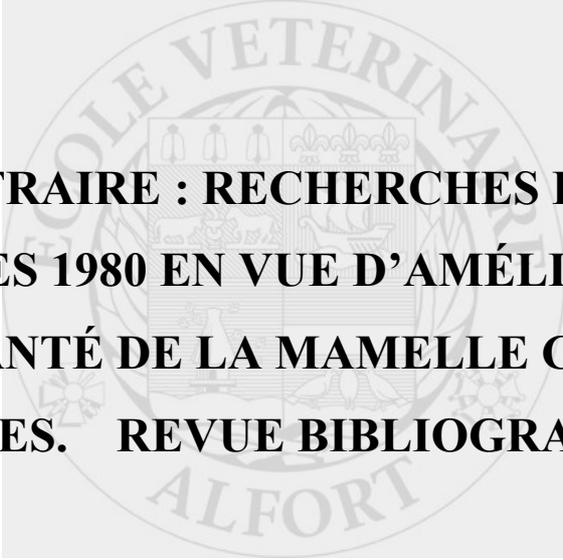


Année 2008



**LA MACHINE À TRAIRE : RECHERCHES ET INNOVATIONS  
DEPUIS LES ANNÉES 1980 EN VUE D'AMÉLIORER LA QUALITÉ  
DU LAIT ET LA SANTÉ DE LA MAMELLE CHEZ LES VACHES  
LAITIÈRES. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.**

THESE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant  
LA FACULTE DE MEDECINE DE CRETEIL

Le 23 octobre 2008

par

**Cécile ENAULT**

Née le 27 janvier 1984 à Laval (Mayenne)

JURY

**Président : M.**

**Professeur à la Faculté de Médecine de CRETEIL**

**Membres**

**Directeur : Philippe Bossé**

**Professeur à l'ENVA**

**Assesseur : Dominique Remy**

**Maître de conférences à l'ENVA**



**LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT**

Directeur : M. le Professeur MIALOT Jean-Paul

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles, TOMA Bernard  
Professeurs honoraires : MM. BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, LE BARS Henri, MILHAUD Guy, ROZIER Jacques, CLERC Bernard**DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)**

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

<p><b>- UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES</b> Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur M. DEGUEURCE Christophe, Professeur* Mme ROBERT Céline, Maître de conférences M. CHATEAU Henry, Maître de conférences</p> <p><b>- UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE, MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE</b> Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur* M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur M. FREYBURGER Ludovic, Maître de conférences</p> <p><b>- UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE</b> M. BRUGERE Henri, Professeur Mme COMBRISSEON Hélène, Professeur* M. TIRET Laurent, Maître de conférences Mme STORCK-PILOT Fanny, Maître de conférences</p> <p><b>- UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE</b> Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur* M. TISSIER Renaud, Maître de conférences M. PERROT Sébastien, Maître de conférences</p> <p><b>- DISCIPLINE : ETHOLOGIE</b> M. DEPUTTE Bertrand, Professeur</p>	<p><b>- UNITE D'HISTOLOGIE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE</b> M. CRESPEAU François, Professeur M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur* Mme BERNEX Florence, Maître de conférences Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences</p> <p><b>- UNITE DE VIROLOGIE</b> M. ELOIT Marc, Professeur* Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences</p> <p><b>- DISCIPLINE : PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES</b> M. MOUTHON Gilbert, Professeur</p> <p><b>- UNITE DE GENETIQUE MEDICALE ET MOLECULAIRE</b> M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences*</p> <p><b>- UNITE DE BIOCHIMIE</b> M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences*</p> <p><b>- DISCIPLINE : ANGLAIS</b> Mme CONAN Muriel, Professeur certifié</p>
---	---

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

Chef du département : M. POLACK Bruno, Maître de conférences - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Maître de conférences

<p><b>- UNITE DE MEDECINE</b> M. POUCHELON Jean-Louis, Professeur* Mme CHETBOUL Valérie, Professeur M. BLOT Stéphane, Maître de conférences M. ROSENBERG Charles, Maître de conférences Mme MAUREY Christalla, Maître de conférences</p> <p><b>- UNITE DE CLINIQUE EQUINE</b> M. DENOIX Jean-Marie, Professeur M. AUDIGIE Fabrice, Maître de conférences* Mme GIRAUDET André, Praticien hospitalier Mme MESPOULHES-RIVIERE Caline, Maître de conférences contractuel Mme PRADIER Sophie, Maître de conférences contractuel</p> <p><b>- UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE</b> Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, Maître de conférences* (rattachée au DPASP) M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences M. REMY Dominique, Maître de conférences (rattaché au DPASP) M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences (rattachée au DPASP) Mme DEGUILLAUME Laure, Maître de conférences contractuel (rattachée au DPASP)</p> <p><b>- DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS</b> Mme Françoise ROUX, Maître de conférences contractuel</p>	<p><b>- UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE</b> M. FAYOLLE Pascal, Professeur* M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences M. MOISSONNIER Pierre, Professeur Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Maître de conférences Mme RAVARY-PLUMIOEN Béatengère, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences contractuel M. HIDALGO Antoine, Maître de conférences contractuel</p> <p><b>- UNITE D'IMAGERIE MEDICALE</b> Mme BEGON Dominique, Professeur* Mme STAMBOULI Fouzia, Maître de conférences contractuel</p> <p><b>- DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE</b> Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences contractuel</p> <p><b>- UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES</b> M. CHERMETTE René, Professeur* M. POLACK Bruno, Maître de conférences M. GUILLLOT Jacques, Professeur Mme MARIIGNAC Geneviève, Maître de conférences contractuel Mme HALOS Léonig, Maître de conférences M. HUBERT Blaise, Praticien hospitalier</p> <p><b>- DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION</b> M. PARAGON Bernard, Professeur M. GRANDJEAN Dominique, Professeur</p>
---	--

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

Chef du département : M. MAILLARD Renaud, Maître de conférences - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Maître de conférences

<p><b>- UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES</b> M. BENET Jean-Jacques, Professeur* Mme HADDAD/HOANG-XUAN Nadia, Maître de conférences Mme DUFOUR Barbara, Maître de conférences</p> <p><b>- UNITE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE</b> M. BOLNOT François, Maître de conférences* M. CARLIER Vincent, Professeur Mme COLMIN Catherine, Maître de conférences M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences</p> <p><b>- DISCIPLINE : BIostatISTIQUES</b> M. SANAA Moser, Maître de conférences</p>	<p><b>- UNITE DE ZOOTECHNIE, ECONOMIE RURALE</b> M. COURREAU Jean-François, Professeur M. BOSSE Philippe, Professeur Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur Mme LEROY Isabelle, Maître de conférences M. ARNE Pascal, Maître de conférences M. PONTER Andrew, Maître de conférences*</p> <p><b>- UNITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR</b> M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences* Mme BRUGERE-PICOUX Jeanne, Professeur (rattachée au DSBP) M. MAILLARD Renaud, Maître de conférences M. ADJOU Karim, Maître de conférences</p>
---	--

Mme CALAGUE, Professeur d'Education Physique

\* Responsable de l'Unité



# REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur  
de la Faculté de Médecine de Créteil,  
Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

A Monsieur le Professeur Philippe BOSSE  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,  
qui nous a permis d'élaborer ce travail.

A Monsieur Dominique REMY  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,  
qui a accepté de participer à notre jury de thèse



A mes grands-parents, et à leurs enfants.

A mes parents pour leur soutien et leur gentillesse permanente,

A mes sœurs, Perrine et Elise, pour leurs conseils avisés et leur compagnie joyeuse,

Aux Vétérinaires et au personnel de la clinique vétérinaire de Valognes pour la formation par alternance qu'ils m'ont assurée pendant 5 ans.

A Elodie pour les pauses cafés interminables à refaire Alfort et le monde.

A Agathe et Rodolphe et tous mes amis de Cherbourg.

Au groupe 9, à la promotion 2008, à mes anciens, et à mes poulots et à tous les Habitants de la terre d'Alforie.



# **LA MACHINE À TRAIRES : RECHERCHES ET INNOVATIONS DEPUIS LES ANNÉES 1980 EN VUE D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DU LAIT ET LA SANTÉ DE LA MAMELLE CHEZ LES VACHES LAITIÈRES. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.**

**ENAULT Cécile**

La machine à traire a pour vocation d'extraire le lait des mamelles des vaches laitières tout en respectant la santé de la mamelle et la qualité du lait. Le respect de ces deux objectifs se justifie par leur répercussion économique. Des recherches ont été effectuées et des innovations ont été proposées afin d'améliorer ces deux points. L'étude se compose de deux parties distinctes : la santé de la mamelle puis la qualité du lait. Pour chaque partie, sont décrits des éléments de base explicatifs puis les résultats d'études récentes et les innovations. Il en ressort pour la première partie l'importance de l'adéquation entre les différents paramètres de la machine à traire (caractéristiques du manchon, niveau de vide, pulsation) et pour la seconde partie, la part grandissante de l'automatisation de la gestion de la traite. Parmi les innovations majeures apparues depuis les années 80, il faut citer : le développement d'instruments et techniques permettant de détecter automatiquement lors de la traite les laits anormaux, le développement de techniques dynamiques d'analyse des paramètres de la traite et enfin la mise en place exponentielle de robots de traite.

Mots clés : MACHINE A TRAIRES / QUALITE DU LAIT / MAMELLE / SANTE DE LA MAMELLE / MANCHON TRAYEUR / BOVIN / VACHE LAITIERE

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Pr. Philippe Bossé

Assesseur : Pr. Dominique Remy

Adresse de l'auteur :

56 rue Jeanne d'Arc

50100 Cherbourg



# **MACHINE MILKING : RESEARCHES AND INNOVATIONS SINCE THE EIGHTIES IN ORDER TO IMPROVE MILK QUALITY AND UDDER HEALTH OF DAIRY COWS. BIBLIOGRAPHICAL REVIEW.**

**ENAULT Cécile**

Milking machine has to extract milk from the udder of dairy cows while respecting udder health and milk quality. These two objectives are justified by economical reasons. Some researches have been done and innovations suggested in order to improve these two points. The study comprises two different parts dealing first with udder health and second with milk quality. In each part, basic facts are first described, then results of researches and innovations are explained. It brings out, for the first part, how important the adequacy between different parameters of the milking machine (characteristics of the liner, vacuum, pulsation) is, and for the second part, the growing importance of the automation of milking management. Among the major innovations proposed since the eighties, it should be noted : the development of tools and techniques to automatically detect abnormal milks, the development of dynamic testing of management of milking and lastly the exponential use of automatic milking machines.

Keywords : MILKING MACHINE / MILK QUALITY / UDDER / UDDER HEALTH / LINER / CATTLE / DAIRY COW

Jury :

President : Pr.

Director : Pr. Philippe Bossé

Assessor : Pr. Dominique Rémy

Author's address:

56 rue Jeanne d'Arc

50100 Cherbourg



# TABLE DES MATIÈRES

<b>Introduction.....</b>	<b>12</b>
<b>Préambule : histoire et fonctionnement de la machine à traire....</b>	<b>14</b>
<b>)IRappel historique : de la traite manuelle à la traite mécanique.....</b>	<b>16</b>
<b>)IIPrincipe de fonctionnement de la machine à traire.....</b>	<b>21</b>
)APrincipe général.....	21
)BLe vide de traite.....	22
)CL'extraction du lait et l'acheminement.....	23
)DLa pulsation.....	24
)ELa stabilité du vide.....	26
<b>Partie 1. Machine à traire et santé des mamelles.....</b>	<b>28</b>
<b>)IIIL'action traumatisante de la machine à traire sur les trayons.....</b>	<b>32</b>
)AÉléments de base.....	32
()1Liés à l'animal : anatomie et physiologie de la mamelle et du trayon.....	32
()2Liés à la machine : action du manchon sur le trayon lors de la traite.....	46
)BLésions du trayon induites par la machine à traire.....	53
()1La congestion et l'œdème.....	53
()2L'hyperkératose et les éversions du canal du trayon.....	55
()3Lésions internes du canal.....	57
()4Pétéchies et points noirs.....	58
()5Anneaux de compression.....	59
)CÉtudes récentes sur l'action traumatisante de la machine et ses conséquences pour le trayon.....	61
()1Influence du manchon trayeur.....	62
()2Influence de l'adéquation entre le niveau de vide et le type de manchon trayeur...	69
()3Influence du niveau de vide.....	79
()4Influence de la pulsation.....	80
()5Influence de la gestion de la traite.....	84
()6Changements apportés par l'utilisation d'un robot de traite.....	85
)DInnovations proposées.....	86
()1Difficulté de l'évaluation.....	86
()2Section du manchon trayeur.....	87

)3Pièce d'embouchure.....	89
)EConséquences des lésions du trayon sur la santé de la mamelle.....	90
)1Relation entre congestion du trayon et mammites.....	91
)2Relation entre hyperkératose de l'extrémité du trayon et mammites.....	92
<b>)IVLe rôle vecteur du manchon trayeur.....</b>	<b>93</b>
)AÉléments de base.....	93
)1Présentation des contaminants de la surface intérieure des manchons.....	93
)2Les mécanismes du vieillissement.....	94
)BÉtudes récentes.....	95
)1Mécanismes du vieillissement.....	95
)2Effet du vieillissement sur les performances de traite.....	96
)3Conséquence sur l'hygiène des trayons.....	97
)4Rôle du nettoyage dans la contamination des manchons.....	97
)CInnovations proposées.....	98
)1Rythme de changement des manchons trayeurs.....	98
)2Efficacité du rinçage de l'intérieur des manchons trayeurs entre deux vaches.....	98
)3Nouveaux matériaux proposés pour limiter la contamination.....	100
<b>)VLe rôle infectant de la machine à traire.....</b>	<b>103</b>
)ALe phénomène d'impact.....	103
)1Éléments de base : définition et mécanisme.....	103
)2Études récentes.....	104
)3Innovations proposées.....	109
)BLe reverse-flow ou le phénomène de traite humide.....	116
)1Éléments de base : définition et mécanisme d'apparition.....	116
)2Études récentes.....	117
)3Innovations pour favoriser l'évacuation du lait.....	118
)CLa surtraite ou gradient de pression inversé.....	123
)1Eléments de base.....	123
)2Études récentes.....	125
)3Innovations proposées.....	133
)DStabilité du niveau de vide.....	144
)1Éléments de base : les fluctuations du vide sous le trayon.....	144
)2Circonstances d'apparition des variations du niveau de vide.....	147
)3Facteurs liés à la conception de la machine expliquant les fluctuations du vide...	148

(04) Paramètres reflétant l'instabilité du niveau de vide.....	152
(05) Innovation proposée : le testage dynamique de l'installation de traite.....	153
<b>Partie 2. Machine à traire et qualité du lait.....</b>	<b>156</b>
<b>)VI Éléments de base.....</b>	<b>160</b>
)A Critères de qualité du lait.....	160
(01) Aspects réglementaires.....	160
(02) Aspects régis par l'Interprofession.....	161
)B Sources de variations.....	163
<b>)VII Impact de la machine à traire sur la lipolyse.....</b>	<b>165</b>
)A Éléments de base.....	165
(01) Origine de la lipolyse.....	165
(02) Les produits touchés.....	166
(03) Quantification de la lipolyse dans le lait et les produits laitiers.....	167
)B Les facteurs de risque de la lipolyse.....	167
(01) Évolution de la teneur en AGL lors des manipulations successives du lait.....	167
(02) Facteurs de risque de lipolyse spontanée.....	169
(03) Facteurs de risque de lipolyse induite : facteurs liés aux conditions de traite.....	171
(04) Facteurs de risque de lipolyse microbienne.....	177
)C Innovations et recommandations pour limiter la lipolyse.....	177
(01) Innovation non développée : la traite hydraulique.....	178
(02) Prévention de la lipolyse induite pendant la traite.....	178
(03) Limiter les turbulences.....	180
<b>)VIII Qualité bactériologique du lait : rôle du nettoyage.....</b>	<b>181</b>
)A Les facteurs de pollution du lait.....	181
(01) Souillures organiques.....	181
(02) Souillures minérales.....	182
(03) Souillures bactériologiques.....	182
)B Le nettoyage.....	183
(01) Les étapes du nettoyage.....	184
(02) Les méthodes de nettoyage.....	185
(03) Les facteurs de réussite du nettoyage.....	187
(04) Le circuit de nettoyage.....	189
(05) L'eau de nettoyage.....	190

)6Volume nécessaire.....	191
)CMesures visant à limiter la contamination bactériologique du lait.....	191
)DInnovations en matière de nettoyage.....	193
)1Installation d’injecteurs d’air.....	193
)2Un concept sans prélavage.....	194
)ELimites du nettoyage et de la désinfection.....	197
)FAutomatisation du nettoyage.....	198
<b>)IX Robots de traite et qualité du lait.....</b>	<b>200</b>
)AInfluence sur la production laitière.....	201
)BInfluence sur la composition du lait.....	202
)CInfluence sur la qualité bactériologique.....	202
)DInfluence sur le comptage de spores butyriques.....	204
)EInfluence sur la lipolyse.....	205
)FInfluence sur le comptage cellulaire somatique.....	206
)GSéparation des laits anormaux.....	207
<b>)XRôle informatif.....</b>	<b>208</b>
)AMesure de la conductivité électrique du lait.....	208
)BApports de la colorimétrie.....	210
)CAutres méthodes de détection des laits anormaux.....	213
)DCompteur cellules somatiques.....	213
<b>Bibliographie.....</b>	<b>217</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Machine à sonde de Blurton, 1836 .....	16
Figure 1 : Machine à sonde de Blurton, 1836 .....	16
Figure 2 : Machine de Hodges, 1851.....	17
Figure 2 : Machine de Hodges, 1851.....	17
Figure 3: Machine de Colvin, 1860.....	18
Figure 3: Machine de Colvin, 1860.....	18
Figure 4 : Machine à rouleaux, 1881.....	19
Figure 4 : Machine à rouleaux, 1881.....	19
Figure 5 : Le gobelet trayeur à double chambre .....	21
Figure 5 : Le gobelet trayeur à double chambre .....	21
21	
Figure 6 : Schéma général de la machine à traire .....	22
Figure 6 : Schéma général de la machine à traire .....	22
Figure 7 : Le faisceau trayeur .....	23
Figure 7 : Le faisceau trayeur .....	23
Figure 8 : Principe de fonctionnement du gobelet à chambre double	24
Figure 8 : Principe de fonctionnement du gobelet à chambre double	24
Figure 9 : Courbe de pulsation théorique.....	25
Figure 9 : Courbe de pulsation théorique.....	25
Figure 10 : Coupe transversale de la mamelle passant par les quartiers caudaux .....	34
Figure 10 : Coupe transversale de la mamelle passant par les quartiers caudaux .....	34

<b>Figure 11 : Conformation et structure du trayon.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 12 : Peau du trayon .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 12 : Peau du trayon .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 13 : Conformation extérieure et intérieure du manchon trayeur</b>	
<b>46</b>	
<b>Figure 13 : Conformation extérieure et intérieure du manchon trayeur</b>	
<b>46</b>	
<b>Figure 14 : Action du manchon sur l'extrémité du trayon .....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 14 : Action du manchon sur l'extrémité du trayon .....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 15 : Œdème du trayon .....</b>	<b>53</b>
<b>Figure 15 : Œdème du trayon .....</b>	<b>53</b>
<b>Figure 16 : Lésions d'hyperkératose à un stade avancé sur les trayons</b>	
<b>arrières .....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 16 : Lésions d'hyperkératose à un stade avancé sur les trayons</b>	
<b>arrières .....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 17 : Classification des stade d'hyperkératose.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure 17 : Classification des stade d'hyperkératose.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure 18 : Pétéchies sur l'extrémité du trayon.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 18 : Pétéchies sur l'extrémité du trayon.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 19 : Anneau de compression à la base du trayon.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 19 : Anneau de compression à la base du trayon.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 20 : Description de l'étude de Schukken et al. (2006).....</b>	<b>63</b>
<b>Figure 21 : Répartition des trayons en fonction du score</b>	
<b>d'hyperkératose de l'extrémité selon le type de manchon utilisé –</b>	
<b>Phase I de l'étude.....</b>	<b>64</b>

<b>Figure 21 : Répartition des trayons en fonction du score d'hyperkératose de l'extrémité selon le type de manchon utilisé – Phase I de l'étude.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure 22 : Evolution des scores de l'extrémité des trayons après le changement de manchons trayeur – Phase II de l'étude.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure 22 : Evolution des scores de l'extrémité des trayons après le changement de manchons trayeur – Phase II de l'étude.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure 23 : action de l'embouchure du manchon sur la racine du trayon .....</b>	<b>68</b>
<b>Figure 23 : action de l'embouchure du manchon sur la racine du trayon .....</b>	<b>68</b>
<b>Figure 24: Surpression exercée en fonction de la résistance du manchon à la fermeture .....</b>	<b>72</b>
<b>Figure 24: Surpression exercée en fonction de la résistance du manchon à la fermeture .....</b>	<b>72</b>
<b>Figure 25 : Force de massage disponible en fonction de l'épaisseur du manchon à un niveau de vide de 39 kPa .....</b>	<b>74</b>
<b>Figure 25 : Force de massage disponible en fonction de l'épaisseur du manchon à un niveau de vide de 39 kPa .....</b>	<b>74</b>
<b>Figure 26 : Relation entre la surpression appliquée par différents types de manchons et les lésions de l'apex du trayon en fonction du niveau de vide .....</b>	<b>75</b>
<b>Figure 27 : Score de l'extrémité du trayon en fonction de la surpression exercée par le manchon.....</b>	<b>77</b>

<b>Figure 29 : Configuration de la lèvre d'embouchure du manchon Classic Pro® .....</b>	<b>90</b>
<b>Figure 30 : Mécanisme du phénomène d'impact.....</b>	<b>104</b>
<b>Figure 31 : Répartition des poids du faisceau trayeur.....</b>	<b>110</b>
<b>Figure 32 : Faisceau mal positionné à gauche (risque de glissement), faisceau bien positionné à droite (gobelets verticaux).....</b>	<b>110</b>
<b>Figure 33 : crochet de maintien du tuyau long à lait assurant l'alignement correct</b>	<b>du faisceau trayeur..... 111</b>
<b>Figure 34 : Principe et installation du déflecteur (shield) à la base du manchon trayeur .....</b>	<b>113</b>
<b>Figure 35 : Griffe multi-valves.....</b>	<b>115</b>
<b>Figure 37 : Griffe à lait Classic 300 et type de mamelle y correspondant.....</b>	<b>119</b>
<b>Figure 38 : Griffe à lait Classic 300 E et type de mamelle y correspondant.....</b>	<b>119</b>
<b>Figure 39 : Conception des griffes Classic 300 et 300 E permettant l'écoulement direct du lait .....</b>	<b>120</b>
<b>Figure 40 : Conception de la Flo Star Max® .....</b>	<b>121</b>
<b>Figure 41 : Principe de fonctionnement d'une griffe à technologie Top Flow.....</b>	<b>122</b>
<b>Figure 42 : Trayons avant-droit de deux des six vaches étudiées lors d'une expérience</b>	<b>de surtraite volontaire .....128</b>
<b>Figure 43 : Profils de l'éjection du lait sans préparation de la mamelle (graphe de gauche) et avec préparation de la mamelle (graphe de droite) .....</b>	<b>138</b>

<b>Figure 44 : Principe de fonctionnement de la traite à débit contrôlé</b>	<b>143</b>
<b>Figure 45 : Fluctuations cycliques du vide sous le trayon .....</b>	<b>144</b>
<b>Figure 46 : Fluctuations acycliques du vide et répercussions.....</b>	<b>146</b>
<b>Figure 47 : Effet du diamètre du lactoduc sur la qualité du transport</b>	<b>149</b>
<b>Figure 48 : Ecoulement laminaire (a) versus par bouchons du lait (b) dans le lactoduc.....</b>	<b>149</b>
<b>Figure 49 : Exemple de courbe de pulsation et de courbes de vide sous la mamelle et au niveau d la pièce d'embouchure pouvant être obtenus lors du testage dynamique .....</b>	<b>154</b>
<b>Figure 50 : Exemple d'une grille de paiement du lait en Bretagne.</b>	<b>162</b>
<b>Figure 51 : Evolution de la teneur en AGL lors de différentes manipulations du lait.....</b>	<b>168</b>
<b>Figure 52 : Effet de l'intervalle de traite sur les teneurs en AGL après stockage au froid du lait (24h à 4°C).....</b>	<b>170</b>
<b>Figure 53 : Teneurs moyennes en AGL du lait (en meq / 100 g MG) avant et après le passage dans différents composants de la machine à traire. ....</b>	<b>175</b>
<b>Figure 54 : Exemple de circuit de nettoyage pour un lactoduc bouclé</b>	<b>189</b>
<b>Figure 55 : Exemple de circuit de nettoyage pour un lactoduc non bouclé.....</b>	<b>190</b>
<b>Figure 56 : Evolution de la qualité bactériologique du lait avant et après l'arrivée du robot .....</b>	<b>203</b>

**Figure 57 : Evolution durant 18 mois des spores butyriques dans les installations robotisées en comparaison avec un groupe témoin 204**  
**Figure 58 : Evolution durant 18 mois de la lipolyse dans les installations robotisées comparée avec un groupe témoin.....205**  
**Figure 59 : Evolution de la concentration en cellules somatiques moyenne (X 1000 / ml)..... 206**



# INTRODUCTION

Bien que la machine à traire soit utilisée bi-quotidiennement par les éleveurs, son principe de fonctionnement est le plus souvent mal connu. Ses fonctions consistent à extraire le lait des mamelles et à l'acheminer vers un récipient de stockage. Elle a pour obligations de respecter la santé de l'animal et de transporter le lait sans en altérer les caractéristiques.

Pour satisfaire ces exigences concernant la qualité du lait et la santé de la mamelle, les fabricants n'ont eu cesse de proposer de nouveaux équipements. D'autre part, des groupes de chercheurs publient régulièrement les résultats de leurs travaux sur l'influence de tel ou tel paramètre.

Ce travail a pour but de regrouper les différentes innovations et les résultats des recherches publiées depuis les années 80. L'apparition récente, sur le marché, des robots de traite ne sera pas traitée dans son intégralité, et seuls les éléments mis en place pour améliorer la santé de la mamelle et la qualité du lait seront détaillés. De la même façon, les innovations inhérentes au tank à lait ou au confort du trayeur ne seront pas traitées.

Après un bref rappel de l'historique et du fonctionnement de la machine à traire, l'étude sera découpée en deux parties : la première concernera la santé de la mamelle et la seconde la qualité du lait.



# **Préambule : histoire et fonctionnement de la machine à traire**



## )I Rappel historique : de la traite manuelle à la traite mécanique.

Après des siècles de traite à la main, les premières idées pour traire autrement apparurent au XIX<sup>ème</sup> siècle.

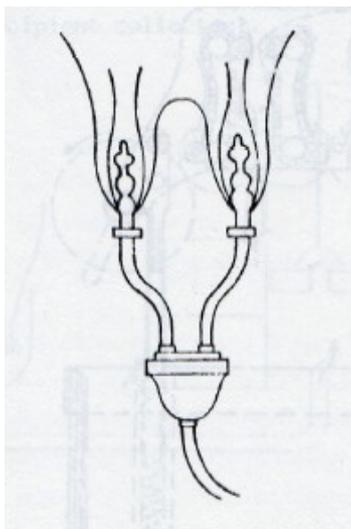
Auparavant, la plus lointaine aide connue pour extraire le lait par la seule force de gravité et la pression intra-mammaire, remonte à 380 années avant J.C. Elle consistait à introduire, dans le trayon, des tiges de paille de froment (Le Du, 1977).

### Les sondes à traire

Le tout premier matériel permettant l'extraction artificielle du lait de vache fut la machine à sondes de Blurton, inventée en 1836. Ce système était constitué de quatre canules en métal raccordées à un pot suspendu à la vache (Le Du, 1975).

Figure 1 : Machine à sonde de Blurton, 1836

(source : ITEB cité par LEPOURRY, 1981)



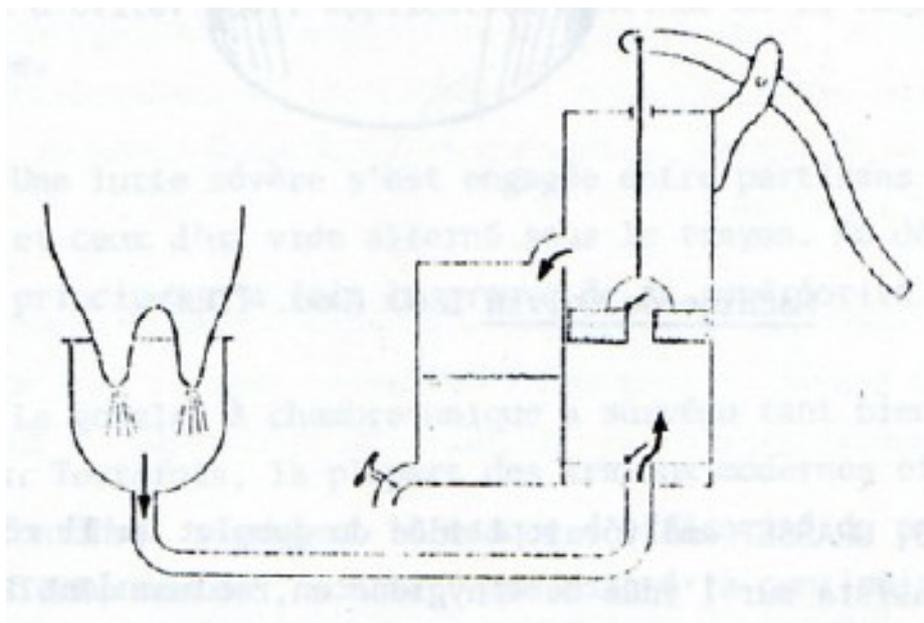
De tels appareils rudimentaires furent rapidement abandonnés en raison des dommages qu'ils causaient : traumatismes des trayons et mammites. De plus, on ne pouvait espérer obtenir plus de 40 % du lait présent dans la mamelle par ce procédé dépourvu de système de massage du trayon (Lepourry, 1981).

### L'utilisation du vide

L'idée d'imiter la succion du veau conduisit tout naturellement à utiliser le vide. En 1851, deux inventeurs anglais : Hodges et Brockeden (Lecoq, 1966) furent probablement les premiers à utiliser le vide continu et à employer le terme *Vacuum*. Leurs brevets concernaient en fait l'extraction de balles de fusils dans des blessures de guerre. Cette idée ne fut pas un succès, mais elle permit de visualiser le procédé pour inventer une machine à traire les vaches. Hodges développa son invention avec un récipient suspendu à la vache par une sangle attachée sur le dos. Le récipient comportant un couvercle avec quatre trous pour recevoir les trayons, était vidé de son air, à l'aide d'une simple pompe à vide, jusqu'à un niveau convenable pour extraire le lait. L'ensemble était connecté à un récipient receveur.

Figure 2 : Machine de Hodges, 1851

(source : ITEB cité par LEPOURRY, 1981)

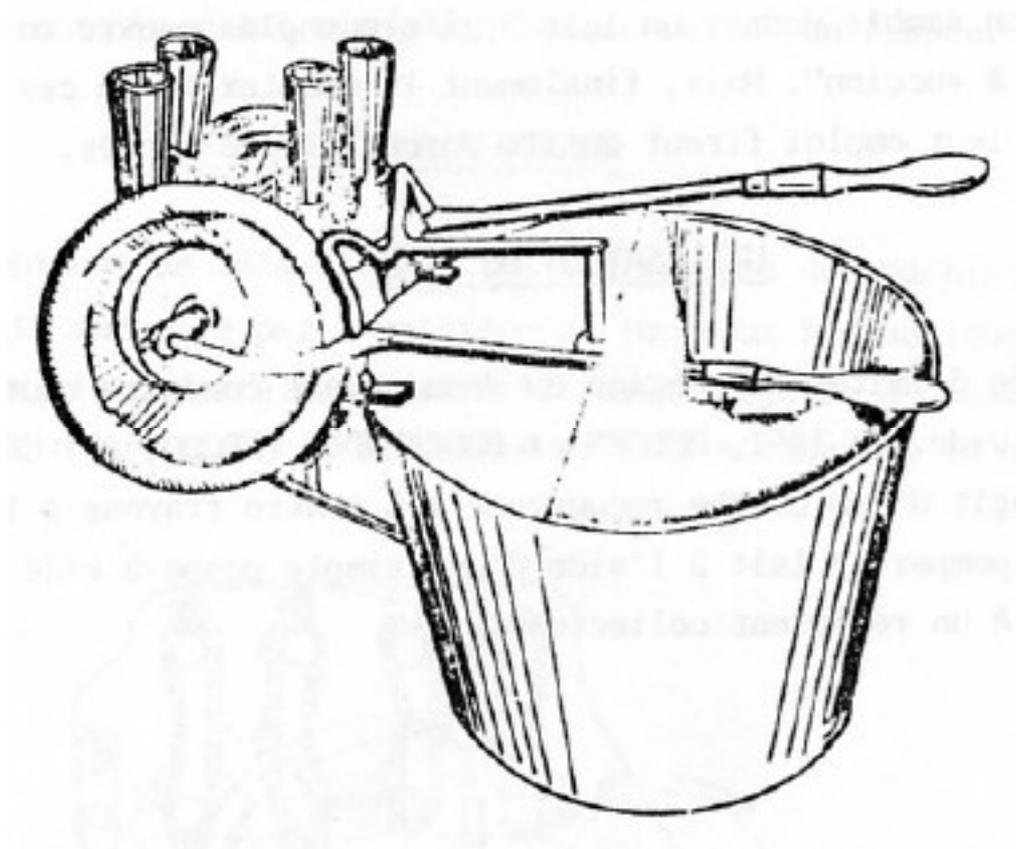


## Le gobelet trayeur

Vers 1860, Colvin, aux Etats-Unis, inventa une machine qui comportait (c'est le premier à utiliser ce terme) des gobelets trayeurs en métal, fixes et nus, munis d'anneaux à l'intérieur pour tenir sur les trayons. Le tout était solidaire d'un ensemble comportant deux pompes à vide, à diaphragme en caoutchouc naturel, commandées manuellement par deux leviers (Le Du, 1977). Les difficultés de nettoyage et de désinfection condamnèrent la machine.

Figure 3: Machine de Colvin, 1860

(source : ITEB cité par LEPOURRY, 1981)



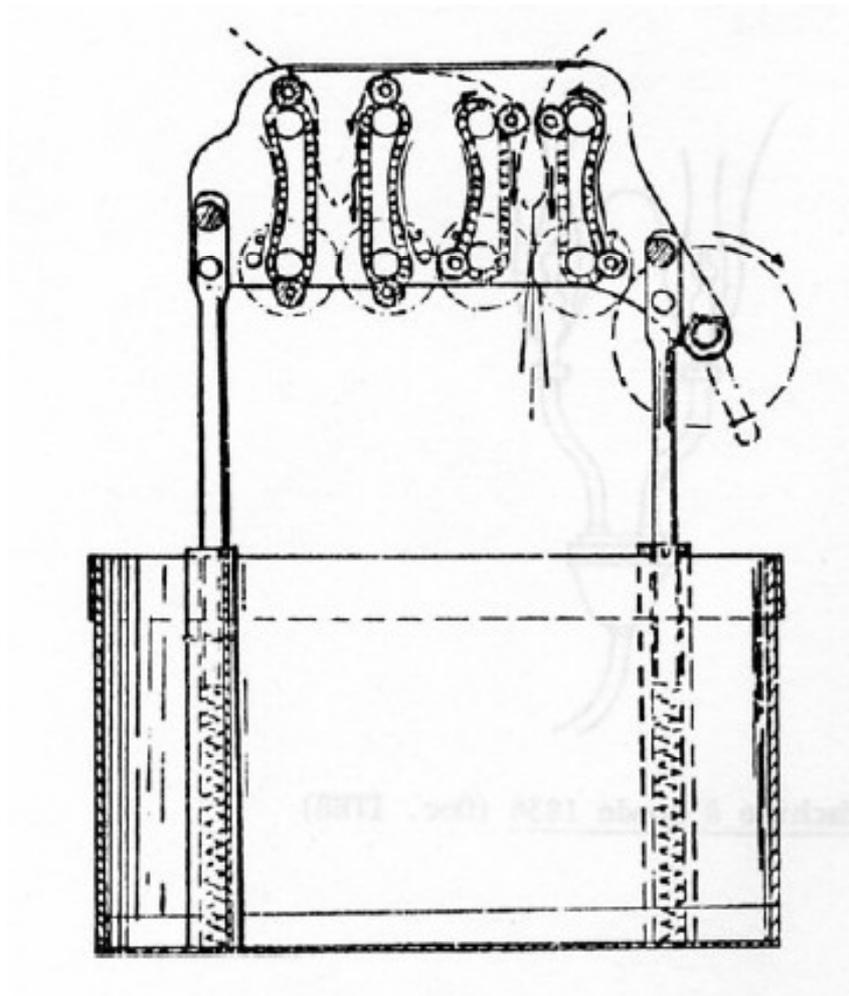
En 1863, un étameur Français, Louis Grasset, améliora le système en utilisant des pièces faciles à nettoyer : gobelets trayeurs, griffe et tuyaux longs à lait en caoutchouc naturel. Cette machine fut équipée d'une pompe à vide à piston, également commandée manuellement. Grasset recommanda un nettoyage par trempage dans l'eau chaude.

## Les machines à rouleaux

Pendant environ 15 années, le concept de la machine à traire ne sembla pas progresser. En Europe et dans le nord de l'Amérique, l'attention des inventeurs se portait sur des machines imitant la traite à la main. C'est ainsi qu'en 1881, une nouvelle machine fut inventée. Ce système, muni de rouleaux disposés sur des chaînes, était actionné de manière hydraulique ou pneumatique. La traite s'opérait sur chaque paire de trayons à l'aide de deux manivelles (Le Du, 1977). Ces machines traumatisantes étaient encombrantes et gênantes pour les vaches, à cause d'un harnachement conséquent. Les dommages causés aux trayons et les difficultés de nettoyage furent responsables de leur disparition.

Figure 4 : Machine à rouleaux, 1881

(source : ITEB cité par LEPOURRY, 1981)



## **Les installations de traite**

C'est en 1898, qu'un Ecossais M. Murchland, plombier de son état, fabriqua non seulement une machine à traire avec pots suspendus à la vache, mais une installation complète en étable, avec plusieurs unités branchées sur une canalisation principale de 25 mm. Un vide continu de 37 kPa, régulé par une colonne d'eau, était produit avec une pompe encore actionnée par un homme. Trois femmes s'activaient à la traite avec deux ou trois pots chacune. Les gobelets, munis de robinets, présentaient une garniture intérieure en caoutchouc (Lecoq, 1966). Murchland eut même l'idée nouvelle du lactoduc. Cette machine fut un succès commercial considérable au-delà même des frontières, et stimula les autres inventeurs. Restait néanmoins un point non résolu : le vide entravait la circulation sanguine et causait des irritations au trayon, inhibant le réflexe d'éjection du lait.

## **Apparition de la pulsation**

En 1895, la machine THISTLE fut créée en utilisant une sorte de pulsateur, capable, en produisant un vide variable compris entre 51 et 15 kPa, de soulager les trayons à intervalles réguliers courts et fréquents (Le Du, 1977). Les gobelets trayeurs à chambre unique étaient fabriqués en caoutchouc rigide et présentaient sur les côtés et vers le haut, une épaisseur plus faible. La pompe à vide à piston était entraînée par une machine à vapeur.

## **Le gobelet à double chambre**

L'avancée décisive a été réalisée en 1902 par M. Gillies, éleveur laitier Australien. Il conçut un gobelet trayeur à doubles chambres, commandé par un pulsateur (Le Du, 1977). Alors que la chambre de traite était maintenue à un vide constant d'environ 50 kPa, la chambre annulaire, dite de pulsation, était tantôt sous vide, tantôt à la pression atmosphérique. Ce principe permettait, par différence de pression entre les deux chambres, d'exercer des pressions intermittentes sur les tissus des trayons afin de faciliter la circulation sanguine et de réduire la congestion. L'efficacité du procédé n'est plus à discuter, puisqu'il perdure aujourd'hui encore, y compris dans les robots de traite.

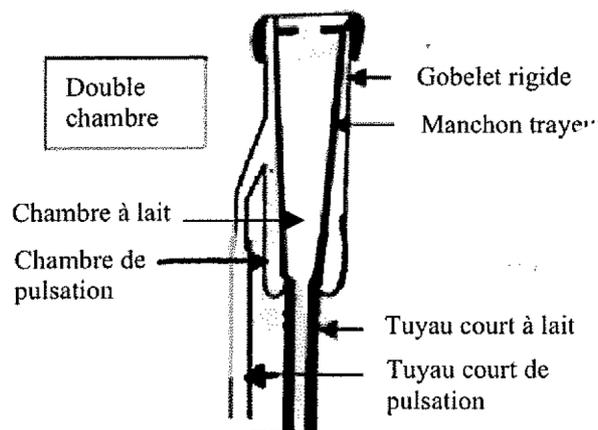
## )II Principe de fonctionnement de la machine à traire

### )A Principe général

Il s'agit d'extraire le lait des mamelles et de l'acheminer vers le tank en respectant la santé de l'animal. Ces deux fonctions sont permises par l'utilisation du gobelet trayeur à double chambre (figure 5) et du pulsateur. L'extraction se fait par application d'une dépression sous le trayon dans la chambre à lait. Le vide de traite est créé par la pompe à vide. Il faut ménager, par intermittence, une phase de massage des trayons pour éviter qu'ils ne se congestionnent. Cette fonction est permise par l'utilisation d'un manchon trayeur en caoutchouc, monté sous tension dans le gobelet rigide, et une alternance de vide et de pression atmosphérique générée par le pulsateur dans la chambre de pulsation (Figure 5) (Frederici-Mathieu et Godin, 2002).

Figure 5 : Le gobelet trayeur à double chambre

(source : ITEB cité par Gauchot, 1993)

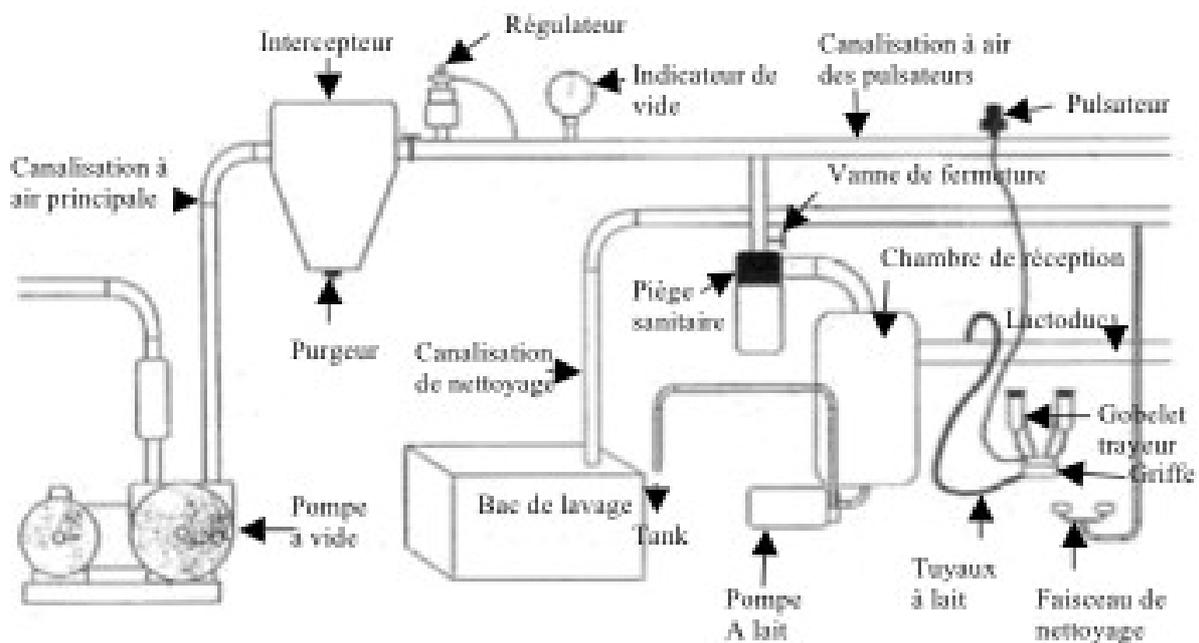


Le vide doit être maintenu aussi stable que possible (régulateur). L'acheminement du lait est assuré par la pente du lactoduc et par le vide qui règne au sein de cette canalisation.

En dépit des variations dans la configuration des installations, le schéma général est globalement toujours identique et est illustré par la figure 6.

Figure 6 : Schéma général de la machine à traire

(source : ITEB cité par Federici-Mathieu et Godin, 2002)



## )B Le vide de traite

Il est créé par la pompe à vide. On définit le niveau de vide qui mesure la dépression qui règne dans la canalisation à vide par rapport à la pression atmosphérique normale (100 kPa). La pompe à vide est caractérisée par sa vitesse de rotation et par son débit à 50 kPa (en L/min). Celui-ci est prévu pour répondre aux besoins liés au travail des postes de traite, aux fuites et pour compenser les entrées d'air liées au trayeur, d'où la notion de réserve réelle de vide : débit de

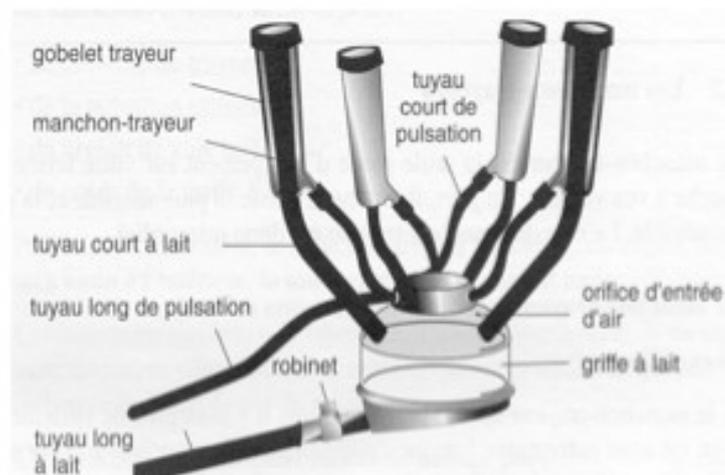
pompe supplémentaire prévu pour compenser les entrées d'air. La réserve réelle correspond à la quantité d'air en litres par minute pouvant entrer dans l'installation sans faire chuter le niveau de vide de plus de 2 kPa (Frederici-Mathieu et Godin, 2002).

## )CL'extraction du lait et l'acheminement

Le lait est récolté dans les quatre manchons trayeurs et est acheminé par quatre tuyaux courts à lait vers la griffe. Cet ensemble est appelé faisceau trayeur (Figure 7). Le lait de la griffe est collecté par un tuyau long à lait vers le lactoduc de traite. Le lactoduc déverse le lait dans la chambre de réception. Une pompe à lait le transfert, via un lactoduc d'évacuation, jusqu'au tank. Cette pompe à lait a un fonctionnement autonome, totalement indépendant de la pompe à vide.

Figure 7 : Le faisceau trayeur

(source : Hanzen, 2007)



Les manchons sont maintenus en place sur les trayons par le vide appliqué dans la griffe et les manchons. Un clapet permet de mettre la griffe en communication avec le vide et de le couper

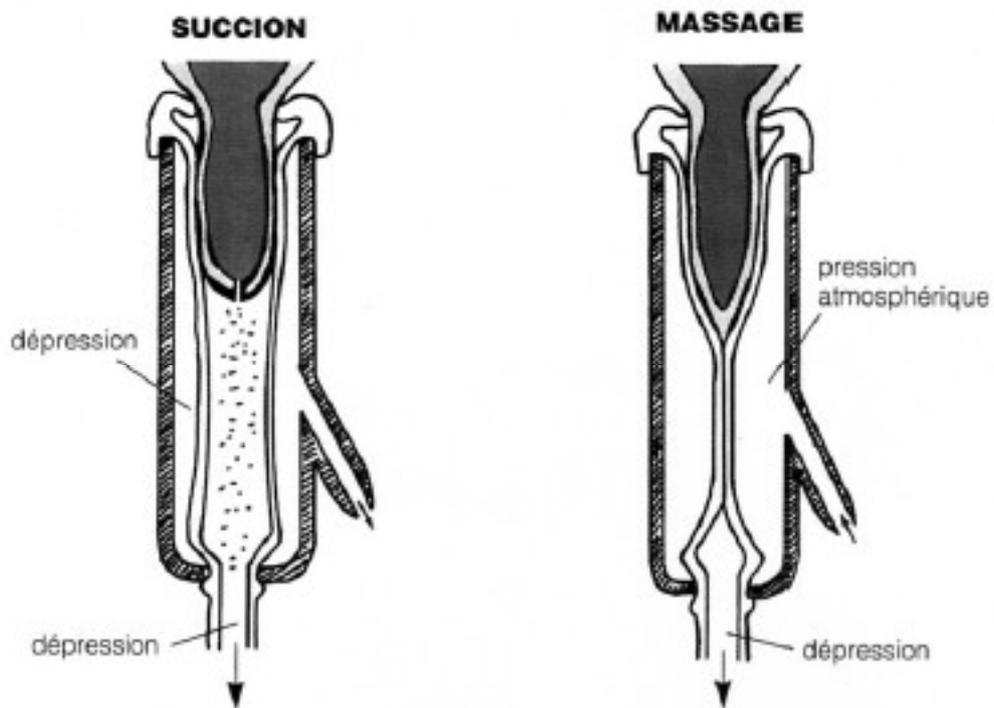
en fin de traite pour déposer les faisceaux. Le lactoduc est soumis à une dépression qui doit rester la plus constante possible pour créer le minimum de turbulences (Gourreau et coll., 1995).

## )DLa pulsation

C'est le système qui permet de réaliser un massage périodique des trayons tout au long de la traite permettant ainsi leur décongestion et le retour sanguin et lymphatique. Le manchon trayeur est soumis à une alternance cyclique vide / pression atmosphérique permise par le système du gobelet trayeur à double chambre (Figure 8).

Figure 8 : Principe de fonctionnement du gobelet à chambre double

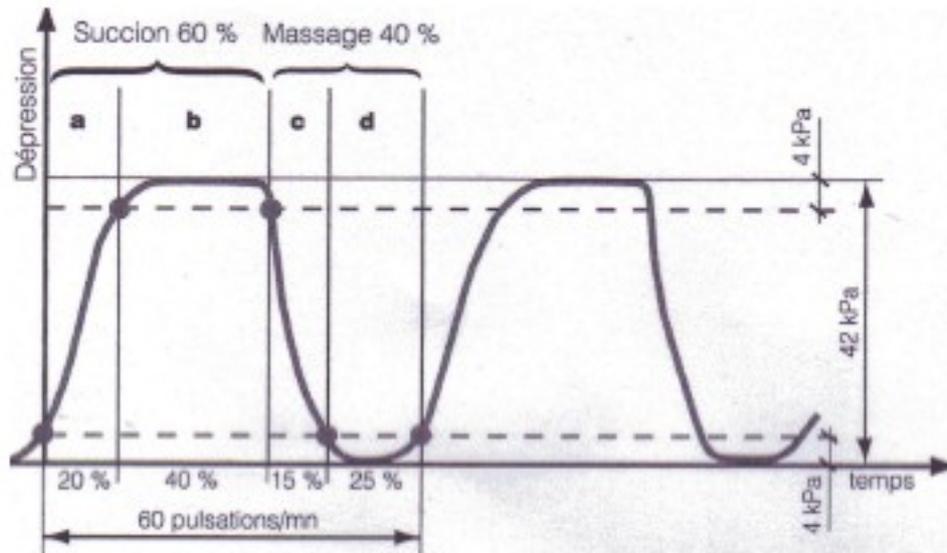
(source :Gourreau et coll., 1995)



Les mouvements de la paroi du manchon assurent une phase de massage (D) et une phase de succion (B) avec deux phases de transition (A et C). Ces phases permettent de définir la courbe de pulsation (Figure 9).

Figure 9 : Courbe de pulsation théorique

(source :Gourreau et coll., 1995)



Les pulsations sont le plus souvent alternées avant / arrière et le mode de pulsation est soit autonome pour chaque poste soit central. Il faut bien veiller à ce que le pulsateur ne s'encrasse pas et qu'il y ait un nombre suffisant de pulsateurs pour le nombre de postes. On définit la fréquence de pulsation (recommandations : 55-60 / min) et le rapport de pulsation : c'est-à-dire le temps consacré à la succion par rapport au temps consacré au massage (recommandations : rapport 60/40 à 70/30) (Frederici-Mathieu et Godin, 2002).

## )E La stabilité du vide

Le vide est fonction de nombreux paramètres. L'installation de traite est munie d'un système de régulation pour que celui-ci ne dépasse pas certaines limites. Ce régulateur admet un débit d'air réglé initialement sur le débit de la pompe à vide au niveau de vide choisi pour le fonctionnement de l'installation. Le régulateur est ouvert au niveau de vide choisi et si la dépression diminue (entrée d'air accidentelle, chute de faisceau, glissement du manchon), il se ferme jusqu'à retrouver le niveau initial de vide. La capacité du régulateur est choisie en fonction du débit de la pompe et de la taille de l'installation (Frederici-Mathieu et Godin, 2002).



