

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Institut des sciences vétérinaires



Mémoire de fin d'étude
en vue de l'obtention du diplôme de docteur vétérinaire

Et ingénierie de formation.

THEME :

*Le rôle de la machine à traire sur l'apparition
des mammites*

Présenté par :

M^{elle}. BENZIANE Ahlem

Encadré par:

Mme. GHAZI .K

Année universitaire : 2016 – 2017

Remerciement

Je remercie en premier, le bon Dieu, le tout puissant qui m'a donné la force et la volonté pour terminer ce travail.

Je saisis l'occasion que m'offre la rédaction de ce mémoire pour remercier Mme GHAZI .K, ainsi que Mr. BOUDRAA .A

Je tiens remercier aussi:

- Les professeurs et les étudiants qui nous aident pour terminer ce travail.*

Dédicace

Je tien à dédier ce modeste travail

A mes parents que dieux me les préserver.

Au ma chers sœurs « Amira ».

Au mes chers frères « Oussama, Yacine ».

A mon professeur Mr. BOUDRAA .A

A tout mes amis « Saliha, Nouria, Ali »

***Au tout membre de ma familles
chacun de son nom.***



Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	I
I- Importance.....	01
I-1- Etiologie des mammites.....	02
II-Machine à traire et santé des mamelles	04
II-1- L'action traumatisante de la machine à traire sur les trayons.....	04
A- Éléments de base	05
1- Liés à l'animal : anatomie et physiologie de la mamelle et du trayon	05
2- Liés à la machine : action du manchon sur le trayon lors de la traite	15
B- Lésions du trayon induites par la machine à traire	21
1- La congestion et l'œdème	22
2- L'hyperkératose et les éversions du canal du trayon.....	23
3- Lésions internes du canal.....	25
4- Pétéchies et points noirs.....	26
5- Anneaux de compression	27
C- Études récentes sur l'action traumatisante de la machine et ses conséquences pour le trayon.....	28
1- Influence du manchon trayeur.....	29
2- Influence de l'adéquation entre le niveau de vide et le type de manchon trayeur	29
3- Influence du niveau de vide	43
4- Influence de la pulsation.....	44
5- Influence de la gestion de la traite.....	48
6- Changements apportés par l'utilisation d'un robot de traite.....	48
D- Innovations proposées	49
1- Difficulté de l'évaluation	49
2- Section du manchon trayeur.....	50
3- Pièce d'embouchure	52
E- Conséquences des lésions du trayon sur la santé de la mamelle	53
1- Relation entre congestion du trayon et mammites	53
2- Relation entre hyperkératose de l'extrémité du trayon et mammites.....	54

III- Le rôle infectant de la machine à traire	54
A- Le phénomène d'impact	54
1- Éléments de base : définition et mécanisme	54
2- Études récentes	55
3- Innovations proposées	59
B- Le reverse-flow ou le phénomène de traite humide	65
1- Éléments de base : définition et mécanisme d'apparition	65
2- Études récentes	66
3- Innovations pour favoriser l'évacuation du lait	66
C- La surtraite ou gradient de pression inversé.....	70
1- Elémentsdebase123	70
2- Études récentes	71
3- Innovations proposées	77
D- Stabilité du niveau de vide.....	87
1- Éléments de base : les fluctuations du vide sous le trayon	87
2- Circonstances d'apparition des variations du niveau de vide	89
3- Facteurs liés à la conception de la machine expliquant les fluctuations du vide	90
4- Paramètres reflétant l'instabilité du niveau de vide	93
5- Innovation proposée : le testage dynamique de l'installation de traite	94
Conclusion	96
Bibliographie.....	97

Liste des tableaux

Tableau I : Place des mammites dans la hiérarchie pathologique en troupeau bovin laitier	01
Tableau II : Classification des germes responsables de mammites	03

