénomination	Mamelle sain	Mamelle douteuse	Mamelle infectée

Le comptage cellulaire dénombre les cellules somatiques présentes dans le lait. En temps normal, un nombre significatif de cellules somatiques sont transférées dans le lait, elles proviennent du sang ou de l'urothélium (couche cellulaire superficielle de l'alvéole mammaire), qui se régénère en permanence. Dans un lait de composition normale, leur niveau est d'environ 60 à 70 % des cellules totales. Le reste est représenté par les leucocytes, qui ont une fonction de protection de la glande mammaire (Spreer et Mixa, 1998). Lors d'une infection de la mamelle, la présence d'agents pathogènes et leurs toxines provoquent un afflux massif de leucocytes et de polynucléaires neutrophiles, leur proportion passant de 30 % à 95 % des cellules du lait. L'augmentation des comptages cellulaires est le reflet de ce phénomène et donc de l'infection du quartier.

Le comptage cellulaire permet donc à l'éleveur de repérer les mammites subcliniques, qui contrairement aux mammites cliniques, ne s'accompagnent pas de symptômes, ni de changement d'apparence du lait. (Hamann, 2005).

L'importance de la détection de ces affections subcliniques est démontrée par une étude de Kelly (2002), dans laquelle il estime que 15 à 40 mammites subcliniques peuvent être trouvées pour un cas clinique observé.

1.2.1.1.2 Importance des mammites et de leur détection

Les mammites sont une des pathologies les plus fréquentes en élevage bovin laitier et une des plus coûteuses pour l'éleveur (Halasa *et al.*, 2007). Nous avons vu précédemment que les mammites sont subdivisées en deux catégories, les

mammites subcliniques et les mammites cliniques, toutes les deux à l'origine de pertes économiques.

Les mammites cliniques engendrent une baisse de la production laitière estimée à 375 kg de lait par mammité (Seegers *et al.*, 2003) et entraînent une charge de travail supplémentaire pour l'éleveur qui doit mettre en place des traitements en cours de lactation et écarter le lait du circuit commercial.

Les mammites subcliniques sont à l'origine d'une augmentation des concentrations cellulaires individuelles et donc à terme des concentrations cellulaires somatiques du troupeau (CCST), ainsi qu'à une diminution de la production laitière estimée à 1 % par palier de 100 000 cellules/mL, au-delà de 100 000 cellules par mL dans le lait de tank. Ces deux paramètres pénalisent financièrement l'éleveur et rendent la détection des mammites subcliniques impératives

Au-delà de l'aspect financier, ces infections intramammaires cliniques et subcliniques ont également un impact sanitaire, puisque la Directive Européenne sur l'hygiène 89/362/CEE et l'arrêté du 18 mars 1994 imposent à tous les producteurs, dont le lait est destiné à la consommation humaine, d'écarter tout lait dont la concentration en cellules somatiques est supérieure à 400 000 cellules par mL.

La détection des mammites, cliniques et subcliniques est également essentielle, afin de mettre en place rapidement un traitement adéquat et de limiter l'usage des antibiotiques (Kamphuis *et al.*, 2008a).

1.2.1.2 La détection des mammites en traite conventionnelle

Dans une salle de traite conventionnelle, le trayeur a tout d'abord accès à la mamelle et peut juger de l'aspect de la mamelle dans son ensemble, ou d'un quartier, et ainsi détecter tout signe d'inflammation tel que le gonflement, l'augmentation de la chaleur ressentie à sa surface, voire parfois d'une congestion du quartier atteint. Dans les cas les plus graves, on peut également noter une atteinte de l'état général de la vache avec fièvre, abattement, diminution voir disparition de l'appétit.

Une fois cette inspection visuelle réalisée, le trayeur va pouvoir observer les premiers jets qu'il tire soit sur le sol du quai de la salle de traite, soit dans un bol de traite à fond noir. Cette observation va permettre de déceler une modification de l'aspect du lait, avec présence plus ou moins discrète de grumeaux, et de la couleur du lait. Ces modifications sont essentiellement liées à des cas de mammites cliniques et peuvent passer inaperçues au début de l'infection.

Lorsque le trayeur a un doute sur l'état sanitaire d'un quartier, à partir des observations précédentes, il peut réaliser un test de détection d'une infection mammaire, le *California Mastitis Test* (CMT). Ce test est un test semi-quantitatif (0, +, ++, +++) qui permet d'avoir une approximation correcte du niveau des numérations cellulaires du lait pour chaque quartier, les correspondances entre le résultat du CMT et l'estimation du taux cellulaire du quartier est donnée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Correspondance entre le comptage cellulaire du quartier et le barème du CMT (d'après Remy, 2010)

Aspect	Note du CMT	Nombre cellulaire moyen par mL de lait
Aucun flocculat	-	<300 000
Flocculat léger persistant	+	300 000 à 1 000 000
Flocculat épais adhérent	++	1 000 000 à 5 000 000
Gel épais	+++	> 500 000

En général, le trayeur s'appuie également sur les documents fournis par le Contrôle Laitier, qui contiennent les comptages cellulaires somatiques du tank et individuels de ses vaches afin de détecter les vaches en mammites subclinique ou en mammites cliniques non détectées par les observations en salle de traite. En moyenne, le Contrôle Laitier effectue 10 analyses dans l'année, prélevant toutes les vaches en lactation lors de son passage, et fournit à l'éleveur pour chacune des vaches un comptage cellulaire individuel correspondant à l'ensemble du pis (pas de différenciation des quartiers), et fournit également l'estimation du taux cellulaire du troupeau, donnant une vue d'ensemble de la qualité du lait du troupeau. Un taux cellulaire de lait de tank est en outre fourni à l'éleveur

mensuellement par la laiterie. Il s'agit ici d'un taux mesuré directement sur le lait de mélange du tank. Ce taux est utilisé comme l'un des paramètres de paiement du lait à la qualité.

1.2.2 La détection des mammites en système de traite robotisée

Le système de traite robotisée nécessite de fournir à l'éleveur un système de support de décision pour la détection des mammites (Ordloff, 2001).

Ce support de décision est le logiciel pilote du robot de traite, propre à chaque fabricant, qui s'appuie sur les données fournies par les capteurs présents sur le robot et qui, grâce à un traitement des données, invite l'éleveur à contrôler certaines vaches par le biais d'alerte. Les différents tableaux de contrôle proposés par les fabricants sont expliqués en détail dans une thèse vétérinaire (Dréno, 2009).

1.2.2.1 La conductivité électrique

1.2.2.1.1 Qu'est-ce que la conductivité électrique

La conductivité électrique est la mesure de la résistance d'un corps ou d'une substance au courant électrique. Cette conductivité s'exprime en millisiemens par cm (mS/cm).

La conductivité électrique du lait lui est conférée par les ions qu'il contient (Mabrook et Petty, 2003).

1.2.2.1.2 L'utilisation de la conductivité électrique dans la détection des mammites

L'apparition d'une mammite engendre de nombreux désordres, tels que des changements de perméabilité au niveau des capillaires sanguins, la destruction de jonctions serrées, qui permettaient l'imperméabilité de la glande mammaire, ainsi que des dysfonctionnements des systèmes de transport ioniques. De ces changements découle une modification des concentrations en ions du lait (Hamann et Zecconi, 1998)

Ces destructions, dues à l'action des agents pathogènes, entraînent un passage d'ions Na^+ et Cl^- dans la lumière des acini et donc dans le lait, mais également un passage de K^+ et de lactose dans le sens inverse.

Ces transferts d'ions entraînent alors une augmentation de conductivité dans le quartier touché, qui peut être détectée par les systèmes de mesure en ligne de la conductivité électrique. (Fernando *et al.*, 1982 ; Nielen *et al.*, 1993)

1.2.2.1.3 Les systèmes de mesure de la conductivité électrique

Désormais, la majorité des robots de traite mis sur le marché français propose, de série, un système de mesure en ligne de la conductivité électrique. Les plus performants mesurent la conductivité sur des échantillons de lait prélevés toutes les cinq secondes, offrant ainsi la possibilité d'avoir un suivi de la conductivité sur tout le long de la traite, et ce pour chacun des quartiers. La mesure indépendante de la conductivité électrique de chacun des quartiers permet de s'affranchir du risque de dilution d'une variation modérée de la conductivité avec le lait des autres quartiers.

L'évolution de ces systèmes a permis de ne plus comparer la moyenne de la mesure de conductivité électrique du quartier à une valeur standard, mais à des valeurs de référence de ce quartier issues des traites précédentes. Ce stockage des données des traites précédentes et son utilisation ont permis de se libérer de la variabilité de la conductivité du lait sain entre les individus et même entre les quartiers pour les appareils de mesure distinguant les quatre quartiers.

1.2.2.2 Le comptage des cellules somatiques

1.2.2.2.1 Définition

Le comptage des cellules somatiques correspond au dénombrement des cellules présentes dans un millilitre de lait. Ces cellules, présentes dans le lait, sont des cellules issues du renouvellement de l'épithélium des alvéoles des glandes mammaires (qui représentent environ 30 % du dénombrement total) et des leucocytes, tels que des neutrophiles, des macrophages et des lymphocytes, qui représentent 70 % des cellules. On retrouve également quelques érythrocytes, en faibles concentrations (Paape et Weinland, 1988).

Lors d'une infection de la mamelle, clinique ou subclinique, les toxines bactériennes sont à l'origine du relargage de médiateurs de l'inflammation, tels que des cytokines, par les cellules épithéliales de la glande mammaire. Il se produit alors un afflux massif de leucocytes neutrophiles polynucléaires, qui constitue une des premières défenses contre les pathogènes pénétrant dans la mamelle (Paape *et al.*, 2003). La proportion des leucocytes augmente alors considérablement et ces cellules représentent près de 90 % des cellules dénombrées lors du comptage des cellules somatiques (Harmon, 1994). Le nombre de cellules, normalement inférieur à 100 000 cellules/mm³ (Hamann et Fehlings, 2002, cités par Hamann, 2005) peut alors atteindre plusieurs millions par millilitre (Dodd et Booth, 2000)

1.2.2.2.2 Les techniques de mesure disponibles

Depuis les années 1970, le comptage des cellules somatiques est largement utilisé comme indicateur d'infection intramammaire. Il est même un des composants majeurs dans la définition de la mammite (Voir tableau 1). C'est pourquoi la recherche de systèmes de dénombrement cellulaire adaptables sur robot de traite était primordiale pour les fabricants.

Sur le marché français, nous avons vu que deux marques sont leader. Les deux fabricants ont incorporés des systèmes de comptage cellulaire différents sur leurs modèles vendus actuellement.

DeLaval propose, en option, d'intégrer à son modèle VMS son nouveau compteur de cellules en ligne, l'*On-line Cell Counter*. Ce système comptabilise les cellules à partir d'un échantillon de lait prélevé à chaque traite sur chacun des quartiers. Les données récoltées sont ensuite transférées et analysées grâce au logiciel « *Herd Management* ».

Au niveau technique, ce compteur fonctionne grâce à une caméra digitale qui prend en photo et comptabilise les noyaux des cellules somatiques mis en évidence après une coloration.

Le fabricant Lely a, de son côté, développé un système utilisant le principe du *Californian Mastitis Test*, et l'a automatisé. Des échantillons sont aussi prélevés à chaque traite pour chacun des quartiers, et sont ensuite traités par le système



MQC-C de Lely. Ce système est proposé en option sur les nouveaux modèles de Lely.

Ce système repose sur la destruction des membranes cellulaires par un détergent, et ensuite une mesure de la viscosité, proportionnelle à l'ADN libéré par les cellules détruites par le détergent. La viscosité est ensuite classée sur une échelle de 1 à 5, reflétant la concentration cellulaire de l'échantillon.

Ces deux systèmes, très récents, ont permis ainsi d'intégrer le dénombrement cellulaire dans les systèmes de détection du lait et d'évaluation de la qualité du lait.

1.2.2.3 La colorimétrie

Lors d'une mammite clinique, certains constituants du sang passent dans le lait et modifient alors la couleur du lait.

Les capteurs développés pour les robots de traite mesurent la réflexion de la lumière, générée par une LED, afin de détecter les variations de couleur et donc un lait anormal (Hogeveen et Outweljes, 2002)

Ordloff a montré en 2003 (cité par Brandt *et al.*, 2010) qu'un colostrum peut être identifié grâce aux variations dans la région bleue et donc être écarté de la production. Il avait précédemment montré (Ordloff, 2001) que les variations dans le rouge indiquaient une augmentation de la concentration de sang dans le lait, provenant d'une inflammation mammaire ou dans certains cas d'une blessure du trayon.

Les capteurs de colorimétrie analysent en continu le flux de lait provenant du robot, et sont capables de détecter du sang présent dans le lait à des concentrations inférieures à 0,1 % (Rasmussen *et al.*, 2005a), alors que la méthode conventionnelle d'observation des premiers jets dans un bol à fond noir ne permet de détecter une modification de la couleur du lait qu'à partir d'une concentration de 2 % (Rasmussen et Bjerring, 2005b).

1.2.2.4 L'enzyme L-Lactate déshydrogénase

Lors d'une mammites clinique ou subclinique, les mécanismes de défense immunitaire se mettent en place, et une infiltration massive de leucocytes polynucléaires et de macrophages au niveau de la glande mammaire se produit. Cet afflux de cellules, couplé à la destruction de cellules épithéliales de la glande mammaire modifie les concentrations de certaines enzymes cytoplasmiques dans le lait (Kato *et al.*, 1989 ; Zank et Shlatterer, 1998, cités par Hiss *et al.*, 2007). L'activité de ces enzymes peut être mesurée et utilisée comme biomarqueur de la santé mammaire. Parmi ces enzymes, la L-Lactate déshydrogénase (LDH) a été étudiée, proposée et utilisée comme biomarqueur.

1.2.3 La fiabilité de ces systèmes

1.2.3.1 Limites des techniques disponibles

1.2.3.1.1 La conductivité électrique

La mesure en ligne de la conductivité électrique a été l'un des premiers outils développés par les fabricants de robot de traite afin de respecter l'actuelle Directive Européenne sur l'hygiène 89/362/CEE, qui rend obligatoire « le contrôle de l'aspect du lait », afin de détecter tout lait issu de vache atteinte de mammites clinique.

Les limites de l'utilisation exclusive de la conductivité électrique sont vite apparues.

Dans un lait dit « sain », la conductivité électrique est comprise entre 4,2 mS/cm et 7,2 mS/cm (Mansell et Seguya, 2003), alors que dans un lait dit « de mammites », elle oscille entre 4,5 et 8,4 mS/cm. On peut donc voir qu'il y a une zone de chevauchement importante qui ne permet pas de définir une valeur seuil à partir de laquelle on peut détecter de façon certaine une mammites.

Cette variabilité des valeurs entre les vaches et même entre les quartiers est due au fait que la conductivité électrique est influencée par de nombreux facteurs, tels que le rang de lactation de la vache, le stade de lactation, la température, l'intervalle entre deux traites, la composition du lait et d'autres facteurs mineurs.

Ceci explique pourquoi dans la littérature on retrouve une variation élevée des valeurs de sensibilité, de 28 % à 90 %, et de spécificité, de 92 % à 97 %, pour l'utilisation des mesures de conductivité électrique pour la détection des infections de la mamelle. (Wiedemann et Wendl, 2004).

Il est donc primordial de ne pas observer la valeur absolue de la conductivité pour un quartier donné, mais de la comparer aux mesures précédentes et à celles des autres quartiers. En effet, Hogeveen et Ouweltjes (2002) ont montré que la conductivité électrique augmente en moyenne de 4,6mS/cm lors d'une mammité clinique dans le quartier considéré.

1.2.3.1.2 Le comptage cellulaire

La première des limites de l'utilisation du comptage cellulaire a longtemps été sa mise en place en système de traite robotisée. Depuis 2010, cette limite a été levée et des systèmes de dénombrement cellulaire sont proposés en option sur les modèles des fabricants Lely et DeLaval.

Le système DeLaval, le Online Cell Counter (OCC) a été évalué en condition de terrain par Lusi et Antane (2010) à l'échelle d'un robot (effectif 35 vaches), qui comparent les données obtenues par le compteur DeLaval et celles obtenues en laboratoire. Ses résultats sont convaincants et justifient l'utilisation de ce système dans la détection des vaches présentant un taux cellulaires supérieur à 200 000 cellules/mL.

Le fabricant Lely propose lui un CMT automatisé. Il n'existe pas d'étude précisant l'efficacité du MQC-C de Lely, mais Rasmussen *et al.* (2005a) ont étudié l'efficacité du CMT dans la détection des mammites cliniques subcliniques et des laits anormaux. Il en résulte une sensibilité de 83 % et une spécificité de 84 %. Cette étude conclut que ce type de système permet de détecter et d'écarter un lait anormal de manière efficace.

Enfin il faut retenir que ces deux systèmes de comptage cellulaire sont en option et sont un investissement élevé venant s'ajouter au prix du robot. Ils augmentent le coût de fonctionnement du robot au quotidien avec l'utilisation de réactifs supplémentaires nécessaires à cette étape de dénombrement. A l'achat,

cette option coûte environ 8 000 € HT, auxquels il faut ajouter environ 10 % pour la pose et la mise en route. Par la suite, le coût des réactifs est très dépendant de la stratégie de l'éleveur, qui peut décider de ne faire des comptages qu'à certaines traites, ou à certaines périodes de la lactation. On retiendra qu'il varie de 4 à 10 centimes par analyse, et que pour une vache, traite en moyenne 2,5 fois par jour, 305 jours dans l'année, pour laquelle une analyse est réalisée sur le lait des quatre trayons, cela coûte environ 120 € pour l'année. Le coût des réactifs est du même ordre de grandeur pour les 2 marques, mais dépend de la taille du troupeau et du contrat passé à l'achat de l'équipement.

L'utilisation exclusive du comptage cellulaire ne permet pas non plus de détecter l'intégralité des infections intramammaires. En effet, Berglund *et al.* (2004) ont montré que 10 % des vaches présentent des comptages cellulaires inférieurs à 100 000 cellules/mL, alors qu'au moins l'un de leurs quartiers est infecté par un agent pathogène.

Il apparaît donc que le comptage des cellules somatiques ne permet pas de détecter toutes les mammites.

1.2.3.1.3 La colorimétrie

En ce qui concerne la détection des mammites cliniques, plusieurs études se sont penchées sur l'efficacité de la colorimétrie seule dans la détection des cas cliniques. Trilk *et al.* (2006, cités par Hovinen et Pyörälä, 2011) ont montré que la sensibilité des capteurs de colorimétrie alors présents sur le marché était de 68%, mais surtout ils ont mis en avant le fort taux de faux positifs, c'est-à-dire de fausses alarmes, considérant un lait normal comme un lait anormal et l'écartant de la production à tort.

La majorité de ces fausses alertes sont dues à une augmentation de la couleur jaune dans le lait, reflétant certains types de régimes alimentaires de la vache (Espada et Vijverberg, 2002).

La seconde limite de la colorimétrie concerne la détection des mammites subcliniques. En effet, la définition même de la mammite subclinique précise qu'il s'agit d'une mammite dont l'aspect du lait ne change pas visuellement

(International Dairy Federation, 1999). En conséquence, l'index des valeurs de colorimétrie ne varie pas entre le lait de quartiers sains et le lait de quartiers avec une mammites subclinique (Hovinen *et al.*, 2006, cités par Viguié *et al.*, 2009)

1.2.3.1.4 La L-Lactate déshydrogénase

L'activité de la LDH est connue depuis longtemps pour être un marqueur biochimique présent lors de mammites, mais son utilisation s'est longtemps heurtée aux techniques de mesures, réservées aux laboratoires.

L'utilisation de la spectrophotométrie a permis le développement de matériel portatif utilisable en salle de traite, comme l'analyseur DT 60 II (Ortho-Clinical Diagnostics, a Johnson & Johnson Company, Neckargemund, Allemagne) utilisé par Hiss *et al.* (2007).

En 2005, Larsen a décrit une nouvelle méthode de mesure de l'activité de la LDH, la fluorométrie, qui a été utilisée par Friggens *et al.* (2007). Cette méthode a également l'avantage de pouvoir d'effectuer en direct et donc d'être utilisable en situation de traite automatique.