**Partie 1. Machine à traire et santé des  
mamelles**



La machine à traire lorsqu'elle est mal installée, mal réglée, mal entretenue ou encore mal utilisée, peut augmenter la fréquence d'apparition de nouvelles infections mammaires de différentes manières : par un rôle de vecteur de germes pathogènes depuis les quartiers infectés vers les quartiers sains, par contamination active du trayon, ou encore par son rôle traumatisant sur le canal du trayon, amoindrissant alors son effet « barrière ».

Nous traiterons successivement de l'action traumatisante de la machine à traire sur le trayon, puis de son rôle de vecteur de germes pathogènes et enfin de son rôle infectant. Pour chacune de ces actions, nous présenterons les mécanismes en cause et les résultats de recherches et innovations permettant de limiter leur impact sur la santé de la mamelle.



## )IIIL'action traumatisante de la machine à traire sur les trayons

Le principe d'extraction du lait par la machine à traire diffère de celui de la traite manuelle ou de la tétée. Pendant la traite manuelle, le lait est évacué par pression tandis que pendant la tétée, le lait est évacué par pression et partiellement par succion. Lors de la traite mécanique, le lait est évacué uniquement par succion grâce à l'application d'une différence de pression entre l'intérieur de la mamelle et le manchon trayeur.

Si une succion constante est appliquée sur le trayon, du sang et du liquide lymphatique s'accumulent dans le trayon ce qui provoque une congestion empêchant progressivement la vidange de la mamelle. Par conséquent, la machine à traire est construite de telle manière que la succion soit interrompue périodiquement par ouverture et fermeture du manchon. Grâce à cette alternance permise par la pulsation, les trayons sont soumis à un massage qui prévient ou tout au moins limite la congestion et autres lésions du trayon.

Toutefois des lésions du trayon sont encore trop souvent observées. Outre les causes uniquement infectieuses, traumatiques et climatiques, la machine peut être incriminée dans nombre de celles-ci. Il convient de les repérer et de faire le nécessaire pour diminuer leur fréquence, tant il est vrai qu'elles peuvent avoir des répercussions néfastes sur la santé de la mamelle et donc sur la production et la valorisation du lait.

## )AÉléments de base

### ()1 Liés à l'animal : anatomie et physiologie de la mamelle et du trayon

Le pis de la vache est composé de deux paires de mamelles ou quartiers. Ces quartiers sont physiquement séparés par un ligament suspenseur du pis et par deux sillons transverses. Chaque quartier forme ainsi une entité anatomique distincte et indépendante des trois autres (Baronne,

1990). Les infections peuvent affecter isolément un seul quartier en respectant les autres (Boudry, 2005).

(0a Anatomie de la mamelle

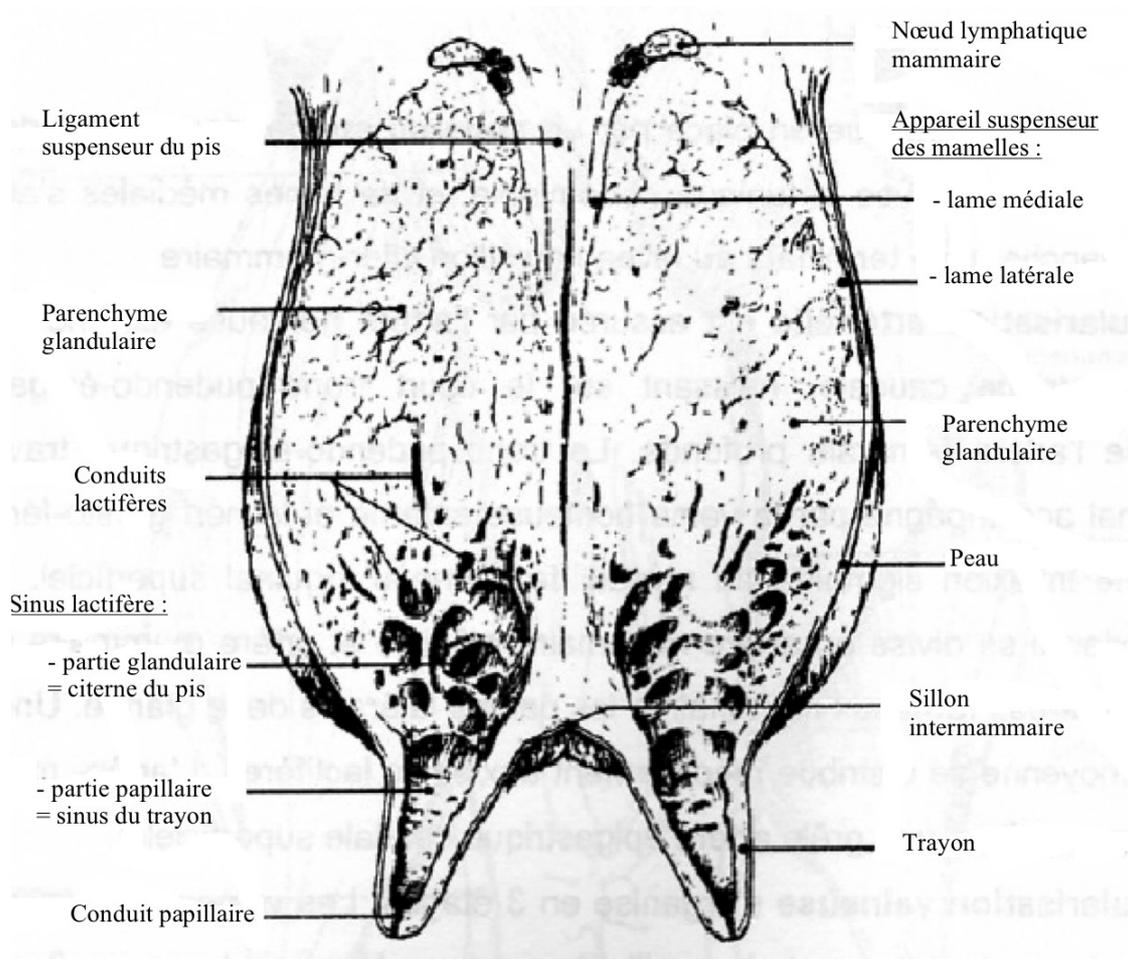
(0i Anatomie des quartiers

Chaque quartier est composé d'un corps, contenant le parenchyme glandulaire, et se termine par un trayon. Le parenchyme mammaire, qui constitue la majeure partie du quartier, est soutenu par une charpente conjonctive développée et richement vascularisée. Ce conjonctif mammaire subdivise le parenchyme en lobes et en lobules. Chaque lobule est formé d'éléments sécréteurs tubulo-acineux : les alvéoles glandulaires ou acini mammaires. Chaque alvéole est reliée à un bref conduit alvéolaire qui débouche dans un conduit intralobulaire. Les conduits intralobulaires s'unissent en conduits interlobulaires qui aboutissent à la sortie de chaque lobe à un conduit lactifère ou conduit galactophore. Ces conduits lactifères se déversent alors directement dans une dilatation anfractueuse à la base du trayon : la citerne du pis qui correspond à la partie glandulaire du sinus lactifère (Figure 10) (Boudry, 2005).

Avant la traite, la quantité de lait contenu dans chaque quartier est répartie de la manière suivante : 60 % dans les alvéoles mammaires, 20 % dans les conduits et les 20 % restants dans la citerne du pis. Sans l'action de l'ocytocine et la contraction des cellules myoépithéliales qui chasse le lait vers la citerne, seuls les 20 % contenus dans la citerne du pis seraient récoltés lors de la traite (Boudry, 2005).

Figure 10 : Coupe transversale de la mamelle passant par les quartiers caudaux

(source : Baronne, 1990)



## (ii) Anatomie du trayon

### *(a) Structure externe*

Les trayons présentent en moyenne une longueur de 50 à 60 mm et un diamètre de 20 à 30 mm. Les trayons postérieurs sont généralement plus courts que les antérieurs.

La conformation du trayon joue un grand rôle dans la traite mécanique car elle conditionne le maintien du manchon et l'efficacité des cycles de massage et de traite. On recherchera donc un maximum d'homogénéité dans la conformation des trayons d'une même vache mais également entre les vaches du même troupeau.

L'implantation du trayon sur le quartier revêt également de l'importance pour le fonctionnement correct de la traite mécanique. Plus que de gêner le travail du trayeur lors de la pose des gobelets trayeurs, une implantation oblique du trayon peut induire une mauvaise position du trayon dans le manchon et ainsi perturber la récolte du lait (Goureau et coll., 1995).

### *(b) Structure interne*

Le trayon est occupé en grande partie par le sinus lactifère qui comporte une partie glandulaire ou citerne du pis et une partie papillaire ou sinus du trayon (Figure 11).

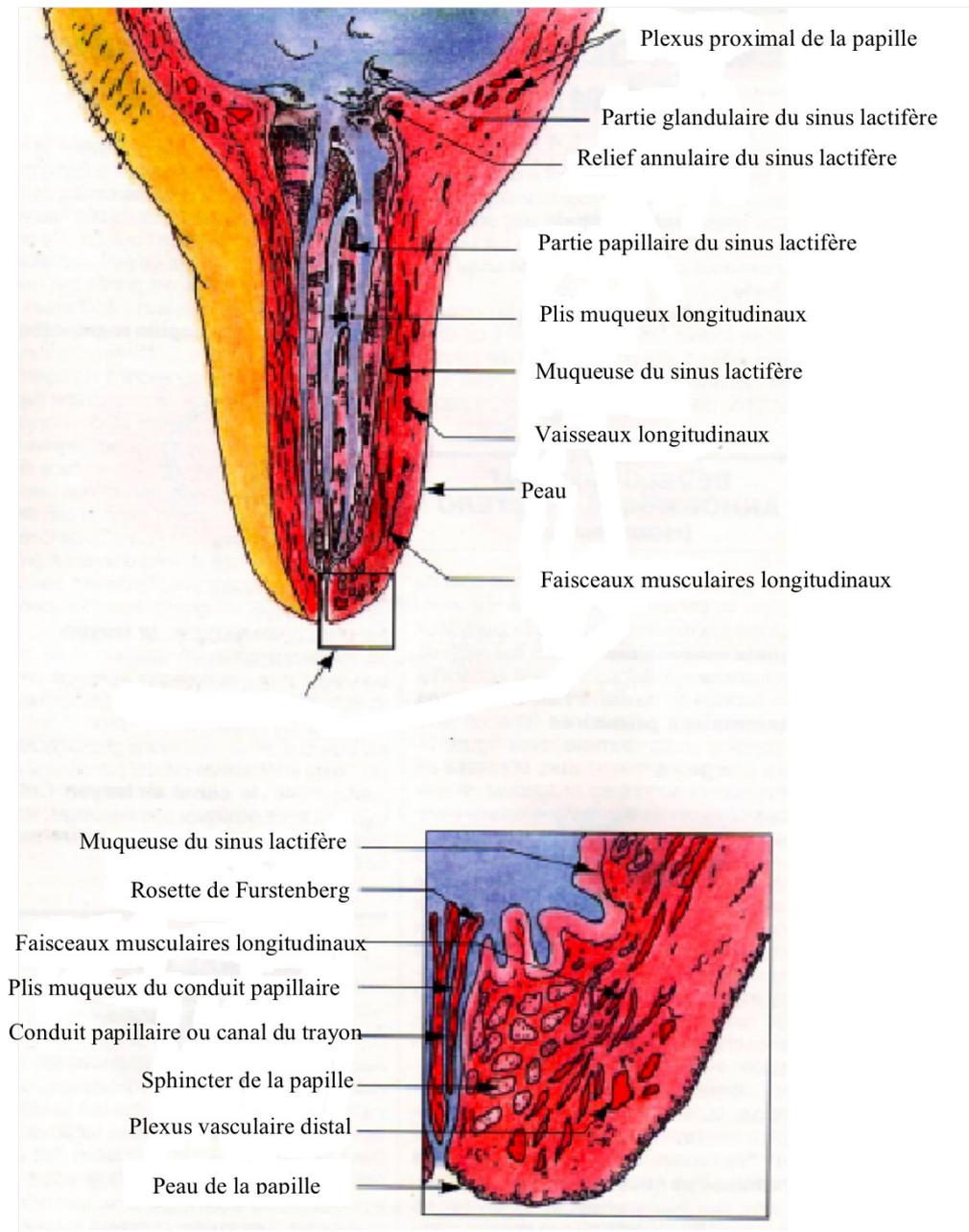
Si d'un point de vue anatomique la citerne du pis appartient au trayon, cette cavité est en réalité logée dans la partie distale de la mamelle, où elle reçoit les conduits lactifères du parenchyme mammaire. Elle est séparée du sinus du trayon par un repli annulaire.

Le sinus du trayon est situé dans le corps du trayon. Revêtue d'une muqueuse jaunâtre, sa paroi est pourvue de plis longitudinaux effaçables par la distension.

L'épaisseur de la paroi du trayon est essentiellement composée des faisceaux de fibres musculaires disposés irrégulièrement sur la longueur du trayon puis, progressivement, en anneau vers son extrémité pour former, autour du canal, un sphincter. Ces fibres musculaires permettent au trayon de se rétracter. La paroi est richement vascularisée et innervée. L'important réseau vasculaire du trayon voit son débit sanguin augmenter sous l'effet de l'adrénaline lors de la traite. Il s'ensuit une légère érection du trayon, ce qui assure sa meilleure tenue dans le manchon trayeur (Boudry, 2005).

Figure 11 : Conformation et structure du trayon

(source : Barone, 1990)

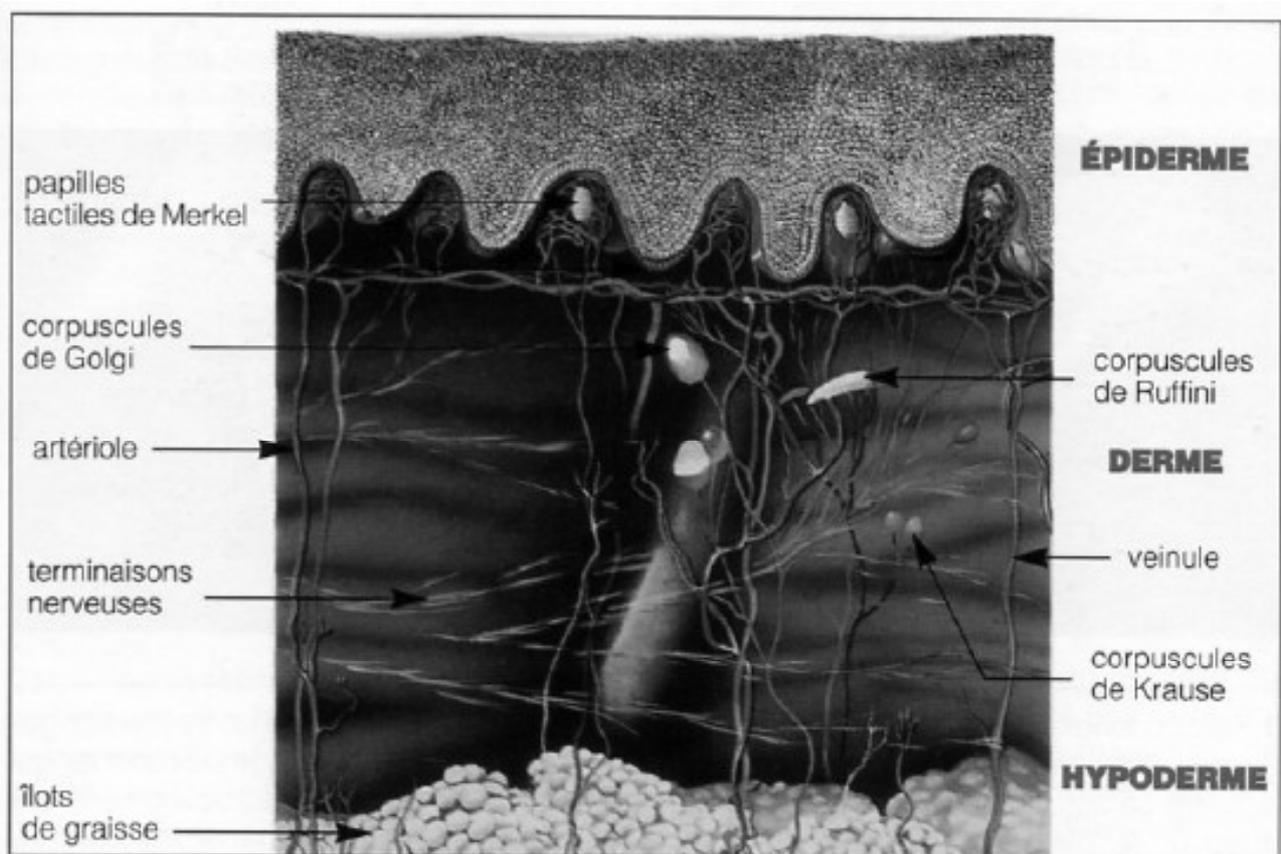


*(c)Innervation du trayon*

Le système nerveux est surtout représenté par des terminaisons sensibles. Ces terminaisons nerveuses sont à la base du réflexe de l'ocytocine et de l'éjection du lait. Elles sont sensibles au contact : papilles tactiles de Merkel, à la pression : corpuscules de Golgi-Mazzoni, au froid : corpuscule de Krause et à la chaleur : corpuscules de Ruffini (Figure 12) (Goureau et coll., 1995)

Figure 12 : Peau du trayon

*(source : Laboratoire Lipha-Santén cité par Goureau et coll., 1995)*



## (b) Particularités du trayon

### (i) Étanchéité du canal du trayon

Le sinus du trayon communique avec l'extérieur par le canal du trayon. L'orifice externe du trayon et le canal du trayon constituent l'unique voie de communication entre les germes pathogènes extérieurs et la mamelle. Le canal du trayon joue donc un rôle capital dans les moyens de défense contre la contamination de la mamelle par des germes pathogènes.

Le canal du trayon est composé de trois structures indispensables pour sa fonction de barrière antimicrobienne : un sphincter, des replis muqueux et une couche de kératine sur sa paroi interne (encadré Figure 11) (Boudry, 2005).

#### *(a) Le sphincter du trayon*

L'extrémité du canal du trayon est refermée par un muscle circulaire élastique : le sphincter du trayon. Au moment de la traite, sous l'action de l'ocytocine, les fibres musculaires du sphincter du trayon se relâchent et l'orifice du canal s'ouvre pour passer d'un diamètre virtuel à un diamètre de 0,4 à 0,8 mm. Sous l'effet de la poussée du lait, ce diamètre augmente encore de façon cyclique pendant la traite : 1 à 2 mm. À la fin de la traite, la contraction du sphincter permet la fermeture progressive du canal qui sera totalement occlus au bout de deux heures. Cette particularité physiologique est mise à profit lors de la pratique du trempage en fin de traite.

#### *(b) Les replis muqueux*

La surface interne du canal du trayon est organisée en de nombreux replis. Lorsque ces parois se rapprochent sous l'action du sphincter, les replis s'imbriquent les uns dans les autres, formant un obstacle physique à la progression des germes.

### *()cLa couche de kératine*

L'épithélium du canal du trayon est plus stratifié et pavimenteux que celui du reste du trayon. La dégénérescence cornée est accentuée et différencie nettement cet épithélium de celui du sinus du trayon. L'accumulation d'écailles de kératine sur les replis de la muqueuse forme un piège mécanique contre l'entrée des germes. La couche de kératine contient également des facteurs possédant des activités antimicrobiennes.

Les germes emprisonnés dans ces écailles de kératine seront éliminés avec elle au cours de chaque traite. La quantité de kératine perdue lors d'une traite mécanique est de l'ordre de 20 à 40 % de la kératine contenue dans le canal. Cette quantité de kératine éliminée est dépendante du débit de lait dans le canal lors de la traite, du niveau de vide de traite, et de la pression physique du manchon contre le trayon.

### ()ii La peau du trayon

La peau du trayon est glabre et dépourvue de glandes sudoripares, sébacées ou muqueuses. Cette absence de glandes la rend très sensible aux modifications extérieures de température, d'hygrométrie ou de luminosité. Dans les autres régions du corps, la présence de glandes cutanées apporte des ions minéraux, des glycérides, des acides gras et des acides aminés assurant à la fois le maintien de l'hydratation de l'épiderme et un pH acide, antibactérien et antifongique.

Les défenses aspécifiques de la peau du trayon sont directement dépendantes du degré d'hydratation de l'épiderme. La pellicule hydro-lipidique qui recouvre l'épiderme empêche les germes d'adhérer à la surface cornée de l'épiderme. Elle limite ainsi la colonisation de la peau par des germes pathogènes. L'importance du degré d'hydratation de la peau est appréciable macroscopiquement : une peau de trayon sèche est généralement plus sale et est plus difficile à nettoyer car les souillures restent adhérentes à sa surface.

Le degré d'hydratation de la peau du trayon a également des répercussions importantes sur la traite. Une diminution de 25 % de l'état d'hydratation de l'épiderme peut diminuer son élasticité de 75 %. Or pendant la traite, la longueur du trayon va presque doubler. Une élasticité trop faible aura trois effets néfastes sur le déroulement de la traite et la santé mammaire. Premièrement, le

trayon ne répondra pas correctement aux variations cycliques du niveau de vide. Deuxièmement, l'épiderme ne sera pas en mesure de supporter la traite ; il s'ensuit des lésions propices à la colonisation par des germes pathogènes. Troisièmement, la traite sera douloureuse pour la vache. Ce stress supplémentaire altère le phénomène d'éjection du lait par le biais de l'adrénaline qui limite l'action de l'ocytocine directement au niveau de ses récepteurs cellulaires (Boudry, 2005).

#### (c) Les mécanismes immunitaires de défense de la mamelle

La glande mammaire est protégée des agressions pathogènes par une variété de mécanismes de défenses immunitaires pouvant être divisés en deux types distincts : les immunités innée et acquise (Lacasse et Petitclerc, 2007).

La première, également qualifiée de non-spécifique, ne nécessite pas l'exposition préalable à l'agent pathogène. Son rôle est capital en phase précoce d'infection. La réponse immunitaire innée est médiée par les barrières physiques du trayon, les macrophages, les neutrophiles, les cellules *natural killer* et certains facteurs solubles chimiques.

La seconde est induite lorsque l'agent infectieux n'est pas éliminé par les défenses non spécifiques. Ce type de réponse nécessite une reconnaissance des déterminants antigéniques spécifiques d'un pathogène afin d'accomplir une élimination sélective. En cas de contacts répétés, cette réponse se fait plus forte, plus rapide et plus efficace en raison d'une mémoire immunitaire. Les médiateurs de l'immunité acquise sont les anticorps, les macrophages et les lymphocytes.

#### (i) Les médiateurs de l'immunité innée

##### (a) *Les barrières physiques du trayon*

En l'absence d'atteinte à l'intégrité du revêtement cutané, l'extrémité distale du trayon est le seul orifice entre le système interne de sécrétion et l'environnement et donc, la seule voie d'accès possible pour les agents pathogènes. Plusieurs barrières s'opposent à cette entrée.

Tout d'abord, le sphincter musculaire maintient le trayon fermé de manière étanche.

Ensuite, le canal du trayon est constitué d'un épithélium stratifié à base de cellules squameuses et recouvert de kératine. La kératine est une accumulation de cellules épithéliales mortes et cornées, produites par le *Stratum corneum* de la paroi du canal, qui se déposent en lamelle dans la lumière du canal du trayon jusqu'à l'oblitérer presque complètement. Cette substance joue un double rôle : d'une part, elle emprisonne les bactéries et empêche leur migration vers le pis et d'autre part, elle favorise l'expulsion des bactéries lors de la traite. Elle a une composition en acides gras saturés et insaturés et en protéines qui a un effet bactériostatique sur les germes venant se piéger dans son réseau lamellaire. Plusieurs acides aux propriétés bactériostatiques sont contenus dans la kératine comme l'acide myristique, les acides gras estérifiés et non-estérifiés, les acides palmitoléique et linoléique. Sont également présentes des protéines cationiques qui diminuent la résistance des membranes bactériennes aux différences de pression osmotique en formant des liens électrostatiques. Après destruction complète, le temps de régénération de la kératine est de 2 à 3 jours.

#### *(b) Les défenses cellulaires*

La rosette de Fürstenberg est un repli muqueux situé à l'extrémité supérieur interne du canal du trayon (Figure 11). Elle est un point d'entrée majeur des leucocytes du sang vers la glande, ce qui assure une forte concentration en leucocytes dans le trayon (Lacasse et Petitclerc, 2007).

#### *(i) Les macrophages*

Ces granulocytes issus de la moelle osseuse se caractérisent par un noyau unique et rond et un développement important de l'appareil de Golgi et du reticulum endoplasmique. Ce type cellulaire est le plus représenté dans le lait et les tissus d'une glande mammaire saine. Leur rôle consiste à phagocyter les micro-organismes puis à les détruire par l'action conjointe d'enzymes protéolytiques et de radicaux libres. Leur activité peut être considérablement augmentée par l'opsonisation des particules. Néanmoins, leur contribution à l'activité phagocytaire est nettement inférieure à celle des neutrophiles lors d'une infection.

Outre leur rôle de phagocytose, ils sécrètent diverses substances chimiotactiques vis à vis des neutrophiles comme les prostaglandines, les leukotriènes et les cytokines. Cette activité est plus importante pour la défense de la glande mammaire que leur activité phagocytaire (Schukken *et al.*, 2001).

#### (ii) Les neutrophiles

Autrement appelés polymorphonucléaires neutrophiles (PMN), ils font partie, tout comme les précédents, des granulocytes et ont pour fonction de phagocyter et de détruire de manière non spécifique les bactéries. Ils sécrètent également des substances antibactériennes. En l'absence d'infection, ils représentent 10 à 15 % des cellules somatiques. En cas de mammite, leur nombre peut atteindre plus d'un million par millilitres (Schukken *et al.*, 2001).

#### (iii) Les cellules *Natural killer*

Ce sont de larges et granuleux lymphocytes qui ont la particularité de posséder une activité cytotoxique indépendante du complexe majeur d'histocompatibilité. Leur pouvoir toxique réside dans la libération d'enzymes, appelées perforines, qui s'attaquent à la membrane de la cellule cible (Lacasse et Petitclerc, 2007).

#### (c) Les facteurs solubles chimiques

##### (i) La lactoferrine

Cette protéine du lait présente des effets antibactériens et anti-inflammatoires. Son effet le plus connu est d'immobiliser le fer, élément essentiel à la croissance bactérienne. Récemment, un peptide de la lactoferrine appelé lactoferricine, s'est avéré être un antimicrobien dix à cent fois plus puissant que la lactoferrine elle-même. Outre son action antibactérienne, la lactoferrine stimulerait la phagocytose des bactéries par les neutrophiles (Lacasse et Petitclerc, 2007).

### (ii) Le complément

Cette série de protéines, présente dans le lait et dans le sang, fonctionne selon une cascade enzymatique aboutissant à la destruction de la cellule ou du pathogène (Lacasse et Petitclerc, 2007).

### (iii) Les médiateurs de l'immunité acquise

#### (a) *Les anticorps*

Effecteurs solubles du système immunitaire spécifique, ils sont produits par les lymphocytes B activés ou plasmocytes. Leur nombre est considérable dans le colostrum ou lors d'épisodes de mammites. Ils se répartissent en quatre types aux rôles distincts (Lacasse et Petitclerc, 2007).

Les IgG1 et IgG2 participent à l'opsonisation des bactéries et facilitent leur phagocytose par les macrophages et neutrophiles.

Les IgA ne sont pas opsonisantes mais agglutinantes pour les bactéries ce qui rend plus difficile la colonisation de la glande.

Les IgM, en raison de leur grande taille qui réduit leur habileté à migrer hors de la circulation sanguine, sont probablement moins importants pour la protection de la glande mammaire.

#### (b) *Les défenses cellulaires*

##### (i) Les macrophages

Outre leur rôle présenté ci-dessus dans la réponse innée, ils jouent un rôle capital dans la réponse acquise en raison de la capacité à préparer et présenter des antigènes afin d'amplifier la réponse immunitaire (Schukken *et al.*, 2001).

## (ii) Les lymphocytes

Ce sont de petites cellules rondes capables de reconnaître des antigènes via des récepteurs spécifiques. Ils peuvent être divisés en deux groupes principaux : les lymphocytes T et B (Schukken *et al.*, 2001).

### Les lymphocytes T

Au sein de ce groupe plusieurs types se distinguent dans leur mode d'action.

Les lymphocytes T cytotoxiques ont la capacité de détruire spécifiquement les cellules étrangères, altérées ou infectées par un pathogène intracellulaire.

Les lymphocytes T auxiliaires sont indispensables pour que les cellules B puissent se différencier en cellules productrices d'anticorps.

Les lymphocytes T suppresseurs préviennent ou arrêtent la réponse immunitaire en bloquant ou en diminuant l'activité des autres cellules du système immunitaire.

### Les lymphocytes B

Leur rôle est de produire des anticorps spécifiques contre les pathogènes après les avoir identifiés. Sous l'action des interleukines sécrétées par les lymphocytes T *helpers*, le lymphocyte B se transforme en plasmocyte produisant des immunoglobulines ou des cellules mémoires. Lors d'une première exposition à un antigène, le premier type d'immunoglobuline produit sera l'IgM. Avec la différenciation, il changera pour l'IgG, l'IgA ou l'IgE. Lors d'une exposition subséquente à un antigène, celui-ci rencontrera un grand nombre de cellules B mémoire qui répondront par la production rapide et massive d'IgG (Schukken *et al.*, 2001).

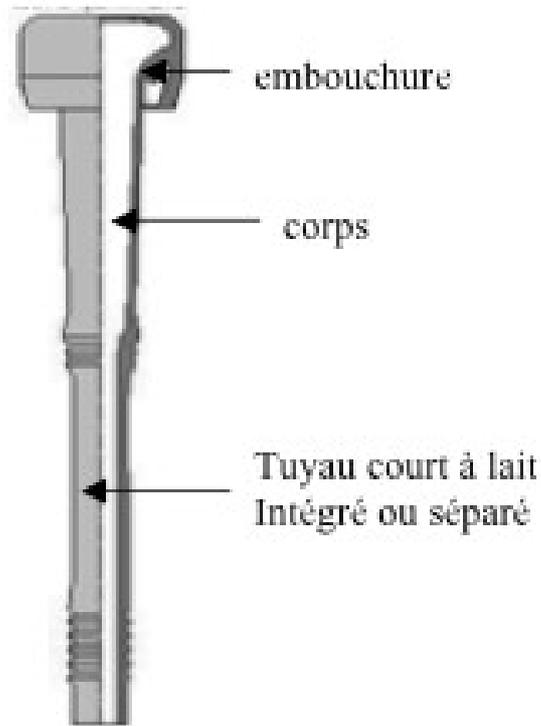
## (2) Liés à la machine : action du manchon sur le trayon lors de la traite

### (a) Conformation du manchon trayeur

Inséré dans le gobelet, le manchon trayeur est la seule partie de la machine à traire en contact direct avec la mamelle. Il est le plus souvent constitué de caoutchouc dont la dureté varie selon les modèles et l'épaisseur. Il est composé de trois parties : l'embouchure, le corps et le tuyau court à lait, chacune étant caractérisées par leur diamètre, leur forme et leur longueur (Figure 13) (Goureau et coll., 1995).

Figure 13 : Conformation extérieure et intérieure du manchon trayeur

(source Hanzen, 2007)



### (b) Présentation des forces exercées par le manchon sur le trayon

L'effet du manchon sur le trayon peut être décomposé en trois forces distinctes (Mein *et al.*, 1987).

(i) Force de cisaillement

La force de cisaillement, également appelée force de tonte, est la force d'arrachement que subit l'intérieur du canal du trayon lors du passage du lait. Elle se produit lors de la phase B du cycle de pulsation grâce à la dépression appliquée au sein du manchon trayeur. Cette force est en grande partie responsable de l'élimination de la kératine.

(ii) Force de compression

La force de compression est la force exercée par le manchon sur le corps du trayon lors de la rupture du vide et application de la pression atmosphérique dans la chambre de pulsation. Cette phase de massage, qui correspond à la phase D du cycle de pulsation, permet de limiter la congestion du trayon qui serait inéluctable en l'absence de pulsation.

Ces deux forces sont indispensables pour assurer une extraction rapide du lait et une décongestion correcte du trayon. Toutefois, si elles dépassent un certain niveau, elles peuvent provoquer des traumatismes invalidants, voire irrémédiables, sur le canal du trayon.

(iii) Force de succion

La force de succion est la force appliquée en permanence à la peau de la racine du trayon par la pièce d'embouchure du manchon. Un effet « ventouse » du manchon sur le trayon est nécessaire à son maintien. Sans ce phénomène, le manchon glisserait le long du trayon, entraînant des entrées d'air intempestives responsables du phénomène d'impact. Cependant, si cette succion est excessive, des anneaux de compression et des étranglements de la racine du trayon surviennent, engendrant des difficultés en fin de traite.

### (c) Modélisation de l'action du manchon sur le trayon

L'action du manchon sur le trayon a été étudiée, *in vivo*, grâce à la cinéradiographie par Mein en 1987. Celle-ci montre que, dès la pose du gobelet, le trayon est aspiré par le manchon. Plus le vide est important, plus le trayon s'enfonce et il agit comme un piston dans un cylindre. Normalement, le trayon introduit dans le gobelet trayeur s'allonge, en début de traite de 40 à 50 % de sa longueur.

Le canal du trayon est une structure plissée qui a la faculté de se déployer. En dehors de la traite, les muscles du sphincter du trayon le maintiennent occlus. Au moment de la traite, il tend à s'ouvrir lorsque les forces engendrées par le vide de traite dilatent le bout du trayon au delà de ses forces biologiques de fermeture. Une augmentation du diamètre de l'extrémité du trayon est nécessaire au déploiement du canal. À ce moment, le lait s'écoule parce que la pression qui existe dans le sinus du trayon, résultant de l'accumulation de lait, est supérieure à celle qui règne dans le manchon ouvert. Ce débit sera d'autant plus élevé que la pression à l'intérieur du trayon sera forte et que le vide de traite sera puissant (jusqu'à un certain point). Le diamètre du canal ouvert est alors d'environ 1,5 à 2 mm pendant toute la période de débit maximum. Grâce à la pression importante présente à l'intérieur du trayon, aucune congestion ne se produit dans la paroi de cet organe. Cette pression interne diminue au fur et à mesure de l'extraction du lait et en parallèle, les parois du trayon subissent progressivement les effets néfastes du vide de traite, notamment une congestion (Goureau et coll., 1995).

Le jeu de la pulsation permet de limiter les répercussions du vide de traite sur les parois du trayon apparaissant au fur et à mesure de l'extraction du lait. Lors de l'admission d'air à la pression atmosphérique dans la chambre de pulsation, le manchon se ferme sur le trayon. Ses parois s'appliquent au bout et autour de cet organe et, normalement, provoquent sa décongestion. Cependant, la coaptation laisse toujours un petit espace libre situé juste au-dessous du bout du trayon (Figure 14) (Mein *et al.*, 1987).

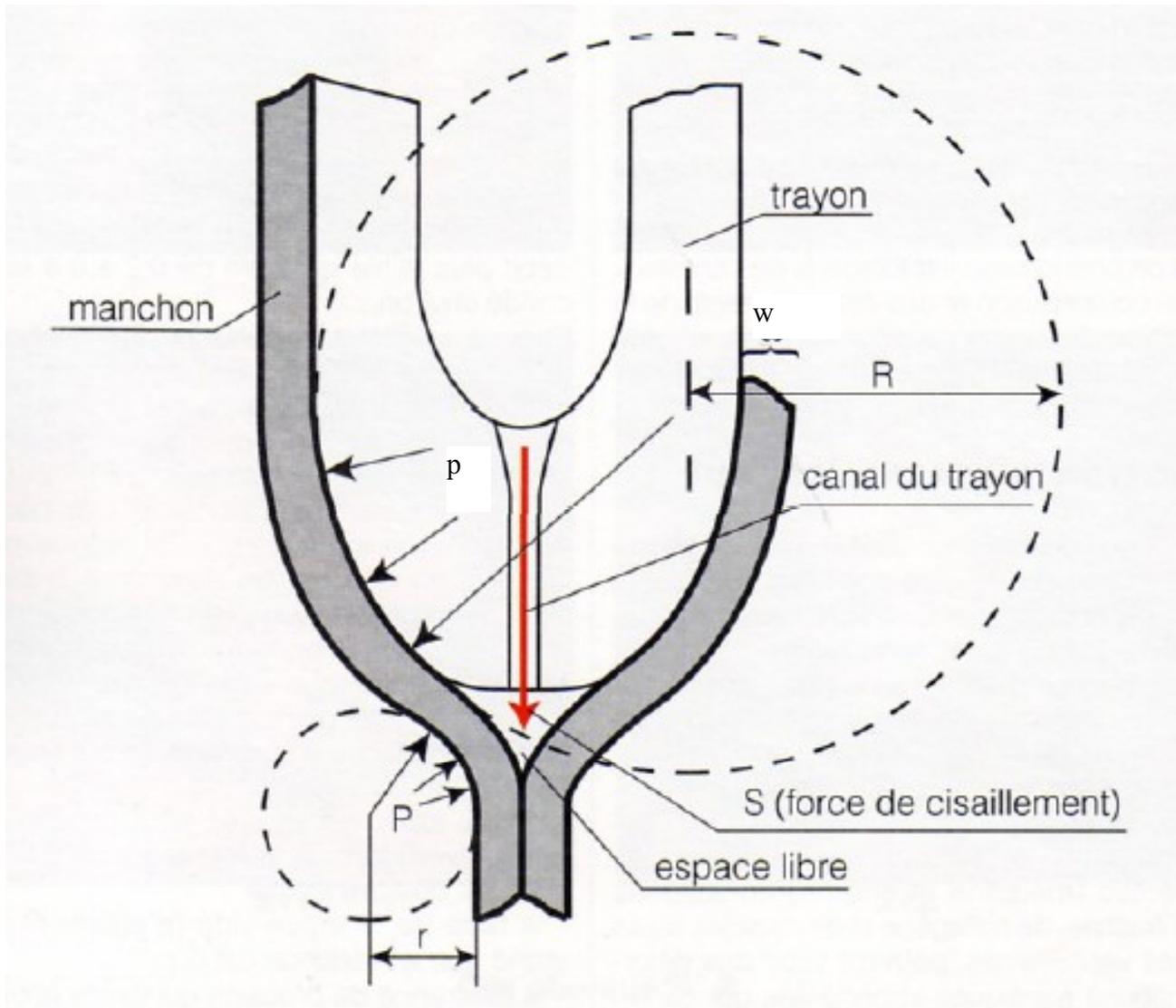
Cet espace est alimenté en vide par les deux canaux formés par la pliure incomplète des parois du manchon. Il y a donc toujours du vide juste sous le trayon même lorsque le manchon est fermé.

La force totale qui se crée pour compresser le trayon lors de la fermeture du manchon est déterminée par :

- La taille de l'espace vide (d'autant plus important que le manchon est dur)
- La différence de pression qui existe entre l'extérieur et l'intérieur du manchon.

Figure 14 : Action du manchon sur l'extrémité du trayon

(source : Mein et al., 1987)



Légende :

- S = force de cisaillement subie par le canal du trayon (en kPa)
- p = pression appliquée sur le trayon (en kPa)
- P = pression dans la chambre de pulsation
- R = rayon de courbure du manchon autour du trayon (en mm)
- r = rayon de courbure du manchon immédiatement sous le trayon
- w = épaisseur du manchon (en mm)

Si on augmente l'épaisseur du manchon, on le rend plus rigide, le volume de l'espace libre sous le trayon s'agrandit, et la force de compression est augmentée et réciproquement.

Cette compression, exercée par le manchon sur le trayon, ainsi que la force de cisaillement, provoquée par le manchon dans le canal du trayon, peuvent être estimées grâce aux travaux de D.M Williams et G.A. Mein (Mein *et al.*, 1987). Ces auteurs ont établi les deux égalités suivantes (cf. Figure 14) :

1.  $P r = p R$

2.  $P = S w / R$

(i) Application à la force de compression

Si  $P r = p R$  alors  $p = P r / R$

Ainsi, la force de compression exercée sur le trayon est fonction :

- de la dépression (vide nominal)
- du rapport  $r / R$  qui correspond à la rigidité du manchon.

Le rapport  $r / R$  peut aller de 1/15 (manchons très souples qui n'exercent qu'une compression insignifiante sur le trayon) à 1/2 (manchons très durs qui écrasent le trayon). Les manchons performants du commerce ont un rapport voisin de 1/5.

(ii)

(iii) Application à la force de cisaillement

Si  $p = S w / R$  et  $P r = p R$  alors  $S w = p R = P r$  donc  $S = P r / w$

Ainsi, la force de cisaillement subie par le canal du trayon est

- proportionnelle à la dépression
- inversement proportionnelle à l'épaisseur du manchon, c'est-à-dire proportionnelle à sa souplesse.

Il apparaît donc que, pour une dépression donnée, les manchons souples seront les plus agressifs pour le canal du trayon mais les moins efficaces pour décongestionner les trayons.

D'autre part, en cas de dépression excessive, le manchon dur aura un effet d'écrasement sur les tissus du trayon sans trop d'effets sur le canal ; à l'inverse, le manchon souple aura tendance à éverser le canal sans léser la paroi du trayon (Mein *et al.*, 1987)

#### (iv) Application à la force de succion

Pendant toute la première partie de la traite, la friction entre la paroi du manchon et le corps du trayon dilaté par la pression exercée par le lait suffit à maintenir le manchon dans la position. Au fur et à mesure de l'évacuation du lait, la pression intra-mammaire diminue et le trayon s'étire si bien que sa peau n'est plus en contact avec le corps du manchon. Le vide de traite passe alors librement entre le trayon et le manchon pour atteindre la gorge de la pièce d'embouchure. La dépression qui se produit à cet endroit empêche le glissement du manchon et sa chute.

#### (v) Conséquences sur la kératine du canal du trayon

Dans le cas où la force de cisaillement générée par le manchon trayeur est non compensée par une bonne pression du manchon fermé (cas d'un manchon souple soumis à une dépression élevée), il se produit non seulement une érosion du canal mais également une agglutination de la kératine en masse compacte voire son élimination quasi-complète. Le trayon devient alors tout à fait perméable aux germes de l'environnement.

La force de cisaillement et la force de compression ont une action antagoniste vis à vis de la kératine qui garnit la lumière du canal du trayon. La première a tendance à l'enlever, l'autre à la remettre en place. De l'équilibre de ces deux forces dépendra la persistance de cette substance protectrice (Gourreau et coll., 1995).

## )B Lésions du trayon induites par la machine à traire

Le trayon subit matin et soir les effets du stress de traite. Les améliorations des systèmes de traite font qu'il le supporte de mieux en mieux. En théorie, à part un allongement inévitable, il devrait garder le même aspect avant et après la traite. En pratique, on constate encore un certain nombre de lésions. L'examen du trayon juste après la traite est une étape indispensable qui doit permettre de préciser si les éventuelles altérations observées ont une relation directe avec la conception et le réglage du système de traite et / ou avec la technique de traite conduite par le trayeur.

### ()1 La congestion et l'œdème

Cette lésion, observée immédiatement après la traite, est la plus fréquente. Sous l'effet de la dépression et surtout lors d'un massage insuffisant : les vaisseaux du trayon, et en particulier ceux de l'apex se congestionnent, leur diamètre augmente et des liquides d'origine sanguine ou lymphatique sont extravasés.

Lorsqu'il y a congestion, la traite est généralement plus longue et devient inconfortable pour la vache qui s'agite alors en fin de traite.

L'examen clinique montre une peau avec une couleur qui va du rose vif au violet, la palpation est douloureuse en fin de traite et le corps du trayon est déformé en forme de poire souple souvent dissymétrique (Figure 15) (Brouillet et coll., 2002).

Figure 15 : Œdème du trayon

(source : Teat Club International cité par PLM Document technique, 2005)



Les facteurs de risque d'apparition de ce type de lésion sont les suivants :

- Défaut de fonctionnement de la pulsation avec massage insuffisant , dû à un rapport de pulsation trop élevé résultant d'un mauvais réglage ou d'un encrassement des pulsateurs.
- Niveau de vide trop élevé, conséquence d'un mauvais réglage ou d'une défaillance du régulateur (capacité inadéquate ou encrassement)
- Manchon trayeur trop souple.
- Dimension inadéquate des manchons, des manchons trop courts (inférieurs à 140 mm) ne massant pas correctement l'extrémité des trayons.

La congestion ou l'œdème ne sont pas constants tout au long de la traite. Isaksson et Lind (1992) ont mis en évidence que l'épaisseur du trayon augmente lorsque le débit de lait est faible ou lors de surtraite. En ce qui concerne le début de traite, ces lésions sont rarement présentes car le vide entraîne une élongation plus qu'une congestion du trayon.

## 02L'hyperkératose et les éversions du canal du trayon.

À chaque traite, la kératine est éliminée essentiellement par la force de cisaillement. Lors d'une traite défectueuse (force de cisaillement trop grande ou force de compression trop faible), la kératine a tendance à se déposer au niveau de la papille en formant les lésions d'hyperkératose. Plus ou moins translucide ou blanche au début, elle deviendra de plus en plus sombre et dure, pouvant prendre l'allure d'une substance cornée brune et irrégulière (Figure 16) (Brouillet et coll., 2002)

Figure 16 : Lésions d'hyperkératose à un stade avancé sur les trayons arrière

(source : Teat Club International cité par PLM Document technique, 2005)

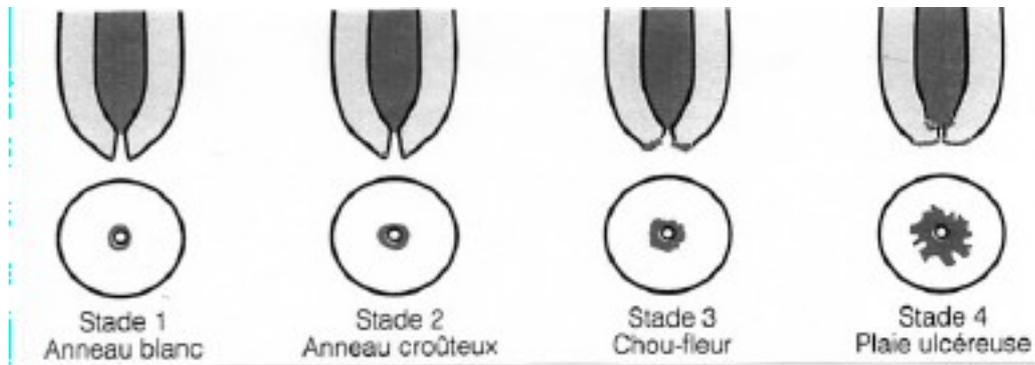


Des examens histologiques de coupes de trayons atteints d'hyperkératose montrent que cette lésion résulte d'une hyperplasie localisée d'une couche de la peau : le *stratum corneum* (Mein *et al.*, 2003). En conséquence, la dénomination éversion est impropre à la description de cette lésion bien qu'elle soit couramment utilisée.

Classiquement, le degré de gravité de l'hyperkératose est évalué grâce à un classement en cinq stades (voir description dans la figure 17)

Figure 17 : Classification des stade d'hyperkératose

(source : Goureau et coll., 1995)



Pour une traite normale, le pourcentage de vaches montrant le stade 1 et 2 doit être supérieur à 85-90 % ; le taux de stades 3 et 4 inférieur à 5-10 % (Lacombe a., 1995)

Les facteurs de risque de ces lésions sont les suivants :

- Liés à la traite
  - Traite trop longue : surtraite par mauvaise technique de traite ou niveau de vide mal adapté au manchon utilisé (trop souple)
  - Défaut de pulsation et massage insuffisant
  - Manchons altérés, mal positionnés
- Liés à la vache
  - Age : vaches âgées
  - Stade de lactation : lésions plus fréquentes en début de lactation
  - Niveau de production : hautes productrices plus sensibles
  - Vitesse de traite : traite trop longue sur des vaches à traite rapide
  - Conformation des trayons : longs, fins et cylindriques plus exposés

Il faut rajouter à ces deux groupes de facteurs de risque que le degré d'hyperkératose est également influencé par les conditions climatiques qui peuvent modifier le degré d'humidité et la dureté de la kératine (Hillerton, 2005)

Contrairement aux autres lésions présentées qui sont immédiatement observables après la traite, l'hyperkératose est une lésion s'installant progressivement : 2 à 8 semaines (Mein *et al.*, 2001).

### (3) Lésions internes du canal

Elles se répartissent en cinq types :

- Hyperkératose du canal
- Pétéchies hémorragiques
- Apparition d'infiltrats dans la couche épithéliale
- Métaplasie de l'épithélium
- Fibrose de la paroi des vaisseaux sanguins

Tous les facteurs impliqués dans la formation de l'hyperkératose du bout du trayon sont aussi responsables d'une hyperkératose interne. L'apparition de métaplasies épithéliales et de fibrose des vaisseaux sanguins est probablement fonction de la force appliquée par le manchon lors de sa fermeture. Ce sont les lésions les plus graves car les dommages causés au système circulatoire semblent plus en rapports avec l'apparition de mammites que l'hyperkératose du bout du trayon.

Dans certains cas, les forces exercées dans le canal du trayon peuvent être telles que l'épithélium interne se décolle, provoquant des lésions de la rosette de Fürstenberg avec retournement de la muqueuse à l'intérieur du sinus du trayon ; celles-ci s'accompagnent de proliférations fibreuses, de septa, de séquestres qui entravent l'éjection du lait. Pour obtenir le lait d'égouttage, l'éleveur est alors tenté de pratiquer la surtraite sur ce quartier ou d'introduire une sonde afin de déboucher le conduit. Cette pratique est de toute manière vouée à l'échec car, outre le

fait qu'elle aggrave les lésions mécaniques, elle favorise l'introduction de germes souvent pyogènes dans le quartier (Goureau et coll., 1995).

#### (4) Pétéchies et points noirs

L'apparition de pétéchies hémorragiques autour du bout du trayon peut être considérée comme un signe des défauts de pulsation : pulsateurs déficients, manchons de diamètre trop large pour les trayons du troupeau, niveau de vide trop élevé pour les caractéristiques de la pulsation et du manchon utilisé (Figure 18).

Figure 18 : Pétéchies sur l'extrémité du trayon

*(source : Teat Club International cité par PLM Document technique, 2005)*



En effet, même si la pulsation est correcte, elle peut ne pas être efficace, soit parce que le manchon ne peut pas se fermer complètement du fait de la persistance d'une grande quantité de lait (mauvaise évacuation), soit en raison de la trop faible longueur du manchon qui l'empêche de se fermer complètement au dessous du bout du trayon si ce trayon est très long comme chez les races Normande ou Montbéliarde . Dans ce cas, la fréquence d'apparition de pétéchies à l'apex du trayon est considérablement augmentée (Brouillet et coll., 2002).

## 05 Anneaux de compression

Au cours de la traite, pendant la période de fort débit du lait, le sinus du trayon est tenu dilaté par la pression intra-mammaire. La force de succion, qui se crée entre la paroi du manchon et la peau du trayon, est alors la principale force de soutien du gobelet trayeur sur le trayon.

À la fin de cette période qui équivaut à 75 % environ du temps de traite, la pression intra-mammaire diminue, le débit de lait diminue aussi et le trayon s'allonge de deux à cinq centimètres s'enfonçant plus profondément dans le manchon. Le manchon, alors moins fortement appliqué à la peau du trayon, va « grimper » jusqu'à la racine du trayon. La pièce d'embouchure du manchon provoque le rétrécissement ou même la fermeture du passage entre la citerne du pis et le sinus du trayon. Celui-ci en s'étirant diminue de diamètre, si bien que sa peau n'est plus en contact avec le corps du manchon. Le vide de traite peut ainsi passer librement entre le trayon et le manchon et atteindre la lèvre de la pièce d'embouchure. La dépression augmentera considérablement au niveau de la gorge de la pièce d'embouchure et, agissant sur la peau du trayon, y provoquera de l'œdème et de la congestion circulaire appelés anneaux de compression (Figure 19).

Figure 19 : Anneau de compression à la base du trayon

(source : Teat Club International cité par PLM Document technique, 2005)



Dans une salle de traite à décrochage automatique, le trayeur sera contraint de terminer à la main une traite douloureuse ; en effet, le débit du lait diminuant en raison de la compression des replis annulaires, il déclenchera le décrochage sans que la traite ne soit terminée, d'où des risques majeurs de comptages cellulaires élevés puis de mammites.

Les facteurs de risque d'anneaux de compression sont directement liés à la traite : niveau de vide dans la gorge d'embouchure du manchon, surtraite, grimpage, diamètre inadapté de la pièce d'embouchure du manchon (Brouillet, 2002).

## )C Études récentes sur l'action traumatisante de la machine et ses conséquences pour le trayon.

L'action traumatisante de la machine à traire sur le trayon dépend de plusieurs paramètres et surtout de l'interaction entre ces différents paramètres : type de manchon, vide de traite, pulsation. Il n'en demeure pas moins que la majorité des lésions du trayon sont imputables au manchon lui-même.

Plus particulièrement, le manchon est la seule partie de la machine qui est en contact direct avec le trayon. Concevoir un manchon est l'étape la plus difficile lorsqu'on veut optimiser la traite, améliorer l'état des trayons et minimiser le risque d'infection.