Liste des figures

Figure 01 : Proportions des pertes dues aux mammites dans un élevage	02
Figure 02: Coupe transversale de la mamelle passant par les quartiers caudaux	06
Figure 03: Conformation et structure du trayon.....	08
Figure 04: Peau du trayon.....	09
Figure 05 : Conformation extérieure et intérieure du manchon trayeur.....	16
Figure 06: Action du manchon sur l'extrémité du trayon.....	19
Figure 15: Œdème du trayon.....	22
Figure 07: Lésions d'hyperkératose à un stade avancé sur les trayons arrières.....	24
Figure 08: Classification des stade d'hyperkératose	24
Figure 09 : Pétéchies sur l'extrémité du trayon	26
Figure 10: Anneau de compression à la base du trayon	28
Figure 11: Description de l'étude de Schukken et al. (2006)	30
Figure 12 : Répartition des trayons en fonction du score d'hyperkératose de l'extrémité selon le type de manchon utilisé– Phase I de l'étude	31
Figure 13: Evolution des scores de l'extrémité des trayons après le changement de manchons trayeur– Phase II de l'étude	32
Figure 14 : action de l'embouchure du manchon sur la racine du trayon	34
Figure 15 : Surpression exercée en fonction de la résistance du manchon à la fermeture	38
Figure 16 : Force de massage disponible en fonction de l'épaisseur du manchon à un niveau de vide de 39 k Pa.....	39
Figure 17 : Relation entre la surpression appliquée par différents types de manchons et les lésions de l'apex du trayon en fonction du niveau de vide	40
Figure 18 : Score de l'extrémité du trayon en fonction de la surpression exercée par le manchon.....	41
Figure 19 : manchon à section hybride vu de dessus en position fermée.....	51
Figure 20 : Configuration de la lèvres d'embouchure du manchon Classic Pro®	20
Figure 21 : Mécanisme du phénomène d'impact	55
Figure 22 : Faisceau mal positionné à gauche (risque de glissement), faisceau bien positionné à droite (gobelets verticaux)	60
Figure 23 : Principe et installation du déflecteur (shield) à la base du manchon trayeur.....	62
Figure 23 : crochet de maintien du tuyau long à lait assurant l'alignement correct du faisceau trayeur	64
Figure 24 : Griffes multi-valves	64
Figure 25 : Mécanisme du reverse-flow	65
Figure 26 : Griffes à lait Classic300 et type de mamelle y correspondant	66
Figure 27 : Griffes à lait Classic300 E et type de mamelle y correspondant	67
Figure 28 : Conception des griffes Classic 300 et 300 E permettant l'écoulement direct du lait	67
Figure 29 : Conception de la FloStar Max®.....	68
Figure 30 : Principe de fonctionnement d'une griffe à technologie Top Flow.....	69
Figure 31 : Trayon savant-droit de deux des six vaches étudiées lors d'une expérience De sur traite volontaire	74
Figure 32 : Profils de l'éjection du lait sans préparation de la mamelle (graphe de gauche) et avec préparation de la mamelle (graphe de droite)	82

Figure 33 : Principe de fonctionnement de la traite à débit contrôlé	86
Figure 34 : Fluctuations cycliques du vide sous le trayon.....	87
Figure 35 : Fluctuations acycliques du vide et répercussions	88
Figure 36 : Effet du diamètre du lactoduc sur la qualité du transport	90
Figure 37 : Ecoulement laminaire (a) versus par bouchons du lait(b) dans le lactoduc.....	91
Figure 38 : 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.....	95

Introduction :

L'introduction de la machine à traire dans la pratique de l'élevage fut à l'origine de recherches très diverses sur la technologie de la machine, l'anatomie de la mamelle, la physiologie de l'éjection.

Elles ont conduit la pratique de la traite là où nous la connaissons actuellement.

Nous tenons à préciser que l'aspect bactériologique (propreté du lait, nettoyage de la machine et de la mamelle) n'a été abordé que dans la mesure où il intéresse directement les processus de la traite pour réduire les risques d'infection mammaires, l'hygiène de traite et le contrôle régulier de la machine à traire reste des mesures.

I. Importance

Les mammites des vaches laitières représentent une part non négligeable dans la hiérarchie des pathologies en troupeau bovin laitier utilisant la traite mécanique (Tableau I).