DeLaval a depuis peu ajouté la mesure de l'activité de la LDH dans son système de détection des mammites, le *Herd Navigator* (Mazeris, 2012), mais on ne dispose pas d'étude évaluant ce système.

1.2.3.2 Les résultats

Nous allons tout d'abord étudier l'efficacité des différents capteurs pris individuellement dans la détection des mammites, cliniques et subcliniques, puis ensuite nous verrons les associations qui sont aujourd'hui proposées par les fabricants et leurs performances. Le tableau, placé en annexe 1, résume les performances de chacun des capteurs dans la détection, soit des mammites cliniques, soit des mammites subcliniques.

1.2.3.2.1 La conductivité électrique

Nous avons vu précédemment qu'il existe une grande variabilité des mesures de conductivité électrique du lait selon les individus et selon de nombreux

facteurs. C'est pourquoi, il est impossible de déterminer le statut sanitaire d'un quartier grâce à des valeurs de référence.

Pour s'affranchir en partie de ces variations, les mesures de conductimétrie d'un quartier sont réalisées tout au long de la traite et leur moyenne est comparée à celle des mesures des trois autres quartiers. Les variations de conductivité entre le lait un quartier donné et le lait des trois autres quartiers permettent de détecter les mammites.

Les phénomènes inflammatoires responsables des variations de conductivité sont très précoces et permettent une détection rapide, avant l'apparition des signes cliniques, dans le cas des mammites cliniques (Maatje *et al.*, 1992 ; Milner *et al.*, 1997).

Toutefois, les résultats des nombreuses études portant sur l'efficacité des mesures de conductivité restent disparates et concluent à des résultats de sensibilité et de spécificité très différents. Il est donc difficile d'en tirer une conclusion. En ce qui concerne l'utilisation de ces mesures en traite automatisée, Hovinen *et al.* (2006) ont montré que la sensibilité de la conductivité électrique pour la détection des mammites (taux cellulaires supérieurs à 200 000 cellules/mL) variait de 5 à 18 % en fonction des robots de traite.

Outre cette disparité des résultats, l'utilisation de la conductivité électrique est peu fiable pour la détection des mammites subcliniques, pour lesquelles les phénomènes inflammatoires sont discrets et inconstants. Norberg *et al.* (2004) ont conclu à une moyenne de 5,75 mS/mL pour un lait issu d'un quartier atteint de mammite subclinique et à une moyenne de 5,3 mS/mL pour un lait issu d'un quartier sain, il existe donc une grande proximité entre ces moyennes, ce qui rend difficile la détection des mammites subcliniques par l'utilisation des mesures de conductivité électrique seules.

1.2.3.2.2 Le comptage cellulaire

Nous avons vu que le comptage des cellules somatiques intervient dans la définition de la mammite. Il va donc de soi qu'avoir cette information en direct avec une observation possible de l'évolution de ces comptages au cours des

différentes traites est un atout majeur pour la détection des mammites cliniques et subcliniques. Nous verrons quels sont les apports de cette information dans les modèles de détection incorporés aux robots de traite.

1.2.3.2.3 La colorimétrie

Nous avons vu que les mesures de colorimétrie comme moyen de détection des mammites, étaient à l'origine de nombreuses fausses alertes, et ne peuvent être retenues comme seul moyen de détection. Néanmoins, Wiedemann et Wendl (2004) ont montré que cette technique permet de détecter 80 % des échantillons de lait avec de fort taux cellulaires ($>500\ 000$ cellules/mm³).

Il apparaît donc que l'utilisation des mesures de réflexion et de réfraction de la lumière peut venir en complément d'autres méthodes de détection afin de les préciser.

1.2.3.2.4 La Lactate-déshydrogénase

Chagunda *et al.* ont, en 2006, testé l'utilisation des mesures de l'activité de la LDH pour la détection des mammites cliniques. Leurs résultats sont convaincants avec une sensibilité de 73 à 95 % et une spécificité de 92 %. Il en ressort une forte corrélation entre les taux cellulaires et les mesures de l'activité de la LDH.

Kalantari *et al.* (2013) ont étudié l'efficacité des mesures d'activité de la LDH pour la détection des mammites subcliniques et concluent à une forte corrélation entre les mesures de l'activité de la LDH et les résultats de la bactériologie du lait, ainsi que les taux cellulaires (supérieurs à 100 000 cellules/mL), en utilisant une valeur seuil de 110 U/L.

La mesure de l'activité de la LDH apparaît donc comme une alternative aux comptages cellulaires somatiques et permet une détection des mammites cliniques et subcliniques. En revanche, il n'existe pas d'étude sur son utilisation au niveau des robots de traite et des mesures en direct, disponibles sur les robots de la marque DeLaval.

1.2.3.3 Combinaison des différentes données récoltées

Il existe donc sur les robots actuellement mis sur le marché de nombreux capteurs qui renseignent sur la qualité du lait et la santé de la mamelle afin de respecter la directive européenne 92/46 d'Avril 1992, et de délivrer un lait propre à la consommation humaine. Il est généralement admis qu'un seul capteur, mesurant un indicateur ne permet pas de détecter tous les paramètres modifiés par les mammites et donc de toutes les détecter effectivement (Hamann, 2005), c'est pourquoi différentes combinaisons de capteurs ont été mises en place, afin de détecter toutes les mammites cliniques et une majorité des mammites subcliniques.

La première combinaison de détecteurs mise en place par les fabricants associe les mesures de conductivité électrique et de colorimétrie. Cette association n'a permis à Wiedemann et Wendl (2004) de classer correctement que 71 % des quartiers présentant plus de 500 000 cellules/mL comme quartiers infectés. Cette seule combinaison n'est donc pas assez efficace.

La traite effectuée par un robot de traite se fait quartier par quartier, et permet de mesurer et de connaître la production laitière de chacun des quartiers ainsi que son évolution. Cette information est importante, car lors d'une mammite subclinique la production du quartier touché diminue d'en moyenne 15 % (Bramley *et al.*, 1992). Il apparaît donc que cette information peut permettre d'améliorer la détection des mammites et a donc été ajoutée aux arbres de décision des premiers robots. Malgré cette baisse notable de la production, de Mol *et al.* (1999) ont montré que l'utilisation de mesures de conductivité électrique et de production laitières sur le terrain apportent des résultats insuffisants, avec une détection de seulement 67% des cas de mammites (taux cellulaires supérieurs à 200 000 cellules/mL).

Afin d'améliorer les systèmes de suivi de qualité du lait dans les élevages à traite robotisée, de nombreuses études se sont penchées sur l'utilisation des données disponibles grâce au robot de traite et à l'éleveur et de leur association avec les mesures des capteurs déjà présents sur les robots.

Ainsi dans deux études distinctes, Steeneveld *et al.* (2010a et 2010b) ont utilisé en plus des informations sur la conductivité électrique et sur la couleur du lait, l'historique de la vache, c'est-à-dire, sa parité, son stade de lactation, les comptages cellulaires moyens de la lactation précédente, du mois précédent ainsi que le nombre de mammites cliniques détectées précédemment pour cette vache. L'ajout de ces données permet de diminuer considérablement le nombre de faux positifs et ainsi de remonter les seuils de détection sans surcharger l'éleveur de fausses alertes.

Ainsi, si l'on choisit une sensibilité de 95 %, avec simplement les mesures de conductivité électrique et la colorimétrie, Steeneveld *et al.* (2010b) ont trouvé que pour 52 cas de mammite, 50 étaient détectées, mais on comptait également 3 600 fausses alertes lors d'une étude de deux ans avec environ 500 000 traites enregistrées dans un élevage de 250 vaches en lactation. En utilisant les informations sur les vaches afin d'estimer une probabilité de véracité de l'alerte, ces fausses alertes diminuent à 2 500, soit 30 % de baisse.

Plus récemment, l'apparition de compteurs de cellules en ligne sur les robots de traite a apporté une information supplémentaire utilisable dans le suivi de la qualité du lait. Dans une étude de terrain de Kamphuis *et al.* (2008b), ont comparé les performances des systèmes de détection utilisant uniquement la conductivité électrique et ceux utilisant les comptages cellulaires en ligne en sus. Il apparaît que la combinaison des deux mesures diminue le taux de fausses alertes, passant de 7,8 fausses alertes pour 1 000 traites, à 2,1.

En conclusion, le problème du suivi des mammites en traite robotisée réside dans les réglages du système de détection. En cherchant à détecter le maximum de mammites, les seuils de détection sont bas et cela engendre un nombre élevé de fausses alertes. Les vrais cas de mammites se retrouvent alors noyés dans une longue liste d'alertes. Il est important de s'adapter à l'éleveur et à ses objectifs en terme de qualité du lait (Neijenhuis *et al.*, 2010).

Pour ce qui est de la détection des mammites subcliniques et chroniques, les fabricants ont récemment pris en compte le problème et évitent de noyer l'éleveur avec des alertes permanentes. Les alertes redondantes sont désormais présentées

dans un écran différent de celui des vaches nouvellement infectées (Voir annexe 2).

1.2.4 Les perspectives futures

Les principaux objectifs des recherches pour le développement d'outils utilisables en système de traite robotisée pour le suivi de la qualité du lait sont une détection toujours plus précoce afin de limiter les conséquences d'une infection intramammaire et améliorer l'efficacité des traitements, la limitation du nombre de faux positifs qui ajoutent une surcharge de travail à l'éleveur ainsi que le développement de capteurs peu coûteux en réactifs, rapides et faciles d'usage.

1.2.4.1 La N-acétyl- β -D-glucosaminidase

Lors d'une inflammation de la mamelle, la concentration de nombreuses enzymes endogènes augmente dans le lait. Les enzymes en rapport avec la synthèse du lait se raréfient, alors que celles reliées aux phénomènes inflammatoires augmentent en nombre (Pyörälä, 2003). Parmi ces enzymes, on retrouve la N-acétyl- β -D-glucosaminidase (NAGase) qui est une enzyme lysosomale qui est relâchée dans le lait par les neutrophiles durant la phagocytose et la lyse des cellules. (Kitchen *et al.*, 1984).

Plusieurs études montrent que l'activité de la NAGase peut être reliée à la présence d'infection intramammaire (Kitchen, 1981, cité par Pyörälä, 2003 ; Mattila et Standholm, 1986, cités par Taponen *et al.*, 2009). Il y apparaît que l'activité de la NAGase dans le lait est corrélée de façon très étroite avec les comptages des cellules somatiques (Bansal *et al.*, 2005).

L'utilisation possible des mesures de l'activité de la NAGase dans le lait pour détecter la présence d'infections intramammaires est donc connue depuis une trentaine d'années, mais ça n'est que très récemment que son utilisation sur le terrain est devenue un sujet de recherches. Pemberton *et al.* (2001) ont en effet développé un capteur électrochimique qui est capable de détecter et mesurer l'activité de la NAGase. Les recherches s'orientent désormais vers une simplification et une meilleure précision de ce type de capteurs afin de pouvoir

intégrer ces mesures d'activité de la NAGase aux algorithmes de suivi de la qualité du lait.

1.2.4.2 Le lactose

La présence d'une infection intramammaire entraîne des dommages au niveau du tissu mammaire et il en résulte une diminution des capacités sécrétoires de ces cellules (Pyörälä, 2003). Hamman *et al.* (2002, cités par Pyörälä, 2003) ont montré que bien que la baisse de concentration en lactose du lait issu de quartier infecté soit très faible, l'utilisation de ce marqueur, en complément de ceux déjà utilisés, pourrait améliorer la détection des mammites cliniques et subcliniques.

Néanmoins, Berning et Shook (1992) ont montré que la relation entre les concentrations du lactose et des comptages cellulaires somatiques est moins forte que celle entre les concentrations en NAGase et les comptages cellulaires.

1.2.4.3 Les protéines spécifiques des phases inflammatoires

Les avancées dans les techniques de détermination des protéomes telles que l'électrophorèse sur gel en deux dimensions et la spectroscopie de masse ont mené à l'identification de plusieurs nouvelles protéines impliquées dans les mammites (Lippolis et Reinhardt, 2005).

Lors de la phase aiguë de l'inflammation, il y a relargage de nombreuses protéines synthétisées par le foie. Ces protéines sont considérées comme des protéines de phase aiguë de l'inflammation (Pannen et Robotham, 1995 ; Raynes, 2010). Chez les bovins, les protéines de phase aiguë les plus sensibles sont l'haptoglobine et le sérum amyloïde A (SAA), qui montrent une augmentation lors d'une inflammation aiguë (Eckersall et Conner, 1988).

La première de ces protéines, mesurée dans le lait utilisée comme indicateur de l'inflammation de la mamelle, est la sérum albumine bovine (Giesecke et Viljoen, 1974, cités par Pyörälä, 2003). Sa concentration était mesurée grâce à une technique d'immunodiffusion radiale qui était longue et difficile à automatiser.

Les recherches se sont donc tournées vers les deux autres protéines, l'haptoglobine et le SAA. Eckersall *et al.* (2001) ont montré qu'il existait une

corrélation entre les concentrations d'haptoglobine dans le sérum et dans le lait. Mais aucune relation entre les concentrations de SAA dans le lait et dans le sérum, ni entre les concentrations de SAA et d'haptoglobine dans le lait. Malgré cela, l'utilisation des mesures de ces deux protéines dans le lait est d'une grande spécificité (100 %) et d'une sensibilité raisonnable (86 % pour l'haptoglobine et 93 % pour le SAA). L'absence de ces protéines dans le lait des quartiers sains est donc un point important qui pourrait diminuer le nombre de fausses alertes dans les systèmes de traite robotisée et donc améliorer la spécificité des méthodes actuelles de détection des mammites cliniques et subcliniques.

D'autres protéines sont actuellement à l'étude, Smolenski *et al.* (2007) ont découvert six protéines chaperons impliquées dans la reconnaissance des agents pathogènes responsables de mammites. Ces protéines ont été identifiées uniquement dans les échantillons de lait issu de quartiers infectés.

Ces nouvelles découvertes dans le domaine des protéines exprimées lors de d'infection intramammaire sont des pistes pour la mise en place de nouveaux biomarqueurs des mammites et de capteurs installables sur les robots de traite.

1.2.4.4 Détection des grumeaux dans le lait par caméra digitale

Actuellement les techniques disponibles sur les robots de traite pour détecter et écarter le lait visuellement anormal se limitent à la colorimétrie. Maasen-Francke *et al.* (2004) ont proposé de mettre en place une caméra digitale haute définition capable de détecter les grumeaux et caillot dans le lait à partir d'un diamètre de 0,1mm. Les photos des particules repérées sont ensuite analysées en fonction d'une vingtaine de paramètres tels que la taille, la géométrie des contours, la couleur et un algorithme permet de faire la distinction entre les grumeaux du lait et les grains de sable, de la poussière, des débris de végétaux. Ces avancées permettraient de remplacer l'œil de l'éleveur pour ce critère et d'utiliser en traite automatisée un outil supplémentaire pour écarter un lait de mammite clinique.

1.2.5 Bilan de la détection des mammites en traite robotisée

La détection des mammites en élevage à traite automatisée est donc un élément essentiel en constante évolution, dont l'objectif est de détecter l'intégralité des mammites, tout en limitant le nombre de fausses alertes.

Cette détection s'appuie sur les mesures réalisées par plusieurs capteurs et des données telles que l'intervalle de traite, la production laitière ou encore le stade de lactation. Le premier capteur intégré aux robots de traite a été un conductimètre, mesurant la conductivité électrique en ligne et détectant les variations de conductivité entre le lait des 4 trayons. Cette information permet de détecter efficacement les mammites cliniques, pour lesquelles la variation de conductivité est importante, mais de détecter de façon plus aléatoire les mammites subcliniques pour lesquelles les variations sont discrètes et inconstantes.

Un second capteur, mesurant la colorimétrie du lait permet de détecter efficacement les changements d'aspect du lait et donc les mammites cliniques pour lesquelles une modification du lait intervient.

Plus récemment, des compteurs à cellules en ligne (disponibles en option chez DeLaval), des CMT automatisés (disponibles en option chez Lely) et des mesures de l'activité de la LDH en ligne (disponibles en option chez DeLaval) ont élargi la détection aux mammites subcliniques, offrant à l'éleveur les informations nécessaires à la gestion de ces infections subcliniques, économiquement pénalisantes.

La gestion des mammites cliniques est donc efficace avec l'ensemble des robots de traite, mais celle des mammites subcliniques n'est possible qu'en présence d'un capteur optionnel, permettant l'estimation des taux cellulaires ou la mesure de l'activité de la LDH. En l'absence de ces données, les comptages cellulaires réalisés par le Contrôle Laitier sont alors nécessaires si l'éleveur et ses conseillers techniques comme sont vétérinaire veulent connaître l'impact de ces infections subcliniques sur les performances du troupeau. En l'absence de ces données, la gestion, passant uniquement par les mesures de conductivité, reste aléatoire et difficile.

1.3 Quantité produite et qualité du lait en traite robotisée

En dehors des aspects mammites, tout composant mesurable du lait influençant la sécurité alimentaire, la qualité du produit et la santé humaine entre dans le calcul du prix du lait (Friggens et Rasmussen, 2001). Par ailleurs, le revenu de l'éleveur reste très fortement dépendant des quantités de lait livrées.

1.3.1 Variation de la production laitière

Avec le passage à un système de traite robotisée, le rythme de la traite biquotidienne du système de traite conventionnel fait place à un rythme décidé par la vache et optimisé par la logiciel pilote du robot. Nous avons vu que selon le système de circulation mis en place, la fréquence de traite variait, et que l'éleveur peut également s'il le veut, via son logiciel, décider du nombre de traites maximal par jour autorisé par vache selon leur stade de lactation et leur production laitière estimée. Les fréquences de traite varient de 1.9 à 3.2 traites par jour en moyenne par troupeau. Les plus faibles fréquences correspondent à des systèmes 100% pâturages ou à des systèmes avec très peu de concentrés distribués par le robot au moment de la traite (Jago *et al.*, 2007 ; Davis *et al.*, 2008), alors que les fréquences les plus élevées, souvent mises en avant par les fabricants, concernent des troupeaux expérimentaux composés uniquement de primipares (Abeni *et al.*, 2005a ; Munksgaard *et al.*, 2011).

Malgré les résultats variables des études, il ressort tout de même que la fréquence de traite est augmentée d'environ un demi-point par rapport à la traite biquotidienne conventionnelle, passant d'une moyenne de 2 traites à une moyenne de 2,5 traites quotidiennes. Nous allons donc voir si cela se répercute sur la production laitière.

La production laitière est conditionnée par le nombre de cellules sécrétoires de la glande mammaire et leur métabolisme. Ce parenchyme mammaire est en constante évolution au cours de la lactation et est influencé par de nombreux paramètres tels que les pratiques d'élevage, la fréquence de traite, le photopériodisme, etc. (Stelwagen, 2001). L'augmentation de fréquence de traite en début de lactation, pouvant être programmée par l'éleveur grâce au logiciel pilote,

stimule la prolifération des cellules sécrétoires de la glande mammaire (Hale *et al.*, 2003) et freine leur apoptose (Stefanon *et al.*, 2002)

Tout en donnant des bilans assez différents les uns des autres, les diverses études s'accordent sur le fait que l'augmentation de la fréquence observée lors du passage à un système de traite robotisée s'accompagne d'une augmentation de la production laitière, augmentation qui va de 2 % à 12 % selon les études (Wade *et al.*, 2004 ; Wagner-Storch et Palmer, 2003). En France, Veysset *et al.* (2001) ont montré que l'augmentation était d'environ 3 % et allait jusqu'à 9 % pour les fermes équipées depuis plus de deux ans.

L'acquisition d'un robot de traite permet donc d'augmenter sa production laitière, nous allons désormais voir si cette augmentation est délétère ou non pour la composition du lait.

1.3.2 Les triglycérides et la lipolyse

La teneur en gras du lait, appelé taux butyreux, est l'un des principaux critères de paiement du lait. Il est mesuré à chaque livraison du lait et doit rester dans les valeurs conseillées par la laiterie pour ne pas pénaliser le prix du lait. Il est donc important de savoir si le passage en traite robotisée influe sur ce taux.