Les objectifs théoriques à atteindre dans la conception des manchons sont les suivants : ils doivent présenter un joint étanche aux deux extrémités du gobelet, ainsi qu'une embouchure et un volume qui s'adaptera au trayon et minimisera les glissements et les décrochages des faisceaux trayeurs. Ils doivent, en outre, permettre une traite rapide, la plus complète possible tout en réduisant les blessures et la congestion des trayons.

La longueur et le diamètre optimaux du manchon dépendent de la longueur et du diamètre du trayon.

Il existe sur le marché une panoplie de concepts de manchons qui essaient tous d'atteindre les mêmes objectifs. Par exemple, le diamètre de l'embouchure varie de 18 à 27 mm et le diamètre interne de 20 à 28 mm. La raison pour laquelle la conception des manchons varie est principalement due aux trayons de différents diamètres des diverses races. Cependant, il ne faut pas oublier que la gamme de la taille des trayons d'un même troupeau est souvent plus large que la différence entre les races.

## 01 Influence du manchon trayeur

Dans l'industrie laitière mondiale, plusieurs centaines de types de manchons trayeur sont disponibles sur le marché, aux caractéristiques différentes quant à la taille, la forme, la consistance et les procédés de construction. Cette diversité indique qu'aucun manchon idéal n'a été identifié depuis la traite mécanique en dépit du large développement de la traite mécanique partout dans le monde.

### 0a Influence de la section du manchon trayeur sur l'hyperkératose de l'extrémité du trayon

Historiquement, seuls des manchons à section ronde étaient disponibles sur le marché. Depuis plus de 20 ans, sont apparus des manchons aux sections diverses : carré, triangulaire, mixte. Malheureusement, la plupart de ces formes n'ont pas fait l'objet d'études scientifiques ce qui limite la portée de ces nouveaux concepts.

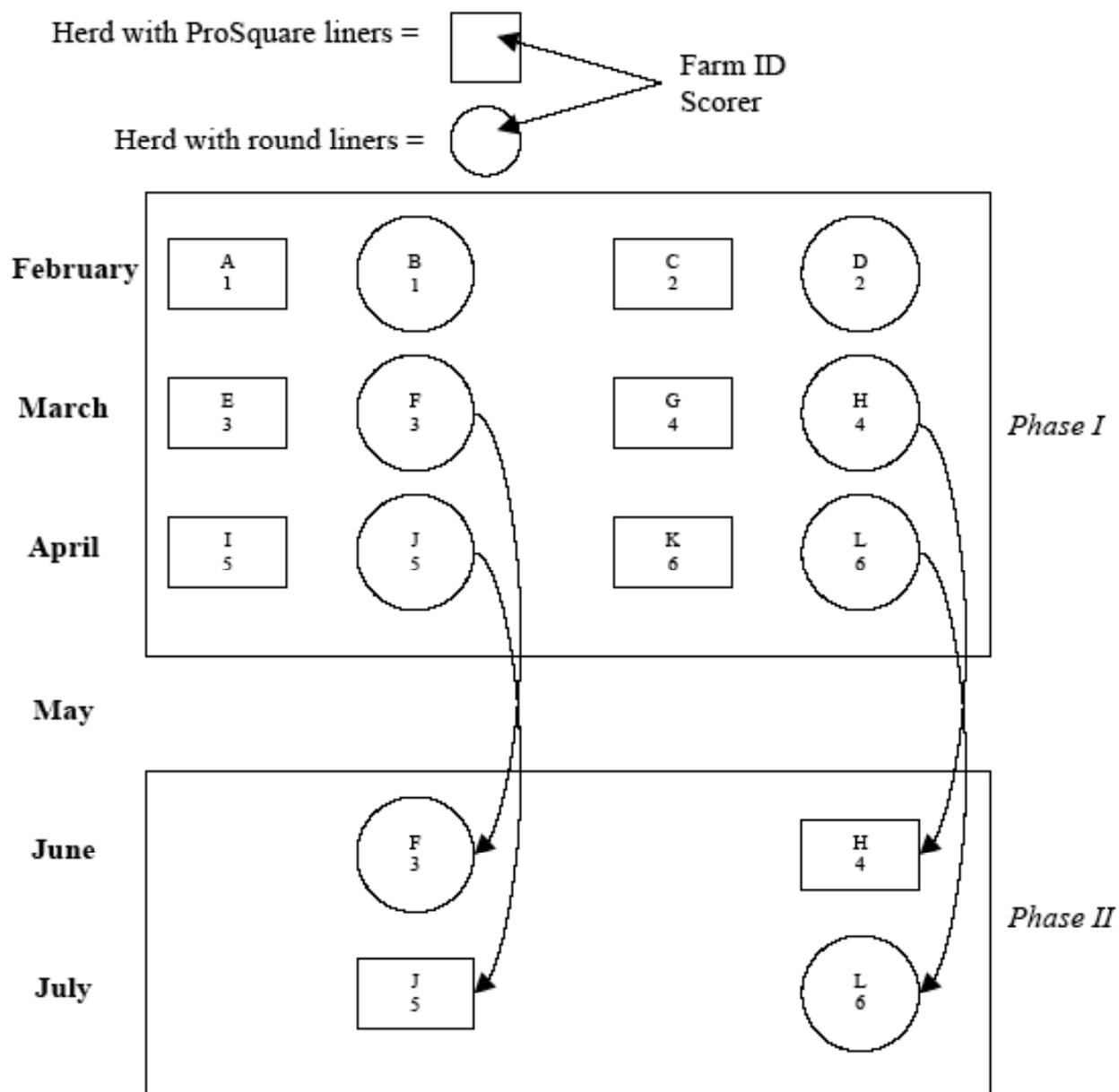
Parmi les rares études sur ce sujet, citons Schukken *et al.* (2006) qui a évalué l'effet du type de manchon à section carré versus section ronde sur l'extrémité du trayon de vaches en lactation.

L'étude présentait deux phases. La phase I, menée sur trois mois, avait pour but de comparer les lésions de l'extrémité du trayon lors de l'utilisation d'un manchon à section carré par rapport à l'utilisation d'un manchon à section ronde. Pour réaliser ce projet, douze exploitations ont été incluses dans cette étude : six utilisant des manchons à section carrée (*ProSquare®* styles DPX ou SPX) et six utilisant des manchons classiques à section ronde ; chacune étant appariée à une autre selon le nombre de traites quotidiennes, le technicien évaluant les trayons et le mois de lactation des animaux.

La phase II, menée sur deux mois, avait pour objectif de comparer au sein d'un même troupeau l'évolution des lésions du trayon lors du changement de manchon trayeur : passage d'un manchon à section ronde à un manchon à section carrée. Quatre des exploitations ayant participé à la phase I et appartenant au groupe utilisant des manchons à section ronde ont été introduites dans cette étude. Un appariement par paires a été effectué de la même façon que pour la phase I. Une exploitation de chacune des paires s'est vue remplacer les manchons à section ronde par des

manchons à section carrée alors que la seconde a conservé les manchons à section ronde. Cet appariement permet de neutraliser le rôle du climat sur les modifications des lésions de l'extrémité du trayon (Figure 20).

Figure 20 : Description de l'étude de Schukken *et al.* (2006)



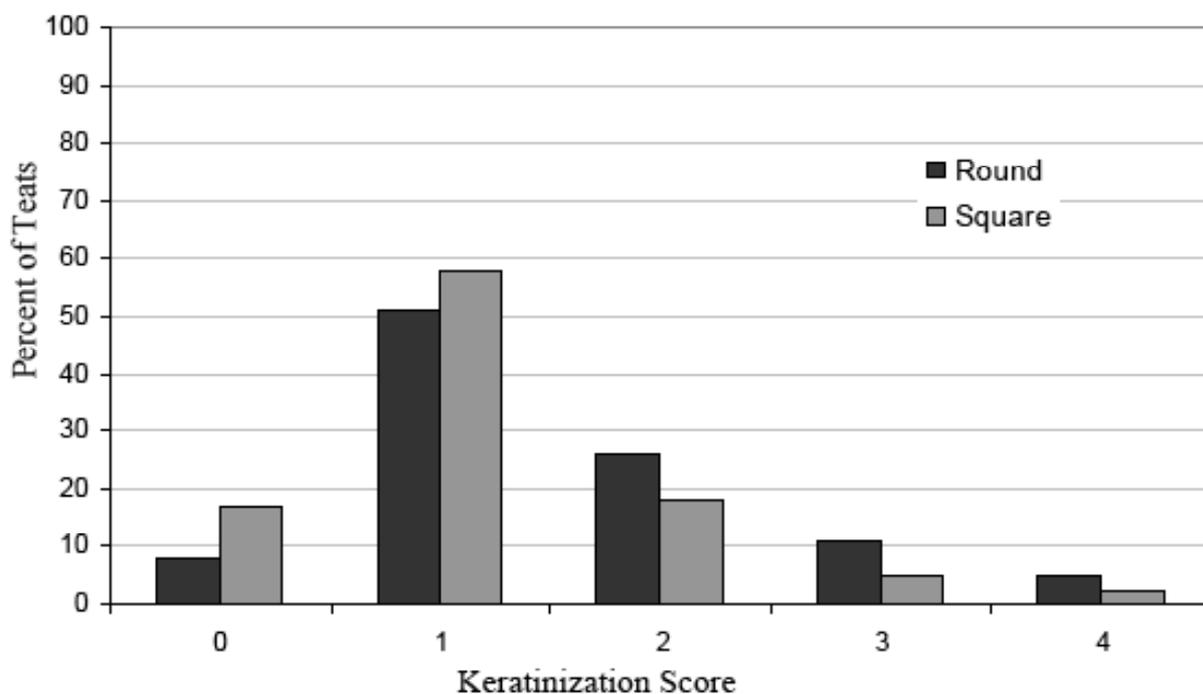
Les paires de troupeaux sont identifiées par un chiffre et deux troupeaux appariés sont représentés par deux lettres consécutives : A avec B pour la paire 1 ; C avec D pour la paire 2 par exemple.

Ce schéma d'étude permet d'obtenir deux méthodes pour évaluer l'association entre le type de manchon et l'état de l'extrémité du trayon.

Les critères d'évaluation des lésions de l'extrémité des trayons étaient les suivants : hyperkératose et fissures de l'apex du trayon. Le degré d'hyperkératose était évalué selon une grille précise et un score de 0 à 4 était attribué (0 : pas de lésions à 4 : hyperkératose sévère). Un demi point était ajouté à ce score lorsque des fissures étaient présentes sur l'extrémité du trayon.

Figure 21 : Répartition des trayons en fonction du score d'hyperkératose de l'extrémité selon le type de manchon utilisé – Phase I de l'étude

(source : Schukken et al., 2006)



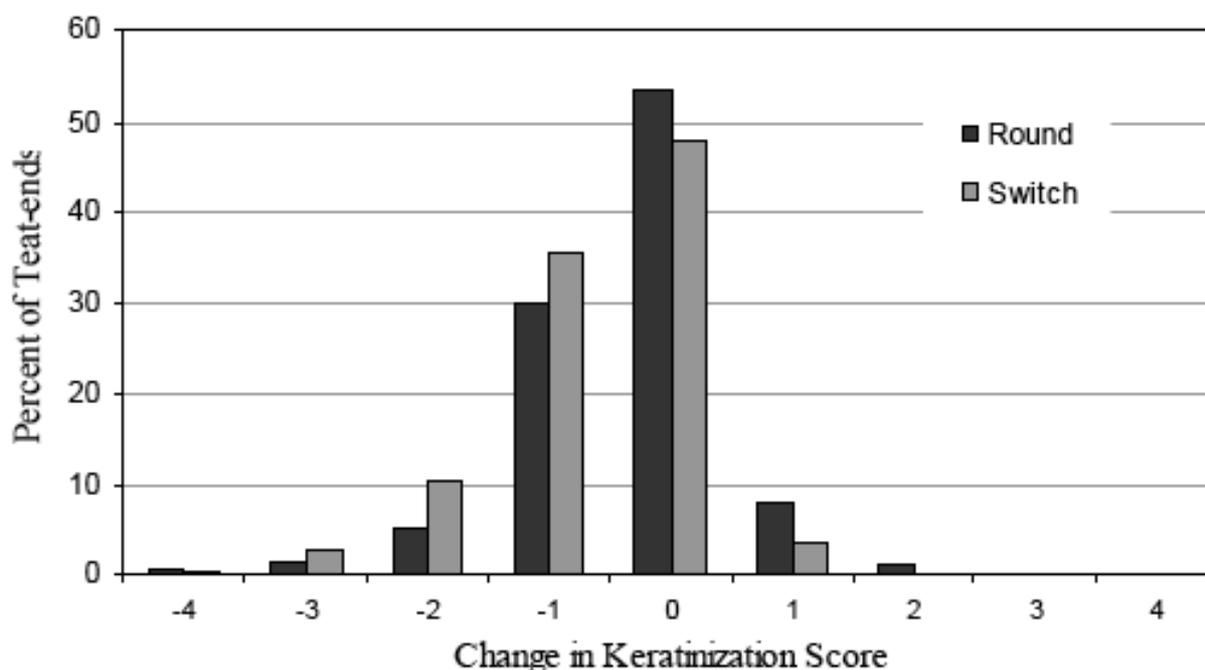
L'utilisation des manchons à section carrée s'accompagne d'un plus faible pourcentage de trayons présentant un score supérieur à 2.

L'analyse statistique des résultats indique que les troupeaux traités avec des manchons à section carrée présentent un score de kératinisation minoré de 0,43 par rapport à ceux traités avec des manchons à section ronde. En outre, les troupeaux qui utilisent les manchons à section ronde

présentent approximativement 20 % de trayons fissurés en plus. Cependant, l'étude des autres paramètres montre que ce taux dépend également de la production laitière, du numéro et du stade de lactation de la vache.

Figure 22 : Evolution des scores de l'extrémité des trayons après le changement de manchons trayeur – Phase II de l'étude

(source : Schukken et al., 2006)



Les résultats de la phase II permettent d'affirmer que l'utilisation de manchons à section carrée, pendant deux mois, réduit à la fois les lésions d'hyperkératose et les fissures de l'apex des trayons pour les troupeaux qui, auparavant, utilisaient des manchons à section ronde. Il est à noter que les scores d'hyperkératose diminuent au fur et à mesure de l'avancement de la lactation quel que soit le manchon utilisé mais cette réduction est d'autant plus importante pour les troupeaux traités à l'aide de manchons à section carrée. La réduction moyenne du score des trayons est estimée à 0,18 pour l'hyperkératose et à 0,16 pour les fissures. Toutes les différences observées sont significatives et la construction de cette étude, avec appariement, nous permet d'attribuer ces différences à la section des manchons et non à des variations climatiques ou individuelles.

Toutefois, bien que cette étude atteste que les manchons à section carrée sont associés à un moindre taux de lésions du trayon que les manchons à section ronde, un seul type de manchon a été testé. Étant donnée la multiplicité de l'offre concernant manchons à section carrée, ces résultats intéressants ne sont pas systématiquement extrapolables à tous les manchons de ce type : des études complémentaires seraient nécessaires afin de pouvoir généraliser ces conclusions à tous les manchons à section carrée.

#### (b) Influence de la longueur du manchon sur les pétéchies et points noirs

Une expérimentation menée par Mein *et al.* en 1983 avait pour but de comparer la traite effectuée par un manchon classique de 148 mm avec le même manchon raccourci artificiellement à 130 mm.

Il a montré que plus de 50 % des trayons postérieurs et 90 % des trayons antérieurs (parce qu'ils sont en moyenne plus longs) pénétraient trop profondément dans le gobelet de sorte qu'ils empêchaient la fermeture des manchons raccourcis à 130 mm. Le nombre de pétéchies était considérablement augmenté lors de l'utilisation du manchon raccourci. Simultanément, le taux de nouvelles infections apparues au cours de l'expérimentation était multiplié par trois pour les trayons antérieurs lorsque le manchon de 130 mm était utilisé.

Les auteurs ont donc conseillé l'utilisation de manchons longs. Cependant, d'après cette étude, 8 % des vaches présentent tout de même des trayons trop longs pour que les manchons de 148 mm se ferment correctement. La longueur est donc à moduler selon la conformation des trayons du troupeau. Une autre solution consiste à réformer les animaux d'un troupeau présentant des trayons trop longs.

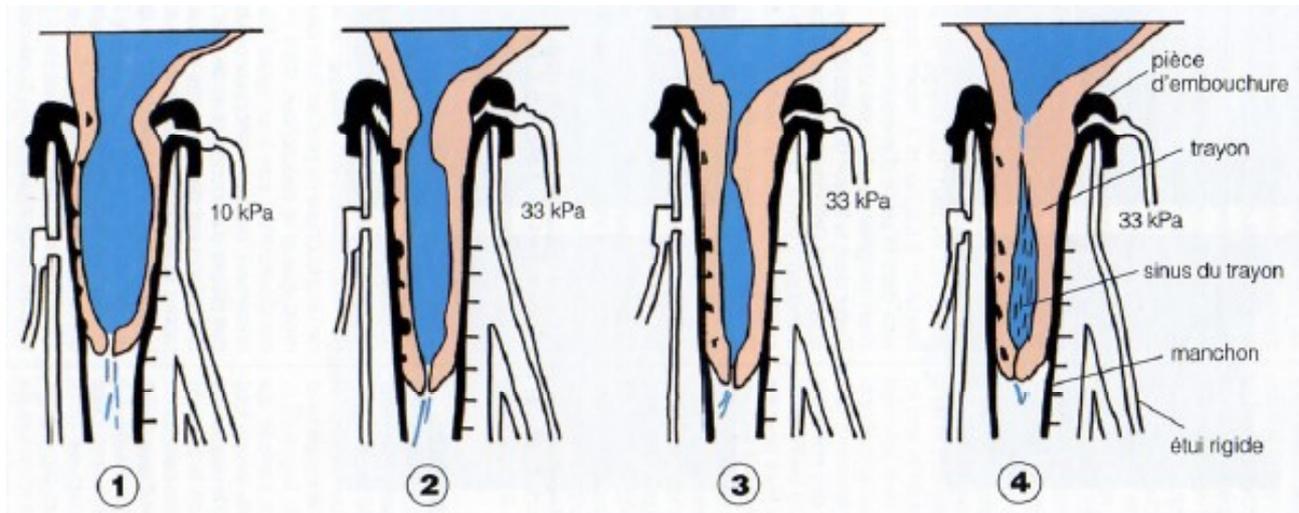
### (c) Influence de la pièce d'embouchure sur la formation des anneaux de compression

Il faut un certain niveau de dépression dans la gorge de la pièce d'embouchure, de l'ordre de 23 kPa, pour assister à la formation d'anneaux de compression. Ce niveau demande, pour être obtenu, l'interaction de la forme du manchon et de la grosseur du trayon. Le mode de préparation du trayon avant la traite doit également être pris en compte : une préparation correcte, avec lavage et essuyage, provoque une turgescence du trayon permettant l'application efficace du manchon pendant au moins 75 % du temps de traite (Goureau et coll., 1995)

La dépression dans la gorge de la pièce d'embouchure est indispensable pour éviter le glissement du manchon qui entraînerait le phénomène de l'impact ; mais celle-ci ne doit pas dépasser un certain niveau. Newman *et al.* (1991) a montré que les vaches avaient tendance à s'agiter et à « taper » lorsque le vide dans la pièce d'embouchure du manchon atteignait ou dépassait 23 kPa. Le compromis pour éviter à la fois glissements et anneaux de compression est donc étroit. Cette valeur a été déterminée par la pose d'un capteur de pression directement dans la pièce d'embouchure (Figure 23).

Figure 23 : action de l'embouchure du manchon sur la racine du trayon

(source : Gourreau et coll 1995. d'après Newman et al., 1991)



1. Grande force de friction entre le manchon et le trayon qui est dilaté par le lait.
2. Allongement du trayon et « grimpage » du manchon
3. Début d'œdème de la racine du trayon
4. Formation de l'anneau de compression et fermeture du rétrécissement annulaire par augmentation de l'œdème.

Dans certains cas, le diamètre du manchon et la dépression ne sont pas seuls en cause ; il faut également prendre en compte la souplesse du caoutchouc de la pièce d'embouchure. A la fin de la traite, lorsque la friction du corps du trayon sur le manchon s'effondre brutalement et devient insuffisante pour empêcher le manchon de se déplacer vers le haut, il peut se produire un étranglement de la racine du trayon notamment si le diamètre de la pièce d'embouchure est insuffisant. Ce phénomène empêche le passage du lait de la mamelle vers le trayon provoquant une diminution du débit et un inconfort (Rasmussen *et al.*, 1997) Néanmoins, lorsque le manchon s'ouvre, la lèvre de la pièce d'embouchure s'infléchit vers le bas car la dépression dans la gorge s'élève. Cet infléchissement produit une légère augmentation du diamètre de l'embouchure et un desserrement relatif du trayon, entraînant un drainage du lait vers le sinus du trayon. Toutefois, cet infléchissement vers l'intérieur de la lèvre de l'embouchure ne peut se faire correctement si le caoutchouc dont elle est constituée est trop rigide. Il convient donc de choisir des manchons présentant des pièces d'embouchure souples permettant cet infléchissement et non pas dures et

rigides qui provoquent des coupures parfois profondes à la racine du trayon (Gourreau et coll., 1995).

En résumé, le problème de striction de la racine du trayon peut être résolu en grande partie en choisissant des manchons à embouchure large : de l'ordre de 27 mm de diamètre (et non 22 ou 24 mm). L'expérience terrain montre que, dans des troupeaux mixtes, il vaut mieux choisir des manchons à embouchure de grand diamètre car ceux-ci s'adaptent à tous les types de trayons en s'accrochant à la base du pis pour les petits, et sans conséquence pour les gros, alors que les manchons à embouchure de faible diamètre étranglent inmanquablement les gros trayons (Goureau et coll., 1995).

#### (d) Influence du vieillissement du manchon

En vieillissant, le caoutchouc du manchon trayeur gonfle, durcit et se fissure. Ceci conduit à une modification de sa forme et à une diminution son élasticité. La détérioration de ces caractéristiques réduit l'efficacité du massage lors de la fermeture du manchon. En conséquence davantage de lésions d'œdème et de congestion sont observées ; le flux de lait est réduit et la traite devient inconfortable pour l'animal (Davis *et al.*, 2000). Les effets du vieillissement du manchon sur la santé de la mamelle et les lésions du trayon seront détaillés dans le paragraphe concernant le rôle vecteur de la machine à traire.

#### (2) Influence de l'adéquation entre le niveau de vide et le type de manchon trayeur

##### (a) sur l'hyperkératose de l'extrémité du trayon

La gravité des lésions d'hyperkératose dépend de la force de compression du manchon d'une part, et de la force de cisaillement que subit l'intérieur du canal d'autre part.

La force de cisaillement exercée sur la paroi du canal du trayon dépend de la vitesse d'expulsion du lait et, en corollaire, aboutit à la suppression de la kératine et l'on sait que lorsque la kératine est mécaniquement enlevée, le canal du trayon perd beaucoup de ses facultés de résistance à l'invasion microbienne.

Cependant, la force de compression qui assure une fermeture correcte du manchon peut compenser cet « effet de tonte » en comprimant le bout du trayon. Ainsi, puisque la kératine est rapidement remise en place, la perte de petites parties de cette substance au cours de la traite ne semble pas importante. D'ailleurs les trayons qui présentent un anneau rugueux ou lisse à l'orifice du canal ont un taux d'infection inférieur à celui des trayons normaux ce qui prouve qu'une légère hyperkératose augmente l'efficacité de la couche de kératine qui s'oppose à la pénétration des germes (Goureau et coll., 1995).

#### (b) sur la congestion et l'œdème des trayons

La force produite par la dépression dans le manchon augmente le diamètre de l'orifice du trayon. Les vaisseaux sanguins proches de l'orifice du canal subissent cette même force de dilatation et se congestionnent. Lorsque le manchon commence à se fermer, le canal dilaté se déforme et l'écoulement du lait se poursuit jusqu'à ce que la différence de pression soit assez grande pour le fermer. Augmenter davantage la différence de pression de part et d'autre de la paroi du manchon revient à appliquer une force de compression supérieure à la pression veineuse, cette force réduit alors le volume vasculaire de l'apex du trayon. En d'autres termes, la force de compression permettant de réduire la congestion du trayon est égale à la différence entre la force maximale appliquée sur le bout du trayon (lorsque la différence de pressions de part et d'autre de la paroi du manchon est maximale) et la force appliquée sur le trayon lorsque le canal est à peine fermé.

On peut déduire de ces indications que la dépression à appliquer à un manchon pour qu'il joue correctement son rôle décongestionnant sur un trayon serait la somme des quatre valeurs suivantes :

- pression permettant au manchon, partant de sa position d'équilibre, de venir effleurer la peau du trayon. Ce mouvement peut être considéré comme inutile dans l'action du manchon sur le trayon mais il consomme du vide. Ce « vide inutile » est celui qui permet au manchon de se mettre en mouvement. Il est appelé pression de flambage, laquelle est propre à chaque manchon et dépend de la dureté de ses parois. Cette pression de flambage caractérisant chaque manchon trayeur peut être estimée en mesurant la dépression à appliquer à l'intérieur du manchon bouché pour que deux faces diamétralement opposées entrent en contact.
- pression qui doit permettre d'assurer un début de fermeture du canal (environ 14 kPa)
- pression permettant de contrecarrer la pression veineuse, c'est-à-dire la pression diastolique dont la valeur se situe autour de 12 kPa
- pression capable de réduire l'œdème, sachant que l'importance des liquides extravasés des vaisseaux est fonction du vide de traite utilisé, de la longueur de la phase de massage et du temps total de traite (Gourreau et coll., 1995).

Concrètement, il faut connaître la pression de flambage du manchon pour déterminer la force de compression disponible à un niveau de dépression donné. Pour exemple, un manchon « dur » de pression de flambage de 32 kPa provoque une compression sur le trayon de 6,2 kPa si le vide de traite est de 38 kPa et une compression de 15 kPa si le vide de traite est de 51 kPa. Un manchon « souple » de pression de flambage de 20 kPa provoque une compression sur le trayon de 10 kPa si le vide de traite est de 38 kPa et une compression de 12,5 kPa si le vide de traite est de 51 kPa. On constate que la force de compression exercée par un manchon plus souple (pression de flambage moindre) est moins élevée aux vides élevés mais plus élevée aux vides faibles (Mein *et al.*, 1983).

Un manchon souple a donc une action de décongestion plus constante qu'un manchon dur en fonction des dépressions utilisées.

### (c) Concept de surpression (*overpressure*)

Une étude récente, toujours menée par Mein *et al.*, en 2003, définit un nouveau concept, la « surpression », permettant d'expliquer et de prévoir les réponses du trayon à l'utilisation de différents types de manchons à différents niveaux de vide.

#### Définition de la « surpression »

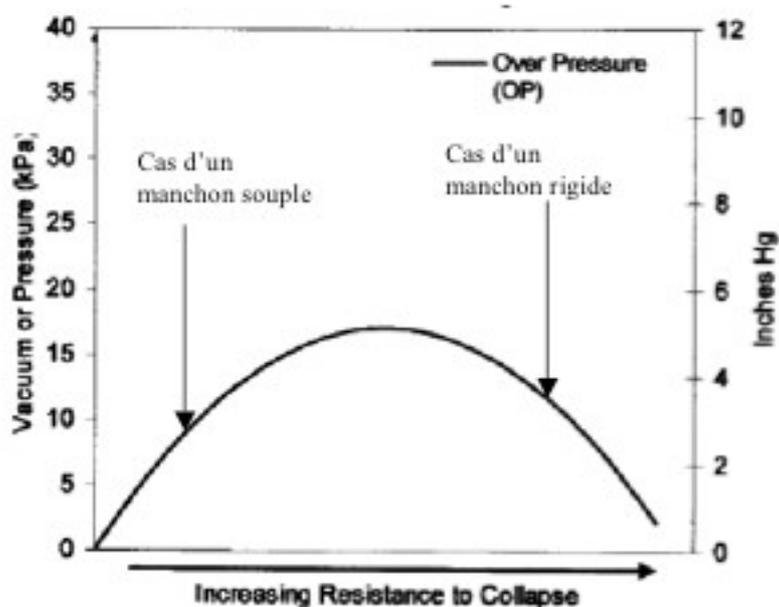
Lors de la phase de fermeture du manchon, l'admission d'air atmosphérique dans la chambre de pulsation entraîne une compression du trayon sur toute sa longueur. À ce premier type de compression, s'ajoute un autre phénomène trouvant son origine dans la forme du manchon. En effet, à l'extrémité du corps du manchon des lignes de tension sont présentes. Ces lignes permettent la courbure du manchon autour de l'apex du trayon lors du massage. Il faut noter que ce mouvement de courbure de l'extrémité du manchon exerce une pression sur l'apex du trayon que Mein *et al.* nomment « surpression ». Cette surpression est la compression supplémentaire (à celle produite par l'admission d'air atmosphérique dans la chambre de pulsation) exercée par l'incurvation de l'extrémité du corps du manchon sur le bout du trayon.

La surpression, résulte donc de l'utilisation d'un manchon relativement rigide, présentant des lignes de tension et conçu pour se courber autour de l'extrémité du trayon. Si les parois du manchon étaient extrêmement fines, il n'y aurait pas de pression, supérieure à celle présente dans la chambre de pulsation, qui serait appliquée sur l'extrémité du trayon et donc pas de surpression.

Il s'en suit que les manchons, aux parois très souples, qui ne nécessitent qu'une petite différence de pression pour se fermer, n'appliquent qu'une très légère surpression sur l'extrémité du trayon. La surpression augmente jusqu'à un maximum lorsqu'on utilise des manchons aux parois plus épaisses ou des gommés plus rigides. À partir d'un certain niveau d'épaisseur du manchon, cette surpression diminue à nouveau : un manchon qui est trop épais pour pouvoir se fermer jusqu'à son extrémité n'applique plus de surpression sur l'extrémité du trayon. Ce concept est illustré par la figure 24.

Figure 24: Surpression exercée en fonction de la résistance du manchon à la fermeture

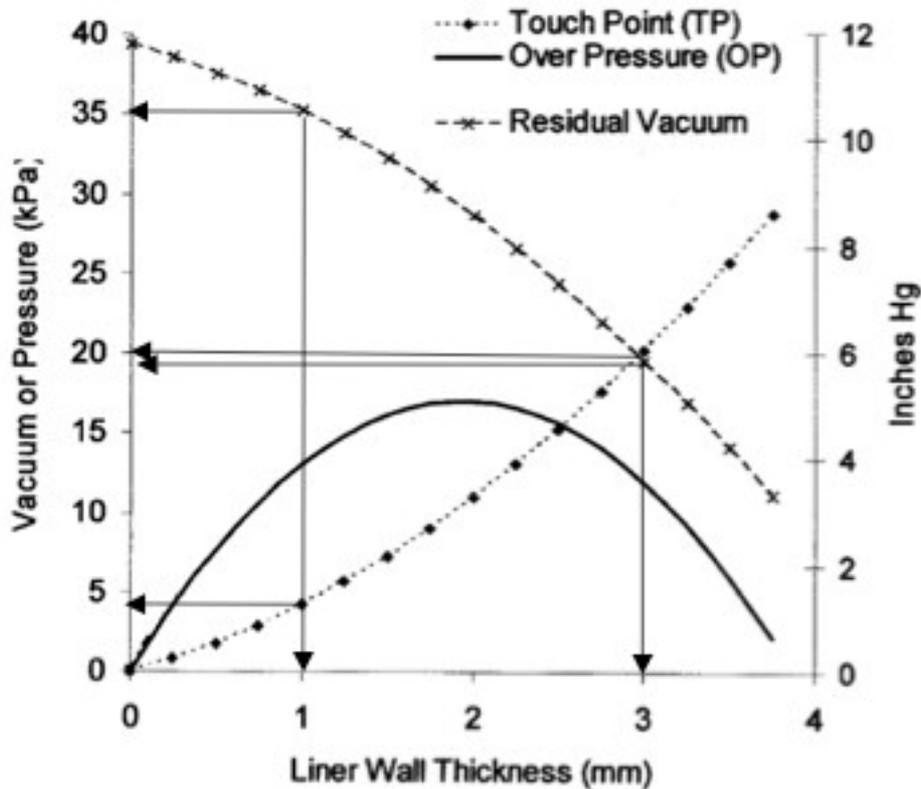
(source : Mein et al., 2003)



Ensuite, selon la pression nécessaire à la fermeture du manchon (*touch point*), on peut calculer par soustraction le vide résiduel disponible pour le massage du trayon (*residual vacuum*) ; celui-ci diminue au fur et à mesure que l'épaisseur du manchon augmente. Ce concept est illustré par la figure 25. Par exemple, si le niveau de vide utilisé est de 39 kPa, un manchon d'une épaisseur d'1 mm requière 4 kPa pour se fermer (*touch point*), il reste donc 35 kPa disponibles pour le massage (*residual vacuum*) . À l'opposé, un manchon d'une épaisseur de 3 mm requière 20 kPa pour se fermer (*touch point*), il reste donc 19 kPa pour le massage (*residual vacuum*).

Figure 25 : Force de massage disponible en fonction de l'épaisseur du manchon à un niveau de vide de 39 kPa

(source : Mein et al., 2003)



La surpression est nécessaire pour limiter la congestion du trayon mais elle ne doit pas non plus être excessive au risque d'entraîner des lésions d'hyperkératose.

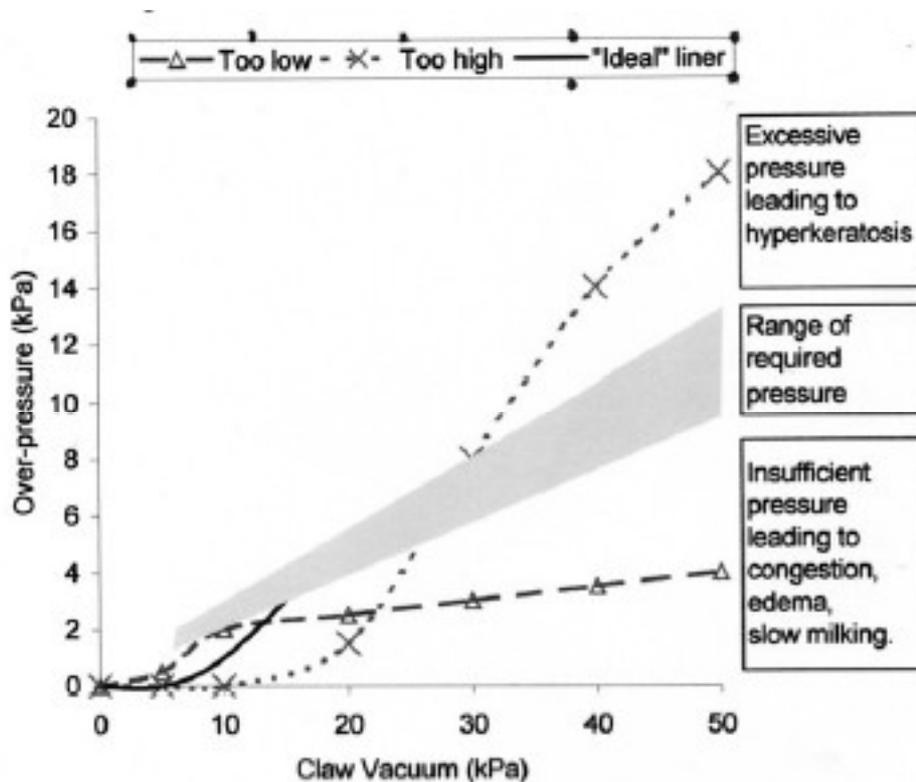
Outre la conception du manchon (épaisseur, lignes de tension), la surpression varie selon le niveau de vide utilisé : un niveau de vide élevé augmentera l'incurvation du manchon sur l'apex du trayon et inversement.

En utilisant des manomètres, Mein *et al.* ont étudié la surpression réalisée par une série de manchons du commerce. Elle a été estimée à 8-12 kPa. Cette étroite gamme de surpression est suffisante pour réduire la congestion de l'extrémité du trayon ; elle sert de référence. En principe, la surpression nécessaire à réduire la congestion, qui apparaît pendant la phase de fermeture du manchon, doit augmenter lorsqu'on augmente le niveau de vide. Si la surpression est inférieure à 8

kPa, elle ne sera pas suffisante pour soulager la congestion. Au contraire, si elle est au-delà de la gamme (supérieure à 12 kPa), elle entrave la circulation artérielle dans les vaisseaux sanguins du bout du trayon et dont la pression systolique se situe aux environs de 12 kPa. D'autre part des surpressions supérieures à la gamme entraînent une augmentation des lésions d'hyperkératose de l'extrémité du trayon (Figure 26).

Figure 26 : Relation entre la surpression appliquée par différents types de manchons et les lésions de l'apex du trayon en fonction du niveau de vide

(source : Mein et al., 2003)



Les résultats obtenus à partir des différentes études réalisées, sur des trayons artificiels ou excisés, montrent que la surpression :

- augmente lorsqu'on augmente le niveau de vide en raison de la plus grande différence de pression de part et d'autre des parois du manchons. Cette augmentation est exacerbée par une meilleure

courbure du manchon sur l'extrémité du trayon qui est davantage congestionnée en raison du vide plus important.

- augmente significativement lorsque le manchon présente des lignes de tensions plus rigides car il recouvre mieux l'extrémité du trayon.

- augmente légèrement lorsque la phase C de la courbe de pulsation est réduite car le pic de pression est plus important lorsque l'extrémité du trayon est comprimée rapidement.

- augmente lorsque la pénétration du trayon dans le manchon est plus profonde. Toutefois la surpression commence à diminuer progressivement jusqu'à s'annuler lorsque l'extrémité du trayon atteint l'extrémité du corps du manchon.

- augmente graduellement dans une première phase et décroît ensuite lorsque sont modifiés un ou plusieurs des trois facteurs suivants : augmentation de l'épaisseur des parois du manchons, utilisation de caoutchoucs plus rigides, augmentation de la résistance du manchon à se collaber. Les raisons de cette augmentation ont été expliquées lors de la présentation du concept de surpression. Lorsque ces facteurs sont trop augmentés, la surpression entame une phase de décroissance qui peut apparaître contradictoire, mais qui résulte en réalité de l'augmentation de la résistance des manchons à se courber autour de l'extrémité du trayon.

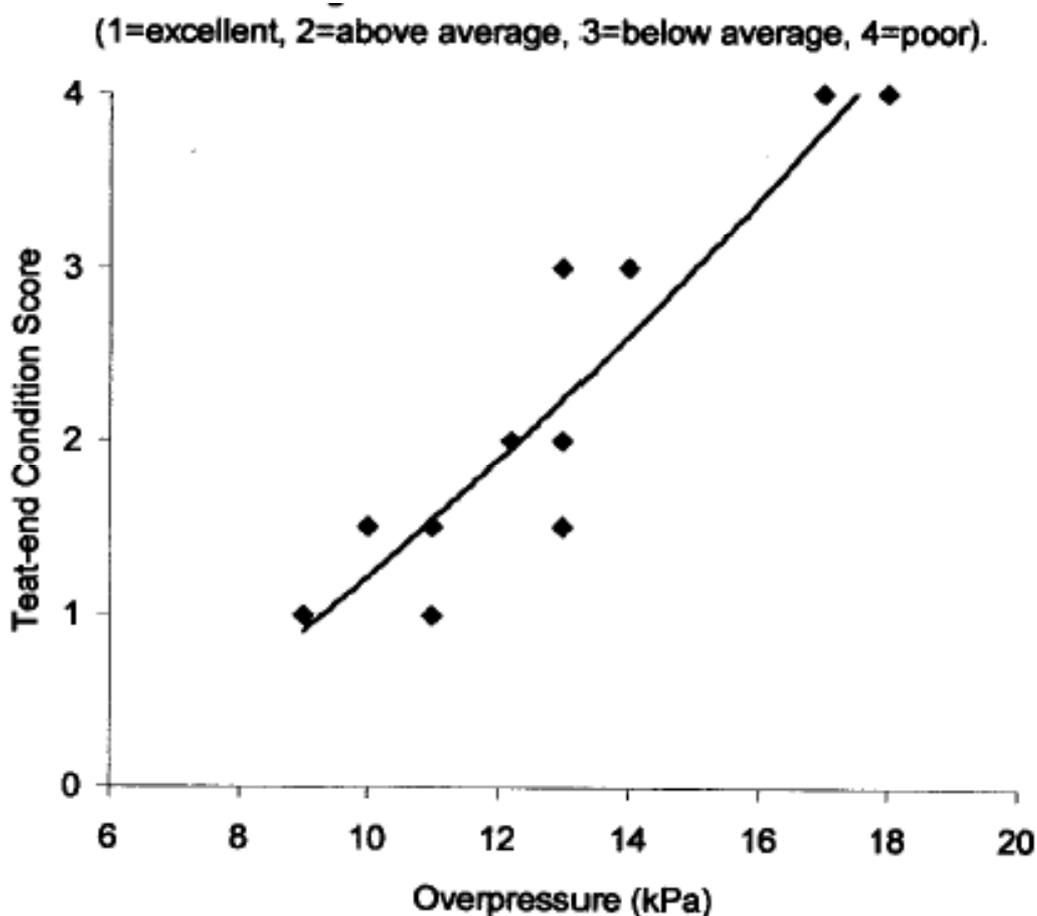
Bien que ces généralités soient observées dans toutes les études, aucune valeur absolue de surpression n'est présentée car elles sont obtenues sur des trayons artificiels et ne peuvent être extrapolées. Par exemple, des mesures faites sur un trayon artificiel de petites dimensions peuvent être sous-estimées car le manchon n'a pas besoin, pour exercer une surpression, de se collaber autant que sur un trayon normal. À l'opposé, des mesures faites sur un trayon artificiel plus dur et moins compliant que les tissus vivants du trayon seront surestimées.

### Applications en conditions de terrain

Mein *et al.* (2003) ont étudié la relation entre l'utilisation de 7 manchons différents, pour lesquels la surpression appliquée était connue et a été standardisée, et les lésions d'hyperkératose de l'extrémité du trayon, exprimées en score de 1 à 4. Les résultats sont illustrés par la figure 27.

Figure 27 : Score de l'extrémité du trayon en fonction de la surpression exercée par le manchon

(source : Mein et al., 2003)



Les valeurs obtenues laissent à penser que les surpressions supérieures à 12-13 kPa sont néfastes. Comme étudié précédemment, de telles surpressions ne semblent pas nécessaires d'un point de vue physiologique pour limiter la congestion du trayon mais auraient plutôt un effet néfaste en favorisant les lésions d'hyperkératose.

Si personne ne peut contrôler les effets du climat sur l'hyperkératose de l'extrémité du trayon, il y existe par contre plusieurs possibilités pour réduire l'impact de la machine sur ces lésions.

### 1. Réduire la durée de la traite

Une façon efficace de limiter les effets néfastes de la surpression est de réduire le temps pendant lequel chacun des trayons est soumis à l'alternance ouverture – fermeture, et donc de pratiquer un retrait plus précoce de la griffe. En réduisant la durée de traite à bas débit ou en supprimant toute surtraite, les conséquences de la surpression sont limitées pour deux raisons :

- la différence de pression de part et d'autre du manchon est la plus haute en fin de traite
- le manchon doit se courber d'avantage autour de l'extrémité du trayon car les parois du trayons ont tendance à s'épaissir pendant cette période.

### 2. Réduire le nombre de cycles de pulsation

Une façon de limiter le stress infligé aux trayons consiste à réduire le nombre de cycles de pulsation. Pour ce faire, deux options sont envisageables : augmenter le rapport de pulsation ou alors de diminuer la fréquence de pulsation. Par exemple, si on choisit de diminuer la fréquence de pulsation (passage de 65 à 60 cycles par minute), il faut savoir que les trayons subiront 20 à 25 cycles de pulsation en moins sur une traite moyenne de 5 minutes. Il apparaît néanmoins plus intéressant d'augmenter le rapport de pulsation (exemple : passage d'un rapport 60/40 à 65/35).

### 3. Adapter la pression de flambage des manchons

Comme illustré par la figure 25 de cette étude, les manchons qui présentent une épaisseur comprise entre 1 et 3 mm ont tendance à exercer des surpressions supérieures à 12 kPa. Il convient donc d'éviter de les utiliser.

### 4. Application d'une pression positive.

Une option plus radicale consisterait à contrôler la différence de pression qui est appliquée de part et d'autre du manchon pendant la phase D du cycle de pulsation jusqu'au niveau désiré. Par exemple, une injection d'air lors de l'application de la pression atmosphérique pourrait exercer une

pression positive. Si cette pression est supérieure de 5 kPa à la pression atmosphérique, la surpression appliquée par n'importe quel manchon serait réduite de 5 kPa également.

### (3) Influence du niveau de vide

Dans un souci d'optimisation de la technique de traite, certains constructeurs ont préconisé des niveaux de vide élevés même en ligne basse (40 à 50 kPa) afin de réaliser une traite à la fois complète, plus rapide et sans glissements de faisceaux. Les lésions de l'extrémité du trayon étaient considérées comme néfastes uniquement lors d'apparition de signes cliniques comme les pétéchies ou l'hyperkératose. Cependant Zeconi *et al.* (1992) ont montré que des réactions plus discrètes de l'extrémité du trayon, comme son épaissement, pouvaient augmenter la probabilité de survenue d'infections mammaires (*étude détaillée ultérieurement*).

Hamman *et al.* (1993) ont étudié les modifications du trayon résultant d'une traite à différents niveaux de vide : 25, 30, 40 et 50 kPa sur des vaches de race Holstein.

Immédiatement après la traite, les trayons subissant un vide de 40 et 50 kPa étaient plus congestionnés (augmentation de l'épaisseur de 7 à 10 % à 40 kPa et de 17 à 25 % à 50 kPa) par rapport à avant la traite, alors que ceux qui subissent un vide de 35 ou 30 kPa ne voient pas leur épaisseur modifiée.

D'autres paramètres des trayons, non détaillés ici, ont été évalués et interprétés avec précaution car il est nécessaire de distinguer les modifications du trayon dans sa globalité de celles de ses parois. Ainsi, ces auteurs ont observé que les modifications du diamètre du volume interne de la citerne du trayon et de l'épaisseur des parois, résultent, pour les vides faibles (25 et 30 kPa) des changements physiques et physiologiques associés à la vidange de la mamelle. Le diamètre du trayon est réduit parce que la pression intramammaire diminue. Parallèlement à cette vidange, le tonus des muscles du trayon diminue aussi, de même que le volume sanguin veineux. Les auteurs concluent que très peu ou aucun œdème n'est induit pas la traite à ces niveaux de vide. Pour les niveaux de vide élevés : 40 et 50 kPa, la mesure de l'épaisseur des parois et de la compressibilité du trayon montrent qu'un œdème lié à la machine est présent bien que l'on prenne en compte les modifications liées à la vidange de la mamelle.

Une idée reçue consiste à penser que le degré de congestion et l'œdème des parois du trayon sont augmentés lorsqu'on diminue le niveau de vide, en raison d'un massage réduit. Effectivement, la force de compression et donc le massage diminue lorsque le vide est faible. Cependant, le stress généré sur les parois du trayon par le vide de traite est également réduit lorsqu'on diminue le niveau de vide. Les résultats de Hamman *et al.* (1993) montrent que la diminution de la force de compression à faible niveau de vide est largement compensée par la réduction du stress imposé aux tissus. En résumé, bien que le massage soit moins efficace à faible niveau de vide, la force de compression à appliquer pour compenser les effets de la traite est réduite.

Hamman *et al.* (1993) ont également mis en évidence que le niveau de vide avait davantage d'impact que la durée de la traite sur les lésions du trayon. Par exemple, bien que le temps de traite soit augmenté de 75 à 80 % à 25 kPa par rapport à 50 kPa, l'épaisseur des trayons subissant le vide le plus élevé était supérieur de 20 % par rapport aux autres.

Il ne faut toutefois pas considérer ses résultats comme une recommandation de traite à un vide inférieur ou égal à 30 kPa car d'autres facteurs interviennent. Pour cette étude, les vaches étaient traitées sur pots trayeurs individuels, ce qui n'est pas le type d'équipement le plus couramment répandu. D'autre part, certaines griffes sont conçues pour un vide de 40 ou 50 kPa et ne sont pas adaptées pour des niveaux de vide plus faibles qui entraînent inévitablement des glissements, des chutes de faisceaux et une traite anormalement longue.

#### (04) Influence de la pulsation

Nécessaire pour conserver le trayon et la mamelle des vaches laitières dans le meilleur état physique et sanitaire, la pulsation est caractérisée par sa fréquence (exprimée en nombre de cycles par minute), le rapport de pulsation et 4 phases définies par la norme NF ISO 3918 de la façon suivante : la phase A est la phase d'augmentation du vide dans la chambre de pulsation, la phase B est la phase de vide maximal dans cette chambre (ou phase de succion), elle doit durer au moins 30% du cycle de pulsation (norme NF ISO 5707), la phase C est celle d'admission de l'air atmosphérique et la phase D est la phase de massage.

(0a) Sur la congestion des trayons

(0i) Rapport de pulsation

Les réglages des pulsateurs, notamment la longueur des différentes phases ou le ratio succion / massage, ont un impact considérable sur la congestion des trayons (Hamann et Mein, 1996). La phase D, de massage, est la première à régler en cas d'œdème des trayons. La norme ISO recommande, pour cette phase, une durée minimale de 150 millisecondes ou 15 % du cycle de pulsation (ISO 5707, 1996). La raccourcir augmente le taux de nouvelles infections (Reitsma *et al.*, 1981) et, selon le type de manchon, augmente la congestion des trayons (Hamann et Mein, 1996). À l'opposé, Osteras *et al.* (1995) ont mis en évidence que la santé de la mamelle est optimale pour une phase D supérieure à 330 ms. En augmentant la durée du massage (en diminuant le rapport de pulsation ou en augmentant la longueur de la phase D) ou la pression appliquée sur le trayon lors du massage, on facilite l'écoulement du lait lors du cycle suivant en réduisant la congestion des tissus et de l'extrémité du trayon. Cependant, le fait de passer d'un ratio de 70/30 à 50/50 augmente la durée de traite. Neijenhuis *et al.* (1999) ont montré qu'en se contentant de suivre les recommandations de la norme ISO standard de 150 millisecondes, l'effet de la longueur des phases ou du rapport de pulsation n'a pas une influence significative ni sur l'état des trayons, ni sur les temps de traite.

(0ii) Durée des phases de transition

Les phases intermédiaires, A et C, ne sont pas normalisées par manque de références techniques et scientifiques. Cependant, certains techniciens n'hésitent pas à mettre en cause leur durée (trop courte) comme source d'accidents sanitaires tels que des mammites cliniques ou subcliniques et certains traumatismes observés sur les extrémités et les corps des trayons.

Deux expérimentations ont été menées successivement par Billon (2003, b) sur le troupeau de la ferme expérimentale de Derval (44), afin d'étudier l'influence de la durée des phases intermédiaires de pulsation sur les paramètres de la traite et sur la santé des mamelles.

Une première expérimentation de 3 périodes de 6 semaines a permis d'étudier l'influence de ces phases sur la cinétique d'émission du lait. Elle a comparé trois niveaux de phases intermédiaires (respectivement : C = 8, 12 et 16% du cycle de pulsation et A = 13, 15 et 22% du cycle), à 3 niveaux de vide (39, 42 et 45 kPa).

Une seconde étude a comparé pendant 5 mois deux lots de 20 vaches appariées selon le numéro et le stade de lactation, la production laitière et les numérations cellulaires individuelles. Ces vaches étaient traitées à 42 kPa et selon deux modalités de phases intermédiaires (respectivement : C = 9 et 15% et A = 14 et 23% du cycle de pulsation).

Durant ces deux expériences, la fréquence de pulsation était de 60 cycles par minute et le rapport du pulsateur de 60 / 40.

L'étude des résultats démontre que les phases intermédiaires de pulsation n'affectent ni la production laitière totale ni la quantité de lait recueilli sans intervention du trayeur (lait machine) et avec son intervention en fin de traite (lait d'égouttage).

Par contre elles influencent de façon nette le temps de traite. Les phases les plus courtes génèrent les temps de traite les plus longs (+ 4,7 à + 10,1% selon le niveau de vide) et les débits moyens les plus faibles (-7,3 à -11,2% selon le niveau de vide). Il en est de même pour le débit maximal de lait (-3,3 à -7,8%).

Les deux études n'ont pas fait apparaître clairement d'effet négatif des phases intermédiaires courtes sur les principaux critères mesurant l'état sanitaire des mamelles (nombre de mammites cliniques et numérations cellulaires individuelles). Il faut cependant préciser que ces résultats ont été obtenus sur des vaches saines et qu'on ne peut préjuger des effets de ces traitements sur des animaux ayant un état sanitaire plus déficient.

Les mesures sur l'état des trayons ne permettent pas non plus des conclusions extrêmement nettes sur l'influence des phases intermédiaires courtes bien que la tendance à une plus grande congestion existe.

Il semble très probable que le comportement des animaux soit différent, en particulier en fonction de leur état général et aussi selon la forme de l'extrémité des trayons. Il est connu que les trayons à l'extrémité plate sont moins sujets aux accidents sanitaires que ceux qui présentent une extrémité pointue et dont l'épithélium est plus fin.

S'il n'est pas formellement prouvé que les phases intermédiaires courtes sont obligatoirement sources de problèmes de traite et de complications sanitaires graves, les résultats de ces deux études ainsi que l'analyse de la bibliographie disponible incitent à conclure en terme de risques.