Abeni *et al.* (2005b) ont montré que le système de traite n'influençait pas le taux butyreux de façon significative, ce qui rejoint les conclusions des études précédentes (Friggens et Rasmussen, 2001).

Par contre, un phénomène, indirectement dû au robot de traite, influence la qualité de la matière grasse du lait, il s'agit de la fréquence de traite. En effet, nous avons vu précédemment que la fréquence de traite était plus élevée avec ce type de système de traite. Cette augmentation de fréquence est responsable d'une augmentation des Acides Gras Libres (AGL) dans le lait. Ipema et Schuiling (1992) et Slaghuis *et al.* (2004) ont retrouvé des augmentations semblables du taux d'AGL dans des troupeaux confrontés à trois traites quotidiennes en traite conventionnelle. Ainsi l'augmentation des AGL observée en système de traite automatique (Abeni *et al.*, 2005b ; Klungel *et al.*, 2000), et qui participe à la

dégradation de la qualité du lait en terme de lipolyse, peut être expliquée en partie par cette augmentation de fréquence de traite.

De plus l'augmentation de la fréquence de traite a pour conséquence une augmentation du taux d'acides gras à chaîne courte par rapport aux acides gras à chaîne longue au sein des triglycérides (Travers et Barber, 1993 ; cités par Abeni *et al.*, 2005b), ce qui favorise l'action de la lipase, enzyme présente naturellement dans le lait (Klei *et al.*, 1997).

Enfin, la lipolyse au niveau du tank de stockage du lait est normalement très faible en traite conventionnelle, mais est stimulée en traite automatisée par une augmentation de l'agitation du lait, par la formation de mousse due à cette agitation et par les variations de température. Ces trois paramètres sont augmentés par la traite en continu par le robot et donc par l'arrivée régulière de lait dans le tank (Abeni, 2005b).

1.3.3 Les cellules somatiques

1.3.3.1 Évolution des concentrations de cellules somatiques dans le lait

Des études épidémiologiques ont montré qu'en général, l'introduction d'un système de traite automatisée dans un élevage s'accompagne d'une augmentation des taux cellulaires (Rasmussen *et al.*, 2001 ; Kruij *et al.*, 2002 ; Mulder *et al.*, 2004 ; Poelarends *et al.*, 2004 ; Pedersen et Bennedsgaard, 2006, cités par Hovinen et Pyörälä, 2011).

Dans une autre étude datant de 2009, Hovinen a montré que dans une ferme équipée d'un robot de traite, on dénombrait plus de vaches nouvellement infectées avec des taux cellulaires élevés dans l'année suivant le nouvel équipement en comparaison des années précédentes. Quand ces fermes nouvellement équipées d'un robot de traite sont comparées à des fermes équipées d'une nouvelle salle de traite, l'année suivant le changement, les troupeaux des fermes à traite automatisée présentent des taux cellulaires plus élevés à 4, 10 et 12 mois suivant le changement (Hovinen, 2009). Il a toutefois été noté une adaptation

après plusieurs mois avec un retour à des taux cellulaires à leur niveau d'origine (Rasmussen *et al.*, 2001).

Cette amélioration des taux cellulaires, qui suit la dégradation de départ, aboutit à un retour à la situation initiale d'avant l'installation du robot de traite, après une période estimée à 18 mois par Freiss (2009), mais n'engendre pas une amélioration de ce niveau sanitaire, les taux cellulaires se stabilisant à leur niveau de départ.

Cette évolution des concentrations de cellules somatiques dans le lait a été plus exhaustivement étudiée dans la thèse du doctorat vétérinaire de Freiss (2009).

1.3.3.2 Éléments d'explication de cette évolution négative

L'augmentation du taux cellulaire moyen de 16 000 cellules par mL décrit par Mørk et Sandgren (2010, cités par Landin *et al.*, 2012) lors du passage à un système de traite robotisée peut être expliqué par plusieurs éléments (Landin *et al.*, 2012). Dans un premier temps on peut retenir le stress vécu par les vaches lors des travaux et des premières semaines de mise en route. Ensuite, en fonction des modèles de robot, du type de bâtiment et de circulation choisis, les différents éléments qui entrent en jeu, de façon plus ou moins importante, sont un trafic mal conçu avec des intervalles de traite allongés, un nettoyage des trayons inefficace, un défaut d'hygiène autour du robot avec formation d'un goulet d'étranglement en amont de l'entrée et la forte concentration de vaches dans l'aire d'attente, puis en dernier lieu, dans certains cas, il apparaît que l'éleveur est en cause et ne suit pas suffisamment son troupeau et les données disponibles grâce au robot.

1.3.4 Les autres composants du lait

1.3.4.1 Les protéines

Le prix du litre de lait payé à l'éleveur est également influencé par le taux de protéines dans le lait, appelé taux protéique (TP). Avec le passage à une traite robotisée, il apparaît que le TP ne varie pas (Svennersten-Sjaunja et Pettersson, 2008 ; Friggens et Rasmussen, 2001) de façon significative et reste influencé par les mêmes facteurs qu'en traite conventionnelle (Svennersten-Sjaunja et

Pettersson, 2000). Ce taux est mesuré par le robot, mais également par la laiterie à la réception du lait de l'éleveur.

1.3.4.2 L'urée

L'urée est un déchet azoté issu du catabolisme des protéines et donne des renseignements sur la balance azotée de l'alimentation, sur l'azote ingéré et sur l'équilibrage de la ration (Aguilar *et al.*, 2012). Il est dosable aussi bien dans le sang que dans le lait, dans lequel il est mesuré en routine par la laiterie et le contrôle laitier. L'éleveur a donc depuis longtemps connaissance de cette valeur et désormais le robot de traite peut la mesurer en permanence.

Lors du passage à un système de traite robotisée, l'urée mesurée dans le lait ne varie pas significativement par rapport à la traite conventionnelle (Friggens et Rasmussen, 2001). L'éleveur peut donc continuer à gérer l'équilibre azoté de sa ration de la même façon que lorsqu'il utilisait un système de traite conventionnelle.

1.4 Le Contrôle Laitier Officiel et la traite automatisée

1.4.1 Présentation du Contrôle Laitier Officiel

1.4.1.1 Les acteurs du Contrôle Laitier Officiel

En France, soixante-deux entreprises en conseil en élevage proposent le contrôle de performance en lait.

En 2012, parmi les 80 000 éleveurs livreurs de lait français, plus de 48 000 étaient adhérents au Contrôle Laitier Officiel, soit environ 60 % des éleveurs livreurs de lait. Cela représente un cheptel total de près de 2 500 000 vaches laitières, soit 67 % des 3 700 000 vaches laitières de France (Données France Conseil Elevage).

1.4.1.2 Les missions du CLO

La mission principale du Contrôle Laitier est de fournir des résultats de lactation dont la qualité est garantie par un protocole national.

L'intérêt du CLO peut être divisé en deux parties. Une partie sur le plan collectif qui sert à la sélection intra races. Une partie axée sur le plan individuel permettant le suivi technique du troupeau.

1.4.1.2.1 L'aspect collectif

Afin d'établir les index taureaux et vaches laitières avec des informations précises permettant d'évaluer le potentiel génétique des reproducteurs proposés par les centres d'insémination, la société France Génétique Elevage, via sa filiale Système de Management de Qualité, propose des méthodes de travail harmonisées pour la réalisation des contrôles laitiers officiels. Le suivi de cette méthodologie par les techniciens permet de qualifier les lactations des vaches et d'enregistrer les données recueillies en élevage. Ces données permettent de déterminer la valeur génétique des reproducteurs mâles et femelles.

1.4.1.2.2 L'aspect individuel

Le CLO offre à l'éleveur une aide au suivi technique du troupeau, en fournissant à l'éleveur des données précises sur les performances individuelles des vaches du troupeau. Pour cela, le technicien, appelé agent de pesée, passe 8 fois dans l'année pour une à deux traites consécutives et réalise les pesées et échantillonnages. Suite à une analyse des échantillons en laboratoire, pour chaque vache présente au moment du contrôle, l'éleveur a connaissance de la production laitière, des taux protéique et butyreux et du comptage cellulaire individuel. Une estimation du comptage cellulaire du lait de tank est réalisée à partir des comptages cellulaires individuels et de la production de chacune des vaches contrôlées.

Pour réaliser ces mesures, les organismes de contrôle des performances lait en élevage s'engage à utiliser des capteurs à lait de grande précision homologués par l'ICAR (*International Committee for Animal Recording*), de réaliser les contrôles en élevage, lors de la traite et d'analyser les échantillons de lait dans des laboratoires agréés.

1.4.2 Adaptation du CLO aux élevages à traite robotisée

Actuellement, le modèle standard de contrôle laitier en système de traite conventionnelle, se compose en général de 8 pesées annuelles réalisées sur une ou deux traites par un agent de pesée présent sur l'élevage. Un système plus économique pour l'éleveur se met progressivement en place avec la réalisation des échantillons par l'éleveur et non plus par le technicien. Il s'agit du protocole B, pour lequel, l'éleveur doit suivre une formation initiale. Par la suite, au cours de l'année, des contrôles inopinés sont réalisés par des agents de pesée agréés afin de de contrôler la réalisation des pesées par l'éleveur.

L'arrivée des premiers robots de traite parmi les adhérents du CLO a nécessité un temps de réflexion et des investissements afin d'adapter et harmoniser les méthodes de contrôle et les rendre compatibles avec la qualification des lactations nécessaire à l'indexation génétique.

La production laitière est mesurée par un compteur à lait qui doit être agréé par l'ICAR pour être utilisé dans le Contrôle des Performances Lait. Ce compteur à lait doit être contrôlé et étalonné tous les six mois par un technicien agréé pour la vérification.

Le prélèvement des échantillons est réalisé par des automates d'échantillonnage disponibles en option sur les robots de traite DeLaval et Lely agréés pour leur utilisation pour le Contrôle Laitier Officiel.

La période de prélèvement s'étale sur 12 heures ou 24 heures, selon les options choisies par l'éleveur. La deuxième option offre une plus grande précision dans le calcul des taux butyreux et protéique, car elle permet de lisser les variations dues aux intervalles de traite irréguliers.

Sur une période de 24 heures, une vache peut se rendre au robot plus de deux fois et donc se faire traire plus de deux fois. Dans ce cas, seules les deux premières traites font l'objet d'un échantillonnage. Leclerc *et al.* (2012) ont montré que l'utilisation de ce protocole offrait une précision suffisante pour son utilisation pour la qualification des lactations.

La production laitière est calculée sur les 48 heures précédant le dernier échantillonnage, une moyenne sur les deux jours est ensuite calculée afin d'en extraire la production quotidienne.

Les données disponibles pour l'éleveur sont ensuite les mêmes qu'en système de traite conventionnelle, avec pour chaque vache présente au moment du contrôle, la production laitière quotidienne, les taux protéique et butyrique ainsi que les comptages cellulaires individuels.

SECONDE PARTIE : ENQUÊTE PERSONNELLE

Introduction

La partie bibliographique a mis en évidence que les systèmes de traite robotisée sont en pleine évolution depuis leur arrivée sur le marché au début des années 1990. Deux fabricants se sont partagés une grande partie du marché et ont présenté un nouveau robot de traite récemment (L'Astronaut A4 de Lely et le VMS millenium pour DeLaval) et offrent de nombreuses innovations dans le domaine du suivi de la qualité du lait et de la santé de la mamelle. La grande majorité des études utilisées pour la première partie sont issues de travaux effectués à l'étranger et bien souvent dans des fermes expérimentales. Il paraissait donc intéressant d'enquêter auprès d'un échantillon d'éleveurs français, afin de rendre compte des équipements dont ils disposent et des données prises en compte dans la détection des mammites.

2.1 Matériels et méthodes

2.1.1 Choix de l'échantillon

Afin de réaliser cette enquête, il a fallu sélectionner des élevages utilisant des systèmes de traite robotisée. Pour diverses raisons listées ci-dessous, l'enquête s'est concentrée sur un seul département français, la Mayenne. Tout d'abord, ce département fait partie du Grand Ouest, le plus grand bassin laitier de France comprenant la Bretagne, la Basse-Normandie et les Pays de Loire. Dans cette zone géographique, la Mayenne est un département qui fait partie de ceux qui sont fortement équipés en robot de traite parmi l'ensemble des départements français (voir figure 2, page 12).

En termes de chiffres, on compte plus de 164 000 vaches laitières en Mayenne réparties en 3 400 élevages et produisant plus de 1 000 millions de litres de lait (Données Chambre d'Agriculture de la Mayenne, Chiffres de 2011). Sur ces 3 400 élevages, on retrouve environ 250 robots de traite au moment de l'enquête en Avril 2013 (communication personnelle Edouard Alix, Avril 2013).

Ensuite, grâce au président des GTV 53, Pierre Kaufman, praticien vétérinaire à Meslay-du-Maine, très impliqué dans les relations étudiants vétérinaires / praticiens vétérinaires en exercice, cette enquête a bénéficié d'un appui auprès de la profession dans ce département, afin d'encourager les éleveurs à y répondre.

Enfin, l'enquête s'appuie sur le réseau de distribution des deux plus grands acteurs du marché français, les fabricants Lely et DeLaval, qui ont accepté de nous fournir les coordonnées de leurs clients en Mayenne et ont appuyé le questionnaire auprès de ces derniers.

Le choix de se restreindre aux clients de ces deux fabricants, vient du fait qu'ils se partagent plus de 80 % du marché français, la part restante étant divisée entre de nombreux fabricants dont les réseaux de distribution français sont moins bien organisés, avec une part importante de modèles achetés d'occasion. Il était donc difficile d'obtenir une liste exhaustive des éleveurs utilisant leurs matériels. Plus particulièrement en Mayenne, Lely et DeLaval ont installé respectivement 90 et 130 robots de traite, ce qui représente 88 % des installations en Mayenne.

2.1.2 Présentation du questionnaire

Le questionnaire est composé de 18 questions, réparties en six items, qui sont essentiellement des questions ouvertes et des questions de type Oui/Non (cf. annexe 3).

Une partie « Commentaire libre » a été insérée à la fin du questionnaire, ainsi que mes coordonnées (adresse e-mail), afin que les éleveurs puissent apporter des précisions s'ils le désiraient.

Les deux premières séries de questions présentent l'éleveur, l'élevage et le troupeau. L'éleveur présente rapidement sa structure et son troupeau en indiquant la race, le nombre de vaches en lactation ainsi que le niveau d'étable moyen.

La 3^{ème} série de questions s'intéresse au robot de traite, précisant le modèle, son année de fabrication et les équipements présents dans le domaine du suivi de la qualité du lait.

Puis l'éleveur est invité à donner quelques éléments sur la santé de son troupeau, parmi lesquels, les taux cellulaires et le nombre de mammites traitées sur un an.

Le 5^{ème} item porte sur le suivi technique du troupeau, afin de connaître l'implication du Contrôle Laitier et du vétérinaire dans le suivi du troupeau.

Enfin les dernières questions portent sur le suivi de la qualité du lait et de la santé de la mamelle par le robot de traite.

2.1.3 Diffusion du questionnaire

Pour la diffusion du questionnaire, deux solutions ont été envisagées en fonction du fabricant.

Lely a préféré ne pas nous donner accès à son fichier clients détaillé et a servi donc d'intermédiaire dans l'envoi et la récolte des questionnaires. Ces questionnaires ont été envoyés avec une lettre explicative, et l'anonymat a été garanti afin que les éleveurs puissent y répondre librement malgré le passage par l'intermédiaire du fabricant. Les questionnaires ont été envoyés par voie postale en Avril 2013. Les éleveurs avaient deux possibilités pour y répondre. La première étant de répondre directement sur le format papier et de les renvoyer par voie postale. La seconde possibilité était de se rendre sur un site internet, dont le lien était fourni dans la lettre explicative, et de répondre directement au questionnaire sur le format informatique.

Pour les éleveurs équipés de robot de traite DeLaval, le fabricant nous a fourni partiellement son fichier clients, en nous mettant à disposition les noms et adresses mail de leurs clients en Mayenne.

Un e-mail, semblable à la lettre explicative envoyé par courrier aux clients Lely, a été envoyé à l'ensemble de ces éleveurs, les invitant à suivre le lien fourni, et de répondre au questionnaire sur le format informatique. L'e-mail était accompagné du questionnaire en pièce jointe sous format Word de la suite Microsoft Office et format PDF, afin de permettre aux éleveurs de l'imprimer et d'y répondre sur le format papier et de nous le faire parvenir par voie postale. L'envoi de ce premier e-mail a été fait en Avril 2013 également. Un second e-mail a été

envoyé trois semaines plus tard afin de relancer les éleveurs. L'enquête a été close en Juillet 2013, date à laquelle les données recueillies ont été dépouillées.

2.1.4 Méthode d'analyse

Les réponses au questionnaire ont été réceptionnées sous deux formes, la forme papier arrivée par voie postale et la forme informatique. Ces derniers ont pu être exportés sous forme de fichiers informatiques Excel de la suite Microsoft Office. Les résultats sous forme papier ont été transposés également sous forme de fichiers Excel. Les données brutes sont détaillées sous forme de tableaux en annexe 4.

2.2 Résultats

L'envoi de 90 questionnaires par voie postale et 68 par e-mail, nous a permis d'obtenir 25 réponses, dont 10 remplis en ligne.

2.2.1 Caractéristiques de l'échantillon

Sur les 25 réponses obtenues, 24 proviennent d'élevages de la Mayenne. Un élevage de l'Orne, situé à une dizaine de kilomètres de la Mayenne a également répondu à ce questionnaire. Une dizaine d'élevages proches de la Mayenne avaient été inclus dans l'étude, car ils étaient clients du Lely Center de la Mayenne.

En estimant le nombre d'élevages mayennais équipés de robot de traite à 250 au moment de l'étude, en Avril 2013 (communication personnelle Edouard Alix, Avril 2013), l'échantillon de 24 élevages mayennais représente un peu moins de 10 % de l'ensemble des élevages à traite robotisée de Mayenne.

La majorité des élevages ayant répondu sont des GAEC (18 exploitations, soit 72 % de l'échantillon), le reste étant constitué d'EARL (5 élevages soit 20 % de l'échantillon) et d'exploitations en nom propre (2 élevages, soit 8 % de l'échantillon).

2.2.2 Caractéristiques des troupeaux de l'échantillon

Au sein de ces vingt-cinq élevages, seules deux races de vaches laitières sont représentées, la Prim'Holstein et la Normande. La Prim'Holstein compose l'intégralité du troupeau dans 15 élevages, la Normande dans 5 élevages. Les 5 élevages restants ont un troupeau mixte composé de Prim'Holstein et de Normandes.

Parmi ces 25 élevages, 14 (56 %) sont inscrits à un Organisme de Sélection, anciennement UPRA.

Concernant la répartition des élevages de l'échantillon par classe de nombre de vaches laitières, on retrouve 7 élevages (28 %) dans la classe 40 à 59 vaches, 10 élevages (40 %) dans la classe 60 à 79 vaches, 5 élevages (20 %) dans la classe 80 à 99 vaches, 2 élevages (8 %) dans la classe 100 à 119 et un élevage (4 %) dans la classe des plus de 120 vaches. Cette répartition des élevages par classes de vaches laitières est présentée dans le tableau 3 et les figures 3 et 4, avec comme point de comparaison la répartition des élevages laitiers sur le plan régional (Recensement agricole Agreste 2010). Pour ces données, la campagne prise en compte est la campagne 2009-2010.