Ainsi, une proposition fixant la durée de la phase C à au moins 10% (optimum de l'ordre de 12-13 %) et la phase A à environ 14-16% du cycle de pulsation semble un bon compromis pour se mettre dans les meilleures conditions et limiter ainsi les risques d'accidents sanitaires susceptibles d'être provoqués par la pulsation. Ceci est valable pour les manchons actuels (pression de flambage de l'ordre de 10-11 kPa) et dans la gamme de niveaux de vide courants pour les installations de traite en ligne basse (39-44 kPa) (Billon, 2003 b).

#### (b) Sur la kératine du canal du trayon

Le canal du trayon est la première barrière contre l'invasion bactérienne et la contamination de la mamelle ; la kératine qui le tapisse joue un rôle important dans cette défense grâce à ses propriétés chimiques, bactéricides et bactériostatiques précédemment détaillées.

Pendant la lactation, la couche de kératine est active : elle est éliminée lors de la traite et se renouvelle constamment entre chaque traite. L'élimination de la kératine résulte de la force de cisaillement associée à la rapidité du flux de lait au travers du canal. Ce phénomène est amplifié par l'ouverture et la fermeture cyclique du canal dues à la pulsation : 15 à 40 % de kératine est présente en plus sur les trayons traités sans pulsation par rapport à ceux subissant une pulsation classique (Capuco *et al.*, 1994)

D'après ces résultats, on pourrait émettre l'hypothèse qu'en minimisant la perte de kératine pendant la traite, la résistance aux mammites sera accrue. Or les expériences réalisées en l'absence de pulsation montrent des résultats en opposition totale avec cette hypothèse. En l'absence de pulsation, davantage de kératine, substance protectrice, est présente dans le canal et pourtant la glande mammaire est plus susceptible aux infections. Capuco *et al.*, (1994) ont tenté de comprendre l'influence de la présence ou de l'absence de pulsation sur l'élimination, la composition de la kératine, la morphologie du canal et l'incidence des mammites. Il apparaît que l'augmentation de l'incidence des mammites n'est pas due à une altération de la composition de la kératine. Les données sont en faveur du fait que l'absence de pulsation et le surcroît de kératine qui en découle

augmentent le diamètre du canal du trayon après la traite, le prédisposant ainsi, à la contamination bactérienne. De plus, la moindre élimination de la kératine et des bactéries qui y ont adhéré augmente ce phénomène. Enfin, l'absence de pulsation entraîne une congestion importante du trayon qui favorise la pénétration bactérienne en raison de l'ischémie, de la moindre contraction de l'extrémité du trayon et de sa perte d'élasticité.

## (0)5 Influence de la gestion de la traite

### (0)a la dépose automatique

Lorsqu'on ajuste les seuils de dépose automatique, en vue de réduire la durée moyenne de la traite, la surtraite est limitée (détaillé ultérieurement) et les lésions d'hyperkératose également (Rasmussen, 1993). Les quartiers avant, étant en général vidangés plus rapidement que ceux de l'arrière, une dépose automatique, quartier par quartier, réduit encore davantage les lésions d'hyperkératose sur les trayons correspondants. Cependant, cette dernière possibilité n'est actuellement disponible que pour les systèmes robotisés.

### (0)b Influence de l'intervalle de temps entre les traites

Neijenhuis *et al.*, (2001) ont montré par ultrasonographie que le temps nécessaire à ce que le trayon retrouve ses proportions initiales est relativement long : six heures pour les parois du trayon, huit heures pour la largeur de l'extrémité du trayon et pour la longueur du trayon, trois heures pour la largeur de la citerne des trayons arrière et huit pour celle des trayons avant, et enfin, six pour retrouver le rapport initial entre l'épaisseur des parois et la largeur de la citerne du trayon.

Il s'ensuit qu'un intervalle entre deux traites inférieurs à 8 heures ne permet pas au trayon de recouvrir son état initial ; les lésions et notamment la congestion sont observées de manière

permanente contrairement aux systèmes classiques où l'intervalle entre les traites avoisine les douze heures.

## (06) Changements apportés par l'utilisation d'un robot de traite

L'introduction d'un robot de traite dans une exploitation représente une modification considérable de la routine de traite. Un des changements les plus importants concerne la fréquence des traites. Grâce au robot, les vaches sont traitées plus de deux fois par jour contrairement à une installation classique.

A chaque traite, les trayons de la vache sont aspergés et nettoyés à l'aide d'eau tiède puis séchés, traités et désinfectés. À une fréquence trop élevée, toutes ses actions sont susceptibles d'avoir un effet négatif sur l'état du trayon. De plus, les intervalles plus courts entre chaque traite laissent moins de temps au trayon pour retrouver ses proportions initiales. Certains ont émis l'hypothèse que cette augmentation de la fréquence de traite détériorerait l'état des trayons.

D'autres, au contraire, avancent l'argument qu'un système robotisé permet une traite à l'échelle du quartier et non de l'animal. Cette nouveauté devrait présenter un avantage quant à la détection des mammites et la limitation de la surtraite des quartiers avant. Pour cette raison, l'état des trayons devrait être amélioré.

Face à ces hypothèses divergentes, De Vlieghe *et al.*, (2003) ont mis en place une étude pour quantifier les effets de l'introduction d'une traite robotisée sur l'état des trayons. Quarante vaches et génisses, croisées Holstein – Frisonne, d'un troupeau laitier ont été réparties de manière aléatoire en deux groupes : traite conventionnelle et traite robotisée. Pour le second groupe, la traite par robot a débuté pendant la période d'étude alors que la traite conventionnelle était poursuivie, comme à l'habitude, pour le premier groupe.

La peau du trayon et l'état de l'extrémité du trayon ont été évalués de manière hebdomadaire, à l'échelle du quartier, sur tous les animaux depuis cinq semaines avant la transition jusqu'à huit semaines après.

L'étude révèle que ni la peau du trayon, ni l'extrémité du trayon ne semblent modifiées par le passage d'un système de traite classique à un système de traite robotisée, et ce, en dépit d'une plus grande fréquence de traite. Cependant, les génisses doivent faire l'objet d'une attention un peu plus soutenue car les résultats obtenus suggèrent qu'elles sont plus sensibles à ce changement que les multipares en ce qui concerne l'état de l'extrémité du trayon.

En résumé, l'utilisation d'un robot réduit le temps total de traite grâce au décrochage séparé des gobelets trayeurs ce qui compense le fait que la fréquence de traite soit supérieure, de l'ordre de 2,65. Le stress de traite et ses effets sur le trayon en sont réduits.

## )D Innovations proposées

### ()1 Difficulté de l'évaluation

Bien que de nombreux critères soient pris en compte dans la conception d'un manchon, leur performance globale doit résider dans leur capacité à récolter le lait de manière efficace et à maintenir le trayon dans un état correct. Cependant, il n'existe pas de guides permettant d'évaluer leurs performances de manière standardisée contrairement à ce que l'on peut trouver pour les protocoles de désinfection du trayon. Cette absence rend toute évaluation objective et toutes recommandations difficiles, si ce n'est impossible.

Par exemple, les performances de traite peuvent être mesurées grâce à des appareils établissant la courbe d'éjection du lait ; l'incidence des infections mammaires est plus difficile à évaluer car elle nécessite des études élaborées et coûteuses avec de nombreux échantillons de lait récoltés ; le comportement des animaux peut être évalué en regardant la motivation des vaches à entrer sur les quais de traite et en comptabilisant les piétinements et coups de pied, il serait également possible de regarder les profils d'ocytocine libérée pendant la traite. Cependant, pour l'évaluation des manchons, la caractérisation de l'état du trayon peut être utile, mais elle est également affectée par le type d'installation et ses différents réglages, la routine de traite et les

conditions environnementales. Tous ces facteurs rendent complexe l'évaluation spécifique des manchons trayeur.

## (02) Section du manchon trayeur

Plusieurs configurations de manchons variant selon la forme de leur section sont disponibles sur le marché.

### (0a) Section ronde

Les manchons à section ronde sont depuis longtemps prédominants. Ils présentent l'avantage économique d'être faciles à fabriquer, leur forme enrobe parfaitement le trayon et la façon dont ils s'ouvrent et se ferment semblent être optimale au regard de la vitesse de traite

Une variante de ce modèle est les manchons à sections rondes présentant des striations internes ou cannelures. Ce type de manchon présente les mêmes avantages mais s'ajusterait à une plus large gamme de trayons.

### (0b) Section ovale

Les manchons à section ovale ne sont quasiment plus disponibles sur le marché. Comparé au manchons à section ronde, le fait qu'ils soient « pré-collabé » ne permet pas d'atteindre une vitesse de traite satisfaisante.

### (0c) Section carrée

Les manchons à section carrées sont commercialisés depuis 25 ans. Ils présentent l'avantage d'effectuer un massage quadri-dimensionnel qui serait plus efficace pour limiter les lésions du trayon. Cependant, une fois de plus, la vitesse de traite permise est moindre.

#### (d) Section triangulaire

Les manchons à section triangulaire sont disponibles depuis une dizaine d'années. L'argument de vente utilisé est qu'ils seraient moins agressifs pour le trayon. L'inconvénient majeur est encore la vitesse de traite car la configuration selon trois plans ne leur permet pas un retour à leur position initiale assez rapide après la phase de fermeture.

#### (e) Section hybride

Un type intermédiaire de manchon a été créé : le corps présente une section ronde, ce qui assure une vitesse de traite et un ajustement au trayon satisfaisants et l'extrémité est triangulaire lorsqu'il est fermé, ce qui procure un massage plus efficace comme expliqué précédemment. Les trois stries internes et externes, présentes à l'extrémité du manchon, assurent, lors de la phase D du cycle, une compression tridimensionnelle et n'écrasent pas l'extrémité du trayon selon un plan comme les manchons classiques à section ronde (Figure 28).

Figure 28 : manchon à section hybride vu de dessus en position fermée

(source : *milking inflations*, 2008, document web)



Milk-rite a récemment mis au point un nouveau manchon : l'*Ultraliner*®. Il présente une forme triangulaire qui procure un contact plus étroit avec le trayon sur toute sa longueur. De part, la compression tri-dimensionnelle qu'il exerce, le massage serait plus efficace et moins de lésions d'hyperkératose seraient observées. De nombreux manchons de ce type sont désormais disponibles sur le marché.

### (3) Pièce d'embouchure

Westfalia a mis au point un manchon avec une pièce d'embouchure particulière sensée résoudre ce problème d'étranglement et de congestion (Figure 29).

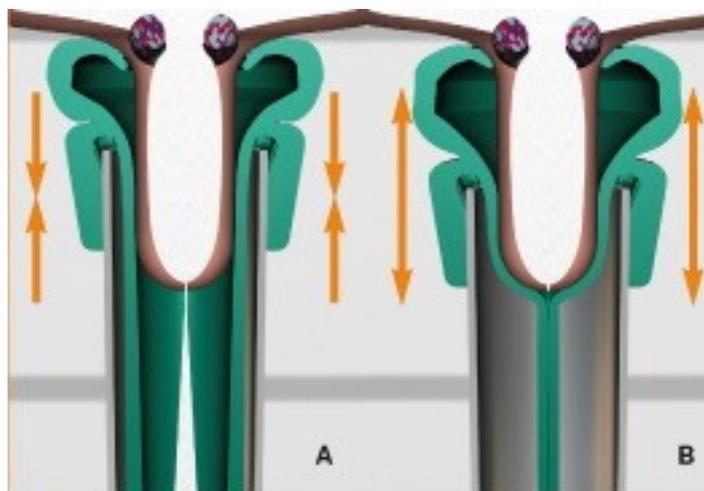
Tout d'abord, sa conception en silicone confère à la lèvre d'embouchure une structure souple et dont les caractéristiques ne s'altèrent que très peu au cours des utilisations.

Ensuite, ce manchon présente une tête flexible décomposée en deux parties : la plus haute, en contact avec le trayon, est très mobile et la seconde est plus rigide. Cette innovation permet de recouvrir davantage la naissance du trayon sur la mamelle.

Enfin, la tête mobile du manchon en silicone produit un mouvement supplémentaire de stimulation : au passage de la phase de succion à la phase de massage, le volume de la partie souple de la pièce d'embouchure augmente, et inversement lors de retour à la phase de succion (Figure 29).

Figure 29 : Configuration de la lèvres d'embouchure du manchon Classic Pro®

(source : Westfalia Surge, Document technique. Manchon ClassicPro®)



Cette dynamique provoque un léger mouvement pendulaire du faisceau trayeur provoquant un accroissement la relaxation de la base du trayon et limitant la formation d'œdème ou d'étranglement.

## )E Conséquences des lésions du trayon sur la santé de la mamelle

Il est couramment avancé qu'il existe une relation entre l'apparition de mammites et le mauvais état du trayon. De nombreuses études parfois contradictoires ont été publiées à ce propos.

Cette relation n'est pas facile à mettre en évidence car elle nécessite une évaluation rigoureuse de l'état des trayons selon une grille précise, et ceci pendant une longue période. Certaines lésions apparaissent puis disparaissent plusieurs mois plus tard et il est nécessaire de pouvoir dater la survenue de mammites par rapport à ces lésions.

### (0)1 Relation entre congestion du trayon et mammites

Zecconi *et al.*(1992) ont étudié les relations entre l'infection d'un quartier, la colonisation du canal du trayon par des pathogènes et la congestion ou l'augmentation de l'épaisseur du trayon après la traite. Des échantillons de lait et des écouvillons du canal du trayon ont été analysés en vue de recherches bactériologiques. Il en ressort 15 % des échantillons de lait positifs alors que 40 % des écouvillons du canal du trayon sont positifs. Le troupeau étant au départ indemne de mammites, la majorité des pathogènes mis en évidence sont d'origine environnementale : streptocoques et coliformes notamment. Zecconi *et al* en déduisent que la colonisation du trayon peut être la source d'une infection du quartier concerné même si, bien souvent, l'élimination spontanée des pathogènes, grâce à la kératine, se produit lors de la traite.

Aucune différence significative n'est observée quant à la congestion après la traite des quartiers sains et infectés. Toutefois la proportion des trayons colonisés par des pathogènes est significativement plus importante pour les trayons subissant une congestion (modification de l'épaisseur du trayon supérieur à 5 % après la traite) par rapport aux autres trayons. Lorsqu'on étudie les quartiers présentant un canal du trayon colonisé et un lait contaminé par le même pathogène, une relation évidente peut être notée entre la congestion du trayon et les nouvelles infections mammaires. Les animaux les plus susceptibles de subir une infection sont ceux qui se situent dans le premier tiers de leur lactation (0 à 100 jours).

## (2) Relation entre hyperkératose de l'extrémité du trayon et mammites

Une étude, menée par Neijenhuis en 2004, sur 15 troupeaux, avec un total de 2517 vaches a été conduite pour examiner la relation entre l'hyperkératose de l'extrémité du trayon et l'incidence de mammites cliniques. Pendant les 18 mois de la période d'étude, les mammites cliniques étaient diagnostiquées par les trayeurs en se basant sur les signes cliniques. L'hyperkératose de l'extrémité du trayon était évaluée chaque mois selon une grille précise. La différence dans l'hyperkératose des trayons entre quartiers sains et infectés était faible mais significative trois mois avant (+ 0,13), le mois où survenait la mammite clinique (+ 0,08) et les deux mois suivants (+ 0,05 et 0,06)

## )IV Le rôle vecteur du manchon trayeur

Lors de la traite, les manchons sont contaminés par les germes provenant de la peau des trayons et des quartiers infectés. Il s'ensuit un transport microbien de trayon à trayon et de vache à vache durant toute la traite. Ce rôle vecteur est commun à toutes les installations de traite et est indépendant des réglages de la machine. Le transport passif de germes peut avoir un retentissement sur la santé mammaire et cette augmentation de l'incidence des mammites peut être potentialisée par des effets traumatisants ou infectants de la machine à traire.

Le rôle vecteur est d'autant plus important que les manchons sont usés : en vieillissant, des fissures microscopiques apparaissent à la surface du caoutchouc. Ces fissures, associées aux dépôts, constituent un excellent support pour le développement de bactéries.

Bien que non traitées ici, l'hygiène du logement et l'hygiène des trayons avant la traite diminueront l'apport microbien dans les manchons. De même, la gestion des vaches infectées durant la traite est un moyen de lutte efficace contre les contagions pendant la traite : ordre de traite, utilisation d'une griffe réservée à la traite des vaches infectées, rinçage et/ou désinfection des griffes durant la traite, réformes des vaches infectées chroniques.

## )A Éléments de base

### ()1 Présentation des contaminants de la surface intérieure des manchons

Juste après la traite, les cellules vivantes susceptibles d'être présentes sur la surface intérieure des manchons ont trois origines différentes : le lait, la peau du trayon et l'environnement.

Le lait est à l'origine de la présence à la surface des manchons de cellules somatiques : leucocytes principalement, et éventuellement de bactéries pathogènes majeures et / ou mineures excrétées par la mamelle infectée (staphylocoques, salmonelles, listeria).

La peau des trayons est contaminée par les bactéries hôtes mais aussi éventuellement par des pathogènes comme les streptocoques et certains staphylocoques tel que *Staphylococcus aureus*. Il peut aussi s'agir de cellules encore vivantes issues de la desquamation de la peau ou encore de cellules d'origine végétale ou des moisissures provenant de déchets de litière et de fourrage par exemple.

L'environnement peut être source de germes d'origine fécale qui sont transitoirement hôtes de la peau des trayons ou véhiculés par l'air. Parmi eux, on trouve notamment *Streptococcus uberis* et différentes bactéries coliformes pouvant être à l'origine de mammites plus ou moins sévères (Billon, 2004 a).

## (2) Les mécanismes du vieillissement

Le caoutchouc évolue continuellement en réponse à l'absorption des composants du lait et des eaux de lavage.

La température de l'eau de lavage est le facteur le plus important dans la détérioration des manchons et ce, tout particulièrement pour les petits troupeaux où les manchons sont plus souvent lavés par rapport aux nombres de traites qu'ils subissent. Le caoutchouc est sensible à des variations de température aussi faibles qu'une dizaine de degrés. Cette sensibilité à la température est à l'origine de modifications significatives des propriétés du caoutchouc : la perméabilité aux gouttelettes lipidiques est augmentée d'un facteur 10 lorsque la température passe de 20 à 35°C (Hale *et al.*, 2002).

## )B Études récentes

### ()1 Mécanismes du vieillissement

La détérioration de la surface intérieure d'un manchon a fait l'objet d'une étude par Hale *et al.* (2002). Des manchons DeLaval en caoutchouc classique ont été utilisés sur un troupeau de 230 vaches traites deux fois par jour. L'étude a été conduite sur 6000 traites couvrant une période de 7 mois. L'intérieur des manchons a été observé à différentes étapes par microscopie électronique et spectrométrie à rayon X.

La composition du caoutchouc ne change pas significativement ; en revanche, la surface du manchon est incrustée d'acides gras ou d'esters d'acides gras. Des protéines sont également mises en évidence. Bien que la microscopie électronique montre que les manchons neufs présentent une surface intérieure propre et fine, après 1500 traites, ils présentent une apparence craquelée avec une fine couche de dépôts. Ces changements sont plus marqués dans la partie haute du manchon.

La spectrométrie révèle que la surface est recouverte de matière inorganique : un dépôt de calcium et de phosphate qui s'étale vers le bas sur 8 à 10 cm de hauteur depuis la partie en contact avec l'extrémité du trayon. Quelques dépôts de calcium sont observés aux autres endroits.

Le calcium provient de l'eau de lavage ou du lait. Très peu d'infiltrations de chlore sont décelées. Comme le rapport entre le calcium et le phosphore est à peu près de un, il est justifié de supposer que le lait est la source de ce dépôt.

De manière générale, il y a peu de preuves pour accuser le chlore des détériorations observées au fil des utilisations. L'eau du rinçage final du cycle de nettoyage ne montre jamais des quantités de chlore excessive. Cela suggère que la rugosité des manchons qui s'accroît avec leur vieillissement est due aux dépôts phospho-calciques. Toutefois ce phénomène est amplifié dans les zones où l'eau utilisée pour le rinçage est dure. Cet enduit qui se dépose dans le manchon affecte ses propriétés mécaniques. Palper à l'aide du doigt le degré de rugosité de l'intérieur d'un manchon est un bon premier indicateur de l'âge du manchon (Hale *et al.*, 2002).

## (02) Effet du vieillissement sur les performances de traite

Les forces appliquées au trayon pendant la traite varient au fur et à mesure du vieillissement du manchon : altération du caoutchouc et modification de la forme. Le trayeur ressentira ces phénomènes sur les performances de traite et l'état des trayons.

Une étude a été menée par Davis *et al.* en 2000 pour comprendre la relation entre les modifications physiques du manchon et l'évolution de ses caractéristiques de traite.

Le vieillissement du manchon provoque une diminution du débit de lait au pic d'éjection, davantage de fluctuations du niveau de vide, une durée de traite augmentée, et une diminution du niveau de vide dans la gorge de la pièce d'embouchure. La diminution du débit de lait au pic d'éjection serait le meilleur indicateur de l'altération du manchon. Les études précédentes avaient déjà mis en évidence les fluctuations du vide et l'allongement de la traite.

La corrélation entre l'instabilité du faisceau trayeur et le bas niveau de vide dans la gorge de la pièce d'embouchure est évidente. Les manchons vieillissants sont à l'origine d'un vide moins élevé dans la gorge de la pièce d'embouchure qui témoigne d'une admission d'air par la lèvre de la pièce d'embouchure. L'inspection visuelle du manchon révèle une déformation de cette pièce visible dès 840 traites. D'autre part, la section du corps du manchon n'est plus ronde, mais s'agrandit et devient elliptique de façon marquée à partir de 2520 traites. Par passage du vide le long du trayon, la distension du corps du manchon devrait engendrer un vide plus important dans la pièce d'embouchure. Or, celui-ci diminue parallèlement au vieillissement des manchons. On peut donc en conclure que l'altération de la lèvre de la pièce d'embouchure se produit avant la distorsion du corps du manchon.

Les effets du vieillissement du manchon sont significatifs pour une installation de traite fonctionnant correctement. Cependant, ces effets auront des conséquences plus néfastes si l'installation est défectueuse : lorsqu'ils sont usagés, les manchons peuvent mettre jusqu'à 0,25 secondes de plus à s'ouvrir ou se fermer selon les réglages de la machine.

Une durée d'utilisation des manchons limitée à 2500 traites ou 6 mois (pour les manchons en caoutchouc) devrait réduire les effets des différents facteurs à l'origine de la détérioration des manchons (Davis *et al.*, 2000).

### (3) Conséquence sur l'hygiène des trayons

Les aspérités et la rugosité des parois des manchons, qui se développent à l'usage, entravent le nettoyage des équipements. Les craquelures et les crevasses dans les parois ainsi que les dépôts permettent aux bactéries de résister aux lavages et aux désinfections car l'action antibactérienne des composants peut être retardée ou réellement inhibée par la présence des matières résiduelles.

L'utilisation de manchons usagés augmente le risque de développement bactérien. En plus de ces bactéries logées dans les parois du manchon, la surface rugueuse des parties en caoutchouc usées permet difficilement de nettoyer un faisceau trayeur lorsque celui-ci a été contaminé par un antibiotique. Le poste de traite doit être nettoyé entièrement et soigneusement lorsqu'une vache sous traitement est à la traite. Un soin tout particulier doit être apporté au lavage des pièces en caoutchouc, surtout lorsque celles-ci sont usées (Billon, 2004 a).

### (4) Rôle du nettoyage dans la contamination des manchons

Heckmann et Noorlander (1980) ont montré que les composants utilisés pour le nettoyage des installations peuvent avoir un effet néfaste indirect sur la contamination des manchons. Le chlore possède la propriété de s'infiltrer dans les craquelures du caoutchouc des manchons. Bien que par cette action il entrave fortement la croissance bactérienne, il contribue à augmenter les porosités et les microfissures des caoutchoucs. Il devient ensuite impossible d'effectuer un nettoyage correct de ces manchons poreux et fissurés trop profondément.

## )C Innovations proposées

Le nettoyage de l'installation de traite ne sera pas abordé ici mais traité dans la partie relative à la qualité du lait

### ()1 Rythme de changement des manchons trayeurs

Il est recommandé de remplacer les manchons trayeurs en caoutchouc toutes les 2500 traites. Vu l'évolution de la taille des troupeaux, un remplacement annuel des manchons est souvent insuffisant. Pour connaître la fréquence de remplacement des manchons, il suffit d'appliquer la formule suivante :

$$\text{Fréquence (en jours)} = \frac{\text{nombre de poste de traite} \times 2500}{\text{nombre de vaches traites} \times \text{nombre de traite par jour}}$$

Voici quelques exemples de fréquence de remplacement de manchons trayeurs conseillée :

- robot de traite : toutes les 3 semaines
- salle de traite 2 X 3 pour 50 vaches : tous les 5 mois
- salle de traite 2 X 6 pour 72 vaches : tous les 7 mois (Jadoul, 2005)

### ()2 Efficacité du rinçage de l'intérieur des manchons trayeurs entre deux vaches

Il est couramment admis que les germes pathogènes présents sur la peau des trayons des vaches laitières ou provenant du lait de quartiers contaminés peuvent être véhiculés pendant la traite par la surface intérieure des manchons trayeurs et constituer une importante source de transmission des infections mammaires d'un animal à l'autre. Plusieurs chercheurs ont tenté de limiter ce phénomène.

En 1971, Neave a montré qu'un simple rinçage à l'eau chaude des manchons entre les animaux diminuait de façon très sensible les risques de contamination (Billon et Gaudin, 2001). Depuis, des systèmes de désinfection automatique après la traite de chaque vache, basés notamment sur l'utilisation de produits à base d'iode, ont fait leur apparition dans quelques salles de traite de grande taille avec des résultats tout à fait positifs. Malheureusement, ces appareils sont relativement compliqués à faire fonctionner et à entretenir, et leur coût est très élevé, ce qui a considérablement limité leur diffusion, en particulier en France.

La société Deboffles a mis au point un dispositif de rinçage des manchons trayeurs entre deux vaches, fonctionnant à l'eau chaude ou froide, beaucoup plus simple et beaucoup moins onéreux que ceux actuellement sur le marché. Il s'agit du « DRM » destiné aux petites et moyennes installations de traite et ayant pour principal objectif de limiter la contamination des manchons trayeurs.

Ce dispositif a été testé à la ferme expérimentale de Derval (44) sur deux postes de traite de l'installation en épi 2 X 5, d'abord pendant 5 jours consécutifs puis une fois par mois, sur six vaches.

Le nombre de cellules vivantes a été mesuré par ATPmétrie avant et après le rinçage intérieur de deux manchons trayeurs (un avant et un arrière) de chacun des faisceaux équipés. Parallèlement, le même type de mesures a été effectué sur deux manchons non rincés d'un poste de traite adjacent.

Les mesures ATPmétiques sont basées sur la bioluminescence provoquée par réaction d'enzymes spécifiques avec l'ATP des cellules vivantes. Exprimées en RLU (Relative Light Unit), ces mesures traduisent la présence plus ou moins importante de cellules (bactéries pathogènes ou non, celles somatiques, flore banale du lait et du milieu).

Le rinçage des manchons à l'aide du dispositif DRM entraîne un taux d'abattement des cellules vivantes présentes sur leur surface intérieure de l'ordre de 90 % par rapport aux mesures réalisées avant rinçage immédiatement après la dépose du faisceau.

Ce taux d'abattement est observé sur des manchons neufs en début d'expérience, mais aussi sur l'année d'observation qui correspond à la durée de vie habituellement conseillée des manchons trayeurs.

Ceci semble prouver que lorsque les manchons sont de bonne qualité et que le nettoyage de l'installation de traite est correct, l'essentiel de la contamination des manchons provient de la traite elle-même. Cela justifie pleinement le rinçage des manchons après la traite de chaque vache. Il convient cependant de préciser que l'essai ne permet pas de distinguer l'abattement obtenu spécifiquement sur les cellules bactériennes pathogènes par rapport aux autres cellules (Billon et Gaudin, 2001).

On ne peut donc pas conclure à un effet certain et systématique du rinçage des manchons trayeurs pour la prévention des infections mammaires. Il semble cependant raisonnable de penser que cette pratique permet une réduction des risques de nouvelles infections.

Des études complémentaires dans des élevages à problèmes sanitaires chroniques et pendant une durée suffisamment longue s'avèreraient nécessaires pour conclure définitivement sur les intérêts du dispositif « DRM » dans la prévention des infections mammaires.

### (0)3 Nouveaux matériaux proposés pour limiter la contamination

#### (0)a Utilisation de manchons en silicone

Le caoutchouc silicone a fait son apparition sur le marché en 1944 et a conquis depuis des domaines toujours plus nombreux de la vie courante, des techniques médicales et des industries agro-alimentaires. Les nouvelles techniques de fabrication et l'accroissement considérable de la demande ont eu pour conséquence que le silicone est désormais disponible sur le marché à des prix abordables. Son apparition sur le marché du matériel de traite date de la fin des années 70 (Le Du, 1982).

Par rapport aux manchons classiques en caoutchouc, les manchons en silicone présentent une surface rigoureusement lisse sans aucune aspérité et ceux même après une longue utilisation. Leur contamination est donc moindre et leur nettoyage plus efficace.

Du fait de sa moindre porosité, le silicone conserve ses caractéristiques sur une large plage de températures en conditions réelles, indépendamment des conditions ambiantes et des variations saisonnières.

En raison de la faible intensité de la tension intermoléculaire, le matériau résiste davantage à la polymérisation ce qui lui confère une élasticité supérieure et de la souplesse qui subsiste longtemps à l'utilisation.

Le manchon trayeur s'ouvre et se ferme environ 60 fois par minutes et au total, environ 5 millions de fois sur sa durée de vie. Par sa structure moléculaire rigide entre les atomes de silicium et d'oxygène, le manchon en silicone s'use très lentement et peut être utilisé jusqu'à 1500 heures, soit le double par rapport à un manchon classique. Son coût à l'achat est également le double de celui d'un manchon en caoutchouc. Ainsi, rapporté à la traite, le coût est sensiblement le même (données fabricants).

Pour l'instant, on ne dispose pas d'études fiables et impartiales concernant l'utilisation de manchons trayeurs en silicone. Deux études à la ferme expérimentale de Derval, menées par Billon, ont débuté en 2001. Le but est de comparer, avec un plan expérimental en carré latin, quatre manchons en silicone et leurs homologues en caoutchouc. Ont été enregistrés les paramètres de la cinétique d'émission du lait afin d'appréhender dans un premier temps la qualité de la traite obtenue sur les mêmes vaches avec des manchons en matériaux différents.

Parallèlement, deux faisceaux trayeurs de la ferme expérimentale ont été équipés de manchons en silicone. L'état de leur surface et les caractéristiques techniques du manchon (pression de flambage) sont enregistrés régulièrement.

Les résultats de cette étude ne sont pas encore publiés. Néanmoins, le bilan d'activité de 2003 révèle les principaux résultats. La première étude n'a pas fait apparaître de différences significatives sur les principaux paramètres (production, temps, débits) entre les manchons en silicone et ceux en caoutchouc (Billon, 2003 a).

Le dépouillement de la seconde étude a fait apparaître quelques différences. Toutefois ces différences sont peut-être dues à l'inadéquation entre le manchon en silicone et les autres éléments de la griffe (non modifiés pour l'expérimentation) et non pas au silicone en lui-même. Des investigations complémentaires sont en cours (Billon, 2003 a).

## (b) Utilisation de tuyaux courts et longs à lait en matériaux mixtes

Les tuyaux à lait *Ultraclean*<sup>®</sup> de Milk-Rite associent deux matériaux : le caoutchouc, à l'extérieur, pour la durabilité et la résistance et une couche de plastique alimentaire, le TPV (Thermoplastic Vulcanizate Rubber) à l'intérieur. Ce plastique flexible combine des caractéristiques très intéressantes pour l'utilisation à la ferme. Il présente une résistance satisfaisante à l'action des détergents, utilisés pour le nettoyage du circuit de traite et aux hautes températures.

L'extérieur d' *Ultraclean*<sup>®</sup>, en caoutchouc EEPDM, issu de la recherche Avon et utilisé en industrie automobile, est résistant aux UV, à l'ozone, au durcissement et aux chocs mécaniques. Les deux parties constitutives d' *Ultraclean*<sup>®</sup> ont été soudées définitivement, durant le procédé de fabrication, ce qui rend ce nouveau tuyau tout à fait résistant aux utilisations intensives en exploitation. Ces principales qualités sont sa souplesse, sa résistance, sa durabilité et son nettoyage facile.

## )VLe rôle infectant de la machine à traire

De par sa capacité à véhiculer les microbes, la machine à traire peut avoir un rôle infectant lié à des retours de lait contaminé vers le canal du trayon. C'est le cas lors des phénomènes d'impact, de traite humide et de surtraite qui provoquent ou facilitent la pénétration des microbes dans le canal du trayon.

### )ALe phénomène d'impact

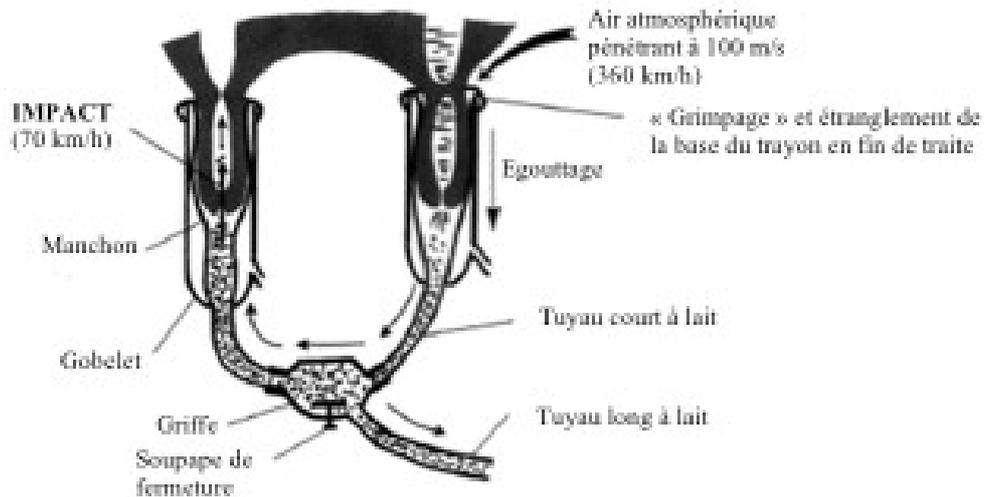
#### ()1 Éléments de base : définition et mécanisme

Le phénomène d'impact se produit pendant la traite lorsque de l'air pénètre entre le trayon et le manchon trayeur. Les circonstances d'entrée d'air sont la pose et la dépose des faisceaux, l'égouttage ou un glissement des manchons (vide trop bas, engorgement de la griffe, embouchure du manchon trop large, lèvre d'embouchure déformée, faisceau trop lourd).

Lorsque de l'air entre par l'embouchure d'un manchon, il s'engouffre à une vitesse avoisinant les 360 Km/h et pulvérise le lait présent dans le tuyau court et la griffe. Envahissant l'espace sous vide dans le faisceau trayeur, il s'évacue en grande partie vers le lactoduc, mais remonte également vers les autres manchons pour être projeté violemment (70 Km/h) sur l'extrémité d'un ou de plusieurs autres trayons (Figure 30). Ce lait ainsi projeté peut être chargé en bactéries. Si l'impact survient quand le canal du trayon est ouvert, l'énergie acquise par les gouttelettes de lait est suffisante pour permettre la pénétration des éventuelles bactéries dans la mamelle ; le risque de contamination est d'autant plus grand en fin de traite quand le flux de lait est plus faible (Federici-Mathieu et Godin, 2002).

Figure 30 : Mécanisme du phénomène d'impact

(source : Goureau et coll., 1995)



## (2) Études récentes

### (a) Facteurs de risque du phénomène d'impact

#### (i) Manchons présentant un corps large et une embouchure étroite

Si le corps d'un manchon trayeur, mesuré à 7,5 cm de son embouchure, est de large diamètre (30 mm ou plus), le corps du trayon, même dilaté par le lait, ne peut coapter de manière hermétique avec les parois du manchon. Le vide de traite vient alors alimenter la gorge de la pièce d'embouchure. En fin de traite, la pression diminuant dans le sinus du trayon, son diamètre diminue et celui-ci s'allonge. Le trayon est alors aspiré par le manchon donnant l'impression que l'embouchure du manchon monte jusqu'à la racine du trayon ; ce phénomène est désigné par le terme de « grimpage ».

Si d'autre part, l'embouchure du manchon est de faible diamètre, il se produit une striction à la racine du trayon, laquelle peut aller jusqu'à l'oblitération du repli annulaire, empêchant le passage du lait de la citerne du pis au sinus du trayon. Dans les exploitations non équipées de système de décrochage automatique, le trayeur tente alors de faire redescendre les manchons sur le corps du trayon en appuyant sur la griffe ou en la chargeant de poids accessoires, ce qui a pour effet de décoller le trayon de la pièce d'embouchure. L'air atmosphérique peut alors se précipiter dans le manchon avec un bruit de sifflement caractéristique et déclencher le phénomène d'impact (Lacombe, 1995 a).

Actuellement, ce facteur de risque est relativement maîtrisé. D'une part, l'installation de systèmes de dépose automatique supprime tout égouttage. D'autre part, les éleveurs ne sont plus encouragés à pratiquer la surtraite et sont au fait des risques inhérents à cette pratique.

(ii) Insuffisance d'évacuation du lait dans le faisceau trayeur

Lorsque le lait s'accumule dans le manchon trayeur et dans le tuyau court à lait, il se produit un effondrement du vide dans le manchon. Ce vide peut ne plus être suffisant pour soutenir le faisceau trayeur et il se produit alors un glissement de manchon. Lorsque ce phénomène a lieu, l'air pénètre entre le manchon et le trayon, provoquant le phénomène d'impact (Lacombe, 1995 a).

(iii) Faisceau trop lourd ou dépression insuffisante

Le faisceau trayeur est maintenu sur les trayons par l'aspiration présente dans le manchon résultant du vide de traite : force de succion. Si la dépression dans le manchon est trop faible pour supporter le poids du faisceau, un glissement des manchons peut se produire et être à l'origine d'impact. Dans les cas extrêmes, des chutes de faisceaux peuvent être observées (Lacombe, 1995 a).

#### (iv) Influence du rapport de pulsation

O'Callaghan (1989) a mis en évidence que les modifications des rapports de pulsation n'ont pas d'effets significatifs sur les glissements et la stabilité de la griffe.

#### (b) Méthode de retrait de la griffe

Griffin *et al.* (1982) ont voulu mettre en évidence que la méthode de retrait de la griffe, selon qu'elle entraîne ou non des entrées d'air, peut avoir une influence sur l'incidence des mammites.

Ils ont comparé une méthode « brutale » où le faisceau trayeur est débranché sans coupure préalable ni du vide ni de la pulsation à une méthode « douce » avec coupure du vide et arrêt de la pulsation précédant le retrait. Comme on peut s'y attendre, l'incidence des mammites est considérablement augmentée dans la première méthode. Cette expérience ne sera pas plus longuement détaillée ici car aujourd'hui toutes les installations sont équipées de système de coupure du vide par clapet, ou pince manuelle pour les plus vétustes. D'autre part, les trayeurs sont au fait du risque d'impact et de ses conséquences si un retrait « doux » n'est pas pratiqué.

#### (c) Détermination du niveau de vide optimal dans la pièce d'embouchure

Un niveau de vide élevé dans la pièce d'embouchure du manchon durant la phase de traite à haut débit assure une grande force de succion entre la peau du trayon et le manchon. À l'intérieur du trayon, la pression est proche de la pression atmosphérique alors que le vide est présent dans la pièce d'embouchure. Il en résulte un gradient qui presse le trayon contre le manchon. Un niveau de vide haut dans la pièce d'embouchure assure une meilleure tenue du manchon sur le trayon comparé à un niveau de vide bas ; les risques de glissements de manchons sont diminués.

Cependant, un niveau de vide élevé dans la pièce d'embouchure augmente aussi significativement l'incidence de mammites (Rasmussen, 1997). De plus, comme expliqué précédemment, on observe davantage d'anneaux de compression et une agitation des animaux dès que ce vide excède les 23 kPa.

Ronningen (2002) a étudié la relation entre le vide dans la pièce d'embouchure et le type de manchon. Il apparaît, dans cette étude, que le meilleur compromis est un manchon du type DeLaval 964008-01, qui présente un diamètre de corps étroit mais une large pièce d'embouchure par rapport au DeLaval 999007-03. Ces caractéristiques permettent d'avoir un niveau de vide moins élevé au niveau de la pièce d'embouchure tout en assurant une bonne tenue. Le faible diamètre du corps assure une grande force de succion qui limite les fuites d'air le long du trayon et permet un niveau de vide moins élevé au niveau de la pièce d'embouchure.

#### (d) Conséquences de l'impact sur la santé de la mamelle

Baxter *et al.* (1992) ont comparé le taux de nouvelles infections mammaires chez 222 vaches laitières réparties en deux groupes traits avec des manchons différents quant au nombre de glissements qu'ils engendraient (numéros 01 et 61000, Alfa-Laval Agri). Outre le manchon, le reste de l'équipement de traite était identique.

Un glissement de manchon était défini dans cette étude comme une chute du niveau de vide dans la griffe d'au minimum 10 kPa pendant une période de 0,25 secondes.

Pour le premier groupe, les manchons utilisés provoquaient, en moyenne, 6,1 glissements par traite et par vache alors que pour le second groupe les manchons utilisés en provoquaient 3,6. Le nombre de nouvelles infections était de 35 % dans le groupe où les glissements sont nombreux et 20 % dans l'autre. En ce qui concerne les animaux qui présentaient déjà une infection mammaire avant la participation à l'essai, le nombre de nouvelles infections est de 81 % dans le groupe où les

glissements sont nombreux comparés à 39 % dans l'autre groupe. Ces différences sont significatives. Par contre, entre les animaux sains au départ, la différence est moindre : 17 % de nouvelles infections pour le premier groupe versus 16 % pour le second.

La conclusion de cet essai est que les glissements de manchons augmentent le taux de nouvelles infections et que cet effet est d'autant plus prononcé que les animaux présentent des quartiers déjà infectés.

Ces résultats laissent envisager deux hypothèses : soit des glissements fréquents augmentent le risque d'infection croisée chez les animaux infectés (passage d'un germe d'un quartier à l'autre), soit, lors de glissements, les vaches infectées ont une réceptivité accrue aux nouvelles infections quelque en soit la nature.

La première hypothèse a été éprouvée en identifiant le pathogène en cause dans les nouvelles infections. Il en résulte que le nombre maximum de nouvelles infections pouvant résulter de contaminations croisées s'élève à 26,5 % pour le premier groupe et 20,5 % pour le second. De fait, seule une faible proportion de ces infections peuvent résulter de contamination croisée. Le plus probable serait que les glissements de manchons augmentent la réceptivité des animaux déjà infectés (Baxter *et al.*, 1992).

### 03 Innovations proposées

#### 0a Conception du faisceau trayeur

##### 0i Optimiser le poids du faisceau trayeur

Le glissement des manchons se produit lorsque la force de succion qui tendait à le maintenir sur le trayon s'amointrit. Outre la diminution de la force de succion, le poids excessif du faisceau trayeur est un facteur de risque qui peut également accentuer ce phénomène.

Le faisceau de traite est constitué de quatre gobelets logeant chacun un manchon, et tous connectés à la griffe. L'objectif est de limiter le phénomène de grimpage, et éviter les glissements et décrochages. Augmenter le poids du faisceau réduit le grimpage mais augmente les glissements et décrochages d'où la difficulté à atteindre ces objectifs.

##### *0c Importance du matériau utilisé*

Les étuis du gobelet trayeur sont traditionnellement fabriqués en acier inoxydable. Cependant, lors des dernières décennies, la construction en plastique a fait son apparition sur le marché permettant de réduire le poids de l'unité de traite.

Parallèlement à l'optimisation du poids de la griffe proprement dite, un nouveau type de tuyau en caoutchouc a fait son apparition. Il s'agit des tuyaux TPE. Ces tuyaux sont 65 pour cent plus légers que les tuyaux caoutchouc traditionnels. Ils permettent de réduire les efforts à fournir pour lever et transporter les postes de traite et d'améliorer le positionnement des faisceaux trayeurs sous la mamelle. Des études constructeurs ont montré que ces tuyaux réduisent jusqu'à 30 pour cent les problèmes de glissement du manchon trayeur.

### *()dRépartition des poids*

Westfalia a mis au point un faisceau dont les 2/3 du poids se trouvent au niveau des gobelets trayeurs et non du réceptacle. Ainsi, le faisceau trayeur ne pend pas avec raideur sous la mamelle (Figure 31). D'autre part, le contour en forme de cuillère des tuyaux courts à lait et à pulsation participe également à éviter tout étirement excessif des trayons limitant ainsi la survenue de glissements.

Figure 31 : Répartition des poids du faisceau trayeur

*(source : Westfalia Surge, document technique. Classic 300 & Classic 300 E)*

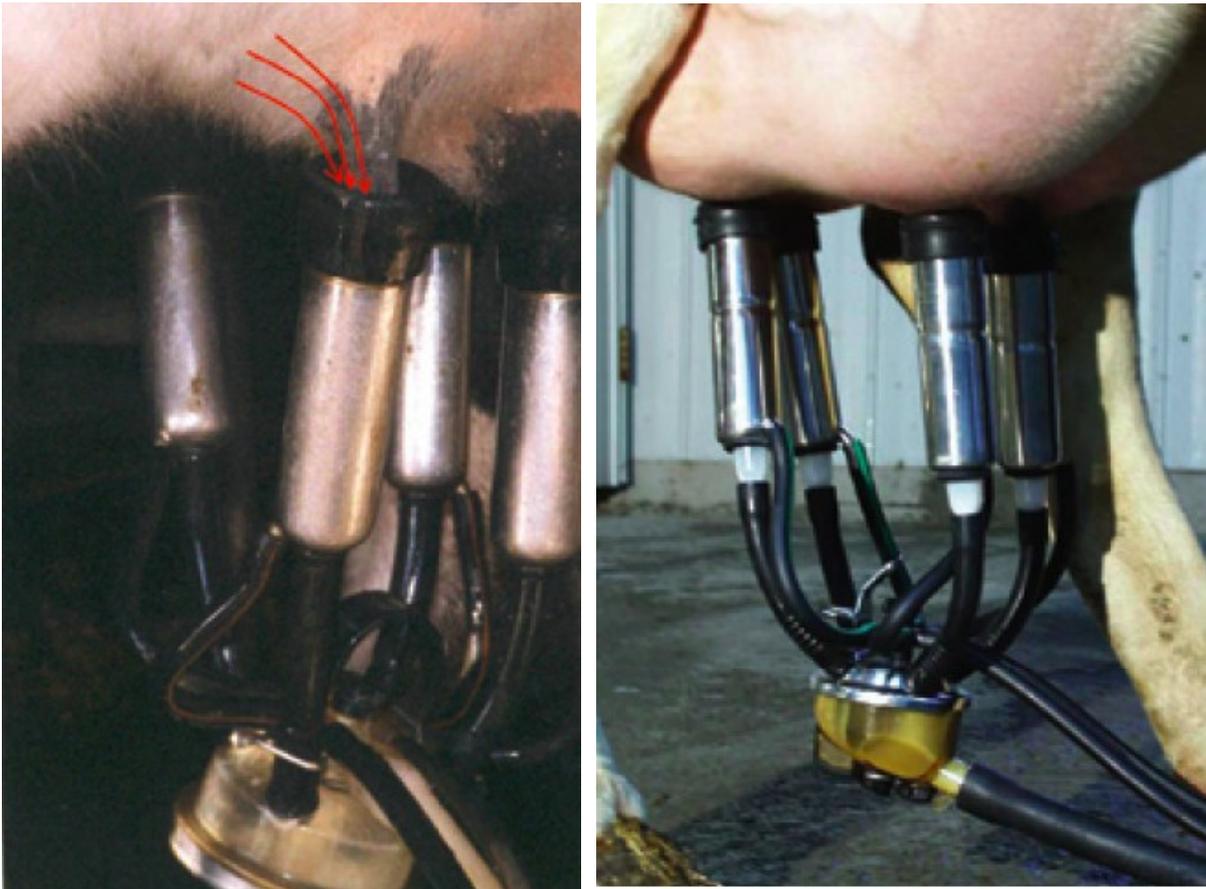
### ()ii Alignement du faisceau trayeur

Pour obtenir une traite rapide et complète, chaque gobelet trayeur doit être bien positionné et exercer une légère tension sur le trayon. Si la tension est trop forte, il y aura un risque de glissement ; si elle est trop faible, le manchon aura tendance à grimper.

S'il n'y avait qu'un seul quartier, il serait facile de bien positionner le gobelet. Avec quatre quartiers, c'est plus délicat : il faut s'assurer que le poids du faisceau est bien réparti sur les quatre quartiers. Comme la conformation du pis varie grandement d'une vache à l'autre, il faut trouver le bon compromis pour chacune des vaches du troupeau. Lorsqu'une glande mammaire est bien équilibrée, les gobelets, vus de côté, comme de derrière, sont verticaux (Figure 32). Certaines vaches ont des quartiers arrière plus développés, et le faisceau peut alors être tiré légèrement vers l'avant afin d'accélérer la traite de ces quartiers.

Figure 32 : Faisceau mal positionné à gauche (risque de glissement), faisceau bien positionné à droite (gobelets verticaux)

*(source : Levesque, 2004)*

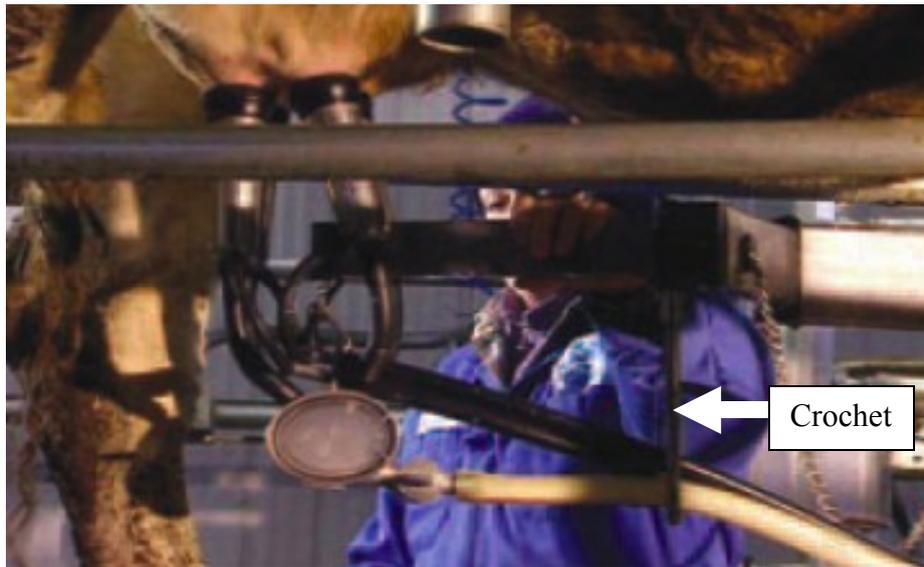


Dans la plupart des cas, la sortie de la griffe est dirigée vers la tête de la vache. Avec une salle de traite par l'arrière, la sortie de la griffe est dirigée directement entre les pattes arrière. Toutefois, la direction de la sortie importe peu, pourvu que les quatre gobelets soient verticaux (Levesque, 2004)

Divers outils ou aménagements sont disponibles pour ajuster la position des gobelets : crochets, bras de service servant à maintenir le tuyau long à lait. Ces dispositifs doivent être adaptés selon la configuration de chacune des installations pour assurer un bon alignement du faisceau trayeur sous la mamelle (Figure 33).

Figure 33 : crochet de maintien du tuyau long à lait assurant l'alignement correct du faisceau trayeur

(source : Levesque, 2004)



(b) cloisonnement de la griffe

Afin d'éviter les conséquences néfastes de l'impact, à savoir la projection de gouttelettes de lait contaminées d'un quartier vers un autre, certains ont suggéré de mettre en place des dispositifs limitant la communication entre les différents quartiers.

(i) Utilisation de boucliers défecteurs

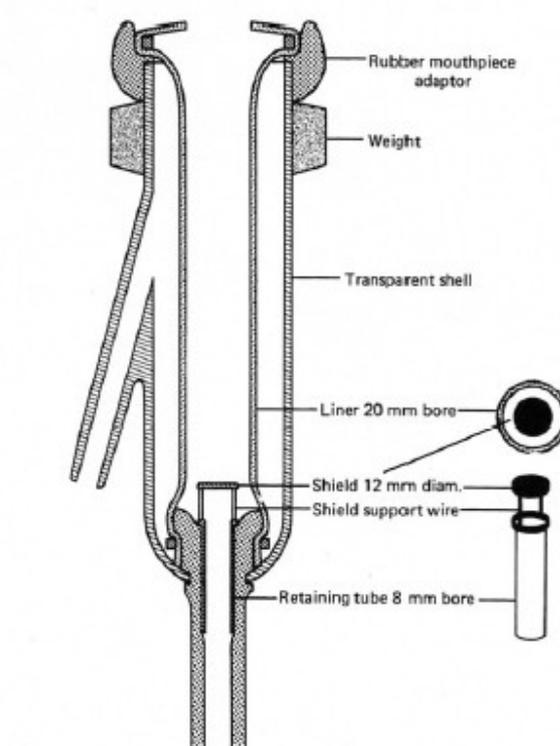
Griffin *et al.* (1983) ont réalisé une série d'expériences pour déterminer le lien entre le taux de nouvelles infections associées à des variations du niveau de vide et l'impact de microgouttes de lait sur l'extrémité du trayon pendant la traite. Ces expériences s'accompagnaient d'un challenge bactérien pour mieux étudier les conséquences du phénomène d'impact sur la mamelle.

Pour chaque animal, des comparaisons ont été réalisées entre les quartiers protégés du phénomène de l'impact par un déflecteur et ceux qui ne l'étaient pas. Ce déflecteur était installé à

l'extrémité haute du tuyau court à lait, à la limite avec la base du manchon. Enchassé dans le tuyau court à lait et de faible diamètre, il permettait de dévier ou tout au moins ralentir les particules de lait qui auraient, sans cela, impacté l'extrémité du trayon (Figure 34).

Figure 34 : Principe et installation du déflecteur (*shield*) à la base du manchon trayeur

(source : Griffin et al., 1983)



Pour l'expérience, la machine était volontairement paramétrée pour générer des fluctuations de vide conséquentes : de l'air atmosphérique pénétrait dans les canalisations de manière à faire chuter le niveau de vide de 50 à 30 kPa, six fois par minute. Ce type d'installation expérimentale a été choisi car des études antérieures avaient montré qu'il augmentait le nombre de nouvelles infections.

Pendant deux semaines, 22 animaux ont été traités à l'aide de cette machine. Chacune des griffes était équipée de déflecteurs sur 2 des 4 manchons ; les deux autres servant de manchons-témoins. Avant et après la traite, les trayons ont été plongés dans une solution concentrée de streptocoques à tropisme mammaire.

Parmi les 40 quartiers-témoins, 27 ont développé une infection alors que parmi les 40 autres branchés à un manchon muni de déflecteur, un seul a développé une infection. Les déflecteurs permettent donc, dans ces conditions expérimentales de réduire considérablement l'incidence de mammites.

Ces auteurs ont ainsi montré que lorsqu'un obstacle est placé sur le trajet des particules de lait contaminées, le taux de nouvelles infections est considérablement réduit. Cependant, il ne faut pas oublier que les conditions de cette expérience sont très éloignées de la réalité du terrain tant au niveau des fluctuations de vide que de la pression bactérienne.

Des déflecteurs ont été utilisés en conditions réelles dans 31 troupeaux en les installant sur deux manchons sur quatre pour chaque griffe ; le taux de nouvelles infections s'est vu légèrement diminué de 10 % seulement (15 % quand les trayons étaient désinfectés après la traite). Ces résultats décevants peuvent être expliqués par une hygiène et une stabilité du vide plus satisfaisantes dans les troupeaux classiques par rapport aux conditions expérimentales précédemment décrites et non par une défaillance des déflecteurs qui semble peu probable au vu des résultats précédents (Griffin *et al.*, 1983).

Bien que ce système trop complexe ne soit pas intéressant et pratique pour une utilisation plus large, il montre néanmoins un intérêt et d'autres travaux ont été poursuivis afin de limiter les conséquences du phénomène d'impact.

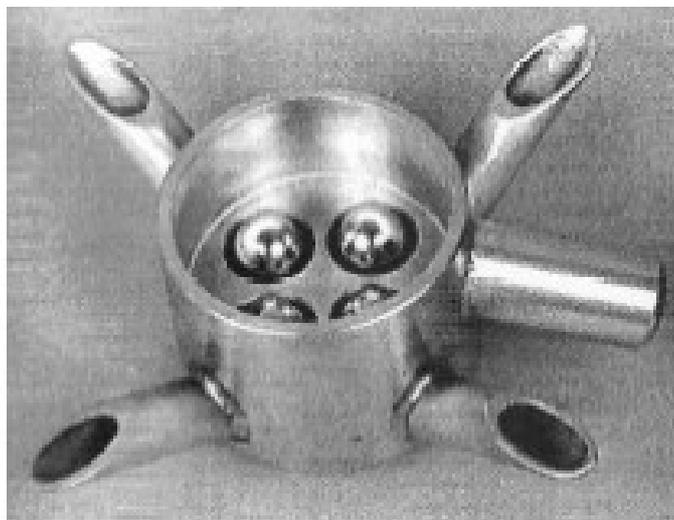
#### (ii) Utilisation d'une griffe munie de plusieurs valves

Poursuivant ses travaux en vue de limiter l'impact, Griffin *et al.* (1988) ont mis au point une griffe à valves unidirectionnelles pour prévenir le retour du lait contaminé vers les trayons et contrôler les mouvements d'air et de lait dans la griffe. et donc limiter l'impact.

Cette griffe expérimentale présente quatre connections métalliques avec les quatre tuyaux courts à lait situées de telle sorte que le lait arrive sous la griffe et monte verticalement vers le réceptacle et c'est seulement à ce moment qu'il pourra être en contact avec le lait en provenance des autres quartiers (Figure 5). À ce point d'entrée, un orifice est ménagé où se trouve une bille en acier inoxydable qui agit comme une valve unidirectionnelle et donc anti-retour. Celle-ci, par gravité, empêche le retour du lait sans interférer avec son évacuation. Une entrée d'air, d'un diamètre de 0,57 mm, est présente à l'extrémité du tuyau court à lait remplaçant ainsi l'entrée d'air habituelle sur le bol des griffes classiques L'ensemble du bol de la griffe est en acier inoxydable.

Figure 35 : Griffes multi-valves

(source : Griffin *et al.*, 1988)



Griffin *et al.* (1988) ont tout d'abord comparé le taux de nouvelles infections des vaches traitées avec cette griffe par rapport à une griffe classique, en les soumettant à une pression

bactérienne exagérée de streptocoques. Onze des quarante quartiers traits avec la griffe classique se sont infectés alors que les quarante autres traits avec la griffe munie de valve sont restés sains. Les différences observées sont significatives.

La seconde expérience, d'une durée de douze mois, réalisée sur le terrain dans soixante exploitations n'a pas apporté de meilleurs résultats que l'utilisation des déflecteurs quelques années auparavant : des réductions de 14 % des nouvelles infections et de 25 % des mammites cliniques ont été observées ce qui n'était pas significatif. Il est à noter que la méthode de nettoyage des trayons était variable entre les différents troupeaux et peut avoir réduit l'efficacité de la griffe munie de valve dans le contrôle de l'infection.

Bien que Griffin ait prouvé que ses systèmes, en situation expérimentale, réduisaient fortement l'incidence d'infections mammaires consécutives au phénomène d'impact, sur le terrain, les solutions proposées n'empêchent pas tous les transferts de pathogènes.

Aujourd'hui, ces systèmes ne sont plus proposés et la tendance est davantage à l'amélioration du *design* de la griffe pour faciliter l'évacuation du lait vers les tuyaux longs à lait. Ces innovations seront traitées dans la partie suivante.

## )B Le *reverse-flow* ou le phénomène de traite humide

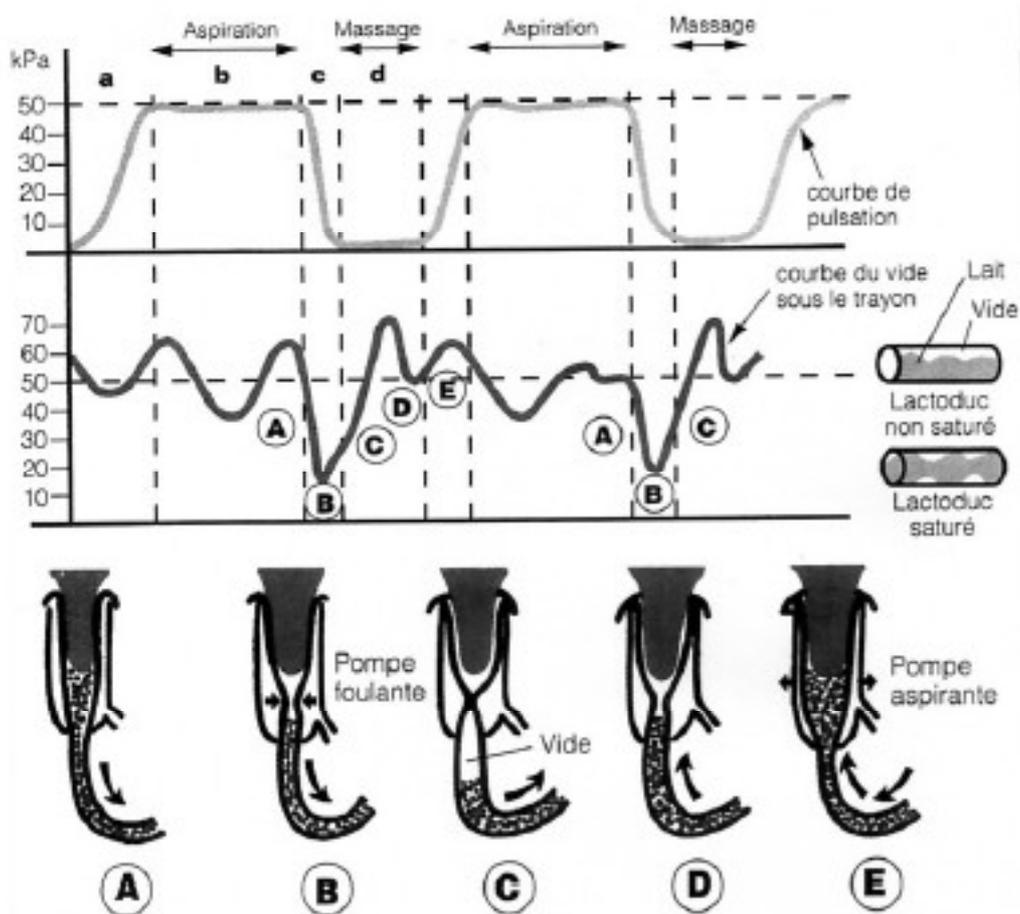
### ()1 Éléments de base : définition et mécanisme d'apparition

Le *reverse-flow* est la conséquence d'un retour vers le trayon du lait qui vient d'être extrait, lait qui peut s'être chargé en germes présents dans le manchon et le tuyau court à lait. Ce phénomène est lié à une mauvaise évacuation du lait sous le trayon. Si le lait n'est pas rapidement

évacué dans la griffe, puis dans le tuyau long à lait et le lactoduc lorsque le manchon est fermé, il peut se produire, lors de la réouverture du manchon, une remontée vers le trayon d'une partie du lait non évacué. En effet, lors de l'ouverture du manchon, le volume libre sous le trayon augmente, créant un très bref instant une augmentation de vide et un phénomène d'aspiration du lait vers le trayon. Si ce lait, qui revient au contact du trayon, est contaminé, il apportera une charge microbienne à l'extrémité du trayon (Figure 36). De même, si l'évacuation du lait sous le trayon est trop lente, celui-ci peut se trouver emprisonné lorsque le manchon se ferme : la traite est alors qualifiée d'humide (Federici-Mathieu et Godin, 2002)

Figure 36 : Mécanisme du reverse-flow

(source : Gourreau et coll., 1995)



(2) Études récentes

À des fins de comparaisons techniques, une trentaine de faisceaux trayeurs pour vaches laitières, actuellement commercialisés ont été testés sur un banc d'essai équipé d'une mamelle artificielle normalisée par l'institut de l'élevage (Billon, 2004 b). Ont été enregistrés l'évolution du niveau de vide sous le trayon et dans la griffe à différents débits de liquide et différents niveaux de vide. Dans le même temps, on a également enregistré les mouvements du manchon à l'aide d'un capteur laser spécifique. Le référentiel n'est pas encore publié.

### ()3 Innovations pour favoriser l'évacuation du lait

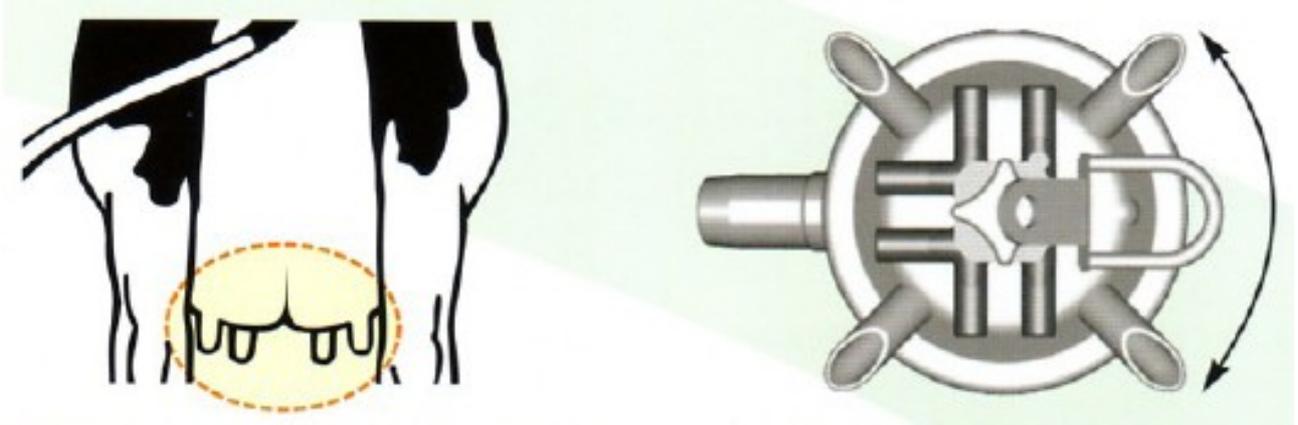
#### ()a Eviter la stagnation du lait à l'extrémité du trayon

Les volumes de griffes restent très variés et aucune étude ne semble en privilégier un par rapport à l'autre. Ils vont de 150 ml à 450 ml. Plus que le volume de la griffe, il semble que ce soit sa forme qui importe pour le bon écoulement du lait.

Westfalia propose deux types de griffes selon la production et la conformation des trayons du troupeau. La Classic 300 présente un volume de 300 ml et un positionnement évasé des tubulures parfaitement symétrique et large. Elle est adaptée aux vaches ayant des trayons normaux ou écartés (Figure 37).

Figure 37 : Griffe à lait Classic 300 et type de mamelle y correspondant

(source : Westfalia Surge. Document technique. Classic 300 et Classic 300 E)



La Classic 300 Evolution présente un positionnement des tubulures différent pour les quartiers avant et arrière. L'avant est similaire à la Classic 300 alors qu'à l'arrière, le positionnement des tubulures est plus rapproché et moins évasé. Elle est ainsi conçue pour les vaches hautes productrices actuelles qui ont des trayons de plus en plus rapprochés, notamment à l'arrière (Figure 38).

Figure 38 : Griffe à lait Classic 300 E et type de mamelle y correspondant

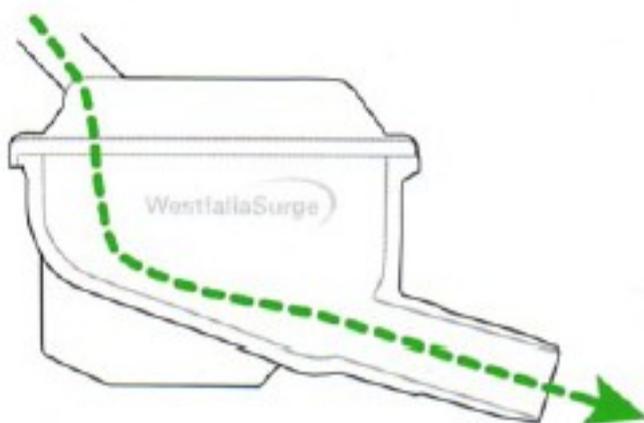
(source : Westfalia Surge. Document technique. Classic 300 et Classic 300 E)



Pour ces deux griffes, au fond du réceptacle, une pente permet l'évacuation continue du lait vers le tuyau long à lait sans retour ni stagnation (Figure 39).

Figure 39 : Conception des griffes Classic 300 et 300 E permettant l'écoulement direct du lait

(source : Westfalia Surge. Document technique. Classic 300 et Classic 300 E)



La Flo-Star Max de Boumatic présente des entrées d'air brevetées, placées en forme de X qui dirigent le lait vers les parois de la griffe puis sur les angles de la base où se trouve le bec de sortie. Ces entrées sont dirigées en position avant-arrière contrairement aux entrées traditionnellement placées à angle et convergeant en un point unique. De plus, une paroi séparatrice interne diminue le risque de remontée de lait (Figure 40).

Figure 40 : Conception de la Flo Star Max®

(source : Boumatic. Document technique. Flo Star Max®)



(b) Accélérer l'évacuation du lait et de l'air hors de la griffe

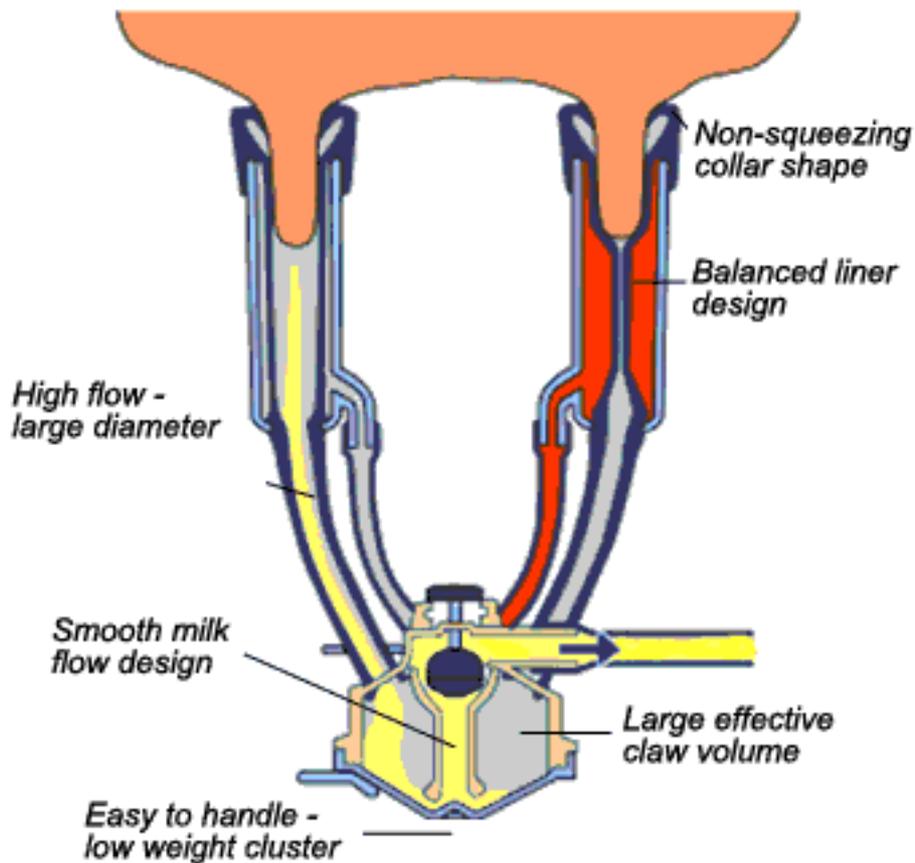
DeLaval a mis en place un concept breveté, la technologie *Top-Flow*, qui assure un écoulement laminaire du lait vers le lactoduc et une stabilité du vide sous les trayons. Il est conçu pour éviter l'engorgement de la griffe et minimiser les fluctuations de vide car un grand volume de griffe ne suffit parfois pas à assurer l'écoulement rapide du lait.

Le lait extrait des trayons est uniformément dirigé vers le fond de la griffe puis il est évacué verticalement par la cheminée centrale. Le conception unique de la cheminée centrale de la griffe assure un écoulement laminaire et en douceur du lait vers le lactoduc en évitant la lipolyse. Le lait est ainsi extrait avec l'air vers le lactoduc ou le compteur à lait, le tuyau à lait permettant d'extraire

l'air sans aucune restriction. Ainsi, quelle que soit la vitesse de traite, le niveau de vide est constant dans le faisceau trayeur (Figure 41).

Figure 41 : Principe de fonctionnement d'une griffe à technologie *Top Flow*

(source : Delaval. 2006. Document web)



Ce principe s'oppose aux griffes conventionnelles où le lait traverse un tuyau de sortie horizontal puis tombe au fond du tuyau. Ce principe empêche parfois l'air de sortir du faisceau trayeur, réduisant ainsi le niveau de vide et l'évacuation du lait.

DeLaval propose en outre des tuyaux courts à lait à section ovale et non plus ronde. Cette modification de la forme, brevetée, est censée assurer une meilleure évacuation du lait.

### ()c Surveiller l'écoulement laminaire du lait

La majorité des griffes sont en plastique transparent ou nouvellement en résine transparente. Ces caractéristiques de matériaux permettent de visualiser l'écoulement du lait et les éventuels engorgements de la griffe.

La transparence des tuyaux courts et longs à lait est également de plus en plus répandue. Elle est possible grâce à l'utilisation de tuyaux en PVC ou en silicone.

## )C La surtraite ou gradient de pression inversé

### ()1 Eléments de base

#### ()a Physiologie de la descente du lait

Toute stimulation tactile des trayons déclenche immédiatement un influx nerveux en direction du système nerveux central. Une fois stimulée, la post-hypophyse libère l'ocytocine. Cette hormone, transportée par voie sanguine, provoque la contraction des cellules myoépithéliales des acini mammaires et l'éjection du lait alvéolaire dans les canaux galactophores puis dans la citerne du pis. L'ocytocine met environ 50 secondes pour arriver au pis après transmission du réflexe nerveux et son action dure de 2 à 8 minutes. Sa demi-vie dans le sang est de 4 minutes et son optimum d'activité se situe jusqu'à 5 minutes après la stimulation.

Ce premier réflexe neuro-endocrinien est suivi par un réflexe nerveux autonome local qui a pour effet une dilatation des canaux galactophores et du sphincter des trayons. Le débit sanguin du pis est également augmenté pendant la traite, ce qui se traduit notamment par une légère érection du trayon.

La préparation des trayons et l'éjection des premiers jets de lait représentent la meilleure stimulation tactile des trayons avant la traite. La présence des corpuscules thermo-récepteurs montre l'importance de la température sur la traite. Il est toujours conseillé de travailler à une température voisine de la bouche du veau. La descente du lait peut également être déclenchée par des stimuli visuels, auditifs, ou autres : heure de traite, entrée en salle d'attente ou en salle de traite, vue du veau (Boudry, 2005).

#### (b) Définition et mécanisme de la surtraite

Historiquement, la surtraite était fondée sur l'idée reçue qu'il fallait vidanger entièrement la mamelle à chaque traite pour maximiser la production. Cependant, à la fin de la traite, surtout s'il y a égouttage prolongé, la pression intramammaire a fortement diminué. Lors d'entrées d'air importantes sous le trayon (glissement, dépose mal réalisée), la mamelle étant sous dépression, le vide est plus important dans la mamelle qu'à l'extérieur du trayon. Cette situation de gradient de pression inversé (1,5 à 7 kPa durant 0,02 à 0,05 seconde) a pour conséquence l'aspiration de bactéries présentes ou déposées durant la traite autour de l'orifice du canal du trayon (Federici-Mathieu et Godin, 2002).

Concrètement, la surtraite débute lorsque le flux de lait dans la citerne du trayon est inférieur à celui mesuré au travers du canal. Les mesures effectuées dans la citerne du trayon montrent qu'il s'écoule seulement 10 cycles de pulsation entre le moment où le quartier est vide et celui où le vide présent dans la citerne se superpose à celui de la courbe de pulsation. Pendant la phase de massage, une légère surpression se produit dans la citerne du trayon. Pendant la phase d'aspiration, le vide dans la citerne du trayon peut atteindre 90 % de celui présent à l'extrémité du trayon. Si, pendant une très courte période, le vide dans la citerne est supérieur à celui appliqué à l'extrémité du trayon, cela crée un gradient de pression inversé à travers le canal du trayon qui peut permettre une aspiration bactérienne et une contamination de la citerne du trayon (Rasmussen, 2004).

Depuis les années 80, les éleveurs ont été mis en garde contre les effets néfastes de la surtraite ; cependant, pour les installations non encore dotées de systèmes de dépose automatique, il est très difficile d'apprécier le moment où finit l'égouttage et où commence la surtraite. Une idée reçue consiste à croire qu'une vache « mal finie » contracte des mammites. Pourtant, il suffit d'observer les vaches allaitantes qui ne souffrent que très rarement de mammites en cours de lactation : le veau tète en moyenne dix à onze fois par jour et ne vide jamais le quartier. La « soustraite » n'est donc pas un facteur de pollution mammaire (Lacombe, 1995 b). Aujourd'hui, il est admis que la surtraite ne présente aucun avantage, si ce n'est d'augmenter la durée de traite et d'endommager la mamelle et le trayon.

## (2) Études récentes

### (a) Circonstances d'apparition des gradients de pression inversée

Rasmussen, en 1994, a étudié les facteurs de risques et les circonstances d'apparition de gradients de pression inversée. Auparavant, la théorie de l'impact était considérée comme la seule permettant aux bactéries de franchir le canal du trayon. Le développement de microcapteurs de pression plus petits et plus précis ont permis d'étudier les moindres variations de pression dans la citerne du trayon.

Les microcapteurs étaient répartis à divers endroits stratégiques pour les mesures. Un premier était placé à mi-hauteur dans la citerne du trayon ; pour ce faire, une anesthésie locale et un cathétérisme au travers du parenchyme mammaire était nécessaire. Un second était placé juste sous l'extrémité du trayon, un troisième à un centimètre au-dessus du point de fermeture du manchon et quelques autres dans les tuyaux longs à lait, dans la gorge de la pièce d'embouchure ou encore dans le tuyau court à pulsation. Dix vaches Holstein ont ainsi été équipées.

Les gradients de pression inversée mesurés étaient répartis en trois catégories :

- aucun : gradients de pression inversée inférieurs à 0,3 kPa ou d'une durée inférieure à 0,003 secondes.
- mineurs : gradients de pression inversée inférieurs à 1,5 kPa
- majeurs : gradients de pression inversée supérieurs à 1,5 kPa

Vingt et une traites expérimentales ont été réalisées après installation de capteurs dans deux des quatre citernes des trayons de chaque vache. Des gradients de pression inversée mineurs ou majeurs ont été observés plus ou moins fréquemment chez toutes les vaches étudiées à divers moments de la traite. Ces circonstances sont commentées ci-après.

#### (i) Préparation de la mamelle

Un gradient de pression inversée survient, dans la citerne du trayon, lors d'élimination des premiers jets entre le moment où le trayon est comprimé et celui où il retrouve sa forme initiale. Plus le mouvement de compression effectué par les doigts du trayeur est rapide, plus le gradient est important, celui-ci peut atteindre 6,4 kPa. Cependant cette dépression est plus susceptible d'être antagonisée par le lait présent dans la citerne du quartier que par l'air au travers du canal du trayon. Ainsi la contamination lors de cette séquence est peu probable.

#### (ii) Branchement du faisceau

Des gradients de pression inversée surviennent lors de 29 % des branchements de faisceaux et ils peuvent atteindre jusqu'à 30,1 kPa. Tout particulièrement, lors du branchement d'un second manchon, une entrée d'air peut provoquer un gradient de pression inversée dans le premier trayon branché.

La fréquence de survenue de gradient de pression inversée augmente lorsque le diamètre de la pièce d'embouchure du manchon diminue. Le diamètre à la base du trayon était de 24 mm en moyenne et de 22 mm à mi-hauteur du trayon. Le branchement de manchons qui présentent un

millimètre de largeur en plus que le diamètre du trayon entraîne la survenue de gradient inversé dans 15 % des cas alors qu'ils s'élèvent à 30 % lorsque le manchon effleure la peau du trayon.

### (iii) Traite

Sur les 384 séquences de 30 secondes étudiées, seuls trois gradients mineurs de pression inversée sont rapportés et ceux-ci surviennent lors d'une entrée d'air expérimentale de 148 L/min dans la griffe pendant 4 secondes.

En raison de la présence de lait dans le trayon, l'éventuelle contamination qui surviendrait à ce moment résulterait de la combinaison entre le phénomène d'impact et les gradients de pression inversée.

### (iv) Dépose du faisceau

Des gradients de pression inversée sont notés dans 26 % des 623 déposes étudiées. Ils surviennent principalement lorsque le niveau de vide décroît dans le manchon. Ils peuvent atteindre 27,2 kPa lorsque la dépose s'effectue alors que le vide n'est pas coupé.

Si le vide est coupé préalablement à la dépose, des gradients de pression inversée peuvent tout de même survenir si le vide à l'extrémité du trayon chute trop rapidement pour que les parois du manchon suivent le mouvement. Des chutes aussi rapides du vide à l'extrémité du trayon sont possibles expérimentalement en admettant de l'air à 148 L/min au moyen d'une valve lors du détachement. Lorsque la dépose se fait sans admission d'air dans la griffe, le détachement spontané de l'unité de traite est plus lent et le manchon glisse plus doucement le long du trayon. Il est probable que ce mouvement plus lent de la pièce d'embouchure permette au vide, encore présent à l'extrémité du trayon, d'être neutralisé par la citerne du quartier et non par une entrée d'air au travers du canal du trayon.

D'autre part, il semblerait que le diamètre de la pièce d'embouchure et la pression qui règne à son niveau puissent avoir un rôle néfaste : si la striction est trop importante, la communication

entre la citerne du quartier et celle du trayon est impossible alors la dépression dans le trayon ne pourra être compensée uniquement par une entrée d'air au travers du canal du trayon ce qui favorisera les contaminations.

En résumé, le prérequis pour la création de gradients de pression inversée est que le trayon soit vide ; en conséquence, une préparation correcte de la mamelle lors de la pose et une dépose précoce limiteront considérablement ce risque. D'autre part, un diamètre de la pièce d'embouchure supérieur d'au moins un millimètre par rapport à celui du trayon divise par deux le risque de survenue de ces gradients de pression inversée. Il est également capital d'interrompre le vide préalablement à la dépose du faisceau (Rasmussen *et al.*, 1994)

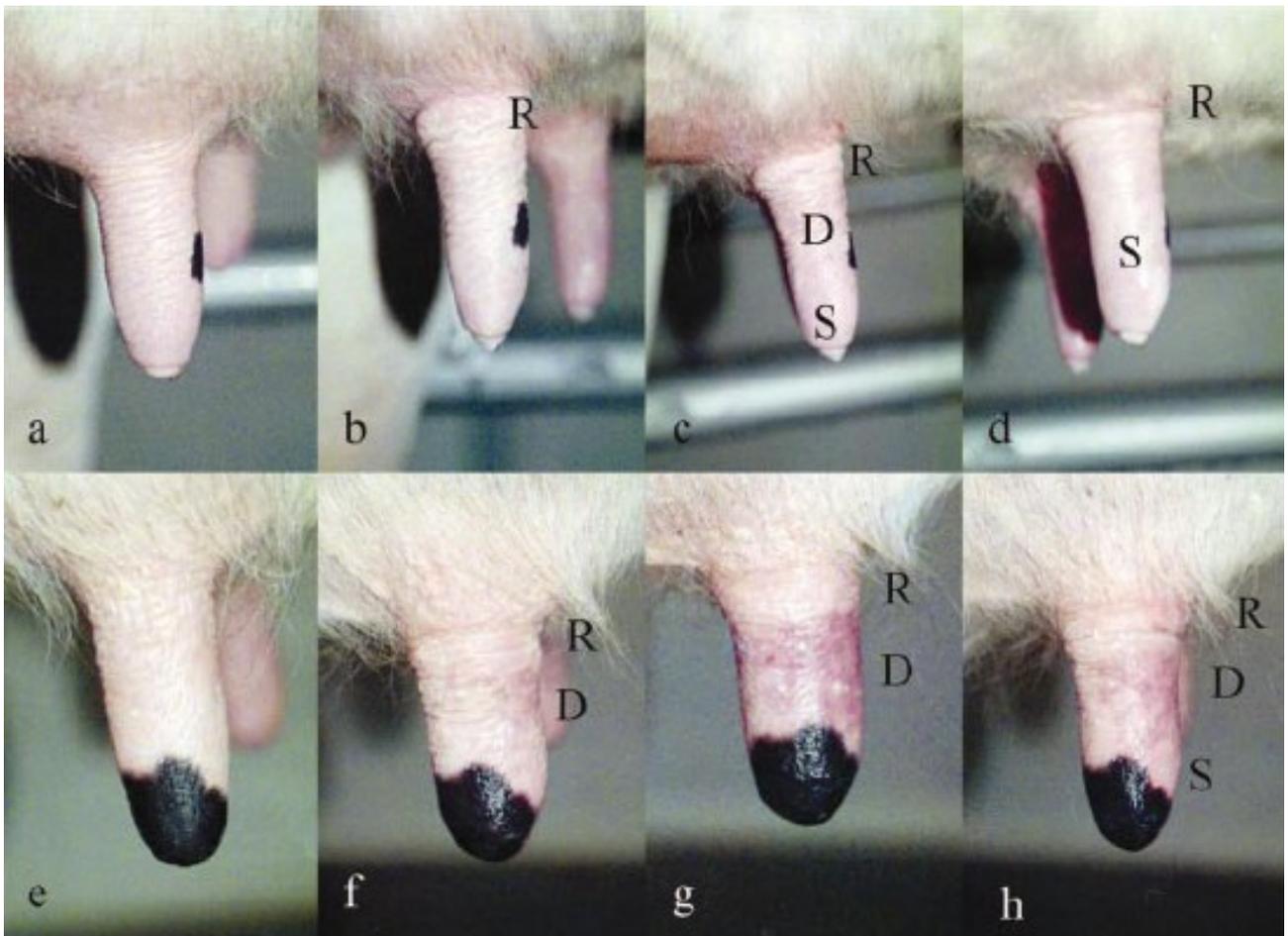
#### (b) Conséquences de la surtraite sur l'état des trayons

Hillerton *et al.* (2002) ont évalué les conséquences de différentes durées de surtraite sur l'état du trayon. Dans ce dessein, les trayons de six vaches Hostein ont été observés avant et après la traite, quatre jours consécutifs par semaine pendant trois semaines. Le premier jour, la dépose s'effectuait, avec un délai de 10 secondes, lorsque le débit atteignait 200 ml/min. Les trois jours suivants, deux animaux étaient soumis à ce même protocole ; deux autres étaient soumis à une dépose différée de 2 minutes après le franchissement du seuil de 200 ml/min et pour les deux derniers, ce délai était de cinq minutes. Ces quatre animaux subissent ainsi une surtraite volontaire. Chaque semaine, un manchon différent, disponible dans le commerce, était utilisé.

Les trayons étaient évalués selon les critères suivants : couleur (normal / rouge) ; anneau de compression (aucun / visible / palpable) ; congestion (absence / présence) (Figure 42).

Figure 42 : Trayons avant-droit de deux des six vaches étudiées lors d'une expérience de surtraite volontaire

(source : Hillerton *et al.*, 2002)



*avant la traite (a et e), sans surtraite (b et f), après une surtraite de 2 minutes (c et g), après une surtraite de 5 minutes (d et h). D – rougeur ; R – anneau de compression ; S – congestion*

(i) Longueur du trayon

Quel que soit la durée de la surtraite ou le type de matériel utilisé, la longueur du trayon augmente d'environ cinq millimètres au cours de la traite.

### (ii) Couleur du trayon

Les modifications de couleur des trayons sont variables entre les animaux mais relativement constantes pour le même animal

En l'absence de surtraite, un tiers des trayons apparaissent plus rouges lors du décrochage. Cette proportion atteint les 50 % puis les 75 % lors que la durée de surtraite passe à 2 minutes puis à 5 minutes.

La rougeur du trayon est une modification à court terme probablement due à l'exposition au vide : le niveau moyen de vide est plus important lors de la phase de surtraite car il n'y a plus de circulation du lait concomitante à la présence du vide. Les modifications de couleur du trayon sont donc plus fréquentes et plus marquées lors de cette phase. Une surtraite répétée amplifierait le phénomène et engendrerait inmanquablement des dommages vasculaires.

### (iii) Anneaux de compression

En l'absence de surtraite, seuls 12 % des trayons ne présentent pas d'anneau de compression visible ; une striction marquée est observée sur 42 % des trayons. Après une surtraite de 5 minutes, 92 % des trayons présentent une striction marquée à leur base.

Les anneaux de compression résultent de la dépression excessive présente dans la gorge de la pièce d'embouchure en fin de traite. La surtraite augmente le temps auquel la base du trayon est soumise à cette dépression, d'où l'accentuation des lésions.

#### (iv) Congestion du trayon

La congestion du trayon est le seul paramètre qui présente des variations significatives selon le type de manchon utilisé. En outre, quel que soit le manchon utilisé, plus la surtraite est longue, plus la proportion de trayons congestionnés est élevée.

La congestion du trayon est due à l'accumulation de fluides dans le trayon et cette lésion est souvent incriminée à un défaut de pulsation. Dans cette expérience, les paramètres de la pulsation sont rigoureusement identiques pour tous les animaux ; cependant, la réponse des différents manchons à cette pulsation est variable. Dans cette étude, le manchon qui induisait le plus de congestion lors de surtraite était celui qui présentait la plus faible épaisseur : la force de compression effectuée n'était surement insuffisante pour assurer un massage correct. La surtraite a logiquement majoré les lésions observées.

Bien que l'étude ne s'appuie que sur un faible nombre d'animaux et une courte période, les lésions des trayons à court terme, consécutives à la surtraite, sont évidentes quel que soit le manchon utilisé (Hillerton *et al.*, 2002)

#### (c) Effet de la surtraite sur la santé de la mamelle

Les effets délétères de la surtraite sur la santé de la mamelle peuvent être expliqués par trois mécanismes (Natzke *et al.*, 1982) :

- des traumatismes du trayon et des tissus mammaires facilitant l'invasion bactérienne et la sensibilité aux infections
- des transferts de micro-organismes d'un quartier infectés vers un quartier sain après que le flux de lait ait cessé

- une augmentation du temps de traite et donc un plus grand risque de développement de mammites

Natzke *et al.* (1982) ont tenté de déterminer les effets à terme de la surtraite sur l'incidence des mammites. Les vaches, dont la durée de traite est de 12 minutes versus celles dont la traite est arrêtée au moment où le flux de lait cesse, ne présentent pas une augmentation du taux de nouvelles infections à l'échelle de l'individu. Toutefois, à l'échelle du quartier, la surtraite est corrélée à une augmentation du nombre de quartiers infectés au sein d'un même animal. Ainsi, alors que le même nombre d'animaux est infecté, la surtraite augmente le nombre d'infections multiples. Un peu moins de 50 % d'entre elles ont pour origine le même germe, ce qui suggère la possibilité d'infections croisées : le quartier infecté servant de réservoir de pathogènes disponibles pour étendre l'infection aux autres quartiers. Etant donné que le risque de nouvelles infections est plus élevé une fois que le quartier est vidé de son lait, il est probable que le fait d'allonger la durée de traite augmente le risque de contamination des trayons et de nouvelles infections.

Ces résultats permettent d'expliquer la situation souvent rapportée selon laquelle dans certaines exploitations la surtraite ne semble pas avoir d'effets néfastes alors que dans d'autres les pertes engendrées sont élevées. Ce phénomène trouve son explication dans la notion de pression microbienne. Dans les troupeaux où peu de quartiers sont infectés, le réservoir pour des infections multiples d'un animal est quasi absent alors que dans les troupeaux où beaucoup d'animaux sont déjà infectés, la pression microbienne ambiante permet d'expliquer l'augmentation des cas de mammites cliniques (Natzke *et al.*, 1982).

De son côté, Mein *et al.* (1986) ont étudié l'impact de la surtraite, associée à une pulsation défailante, sur les mammites. En considérant uniquement les vaches en surtraite subissant une pulsation satisfaisante, seulement trois nouvelles infections sur 12500 quartiers ont été confirmées. La surtraite n'aurait donc que très peu d'impact sur le taux de nouvelles infections dans un troupeau sain au départ.

### (3) Innovations proposées

#### (a) Dépose précoce de la griffe

C'est au début des années 70 que des dispositifs de dépose automatique des faisceaux trayeurs ont commencé à être commercialisés. Le but initial était d'éviter la surtraite et également d'augmenter le nombre de faisceaux pouvant être utilisés simultanément par un seul trayeur, augmentant ainsi la productivité horaire de la main d'œuvre en allégeant la charge de travail. Cependant, l'opération de dépose seule est très courte, environ 3 à 4 secondes. Le gain de temps permis par la dépose automatique doit être relativisé mais celui-ci est d'autant plus significatif que les durées de traites sont faibles.

Historiquement les vaches ont été considérées comme complètement traites avec des dispositifs basés sur la détection d'un débit de 200 g/min. C'est ainsi que les premiers systèmes de déposes automatiques ont été réglés et beaucoup continuent de fonctionner avec ces réglages d'origine.

Au départ, on a d'abord cherché à quantifier l'éventuelle perte de lait générée par les déposes dans la mesure où l'égouttage ne se pratiquait plus. Les études n'ont montré aucune différence significative. D'autre part, la meilleure facilité de traite des vaches spécialisées hautes productrices à contribuer à répandre cet usage.

Très tôt, à partir du moment où la confiance dans ces matériels s'est instaurée, des auteurs ont commencé à réfléchir sur le seuil de détection optimal et répercussions sur la production laitière.

Tout d'abord Rasmussen (1993) a réalisé une étude sur 135 vaches, fraîchement vélées, primipares et multipares, réparties en deux groupes :

- le groupe 200 où la valeur seuil de dépose automatique est 200 g/min avec un délai de 18 secondes.

- le groupe 400 où la valeur seuil de dépose automatique est 400 g/min avec un délai de 12 secondes.

Le protocole débutait 4 jours après la mise-bas et s'étalait sur 36 semaines pour les primipares et 12 semaines pour les multipares.

La durée de traite est significativement réduite de 0,52 minutes pour le groupe 400 et ce, tout au long de la lactation. De plus, le débit moyen du lait est légèrement supérieur pour ce groupe. La composition du lait n'est pas modifiée. Les quartiers arrières produisent généralement davantage que ceux de l'avant, et nécessitent un temps de traite supérieur. La réduction de la durée de traite pour le groupe 400 était supposée réduire la proportion de lait issu des quartiers arrière mais aucun changement n'a été détecté.

Des différences significatives pour le score des trayons et les taux d'éversions ont été mises en évidence en quatre semaines chez les multipares et en huit semaines chez les primipares : le groupe 400 présente un taux d'éversion inférieur de 14 % par rapport au groupe 200 que ce soit chez les multipares ou les primipares. Les 0,52 minutes supplémentaires de traite alors que les trayons sont quasi-vides sont donc une période sensible pour le développement d'hyperkératose et d'éversions. L'épaisseur de l'extrémité du trayon augmente pendant la traite des quartiers arrières des primipares du groupe 200 en comparaison au groupe 400. La même tendance est observée pour les quartiers avant mais la différence n'est pas significative. Les comptages cellulaires sont identiques entre les deux groupes (Rasmussen, 1993).

Rasmussen a ainsi mis en évidence une augmentation du débit moyen de lait sans incidence sur la quantité lorsque le seuil de dépose varie de 200 g/min à 400 g/min. De plus, il a constaté une légère amélioration de l'état des trayons.

Des seuils encore plus haut ont été testés sans provoquer de diminution de la production par Stewart *et al.* (2002). Ils ont comparé dans un troupeau les seuils de 0,50 et 0,64 kg/min et dans cinq autres troupeaux les seuils de 0,73 et 0,82 kg/min. Le seuil le plus haut s'accompagne d'une augmentation des débits de lait, d'une diminution de la durée de la traite et d'une augmentation la production de lait dans deux troupeaux et n'est pas suivi d'effet sur la production dans les trois

autres troupeaux. Les scores des trayons n'ont pas été établis mais il n'y a pas de raison de croire à une quelconque détérioration de l'extrémité du trayon lors d'un décrochage plus précoce.

Magliaro et Kensinger (2005) ont répété l'expérience dans d'autres conditions et a mis en évidence que la production est similaire pour des seuils de 480 et 600 g/min, mais qu'elle est réduite de 0,5 kg par traite à un seuil de 800 g/min. Ces résultats en contradiction avec ceux de Stewart peuvent être expliqués par différents éléments. Les animaux retenus par Magliaro ont une production de  $19,6 \pm 5,0$  kg/traite alors que ceux de Stewart seulement  $12,85 \pm 1,76$  kg/traite. Ces dernières sont traitées trois fois par jour ce qui explique à la fois une production moindre par traite et la possibilité d'utiliser un seuil de dépose plus élevé pour ces animaux. Quoiqu'il en soit, un seuil de dépose de 600 g/min permet des traites plus rapides sans sacrifier la production. Par rapport à un seuil de 480 g/min, le temps de traite est diminué de 0,4 minute par vache.

La limite des études de Rasmussen, Stewart et Magliaro concerne le délai entre le moment où le seuil de dépose défini est atteint et celui où le faisceau est réellement retiré. Celui-ci est rarement maîtrisé alors qu'il est variable de quelques secondes à quelques dizaines de secondes selon le matériel utilisé. Par exemple, Rasmussen cite des délais de 18 et 12 secondes respectivement pour les seuils de 200 et 400 g/min, alors que Magliaro rapporte des délais de 25, 20 et 15 secondes respectivement pour les seuils de 480, 600 et 800 g/min. Or, outre le seuil défini, le débit réel lors de la dépose dépend du délai ou temps que le faisceau met réellement à se détacher et de la vitesse de décroissance du débit de lait. Un délai long causera une surtraite sur des animaux dont le débit diminue rapidement à la fin de la traite et inversement.

Pour pallier cette imprécision, l'institut de l'élevage a mené une expérimentation en 2007 avec différents seuils de dépose sans temporisation entre la détection du seuil défini et le retrait du faisceau trayeur.

L'expérimentation, menée par Billon et coll. (2007) se composait de deux études réalisées à la ferme expérimentale de Derval (Loire Atlantique). La première a comparé 4 seuils de débit au moment de la dépose des faisceaux : 200, 400, 600 et 800 g/min. Le dispositif expérimental était un

carré latin : quatre traitements appliqués sur quatre périodes de deux semaines sur seize vaches de race Prim'Holstein. La mesure de la cinétique d'émission du lait a permis de recueillir les informations concernant la production et le profil de la courbe d'éjection. Ces observations ont été complétées par des analyses d'échantillons : TB, TP et concentrations cellulaires.

Une seconde expérimentation, d'une durée de six mois a comparé les seuils de 200 et de 800 g/min sur 2 lots de 20 vaches (sans primipares), appariées selon les critères de production, stade et numéro de lactation et concentrations cellulaires individuelles. Pendant cet essai, ont été enregistrés les concentrations cellulaires, l'état des extrémités des trayons, la production journalière, le TB et le TP.

La première étude a permis de mettre en évidence une influence importante du niveau du débit de lait à la dépose sur les temps de traite individuels des vaches. Un seuil de dépose réglé à 800 g/min permet une réduction du temps total de la traite de 46 secondes en moyenne par rapport au réglage de référence de 200 g/min ce qui représente 12,7 % du temps de traite total de l'animal. A contrario, aucune différence significative n'a été mise en évidence ni sur la production laitière, ni sur la composition du lait. Les autres phases de la cinétique d'émission du lait n'ont également pas été affectées. De plus, même si les différences ne sont pas significatives, on remarque que le seuil de 800 g/min correspond aux quantités de lait les plus élevées recueillies après une et deux minutes de traite. Cela laisse à penser que du lait est bien resté dans la mamelle aux seuils les plus élevés de dépose, mais dans des proportions relativement faibles. L'examen des productions laitières individuelles, données quotidiennement par les compteurs à lait, a permis de se rendre compte de la variabilité des comportements individuels. Ainsi certaines vaches ont montré une réelle perturbation de leur production pendant au maximum les 2 ou 3 premières traites, puis tout est redevenu normal. Le lait accumulé à la traite précédente est tout simplement recueilli à la traite suivante. Il reste alors toujours dans la mamelle la même quantité de lait évaluée entre 0,3 et 0,6 l selon les traites (Billon et coll., 2007).

La seconde étude plus longue a été particulièrement axée sur la santé des mamelles. Elle a permis de mettre en évidence une diminution faible mais significative des numérations cellulaires individuelles : 88 500 cellules/ml et 77 600 cellules/ml respectivement pour les traitements 200 et

800 g/min, avec une tendance moyenne à une décongestion un peu plus complète des extrémités des trayons pour les déposes les plus précoces (Billon et coll., 2007).

En conclusion, on peut dire qu'il est possible d'augmenter les seuils de dépose des faisceaux trayeurs de façon substantielle sans danger pour la production et la santé des animaux. Bien qu'à l'origine, la dépose automatique ait été instauré pour éviter la surtraite, ses applications sont aujourd'hui beaucoup plus vastes en terme de gestion de la traite.

A l'échelle de l'exploitation ceci peut se traduire par un gain de temps de 8 à 10 minutes par jour pour une installation de traite en épi 2 X 5 postes en ligne basse avec 45 vaches traites par heure environ. Cela peut aussi générer le choix d'une installation plus petite, donc moins onéreuse pour une productivité pratiquement identique. Enfin, en cas de traite robotisée, il semble possible de permettre la traite de 5 vaches supplémentaires par station, ce qui peut se révéler très intéressant dans le cas où le nombre de vaches est proche de la capacité maximale de l'outil (Magliaro et Kensinger, 2005)

#### (b) Dépose par quartier

La dépose quartier par quartier est possible lors d'utilisation de robots de traite mais pas lors de traite conventionnelle. Le bénéfice escompté de cette méthode est de pouvoir traire plus rapidement à un niveau de vide plus élevé sans pour autant endommager le trayon. Jusqu'à présent, les résultats n'ont pas été très convaincants ; ceci peut être expliqué par plusieurs facteurs : seuils de dépose trop faibles, mesures du débit de lait non fiables (deux mètres en-deça de l'extrémité du trayon et non pas à son niveau), difficultés de traite. D'autre part, chez les animaux soumis à une traite robotisée, les débits sont plus faibles en raison des traites plus fréquentes.

Les seuils de dépose, utilisés pour configurer les robots qui permettent une dépose par quartier, ont été définis en divisant par quatre ceux classiquement utilisés pour la traite conventionnelle. Cependant, les seuils de dépose pour un quartier unique devraient être 50 % de ceux utilisés pour une traite classique et non 25 % puisque la dépose est normalement initiée lorsque les deux premiers quartiers sont traités. Il faut ajouter à cela que le site de mesure du débit influe probablement davantage que le débit seuil en lui-même.

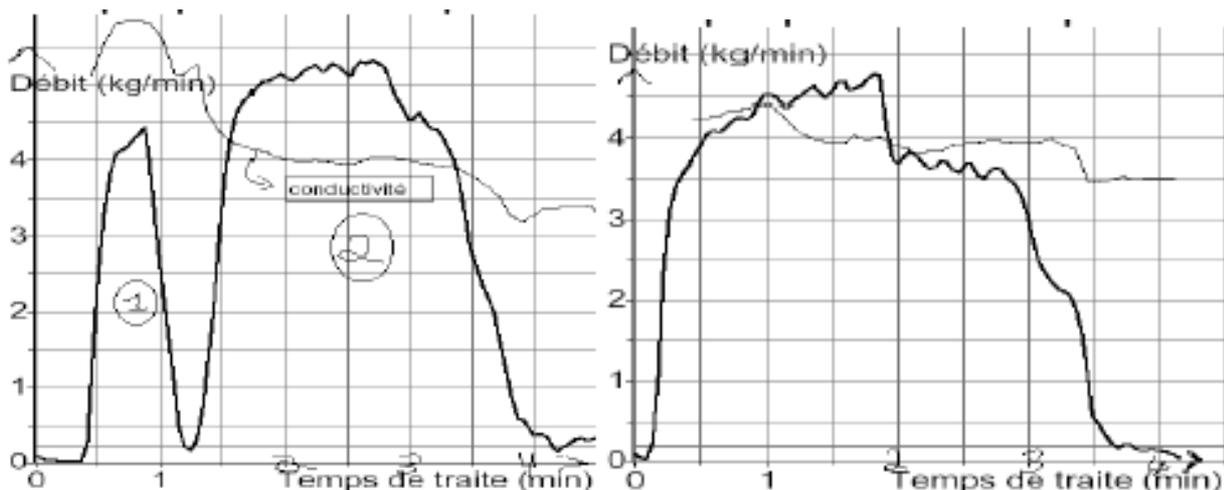
Un concept intéressant serait d'initier la dépose à un certain pourcentage de temps après le pic d'éjection ce qui permettrait de faire face aux variations de débits entre quartiers et entre animaux au sein d'un troupeau (Rasmussen, 2004)

(c) Profil de l'éjection du lait et préparation de la mamelle

Des valeurs seuils de dépose élevées sont utilisables uniquement si l'éjection du lait débute rapidement après le branchement de la griffe. En conséquence, la mamelle doit être stimulée et les premiers jets éliminés préalablement au branchement. L'ocytocine est libérée aussi longtemps que le lait est éjecté sans inconfort pour la vache. En terme de production, lors d'une traite matin et soir, la préparation de la mamelle est responsable de 5 % de l'éjection alors que la libération d'ocytocine assure plus de 95 % de la production. Une préparation efficace se reconnaît par l'allure de la courbe d'éjection du lait (Figure 43).