Tableau 3 : Répartition des élevages de l'échantillon et des Pays de la Loire en fonction de la taille du cheptel (données Recensement agricole Agreste 2010)

Classes (en nombre de vaches laitières par élevage)	Échantillon		Pays de la Loire	
	Nombre d'élevages	Pourcentage	Nombre d'élevages	Pourcentage
1 à 19	0	0 %	728	7 %
20 à 39	0	0 %	2808	27 %
40 à 59	7	28 %	3536	34 %
60 à 79	10	40 %	1768	17 %
80 à 99	5	20 %	750	7 %
100 à 119	2	8 %	360	4 %
120 et plus	1	4 %	295	3 %
Total	25	100 %	10245	100 %

Figure 3 : Répartition des troupeaux de l'échantillon par nombre de vaches laitières détenues

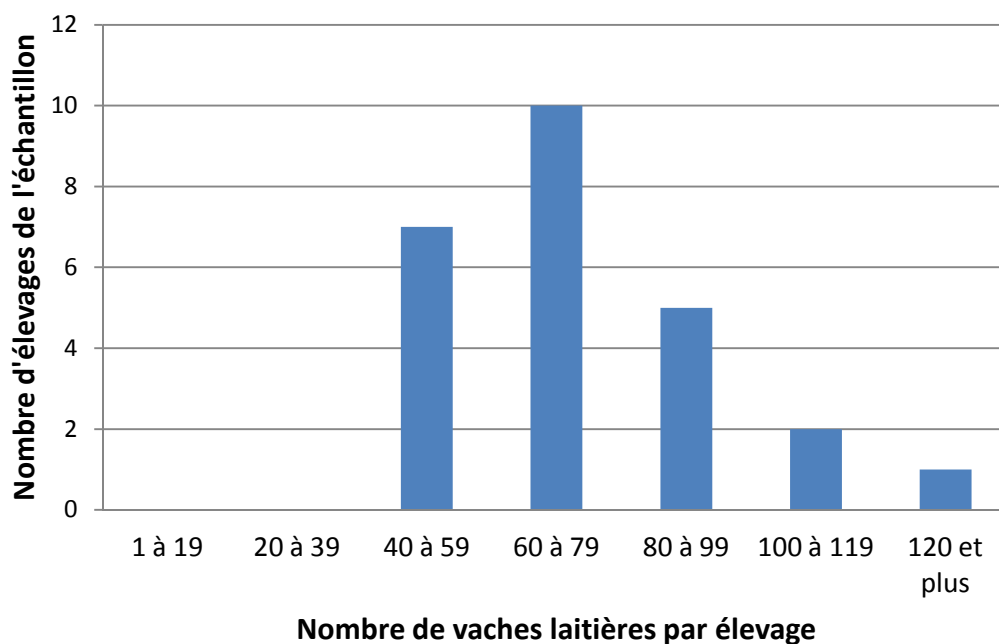
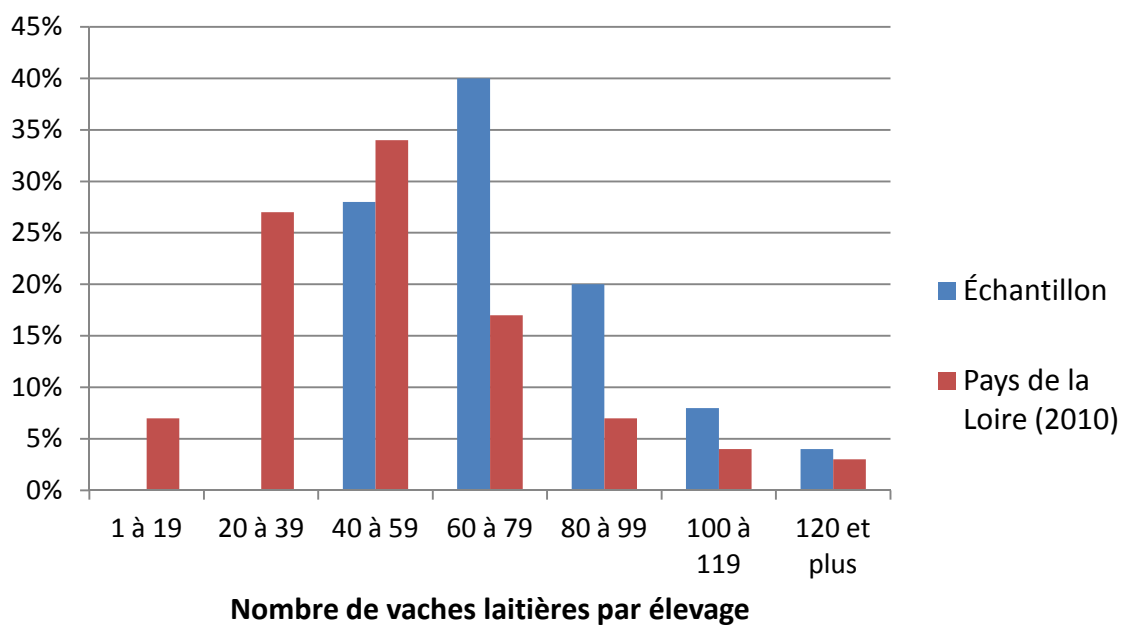


Figure 4 : Comparaison de la répartition des élevages par nombre de vaches laitières détenues – Échantillon/Pays de la Loire (données recensement agricole 2010)



Les niveaux d'étable pour la campagne 2012-2013 ont été renseignés dans 24 questionnaires et varient de 6 700 kg de lait à 11 450 kg.

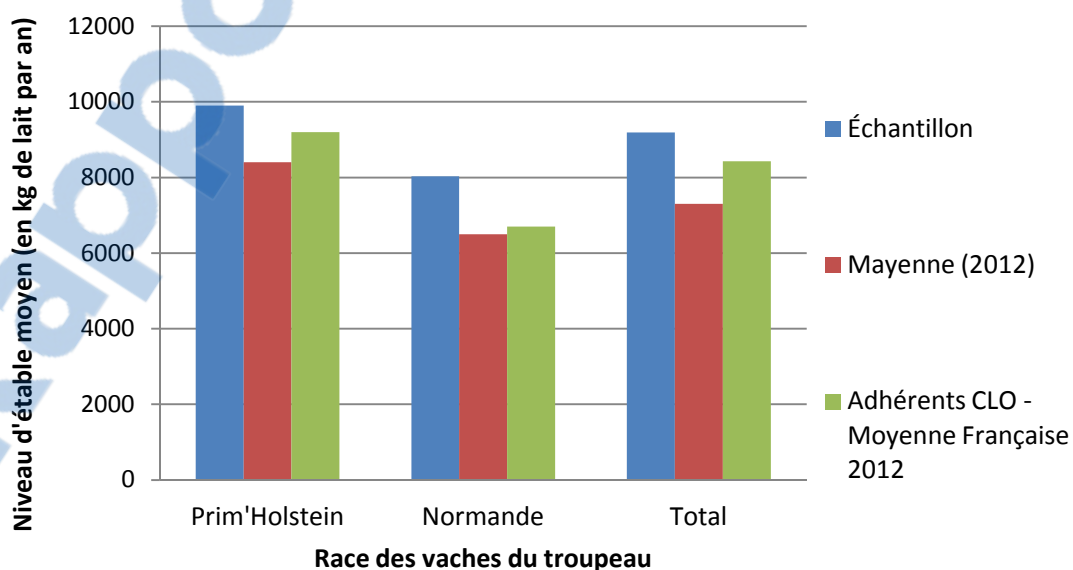
Les moyennes des niveaux d'étable en fonction de la race des vaches des élevages de l'échantillon et de ceux de la Mayenne sont présentées dans le tableau 4 et comparées dans la figure 5.

Dans notre échantillon, le niveau d'étable moyen, toutes races confondues, est de 9 190 Kg, il est de 9 800 Kg pour les 14 élevages de Prim'Holstein et de 8 035 Kg pour les 7 élevages de Normandes.

Tableau 4 : Niveaux d'étable moyen (en kg de lait par an), selon la race, des élevages de l'échantillon, de la Mayenne et des adhérents au CLO en France (données Institut de l'élevage, 2012)

Races	Échantillon (n=24)	Mayenne (2012)	Adhérents CLO - Moyenne Française 2012
Prim'Holstein	9 900	8 400	9 200
Normande	8 035	6 500	6 700
Total	9 190	7 300	8 430

Figure 5 : Comparaison des niveaux d'étable moyen selon la race des élevages de l'échantillon, de la Mayenne et des adhérents au CLO en France (données Institut de l'élevage, 2012)



2.2.3 Caractéristiques des robots de traite de l'échantillon

Sur ces 25 élevages, on retrouve 16 équipements du fabricant Lely (64 %) et 9 du fabricant DeLaval (36 %), alors que sur l'ensemble du département de la Mayenne, on retrouve 90 élevages équipés en robots de traite DeLaval (36 %) et 145 en robots Lely (58 %) sur environ 250 élevages équipés de robots de traite (Sources DeLaval et Lely, Septembre 2013)

Ces robots de traite ont été installés entre 2006 et 2013, la répartition des équipements en fonction de leur année d'installation et de la marque est présentée dans la figure 6.

Figure 6 : Répartition des robots de traite de l'échantillon (25 élevages) en fonction de l'année de l'installation et de la marque

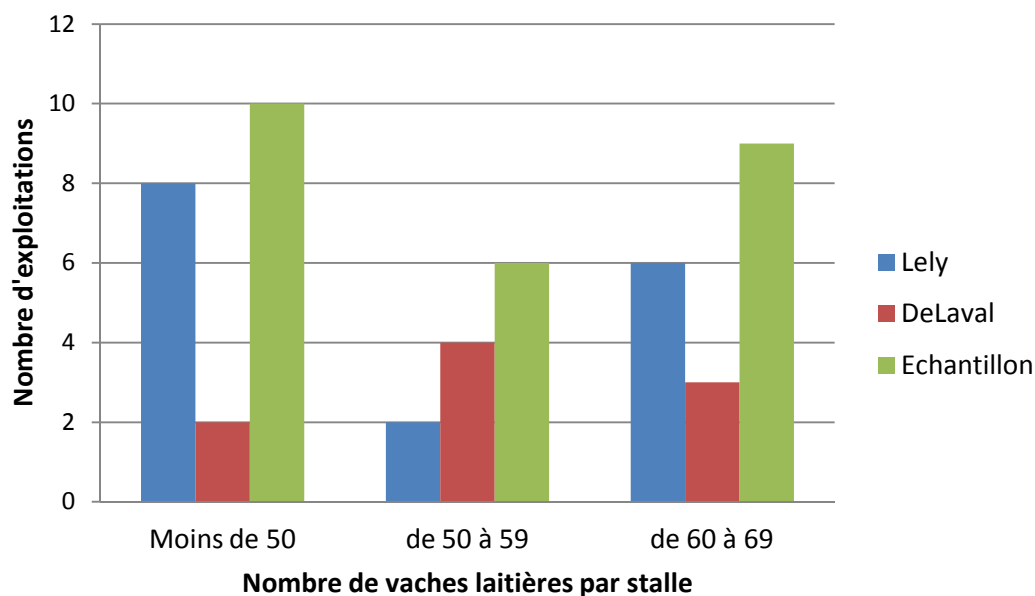


Les années de fabrication des robots de traite concordent avec les années d'installation, à l'exception d'un élevage, dans lequel le premier équipement installé en 2006 a été remplacé par un robot plus récent en 2012.

L'intégralité des élevages de plus de 70 vaches en lactation en moyenne possède 2 stalles de traite, soit 40 % des élevages, alors que dans les autres élevages, dont le nombre moyen de vaches en lactation au sein du troupeau est inférieur à 70, on retrouve une stalle de traite unique. La répartition du nombre de vaches laitières

par stalle de traite au sein des élevages de l'échantillon est présentée dans la figure 7.

Figure 7 : Répartition des élevages en fonction du nombre de vaches laitières par stalle de traite et de la marque du robot.

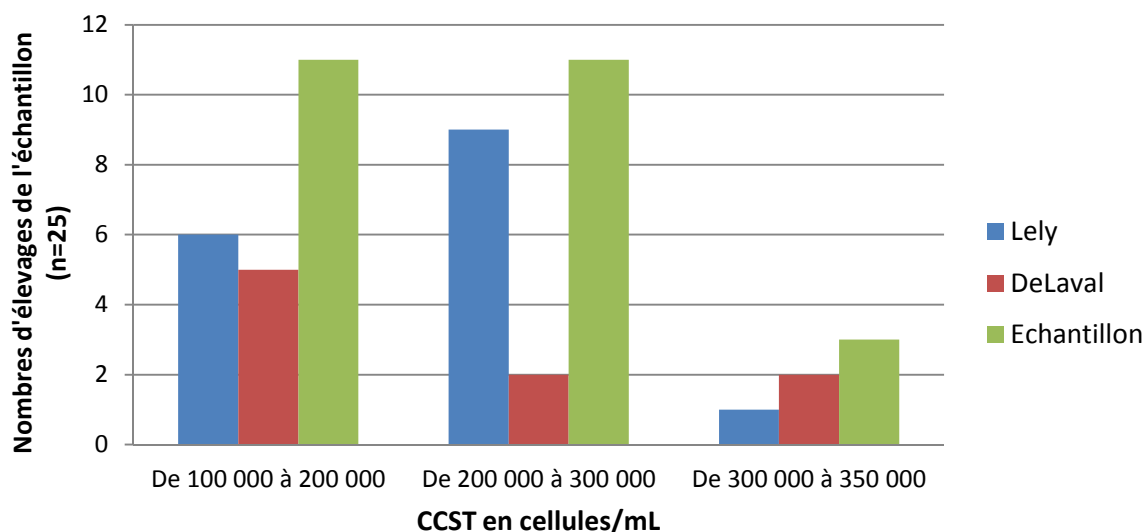


En ce qui concerne les éléments de base ou optionnels installés pour suivre la qualité du lait, 6 installations (24 %) ne possèdent pas d'éléments permettant le suivi du TP et TB, et seules 2 sont équipés de compteur cellulaire en ligne, soit 8 % des éleveurs ayant répondu au questionnaire. Néanmoins, tous les élevages sont équipés d'éléments de base permettant la détection des mammites. La description de ces éléments fait l'objet d'une question ultérieure. Le tableau présenté en annexe 4, récapitule les équipements des élevages avec les systèmes optionnels de mesure installés.

2.2.4 Les éléments de santé mammaire du troupeau

Les taux cellulaires de tank (CCST : comptage cellulaires somatiques de troupeau) ont été renseignés dans les 25 questionnaires retournés et sont précisés pour trois mois consécutifs (de janvier à mai 2013 en fonction des réponses). Une moyenne des taux cellulaires sur ces trois mois a été effectuée, la répartition de cette moyenne est présentée dans la figure 8.

Figure 8 : Répartition des élevages en fonction de la moyenne des taux cellulaires de tank (sur trois mois) et de la marque



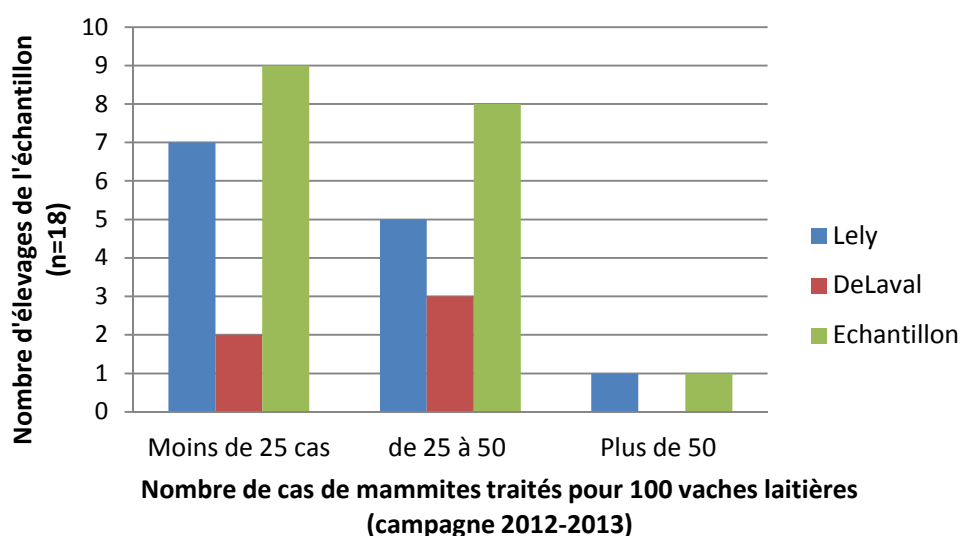
Nous avons vu dans la partie bibliographique que diverses études ont montré que la mise en place d'une traite automatisée dans un troupeau s'accompagne d'une augmentation du taux cellulaire dans le lait de tank sur une période allant de 4 à 18 mois. Le tableau 5 indique les taux cellulaires de lait de tank (moyennes sur 3 mois, calculées à partir des chiffres des bordereaux de paiement par la laiterie) pour les élevages de l'échantillon selon que l'installation du robot remonte à moins ou plus de 18 mois (installation en 2012-2013).

Tableau 5 : Répartition des élevages en fonction de la marque du robot, la date d'installation du robot et des comptages cellulaires sur lait de tank.

Marque du robot	Date d'installation	Nombre d'élevages en fonction des comptages cellulaires lait de tank (en cellules/mL)		
		< 200 000	Entre 200 000 et 300 000	> 300 000
Lely	Moins de 18 mois	1	3	1
	Plus de 18 mois	5	6	0
DeLaval	Moins de 18 mois	0	0	0
	Plus de 18 mois	5	2	2
Échantillon	Moins de 18 mois	1	3	1
	Plus de 18 mois	10	8	2

Le nombre de mammites traitées au cours de la campagne 2012-2013 était demandé dans le questionnaire. Parmi les 25 réponses, ce nombre a été renseigné seulement 18 fois. Ce nombre de mammites a été ensuite mis en relation avec la taille du troupeau, afin d'obtenir le nombre de mammites traitées pour 100 vaches présentes dans le troupeau. Les résultats obtenus, qui oscillent entre 8 et 62 mammites traitées pour 100 vaches, sont présentés dans la figure 9.

Figure 9 : Répartition des élevages en fonction du nombre de mammites traitées pour 100 vaches laitières présentes lors de la campagne 2012-2013



Comme pour les comptages cellulaires, le nombre de mammites traitées a été mis en relation avec la date d'installation du robot de traite, installation en 2012-2013 ou antérieure. La répartition est présentée dans le tableau 6 et la figure 11.

Tableau 6 : Répartition des élevages en fonction de la marque du robot, la date d'installation du robot et des comptages cellulaires sur lait de tank.

Marque	Date d'installation du robot	Moins de 25 cas/100 VL/an	25 à 50 cas/100 VL/an	Plus de 50 cas/100 VL/an
Lely	Moins de 18 mois	3	2	0
	Plus de 18 mois	4	3	1
DeLaval	Moins de 18 mois	0	0	0
	Plus de 18 mois	2	2	1
Échantillon	Moins de 18 mois	3	2	0
	Plus de 18 mois	6	3	2

Afin de mettre en évidence une relation au sein de notre échantillon entre les taux cellulaires de tank et l'installation récente (inférieure à 18 mois) ou plus ancienne (supérieure à 18 mois), un test de Fisher exact a été réalisé. Ce test, contrairement au test du Chi2 peut être réalisé sur des petits effectifs, tel que notre échantillon. Le test de Fisher exact effectué sur notre échantillon de 25 donne une valeur $p=0,48$, ce qui confirme l'indépendance.

Un second test de Fisher exact a été réalisé pour juger de l'indépendance ou non du nombre de mammites traitées pour 100 vaches et de l'installation récente (inférieure à 18 mois) ou plus ancienne (supérieure à 18 mois). Le résultat est également en faveur d'une indépendance avec une valeur $p=0,98$.

2.2.4 Le suivi technique du troupeau

L'intégralité des éleveurs ayant retourné le questionnaire ont répondu aux quatre questions concernant le suivi technique du troupeau par le Contrôle Laitier Officiel et par leur vétérinaire avant et après l'installation du robot de traite.

Les 25 élevages étaient inscrits au CLO avant le robot de traite et 24 d'entre eux sont toujours inscrits. Le motif d'arrêt de l'élevage concerné n'est pas précisé.

En ce qui concerne le suivi du troupeau par le vétérinaire, aucun élevage n'est suivi régulièrement dans le programme d'un suivi qualité du lait. En revanche 20 % des élevages ont opté pour un suivi reproduction par leur vétérinaire.