Figure 43 : Profils de l'éjection du lait sans préparation de la mamelle (graphe de gauche) et avec préparation de la mamelle (graphe de droite)

(source : Jadoul, 2005)



Une courbe bimodale signifie que la citerne du lait est vidangée avant que le lait présent dans les alvéoles ne soit expulsé vers la citerne ; cela se traduit par un creux dans la courbe d'éjection et un inconfort pour la vache. Lors de « creux », le vide dans la citerne du trayon suit la pulsation (Rasmussen *et al.*, 1994) et est un risque de survenue de gradient de pression inversée au travers du canal du trayon. Une préparation défailante ou un dysfonctionnement dans le système de dépose se détectent facilement sur la courbe d'éjection du lait (Wallace *et al.*, 2003)

Wallace *et al.* (2003) ont étudié les courbes d'éjections du lait grâce à un capteur appelé Lactocorder® qui permet une mesure précise du débit de lait d'une vache tout au long de sa traite. Cet appareil est utilisé dans les installations où l'on veut mettre en évidence un problème de préparation de la mamelle. Il peut aussi servir à étudier l'impact de différentes méthodes de préparation de la mamelle sur les débits de lait et pic d'éjection. Les courbes bimodales, relevées sur les animaux dont la préparation est insuffisante, sont étudiées. Il en ressort qu'au moment du « creux » de la courbe interviennent souvent des glissements de manchons, des entrées d'air, voire des chutes de faisceaux. Une irritation de l'extrémité du trayon lorsque le manchon se referme sur le trayon vide est également notée.

Cet appareil, non prévue pour une utilisation en routine, peut néanmoins se révéler très intéressant pour détecter des problèmes d'éjection du lait lors d'audit de traite par exemple.

#### (d) Influence de l'attente entre la stimulation de la mamelle et la pose des faisceaux trayeurs

Depuis de nombreuses années, il est conseillé de poser les faisceaux trayeurs immédiatement après la fin de la préparation de la mamelle afin de disposer de l'action maximale de l'ocytocine. En effet, depuis la découverte du réflexe d'éjection, on sait que le temps écoulé entre le début de la stimulation de la mamelle et l'action de l'ocytocine au niveau des cellules myoépithéliales qui entourent les acini mammaires se situe généralement autour de 40 à 60 secondes. Ce temps correspond normalement à un temps de nettoyage correct de la mamelle, à la prise en main du faisceau trayeur et à sa pose sur les quatre trayons.

Dans un contexte actuel de productivité et de rentabilité, les innovations sont maintenant plutôt axées sur les possibilités de diminuer les temps de traite et d'alléger le travail du trayeur. La préparation de la mamelle et ses annexes, comme par exemple la gestion des lavettes, sont donc les premières visées. En effet, quand on regarde attentivement les temps élémentaires affectés à chaque tâche de la traite, les plus longs sont toujours relatifs à la préparation de la mamelle. Il y a donc un gain substantiel possible pour essayer d'augmenter la productivité pendant la traite mais également améliorer les conditions de travail des trayeurs. Par exemple, on a pu montrer dans une installation de traite de type épi 2X5 et 10 postes en ligne basse que la simple réduction du temps de préparation de 30 secondes à 15 secondes permettait au trayeur d'augmenter sa productivité horaire de 66 vaches à 81 vaches traites par heure soit un gain de 15 minutes environ. Ceci est non négligeable. (Billon et coll., 2006)

En ce sens, des nouvelles techniques de nettoyage des mamelles comme par exemple, le pré-trempe ou le pré-moussage, ont fait leur apparition. Ces méthodes permettent aux trayeurs de travailler par lots de vaches et donc de gagner du temps. Toutefois, la stimulation des mamelles est moins longue que celle effectuée grâce à la technique classique des lavettes individuelles. Se pose alors la question de savoir si ces techniques risquent d'être moins efficaces pour la traite d'autant plus qu'elles augmentent de façon significative le temps d'attente entre le début de la stimulation et la pose des faisceaux.

Billon et coll. (2006) ont mené une étude dont le but était de vérifier si les effets sur la traite, dus à une attente plus ou moins longue entre la fin de la stimulation et la pose des gobelets trayeurs, sont toujours les mêmes pour les vaches à fort potentiel laitier telles que les Prim'Holstein actuelles ; et donc nécessitent encore de conseiller aux éleveurs la pose la plus immédiate possible après la fin de la préparation de la mamelle

L'étude a testé 4 traitements : la pose immédiate comme référence (D0), et des attentes de 2 (D2), 4 (D4) et 6 (D6) minutes dans un plan expérimental en carré latin sur 16 vaches de troupeau. Chaque période d'application des traitements a duré deux semaines.

L'attente entre le début de la stimulation de la vache par la préparation de la mamelle ne semble pas affecter la production de lait, ni sa composition, tout au moins jusqu'à un délai de 6 minutes. Dans l'ensemble, les courbes bimodales sont rares.

Par contre, on observe une légère tendance à l'amélioration de tous les paramètres de la traite pour le traitement D2 par rapport aux trois autres qui ont des résultats relativement homogènes : temps de traite plus court, phase ascendante plus longue, débit maximal plus élevé, durée du plateau plus courte et phase descendant également plus courte. L'attente D2 correspond en fait à une attente de l'ordre d'une minute ou légèrement plus après la fin de la préparation. Cependant les différences avec la pose immédiate, voire des attentes plus longues de 4, voire 6 minutes ne sont pas très grandes, mais ils peuvent parfois affecter légèrement le déroulement de la traite.

Finalement, si on se réfère aux connaissances déjà acquises depuis longtemps, l'attente entre le début de la stimulation de la mamelle et l'éjection du lait varie selon les animaux entre 40 secondes et 1 minute et diminue avec le degré de remplissage de la mamelle. Dans les élevages actuels dans lesquels la traite doit être rapide, la stimulation et l'attente avant la pose des gobelets trayeurs « à la carte » en fonction des besoins de chaque animal ne peuvent être mis en œuvre pour des raisons évidentes d'organisation du travail.

Cette étude montre que les vaches très spécialisées « lait » de race Prim'Holstein répondent de façon positive à une stimulation manuelle, ce qui est normal, mais que si le temps d'attente pour la pose des gobelets devient trop long, la plus grande majorité d'entre elles semble capable de déclencher un nouveau réflexe neuro-endocrinien permettant une décharge d'ocytocine dans le sang en quantité bien suffisante grâce à l'action de la machine à traire. Il se peut aussi que les machines soient, sur ce plan, plus efficaces qu'auparavant (Billon et coll., 2006).

En tout état de cause, ces résultats confèrent aux éleveurs un peu plus de souplesse dans leur technique de traite sans affecter la qualité de celle-ci.

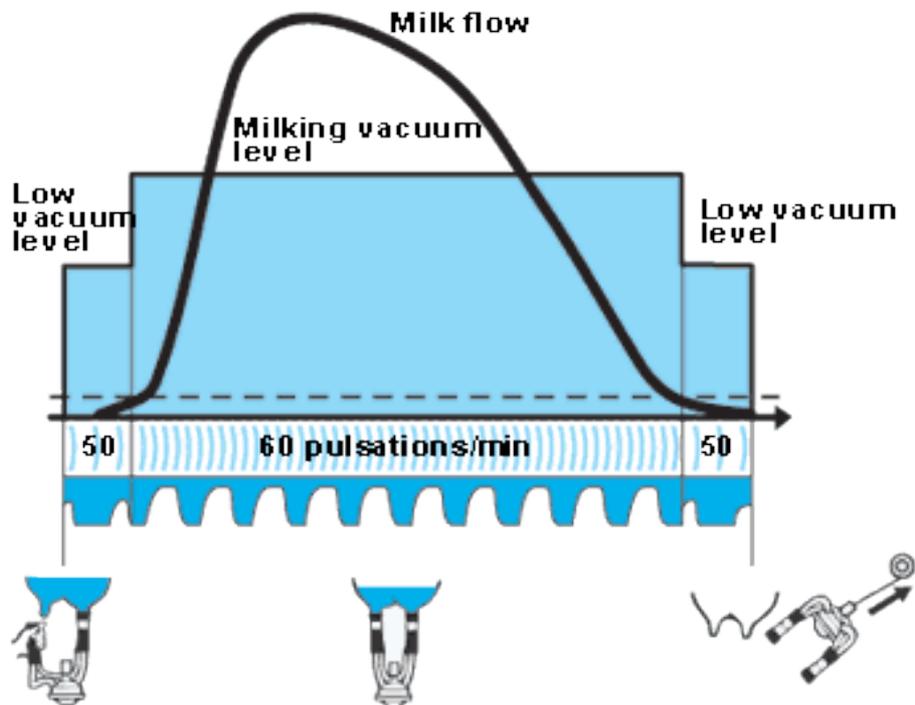
## (e) Traite à débit contrôlé

Lors des premières secondes de la traite ainsi qu'à la fin, le débit du lait est très bas (quelques centaines de grammes de lait à la minute). Pendant la phase de débit élevé, il peut atteindre 3 à 6 kg de lait à la minute. Le niveau de vide du système est normalement maintenu à un niveau constant tout au long de la traite. Cependant, la situation idéale serait une machine à traire adaptée aux variations du débit de lait et aux différents quartiers pendant toute la traite.

L'unité de traite MU350 DeLaval présente un niveau de vide bas et une fréquence de pulsation située autour de 50 cycles par minute. Son fonctionnement est réparti en trois phases : la prétraite, la traite et la post-traite (Figure 44). Pendant la phase de prétraite, le niveau de vide est de 33 kPa et le rapport de pulsation est de 30/70. Dès que le débit est au-dessus de la limite, qui peut être réglé à 200, 300 ou 400 g/min, le niveau de vide augmente et le rapport de pulsation également. Si le débit n'atteint pas la limite dans un temps prédéterminé, l'unité passe automatiquement à la phase traite. Cette période critique peut être adaptée aux caractéristiques de chaque troupeau. La phase post-traite débute lorsque le débit de lait est sous la limite préétablie. La longueur de la phase post-traite peut varier entre 5 et 30 secondes selon la valeur prédéterminée. Si un haut débit de lait revient dans un délai de 5 secondes, l'unité reviendra à la phase traite.

Figure 44 : Principe de fonctionnement de la traite à débit contrôlé

(source : Delaval. 2006. Document web)



Cette traite à débit contrôlé améliorerait l'état des trayons et limiterait la survenue de mammite en diminuant la surtraite.

Boumatic propose un système à peu près équivalent : l'Isolator XP.

Pour le moment, le recul par rapport à ces aménagements est insuffisant pour pouvoir en étudier les réels bénéfices.

## )D Stabilité du niveau de vide

L'impact, la traite humide et les gradients de pression inversée sont tous à l'origine ou résultent de fluctuations du niveau de vide dans l'installation.

### ()1 Éléments de base : les fluctuations du vide sous le trayon

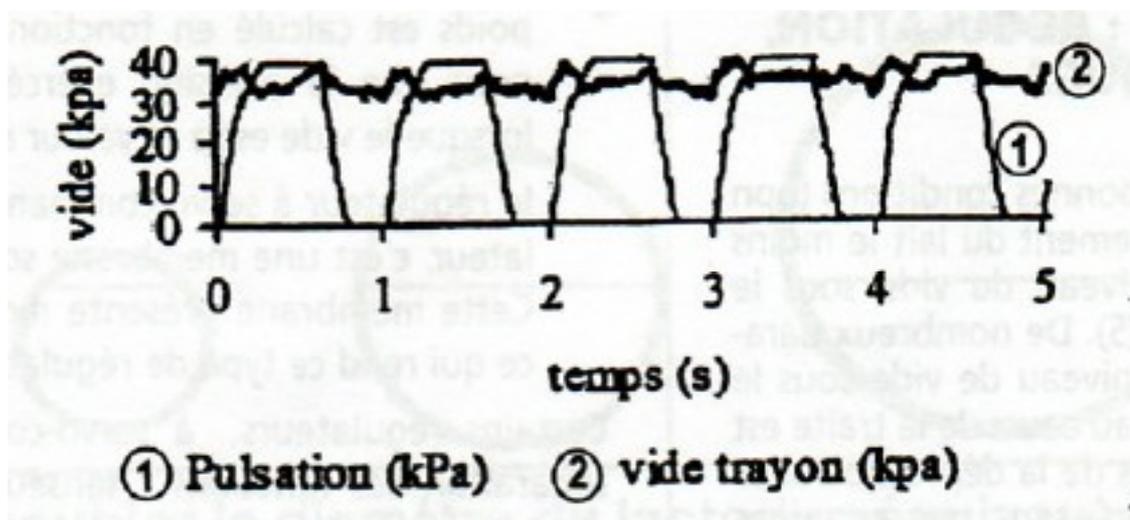
Les fluctuations de vide sont habituellement classées en deux catégories : cycliques et acycliques

#### ()a Les fluctuations cycliques

Elles sont synchrones avec la pulsation et liées au débit du lait de l'animal (Figure 45). Elles sont dues au principe de fonctionnement de la machine à traire. La fermeture du manchon entraîne une diminution du volume intérieur sous le trayon ce qui, conformément à la loi de Mariotte ( $P.V = \text{constante}$ ), se traduit par une diminution de la dépression sous le trayon. À l'inverse, lors de l'ouverture du manchon, le volume sous le trayon augmente et la dépression augmente.

Figure 45 : Fluctuations cycliques du vide sous le trayon

(source : Gourreau et coll., 1995)



Les paramètres influençant les fluctuations cycliques sont : le type de pulsation, le volume de la griffe, le type de manchon, le diamètre du tuyau court à lait, l'entrée d'air à la griffe et le débit du lait de l'animal.

Elles sont plus grandes lorsque le débit de lait est élevé. Elles peuvent être atténuées de façon importante par l'amélioration de l'extraction du lait du faisceau trayeur : augmentation du diamètre des tuyaux collecteurs, entrée d'air à la griffe.

Ces fluctuations sont également influencées, dans une moindre mesure, par le type de manchon : par exemple, les manchons de petite taille ont un volume intérieur plus faible, d'où des variations plus grandes de la dépression sous le trayon (Federici-Mathieu et Godin, 2002).

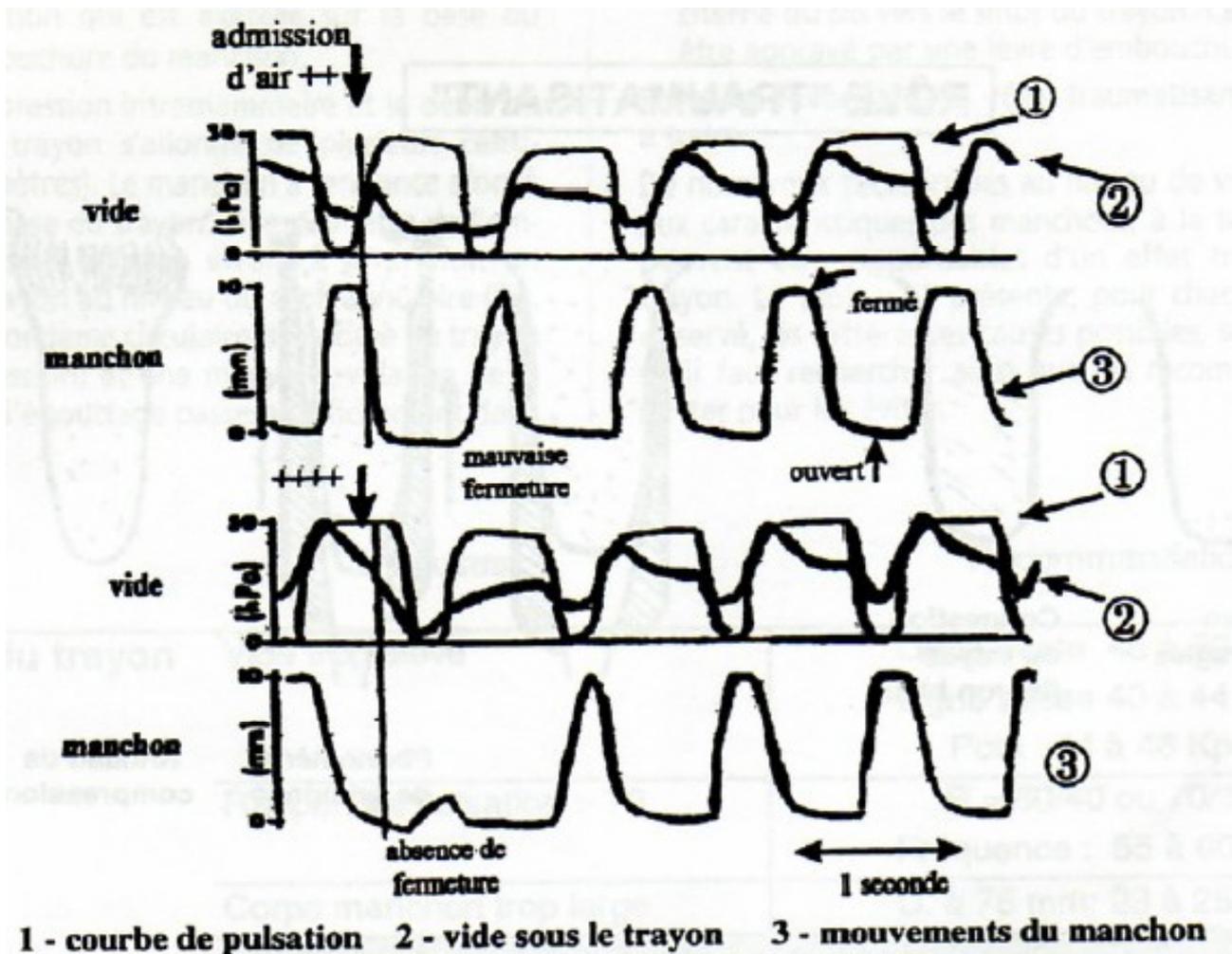
#### (b) Les fluctuations acycliques

Elles se produisent de façon aléatoire tout au long de la traite, lors de la pose et de la dépose des faisceaux trayeurs, des glissements de manchons, ou chutes de faisceaux trayeurs, circonstances qui laissent pénétrer de l'air dans la machine (Figure 46).

Ces entrées d'air provoquent des baisses brutales du niveau de vide, responsables d'un moins bon écoulement du lait et de la mauvaise fermeture des manchons (phase de massage insuffisante ou supprimée lors de certains cycles de pulsation).

Figure 46 : Fluctuations acycliques du vide et répercussions

(source : Gourreau et coll., 1995)



Les fluctuations acycliques sont influencées par :

- la technique de traite : pose et dépose des faisceaux trayeurs plus ou moins bien réalisées. Le débit d'air qui peut entrer dans l'installation varie, selon le trayeur, de 50 à 200 L/min lors de la pose des faisceaux, et de 600 à 1200 L/min lors de chute de faisceau.
- le manchon trayeur, plus ou moins adapté au diamètre des trayons des vaches
- la réserve réelle de vide.

Les conséquences de ces fluctuations acycliques sont d'autant plus graves que l'écoulement du lait n'est pas satisfaisant.

La stabilité du vide sous le trayon est donc influencée par de nombreux paramètres liés à la conception de la machine à traire (Federici-Mathieu et Godin, 2002).

Depuis que les fluctuations acycliques du niveau de vide sont reconnues comme responsables d'une détérioration de la santé de la mamelle, les techniciens en machine à traire consacrent beaucoup d'efforts à établir des normes et recommandations pour promouvoir la stabilité du vide dans l'installation de traite. L'instabilité du niveau de vide reflète la somme des déficiences de la pompe à vide, du régulateur, des dimensions du lactoduc et du *design* des faisceaux trayeurs et autres pièces de connexion. Mesurer le niveau de vide de l'installation tout au long de la traite en différents endroits permet de dire si l'installation fonctionne correctement en conditions réelles dans un troupeau donné lors d'une utilisation par les opérateurs habituels.

Des équipements sont depuis peu utilisables pour mesurer le niveau de vide tout au long de la traite et certains conseillers ou vétérinaires ont commencé à les utiliser. Les sites les plus intéressants pour mesurer le niveau de vide sont la griffe, le tuyau court à lait et à proximité de la chambre de réception. À ces endroits, les enregistrements doivent être effectués lorsque l'installation est en fonctionnement normal. Ainsi, le régulateur pourra être ajusté de manière effective au niveau désiré.

Ronningen (2002) a tenté d'exploiter les multiples données offertes par ce système afin d'extraire un ou plusieurs paramètres permettant de décrire la stabilité du niveau de vide et leur relation avec la santé de la mamelle.

## (2) Circonstances d'apparition des variations du niveau de vide

40 % des chutes du niveau de vide apparaissent lors du branchement du faisceau et 80 % au total lorsque l'opérateur manipule l'unité de traite. Les glissements de manchon, souvent non détectés, sont probablement à l'origine des fluctuations inexplicables du niveau de vide. En l'absence d'appareil de mesure du vide, les glissements de manchons sont généralement sous-estimés.

L'amplitude des variations varie selon le phénomène qui est à leur origine : les plus grandes ont lieu lors de la chute de faisceau ou d'entrée d'air délibérées dans la griffe (en moyenne de 5,0 et 6,2 kPa respectivement) ; les glissements de faisceau sont accompagnés de plus faibles variations : 3,3 kPa en moyenne (Ronningen, 2002).

### (3) Facteurs liés à la conception de la machine expliquant les fluctuations du vide

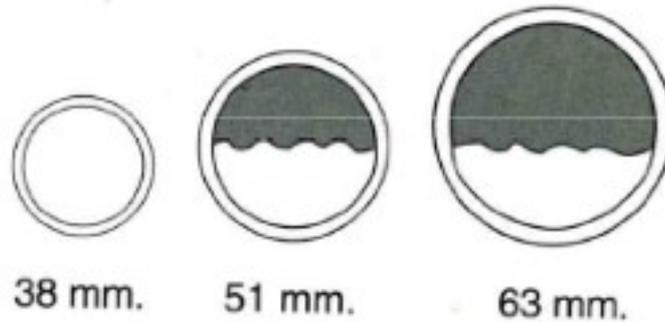
Dans cette même expérimentation, Ronningen a montré que les dimensions et la pente du lactoduc sont les éléments les plus impliqués sur les larges chutes du niveau de vide et le nombre d'unité de traite sur le nombre total de fluctuations. La réserve réelle de vide affecte le nombre de petites chutes du niveau de vide.

#### (a) Lactoduc

Plus la longueur du lactoduc est grande, plus le nombre de chutes du niveau de vide est faible. Cette affirmation semble contradictoire avec les anciennes recommandations. Cependant, les anciens standards avaient pour but de limiter le nombre moyen de chutes du niveau de vide, alors que les nouvelles se focalisent sur les chutes passagères. L'effet positif des longs lactoducs trouve son explication dans le fait que les grands volumes internes des lactoducs, principalement occupés par l'air, atténuent les fluctuations (Figure 47).

Figure 47 : Effet du diamètre du lactoduc sur la qualité du transport

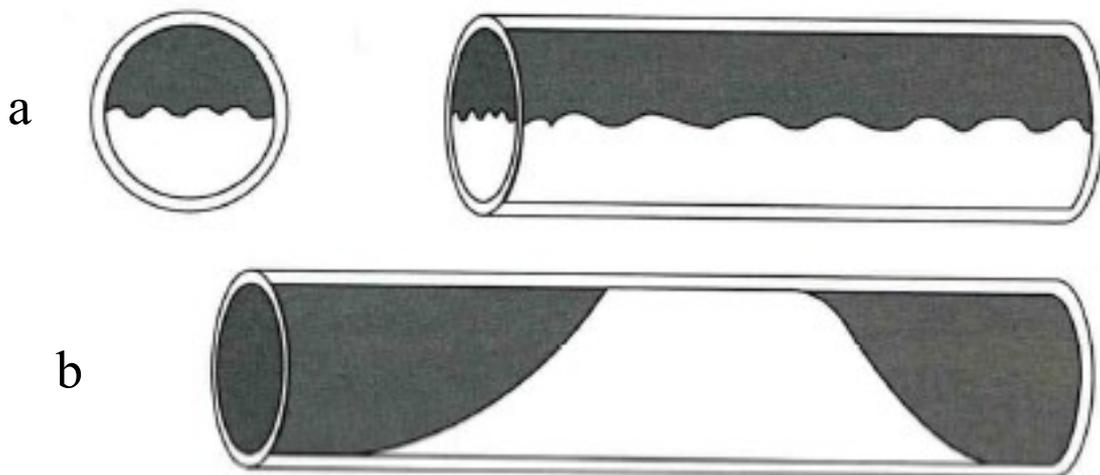
(source : Hanzen, 2007)



Typiquement, une chute de vide causée par un diamètre insuffisant du lactoduc apparaîtra lorsque des bouchons de lait emprisonnent de l'air dans une partie des canalisations. Pendant un cours instant, le vide présent entre les différents bouchons de lait va chuter rapidement car il ne peut plus circuler à l'intérieur du lactoduc obstrué. De larges chutes du niveau de vide sont alors observées dans le lactoduc (Figure 48).

Figure 48 : Ecoulement laminaire (a) versus par bouchons du lait (b) dans le lactoduc

(source : Hanzen, 2007)



L'autre situation classique à l'origine de chute du niveau de vide se produit lorsqu'une entrée d'air imprévue dépasse la réserve réelle. L'installation n'est alors pas à même d'évacuer ce surplus d'air aussi rapidement qu'il rentre, le niveau de vide chute alors dans l'ensemble de l'installation. Si le lactoduc présente un volume interne élevé, il atténuera la chute qui sera alors moins grande (Ronningen, 2002).

Le site Internet de l'Institut de l'élevage propose un tableur permettant de déterminer les dimensions optimales du lactoduc selon les caractéristiques de l'exploitation (Institut de l'élevage, document web. Calcul du diamètre d'un lactoduc, 2008). Le tableur fonctionne en deux étapes. Premièrement, il faut définir les caractéristiques de la traite (rythme de pose des faisceaux trayeurs, débit du lait des animaux, nombre de postes de traite par ramification). Le débit maximal de lait dans la ramification du lactoduc est alors affiché. Deuxièmement, il faut sélectionner un diamètre pour le lactoduc et une configuration (bouclé ou non). Le tableur indique alors si le choix réalisé convient (le débit du lait permis est supérieur au débit maximal pendant la traite) et dans ce cas les recommandations pour la pente minimale en fonction de l'entrée d'air transitoire. Si le diamètre et / ou la configuration proposés sont insuffisants, des conseils sont donnés pour y remédier.

Voici quelques exemples de recommandation de pente et de diamètre de lactoduc :

- lactoduc de 40 mm bouclé : si le nombre de griffes par retour est inférieur à 3, la pente doit idéalement être de 1,4 à 2 cm / m

- lactoduc de 50 mm bouclé :

\* si quatre griffes par retour : pente de 0,9 à 1,2 cm / m (2 cm / m si deux trayeurs)

\* si cinq griffes par retour : pente de 1,2 à 1,6 cm / m (en présence de deux trayeurs, le diamètre du lactoduc doit être plus élevé)

- lactoduc de 63 mm bouclé :

\* si six griffes par retour : pente de 0,5 à 0,8 cm / m (1,2 cm / m si deux trayeurs)

\* si huit griffes par retour : pente de 0,7 à 1,1 cm / m (1,7 cm / m si deux trayeurs)

\* si dix griffes par retour m : pente de 0,8 à 1,5 cm / m (en présence de deux trayeurs, le diamètre du lactoduc doit être plus élevé)

Les recommandations les plus sévères permettent de traire des vaches ayant un débit de lait moyen de 5 litres par minute lorsque la pose des griffes est rapide avec un trayeur réalisant des entrées d'air ne dépassant pas 200 l/min. Elles ne tiennent pas compte des entrées d'air pouvant être réalisées lors du branchement de pots trayeur pour les vaches infectées. Il est donc conseillé de faire monter des systèmes qui permettent de couper le vide et de brancher les pots sans faire d'entrées d'air excessives. Dans le cas de rénovation, il est conseillé de choisir un lactoduc qui permet de traire dans les conditions les plus défavorables (Jadoul, 2005)

### (b) Pulsation

Classiquement, deux systèmes de pulsation peuvent être utilisés. En pulsation simultanée ou simple, un seul tuyau relie le pulsateur à la griffe. Les quatre gobelets fonctionnent simultanément de la même façon. Ils ouvrent et ferment en même temps les quatre manchons trayeurs : le lait des quatre quartiers arrive en même temps dans la griffe. Dans la pulsation alternée ou double (avant – arrière ou gauche – droite), deux tuyaux relient le pulsateur à la griffe. Deux gobelets sont en phase de traite tandis que les deux autres sont en phase de massage. Le lait arrive donc de deux quartiers à la fois : il y a moins de risque d'engorgement.

Actuellement, les systèmes de pulsation alternée sont largement majoritaires ce qui est préférable au vue de la meilleure stabilité du vide qu'ils induisent.

#### (c) Nombre de postes de traite

En rajoutant un poste de traite, les fluctuations passagères du vide sont augmentées de 35 à 39 %. Il est vrai que le nombre de poste modifie la consommation de vide nécessaire au fonctionnement de l'installation (Ronningen, 2002).

#### (d) Réserve réelle

Une réserve réelle adaptée est depuis longtemps considérée comme un facteur essentiel à la stabilité du niveau de vide. De nombreux standards ont été définis pour chaque type d'installation. Il a été montré que, dans certaines limites, la capacité de la pompe à vide a un effet significatif sur la stabilité du vide lorsqu'une entrée d'air massive est provoquée expérimentalement. Dans les conditions de terrain, le nombre de chute de vide au niveau des postes augmente considérablement lorsque la réserve réelle est diminuée au-dessous de son niveau critique. Le nombre de chutes de vide passagères de 5 kPa ou plus est réduit de 8 % lorsque la réserve réelle est augmentée de 100 l/min. Cependant, le calcul de la réserve effective optimale dépend de chaque installation (Ronningen, 2002).

Plutôt que d'augmenter sans cesse la réserve réelle, il est possible de mieux répartir les besoins en vide de l'installation : le pulsateur CentralPuls proposé par Westfalia Surge, commandé électriquement, produit 4 périodes de pulsation décalées dans le temps pour quatre groupes de pulsateurs. Cette fonction contribue à stabiliser le niveau de vide.

#### (4) Paramètres reflétant l'instabilité du niveau de vide

La stabilité du niveau de vide dans l'installation est influencé par de nombreux facteurs dont certains peuvent varier en permanence :

- les facteurs liés à la machine qui peuvent être mesurés lors d'un contrôle en l'absence d'animaux ; ce sont les dimensions des lactoducs et la réserve réelle. Ces facteurs sont constants au cours du temps.
- le rapport flux d'air versus flux de lait dans l'installation. Cette répartition peut varier entre la traite du matin et celle du soir et selon la saison, cependant elle est principalement déterminée par le nombre de postes de traite.
- le facteur humain lié à l'opérateur qui résulte de la routine de traite tout particulièrement lorsque du branchement ou débranchement (en l'absence de système de décrochage automatique) d'un faisceau. Comme démontré précédemment 80 % des entrées d'air surviennent lors de la manipulation des faisceaux. Il existe de grandes différences dans les compétences des trayeurs entre différentes exploitations, mais aussi des variations quotidiennes au sein d'une même ferme dues au changement de trayeur. Les mesures sont également biaisées par le fait que la plupart des trayeurs sont influencés dans leur routine de traite lorsque leur travail est observé et enregistré (Ronningen, 2002).

#### (0)5 Innovation proposée : le testage dynamique de l'installation de traite.

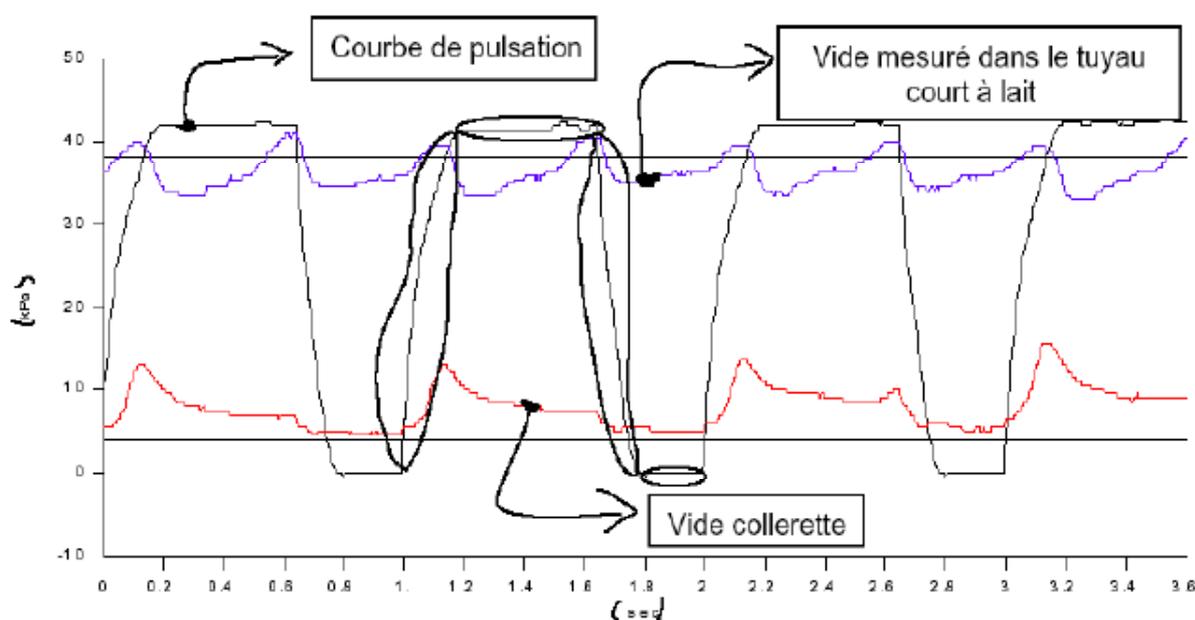
Les contrôles annuels obligatoires de l'installation de traite se font en l'absence d'animaux et ne tiennent pas compte de la présence de lait dans l'installation et du comportement du trayeur. Ils ne critiquent pas certains réglages : niveau de vide, durée des phases de pulsation intermédiaire, seuil de déclenchement du décrochage et freins à l'évacuation du lait. En cas de doute sur une installation répondant aux normes obligatoire (ISO 5707), il est désormais possible de faire réaliser un testage dynamique.

Une machine à traire peut répondre à toutes les recommandations de fonctionnement sans pour autant être adaptée au cheptel d'une exploitation. La réalisation d'un testage dynamique permet notamment de vérifier : la capacité du régulateur à maintenir un vide stable en conditions d'utilisation, la stabilité et le niveau de vide sous le trayon, la pulsation en condition de traite ainsi que le comportement du manchon dont le vide dans la pièce d'embouchure (Figure 49) (Jadoul, 2005).

Lors de ce testage, les cinétiques d'éjection du lait peuvent être mesurées via l'utilisation du Lacocorder®. Ces « compteurs portatifs » permettent de vérifier si les pis sont stimulés de manière optimale et d'identifier le moment de dépose (Maroney *et al.*, 2004).

Figure 49 : Exemple de courbe de pulsation et de courbes de vide sous la mamelle et au niveau d la pièce d'embouchure pouvant être obtenus lors du testage dynamique

(source : Jadoul, 2005)



Il ressort souvent des visites réalisées durant la traite chez des producteurs ayant des problèmes de mammites que le fonctionnement ou le montage de la machine à traire n'est pas optimal. Les points qui posent le plus de problèmes sont les suivants :

- évacuation du lait : trop de freins au niveau de certains compteurs, griffes non adaptées aux fortes productrices, parcours du lait trop long ou non adapté.
- décrochage mal réglé : détection des fins de traite trop tardive
- conception des conduites à vide et positionnement du régulateur trop loin de l'unité terminale
- retard à la coupure du vide lors de la dépose (arrachage) : vannes de coupure du vide absentes (lors de dépose manuelle), défectueuses ou mal réglées

Ces mesures débouchent sur des conseils de réglages et de modifications à apporter aux machines à traire. Lors de la mise en place de ces réglages, il est conseillé de laisser les vaches s'adapter aux changements en modifiant un seul paramètre à la fois. Cela permettra de mesurer l'effet de chaque changement sur la santé mammaire (Jadoul, 2005)

## **Partie 2. Machine à traire et qualité du lait**



Le paiement du lait au producteur s'effectue selon la quantité mais également selon la qualité du lait livré. Afin d'améliorer leurs revenus, les éleveurs se doivent de produire un lait de la meilleure qualité possible au regard des critères pris en compte pour le paiement.

L'utilisation d'un robot de traite et ses retentissements sur la qualité du lait seront traités dans une partie à part entière.



## )VIÉléments de base

### )ACritères de qualité du lait

#### ()1 Aspects réglementaires

La loi n°69-10 du 3 janvier 1969 dite « loi Godefroy » stipule dans l'article 3 que *le lait est obligatoirement payé aux producteurs en fonction de sa composition et de sa qualité.* (JORF, 1969)

Une série de décrets et d'arrêtés s'en sont suivis pour préciser les différents critères.

La teneur en matière grasse et en protéines retenue pour le paiement du lait en fonction de sa composition, au cours d'une période déterminée, est calculée en se référant aux taux moyens pondérés en fonction des quantités de lait livrées le jour des prélèvements, des résultats obtenus sur les échantillons prélevés pendant la période considérée (JORF, 1974). Classiquement les standards de composition retenus sont 38 grammes de matière grasse et 32 grammes de matière protéique

En France, réglementairement, on entend par « *teneur en matière protéines* » *la quantité de matière azotée exprimée en grammes par kilogramme ou litre de lait obtenu en multipliant par le coefficient 6,38 la teneur en azote total du lait diminuée de la teneur en azote soluble* (JORF, 1974). Il importe de ne pas confondre le terme « protéines » avec celui de « matière azotée totale ». La matière azotée totale comprend, en plus des protéines « vraies », une fraction azotée totale non protéique, variable, représentant en moyenne pour le lait de vache 5 % de la matière azotée totale (JORF, 1985). Dans d'autres pays, c'est généralement la matière azotée totale qui est prise en compte et non la matière protéique.

Le lait cru de vache destiné à la consommation humaine doit respecter les normes suivantes lors de la collecte à l'exploitation de production (JORF, 1994) :

- teneur en germes inférieure 100 000 par millilitres
- teneur en cellules somatiques inférieure à 400 000 par millilitres.

Le lait cru de vache destiné à la fabrication des produits au « lait cru » doit satisfaire aux critères précédents et répondre en plus à des normes concernant *Staphylococcus aureus* (JORF, 1994).

Le lait est qualifié d'impropre à la consommation humaine lorsqu'il provient d'une exploitation dont deux des moyennes géométriques successives relatives aux germes ou aux cellules ont donné un résultat supérieur aux critères précédemment décrits. La collecte du lait en provenance de cette exploitation est alors suspendue (JORF, 1994).

## (2) Aspects régis par l'Interprofession

Les modalités de paiement à des prix différents du lait de vache en fonction de sa composition et de sa qualité sont déterminées par conventions passées par les entreprises laitières, pour chacun de leurs établissements, avec les producteurs, ou les groupements agissant pour le compte de ceux-ci, qui assurent leur approvisionnement (JORF, 1970).

Ainsi, ce sont les laiteries et les groupements qui définissent les prix des grammes différentiels de matières grasse et protéique. De même, ils fixent les différentes classes de paiement selon les dénombrements de germes et de cellules leucocytaires.

Outre ces critères légaux, des accords interprofessionnels définissent des exigences quant aux spores butyriques et à la lipolyse.

Les modes de paiement sont ainsi très variables d'une laiterie à l'autre, selon sa localisation et les transformations auxquelles le lait est destiné. La figure 50 en est un exemple.

Figure 50 : Exemple d'une grille de paiement du lait en Bretagne.

(source : Gillon, 2002)

### LES NOUVELLES MODALITES DE PAIEMENT

CRITERES	NOMBRE D'ANALYSES	AU 1 <sup>ER</sup> JANVIER 1999		
		Classement	Nombre de points de pénalités	Incidence financière
GERMES	3 par mois avec calcul de la moyenne	- 50 000	0	Prix de référence
		50 à 100 000	3	- 6
		+ 100 000	8	- 16
CELLULES	3 par mois avec calcul de la moyenne	- 250 000	0	Prix de référence
		250 à 300 000	1	- 2
		300 à 400 000	3	- 6
		+ 400 000	5	- 10
BUTYRIQUES	2 analyses en hiver 1 analyse en été  (Avec calcul de la moyenne si 2 analyses)	- 1 000	0	Prix de référence
		1 000 – 2 000	1	- 2
		2 000 – 5 000	2	- 4
		+ 5 000	4	- 8
LIPOLYSE	1 analyse tous les 3 mois pour l'ensemble des producteurs et 1 analyse complémentaire après toute transformation de l'installation de traite ou pour les producteurs qui ont eu un mauvais résultat exceptionnel	- 0,25 d'indice de lipolyse ou 0,89 meq	0	Prix de référence
		+ 0,25 d'indice de lipolyse ou 0,89 meq	1	- 2
INHIBITEURS	3 par mois	Absence	Prix de référence	
		Présence	Pénalisation à hauteur de 2,20 F/l sur livraison détectée positive	
		Possibilité d'indemnisation de la moitié de la valeur du lait perdu, en prévenant la laitière avant la collecte en cas de doute		
MOUILLAGE	3 par mois	Information et correction du paiement du lait en fonction du taux de mouillage moyen du lait		

\* Sur le plan international les résultats sont exprimés en meq. L'indice de lipolyse de 0,25 correspond à 0,89 meq.  
La conversion s'effectue en appliquant le coefficient 0,282. Ex . : 0,89 meq x 0,282 = 0,25 ou 0,25/0,282 = 0,89 meq.

### INFORMATIONS SUR LA GESTION DES ECARTS

GERMES	BUTYRIQUES
Reclassement en lait de référence si les résultats des 5 mois précédents, sauf 1 au maximum, sont inférieurs ou égaux à 50 000 germes/ml.	Reclassement en lait de référence si les résultats des 11 mois précédents, sauf 2 au maximum, sont inférieurs ou égaux à 1 000 spores/l.
CELLULES	LIPOLYSE
Reclassement en lait de référence si les résultats des 5 mois précédents, sauf 1 au maximum, sont inférieurs ou égaux à 250 000 cellules/ml.	Reclassement en lait de référence si les résultats des 4 dernières analyses sont inférieurs à 0,18 d'indice de lipolyse ou 0,64 meq.

ATTENTION : dans tous les cas, les mauvais résultats restent enregistrés.

## )B Sources de variations

Le prix du lait payé au producteur découle de la combinaison des facteurs présentés ci-dessus, ce qui explique la grande variabilité des situations et qu'il n'existe pas un prix du lait en France mais pratiquement autant de prix que d'exploitations laitières.

Gilles Psalmon (2005), a mené, pour l'Institut de l'Élevage, une enquête sur les acteurs, les modes de fixation et les niveaux de valorisation du lait de 1997 à 2004 en France.

Trois échelons interviennent dans le mécanisme de formation du prix : les groupements de producteurs, l'Interprofession régionale et l'Interprofession nationale.

Les groupements de producteurs définissent des compléments au prix de base, parfois très variés, mais généralement liés à la recherche d'une qualité spécifique ou d'un meilleur étalement saisonnier de la production. Du point de vue des entreprises, au-delà des objectifs clairement définis (liés à la recherche de qualité, de régularité d'approvisionnement...), ces compléments ont aussi un intérêt concurrentiel pour fidéliser les producteurs. C'est pourquoi, la communication des critères pris en compte et surtout leurs montants restent souvent confidentiels.

Le deuxième échelon, les Interprofessions régionales, fixent le prix de base du lait ainsi que la plupart des critères de paiement, tels que la qualité et la valeur des grammes différentiels de matière grasse et de matière protéique. Selon les régions, l'Interprofession raisonne sur un prix de référence dont la définition peut varier : les régions Bretagne et Pays de la Loire (exemple présenté au paragraphe précédent) se basent sur un lait de référence qui correspond au lait de la meilleure qualité ; d'autres régions se basent sur un lait neutre des différents critères sans bonus ni malus.

L'interprofession régionale est également responsable de la saisonnalité du prix du lait. De manière générale, les prix les plus bas sont observés au printemps et les plus élevés à la fin de l'été. Cette saisonnalité est plus ou moins marquée selon les régions : elle est la moins prononcée dans l'Ouest, 32 euro pour 1 000 litres en Basse-Normandie, et la plus marquée dans le Nord, 56 euro entre les mois où le lait est payé au plus haut (août et septembre) et au plus bas (avril et mai) (Psalmon, 2005)

Les interprofessions régionales définissent des grilles de paiement à la qualité du lait, dont les critères et les seuils varient eux aussi en fonction des régions et évoluent en fonction de la réglementation. Les deux principaux critères de qualité sanitaire qui donnent lieu à des bonus et des malus sont la teneur en germes totaux et en cellules somatiques.

Comme cela a été évoqué précédemment, le prix de base est défini sur une composition standard du lait. Les grilles de prix des Interprofessions régionales prévoient une valeur des grammes dits « différentiels » en dehors des taux pivots de 38 et 32 grammes par litre de matière grasse et de matière protéique respectivement. Pour la matière grasse, la valeur du gramme différentiel est généralement fixée à 0,30 centime d'euro par litre. Elle est cependant moindre en Basse-Normandie et dans le Sud Ouest et supérieure en Rhône-Alpes par exemple. Pour les grammes différentiels de matière protéique, les valeurs sont encore plus hétérogènes et les régions développent généralement une politique incitative sur les hauts taux de matière protéique (Psalmon, 2005). Ces critères de composition ne seront pas traités dans ce travail car le taux de matières grasse et protéique dépendent d'autres facteurs que la machine à traire (alimentation, génétique...)

Le dernier échelon, l'Interprofession Nationale, émet des recommandations d'évolution du prix du lait, suivies ou non, par les différents opérateurs.

Au vu de la multiplicité des acteurs et de leurs objectifs, il est donc difficile de comparer avec précision le prix du litre de lait de référence d'une exploitation à une autre. Quoiqu'il en soit, les critères utilisés pour sa définition sont toujours les mêmes, les producteurs ont donc tout intérêt à fournir un lait de la meilleure qualité possible au regard de ces critères de qualité.

Nous étudierons successivement les différents critères pris en compte dans la rémunération qui sont influencés par la traite mécanique et les données récentes disponibles pour améliorer chacun des critères. Ceci nous amènera à décrire les problèmes de lipolyse, de germes totaux et des spores butyriques. Puis nous présenterons succinctement les nouveaux équipements proposés aux éleveurs afin de maîtriser la qualité du lait qu'ils produisent.

## )VIII Impact de la machine à traire sur la lipolyse

La lipolyse est une réaction de dégradation enzymatique de la matière grasse ; au-dessus d'un certain seuil, l'accumulation dans les produits laitiers des acides gras libres (AGL) issus de cette dégradation provoque l'apparition de défauts de goûts, généralement peu appréciés (goût de rance, amertume, goût de savon). C'est pour cette raison que la quasi totalité des régions ont aujourd'hui inclus ce critère dans les règlements interprofessionnels de paiement du lait selon sa qualité.

### )A Éléments de base

#### ()1 Origine de la lipolyse

Le lait étant une émulsion, la matière grasse est concentrée à l'intérieur de petits globules plus ou moins sphériques de 2 à 10 microns de diamètre. Lorsque le lait vient d'être sécrété dans la mamelle, chaque globule est entouré et protégé par une membrane. La membrane sert de barrière entre les triglycérides (98 % de la matière grasse du lait) et les enzymes lipolytiques : les lipases.

Il existe deux types de lipases bien différenciées par leur origine et leurs caractéristiques, ce qui conduit à distinguer, plusieurs formes de lipolyses (Meffe, 1994).

#### ()a Lipolyse spontanée et induite

La lipase naturelle ou lipoprotéine lipase (LPL) est sécrétée par la mamelle et est toujours présente dans le lait. Elle peut agir après un simple refroidissement ; elle est alors qualifiée de lipolyse spontanée. Le risque de développement plus ou moins grand de ce type de lipolyse dépend de plusieurs facteurs : état physiologique de l'animal, conditions d'élevage, facteurs individuels ; globalement les laits qui ont des globules gras fragilisés sont beaucoup plus sensibles que d'autres à ce type de lipolyse. De plus, l'activité de cette lipase peut être accentuée par l'agitation mécanique

et thermique du lait, notamment lors de sa récolte et de son cheminement jusqu'au tank à lait. La déstructuration de la membrane des globules gras qui en résulte favorise le développement de la lipolyse qualifiée d'induite.

Lorsque les conditions sont favorables, l'action de la lipase naturelle peut s'exercer très rapidement et provoquer une augmentation considérable de la teneur en AGL du lait dès les premières heures qui suivent la traite. Cette enzyme est faiblement thermorésistante : elle est en majeure partie détruite par pasteurisation ou simple thermisation.

### (b) Lipolyse microbienne

Des lipases sont sécrétées par les bactéries psychrotrophes, flore capable de se développer dans le lait conservé à basse température. Elles sont responsables de la lipolyse microbienne. Leur activité se déploie après un temps de latence de l'ordre de trois à quatre jours après la traite, ce qui correspond à la fin de la phase de multiplication des psychrotrophes. Contrairement à la lipase naturelle, ces lipases sont en général thermorésistantes : certaines résistent à la pasteurisation et aux traitements UHT ; elles peuvent subsister dans les produits après leur fabrication, et y agir à long terme pendant toute la durée de la conservation. Elles agissent avec d'autres enzymes protéolytiques microbiennes qui détruisent la membrane des globules gras au préalable.

### (2) Les produits touchés

Les produits à haute teneur en matière grasse, tels les beurres et les crèmes, sont les principaux touchés car la lipolyse peut s'y développer et s'accroître tout au long de la conservation.

L'incidence est moindre pour les fromages car la lipolyse y est un phénomène recherché se produisant sous l'action des enzymes des flores d'affinage et contribuant à leur saveur. D'autre part, au cours de leur fabrication, une partie des AGL du lait est éliminée dans le lactosérum lors de l'égouttage du caillé alors que l'enzyme naturelle du lait est inactivée partiellement ou complètement en fonction des traitements subits (Meffe, 1994).

### 03 Quantification de la lipolyse dans le lait et les produits laitiers

La lipolyse peut être quantifiée en milli-équivalent (meq) ou en degré d'acidité oléique (AO). Une conversion est possible entre ces deux unités utilisées indifféremment (Chilliaro et Lamberet, 1984).

- 1 meq / 100 g MG correspond à 1 mmole d'acides gras libres pour 100 grammes de matières grasses.
- 1 meq / litre est la même unité rapportée au litre de lait
- 1 meq / 100 g MG correspond à 0,28 grammes d'acidité oléique.

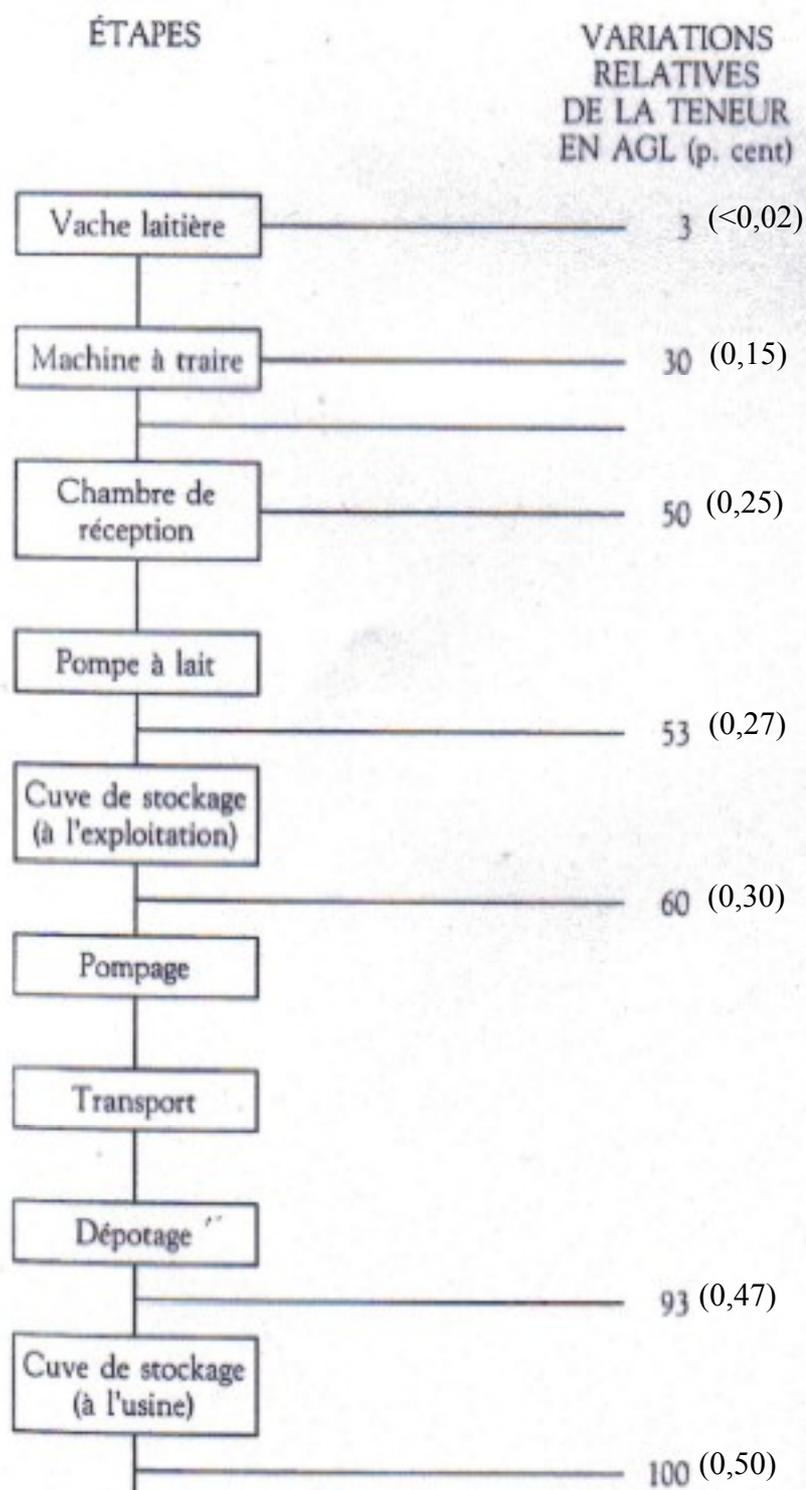
### )B Les facteurs de risque de la lipolyse

#### 01 Évolution de la teneur en AGL lors des manipulations successives du lait

En situation normale, la teneur en AGL du lait augmente à toutes les étapes de la production : de la récolte au niveau du trayon jusqu'au stockage à l'usine. À chaque étape correspond un niveau de risque responsable d'une augmentation du degré de lipolyse qui est illustrée par la figure 51.

Figure 51 : Evolution de la teneur en AGL lors de différentes manipulations du lait

(source : fédération Internationale de Laiterie cité par Meffe, 1994)



Les chiffres indiqués entre parenthèses correspondent à la conversion en grammes d'AO pour 100 grammes de matière grasse (sur la base de 100 % de variation relative de la teneur en AGL = 0,50 g d'AO pour 100 g de MG)

Ainsi, il faut retenir que 60 % de la lipolyse totale avant traitement du lait se développe au niveau de l'exploitation laitière. Il apparaît ainsi clairement que la maîtrise de la lipolyse dans les exploitations laitières constitue une étape privilégiée pour limiter les teneurs en AGL dans les produits laitiers sensibles. Les producteurs de lait ont donc un rôle capital à jouer dans la prévention et la réduction de ce phénomène (Meffe, 1994).

## (2) Facteurs de risque de lipolyse spontanée

Le terme de lipolyse spontanée est abusif dans la mesure où il n'existe généralement pas de lipolyse dans le lait pendant son séjour dans la mamelle ou lorsqu'il est maintenu à 37°C après avoir été prélevé manuellement. Il s'agit donc plutôt de l'interaction entre les propriétés du lait natif de chaque individu et les facteurs pratiques induisant inévitablement de la lipolyse.

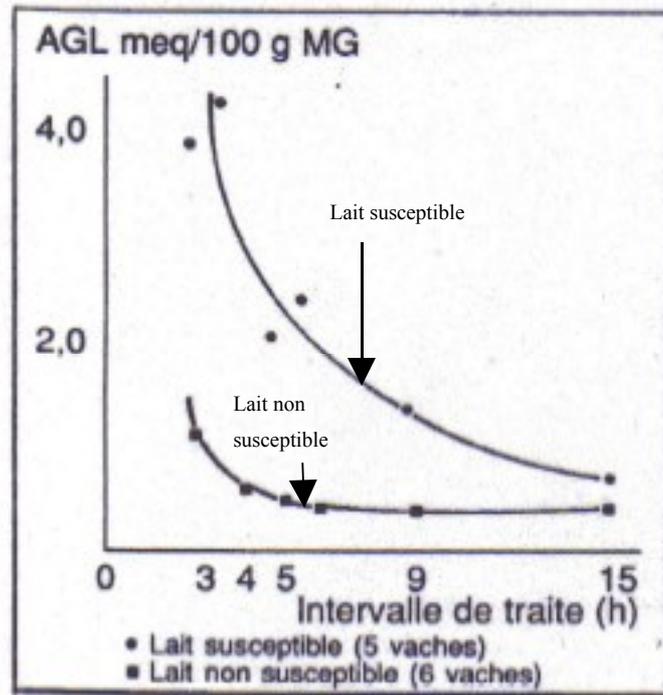
Seuls les aspects relatifs à la gestion de la traite seront traités dans ce sujet ; l'alimentation, le stade de lactation, le stade de gestation, le niveau de production et l'effet individuel ne seront pas abordés bien que leur implication dans la lipolyse soit démontrée.

### (a) Intervalle entre deux traites

Meffe (1994) a étudié l'effet de l'intervalle de traite sur les teneurs en AGL (Figure 52).

Figure 52 : Effet de l'intervalle de traite sur les teneurs en AGL après stockage au froid du lait (24h à 4°C)

(source : Fédération Internationale de Laiterie cité par Meffe, 1984)



L'intervalle entre deux traites, et notamment sa réduction, entre la traite du matin et celle du soir, accentue la sensibilité du lait à la lipolyse. Ceci conduit à des teneurs en AGL plus élevées dans les laits de la traite du soir, sans qu'il n'y ait, par ailleurs, une compensation à la traite du matin du fait de l'allongement de l'autre intervalle. Cet effet est d'autant plus marqué que les intervalles sont courts (inférieurs à 8 heures) et que les laits sont susceptibles, c'est-à-dire déjà sensibilisés par d'autres facteurs (fin de lactation, faible niveau de production)

#### (b) Santé de la mamelle

En cas de mammites, la teneur en AGL initiaux (ne provenant pas de la lipolyse) s'élève dans le lait alors qu'elle est habituellement peu variable et faible (0,2 à 0,4 meq / 100 g MG). Cependant, l'augmentation finale de la lipolyse, au-delà de l'extraction du lait, est aléatoire car les

modifications présentées par les laits de quartiers infectés entraînent des effets antagonistes qui peuvent soit inhiber, soit activer la lipolyse (Meffe, 1994).

### (3) Facteurs de risque de lipolyse induite : facteurs liés aux conditions de traite

Dans le lait natif ou recueilli dans des conditions très douces (traite manuelle), deux éléments contribuent à fortement limiter la dégradation de la matière grasse par la lipase naturelle :

- la membrane des globules gras qui isole et protège les triglycérides,
- les liaisons qui unissent l'enzyme aux caséines dans la phase aqueuse du lait et empêchent leur contact avec la phase lipidique.

Par contre, dans les conditions de traite mécanique, dès que le lait quitte la mamelle, il est soumis à des agitations, à des chocs mécaniques et à des chocs thermiques qui peuvent d'une part endommager ou rompre la membrane des globules gras et d'autre part provoquer une redistribution de la lipoprotéine lipase : décrochage des micelles de caséines permettant une migration vers les globules gras. C'est en fait l'augmentation de la teneur en AGL du lait résultant de ces mécanismes qu'on appelle lipolyse induite. L'importance de son développement en élevage dépend des conditions de traite et de conservation du lait. Dans la réalité, il y a interaction entre les lipolyses spontanées et induites. L'incidence des facteurs d'activation pour la lipolyse induite sera donc d'autant plus marquée que les laits présentent une tendance à la lipolyse spontanée (Meffe, 1994).

Le mode d'écoulement du lait dans une machine à traire est complexe car deux fluides circulent à la fois dans les canalisations : l'air et le lait. Lorsque le globule gras est immergé dans le lait, les forces qu'il subit sont symétriques. Par contre, lorsqu'il se trouve à l'interface air / lait, ces forces deviennent dissymétriques et entraînent sa déformation avec un risque élevé de rupture de sa membrane. Ce mécanisme représente probablement la principale cause de la lipolyse induite par le matériel de traite. Il faut noter que la surface de contact air / lait sera d'autant plus grande que l'écoulement du lait sera complexe, turbulent et soumis à des entrées d'air intempestives.

Un second mécanisme moins fréquent que le précédent réside dans la circulation du lait contre les parois de l'installation de traite. Ces frottements soumettent les globules gras à des forces de cisaillements pouvant rompre leur membrane.

Les risques d'incidence de ces deux mécanismes seront plus ou moins accentués selon le type d'installation de traite, les éventuels défauts de conception, de montage et d'entretien du matériel, ainsi que la technique du trayeur.

#### (i) Traite en ligne haute

Les lactoducs dits en « ligne haute » permettent l'évacuation du lait par un lactoduc situé au-dessus du niveau des vaches traites.

Par opposition, on appelle « ligne basse » le lactoduc situé en dessous du quai, c'est-à-dire à environ un mètre plus bas que le pis de la vache. Le collecteur draine le lait sans aspiration, le liquide s'écoulant par gravité. La dépression présente dans la canalisation ne sert qu'à extraire le lait des trayons.

La conception des installations en ligne haute trouve une explication historique. Au moment de l'apparition des machines à traire, la traite se déroulait à l'étable, et les éleveurs ont tenté d'adapter la mécanique aux bâtiments préexistants. Les canalisations en ligne haute permettaient de passer par dessus les obstacles en évitant l'encombrement de l'aire réservée au trayeur. Avec la traite en salle de traite, la ligne haute permettait d'utiliser un seul équipement pour deux quais opposés (Lacombe, 1990)

Une enquête, conduite en Bretagne par le GIE de 1982 à 1983 auprès de 1159 éleveurs, a permis de montrer que dans la catégorie des éleveurs aux résultats d'analyse sur lait de tank dépassant 0,25 g d'acidité oléique pour 100 g de MG (soit environ 0,9 meq / 100 g MG), 58 % étaient équipés de lactoducs en ligne haute, associés à des caractéristiques favorisant les taux élevés de lipolyse (GIE, 1984) :

- longueur excessive des canalisations,
- présence de contre-pentes, de remontées verticales et de coudes.

- présence de prises d'air

L'incidence de la hauteur ou de la longueur du lactoduc peut cependant rester modérée en l'absence d'autres facteurs inducteurs, comme des contrepentes ou des entrées d'air excessives : l'incorporation d'air dans les sections sous vide de la machine à traire constitue certainement la principale cause de lipolyse induite par la traite. De nombreux travaux montrent en effet qu'une augmentation de lipolyse se produit quand de l'air est introduit dans le circuit du lait du fait de fuites en différents points de la machine à traire (Meffe, 1994).

Aujourd'hui, toutes les nouvelles installations sont en ligne basse car les inconvénients de la ligne haute sont largement supérieurs à ses avantages pour plusieurs raisons. La dépression nécessaire en ligne haute est très supérieure à celle en ligne basse car elle doit non seulement extraire le lait du trayon mais également le remonter dans les tubulures situées dans le voisinage du plafond de la salle de traite. Une bonne partie de cette dépression est donc uniquement utilisée pour l'ascension du lait. De ce fait, en cours de traite, le vide appliqué effectivement au bout du trayon sera inférieur à celui qui est mesuré au régulateur. Ceci est éventuellement tolérable tant qu'il y a du lait dans le lactoduc ; mais en fin de traite, les tuyauteries sont vides ou presque, la totalité de l'aspiration nominale s'applique sur un trayon qui vient d'être sollicité pendant plusieurs minutes et donc plus ou moins béant. La dépression pénètre alors à l'intérieur de l'organe provoquant des délabrements. Ainsi, les éleveurs ayant des installations en ligne haute ne doivent se permettre aucune surtraite.

La ligne basse permet l'utilisation d'une dépression proche du vide nominal (au régulateur) car elle est utilisée uniquement au maintien de la griffe en place et à l'extraction du lait. Cela permettra d'utiliser des niveaux de vide de seulement 40 kPa, et donc en cas de surtraite, les conséquences pour la mamelle et le trayon seront moindres (Gauchot, 1993)

#### (iii) Conception de la griffe et entrée d'air

Une étude sur l'incidence des principaux composants de la machine à traire, menée par Heuchel (1988, a), montre que des faisceaux trayeurs de marques différentes, présentant des caractéristiques très variables (volumes, formes des griffes, entrées d'air, diamètre et positions des

entrées de lait), ont une incidence comparable sur la lipolyse et provoquent un accroissement moyen des teneurs en AGL de 20 % par rapport à une traite manuelle.

Par contre, du fait de fuites anormales au niveau des jonctions entre le bol de la griffe et les tuyaux à lait et / ou à pusion, cet accroissement peut atteindre 200 %. Ce résultat met aussi en évidence l'importance de la position de l'entrée d'air au niveau de la griffe. Heuchel avance l'hypothèse qu'en cas d'entrée d'air assurée par un orifice situé sur la partie supérieure du corps de la griffe, la couche d'air existant dans la griffe atténue l'impact de la veine d'air pénétrant par l'orifice d'admission. Par contre, lorsque cette admission se fait par le dessous ou encore au niveau des tuyaux courts à lait, l'air sous pression entre en contact direct avec le lait et provoque de fortes turbulences.

Une autre étude d'Heuchel (1988, b) conforte cette hypothèse. Les résultats ont été obtenus à partir de travaux réalisés avec une mamelle artificielle, ce dispositif permettant de faire des comparaisons de matériels avec les mêmes laits de référence, ce qui n'est pas le cas lorsqu'on travaille à partir de lots de vaches.

Dans un premier temps, une griffe admettant 22l d'air par minute pour un volume de 440 cm<sup>3</sup> a été comparée à deux autres griffes admettant chacune 10 l / min pour de volumes inférieurs : 375 et 150 cm<sup>3</sup>. Aucune différence significative n'apparaît entre les effets respectifs de ces trois griffes.

Une griffe à admission d'air classique de 10 l/min a ensuite été comparée à une griffe de conception identique, mais admettant un débit de 20 l/min par quatre orifices situés sur les tuyaux courts à lait. Le taux d'accroissement de lipolyse avec ce dernier type de griffe est deux fois plus élevé qu'avec l'admission classique.

En pratique et avec des systèmes de traite conventionnels, une certaine quantité d'air doit être admise à la griffe pour faciliter l'évacuation du lait dans le lactoduc, mais son débit ne doit pas excéder 10 l/min (Norme ISO 5707). Une étude a montré que ce débit peut même être diminué à 6 l/min sans pour autant engendrer un engorgement de la griffe (O'Brien *et al.*, 1998)

En dehors de la conception des griffes et de la technique de traite, l'admission excessive d'air dans les canalisations provient le plus souvent de défauts d'entretien ou de réglage : les fuites sont fréquentes notamment au niveau des raccords.

(iii) Incidence des appareils de mesures et de transfert du lait

Si l'incidence globale de la machine à traire sur la lipolyse du lait a fait l'objet de très nombreuses études qui permettent d'en apprécier l'importance, il est beaucoup plus difficile de quantifier l'incidence de chacun des composants d'une installation.

Les pompes à lait n'induisent pas de lipolyse lorsqu'elles fonctionnent normalement. Cependant, il arrive que les pompes fonctionnant de manière continue se retrouvent parfois sous-alimentées et favorisent alors la lipolyse (Chilliario et Lamberet, 1984).

Cependant, il a été démontré que les récipients de contrôle en salle de traite peuvent induire de fortes lipolyses, par le fait que le lait subit des passages forcés dans des coudes, et en raison de l'agitation par entrée d'air qui est utilisée avant la prise d'échantillons.

Dans l'étude d'Heuchel (1988, a), l'augmentation de la teneur en AGL du lait a été mesurée après passage dans différents types d'équipements : griffes, fluxmètres, pompe à lait (Figure 53).

Figure 53 : Teneurs moyennes en AGL du lait (en meq / 100 g MG) avant et après le passage dans différents composants de la machine à traire.

(source : Heuchel, 1988, a)

Composants	Teneurs en AGL		Augmentation moyenne	Taux d'accroissement de lipolyse (%)
	Avant	Après		
Griffes (171 mesures)	0,67 (0,28)*	0,80 (0,35)	0,13	• 19,4
Fluxmètres (41 mesures)	0,59 (0,26)	0,78 (0,24)	0,19	32,2
Pompe centrifuge (8 mesures)	1,41 (0,70)	1,58 (0,84)	0,17	12,1

Au regard de ces résultats, les élévations moyennes enregistrées sont comprises entre 0,10 et 0,20 meq / 100 g MG par appareil. Cependant la hiérarchisation des effets des différents composants n'a pu être établie du fait de la variabilité des conditions de prélèvement des

échantillons de lait. Il apparaît cependant après comparaison avec l'accroissement de lipolyse relevé entre la mamelle et le tank (0,26 meq / 100 g MG en moyenne) que l'effet global de la machine à traire ne résulte pas d'une simple addition des effets de ses différents composants mesurés séparément.

Il importe de prendre en compte ce phénomène dans le contexte actuel de généralisation des systèmes de mesures lors de la traite (débimètres, détecteurs de conductivité...).

#### (iv) Incidence de la technique de traite

Les effets d'une mauvaise technique de traite sur la lipolyse sont difficiles à quantifier et ont rarement été évalués. Ils ne doivent cependant pas être négligés et sont à rapprocher des grandes quantités d'air pouvant pénétrer dans l'installation du fait d'une technique de traite mal maîtrisée ou d'une mauvaise organisation du travail.

Des débits d'air très élevés peuvent ainsi pénétrer dans l'installation à différentes phases de la traite en particulier lorsque les faisceaux trayeurs ne sont pas posés assez rapidement ou lorsqu'ils sont déposés sans coupure préalable du vide. La surtraite, en provoquant parfois le glissement des manchons le long des trayons occasionne aussi des entrées d'air. Il en est de même pour les chutes de faisceaux trayeurs en cours de traite dont la fréquence peut être accentuée par de mauvaises ambiances ou organisation de la traite (Meffe, 1994)

#### (v) Incidence du matériel de réfrigération

La réfrigération du lait est indispensable pour ralentir la multiplication des germes pendant la conservation à la ferme. Cependant, elle est aussi un facteur d'activation de la lipolyse : l'abaissement de la température entraîne une élévation des teneurs en AGL.

Le tank à lait ne faisant pas partie de la machine à traire à proprement parler, les conséquences sur la lipolyse de la réfrigération ne seront pas détaillées ici.

#### (04) Facteurs de risque de lipolyse microbienne

Les psychrotrophes et en particulier ceux du genre *Pseudomonas*, responsables de la production d'enzymes protéolytiques et lipolytiques, ne peuvent qu'exceptionnellement avoir une incidence sur la lipolyse du lait en exploitation. En effet, même s'ils représentent généralement la flore dominante dans les laits réfrigérés au bout de deux ou trois jours de conservation, l'importance de cette population dépend directement du niveau de contamination initiale et des conditions de refroidissement du lait. Or, l'activité des enzymes ne commence à être détectée que lorsque la population microbienne dépasse un million de germes / ml, niveau atteint seulement après trois jours de conservation à 4°C d'un lait de qualité bactériologique très moyenne (100 000 germes / ml initialement).

Toutefois, le système de nettoyage de l'installation doit être bien conçu et avoir un fonctionnement satisfaisant pour éviter toute accumulation de lait résiduel. Le lait résiduel dans les circuits de transfert est contaminé par des bactéries en phase de croissance correspondant à de fortes productions de lipases et protéases. Pour exemple, un demi-litre de lait résiduel peut endommager 1000 l de lait frais de bonne qualité (Meffe, 1994).

#### )C Innovations et recommandations pour limiter la lipolyse

## (1) Innovation non développée : la traite hydraulique

Le terme de « traite hydraulique » décrit un nouveau concept de traite dans lequel les mouvements du manchon sont réduits et le manchon est en permanence rempli de lait au-dessous du trayon. Ces caractéristiques sont obtenues par l'utilisation d'une griffe à valves multiples sans admission d'air. Cet équipement particulier mis au point par Griffin *et al.* (1988) a été décrit dans la première partie (cf. figure 35). Ce système permettrait de réduire la durée de la traite de 26 % et d'augmenter le débit de lait de 20 %. Grindal et Griffin (1989) ont mené quatre expériences pour décrire ce système de traite hydraulique et objectiver ses avantages potentiels. D'après ses résultats, ce système permettrait de réduire la lipolyse de 36 % ce qui n'est pas négligeable. En outre, l'état des trayons et la santé de la mamelle seraient améliorés. Cependant, cette technique n'est pas au point en ce qui concerne la méthode de retrait de la griffe et le niveau de vide nécessaire à son fonctionnement optimal. En l'absence d'autres études, ce système n'a pas été développé bien que son incidence sur la lipolyse aurait pu apporter des résultats intéressants.

## (2) Prévention de la lipolyse induite pendant la traite

Si le matériel de traite est inévitablement un facteur d'augmentation de la lipolyse, l'expérience et les résultats obtenus dans de nombreuses exploitations avec des équipements variés montrent bien qu'ils ne génèrent pas fatalement des augmentations fortes des teneurs en AGL du lait. Le respect de quelques règles permet d'éviter la plupart des problèmes (Meffe, 1994).

### (a) Montage de l'installation

Il convient en premier lieu de respecter les normes ISO en vigueur de construction et de montage.

Il faut éviter les lactoducs hauts, les sections verticales (passage d'obstacle) et les lactoducs trop longs.

Il faut supprimer les coudes de petits rayons, les restrictions brutales de diamètre, les contrepenes et les entrées de lait sous le lactoduc.

Il importe également de limiter les hauteurs de chute de lait (chambre de réception, tank) et atténuer leur impact par des arrivées tangentielles.

Enfin, la taille de l'installation doit être adaptée à la production du troupeau notamment en ce qui concerne les diamètres des canalisations.

#### (b) Entretien de l'installation

Le trayeur doit veiller à :

- faire contrôler l'installation une fois par an
- respecter les réglages préconisés (niveau de vide)
- changer régulièrement les manchons trayeurs
- remplacer rapidement la tuyauterie et les joints en caoutchouc défectueux
- supprimer les fuites
- régler correctement les systèmes de dépose automatique des faisceaux trayeurs

#### (c) Technique de traite

La pose des faisceaux trayeurs doit être rapide. Il est nécessaire de couper le vide avant la dépose des faisceaux trayeurs. Il faut également bannir la surtraite.

Ces considérations visent à limiter le développement de la lipolyse mais la plupart ont déjà été citées dans la partie traitant de la santé de la mamelle. Ces conseils ont donc une portée générale pour l'amélioration de la qualité du lait et de la santé de la mamelle.

### (3) Limiter les turbulences

Les nouveautés en matière d'équipement visant à assurer un écoulement le plus laminaire possible du lait ont été présentées dans la partie précédente. Les fluctuations du vide, les engorgements de griffe et les turbulences sont des phénomènes très liés et leur limitation passe par les mêmes recommandations.

## )VIII Qualité bactériologique du lait : rôle du nettoyage

Le lait d'un animal sain, extrait de la mamelle, est pratiquement exempt de germes. Il peut se contaminer au cours de son cheminement à travers les différents composants de la machine : faisceaux-trayeurs, lactoduc, chambre de réception.

De par sa composition, le lait est un milieu nutritif favorable au développement de nombreuses bactéries. Parce qu'elle est composée de différents éléments de formes plus ou moins compliquées, avec des matériaux de nature différente, la machine à traire mal nettoyée peut-être une source majeure de germes indésirables susceptibles de se développer, entre les traites, dans les souillures minérales et organiques qui s'y déposent.

Le nettoyage des équipements de traite constitue, avec l'hygiène de la traite, un des principaux facteurs de la qualité bactériologique du lait.

Cette partie ne traitera pas de l'hygiène des trayons avant et après la traite. Le logement et les produits de trempage et de nettoyage des trayons ne seront pas abordés non plus.

### )A Les facteurs de pollution du lait

Le lait est un produit complexe dont certains composants (matière grasse, matière protéique, sels minéraux) ont tendance à se fixer aux parois des éléments et récipients où il circule, provoquant des souillures propices au développement bactérien (Bouron et coll., 1995)

#### ()1 Souillures organiques

Les souillures organiques regroupent principalement le lactose, les protéines et les matières grasses contenus dans le lait.

## (2) Souillures minérales

Dans certaines zones géographiques, l'eau contient naturellement plus de sels dissous de calcium ou magnésium. La dureté de l'eau ou titre hydrotimétrique ( $^{\circ}$  TH) s'exprime en milligrammes d'équivalent de carbonate de calcium par litre. L'eau est qualifiée de douce jusqu'à  $15^{\circ}$  TH et de dure à partir de  $25^{\circ}$  TH

Le tartre issu du carbonate de calcium constitue un dépôt d'autant plus développé que les eaux sont dures. Sa précipitation est accélérée par la température, les pH élevés et la concentration en carbonate de calcium dans l'eau.

Un second type de souillure minérale est la pierre de lait. Cette dernière est une combinaison de sels de calcium et de magnésium, provenant de l'eau, et des protéines et des matières grasses du lait formant un précipité insoluble jaunâtre spongieux qui permet le développement de bactéries. Ce précipité est composé de 42 à 67 % des sels de calcium, 3 à 8 % de sels de magnésium et 4 à 5 % de protéines.

La dureté ou titre hydrotimétrique conditionnera la fréquence d'utilisation de produits détartrant.

## (3) Souillures bactériologiques

En France, depuis la loi Godefroy (1969), le lait est payé selon plusieurs critères dont la qualité bactériologique établie selon le nombre de micro-organismes présents dans 1 ml de lait, ou germes totaux. Les germes totaux sont l'ensemble des germes qui se multiplient spontanément dans un lait non refroidi.

### (a) Sources de contamination

La contamination par les germes de mammites présents dans le lait est très faible. L'environnement entraîne une pollution directe faible mais indirecte plus importante du fait du portage par les vaches laitières, notamment pour les spores butyriques. La contamination par les

trayons sales ou mal lavés joue également un rôle non négligeable. Le risque de pollution le plus grand réside dans le mauvais nettoyage de la machine à traire et du tank. Ce risque peut varier selon la saison ; ainsi on dénombre au niveau des lactoducs davantage de pseudomonas, germes d'altération, l'été par rapport à l'hiver. Outre ces sources, l'eau du nettoyage peut également apporter des micro-organismes tels que streptocoques et coliformes fécaux, salmonelles et coliformes divers.

La plupart des bactéries présentes dans le lait sont susceptibles de se multiplier rapidement à température ambiante (Billon, 2004 a).

#### (b) Classification des germes

Les flores indésirables sont réparties de la manière suivante :

- Bactéries thermo-résistantes, ex. spores butyriques
- Bactéries psychotrophes, ex : pseudomonas
- Coliformes, ex : *Escherichia coli*
- Flores pathogènes, staphylocoques, salmonelles, *listeria monocytogenes*

A côté des germes indésirables, il ne faut oublier que le lait contient aussi des flores d'intérêt technologique comme les bactéries lactiques.

#### Normes de qualité bactériologique

Actuellement la législation fixe à 50 000 germes totaux/ml de lait le seuil de référence de qualité du lait. Au-delà de ce seuil, des pénalités sont appliquées sur le prix du lait. A partir de 100 000 germes sur plusieurs contrôles, l'arrêt de la collecte peut être envisagé jusqu'à un retour à une situation normale. Il est à noter qu'un seuil supérieur à 20 000 germes témoigne déjà d'un nettoyage et désinfection insatisfaisants (Billon, 2004 a).

#### )B Le nettoyage

Le nettoyage est l'opération qui consiste à éliminer d'une surface donnée toutes les souillures visibles et invisibles. Il comporte plusieurs phases distinctes (Billon, 2004 a).

## 01 Les étapes du nettoyage

### 0a Le prélavage

C'est un simple rinçage à l'eau tiède (35-40°C environ). L'eau tiède est préférable à l'eau froide car elle limite le refroidissement des parois des constituants de la machine à traire et par conséquent celui de la solution de lavage qui succédera à cette phase. Elle ne doit toutefois pas excéder 50°C en début d'aspiration. Ce prélavage élimine une grande partie des résidus et des souillures tels que le lactose, les protéines et certaines bactéries. Le prélavage est réalisé en circuit ouvert, c'est-à-dire sans recirculation. La durée du prélavage correspond au minimum au temps de passage de toute l'eau dans la machine à traire, en circuit ouvert. Le volume d'eau utilisé doit être au moins égal à celui de l'étape de lavage. On qualifie d'eaux blanches, les eaux issues du nettoyage de l'installation (Billon, 2004 a).

### 0b Le lavage

Il s'agit de la période effective de circulation en circuit fermé de la solution de nettoyage en excluant la période d'un éventuel préchauffage. Le temps optimal est de 6 à 10 minutes et ne sera pas, en tout état de cause, inférieur à 5 minutes

Cette phase a pour but d'éliminer toutes les souillures restantes après le prélavage.

Les souillures organiques sont éliminées par l'intermédiaire de produits détergents généralement alcalins (pH > 11), comme la soude ou la potasse, qui possèdent le pouvoir de décoller les souillures de leur support et de les disperser dans la solution par hydrolyse des protéines et saponification des matières grasses.

Les souillures minérales sont éliminées par des produits détartrants acides (pH < 4) comme l'acide phosphorique, qui, par son action sur le calcaire, permet la formation de sel soluble facilement éliminé par le flux de la solution.

Les germes sont détruits par des produits désinfectants. Les principaux désinfectants utilisés pour le nettoyage des machines à traire et de la vaisselle laitière sont le chlore et l'iode ainsi que leurs dérivés. On entend par vaisselle laitière, l'ensemble des petits équipements utilisés au cours de la traite et en contact avec le lait : obturateur de manchons, raccords de dérivation pour traite sur bidon des vaches infectées, bol à fond noir...

Le lavage est réalisé en circuit fermé, c'est-à-dire avec recirculation de la solution pendant un temps déterminé avant évacuation dans le réseau des eaux usées. La température en fin de lavage ne doit pas être inférieure à 35-40° C sauf pour certains produits spéciaux (Billon, 2004 a).

#### (c) Le rinçage

Le rinçage final permet d'éliminer toute trace de produit détergent, désinfectant ou détartrant susceptible d'adhérer aux parois fraîchement nettoyées. Cette opération est réalisée avec de l'eau froide, de volume au moins égal à celui de l'étape précédente et en circuit ouvert, c'est-à-dire avec un seul passage. La durée du rinçage correspond au temps du passage, de toute l'eau dans la machine à traire. La température de l'eau servant au rinçage est celle du réseau d'alimentation potable (Billon, 2004 a).

#### (d) Le séchage

Après les trois phases décrites précédemment, il est conseillé de « sécher » l'installation de traite afin d'éliminer l'humidité à l'intérieur des tuyaux et canalisations.

Cette opération est réalisée automatiquement par les automates de nettoyage grâce à des purges automatiques. En cas de nettoyage semi-automatique par l'éleveur, il suffit de laisser ouvert un robinet sur le lactoduc pendant 2 à 3 minutes (Billon, 2004 a).

## (2) Les méthodes de nettoyage

Le nettoyage de l'installation de traite et de la vaisselle laitière doit être réalisé immédiatement après chaque usage. Cela signifie un nettoyage biquotidien pour la machine à traire et un nettoyage immédiat après vidange pour la cuve de réfrigération.

Si le délai d'attente est trop long, les résidus de lait présents sur les parois vont sécher et adhérer plus fortement, limitant ainsi l'efficacité des produits utilisés.

Il existe trois méthodes principales pour le nettoyage des installations de traite et de la vaisselle laitière (Billon, 2004 a)

#### ()a La méthode alcaline ou méthode classique

Elle consiste à utiliser un produit alcalin détergent désinfectant et, périodiquement, à remplacer la solution alcaline par une solution acide pour assurer le détartrage des parois.

La périodicité est variable : si l'eau de nettoyage est douce ( $< 25^{\circ}$  TH), on peut se contenter d'utiliser la solution acide une à deux fois par semaine ; si l'eau est plus dure ( $> 25^{\circ}$  TH), il faut augmenter la fréquence jusqu'à une alternance quotidienne.

#### ()b La méthode à froid

Cette méthode consiste à opérer le lavage avec des produits à base d'iode, les iodophores, qui ont la particularité de pouvoir être utilisés avec de l'eau tiède (température inférieure à  $40^{\circ}$  C). Le principe actif de désinfection est l'iode, ce qui exige une attention particulière au niveau du rinçage final afin d'éviter toute trace de résidus dans le lait.

Cette méthode est peu utilisée mais peut rendre de grands services en cas de problème d'approvisionnement en eau chaude. Toutefois, il est souvent utile de procéder de temps en temps à un nettoyage avec des solutions alcalines chaudes.

#### ()c La méthode eau chaude acidifiée

Cette méthode de désinfection par la chaleur se caractérise par la circulation, en circuit ouvert, d'une eau très chaude (95-98° C) durant 7 minutes. Cette méthode ne comprend pas d'étape de pré-lavage. Pendant les deux premières minutes, on ajoute à l'eau une solution d'acide sulfamique, à action détartrante, de concentration plus ou moins élevée, selon la dureté de l'eau. La désinfection est obtenue par la chaleur, à condition que toutes les parties à nettoyer aient été portées à une température d'au moins 77° C pendant 2 minutes. Il convient de prévoir 13 litres d'eau par poste pour une machine sans récipient de contrôle et 16 litres en présence de récipients de contrôle. Méthode très efficace, elle est de moins en moins utilisée à cause du coût de l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau, surtout pour les installations de grandes dimensions. Une variante de cette méthode consiste à réaliser un nettoyage avec de l'eau chaude acidifiée le matin, afin de bénéficier du tarif réduit de l'électricité la nuit pour chauffer l'eau dans le générateur spécifique et de ne réaliser qu'un simple rinçage à l'eau tiède ou froide additionnée d'un désinfectant le soir (Billon, 2004 a)

### (3) Les facteurs de réussite du nettoyage

La qualité du nettoyage d'une installation de traite dépend essentiellement de quatre facteurs principaux : concentration, température, durée, et action mécanique. Les trois premiers paramètres dépendent directement du produit utilisé, il est impératif d'en respecter scrupuleusement le mode d'emploi, sous peine d'une perte d'efficacité (Billon, 2004 a).

#### (a) La concentration de la solution de lavage

En ce qui concerne la machine à traire, les concentrations les plus couramment utilisées se situent entre 0,5 et 1 %. Un sous dosage entraîne obligatoirement l'inefficacité du nettoyage mais un surdosage ne l'améliorera pas et peut entraîner des difficultés de rinçage, donc des risques de présence de résidus dans le lait. Il faut respecter strictement les données du fabricant.

#### (b) La température de la solution

Les solutions chaudes présentent l'avantage de décoller les graisses et diminuer la tension superficielle de l'eau.

Les produits de nettoyage présentent une efficacité maximale dans une plage de température fixée par le fabricant. La plupart des produits alcalins chlorés sont préconisés pour des températures comprises entre 50 et 70° C, alors que les iodophores ne tolèrent pas une température supérieure à 40° C.

On considère qu'un nettoyage avec un produit alcalin chloré n'est efficace que si la température de la solution en fin de phase de lavage est au moins égale à 35°C.

#### (c) La durée de la phase de lavage

Elle est variable surtout selon la méthode et le type de nettoyage. Avec des produits alcalins chlorés ou des produits acides, un temps de circulation de la solution de 8 à 10 minutes constitue un optimum ; au-delà, on risque une chute de température importante des solutions accompagnée d'un nouveau dépôt des souillures, notamment des graisses, sur les parois.

Le nettoyage avec la méthode à l'eau chaude acidifiée doit durer au total, lui, 7 minutes.

#### (d) L'action mécanique

Dans les installations avec lactoduc, l'action mécanique est assurée par la circulation de l'eau ou des solutions aspirées par la dépression qui règne dans l'installation.

Dans les installations classiques, il convient de régler les quantités d'eau de telle façon que le retour dans le bac de lavage se fasse après l'entrée d'une certaine quantité d'air qui provoque la formation de bouchons remplissant complètement les canalisations, et dont la vitesse de déplacement assure un véritable brossage des parois. Pour un nettoyage efficace, la vitesse de ces bouchons doit être comprise entre 7 à 10 m/s ; cela est assuré par une bonne réserve de vide de l'installation de traite devant maintenir un niveau de vide suffisant malgré l'entrée d'air atmosphérique à l'intérieur de l'installation.

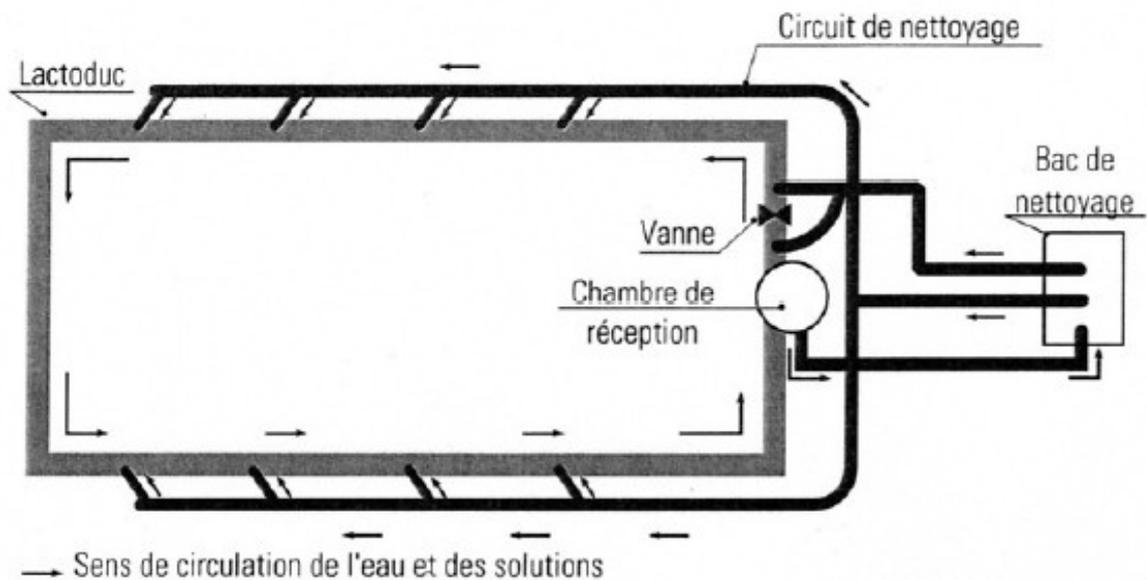
#### 04 Le circuit de nettoyage

Le circuit de l'eau et des solutions est un élément prépondérant de l'efficacité du nettoyage.

Il est intéressant de faire boucler le lactoduc pour organiser un sens unique des fluides pendant le lavage (Figure 54).

Figure 54 : Exemple de circuit de nettoyage pour un lactoduc bouclé

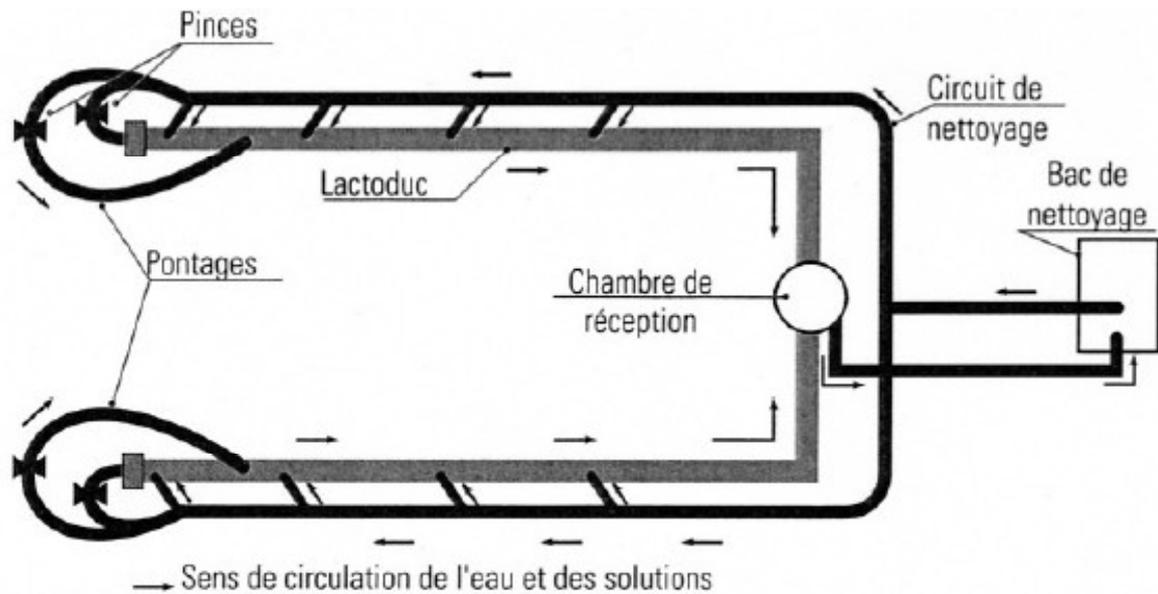
(source : Institut de l'élevage cité par Billon, 2004 a)



Lorsque le lactoduc est non bouclé, il doit être prévu un pontage entre l'extrémité du lactoduc et la canalisation de lavage ou le bac de lavage (Figure 55).

Figure 55 : Exemple de circuit de nettoyage pour un lactoduc non bouclé

(source : Institut de l'élevage cité par Billon, 2004 a)



Les quatre facteurs du nettoyage sont extrêmement liés les uns avec les autres ; si on fait varier l'un d'eux, un ou plusieurs autres doivent aussi varier dans les mêmes proportions mais en sens inverse pour maintenir l'équilibre (Billon, 2004 a).

### 05 L'eau de nettoyage

Il est impératif que l'eau utilisée pour les opérations de nettoyage désinfection de l'installation de traite soit potable pour éviter toute contamination par des micro-organismes. Dans le cas d'utilisation d'eau d'un captage privé, une analyse bactériologique annuelle s'impose (Colin, 1995).

## 06 Volume nécessaire

Il est très important d'utiliser la quantité d'eau optimum nécessaire à l'installation pour deux raisons essentielles :

- avec des quantités trop faibles : le nettoyage est inefficace, la température chute très vite, l'action mécanique est insuffisante ;
- avec des quantités trop fortes : le nettoyage peut aussi être inefficace si la concentration n'est pas respectée et l'action mécanique annulée par noyage des canalisations. De plus, les plus grandes quantités d'eaux blanches générées sont plus difficiles et plus onéreuses à traiter et/ou à stocker comme effluents.

Par exemple, pour des installations très répandues telles que les épis double équipement 8, 10 ou 12 postes avec lactoduc bouclé, sans injecteur d'air (cf. partie suivante) ni réchauffeur d'eau, la quantité d'eau ou de solution optimum par poste de traite et par phase de lavage se situe entre 4,5 et 6,2 litres selon le diamètre du lactoduc.

On peut être amené à utiliser des quantités d'eau supérieures en cas de présence sur l'installation de bords mesureurs, de compteurs à l'ait, d'un injecteur d'air ou encore d'un système de prérefroidissement.

Pour la méthode eau chaude acidifiée, les quantités d'eau préconisées sont les suivantes : 13 l/poste pour une installation classique, 15 l/poste pour une installation avec récipients de contrôle (Billon, 2004 a)

## 07 Mesures visant à limiter la contamination bactériologique du lait

L'industrie laitière se doit d'assurer la qualité microbiologique et l'innocuité des produits laitiers tout au long de la chaîne de production. Le concept « *grass to glass* » illustre la prise en compte des bonnes pratiques d'élevage, d'hygiène et de contrôle des points critiques. L'analyse de risque permet d'identifier les points faibles de la production tout au long de la chaîne alimentaire et

de mettre en place des mesures pour augmenter la sécurité alimentaire et la qualité microbiologique du lait.

A l'échelle de la ferme, beaucoup de microorganismes (spores butyriques, spores de *Bacillus cereus* et des *Listeria monocytogenes*) sont transmis de l'environnement au lait de tank via la peau des trayons. Cette contamination se produit lorsque les trayons sont recouverts de souillures ayant pour origine les fécès, la litière, le sol ou une combinaison de ces trois facteurs. En cas de nettoyage défectueux, la saleté présente sur l'extrémité des trayons est entraînée par le flux de lait lors de la traite, puis se dilue dans le lait et contamine le tank.

Pour établir l'importance de cette voie de contamination du lait de tank, il faut évaluer la quantité de souillures transmises au lait via les trayons.

À cette fin, onze exploitations allemandes ont été sélectionnées au hasard ; la quantité de salissures transmises a été estimée en utilisant les spores de bactéries mésophiles comme marqueur (Vissers *et al.*, 2007). La contamination entre les différentes exploitations varie de 3 à 300 mg/L avec une moyenne de 59 mg/L. Des différences significatives existent entre les fermes. Pour certaines, de grandes disparités entre les animaux sont observées. Vissers *et al.* supposent que la différence de niveau d'hygiène entre les fermes réside dans leur capacité à prévenir la transmission des salissures du trayon vers le lait pour chacune des vaches traites.

Une autre étude similaire (Stadhouders et Jorgensen, 1990) mais utilisant comme marqueur les spores butyriques avait donné les mêmes résultats à ceci près que les niveaux de contamination pouvaient être beaucoup plus élevés. Ainsi, il est possible d'émettre l'hypothèse que l'amélioration des conditions d'hygiène et des moyens de contrôle permettent de limiter les contaminations massives du lait.

La contamination du lait par des spores butyriques intervient notamment lorsque les trayons sont salis par des fécès. Cette contamination fécale trouve son origine dans l'ensilage qui peut recéler des quantités élevées de butyriques. La contamination en butyriques dépendrait davantage de la présence de fécès sur les trayons que de la quantité de salissures toutes origines confondues. En conséquence, il importe de minimiser la concentration en butyriques des fécès plutôt que de

vouloir limiter la contamination des trayons en général. Pour ce faire, il faut revoir les méthodes d'ensilage proprement dites, de conservation et de stockage hermétique.

L'hygiène des trayons ne doit pas être pour autant négligée car une différence significative (facteur 100) existe entre les fermes au meilleur niveau d'hygiène et les moins bonnes en ce qui concerne les spores de mésophiles. Ainsi, pour réduire les mésophiles, les mesures hygiéniques seraient préférables à celles visant à réduire la contamination des fécès (Vissers *et al.*, 2007).

Les problèmes de germes et de spores butyriques ne dépendent pas donc uniquement de l'équipement de traite mais pour une large part de la qualité des ensilages et de l'hygiène des trayons avant la traite. En ce sens, l'offre concernant les produits de nettoyage et de désinfection des trayons est très large et permet de limiter fortement les contaminations.

## )DInnovations en matière de nettoyage

### ()1 Installation d'injecteurs d'air

Pour les machines à traire avec un diamètre de lactoduc très élevé (supérieur à 63 mm), ou équipés de compteurs à lait, il est conseillé d'améliorer l'action mécanique du lavage par le montage d'un injecteur d'air. Cet appareil permet l'entrée d'air dans la machine selon un rythme et à un niveau bien déterminé, calculé en fonction de l'installation. Le nettoyage se fait alors par une succession de bouchons suivis d'espaces d'air. La vitesse optimum des bouchons est également de 7 à 10 m/s selon les installations. Ce dispositif conduit toutefois à une baisse rapide de la température de la solution de nettoyage ; pour y remédier, il faut légèrement augmenter la quantité d'eau de lavage, de l'ordre de 0,5 à 1 litre par poste de traite selon le type d'installation.

## (2) Un concept sans pré-lavage

Le nouveau concept de nettoyage des installations de traite « Lactivate® System » d'Ecolab est sans chlore ni iode et s'utilise sans pré-lavage (Billon, 2007) Ce concept permet d'obtenir un lait de bonne qualité bactériologique. Il permet aussi de diminuer le volume des eaux blanches et de faire quelques économies sur les différents paramètres agissant sur la filière de production, stockage et traitement des effluents.

### (a) Principe de fonctionnement

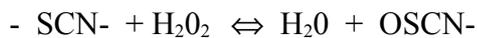
La phase alcaline détergente est assurée par Lactivate®CLEAN et la phase acide détartrante mais aussi désinfectante par Lactivate®ACID. Ces deux produits s'utilisent à faible concentration (0,25 %) et en alternance quotidienne. Contrairement aux autres produits, la phase acide et désinfectante ne contient ni chlore, ni iode, ni autre molécule désinfectante car le concept repose sur l'action bactéricide et bactériostatique du système lactopéroxydase / thiocyanate / peroxyde d'hydrogène. La lactoperoxydase est une enzyme naturellement contenue dans le lait et qui développe sous certaines conditions des capacités de purification du lait. Le concept de nettoyage étant activé par le lait, son utilisation doit se faire sans pré-lavage. La plage optimale d'utilisation se situerait entre 1 et 3 % de lait résiduel dans la solution de lavage et l'efficacité de nettoyage ne serait pas altérée jusqu'à un maximum de 5 % de lait résiduel.

### (i) Présentation du système lactopéroxydase

Les peroxydases sont des enzymes qui font partie des systèmes de défense naturelle non-immunitaires dans le lait mais aussi dans la salive, les larmes ou les sécrétions intestinales. Moins spécifiques que les éléments du système immunitaire, ces systèmes de protection jouent un rôle de défense contre la prolifération bactérienne.

Les peroxydases n'ont pas d'activité antibactérienne par elles-mêmes, mais mises en présence de cofacteurs déterminés, elles constituent un puissant système de défense. Ces cofacteurs sont, d'une part le peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$ , et d'autre part un ion qui, dans le cas du lait, est

l'ion thiocyanate SCN<sup>-</sup>. La réaction d'oxydation catalysée par la lactopéroxydase peut se résumer comme suit :



Le système lactopéroxydase est donc un système enzymatique composé de l'enzyme, lactopéroxydase, et de ses deux substrats, le peroxyde d'hydrogène et l'anion thiocyanate et dont le produit de réaction est l'anion hypothiocyanite qui est un bactéricide puissant (Perraudin, 1991)

#### (ii) Activité antimicrobienne de la lactoperoxydase

L'hypothiocyanite réagit principalement avec les groupements thiols et avec les formes réduites des nucléotides de la nicotinamide (NADH et NADPH). Ces derniers sont oxydés en NAD<sup>+</sup> et NADP<sup>+</sup>. Les groupes -SH appartiennent aux résidus cystéine des protéines, à la cystéine libre ou au glutathion réduit. Ils vont être oxydés en liens disulfures, en sulfényl thiocyanates (-S-SCN) et en acides sulféniques (-S-OH). Le système lactoperoxydase tue ou inhibe la croissance de nombreuses espèces de microorganismes. La lactoperoxydase est catalytiquement active à des concentrations aussi faibles que 0,5 g/l. L'activité de ce système a été abondamment rapportée contre des virus, des mycoplasmes, des bactéries, des champignons et même des parasites.

L'hypothiocyanite endommage également la membrane cytoplasmique des bactéries par un accroissement de perméabilité pour l'ion hydroxyde H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ce qui provoque un relargage d'acides aminés et de potassium entraînant la destruction de la bactérie. Il semble que la paroi cellulaire des gram positives soit un obstacle plus grand à l'action de l'hypothiocyanite que ne l'est la paroi cellulaire des bactéries gram négative (Perraudin, 1991)

#### (b) Résumé de l'essai terrain

##### (i) Matériel et méthode

Pour vérifier l'efficacité de ce concept à une concentration de 0,25 %, un essai a été conduit dans 14 élevages adhérents à une coopérative selon une étude comparative avec un concept de références classique. Les deux concepts ont été utilisés en alternance au cours de deux fois deux

périodes consécutives de trois semaines. En fin de chacune d'elles, un rinçage de l'installation à l'eau stérile a été réalisé afin de déterminer le pouvoir contaminant maximal des machines à traire. Les flores bactériennes suivantes ont été dénombrées : les germes totaux, les thermorésistants, les psychrotropes, les *Pseudomonas psychrotrophes* et les coliformes. Parallèlement, la qualité bactériologique du lait, germes totaux, de chaque exploitation a été enregistrée (Billon et Meffe, 2007).

### (ii) Présentation des résultats

Les résultats montrent que ce nouveau concept de nettoyage est efficace et permet d'assurer la propreté et la bonne désinfection des installations de traite. Bien que significativement plus importants lors des nettoyages avec ce nouveau concept, les dénombrements moyens observés dans les eaux de rinçage pour les flores mésophiles aérobies et thermorésistantes restent toujours bien en deçà des limites fixées par la norme. De plus, aucune différence n'a été mise en évidence entre les concepts sur la flore psychrotrophe, les *Pseudomonas psychrotrophes* et la flore coliforme dont les valeurs restent également bien en deçà des limites de la norme.

### (iii) Discussion et conclusion

On peut donc en conclure que malgré l'absence d'une molécule antibactérienne classique comme le chlore, le pouvoir contaminant des machines à traire nettoyées avec ce nouveau concept n'est pas très différent de celui des machines nettoyées avec un concept classique ce qui entraîne des résultats en élevages parfaitement compatibles avec la préservation d'une bonne qualité bactériologique du lait.

Toutefois, la suppression du pré-lavage impose un ciblage des élevages afin de s'assurer de la bonne conception et du bon fonctionnement de l'installation de traite comme de son système de nettoyage.

Cette innovation permet de proposer des produits plus respectueux de l'environnement car dépourvus de chlore, leur concentration d'utilisation permet de diviser de 2 à 4 la quantité d'emballages utilisés. Le protocole sans pré-lavage permet à l'éleveur d'effectuer une économie

d'un tiers de l'eau utilisée pour le nettoyage des installations. Cette économie d'eau se répercute aussi sous forme de diminution des épandages sur l'exploitation.

Les simulations économiques confirment l'intérêt de ce produit. Les économies sont plus ou moins importantes selon les situations. Par exemple, pour un quota moyen de 440 000 litres de lait, l'économie annuelle varie selon les situations entre 10 et 510 euros (Billon et Meffe, 2007).