2.2.5 Le suivi de la qualité du lait par le robot

Il était demandé aux éleveurs d'énumérer les critères utilisés pour suivre la qualité du lait et détecter les mammites, et pour chaque critère, de préciser le seuil d'alerte choisi.

Sur les 25 questionnaires remplis, 2 éleveurs (8 %) ont précisé uniquement deux critères, 3 (12 %) en ont énuméré 3, 18 (72 %) ont cité 4 critères et 2 (8 %) en ont listé 5. Les cinq critères cités sont les mesures de conductivité (100 %), la baisse de production (100 %), la colorimétrie (aussi appelée « lait anormal », ou « présence de sang ») (92 %), le retard à la traite (80 %) et les comptages cellulaires (8 %).

Ces critères utilisés ont été hiérarchisés, afin de d'établir l'importance que les éleveurs attribuent à chacun d'eux pour la détection des mammites. Cette hiérarchisation a permis de classer les éleveurs suivant des profils méthodologiques.

Ces profils méthodologiques ont été définis dans l'étude de Dréno (2009) et sont les suivants :

Robots de la marque Lely :

- *Profil L1* : conductivité > production
 - Sous profil L1.a* : conductivité > production > aucune autre donnée analysée
 - Sous profil L1.b* : conductivité > production > retard à la traite
 - Sous profil L1.c* : conductivité > production > échec de la pose
 - Sous profil L1.d* : conductivité > production > couleur du lait
- *Profil L2* : conductivité > aucune autre donnée analysée
- *Profil L3* : conductivité > couleur

Robots de la marque DeLaval :

- *Profil D1* : conductivité > production
 - Sous profil D1.a* : conductivité > production > MDi
 - Sous profil D1.b* : conductivité > production > aucune autre donnée analysée
- *Profil D2* : traite incomplète > production > conductivité

En ce qui concerne notre échantillon, deux sous profils peuvent être ajoutés afin de prendre en compte l'utilisation des mesures des taux cellulaires par les compteurs à cellules en ligne (OCC) et CMT automatisé (MQC-C) :

Robot de la marque DeLaval : *Sous profil D1.a*, pour lequel, les comptages cellulaires sont analysés et présentés via le MDi à l'éleveur.

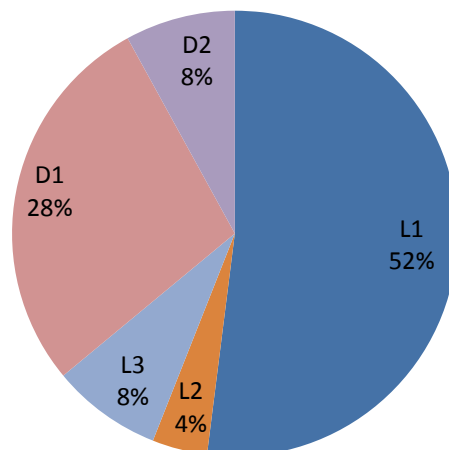
Robot de la marque Lely : *Sous profil L1.e* : conductivité > production > cellules

La répartition des profils méthodologiques de détection des mammites est présentée dans le tableau 7 et la figure 10.

Tableau 7 : Répartition des exploitations de l'échantillon en fonction du profil méthodologique appliqué concernant la détection des mammites

Marque	Profils	Nombre d'exploitation de l'échantillon (n=25)
Lely	L1.a	6
	L1.b	2
	L1.c	1
	L1.d	3
	L1.e	1
	L2	1
	L3	2
DeLaval	D1.a	4
	D1.b	3
	D2	2

Figure 10 : Répartition des exploitations de l'échantillon en fonction du profil méthodologique appliqué concernant la détection des mammites



Dans une partie des questionnaires, les seuils d'alerte utilisés ont été précisés pour trois critères, la mesure de conductivité, le retard à la traite et la baisse de production laitière.

En ce qui concerne les mesures de conductivité, les seuils ont été précisés dans 12 cas. Trois seuils d'augmentation sont utilisés par les éleveurs ayant répondu, soit une augmentation de 8 %, pour 3 d'entre eux (soit 25 % des réponses), soit une augmentation de 10 % pour 5 d'entre eux (soit 42 % des réponses), soit une augmentation de 20 % pour 4 d'entre eux (soit 33 % des réponses).

Il n'est en revanche pas précisé s'il s'agit d'une augmentation par rapport à la traite précédente ou par rapport aux mesures effectuées sur le lait des trois autres quartiers.

Au niveau de la chute de production laitière, les seuils d'alerte ont été indiqués dans 10 questionnaires. 6 réponses indiquent un seuil de 20 % de baisse de production sur un quartier et les 4 restantes, un seuil de 30 % de baisse.

Deux éleveurs ont précisé le seuil d'alerte utilisé pour le retard à la traite, qui est de 15h dans les deux cas. Un troisième questionnaire précise que ce seuil est défini en fonction de chaque vache.

Sept éleveurs, utilisateurs d'un robot de traite DeLaval, précisent qu'ils utilisent le système de détection appelé MDi, algorithme qui analyse plusieurs mesures telles que la conductivité, l'intervalle de traite, la production laitière, la colorimétrie, et lorsque le robot est équipé en conséquence, les comptages cellulaires et les mesures de LDH.

La dernière question portait sur la pertinence de ces seuils d'alerte à l'usage quotidien. Cette détection des mammites satisfait 20 des 25 éleveurs de l'échantillon, qui considèrent ces seuils d'alertes corrects à l'usage. Seuls 5 des éleveurs ayant répondu au questionnaire considèrent que ces seuils d'alerte génèrent trop de faux positifs.

2.3 Discussion

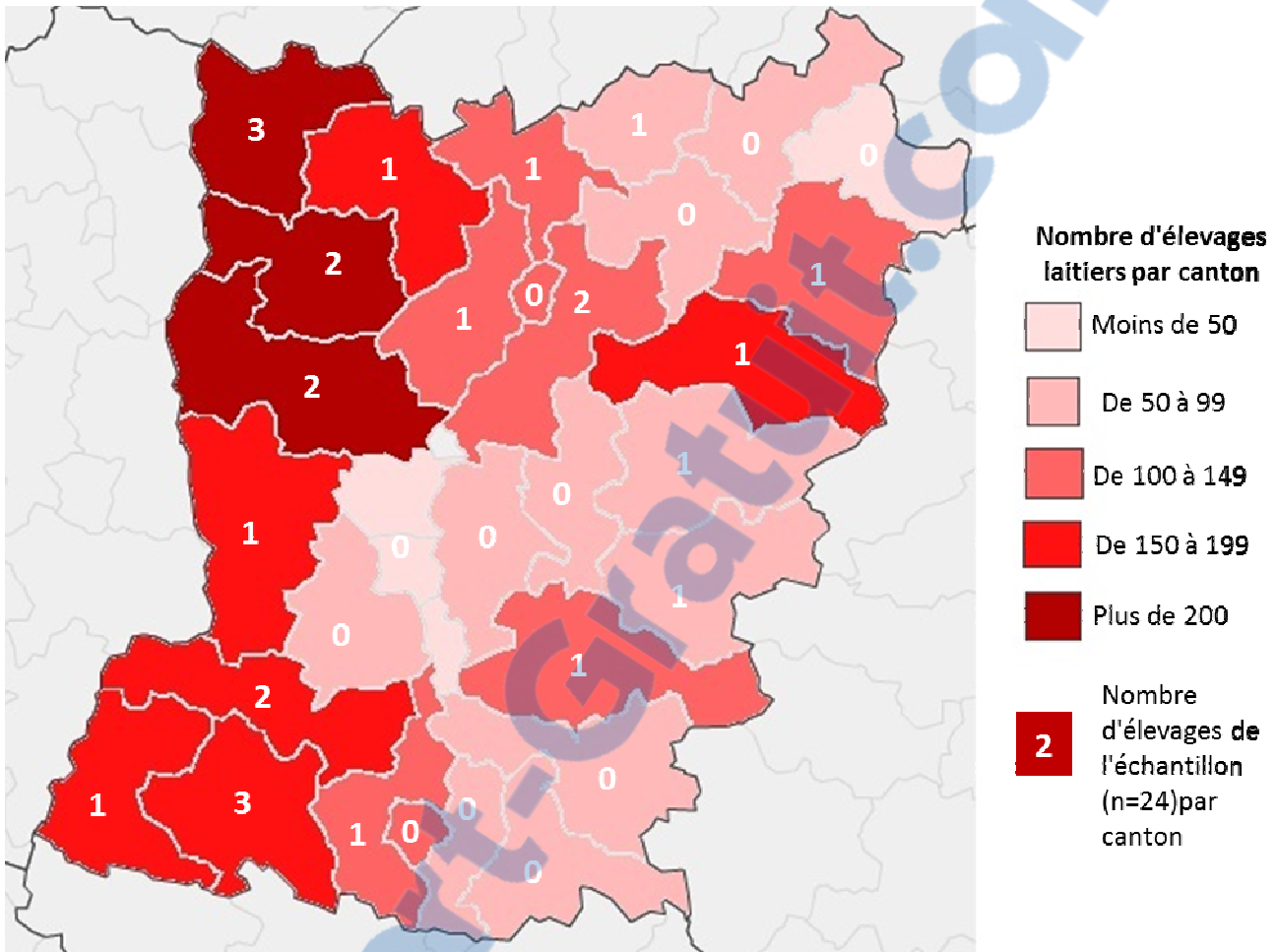
2.3.1 Limites de l'étude

Cette étude se concentre uniquement sur les éleveurs possédant un robot de traite soit de marque Lely, soit de marque DeLaval, et installés en Mayenne. Cette étude n'est donc pas forcément représentative de l'ensemble des éleveurs possédant au moins un robot de traite.

Notre échantillon de 25 élevages, dont 24 en Mayenne représente environ 10 % des élevages utilisant un robot de traite dans ce département.

La répartition des élevages de l'échantillon suit la répartition des élevages laitiers de ce département, comme le montre la figure 11, et se concentre majoritairement à l'ouest du département. La distribution géographique des élevages de notre échantillon est donc relativement représentative de la distribution générale des élevages laitiers mayennais.

Figure11 : Répartition des élevages laitiers et des élevages de l'échantillon (n=24) par canton en Mayenne (données Chambre agriculture Mayenne 2012)



Le taux de réponse d'environ 15 % est quant à lui légèrement en deçà des taux de réponses rapportés dans les études ayant utilisés des questionnaires à destination des éleveurs (Mollenhorst *et al.*, 2012 ; Huijps *et al.*, 2009). Il était donc attendu, qu'en l'absence de contrepartie immédiate, le taux de participation serait inférieur à 25 %.

Parmi les 25 élevages de l'échantillon, aucun n'a de suivi mammite ou de suivi qualité du lait par un vétérinaire, et l'intégralité des élevages est resté adhérente au CLO. Cette enquête ne permet donc pas d'analyser comment un vétérinaire gère le suivi des mammites cliniques et subcliniques dans un élevage passé en traite automatisée, et encore moins lorsque pour cet élevage, on ne dispose pas des données du CLO, ni de comptages cellulaires individuels. Afin de

d'enquêter sur ces pratiques, il faudrait effectuer une enquête auprès des vétérinaires concernés par cette situation.

2.3.2 Les mammites en élevage à traite robotisée

2.3.2.1 Situation sanitaire des élevages de l'échantillon

La santé des mamelles et la situation des mammites d'un troupeau peuvent être objectivées par l'observation et l'analyse des comptages cellulaires somatiques du lait de tank (CCST) et le nombre de mammites cliniques pour 100 vaches présentes.

Un CCST supérieur à 200 000 cellules par millilitre est un critère d'alerte d'apparition de mammites dans un élevage. Dans notre échantillon de 25 élevages, 14 élevages sont dans cette situation.

Le nombre de mammites cliniques permet également de connaître la situation d'un élevage face aux mammites. À partir de 25 cas de mammites cliniques pour 100 vaches, l'élevage est considéré en situation d'alerte, et au-delà de 50 cas cliniques, la situation est considérée comme catastrophique. Dans notre échantillon de 18 élevages ayant précisé ce critère, on retrouve 8 élevages en situation d'alerte (soit 45 % des élevages) et un élevage en situation catastrophique.

L'analyse de ces deux critères conclue à une situation d'alerte dans plus de la moitié des élevages de l'échantillon et montre l'importance d'une détection efficace des mammites cliniques et subcliniques dans ces élevages à traite automatisée.

Ces situations alarmantes ont été corrélées dans certaines études avec une dégradation des taux cellulaires suite à l'installation d'un robot de traite sur une période de 12 (Rasmussen *et al.*, 2001) à 18 mois (Freiss, 2009). Dans notre échantillon de 25 élevages, 6 installations sont récentes et se situent dans la période critique des 18 premiers mois évoquée précédemment, mais les taux cellulaires élevés retrouvés dans notre échantillon ne sont pas significativement reliés avec cette situation de mise en route récente.

Afin de confirmer cette hypothèse d'une situation alarmante face aux mammites dans un troupeau corrélée à une installation du robot inférieure à 18 mois, un

échantillon comprenant un effectif d'élevages à mise en route récente plus important que le nôtre serait nécessaire.

2.3.2.2 Détection des mammites

L'analyse de notre échantillon de 25 élevages a permis de regrouper les éleveurs en fonction de leur pratique au niveau de la détection des mammites et plus précisément des critères utilisés et de leur hiérarchisation. Cette classification des éleveurs de notre échantillon a été faite en reprenant celle définie dans l'étude de Dréno (2009), réalisée auprès de 53 élevages. On retrouve dans les deux échantillons une répartition des profils similaire avec, pour les utilisateurs de Lely, une forte prédominance du profil L1 (prise en compte de la conductivité, de la production laitière puis d'un troisième critère), et pour les possesseurs d'un robot DeLaval, du profil D1 (prise en compte de la conductivité, de la production et selon les élevages, du MDi). La conductivité et la production laitière sont donc deux des critères utilisés en priorité, permettant une détection précoce et efficace des mammites cliniques. Notre enquête permet de définir quels sont les critères utilisés par les éleveurs pour la détection des mammites et l'importance qu'ils y accordent, mais ne permet pas de savoir dans quels cas ils prennent la décision d'intervenir, en allant vérifier visuellement la vache pour laquelle une alerte a été émise, et encore moins quel est l'arbre décisionnel suivi pour la mise en place du traitement (intramammaire ou général). L'étude de Dréno (2009) a montré que malgré des profils similaires de méthodologie dans la détection des mammites, la décision d'aller vérifier le statut de l'animal, par un examen visuel, un CMT ou encore une bactériologie du lait reste dépendante de l'éleveur et ne suit pas de profil particulier. Cette observation est vérifiée par Neijenhuis *et al.* (2009, cité par Steeneveld, 2010b) qui précisent que cet arbre décisionnel est surtout dirigé par l'intuition de l'éleveur.

Une simplification des logiciels, avec une présentation des données analysées plus fonctionnelle, a été lancée par DeLaval, qui a mis en place un indice de santé de la mamelle, le MDi. Lely a de son côté mis en place un tableau de bord simplifié, orientant l'éleveur dans la prise de décision et visant à homogénéiser les arbres décisionnels et inciter les éleveurs à aller vérifier visuellement les animaux pour lesquels des alertes ont été émises (Steeneveld, 2010b).



2.3.3 L'éleveur et ses interlocuteurs

2.3.3.1 Le Contrôle Laitier Officiel

Les résultats de notre enquête montrent indéniablement le rôle prépondérant du CLO au sein des élevages laitiers français, puisque la quasi – totalité des éleveurs sont restés adhérents. Cela confirme les chiffres communiqués par France Conseil Elevage et un de ses vétérinaires, le Dr Hervé BAUDET, vétérinaire référent pour les élevages à traite robotisée au sein du CLO (communication personnelle, Septembre 2013), qui indiquaient que 90 % des éleveurs adhérents avant l'installation du robot de traite le restaient après la conversion.

Depuis de nombreuses années, les services proposés par le CLO ne se limitent plus qu'à la simple pesée, mais évoluent vers le conseil en élevage. Dans le cadre des élevages à robot de traite, le CLO s'implique dans la transition de la traite conventionnelle à la traite robotisée, et dès qu'une installation est envisagée, il offre un accompagnement de cet élevage pour faciliter cette conversion. C'est ainsi qu'il reste au contact des éleveurs et apparaît comme un partenaire compétent pour ces élevages.

Avec l'automatisation de la traite et l'apparition de nombreux capteurs, l'éleveur a désormais accès à de nombreuses données sur les vaches de son troupeau et le lait produit, et une partie de ces données est identique à celles que le CLO lui fournissait, comme la mesure de la production laitière, les mesures de TP et TB, ou encore, pour certaines installations, les taux cellulaires. Le CLO évolue donc progressivement vers du conseil en élevage, de l'aide à l'exploitation des données obtenues par le robot de traite, même si, les mesures mensuelles du CLO permettent encore, dans la majorité des élevages, non équipés de compteur à cellules en ligne, la détection des mammites subcliniques, pour lesquelles, les comptages cellulaires individuels sont déterminants.

Le manque de précision des mesures du TB (Remond *et al.*, 2006), lorsqu'elles s'effectuent sur un échantillonnage de 12h, fragilise encore un peu plus cette position et il apparaît important que le CLO poursuive sa réflexion sur son

rôle à jouer en élevage à traite robotisée, au risque de devenir de moins en moins incontournable.

L'installation d'un robot de traite, en plus d'un prix d'achat élevé, engendre une augmentation des coûts de fonctionnement (eau, électricité) et de maintenance (pièces détachées, contrat de maintenance auprès du fabricant) liés à son utilisation en continu. L'augmentation de ces coûts, associée à une certaine redondance des informations pourrait pousser certains éleveurs à s'éloigner du CLO lorsque les compteurs cellulaires en ligne se démocratiseront.

Sur le plan du suivi de performances individuelles, le CLO apparaît donc moins indispensable pour un éleveur utilisant un robot de traite qu'auparavant. Mais sur le plan du suivi de performance collectif permettant la qualification des lactations des vaches et l'enregistrement de données utilisées pour les index génétiques, le rôle du CLO est encore déterminant.

2.3.3.2 Le vétérinaire

Dans notre échantillon de 25 élevages, aucun n'est suivi par le vétérinaire dans le cadre d'un suivi « mammites » ou « qualité du lait ». A l'échelle départementale, les cliniques proposant ce service sont encore rares (communication personnelle Kaufman, Février 2013), et proposent essentiellement des visites de traite à destination des élevages en traite conventionnelle ou des visites en collaboration avec le GDS 53 lorsque les taux cellulaires du lait de tank d'un élevage sont supérieurs à 400 000 cellules lors de deux comptages successifs. Ces visites sont donc ponctuelles et ne rentrent pas dans le cadre d'un suivi. Ce constat est partagé à l'échelle nationale (communication personnelle Labbé, Décembre 2013) et nécessite un travail de communication de la part des vétérinaires auprès des éleveurs, afin de se positionner en tant qu'interlocuteur privilégié et ne pas seulement intervenir uniquement lorsque la situation est très dégradée.

Pour cinq élevages de l'échantillon, le vétérinaire intervient régulièrement dans l'élevage dans le cadre du suivi reproduction, composé de diagnostics de gestation et de contrôles post-partum.

Hormis les objectifs de reproduction communs à tous les élevages laitiers, certains élevages à traite robotisée doivent intégrer une contrainte supplémentaire en termes de reproduction. Ces élevages sont ceux dont le robot de traite est en limite de capacité (environ 65 vaches laitières pour un robot), pour qui il leur faut éviter un groupage des vêlages qui entraîne une surcharge du robot au moment du pic de lactation. Cooper et Parsons (1998) ont montré qu'un élevage fonctionnant avec des vêlages groupés nécessitent 20 % supplémentaires de capacité de leur installation par rapport aux élevages fonctionnant en vêlages étalés tout au long de l'année. Pour ces élevages en limite de capacité, la répartition des vêlages est donc primordiale et les suivis reproduction proposés par les vétérinaires seront donc davantage valorisés. En ce qui concerne l'échantillon, cette situation concerne 7 élevages pour lesquels, on ne compte qu'une seule stalle de traite et plus de 60 vaches dans le troupeau. Parmi ces 7 élevages, trois ont opté pour un suivi reproduction par leur vétérinaire traitant. Après contact téléphonique auprès de deux de ces trois élevages (Décembre 2013), il s'est avéré que le choix de ce suivi de reproduction n'est pas en lien direct avec cette problématique mais fait partie depuis plusieurs années de la gestion du troupeau et est davantage lié à des critères zootechniques (baisse de la fertilité globale du troupeau) et économiques (prix des inséminations artificielles en augmentation).

D'après Jean-François LABBE, praticien vétérinaire et spécialiste français du robot de traite (communication personnelle, Septembre 2013), ce manque d'implication des vétérinaires dans les suivis qualité du lait et reproduction auprès des élevages laitiers français et plus particulièrement des élevages à traite automatisée provient à la fois d'un manque de communication de la part de la profession vétérinaire et du nombre croissant d'informations auxquelles ont accès les éleveurs grâce à leur logiciel pilote du robot de traite, ce qui les amènent à se passer de conseils extérieurs.

Un autre frein existe, dans l'implication des vétérinaires à réaliser des suivis qualité du lait ou mammites pour ces élevages équipés de robot de traite, il s'agit de la complexité du logiciel pilote du robot et la difficulté d'y trouver les informations nécessaires et de les extraire afin de les analyser. Cette problématique est mise en avant dans l'étude de Dréno (2009), qui pointe la

spécificité et la complexité de ces logiciels. Face à ce problème, le fabricant DeLaval envisage de s'associer à des vétérinaires dans les départements où il est implanté, afin de disposer de vétérinaires référents, compétents sur la gestion et le suivi des robots de traite DeLaval, qui pourront alors être des interlocuteurs privilégiés des vétérinaires de terrain confrontés à des difficultés dans un élevage à traite automatisée

CONCLUSION

Le robot de traite est apparu au sein des élevages bovins laitiers français il y a une dizaine d'années et est depuis en pleine expansion. Cet équipement permet à l'éleveur de s'affranchir des contraintes de la traite, mais doit aussi lui permettre de continuer à réaliser le suivi sanitaire de son troupeau et de la qualité du lait avec précision.

Avec les équipements de base, les robots permettent de détecter efficacement les mammites cliniques, mais de manière plus aléatoire les mammites subcliniques.

Le suivi des mammites subcliniques, qui ont un impact financier important, peut donc s'avérer difficile si l'éleveur n'adhère plus au Contrôle Laitier Officiel, qui fournit les chiffres des comptages cellulaires somatiques individuels mensuellement et si l'éleveur n'a pas installé les équipements en option réalisant un CMT automatisé ou un comptage cellulaire par quartier. Ces équipements restent onéreux à l'achat, environ 8 000 €, et à l'utilisation, et sont relativement récents, c'est pourquoi ils restent encore rares.

Afin d'apporter les données nécessaires au suivi des mammites cliniques et subcliniques, le CLO est en cours d'adaptation de ses protocoles à ce type d'élevage et offre désormais un suivi comparable à celui en traite conventionnelle. Le rôle du CLO est confirmé par l'échantillon de 25 élevages en Mayenne analysé dans cette étude qui montre que massivement ces éleveurs y restent adhérents.

L'analyse des taux cellulaires somatiques de tank et des cas de mammites cliniques a mis en évidence une situation mal maîtrisée dans de nombreux élevages, le vétérinaire peut donc y jouer un rôle important grâce à son expertise. Une enquête auprès de ces derniers permettrait de comprendre leur faible niveau d'implication et des pratiques sur le terrain en fonction des élevages, adhérents ou non au CLO, avec ou sans compteurs à cellules en ligne installé sur le robot.

BIBLIOGRAPHIE

- Abeni, F., L. Calamari, F. Calza, M. Speroni, G. Bertoni, et G. Pirlo. 2005a. Welfare assessment based on metabolic and endocrine aspects in primiparous cows milked in a parlor or with an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* **88**:3542–3552.
- Abeni, F., L. Degano, F. Calza, R. Giangiacomo, et G. Pirlo. 2005b. Milk Quality and Automatic Milking: Fat Globule Size, Natural Creaming, and Lipolysis. *Journal of Dairy Science.* **88**:3519–3529.
- Aguilar, M., M.D. Hanigan, H.A. Tucker, B.L. Jones, S.K. Garbade, M.L. McGilliard, C.C. Stallings, K.F. Knowlton, et R.E. James. 2012. Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science.* **95**:7261–7268.
- Andrews, A.H. 2000. *The Health of Dairy Cattle*. Wiley. 359 pp.
- Armstrong, D.V., et L.S. Daugherty. 1997. Milking robots in large dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture.* **17**:123–128.
- Bach, A., M. Devant, C. Igleasias, et A. Ferrer. 2009. Forced traffic in automatic milking systems effectively reduces the need to get cows, but alters eating behavior and does not improve milk yield of dairy cattle. *Journal of Dairy Science.* **92**:1272–1280.
- Bansal, B.K., J. Hamann, N.T. Grabowski, et K.B. Singh. 2005. Variation in the composition of selected milk fraction samples from healthy and mastitic quarters, and its significance for mastitis diagnosis. *J. Dairy Res.* **72**:144–152.
- Berglund, I., G. Pettersson, K. Ostensson, et K. Svennersten-Sjaunja. 2004. Frequency of individual udder quarters with elevated CMT scores in cows' milk samples with low somatic cell counts. *Vet. Rec.* **155**:213.
- Berning, L.M., et G.E. Shook. 1992. Prediction of Mastitis Using Milk Somatic Cell Count, N-Acetyl- β -D-Glucosaminidase, and Lactose. *Journal of Dairy Science.* **75**:1840–1848
- Blowey, R.W., et P. Edmondson. 2010. *Mastitis Control in Dairy Herds*. 2nd Edition. Editions Cabi. 274 pp.
- Bogin, E., G. Ziv, J. Avidar, B. Rivetz, S. Gordin, et A. Saran. 1977. Distribution of lactate dehydrogenase isoenzymes in normal and inflamed bovine udders and milk. *Res. Vet. Sci.* **22**:198–200.
- Bramley, A.J., F.H. Dodd, G.A. Mein, et J.A. Bramley. 1992. *Machine milking and lactation*. Insight Books, Université du Wisconsin - Madison.
- Brandt, M., A. Haeussermann, et E. Hartung. 2010. Invited review: Technical solutions for analysis of milk constituents and abnormal milk. *Journal of Dairy Science.* **93**:427–436.

- Bruckmaier, R., J. Macuhova, et H.H. Meyer. 2001. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: a review. *Livestock Production Science*. **72**:169–176.
- Capuco, A.V., S.A. Bright, J.W. Pankey, D.L. Wood, R.H. Miller, et J. Bitman. 1992. Increased susceptibility to intramammary infection following removal of teat canal keratin. *J. Dairy Sci.* **75**:2126–2130.
- Chagunda, M.G., T. Larsen, M. Bjerring, et K.L. Ingvarsten. 2006. L-lactate dehydrogenase and N-acetyl-beta-D-glucosaminidase activities in bovine milk as indicators of non-specific mastitis. *J. Dairy Res.* **73**:431–440.
- Chambre d'Agriculture Mayenne. Repères techniques Elevages Laitiers 2011
http://www.agrili.net/uploads/media/depliant_12_resultats_technico-eco_lait_BAT_web.pdf Site consulté le 20 décembre 2013
- Davis, K.L., W.J. Fulkerson, S.C. Garcia, D. Dickeson, et I.M. Barchia. 2008. Premilking Teat Preparation for Australian Pasture-Based Cows Milked by an Automated Milking System. *Journal of Dairy Science*. **91**:2604–2609.
- Dodd F. H., et Booth J.M. 2000. Mastitis and milk production. *In The health of Dairy Cattle*. A.H. Andrews. 213–255.
- Dréno J.B. 2009. Utilisation des données enregistrées par le robot de traite pour le pilotage de la santé mammaire des vaches laitières. Thèse de Doctorat vétérinaire. ENVN, Nantes.
- Dzidic, A., D. Weiss, et R.M. Bruckmaier. 2004. Oxytocin release, milk ejection and milking characteristics in a single stall automatic milking system. *Livestock Production Science*. **86**:61–68.
- E. Espada, et H. Vijverberg. 2002. Milk colour analysis as a tool for the detection of abnormal milk. First North American Conference on Robotic Milking. Canada. 28–38.
- Eckersall, P.D., et J.G. Conner. 1988. Bovine and canine acute phase proteins. *Vet. Res. Commun.* **12**:169–178.
- Eckersall, P.D., F.J. Young, C. McComb, C.J. Hogarth, S. Safi, A. Weber, T. McDonald, A.M. Nolan, et J.L. Fitzpatrick. 2001. Acute phase proteins in serum and milk from dairy cows with clinical mastitis. *Vet. Rec.* **148**:35–41.
- Fernando, R.S., R.B. Rindsig, et S.L. Spahr. 1982. Electrical Conductivity of Milk for Detection of Mastitis. *Journal of Dairy Science*. **65**:659–664
- France Conseil Élevage. 2011. http://www.france-conseil-elevage.fr/fileadmin/ressources/Publications_FCEL/2012_Resultats_Control_Laitier_ov_cap_2011-1.pdf. Site consulté le 12 Mars 2013
- Freiss J. 2009. Evolution de la qualité du lait lors de l'installation d'un robot de traite: description et facteurs de variation. Thèse de Doctorat vétérinaire. ENVN, Nantes. 213 pp.

- Friggens, N., et M. Rasmussen. 2001. Milk quality assessment in automatic milking systems: accounting for the effects of variable intervals between milkings on milk composition. *Livestock Production Science*. **73**:45–54.
- Friggens, N.C., M.G.G. Chagunda, M. Bjerring, C. Ridder, S. Hojsgaard, et T. Larsen. 2007. Estimating degree of mastitis from time-series measurements in milk: a test of a model based on lactate dehydrogenase measurements. *J. Dairy Sci.* **90**:5415–5427
- Hagen, K., J. Langbein, C. Schmied, D. Lexer, et S. Waiblinger. 2005. Heart rate variability in dairy cows—influences of breed and milking system. *Physiology & Behavior*. **85**:195–204.
- Halasa, T., K. Huijps, O. Østerås, et H. Hogeveen. 2007. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Veterinary Quarterly*. **29**:18–31.
- Hale, S.A., A.V. Capuco, et R.A. Erdman. 2003. Milk yield and mammary growth effects due to increased milking frequency during early lactation. *J. Dairy Sci.* **86**:2061–2071.
- Hamann. 2005. Diagnosis of mastitis and indicators of milk quality. *In Mastitis in Dairy Production: Current Knowledge and Future Solutions*. Wageningen Academic Pub. 82–90.
- Hamann, J., et A. Zecconi. 1998. Evaluation of the electrical conductivity of milk as a mastitis indicator. *International Dairy Federation*. **334**:1–26.
- Harmon, R.J. 1994. Physiology of Mastitis and Factors Affecting Somatic Cell Counts. *Journal of Dairy Science*. **77**:2103–2112.
- Hillerton, J.E. 1999. Redefining mastitis based on somatic cell count. *In International Dairy Federation. Quality and safety of raw milk and its impact on milk and milk products*. Athens. **345**:4–6.
- Hiss, S., U. Mueller, A. Neu-Zahren, et H. Sauerwein. 2007. Haptoglobin and lactate dehydrogenase measurements in milk for the identification of subclinically diseased udder quarters. *Veterinarni Medicina - UZPI*. **52**:245–252.
- Hogeveen, H., et W. Ouweltjes. 2002. Mastitis Therapy and Control - Automatic On-Line Detection of Abnormal Milk. *In Encyclopedia of Dairy Sciences*. Editeur : Hubert Roginski, Ed. Elsevier, Oxford. 1735–1740.
- Hovinen, M., A.-M. Aisla, et S. Pyörälä. 2006. Accuracy and reliability of mastitis detection with electrical conductivity and milk colour measurement in automatic milking. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*. **56**:121–127.
- Hovinen M. 2009. Udder health of dairy cows in automatic milking. Thèse académique de l'Université d'Helsinki. 94 pp.
- Hovinen, M., et S. Pyörälä. 2011. Invited review: udder health of dairy cows in automatic milking. *J. Dairy Sci.* **94**:547–562.

- Huijps, K., H. Hogeveen, T.J.G.M. Lam, et R.B.M. Huirne. 2009. Preferences of cost factors for mastitis management among Dutch dairy farmers using adaptive conjoint analysis. *Prev. Vet. Med.* **92**:351–359.
- Institut de l'élevage et Allain C. 2012. Robots de traite : le déploiement continue. <http://www.idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/robots-de-traite-le-deploiement-continue.html>. Site internet consulté le 20 Juin 2013
- Institut de l'élevage. 2012. Résultats de contrôle laitier – France 2012. <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/resultats-de-controle-laitier-france-2012-1.html>. Site internet consulté le 15 Juin 2013
- International Dairy Federation. 1999. Suggested Interpretation of Mastitis Terminology. FIL/IDF. 57 pp.
- Ipema, A.H., et Schuiling, E. 1992. Free fatty acids; influence of milking frequency. *In* Prospects for automatic milking: proceedings of the International Symposium on Prospects for Automatic Milking, Wageningen, Netherlands, 23-25 November 1992. Pudoc Scientific Publishers. 491–496.
- Jacobs, J.A., et J.M. Siegford. 2012a. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science.* **95**:2227–2247.
- Jacobs, J.A., et J.M. Siegford. 2012b. Dairy cow behavior affects the availability of an automatic milking system. *Journal of Dairy Science.* **95**:2186–2194.
- Jago, J.G., K.L. Davis, P.J. Copeman, I. Ohnstad, et M.M. Woolford. 2007. Supplementary feeding at milking and minimum milking interval effects on cow traffic and milking performance in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Research.* **74**:492–499.
- Janžekovič, M., M. Brus, B. Muršec, P. Vindiš, D. Stajnko, et F. Čuš. 2009. Mastitis detection based on electric conductivity of milk. *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering.* **34**:39–46.
- Jensen, T. 2004. Expectations of automatic milking and the realized socio-economic effects. *In* Automatic Milking: A Better Understanding. Wageningen Academic Pub. 78–79.
- Kalantari, A., S. Safi, et A.R. Foroushani. 2013. Milk lactate dehydrogenase and alkaline phosphatase as biomarkers in detection of bovine subclinical mastitis. *Annals of Biological Research.* **2**:302–307.
- Kamphuis, C., D. Pietersma, R. van der Tol, M. Wiedemann, et H. Hogeveen. 2008a. Using sensor data patterns from an automatic milking system to develop predictive variables for classifying clinical mastitis and abnormal milk. *Computers and Electronics in Agriculture.* **62**:169–181.
- Kamphuis, C., R. Sherlock, J. Jago, G. Mein, et H. Hogeveen. 2008b. Automatic detection of clinical mastitis is improved by in-line monitoring of somatic cell count. *J. Dairy Sci.* **91**:4560–4570.

- Kato, K., K. Mori, et N. Katoh. 1989. Contribution of leucocytes to the origin of lactate dehydrogenase isozymes in milk of bovine mastitis. *Nippon Juigaku Zasshi*. **51**:530–539.
- Kelly A. L. 2002. Test and standards. *In Encyclopedia of Dairy Sciences*. 1995–2001.
- Ketelaar-de Lauwere, C., M.M.W.. Hendriks, J.H.. Metz, et W.G.. Schouten. 1998. Behaviour of dairy cows under free or forced cow traffic in a simulated automatic milking system environment. *Applied Animal Behaviour Science*. **56**:13–28.
- Kitchen, B.J., W.S. Kwee, G. Middleton, et R.J. Andrews. 1984. Relationship between the level of N-acetyl- β -D-glucosaminidase (NAGase) in bovine milk and the presence of mastitis pathogens. *Journal of Dairy Research*. **51**:11–16.
- Klej, L.R., J.M. Lynch, D.M. Barbano, P.A. Oltenacu, A.J. Lednor, et D.K. Bandler. 1997. Influence of Milking Three Times a Day on Milk Quality. *Journal of Dairy Science*. **80**:427–436.
- Klungel, G.H., B.A. Slaghuis, et H. Hogeveen. 2000. The Effect of the Introduction of Automatic Milking Systems on Milk Quality. *Journal of Dairy Science*. **83**:1998–2003.
- de Koning, K. 2002. Milking Machines, Robotic Milking. *In Encyclopedia of Dairy Sciences*. Éditeur : Hubert Roginski, Ed. Elsevier, Oxford. 2039–2045.
- Kruip, T.A.M., H. Morice, M. Robert, et W. Ouweltjes. 2002. Robotic Milking and Its Effect on Fertility and Cell Counts. *Journal of Dairy Science*. **85**:2576–2581.
- Landin, H., M. Mörk, et G. Pettersson. 2012. Udder health in herds with automatic milking. *In Udder Health and Communication*. H. Hogeveen et T.J.G.M. Lam, editors. Wageningen Academic Publishers. 385–390.
- Larsen, T. 2005. Determination of lactate dehydrogenase (LDH) activity in milk by a fluorometric assay. *J. Dairy Res*. **72**:209–216.
- Leclerc, H., B. Huquet, X. Bourrigan, G. Thomas, et D. Saunier. 2012. Analysis of the accuracy of protocols in robotic milking herds for estimation of 24-hour fans and protein.
- Lely, 2013. <http://www.lely.com/fr/conseil-en-elevage/nouveaux-rapports-sante-mamelle>. Site internet consulté le 10 Septembre 2013
- Lippolis, J.D., et T.A. Reinhardt. 2005. Proteomic survey of bovine neutrophils. *Vet. Immunol. Immunopathol*. **103**:53–65.
- Lusis, I., et V. Antane. 2010. Effectiveness of somatic cell count determination in the milking robots. Engineering for rural development. Jelgava. Lettonie.
- Maasen-Francke B., Wiethoff M., Suhr O., Clemens C., et Knoll A. 2004. A method to detect flakes and clots in milk in automatic milking systems. in Automatic milking: a better understanding. Conference Proceedings, Lelystad, Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 251–252.

- Maatje, K., P.J.M. Huijsmans, W. Rossing, et P.H. Hogewerf. 1992. The efficacy of in-line measurement of quarter milk electrical conductivity, milk yield and milk temperature for the detection of clinical and subclinical mastitis. *Livestock Production Science*. **30**:239–249.
- Mabrook, M.F., et M.C. Petty. 2003. Effect of composition on the electrical conductance of milk. *Journal of Food Engineering*. **60**:321–325.
- Mansell, P.D., et A. Seguya. 2003. The use of a hand-held conductivity meter for the diagnosis of subclinical mastitis in dairy cows during late lactation. *N Z Vet J*. **51**:21–25.
- Mazeris. 2012. DeLaval Herd Navigator proactive herd management. The First North American Conference on Precision Dairy Management. Toronto, Canada. 26–27.
- Miller, et Paape. 1993. The Relationship of Milk Somatic Cell Count to Milk Yields. *Journal of Dairy Science*. **76**:728–733.
- Miller, R.H., L.A. Fulton, B. Erez, W.F. Williams, et R.E. Pearson. 1995. Variation in Distances Among Teats of Holstein Cows: Implications for Automated Milking. *Journal of Dairy Science*. **78**:1456–1462.
- Milner, P., K.L. Page, et J.E. Hillerton. 1997. The effects of early antibiotic treatment following diagnosis of mastitis detected by a change in the electrical conductivity of milk. *J. Dairy Sci*. **80**:859–863.
- Mohammadian B. 2011. The Effect of Subclinical Mastitis on Lactate Dehydrogenase in Dairy Cows. *International Journal of Animal and Veterinary Advances*. 3:161–163.
- De Mol, R.M., A. Keen, G.H. Kroeze, et J.M.F.H. Achten. 1999. Description of a detection model for oestrus and diseases in dairy cattle based on time series analysis combined with a Kalman filter. *Computers and Electronics in Agriculture*. **22**:171–185.
- Mollenhorst, H., L.J. Rijkaart, et H. Hogeveen. 2012. Mastitis alert preferences of farmers milking with automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. **95**:2523–2530.
- Mulder, H.A., A.F. Groen, G. De Jong, et P. Bijma. 2004. Genotype × Environment Interaction for Yield and Somatic Cell Score with Automatic and Conventional Milking Systems. *Journal of Dairy Science*. **87**:1487–1495.
- Munksgaard, L., J. Rushen, A.M. de Passillé, et C.C. Krohn. 2011. Forced versus free traffic in an automated milking system. *Livestock Science*. **138**:244–250.
- Neijenhuis, F., Hogeveen, H., et Heinen, J.W.G. 2010. Risk factors for udder health when milking with an automatic milking system. Wellington, Nouvelle-Zélande.
- Nielen, M., Y.H. Schukken, J. Van de Broek, A. Brand, H.A. Deluyker, et K. Maatje. 1993. Relations between on-line electrical conductivity and daily milk production on a low somatic cell count farm. *J. Dairy Sci*. **76**:2589–2596.
- Norberg, E., H. Hogeveen, I.R. Korsgaard, N.C. Friggens, K.H.M.N. Sloth, et P. Løvendahl. 2004. Electrical Conductivity of Milk: Ability to Predict Mastitis Status. *Journal of Dairy Science*. **87**:1099–1107.