## )E Limites du nettoyage et de la désinfection

La contamination bactériologique des laits de vache, évaluée à partir de dénombrements de germes totaux, a considérablement diminué depuis l'instauration de la loi Godefroy et la prise en compte de ce critère dans le paiement du lait aux producteurs. Aujourd'hui, près de 80 % des laits collectés en France présentent régulièrement un niveau de contamination inférieur à 50 000 germes totaux / ml : laits dits « ultra-propres » ou paucimicrobiens (Heuchel et Sommelier, 1996).

Ces résultats continuent d'être encouragés par un abaissement progressifs des seuils de classe de paiement. La poursuite d'une telle évolution n'est justifiée que si elle permet effectivement une meilleure maîtrise des différents aspects de la qualité des produits laitiers : sanitaire, organoleptique, technologique. Or le critère « germes totaux » n'est qu'un indicateur quantitatif de la contamination, d'autant moins corrélé aux différentes flores présentes dans le lait que son niveau est bas.

D'autre part, les industriels font état de certaines difficultés rencontrées avec les laits « ultra-propres », notamment pour les fabrications de pâte molle au lait cru. Les temps de coagulation de ces laits seraient allongés et les caillés fragiles au tranchage.

L'abaissement des seuils des classes de paiement de la qualité bactériologique représente des contraintes et des coûts pour les producteurs qui veulent atteindre les meilleurs niveaux de qualité : abaissement des températures de conservation du lait à la ferme, augmentation des quantités de solution de nettoyage des équipements de traite. On peut se demander s'il est justifié de viser des seuils inférieurs à 50 000 GT/ml. De plus, à ce niveau de qualité, le critère « germes totaux » n'est

vraisemblablement pas pertinent et il peut être plus intéressant de rechercher une amélioration qualitative plutôt que quantitative de la flore microbienne.

D'après une étude de Heuchel et Sommelier (1996), il ressort que le critère « germes totaux » est très peu corrélé aux flores microbiennes étudiées présentes dans les laits faiblement contaminés (moins de 100 000 GT / ml). Dans ces laits, les teneurs en flores spécifiques restent assez variables dans le temps selon les saisons et selon le lieu géographique. Cette variabilité est difficile à relier aux critères usuels d'évaluation des pratiques hygiéniques dans les élevages.

Après ensemencement par des ferments classiquement utilisés en industrie laitière, on n'observe pas de différences d'aptitudes à la coagulation et à l'acidification entre des laits faiblement (moins de 20 000 GT / ml) ou moyennement contaminés (50 000 à 100 000 GT / ml). Les normes vont sûrement devoir être révisées, et précisées qualitativement ou tout au moins devront être adaptées aux types de transformations auxquelles est destiné le lait.

## )F Automatisation du nettoyage

Les techniques de nettoyage sont désormais bien éprouvées et relativement satisfaisantes. Le point critique de cette étape est lié au facteur humain : dans les anciennes installations, le trayeur contrôle les différentes étapes du nettoyage. Il arrive ainsi qu'il ne respecte pas scrupuleusement la durée de chaque étape où les concentrations de produits. Ceci peut avoir des répercussions graves : lorsque le nettoyage est par exemple trop long, la température de l'eau diminue dans des proportions trop grandes et les résidus de lait peuvent alors se solidifier et se redéposer en différents endroits. Pour pallier ces variations, tous les fabricants proposent désormais des automates de lavage qui permettent de standardiser tous ces paramètres.

Les différents appareils proposés par les concepteurs ne seront pas détaillés dans ce travail car ils sont généralement équivalents les uns aux autres. Les différences résident dans leur capacité et leur degré d'automatisation (méthode de déclenchement, approvisionnement en détergents, réglage des phases). Outre leur coût, leur fonctionnement apporte satisfaction aux éleveurs les utilisant.



## )IX Robots de traite et qualité du lait

Introduites sur le marché européen au début des années 1990, les installations de traite robotisées ont vraiment commencé à se développer presque 10 ans plus tard, vers 1999. On dénombrait alors environ 500 fermes équipées de tels dispositifs, ce qui restait malgré tout très modeste. À partir de cette date, la croissance est devenue exponentielle et le robot de traite s'est répandu dans le monde entier. Cependant, plus de 80 % des installations robotisées sont localisées en Europe du nord-ouest, là où la taille des troupeaux est particulièrement adaptée à ce type de machine et où la main d'œuvre dans les élevages reste rare et chère (Pomies, 2007). D'après les constructeurs, dans 50 % environ des projets de nouvelle installation ou de forte rénovation de l'installation de traite, l'achat du robot est évoqué et demande à être chiffré. C'est dire l'intérêt des éleveurs pour ces machines qui sont devenues, dans leur esprit, une alternative réaliste à la traite conventionnelle, malgré les imperfections manifestes qui ont entaché les premières implantations et le problème économique lié à un investissement très élevé, susceptible de mettre en péril la pérennité de l'exploitation (De Koning et Rodenburg, 2006).

Si l'intérêt des éleveurs pour la traite robotisée reste important, voire se renforce, c'est que la demande pour limiter l'astreinte de la traite ne faiblit pas, que l'intérêt pour les nouvelles technologies augmente et que les matériels ont réalisé de substantiels progrès en fiabilité et en efficacité. Enfin, l'offre des constructeurs est devenue plus conséquente, donc la concurrence plus rude, ce qui en général profite au consommateur.

Il existe actuellement, en France, cinq constructeurs qui proposent des robots, soit uni-stalle (Delaval, Lely et Packo-Fullwood), destinés à la traite de troupeaux n'excédant pas 65-70 vaches, soit multi-boxes (RMS et Insentec-Christensen), destinés à traire jusqu'à 220 vaches selon le nombre de stalles (de 1 à 5).

Les principes fondamentaux de fonctionnement des robots n'ont guère changé depuis leur apparition, mais de nombreuses fonctions et composants ont été améliorés dans leur efficacité et leur fiabilité. Sur les nouveaux modèles, la détection des trayons dans l'espace se fait maintenant grâce à plusieurs rayons lasers, ou un seul couplé à une caméra numérique. Les bras « poseurs » sont positionnés différemment et ont gagné en efficacité et en rapidité de pose des manchons trayeurs. Si le nettoyage des trayons reste uniforme quel que soit le niveau des souillures présentes sur les mamelles, des réglages plus fins, quartier par quartier, sont maintenant possibles (Billon et Pomies, 2006).

Le recul d'une quinzaine d'années maintenant permet d'apprécier leur impact sur la qualité du lait par rapport aux installations conventionnelles.

## )A Influence sur la production laitière

Historiquement, en traite conventionnelle, il a toujours été admis que le passage de 2 à 3 traites par jour permettait un gain de production laitière : 6 à 25 % (Erdman et Varner, 1995).

Il semble qu'il en soit différemment pour les robots, même si des données non publiées du contrôle laitier néerlandais font mention d'un gain moyen de 11,4 % de lait pour les éleveurs passant de 2 traites par jour en traite conventionnelle à 2,8 traites par jour en moyenne au robot. Toutefois ces résultats sont obtenus sans analyse précise de la part de l'augmentation du nombre de traites parmi les autres facteurs. En effet, des observations de terrain montrent que dans bien des cas, le passage au robot, qui sert aussi de distributeur automatique de concentrés, entraîne une augmentation sensible de l'ingestion d'aliments, qui pourrait expliquer en grande partie l'augmentation de la production laitière.

Billon et Tournaire (2002), travaillant sur des lactations de plus de 200 jours avant (à 2 traites par jour) et après l'arrivée du robot (2,8 traites par jour en moyenne) n'ont pas mis en évidence de différence significative de production de lait (- 0,7 %).

Il semble donc que l'augmentation réelle de production de lait liée au robot soit relativement faible.

## )B Influence sur la composition du lait

En règle générale, la traite robotisée entraîne une légère chute du taux butyreux, de l'ordre de 0,2 à 0,8 g/l, essentiellement due à l'accroissement de la fréquence de traite (Billon et Tournaire, 2002). Pour le taux protéique, la baisse est négligeable. De fait, compte tenu des grandes variations individuelles entre animaux, on ne peut pas dire que la traite robotisée pénalise vraiment la composition du lait.

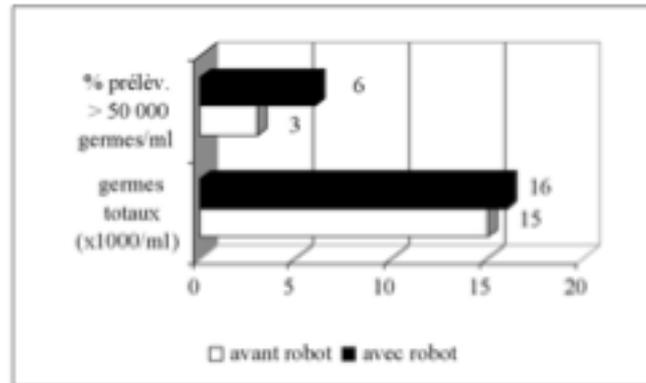
## )C Influence sur la qualité bactériologique

Bien que la traite robotisée utilise en grande partie les mêmes technologies que les installations conventionnelles, on a pu remarquer que la qualité bactériologique du lait traité avec des robots était souvent affectée, comparée aux résultats observés avant l'arrivée du robot dans les mêmes exploitations (De Koning et Rodenburg, 2006). Cependant, dans la plupart des cas, cette détérioration est passagère et tout revient pratiquement à l'identique dans les 6 à 8 mois qui suivent l'introduction du robot.

Billon et Tournaire (2002) n'ont pas trouvé d'évolution négative du critère « germes totaux » moyen, mais un doublement significatif du nombre de prélèvements supérieurs à 50 000 germes totaux / ml sur une année (Figure 56).

Figure 56 : Evolution de la qualité bactériologique du lait avant et après l'arrivée du robot

(source : Billon et Tournaire, 2002)



La qualité bactériologique du lait dépend à la fois du nettoyage de l'installation de traite et de l'efficacité du nettoyage des trayons avant la traite. Les problèmes rencontrés sur ce dernier point ont pour principale origine qu'un robot ne sait pas distinguer le degré de salissure de la peau des trayons et donc les nettoie de façon uniforme. Le nettoyage des trayons ne sera pas envisagé dans ce travail car il ne concerne pas à proprement parler l'installation. Il n'en demeure pas moins que des différences évidentes entre marques existent.

Le nettoyage de la partie « machine à traire » est réalisé, selon les marques, soit par un automate classique, soit à l'aide d'un système à eau bouillante. Selon les modèles et le nombre de stalles, il dure de 37 à 130 min/j (Schuiling, 2004).

Des études particulières ont été menées afin d'optimiser le nombre quotidien de nettoyages complets de la machine à traire, dans le respect des exigences de qualité du lait. Lorsque trois nettoyages par jour sont réalisés au lieu des deux traditionnels, les résultats sont significativement meilleurs pour les germes totaux, mais aussi pour les germes spécifiques du type coliformes, thermorésistants et même psychrotrophes. Cependant, même avec deux nettoyages, les résultats se situent, en règle générale, bien en deçà des limites autorisées pour le paiement du lait. Trois

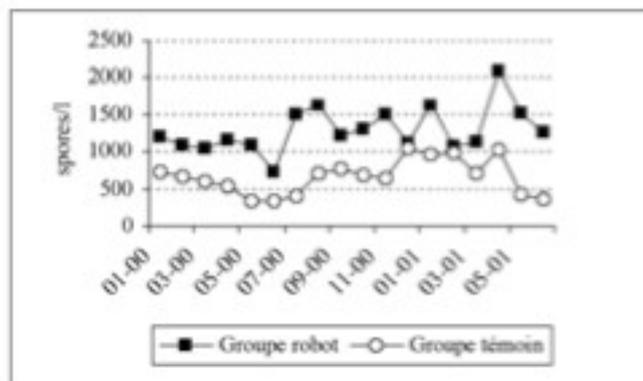
nettoyages pourraient donc être conseillés plutôt dans des conditions spécifiques : périodes chaudes à risque ou grande distance entre la pompe à lait et la cuve de réfrigération par exemple (Schuiling, 2004).

## )DInfluence sur le comptage de spores butyriques

Billon et Tournaire (2002) ont montré une réelle dégradation du nombre de spores butyriques dans le lait : + 30 % ; variable selon les années et la façon dont les ensilages ont été réalisés. La figure 57 montre l'évolution sur 18 mois du nombre de spores entre des installations robotisées et un groupe de fermes aux caractéristiques identiques en traite conventionnelle.

Figure 57 : Evolution durant 18 mois des spores butyriques dans les installations robotisées en comparaison avec un groupe témoin

(source : Billon et Tournaire, 2002)



La contamination initiale des trayons entre fermes apparaît souvent comme ayant une incidence plus grande que le système de nettoyage lui-même.

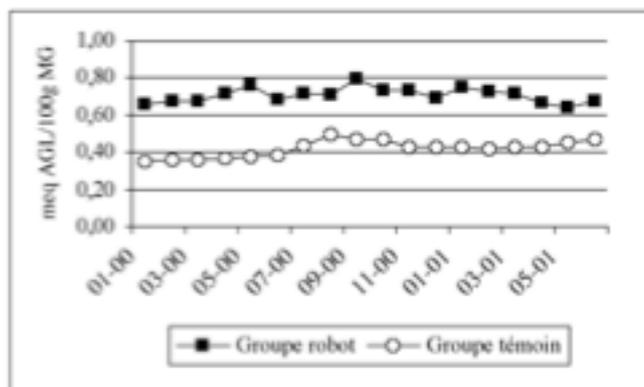
## )E Influence sur la lipolyse

L'augmentation de la lipolyse du lait avec la traite robotisée constitue certainement l'une des conséquences majeures de l'introduction de cette technologie dans les exploitations.

Cependant, avant l'arrivée des robots, il avait déjà été observé une augmentation de la lipolyse consécutive au passage de 2 traites à 3 traites par jour (partie précédente sur la lipolyse). Billon et Tournaire (2002) ont chiffré cette augmentation moyenne à 39 % dans des exploitations venant d'acquérir un robot et ont constaté un niveau supérieur par rapport à un groupe témoin d'exploitations identiques comme l'illustre la figure 58.

Figure 58 : Evolution durant 18 mois de la lipolyse dans les installations robotisées comparée avec un groupe témoin

(source : Billon et Tournaire, 2002)



Outre la réduction de l'intervalle entre les traites, il faut noter que certains modèles de robots laissent entrer de l'air dans les canalisations de lait en plus grande quantité que la norme ne le prévoit. C'est aussi un facteur d'augmentation des acides gras libre du lait, parfois conjugué à un effet « animal » ou à un problème d'alimentation.

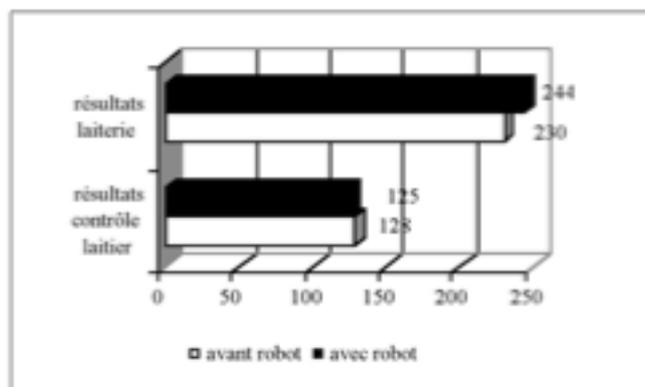
## )F Influence sur le comptage cellulaire somatique

De nombreuses études se sont penchées, en priorité, sur l'influence de la traite robotisée sur la concentration en cellules somatiques (CCS) du lait. La tendance générale serait une dégradation de la CCS dans les 6-8 mois qui suivent la mise en route du robot et un retour à la situation antérieure, voire une amélioration par la suite.

Billon et Tournaire (2002), sur 46 exploitations, n'ont pas trouvé de différences de CCS moyen entre les résultats du contrôle laitier (animaux individuels) et les résultats de la laiterie (tank), avant et après la mise en route de l'installation robotisée, comme l'illustre la figure 59.

Figure 59 : Evolution de la concentration en cellules somatiques moyenne (X 1000 / ml)

(source : Billon et Tournaire, 2002)



Cependant, l'analyse plus fine de la population montre que les élevages avec les plus hautes CCS avant l'arrivée du robot ont vu leurs résultats se dégrader, alors que ceux qui avaient régulièrement des résultats corrects ne subissaient aucune influence, voire constataient une légère amélioration.

En Europe, dans les 5 à 10 % des cas où l'implantation d'un robot a été un échec, le nombre de cellules somatiques et de mammites cliniques a en général considérablement augmenté, jusqu'à atteindre des niveaux non acceptables pour l'éleveur. Si ces échecs sont souvent liés à des problèmes d'installation du robot, il semble aussi exister des disparités de réactions entre les animaux d'un même troupeau lors du passage à la traite robotisée. Ainsi, l'étude de Poelarends *et al.* (2004) a mis en évidence que l'augmentation de CCS la plus grande était observée pour les vaches de moins de 60 jours de lactation, ainsi que pour les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> lactations. Par contre aucune différence n'était remarquée pour les primipares et pour les animaux les plus âgés. Ces auteurs concluent donc qu'une attention particulière doit être apportée aux vaches fraîches vèlées lors de l'introduction du robot.

## )G Séparation des laits anormaux

La directive européenne 89/362/EEC de 1989 stipule *qu'avant la traite d'une vache, le trayeur doit inspecter l'apparence de son lait, et que s'il détecte la moindre anomalie ce lait ne doit pas être commercialisé.*

A l'évidence, cela n'est pas réalisé avec un robot de traite. Il apparaît donc nécessaire d'équiper les robots de dispositifs suffisamment précis pour écarter du tank d'éventuels laits anormaux. Cela se fait déjà par simple programmation du logiciel du robot, quand l'éleveur sait que l'animal est malade, sous antibiotiques ou en phase colostrale. C'est évidemment plus difficile quand survient un accident soudain, par définition non prévu, comme par exemple une mammite.

Les dispositifs de détection des laits anormaux étant également parfois utilisés dans les installations de traite conventionnelle, ce point sera détaillé dans la partie suivante.

## )XRôle informatif

Aujourd'hui se développent des installations de traite de plus en plus grandes où un seul homme peut traire jusqu'à 125 vaches à l'heure. Dans ces conditions, seules quelques secondes sont disponibles pour la préparation de la mamelle et l'examen des premiers jets. Les exploitations dotées d'un système de traite robotisée se passent de toute intervention humaine. Ces nouvelles pratiques ont nécessité la mise en place de détecteurs de mammites et de lait anormaux.

Avec le développement d'installations de grande capacité et les robots, se sont développés des détecteurs capables de reconnaître les laits anormaux, les mammites cliniques et les vaches malades.

Pour la détection des mammites cliniques, les détecteurs doivent permettre à l'éleveur de traiter les vaches présentant une mammite clinique plus rapidement. Il est admis que de traiter médicalement le plus rapidement possible apporte les meilleurs taux de guérison. Ces appareils de détection servent en réalité à éditer des listes de vaches présentant des valeurs anormales pour les paramètres étudiés. Ces listes sont utilisées ensuite pour examiner avec attention chaque vache citée. Le nombre de faux positifs ne doit pas être trop élevé ce qui implique une bonne spécificité. Cette spécificité doit être encore plus élevée pour les robots de traite où il est plus difficile de contrôler les vaches inscrites sur la liste. D'autre part, bien que les premiers jets soient rarement bien examinés dans les installations de traite conventionnelle, un trayeur attentif détectera la majeure partie des mammites. Dans de telles conditions, la détection des animaux malades requiert également l'installation de détecteurs au sein des robots de traites et des installations de grande capacité où le personnel change régulièrement (Hogeveen et Ouweltjes, 2003).

## )AMesure de la conductivité électrique du lait

La conductivité d'une substance dépend de sa résistance électrique. Pour le lait, cette caractéristique est déterminée par sa concentration en ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . En raison de

l'accroissement de la perméabilité capillaire, les mammites provoquent un changement conséquent des équilibres ioniques entre le lait, le sang et le liquide extracellulaire, qui se traduit par une diminution de sa concentration en lactose et en ion  $K^+$  et par une augmentation de sa concentration en ions  $Na^+$  et  $Cl^-$ , ceci afin de maintenir l'équilibre osmotique de la mamelle (Kitchen, 1981). Ce changement d'équilibre ionique se traduit par une brusque augmentation de la conductivité du lait.

La conductivité du lait sain est de 4,0 à 5,0 mS à 25°C (Hamman et Zecconi, 1998). Elle augmente avec la température. Lors de la traite, le lait recueilli est aux environs de 38°C ; la conductivité est alors de 5,5 à 6,5 mS et les variations au cours de la traite sont négligeables (Norberg *et al.*, 2004).

Lorsque la conductivité, à l'échelle d'un quartier ou d'une vache augmente, une mammite clinique ou subclinique est à suspecter. Cependant la corrélation entre la conductivité et le comptage cellulaire n'est pas très forte car plusieurs autres facteurs interviennent : température, stade de lactation, taux de matière grasse, intervalle entre les traites, race.

Beaucoup d'études ont été réalisées quant à l'apport de la mesure de la conductivité électrique pour la détection des mammites. Les résultats sont très variables. En moyenne, la sensibilité est de 66 % et la spécificité de 94 %. Certaines expériences ont obtenu une sensibilité de 100 % pour détecter les mammites cliniques avant l'apparition de signes, mais ces mammites étaient induites artificiellement. De plus, ces mesures étaient faites avec des appareils portatifs et non inclus de manière fixe dans le dispositif de traite (Milner *et al.*, 1996).

Une étude plus récente de De Mol *et al.* (2001) a présenté des résultats plus intéressants : des dispositifs de mesure de conductivité ont été installés dans quatre fermes et laissés en place plusieurs années. Les données du fabricant indiquaient une sensibilité comprise entre 18 et 36 % et une spécificité de 98,1 à 99,4 % pour la seule mesure de la conductivité. À cet unique paramètre, a été rajoutée la mesure de la quantité de lait recueilli et sa température. La combinaison de ces trois paramètres, après modélisation, permet d'accroître la sensibilité et la spécificité de la détection : 80 et 98,6 % respectivement. Ces résultats encourageants pourraient être utilisés afin d'établir des listes de vaches suspectes de mammites cliniques.

Dans le passé, le développement de tels détecteurs correspondait plutôt à des pressions technologiques qu'à une réelle demande. Comme il existait une corrélation entre les mammites et la conductivité électrique et que les appareils de mesures de conductivité étaient relativement faciles à mettre en place, c'est cette méthode de détection qui s'est développée et vendue sans que ce soit véritablement un besoin. La détection des mammites cliniques ne pose pas un problème majeur dans les installations non robotisées et la détection des mammites subcliniques par la mesure de la conductivité n'est pas satisfaisante pour le moment. Contrairement à ce qui est couramment fait, l'obtention de résultats précis nécessite d'effectuer ces mesures à l'échelle du quartier et non de l'animal. Les futurs détecteurs intégreront vraisemblablement plusieurs paramètres afin d'améliorer les qualités du test de dépistage.

## )B Apports de la colorimétrie

Une alternative pour la détection des laits anormaux est la colorimétrie. Lorsqu'un rayon de lumière naturelle, qui contient une quantité égale de toutes les longueurs d'ondes visibles du spectre, atteint une matière, certaines longueurs d'ondes vont être absorbées par la matière et d'autres réfléchies. Ces dernières sont celles qui sont détectées par l'observateur. Si toutes les longueurs d'onde sont réfléchies de manière équivalente, la matière sera perçue de couleur blanche. Si la matière absorbe préférentiellement quelques longueurs d'onde, la fraction réfléchie contiendra celles restantes et la matière apparaîtra coloré. Si la matière absorbe toutes les longueurs d'onde, aucune ne sera réfléchie et elle apparaîtra noire. Ces phénomènes sont à la base de la colorimétrie.

Le lait est un milieu très trouble avec un faible coefficient d'absorption. Lorsque la lumière pénètre dans le lait, elle est dispersée dans toutes les directions et les ondes en résultants sont captées par le détecteur. Les données sont corrigées selon la température. Les expériences en laboratoire ont mis en évidence la répétabilité des mesures.

Le lait a une couleur légèrement jaunâtre. Ceci implique qu'une petite fraction du bleu sera absorbée par le lait. Ainsi la lumière réfléchie par le lait comportera légèrement plus d'ondes rouges et vertes que la lumière incidente. La couleur jaune correspond au recouvrement des ondes rouges et vertes. D'autre part, le lait des quartiers infectés ou le colostrum présente une couleur jaune plus marquée. Cette modification résulte d'une absorption différente de la fraction bleue.

En outre, le lait peut avoir une couleur rougeâtre lors de mammites ou lorsque du sang y est mélangé (traumatismes du trayon). Dans ce cas, le lait absorbe le vert et le bleu ; ainsi le rouge prédomine dans la lumière réfléchi. Le lait contenant des cailles est perçu comme une substance non homogène et entraîne des changements nets d'absorption des ondes (Ouweltjes et Hogeveen, 2001).

Espada et Vijverberg (2002) a mené une étude pour établir les principes de l'usage de la colorimétrie comme outil pour la détection des laits anormaux.

### Matériels et méthodes

Deux exploitations dotées de robot de traite de type Astronaute de Lely, ont été équipées de détecteurs de conductivité sur chacune des quatre lignes de traite. Pendant 4 mois, la colorimétrie du lait de toutes les traites a été analysée : des mesures ont été effectuées tous les 100 ml pendant chaque traite pour représenter l'évolution de la couleur. En outre, la couleur moyenne du lait de chaque quartier a été calculée. Le lait des quartiers suspects de mammites a été inspecté visuellement pour y détecter les anomalies possibles. En plus, des mesures de la conductivité, des comptages cellulaires et des analyses bactériologiques ont été menées pour confirmer la présence de mammites.

### Résultats et discussion

La fréquence de distribution des couleurs rouge, vertes et bleues a été étudiée.

La composition du lait évolue au cours de la traite. La matière grasse du lait, à l'origine de sa couleur jaune, est ce qui varie le plus au cours de la traite. Les premiers jets contiennent moins de 1,5 % de matière grasse alors qu'en fin de traite ce composant atteint 15 %. Lorsque la teneur en matière grasse augmente, le lait devient de plus en plus jaune : la réflexion de la couleur bleue diminue par rapport au rouge et au vert.

La colorimétrie du lait varie également selon l'intervalle entre les traites. L'explication réside dans le fait que la modification des intervalles entraîne une modification dans la composition

du lait. Lorsque l'intervalle entre deux traites consécutives augmente, la teneur en matière grasse diminue et le lait apparaît moins jaune et inversement.

Le colostrum se caractérise par une composition différente de celle du lait dans les semaines qui suivront. Sa composition en protéines et parfois en matières grasses est supérieure. Ainsi, il apparaît également plus jaune que le lait normal.

Le lait des vaches atteintes de mammites cliniques est plus jaune ou rouge ou présente une apparence plus aqueuse. Parfois même, des caillots sont observables notamment lors des premiers jets. La couleur rouge est celle qui présente le plus de variations et la bleue celle qui décroît le plus. De même la restauration du spectre normal est progressive lors de la guérison de la mammité. Les couleurs rouges et vertes reviennent rapidement dans leur proportion initiale alors que pour le bleu, le délai est plus long.

### Conclusions de l'étude

Le lait des animaux sains présente en général une colorimétrie équivalente entre les différents quartiers au cours du temps. Quelques légères variations apparaissent tout de même lorsque sa composition évolue suite à une modification des intervalles de traites par exemple. Cependant, il reste dans une certaine gamme de spectre constant.

Lorsque la vache produit du colostrum, la colorimétrie est différente, notamment le niveau de bleu qui est plus bas que pour le reste du troupeau. Cette différence peut être exploitée pour mettre en place des systèmes de séparation automatique du colostrum.

Lorsqu'une vache souffre de mammité clinique, les anomalies du lait entraînent un changement de colorimétrie par rapport aux traites antérieures ou aux autres quartiers. Ces changements significatifs pourraient également servir de base au développement de systèmes de séparation automatique des laits anormaux.

Des études plus larges sur le terrain doivent être faites pour apporter des informations quant à la sensibilité et à la spécificité de la colorimétrie en pratique.

## )C Autres méthodes de détection des laits anormaux

D'autres principes que la conductivité électrique ou la colorimétrie sont également en cours d'étude. L'un d'entre eux, mis au point en Nouvelle-Zélande est basé sur la réaction entre un tensioactif anionique et l'ADN des protéines de cellules somatiques, comme le fait le test CMT (*Californian Mastitis Test*). C'est en fait un CMT automatique, *on-line*, qui devrait permettre une bonne précision et dont les premiers résultats en laboratoire et sur robots sont très encourageants.

D'autres capteurs sont en préparation pour la détection des grumeaux dans le lait par caméra, ou des bio-capteurs analysant la LDH (lactate déshydrogénase) ou l'amyloïde A, substances dont la variation soudaine dans le lait marque le déclenchement d'une infection bien avant l'arrivée des cellules somatiques (Billon et Pomies, 2006)

## )D Compteur cellules somatiques

DeLaval a mis au point un compteur cellulaire portable de 4kg, autonome en batterie. La plage de mesures possible est de 10 000 à 4 000 000 cellules somatiques par ml, le résultat du s'affiche clairement sur l'écran en moins d'une minute, après que la recharge ait été insérée dans l'appareil. Son fonctionnement est basé sur le comptage de cellules somatiques teintées et rendues fluorescentes par un réactif ADN spécifique : Propidium Iodide.

Ce système présente l'avantage de détecter précocément des vaches atteintes de mammites, de renseigner précisément sur l'hygiène mammaire par vache et par quartier pour effectuer un tarissement raisonné, de contrôler les vaches sous traitement.

Bien que ce système ne soit pas intégré dans l'installation mais utilisé au besoin par le trayeur, on peut imaginer que dans un avenir plus ou moins proche, toutes les installations seront équipées en routine de ce genre d'appareils sur chacun des postes.



# CONCLUSION

Le fonctionnement de la traite mécanique est basé sur l'équilibre parfait d'un binôme : le trayeur et la machine à traire. Le rôle des deux partenaires est clair : au trayeur de s'assurer de l'hygiène des trayons et de provoquer la descente du lait ; à la machine à traire ensuite de récolter ce lait de manière hygiénique et non agressive pour les trayons, de l'acheminer et de le stocker sans en altérer la qualité.

Dans son fonctionnement général, la machine à traire n'a pas subi d'évolutions majeures depuis les années 80. Le principe d'alternance succion - massage reste le même. Quelques paramètres tels que niveau de vide, réglage des pulsateurs, diamètre des lactoducs ont été ajustés au fil du temps. La dépose automatique a révolutionné le travail du trayeur et amélioré nettement la santé de la mamelle ; bien que cette nouveauté soit antérieure aux années 80, ses réglages sont une préoccupation encore d'actualité.

Aujourd'hui, les innovations proposées consistent surtout en de nouveaux appareils de mesure et de monitoring de la traite en relation avec l'informatisation et l'automatisation massive des élevages.

Il ressort néanmoins de cette étude que les objectifs des éleveurs, concernant la santé de la mamelle majoritairement, et la qualité du lait dans une moindre mesure, dépendent davantage de l'adéquation entre différents paramètres que du réglage d'un seul.

Bien que le confort du trayeur n'ait pas été abordé, c'est sûrement dans ce domaine que les innovations ont été les plus nombreuses avec la mise en place de la traite par l'arrière et des installations rotatives ou encore le robot de traite.

Outre le contrôle annuel obligatoire des machines à traire qui assure un entretien régulier, une perspective intéressante est offerte par le contrôle dynamique des installations qui s'effectue en présence des animaux et permet d'évaluer simultanément la stabilité du niveau de vide en tout point des canalisations, l'écoulement du lait et le comportement des animaux.



## BIBLIOGRAPHIE

BARONE R. 1990. Anatomie comparée des mammifères domestiques – Tome 4 : Spanchnologie II. Ed. Vigot, Paris, 951 pp.

BAXTER J.D, ROGERS G.W, SPENCER S.B, EBERHART R.J. 1992. The effect of milking machine liner slip on new intramammary infections. Journal of Dairy Science. 75 1015-1018.

BILLON P, GAUDIN V. 2001. Efficacité du rinçage de l'intérieur des manchons trayeurs entre deux vaches. Etude du système « DRM » commercialisé par la société Deboffles. Compte rendu n°2013106. Avril 2001.

BILLON P, TOURNAIRE F. 2002. Rapport Institut de l'Elevage. Journées techniques des 8, 12 et 14 mars 2002, 17-31.

BILLON P. 2003 a. Comparaison des manchons trayeurs en silicone et des manchons trayeurs en caoutchouc pour la traite des vaches laitières. Etude en cours débutée en 2001. Institut de l'élevage. Bilan d'activité.

BILLON P. 2003 b. Influence de la durée des phases de pulsation et du niveau de vide sur les paramètres de traite et la santé des mamelles des vaches laitières. Institut de l'Elevage. Etude du département technique d'Elevage et Qualité. 15 septembre 2003.

BILLON P, GAUDIN V, MARNET P.G. 2003. Influence des niveaux de vide bas sur la traite et la santé des mamelles des vaches laitières. Institut de l'Elevage. 9 octobre 2003.

BILLON P. 2004 a. Recommandations sur l'hygiène de la machine à traire. In : Session RETCR 2004. 7 -11 juin 2004.

BILLON P. 2004 b. Caractéristiques dimensionnelles et de fonctionnement des principaux faisceaux trayeurs commercialisés en France. Etude en cours débutée en avril 2004. Institut de l'Elevage. Bilan d'activité.

BILLON P, GAUDIN V, HUNEAU T. 2006. Influence de l'attente entre la stimulation de la mamelle et la pose des faisceaux trayeurs sur la traite et la qualité du lait. Institut de l'Elevage. Compte rendu n°14 06 31 016. Département Techniques d'Elevage et Qualité. Service conduite et traite des troupeaux laitiers. Décembre 2006.

BILLON P, POMIES D. 2006. Le point sur la robotisation de la traite 15 ans après l'apparition des premiers systèmes dans les fermes. Rencontres recherche ruminants 2006. 143-150.

BILLON P, MEFFE N. 2007. Etude du pouvoir contaminant des machines à traire nettoyées avec un nouveau concept de produits sans prélavage. Résultats d'un essai réalisé dans 14 élevage. Institut de l'élevage. Février 2007.

BILLON P, GAUDIN V, HUNEAU T. 2007. Recherche de débit optimal de lait au moment de la dépose des faisceaux trayeurs chez la vache laitière. Institut de l'Elevage. Compte rendu n°14 07 31 006. Département Techniques d'Elevage et Qualité. Service conduite et traite des troupeaux laitiers. Février 2007.

BOUDRY B. 2005. Traire un lait de qualité, une attention de tous les jours. Qualité et gestion du troupeau. Journée d'étude des AREDB d'Aubel, de Herve-fléron-Visé et de Montzen et de la région wallone – DGA – Direction du Développement et de la vulgarisation. 29 novembre 2005

BOUMATIC. Document technique. Flo Star Max®. 4 pages

BOURON M, BILLON P, LANGEARD J, LECLER D, MARTEL C. 1995. 1 000 & 1 Conseils pour bien traire. Guide d'entretien et d'utilisation de la machine à traire. Document Institut de l'Elevage.

BROUILLET P, COUSSI G, LACOMBE JF, SIMONIN F. 1995. Le trayon, carrefour des microbes. Dépêche vétérinaire, Supplément technique n°42.

BROUILLET P, FEDERICI C, DUREL L. 2002. L'examen des trayons : les lésions liées à la traite. In : Proceeding Journées Nationales des GTV 2002. 333-338.

CAPUCO A.V, MEIN G.A, NICKERSON S.C, *et al.* 1994. Influence of pulsationless milking on teat canal keratin and mastitis. *Journal of dairy science.* 77 : 64-74.

CHILLIARO Y, LAMBERET G. 1984. La lipolyse dans le lait : les différents types, mécanismes, facteurs de variation, signification pratique. In : comptes rendus du Colloque INRA-ENSAR-INAPG sur la composition chimique du lait et ses incidences technologiques. Rennes, 26-28 septembre 1984.

COFIT. 2007. Hygiène de la machine à traire : recommandations. Application Juillet 2007. COFIT : secrétariat Institut de l'Élevage, 149 rue de Bercy, 75595 Paris cedex 12. Application

COLIN A. 1995. Nettoyage de l'installation de traite. Objectif : qualité du lait. Dossiers techniques Néolait.

DAVIS M.D, REINEMANN D.J, MEIN G.A. 2000. Effect of liner age on milking characteristics. In Proceeding of 39th Annual Meeting of the National Mastitis Council, Atlanta, Georgia.

DE KONING K, RODENBURG J. 2006. Automatic milking, a better understanding. Wageningen Academic Publisher, 27-37.

DE MOL R.M, OUWELTJES W, KROEZE G.H, HENDRICKS M. 2001. Detection of estrus and mastitis : Field performance of a model. *Appl. Eng. Agric.* 17 : 399-407

DE VliegHER S, LAEVENs H, BARKEMA H.W, OPSOMER G, HEMLING T, KRUIF A. 2003. Short-term effect of transition from conventional to automated milking on teat skin and teat end condition. *Journal of Dairy Science.* 86(5) 1646-52.

ESPADA E, VIJVERBERG H. 2002. Milk colour analysis as a tool for the detection of abnormal milk. Page IV28-IV38 in Proceedings First National Animal Conference Robotic Milking, Toronto, Canada.

ERDMAN RA, VARNER M. 1995. Fixed yield responses to increased milking frequency. *Journal of Dairy Science.* May :78(5) :1199-203

FEDERICI-MATHIEU C, GODIN M. 2002. La machine à traire : fonctionnement, incidence sur la santé des mamelles. In : Journées nationales GTV, Tours, 29-30-31 mai, 369-395.

GAUCHOT J.Y. 1993. Machine à traire et hygiène de la mamelle. Approche pratique. Thèse Toulouse 1993. n°102. 96 P.

GIE Lait-Viande de Bretagne. 1984. Étude des principaux facteurs de dégradation lipolytique des laits. 119 pages.

GILLON J. 2002. Paiement du lait. Centre Interprofessionnel Laitier Bretagne – Pays de Loire. Novembre 2002. 2 pages

GOURREAU JM, ARFI L, BROUILLET P, COUSSI G, FIENI F, LACOMBE JF, PAULIZZI L, SIMONIN F, RADIGUE PE. 1995. Accidents et maladies du trayon. Ed. France Agricole, Paris, 287 pp.

GRIFFIN T.K, WILLIAMS R.L, GRINDAL R.J, NEAVE F.K, WESTGARTH D.R. 1982. Effect of the method of removal of the milking machine cluster on new udder infection. Journal of Dairy research. 49, 361-367.

GRIFFIN T.K, WILLIAMS R.L, GRINDAL R.J, NEAVE F.K, WESTGARTH D.R. 1983. Use of deflector shields to reduce intramammary infection by preventing impacts on the teat ends of cows during machine milking. Journal of Dairy Research. 50, 397-404.

GRIFFIN T.K, GRINDAL R.J, BRAMLEY A.J. 1988. A multi-valved milking machine cluster to control intramammary infection in dairy cows. Journal of Dairy Research. 55, 155-169.

GRINDAL R.J, GRIFFIN T.K. 1989. Effect of hydraulic milking on milking performance, teat condition and lipolysis. Journal of Dairy Research 56, 45-33

HALE M, BOAST D, MIDDLETON N, OHNSTAD I, HILLERTON E. 2002. Variation in the surface of a milking liner after 4000 milkings. In Proceedings of the British Mastitis Conference (2002) Brockworth, p 108-109.

HAMANN J, MEIN G.A, WETZEL S. 1993. Teat tissue reactions to milking : effects of vacuum level. *Journal of Dairy science*. 76 : 1040-1046

HAMANN J, MEIN G.A. 1996. Teat thickness changes may provide biological test for effective pulsation. *Journal of Dairy Research*. 63 : 179-189.

HAMANN J, ZECCONI A. 1998. Evaluation of the electrical conductivity of milk as a mastitis indicator. *Bull. 334. Int. Dairy Fed., Brussels, Belgium*

HANZEN. C. 2007. Pathologie infectieuse de la glande mammaire. Facteurs d'élevages. Année académique 2007-2008. *Faculté de Médecine Vétérinaire de Liège*

HECKMANN R, NOORLANDER D. 1980. Scanning electron microscopy and X-Ray elemental analysis, EDAX, of milking machine inflations relative to mastitis control. In : *International Congress on Diseases of Cattle. Tel Aviv. 20-23 octobre 1980.*

HEUCHEL V. 1988 a. Incidence du matériel de traite sur la lipolyse du lait de vache. ITEB, CR n°88011, 17 P.

HEUCHEL V. 1988 b. Mesure de l'incidence du matériel de traite sur la lipolyse du lait : Utilisation d'une mamelle artificielle. ITEB, CR n°88063, 25 P.

HEUCHEL V, SOMMELIER L. 1996. Caractérisation de la flore microbiologique et aptitudes fromagères des laits ultra-propres. *Rapport final. Institut de l'élevage.*

HILLERTON J, PANKEY J.W, PANKEY P. 2002. Effect of over-milking on teat condition. *Journal of Dairy Research*. 69 81-84

HILLERTON J. 2005. Teat condition scoring. An effective diagnostic tool. In : *National Mastitis Council Regional meeting Proceedings (2005) 37-43*

HOGVEEN H, OUWELTJES W. 2003. Sensors and management support in high-technology milking. *Journal of Animal Science*. 81 (Suppl. 3) : 1-10

ISAKSSON A, LIND O. 1992. Teat reactions in cows associated with machine milking. *Journal of Veterinary Medicine*. A39 : 282-288

JADOUL T. 2005. Qualité du lait, problèmes rencontrés par les producteurs wallons : causes et solutions. Journée d'étude : traire un lait de qualité : une attention de tous les jours, organisée par l'Association wallonne de l'élevage, le ministère de la région wallonne et la direction générale de l'agriculture à Henri-Chapelle (Belgique), le 29 novembre 2005

JORF. 1969. Loi n°69-10 du 3 janvier 1969 Etablissement du paiement du lait en fonction de sa composition et de sa qualité, laits de vache, de chèvre et de brebis. JORF du 5 janvier 1969 page 203.

JORF. 1970. Décret n°70-1056 du 16 novembre 1970 pris pour l'application des articles 3 et 5 de la loi du 3 janvier 1969 et relatif au paiement à des prix différents du lait de vache en fonction de sa composition et de sa qualité. Version consolidée au 22 juillet 1984.

JORF. 1974. Arrêté du 12 avril 1974 Modification de l'annexe 1 de l'arrêté du 16-12-1970 : prélèvements et conservation des échantillons, détermination de la teneur en matière grasse et en protéines. JORF du 7 mai 1974. Pages 4869-4871

JORF. 1985. Arrêté du 2 mai 1985 définissant les modalités techniques selon lesquelles sont prélevés et analysés les échantillons de laits prélevés par les producteurs aux fins de la détermination de leur composition et de leur qualité. JORF du 12 juin 1985. Pages 6464-6468

JORF. 1994. Arrêté du 18 mars 1994 relatif à l'hygiène de la production et de la collecte du lait. JORF du 19 avril 1994. Pages 5743-5745

KITCHEN B.J. 1981. Review of the progress of dairy science : Bovine mastitis : milk compositional changes and related diagnostic tests. *Journal of Dairy Research* 48 : 167-188

LACASSE P, PETICLERC D. 2007. Références bibliographiques. Protection de la glande mammaire contre l'infection chez les bovins. In : Cours sur la biologie de la lactation. Département de biologie. Université de Sherbrooke. [en-ligne], [

<http://pages.usherbrooke.ca/infosbio/PSL705/Biologie/Immunologie/immunologie.htm>] (consultée le 21 août 2007)

LACOMBE J.F. 1990. Machines à traire, mammites et vétérinaires praticiens. Bulletin des G.T.V., 1990, 5B : 9-24

LACOMBE J.F. 1995 a. Le trayon, carrefour des microbes. La dépêche Vétérinaire, supplément technique n°42, 17-23.

LACOMBE J.F. 1995 b. Pathologie liée à la machine à traire. Manuel pratique : accidents et maladies du trayon. Ed. France Agricole, 189-195.

LECOQ P. 1966. Les installations de traite mécanique. Ann. Nutri. Alim. 1966, 20 : 7-27

Le DU J. 1975. Le décrochage automatique supprime aussi l'égouttage et la surtraite. L'Eleveur de bovins. 1975, 27 : 24-29

Le DU J. 1977. Traite mécanique d'hier... et d'aujourd'hui. L'Eleveur de bovins. 1977, 49 : 7-11

Le DU J. 1982. Comparaison de matériel de traite pour brebis : manchons en silicone et en caoutchouc, gobelets en inox ou en plastique. Ann. Zootech., 31, 139-148

LEPOURRY A. 1981. La traite mécanique : la vache laitière, la machine à traire et la technique de traite. Thèse Méd. Vét., Toulouse ; n°67, 190p.

LEVESQUE P. 2004. La méthode de traite passée en revue : des gobelets en bonne position. In : Le producteur de lait québécois. Avril 2004.

MAGLIARO A. L, KENSINGER R. S. 2005. Automatic cluster remover setting affects milk yield and machine on time in dairy cows. Journal of Dairy Science 88 : 148-153

MARONEY M, RUEGG P, TAYAR F, REINEMANN D. 2004. Use of Lactorecorder to measure milking performance. Poster presented at the 2004 meeting of the National Mastitis Council.

- MEFFE N. 1994. La lipolyse dans le lait de vache : bien en comprendre les mécanismes et les causes pour mieux la prévenir. Recueil de Médecine Vétérinaire Spécial – Qualité du lait. juin/juillet 1994, 399-410.
- MEIN G.A, BROWN M.R, WILLIAMS D.M. 1983. Pulsation failure as a consequence of milking with short teatcup liners. Journal of Dairy Research 50 249-258.
- MEIN G.A, MURRAY R. BROWN, DAVID M. WILLIAMS. 1986. Effects on mastitis of overmilking in conjunction with pulsation failure. Journal of Dairy Research, 53, 17-22.
- MEIN G.A, WILLIAMS D.M, THIEL C.C. 1987. Compressive load applied by the teatcup liner to the bovine teat. Journal of Dairy Research. 54 : 327-337
- MEIN G.A, NEIJENHUIS F, MORGAN W.F *et al.* 2001. Evaluation of bovine teat condition in commercial dairy herds : 1. Non-infections factors. Proceeding AABP-NMC International Symposium on Mastitis and Milk Quality, Vancouver, BC, Canada
- MEIN G.A, WILLIAMS M.D, REINEMANN D.J. 2003. Effects of milking on teat-end hyperkeratosis. 1. Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat. In Proc. 42nd Ann. Mtg. Natl. Mastitis Counc., Fort Worth, Texas : 114-123
- MILNER P, PAGE K, WALTON A, HILLERTON J.E. 1996. Detection of clinical mastitis by changes in electrical conductivity of foremilk before visible changes in milk. Journal of Dairy Science. 79 :83
- NATZKE R. P, EVERETT R. W, BRAY D. R. 1982. Effect of overmilking on udder health. Journal of Dairy Science 65, 117-125.
- NEIJENHUIS F, DE BOER J, HOSPES P, KLUNGEL G. 1999. Fast pulsation transition phases do no lead to shorter machine on times. Veehouderijtechniek 30.
- NEIJENHUIS F, KLUNGEL G.H, HOGVEEN H. 2001. Recovery of cow teats after milking as determined by ultrasonographic scanning. Journal of Dairy Science 84 : 2599-2606.

NEIJENHUIS F. 2004. Chapter 7 : General Discussion. In : Teat condition in dairy cows. 202 pages.

NEWMAN J.A, GRINDAL R, BUTLER M.C. 1991. Influence of liner design on mouthpiece chamber vacuum during milking. *Journal of Dairy Research* 58 21-27.

NORBERG E, HOGEEVEN H, KORSGAARD I. R, FRIGGENS N.C, SLOTH K, LOVENDAHL P. 2004. Electrical conductivity of milk : ability to predict mastitis status. *Journal of Dairy Science* 87 : 1099-1107.

O'BRIEN B, O'CALLAGHAN E, DILLON P. 1998. Effect of various milking machine systems and components on free fatty acid levels in milk. *Journal of Dairy Research* 65 335-339.

O'CALLAGHAN E. 1989. Measurement of cluster stability an its relationship to liner design and physical setting of the milking machine. Agricultural Food and Engineering Department, University College Dublin.

OSTERAS O, RONNINGEN O, SANDVIK L, WAAGE S. 1995. Field studies show associations between pulsator characteristics and udder health. *Journal of Dairy Research*. 62 : 1-13

OUWELTJES W, HOGEEVEN H. 2001. Detecting abnormal milk through colour measuring. *Proceeding Annual National Mastitis Council, RENO, NV*. Pages 217-219.

PERRAUDIN JP. 1991. Protéines à activités biologiques : lactoferrine et lactoperoxydase. *Connaissances récemment acquises et technologies d'obtention. Lait* (1991) 71, 191-211.

PLM. Document technique Production Laitière Moderne. 2005. Le guide du trayon. Crédits photos : Teat Club International. Extrait du numéro 147.

POELARENDS J.J, SAMPIMON O.C, NEIJENHUIS F, MILTENBURG J.D, *et al.* 2004. Automatic milking, a better understanding. Wageningen Academic Publisher, 148-154.

POMIES D. 2007. Le robot de traite : avantages et inconvénients. Présentation INRA. Huy 26-09-07

PSALMON G. 2005. Le prix du lait en France. Les acteurs, les modes de fixation et les niveaux de valorisation sur la période récente (de l'accord de 1997 à 2004). In : Le dossier Economie de l'Elevage. Institut de l'Elevage. Mai 2005. n° 346

RASMUSSEN M.D. 1993. Influence of switch level of automatic cluster removers on milking performance and udder health. *Journal of Dairy Research* 60 287-297.

RASMUSSEN M. D, FRIMER E. S, DECKER E. L, 1994. Reverse pressure gradients across the teat canal related to machine milking. *Journal of Dairy Science* 77, 984-993.

RASMUSSEN M.D. 1997. The relationship between mouthpiece vacuum, teat condition and udder health. *Proceedings 36th Annual Meeting, National Mastitis Council, Wisconsin*. 91-96.

RASMUSSEN M.D. 2004. Overmilking and teat condition. In : *Proceedings Annual Meeting, National Mastitis Council*. 169-175.

REITSMA S.Y *et al.* 1981. Effect of duration of teat cup liner closure per pulsation cycle on bovine mastitis. *Journal of Dairy Science*. 64 : 2240-2245.

RONNINGEN O. 2002. Milking vacuum stability in milking machine installations. *Journal of Dairy Research*. 69, 501-509

SCHUILING E. 2004. Automatic milking, a better understanding. *Wageningen Academic Publisher*, 341-347.

SCHUKKEN Y.H, BENNETT G, GREEN L, WERVEN T. 2001. Can somatic cell counts get too low ? 2001. In : *National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings* 19-28

SCHUKKEN Y.H, PETERSON L.G, RAUCH B.J. 2006. Liners and teat end health. In : *National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings*.

STADHOUDERS J, JORGENSEN K. 1990. Prevention of the contamination of raw milk by a hygienic milk production. In *Bull. International Dairy Federation*. 251 : 32-36

STEWART S, GODDEN S, RAPNICKI P, REID D, JOHNSON A, EICKER S. 2002. Effects of automatic cluster remover setting on average milking duration, milk flow, and milk yield. Journal of Dairy Science. 85 : 818-823.

VISSERS M, DRIEHUIS F, TE GIFFEL M, JONG P, LANKVELD J. 2007. Short Communication : Quantification of the transmission of microorganisms to milk via dirt attached to the exterior of teats. Journal of Dairy Science 90 : 3579-3582

WALLACE J.A, SCHUKKEN Y. H, WELCOME F. 2003. Measuring stimulation's effect with milk flow curves. Proceedings annual meeting National Mastitis Council 42 : 86-97.

WESTFALIA SURGE. Document technique. Manchons en silicone ClassicPro. 24 pages.

WESTFALIA SURGE. Document technique. Classic 300 & Classic 300 E. 6 pages.

WILSON D.J, GONZALEZ R.N, SOUTHWICK L.H, GAURD C.L. 2000. Evaluation of an experimental milking pulsation system for effects on milking and udder health. Journal of Dairy Science 83 : 2004-2007.

ZECCONI A, HAMANN J, BRONZO V, RUFFO G. 1992. Machine-induced teat tissue reactions and infection risk in a dairy herd free from contagious mastitis pathogens. Journal of Dairy Research, 59, 265-271.m

### **Documents web :**

Delaval. [[www.delaval.co.uk/Dairy\\_Knowledge/EfficientMilking/DeLaval\\_Concepts.htm](http://www.delaval.co.uk/Dairy_Knowledge/EfficientMilking/DeLaval_Concepts.htm)]

Mise à jour le 5 février 2006. (consultée le 24 juin 2008)

Institut de l'élevage. Calcul du diamètre d'un lactoduc. SAUVEE O. [<http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/spip.php?article917>] Mise à jour le 28 mars 2008. (consultée le 25 juin 2008)

Milking inflations. [[www.inflations.net](http://www.inflations.net)] Mise à jour le 4 janvier 2008. (consultée le 24 juin 2008)