- Ordloff D. 2001. Introduction of electronics into milking technology. *Comput. Electron. Agric.* **30**:125–149.
- Paape, M.J., et B.T. Weinland. 1988. Effect of Abraded Intramammary Device on Milk Yield, Tissue Damage, and Cellular Composition. *Journal of Dairy Science.* **71**:250–256.
- Paape, M.J., D.D. Bannerman, X. Zhao, et J.-W. Lee. 2003. The bovine neutrophil: Structure and function in blood and milk. *Vet. Res.* **34**:597–627.
- Pannen, et Robotham. 1995. The acute-phase response. *New Horiz.* **3**:183–197.
- Pemberton, R.M., J.P. Hart, et T.T. Mottram. 2001. An assay for the enzyme N-acetyl-beta-D-glucosaminidase (NAGase) based on electrochemical detection using screen-printed carbon electrodes (SPCEs). *Analyst.* **126**:1866–1871.
- Poelarends, J.J., O.C. Sampimon, et F. Neijenhuis. 2004. Cow factors related to the increase of somatic cell count after introduction of automatic milking. in *Automatic milking: a better understanding. Conference Proceedings, Lelystad, Netherlands. Wageningen Academic Publishers.* 148–154.
- Portier, M. 2012. Le robot poursuit son irresistible progression. *Réussir Lait.* 156–158.
- Pyörälä, S. 2003. Indicators of inflammation in the diagnosis of mastitis. *Vet. Res.* **34**:565–578.
- Rasmussen, M., J. Yde Blom, L. Arne Hjort Nielsen, et P. Justesen. 2001. Udder health of cows milked automatically. *Livestock Production Science.* **72**:147–156.
- Rasmussen, M.D., M. Bjerring, et F. Skjøth. 2005a. Visual appearance and CMT score of foremilk of individual quarters in relation to cell count of cows milked automatically. *J. Dairy Res.* **72**:49–56.
- Rasmussen, M.D., et M. Bjerring. 2005b. Visual scoring of milk mixed with blood. *J. Dairy Res.* **72**:257–263.
- Raynes, J.G. 2010. The Acute Phase Response. In *Topley & Wilson's Microbiology and Microbial Infections.* John Wiley & Sons, Ltd.
- Recensement Agricole Agreste. 2010. <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/recensement-agricole-2010> . Site web consulté le 20 décembre 2013
- Remond, B., Pomiès, D., Julien, C., et Pradel, P. 2006. Effets de faibles écarts de temps entre les deux traites de la journée sur la quantité de lait produite et sa composition, chez la vache laitière. *Rencontre Recherche Ruminants.* Paris. 365–369.
- Remy, D. 2010. *Les mammites.* France Agricole Editions. 262 pp.
- Rodenburg, J. 2002. Robotic milkers: What, where...and how much?!?!? Ohio Dairy Management Conference. Proceeding. Ohio. USA. 1–18.

- Rushen, J., A.M.B. de Passillé, et L. Munksgaard. 1999. Fear of People by Cows and Effects on Milk Yield, Behavior, and Heart Rate at Milking. *Journal of Dairy Science*. **82**:720–727.
- Schepers, J.A., et A.A. Dijkhuizen. 1991. The economics of mastitis and mastitis control in dairy cattle: a critical analysis of estimates published since 1970. *Preventive Veterinary Medicine*. **10**:213–224.
- Seegers, H., C. Fourichon, et F. Beaudeau. 2003. Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Vet. Res.* **34**:475–491.
- Slaghuis, B.A., K. Bos, O. de Jong, A.J. Tudos, M.C. te Giffel, K. de Koning, A. Meijering, H. Hogeveen, et C.J.A.M. de Koning. 2004. Robotic milking and free fatty acids. in Automatic milking: a better understanding. Conference Proceedings, Lelystad, Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 341–347.
- Smolenski, G., S. Haines, F.Y.-S. Kwan, J. Bond, V. Farr, S.R. Davis, K. Stelwagen, et T.T. Wheeler. 2007. Characterisation of host defence proteins in milk using a proteomic approach. *J. Proteome Res.* **6**:207–215.
- Sordillo, L.M., et K.L. Streicher. 2002. Mammary gland immunity and mastitis susceptibility. *J Mammary Gland Biol Neoplasia*. **7**:135–146.
- Spahr, S.L., et E. Maltz. 1997. Herd management for robot milking. *Computers and electronics in agriculture*. **17**:53–62.
- Spreer, E., et A. Mixa. 1998. Milk and Dairy Product Technology. Marcel Dekker. 506 pp.
- Steenefeld, W., L.C. van der Gaag, H.W. Barkema, et H. Hogeveen. 2010a. Simplify the interpretation of alert lists for clinical mastitis in automatic milking systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. **71**:50–56.
- Steenefeld, W., L.C. van der Gaag, W. Ouweltjes, H. Mollenhorst, et H. Hogeveen. 2010b. Discriminating between true-positive and false-positive clinical mastitis alerts from automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. **93**:2559–2568.
- Steenefeld, W., H. Hogeveen, H.W. Barkema, J. van den Broek, et R.B.M. Huirne. 2008. The Influence of Cow Factors on the Incidence of Clinical Mastitis in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. **91**:1391–1402.
- Stefanon, B., M. Colitti, G. Gabai, C.H. Knight, et C.J. Wilde. 2002. Mammary apoptosis and lactation persistency in dairy animals. *J. Dairy Res.* **69**:37–52.
- Stelwagen, K. 2001. Effect of Milking Frequency on Mammary Functioning and Shape of the Lactation Curve. *J. Dairy Sci.* **84**:204–211.
- Svennersten-Sjaunja, K., I. Berglund, G. Pettersson, H. Hogeveen, et A. Meijering. 2000. The milking process in an automatic milking system, evaluation of milk yield, teat condition and udder health. Robotic milking: Proceedings of the International Symposium held in Lelystad, The Netherlands. Wagening Academic Publishers. 277–288.

- Svennersten-Sjaunja, K.M., et G. Pettersson. 2008. Pros and cons of automatic milking in Europe. *J. Anim. Sci.* **86**:37–46.
- Taponen, S., L. Salmikivi, H. Simojoki, M.T. Koskinen, et S. Pyörälä. 2009. Real-time polymerase chain reaction-based identification of bacteria in milk samples from bovine clinical mastitis with no growth in conventional culturing. *J. Dairy Sci.* **92**:2610–2617.
- Veysset, P., P. Wallet, E. Prugnard, A. Rosati, S. Mihina, et C. Mosconi. 2001. Automatic milking systems: characterising the farms equipped with AMS, impact and economic simulations. International Committee for Animal Recording (ICAR). 141–150.
- Viguer, C., S. Arora, N. Gilmartin, K. Welbeck, et R. O’Kennedy. 2009. Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends in Biotechnology.* **27**:486–493
- Wade, K.M., M.A.P.M. van Asseldonk, P.B.M. Berentsen, W. Ouweltjes, H. Hogeveen, A. Meijering, H. Hogeveen, et C.J.A.M. de Koning. 2004. Economic efficiency of automatic milking systems with specific emphasis on increases in milk production. Automatic milking: a better understanding. Conference Proceedings, Lelystad, Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 62–67.
- Wagner-Storch, A.M., et R.W. Palmer. 2003. Feeding Behavior, Milking Behavior, and Milk Yields of Cows Milked in a Parlor Versus an Automatic Milking System. *Journal of Dairy Science.* **86**:1494–1502.
- Wiedemann, M., et G. Wendl. 2004. The use of spectral photometry for detection of mastitis milk. Wageningen Academic Publishers. 228–234.
- Woolford, M.W., R.W. Claycomb, J. Jago, K. Davis, I. Ohnstad, R. Wieliczko, P.J.A. Copeman, K. Bright, A. Meijering, H. Hogeveen, et C.J.A.M. de Koning. 2004. Automatic dairy farming in New Zealand using extensive grazing systems. Automatic milking: a better understanding. Conference Proceedings, Lelystad, Netherlands. Wageningen Academic Publishers. 280–285.
- Zhao, X., et P. Lacasse. 2008. Mammary tissue damage during bovine mastitis: causes and control. *J. Anim. Sci.* **86**:57–65.

Annexe 1 : Le type de mammites détecté en fonction de la méthode de détection

Méthode de détection	Type de mammites détecté	Sources
Conductivité	- Mammites subcliniques (en partie) -Mammites cliniques	Hovinen, 2009 ; Janzekovic 2009
Comptage des cellules somatiques par quartier	- Mammites subcliniques -Mammites cliniques	Hovinen, 2009
Couleur du lait	-Mammites cliniques	Trilk <i>et al.</i> , 2006
LDH	- Mammites subcliniques -Mammites cliniques	Kalantari <i>et al.</i> , 2013 Mohammadian, 2011
CMT	-Mammites subcliniques -Mammites cliniques	Rasmussen <i>et al.</i> , 2005b

Annexe 2 : Explications des tableaux de détection des mammites pour les éleveurs utilisateurs de robot de traite Lely (Lely, 2013)

Rapports « 12 et 23 Santé Mamelle »

Nouveaux rapports 12 et 23 dans T4C : visibilité des cas Cliniques et Chroniques :

Le changement majeur est la division de l'ancien rapport 12 Santé mamelle en deux rapports, qui permet une distinction entre un rapport de travail (12 Santé Mamelle Clinique) contenant des informations indispensables et nécessaires ; et un rapport d'analyse (23 Santé Mamelle Analyse) qui affiche des informations importantes et utiles. Le but final est d'éviter l'apparition de vaches qui deviennent « problématiques » suite à une trop longue présence dans l'ancien rapport Santé mamelle...

Rapport 12: « Santé Mamelle Clinique » :

Les vaches avec une nouvelle attention apparaissent dans ce rapport et nécessitent une action concrète et immédiate de l'éleveur. Une nouvelle attention apparaît s'il n'y a pas eu d'autres attentions similaires dans les dernières 24h. Si cette attention est encore valable au-delà de 24h, la vache sera envoyée dans le rapport 23 Santé Mamelle Analyse.

Quand une traite se passe sans attention, la vache disparaît de ce rapport 12 Santé Mamelle Clinique.

Comptage:8																			Traite - Santé Mamelle Clinique				
N° d'animal	Robot	N° de groupe	Date heure visite de traite	AvG		AvD		ArG		ArD		Att. Echec de traite	Déviation de la production de lait des dernières 24 heures	Cell Count Udder	Production de lait des dernières 24 heures	Jours de lactation	Nb Att. qualité lait						
				Cond	Att.	Cond	Att.	Cond	Att.	Cond	Att.												
227	102	25	24/07/13 14:27	73	[M]	73	[M]	75	[M]	73	[M]		2,0		20,7	234	15						
228	101	1	24/07/13 08:06	0	[M]	69	[M]	71	[M]	72	[M]		-5,5		15,7	230	48						
2506	101	25	24/07/13 10:57	78	[M]	95	[M]	0	[M]	95	[M] Mammité		-20,3		6,4	74	14						
3298	101	25	24/07/13 05:31	77	[M]	74	[M]	75	[M]	74	[M]		0,4		33,9	244	45						
4517	101	3	24/07/13 10:24	73	[M]	75	[M]	70	[M]	68	[M]		-0,1		24,6	329	19						
4521	102	3	24/07/13 07:57	71	[M]	71	[M]	73	[M]	71	[M]		1,2		31,5	16	40						
4553	102	3	24/07/13 13:26	65	[M]	66	[M]	65	[M]	65	[M]		0,5		42,7	6	42						
7435	102	3	24/07/13 11:54	74		74		69		69			-7,5		18,8	189	1						

Rapport avec dernière couleur, conductivité et/ou attention de comptage cellulaire depuis X dernières heures

Comptage cellulaire =

- I: 0 - 200
- II: 200 - 400
- III: 400 - 600
- IV: 600 - 1000
- V: > 1000

Rapport 23: « Santé Mamelle Analyse » :

Ce rapport inclut toutes les vaches avec une attention en cours (nouvelle ou pas), et où un contrôle de l'animal est recommandé. Quand une traite se passe sans attention, la vache disparaît de ce rapport 23 Santé Mamelle Analyse.

Si la vache n'est pas repassée à la traite dans les 24h après la première attention, elle reste dans les rapports 12 Santé Mamelle Clinique et 23 Santé Mamelle Analyse.

Comptage:12																				Traite - Santé Mamelle Analyse	
N° d'animal	Robot	N° de groupe	Date heure visite de traite	AvG		AvD		ArG		ArD		Att. Echec de traite	Déviation de la production de lait des dernières 24 heures	Cell Count Udder	Production de lait des dernières 24 heures	Jours de lactation	Nb Att. qualité lait				
				Cond	Att.	Cond	Att.	Cond	Att.	Cond	Att.										
227	102	25	24/07/13 14:27	73	[M]	73	[M]	75	[M]	73	[M]		2,0		20,7	234	15				
228	101	1	24/07/13 08:06	0	[M]	69	[M]	71	[M]	72	[M]		-5,5		15,7	230	48				
265	102	1	24/07/13 14:03	68		67		82		70			2,5		28,2	3	9				
2506	101	25	24/07/13 10:57	78	[M]	105	[M]	0	[M]	95	[M] Mammeza		-20,3		6,4	74	14				
2640	102	25	24/07/13 11:12	62		69		86		0			-1,3		12,6	458	16				
2695	102	3	24/07/13 10:32	85		71		0		70			-0,1		29,2	191	3				
3298	101	25	24/07/13 05:31	77	[M]	74	[M]	75	[M]	74	[M]		0,4		33,9	244	45				
4517	101	3	24/07/13 10:24	73	[M]	75	[M]	70	[M]	68	[M]		-0,1		24,6	329	19				
4521	102	3	24/07/13 07:57	71	[M]	71	[M]	73	[M]	71	[M]		1,2		31,5	16	40				
4522	102	1	24/07/13 10:07	99		81		69		69			-2,9		18,3	426	3				
4553	102	3	24/07/13 13:26	65	[M]	66	[M]	65	[M]	65	[M]		0,5		42,7	6	42				
7435	102	3	24/07/13 11:54	74		74		69		69			-7,5		18,8	189	1				

Rapport avec dernière couleur, conductivité et/ou attention de comptage cellulaire depuis X dernières heures

Comptage cellulaire =

I: 0 - 200
 II: 200 - 400
 III: 400 - 600
 IV: 600 - 1000
 V: > 1000

Changements dans la forme du rapport :

Seule la couleur rouge est utilisée, elle indique le paramètre qui a généré l'attention sur l'animal, et donc sa présence dans le rapport, et permet d'identifier rapidement la cause du problème. Ce même code couleur rouge est repris dans la Carte de Vache. Le champ « Echecs » est ajouté au rapport par défaut pour afficher les animaux en échec de traite.

Les indications des classes cellulaires affichées dans les 2 rapports varient selon le type de capteur lié au robot :

A3 : (en milliers de cellules par mL)

I: 0 - 200

II: 200 - 400

III: 400 - 800

IV: 800 - 2000

V: > 2000

A4 : (en milliers de cellules par mL)

I: 0 - 200

II: 200 - 400

III: 400 - 600

IV: 600 - 1000

V: > 1000

Comment sont générées les attentions ?

La **figure 1** récapitule les différentes attentions pour laquelle une vache apparaît dans le rapport 12 Santé Mamelles Clinique.

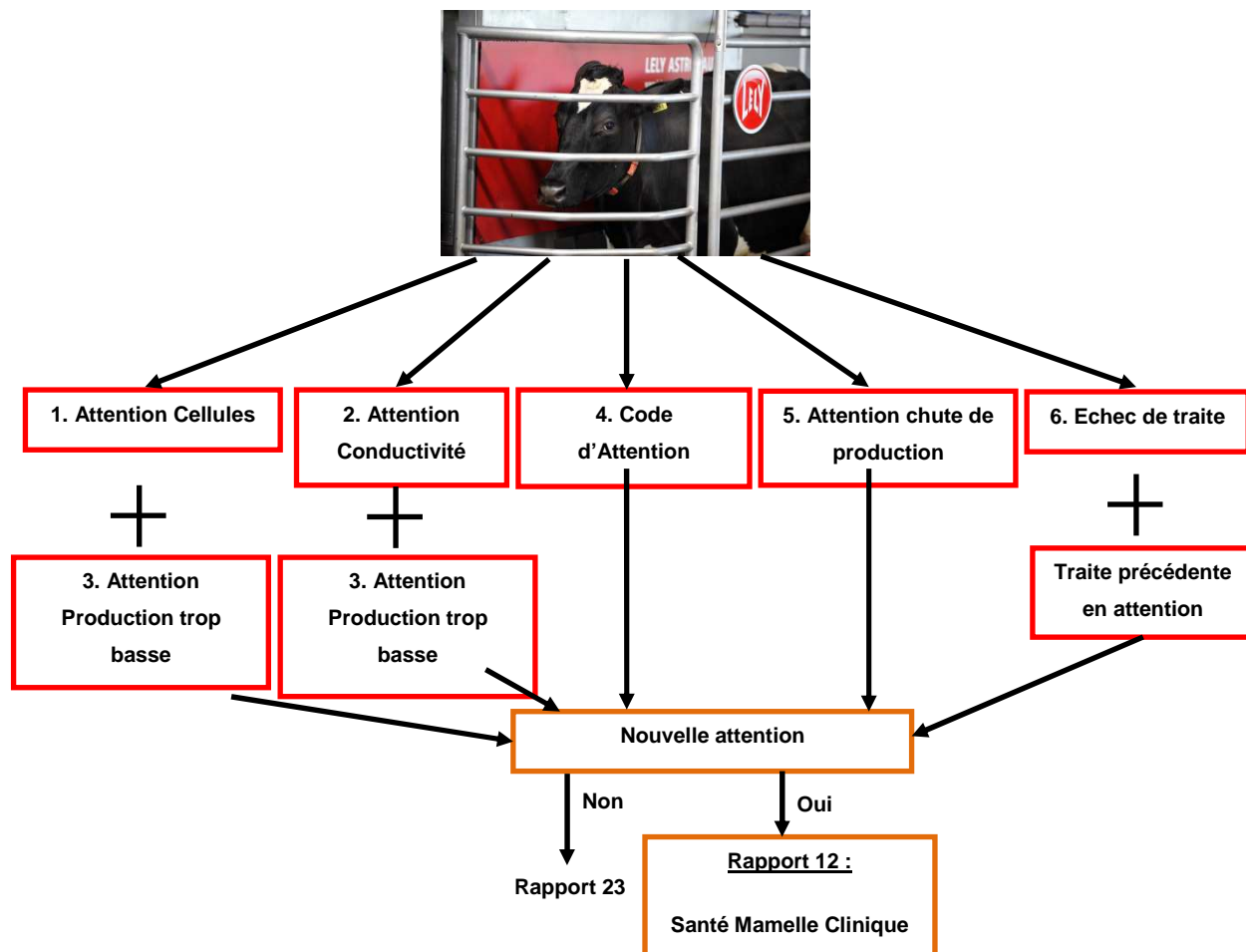


Figure 1

Lorsqu'une attention reste plus de 24h (et sans apparition d'une nouvelle attention), la vache apparaîtra dans le rapport 23 Santé Mamelles Analyse. Si une nouvelle attention apparaît, la vache restera dans le rapport 12 Santé Mamelles Clinique. Si une attention sur comptage cellulaire ou sur conductivité apparaît mais sans attention production trop basse, la vache apparaîtra dans le rapport 23 Santé Mamelles Analyse. Cette attention sur comptage cellulaire n'est effective que pour les éleveurs équipés d'un capteur MQCC.

La figure 2 récapitule les différentes attentions pour laquelle une vache apparaît dans le rapport 23 Santé Mamelles Analyse.

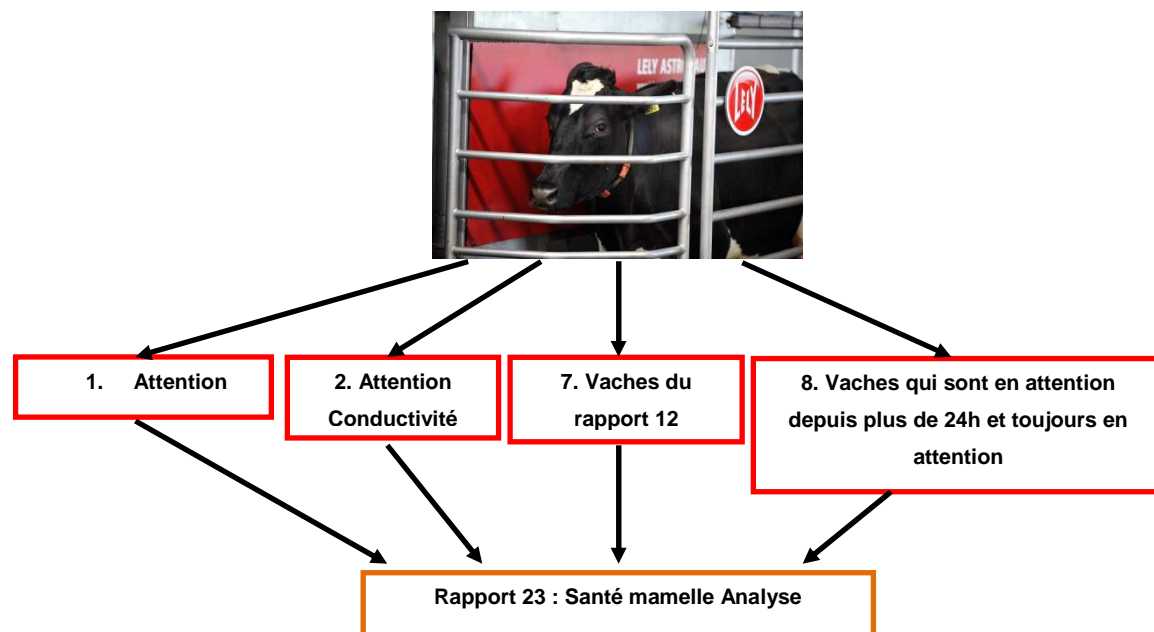


Figure 2


Quand une vache est traite et obtient une attention, deux options sont possibles : selon les différents types d'attention et selon si l'attention est nouvelle, la vache peut apparaître dans les rapports 12 et 23 ou seulement dans le rapport 23. Une attention sur comptage cellulaire n'est effective que pour les éleveurs équipés d'un capteur MQCC.

Nouveaux réglages

Pour générer des attentions, deux nouveaux réglages apparaissent en plus des autres paramètres déjà présents dans T4C : pour cela, aller sur *Entrée de données – Paramètres – Traite - Attention* :

Seuil de conductivité absolu : si une vache dépasse ce seuil sur un quartier, une attention conductivité est générée (par défaut 100).

Afficher toutes les vaches avec une chute de production journalière de lait supérieure à X Kg : une vache recevra une attention dès lors que sa chute de production laitière est supérieure au seuil indiqué (par défaut 7kg).

LELY T4C - Time for Cow Troupeau actif : Troupeau | [Changer de troupeau](#)  Innovators in agriculture

Traite Tâche de tri Activité

Général Pré-traite Pendant la traite Post-traite Accès à l'Astronaut **Attention** Gestion des retards

Démarrage

Entrées de données

Entrée journalière

Groupes

Bibliothèques

Paramètres

Analyses/ Listes

Exportation de données

Configuration

Maintenance

E-learning

	Paramètres de la ferme	Paramètres Lely par défaut		Paramètres de la ferme	Paramètres Lely par défaut
Baisse de lait					
Écart maximum autorisé par rapport à la production sur 24 heures ((KG))	<input type="text" value="4.0"/>	4,0	Température	Facteur de déviation (température) (%)	<input type="text" value="20.0"/> %
Écart maximum autorisé par rapport à la production sur 24 heures (%)	<input type="text" value="20"/> %	20	Echantillonnage lait	Nbre mini d'échantillons	<input type="text" value="1"/>
Comptage cellulaire					
Limite d'attentions	<input type="text" value="10"/>	8	Poids	Attention changement de poids total	<input type="text" value="8.0"/> %
Limite d'attentions pour cas chronique	<input type="text" value="24"/>	24	Attention sur tendance changement de poids	<input type="text" value="0.8"/> %	0,8
Conductivité	<input type="text" value="1"/>		Attention quand poids moyen est le poids de départ (Oui/Non)	<input checked="" type="checkbox"/>	Yes
Valeur de seuil pour une attention mesures (%)	<input type="text" value="20"/> %	20	Attention quand poids moyen est supérieur au poids de départ (%)	<input type="text" value="10"/> %	10
Valeur de seuil pour une attention sur la moyenne glissante (%)	<input type="text" value="20"/> %	20			
Seuil de conductivité absolu	<input style="border: 2px solid green;" type="text" value="100"/>	100			
Santé mamelle					
Afficher séparation lait manuelle (Oui/Non)	<input checked="" type="checkbox"/>	Yes			
Afficher toutes les vaches avec une chute de production journalière de lait supérieure à X Kg	<input style="border: 2px solid green;" type="text" value="7"/>	7			

Questionnaire à destination des éleveurs pour la thèse de Martin LEGRU

Je m'appelle Martin LEGRU, étudiant vétérinaire à l'école d'Alfort.
Je réalise cette enquête dans le cadre de ma thèse de fin d'études.

Elle vise à mieux connaître les changements de pratiques de suivi de la qualité du lait par les éleveurs passés en traite robotisée. Ces données devraient permettre à la profession vétérinaire d'adapter ses pratiques dans les « suivis des mammites et/ou de la qualité du lait » proposés à sa clientèle.

Toutes les données resteront strictement anonymes dans la thèse.
Remplir ce questionnaire devrait vous prendre environ 20 minutes.
Merci beaucoup d'avance pour votre participation.

Ce questionnaire est à renvoyer à l'adresse suivante :

Martin LEGRU
29, route des grandes vallées
77123 NOISY SUR ECOLE

Je vous rappelle que vous avez également la possibilité de le remplir sur internet à l'adresse suivante :

<http://edu.surveymoz.com/s3/1208942/Robot-de-Traite>

1 – Coordonnées de l'élevage

1.1 Statut et nom (exemple : GAEC Dupont)

1.2 Adresse

1.3 e mail et/ou téléphone (*facultatif, mais cependant très utile si j'ai un complément d'informations à vous demander...*)

2 – Le troupeau

2.1 Race(s) :

2.2 L'élevage est-il inscrit à l'UPRA (*cocher la bonne case*) ? oui non

2.3 Nombre moyen de vaches en production (campagne 2012-2013) :

2.4 Niveau d'étable moyen :kg de lait par VL (campagne :)

3 – Le robot de traite

3.1 Date de mise en service du robot :

3.2 Marque / modèle / année du modèle :

3.3 Nombre de stalles de traite :

3.4 Eléments de base ou optionnels installés pour suivre la qualité du lait et/ou la santé des mamelles (écrire néant si aucun élément)

- Suivi du TP et du TB :

- Suivi des taux cellulaires par vache

- Détection des mammites

4 – Eléments de santé du troupeau

4.1 Ecrire les trois taux cellulaires de lait de tank les plus récents disponibles sur les bordereaux de paiement de la laiterie (taux en cellules par ml / mois / année)

- taux 1 :/...../.....
- taux 2 :/...../.....
- taux 3 :/...../.....

4.2 Estimation du nombre de mammites traitées au cours de la campagne 2012-2013 :

4.3 Estimation du nombre d'acidoses, acétonémies et déplacements de caillette traités au cours de la campagne 2012-2013

5 – Suivi technique du troupeau, hors robot

5.1 Inscription au Contrôle Laitier

- Avant le robot
Inscription ? (*cocher la bonne case*) : oui non
Si oui, quel type de CL ?

- Avec le robot
Inscription ? (*cocher la bonne case*) : oui non
Si oui, quel type de CL ?
Si non, date d'arrêt du CL ?
Quels sont les motifs de cet arrêt ?

5.2 Suivi technique contractuel par votre vétérinaire traitant

- Avant le robot
Existence d'un suivi ? (*cocher la bonne case*) : oui non
Si oui, quel type (mammites/qualité du lait/reproduction, etc...) ?

- Avec le robot
Existence d'un suivi ? (*cocher la bonne case*) : oui non
Si oui, quel type (mammites/qualité du lait/reproduction, etc...) ?

Si oui, nom et prénom du vétérinaire :
Si non, date d'arrêt ?
Quels sont les motifs de cet arrêt ?

6 – Suivi santé des mamelles du troupeau, avec le robot

6.1 Critères et seuils d'alertes choisis (écrire « nom du critère » / « seuil d'alerte choisi », par exemple : Variation de la conductivité du quartier / + 15%)

- Critère N°1 : /
- Critère N°2 : /
- Critère N°3 : /
- Critère N°4 : /

- Critère N°5 : /
- Critère N°6 : /
- Critère N°7 : /

6.2 A l'usage, les seuils actuellement choisis vous semblent-ils corrects (*cocher la bonne case*)

- | | |
|---|--------------------------|
| Trop de faux positifs (Vache considérée comme infectée alors qu'elle est saine) | <input type="checkbox"/> |
| Corrects <input type="checkbox"/> | |
| Trop de faux négatifs (vache considérée saine alors qu'elle est infectée) | <input type="checkbox"/> |

Commentaire libre :

Encore merci pour votre participation

Pour me joindre en cas de question à propos du questionnaire :

Martin Legru : mlegru@etudiants.vet-alfort.fr

Élevage	Marque	Nombre de VL en production	Race (N : Normande ; PH : Prim' Holstein)	Niveau d'étable moyen (en kg de lait)	Nombre de stalles	Année installation
1	DeLaval	42	PH	11500	1	2006
2		55	PH	10800	1	2009
3		58	PH/N	8500	1	2008
4		62	N	8200	1	2011
5		64	PH/N	8900	1	2009
6		68	PH	10500	1	2006
7		75	PH	10500	2	2010
8		100	PH	10700	2	2009
9		112	PH/N	8200	2	2010
10	Lely	40	N	8300	1	2011
11		45	N	9100	1	2012
12		50	PH	9000	1	2009
13		53	PH	11000	1	2006

Élevage	Détection des mammites							
	Mesure TB/TP	Comptage cellulaire par quartier	CMT automatisé par quartier	Conductimétrie			Colorimétrie	
				Utilisation pour la détection des mammites	Seuil utilisé (augmentation, par rapport aux autres quartiers)	Hierarchisation du critère	Utilisation pour la détection des mammites	Hierarchisation du critère
1	-	-		Oui		3ème	<i>Non précisé</i>	
2	Oui	-		Oui	8%	1er	<i>Non précisé</i>	
3	-	-		Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
4	Oui	-		Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
5	Oui	-		Oui	8%	1er	<i>Non précisé</i>	
6	-	-		Oui		3ème	<i>Non précisé</i>	
7	Oui	-		Oui	10%	1er	<i>Non précisé</i>	
8	Oui	-		Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
9	Oui	Oui		Oui	8%	1er	<i>Non précisé</i>	
10	Oui		-	Oui	20%	1er	Oui	2ème
11	Oui		-	Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
12	Oui		-	Oui	10%	1er	<i>Non précisé</i>	
13	-		-	Oui		1er	Oui	3ème

Élevage	Détection des mammites							Profil méthodologique de détection des mammites
	Intervalle de traite			Production par quartier			Autre critère utilisé pour la détection des mammites et hiérarchisation du critère	
	Utilisation pour la détection	Seuil utilisé (entre 2 traites consécutives)	Hiérarchisation du critère	Utilisation pour la détection	Seuil utilisé (baisse)	Hiérarchisation du critère		
1	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème	Traite incomplète - 1er critère	D2
2	<i>Non précisé</i>			Oui	20%	2ème		D1b
3	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème	Mdi - 3ème critère	D1a
4	<i>Non précisé</i>			Oui	20%	2ème	Mdi - 3ème critère	D1a
5	<i>Non précisé</i>			Oui	20%	2ème		D1b
6	Oui	>15h	2ème	<i>Non précisé</i>			Mdi - 1er critère	autre
7	<i>Non précisé</i>			Oui	30%	2ème		D1b
8	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème	Mdi - 3ème critère	D1a
9	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème	Mdi (avec CCSI) - 3ème critère	D1a/Autre
10	<i>Non précisé</i>			<i>Non précisé</i>				L3
11	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème		L1a
12	Oui	Défini pour chaque vache	3ème	Oui	20%	2ème		L1d
13	<i>Non précisé</i>			Oui	20%	2ème		L1b

Élevage	Comptages cellulaires (en milliers de cellules/mL)	Mammites traitées/10VL	Niveau de satisfaction des seuils choisis (FP : faux positifs)
1	190	3,3	Correct
2	230	2	Trop de FP
3	160	<i>Non renseigné</i>	Correct
4	220	<i>Non renseigné</i>	Correct
5	350	5	Trop de FP
6	150	1,7	Correct
7	175	<i>Non renseigné</i>	Correct
8	160	3,1	Correct
9	230	<i>Non renseigné</i>	Trop de FP
10	210	2,5	Correct
11	210	1,8	Correct
12	215	2,8	Correct
13	120	6	Trop de FP

Élevage	Marque	Nombre de VL en production	Race (N : Normande ; PH : Prim' Holstein)	Niveau d'étable moyen (en kg de lait)	Nombre de stalles	Année installation
14	Lely	60	N	6900	1	2008
15		60	N	7850	1	2012
16		64	PH	9000	1	2013
17		65	PH	9000	1	2011
18		65	N	9200	1	2010
19		78	PH	9400	2	2006
20		80	N	6700	2	2013
21		80	PH	8000	2	2011
22		85	PH	9500	2	2012
23		90	Non renseigné	9000	2	2007
24		92	PH	9800	2	2009
25		120	PH	10000	2	2010

Élevage	Détection des mammites							
	Mesure TB/TP	Comptage cellulaire par quartier	CMT automatisé par quartier	Conductimétrie			Colorimétrie	
				Utilisation pour la détection des mammites	Seuil utilisé (augmentation, par rapport aux autres quartiers)	Hiérarchisation du critère	Utilisation pour la détection des mammites	Hiérarchisation du critère
14	-		-	Oui	20%	1er	Oui	3ème
15	Oui		-	Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
16	Oui		Oui	Oui	10%	1er	Oui	2ème
17	Oui		-	Oui	20%	1er	Oui	2ème
18	Oui		-	Oui	10%	1er	<i>Non précisé</i>	
19	-		-	Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
20	Oui		-	Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
21	Oui		-	Oui	20%	1er	<i>Non précisé</i>	
22	Oui		-	Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
23	-		-	Oui	10%	1er	Oui	3ème
24	Oui		-	Oui		1er	<i>Non précisé</i>	
25	Oui		-	Oui	20%	1er	<i>Non précisé</i>	

Élevage	Détection des mammites							Profil méthodologique de détection des mammites
	Intervalle de traite			Production par quartier			Autre critère utilisé pour la détection des mammites et hiérarchisation du critère	
	Utilisation pour la détection	Seuil utilisé (entre 2 traites consécutives)	Hiérarchisation du critère	Utilisation pour la détection	Seuil utilisé (baisse)	Hiérarchisation du critère		
14	<i>Non précisé</i>			Oui	30%	2ème		L1d
15	<i>Non précisé</i>			<i>Non précisé</i>				L2
16	<i>Non précisé</i>			<i>Non précisé</i>			CMT automatisé - 3ème critère	L1e
17	<i>Non précisé</i>			<i>Non précisé</i>				L3
18	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème	Échec traite-3ème critère	L1c
19	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème		L1a
20	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème		L1a
21	Oui	>15h	3ème	Oui	30%	2ème		L1b
22	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème		L1a
23	<i>Non précisé</i>			Oui		2ème		L1d
24	<i>Non précisé</i>			Oui	20%	2ème		L1a
25	<i>Non précisé</i>			Oui	30%	2ème		L1a

Élevage	Comptages cellulaires (en milliers de cellules/mL)	Mammites traitées/10VL	Niveau de satisfaction des seuils choisis (FP : faux positifs)
14	200	NR	Correct
15	170	4,5	Correct
16	125	1,3	Correct
17	170	0,8	Correct
18	170	2	Correct
19	230	NR	Correct
20	200	1,9	Correct
21	200	1,5	Correct
22	320	2,5	Correct
23	150	NR	Trop de FP
24	205	1,1	Correct
25	150	5	Correct

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

TRAITE AUTOMATISÉE, CONTRÔLE LAITIER ET SUIVI DES MAMMITES.

RÉALITÉ DE TERRAIN DANS UN ÉCHANTILLON D'ÉLEVAGES DE MAYENNE

LEGRU Martin

Résumé

Les installations de traite robotisée pour les vaches laitières se développent considérablement en Europe et plus précisément en France depuis une dizaine d'années. L'arrivée de ces nouveaux équipements implique de nouvelles méthodes de suivi de la qualité du lait et de détection des mammites, qui ne peut plus être réalisée par l'éleveur lors de la traite.

Notre étude réalisée auprès de 25 élevages à traite robotisée de Mayenne cherche à décrire les équipements présents dans ces élevages et leur utilisation pour la détection des mammites.

Dans ces élevages, la détection des mammites cliniques s'appuie essentiellement sur les mesures de conductivité électrique et des variations de la production laitière comme le montrent les profils méthodologiques. Le suivi des mammites subcliniques nécessite quant à lui, les données des comptages cellulaires individuels, obtenues encore dans la plupart des cas grâce au Contrôle Laitier Officiel, qui reste un partenaire nécessaire pour ces élevages.

Mots clés : ÉLEVAGE LAITIER, PRODUCTION LAITIÈRE, QUALITÉ DU LAIT, TRAITE, ROBOT DE TRAITE, MAMMITE CLINIQUE, MAMMITE SUBCLINIQUE, BOVIN, VACHE LAITIÈRE, MAYENNE

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Pr. BOSSÉ Philippe

Assesseur : Dr REMY Dominique

AUTOMATIC MILKING SYSTEMS, MILK CONTROL AND MASTITIS MONITORING.

REALITY OF THE FIELD IN A SAMPLE OF FARMS IN MAYENNE

LEGRU Martin

Summary

The installation of automatic milking systems for dairy cows are becoming more common in Europe and specifically in France over the past ten years.

The arrival of this new equipment brings new methods for monitoring milk quality and for the detection of mastitis, which are not carried out by the farmer himself during milking.

Our survey of 25 farms with automatic milking systems in Mayenne describes the equipment in these farms and their use for the detection of mastitis. In these farms, the detection of clinical mastitis is mainly based on electrical conductivity measurements and changes in milk production, as shown in methodological profiles obtained.

Monitoring subclinical mastitis requires the data from individual cell counts still often obtained through the Official Milk Control, who remain a needed partner for these breeding farms.

Keywords: DAIRY FARM, MILK PRODUCTION, MILK QUALITY, MILKING, AUTOMATIC MILKING SYSTEM, CLINICAL MASTITIS, SUBCLINICAL MASTITIS, BOVINE, DAIRY COW, MAYENNE

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Pr. BOSSÉ Philippe

Assesseur : Dr REMY Dominique