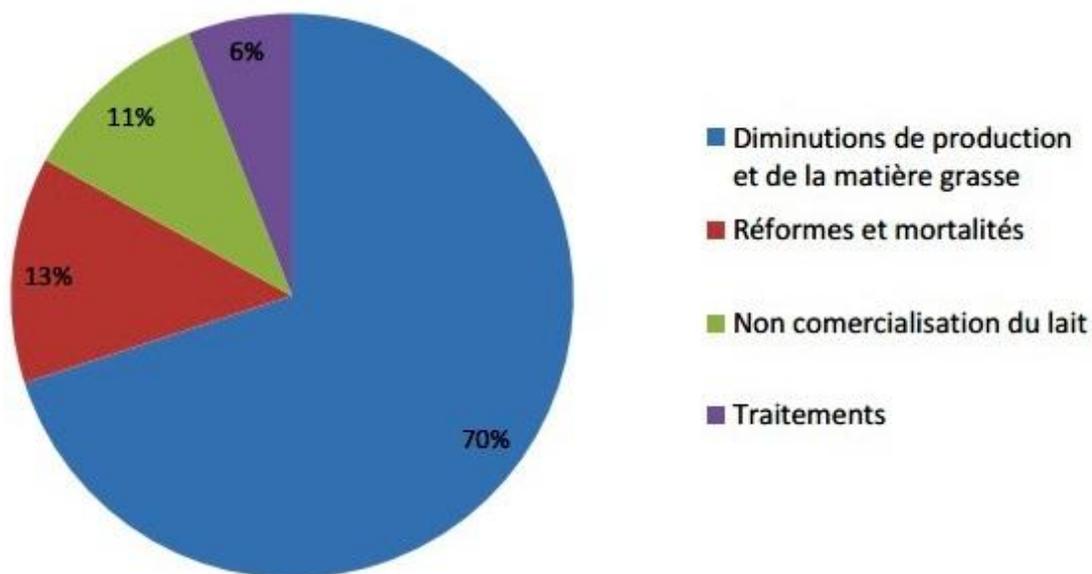
Tableau I : Place des mammites dans la hiérarchie pathologique en troupeau bovin laitier

Maladies	Fréquence (% de la population totale)	% relatif de chaque maladie
Rétention annexielle	16,7	21
Métrites	15,5	20
Mammites cliniques	14,2	19
Œdème mammaire	5,5	7
Boiteries	4,9	7
Fièvre vitulaire	4,4	6
Chute d'appétit	3,9	5
Autres maladie	3,9	5
Acétonémies	3,5	5
Baisse de lait	2,4	3
panaris	1,8	2

La détection des mammites est un point clé dans les élevages biologiques ou dépendant d'un label car la faible marge de manœuvre pour le choix des traitements sera encore plus réduite en cas de détection tardive des mammites (68). Les mammites cliniques atteignent entre 30 et 35 % des vaches d'un élevage à chaque lactation. D'après une étude d' Araujo, le coût des

mammites pour un éleveur est d'environ 80€ par vache et par an dont 70% est représenté par la baisse de la quantité et de la qualité du lait pendant une mammité (2) (Figure 1).

Figure 1 : Proportions des pertes dues aux mammites dans un élevage



I.1. Etiologie des mammites

A. Le facteur déterminant : les germes responsables de mammites

Les pathogènes impliqués dans les mammites sont répartis en pathogènes mineurs et majeurs, suivant la prévalence de leur implications dans les mammites cliniques. En effet, les pathogènes majeurs (14, 24, 54, 61, 72, 95, 107) sont potentiellement responsables de mammites cliniques alors que les pathogènes mineurs (8, 26, 34, 61, 83, 105, 106, 107) sont exceptionnellement responsables de mammites cliniques, mais beaucoup plus souvent de mammites subcliniques, c'est-à-dire avec augmentation du taux cellulaire mais sans modification macroscopique du lait (Tableau II).

Tableau II : Classification des germes responsables de mammites

	Genres	Espèces
Germes pathogènes majeurs	Streptocoques	Streptococcus agalactiae Streptococcus dysgalactiae Streptococcus uberis Streptococcus bovis Entérocoques (Enterococcus faecalis et enterococcus faecium)
	Staphylocoques (coagulase +)	Staphylococcus aureus Staphylococcus intermedius Staphylococcus hyicus
	Entérobactéries	Escherichia coli Klebsiella pneumoniae Enterobacter aerogenes Serratia marcescens
	Anaérobies	Trueperella pyogenes (anciennement Arcanobacterium pyogenes, Actinomyces pyogenes, Corynebacterium pyogenes) Clostridium perfringens Bacillus cereus
	Pseudomonas	Pseudomonas aeruginosa
	Mycoplasmes	Mycoplasma bovis
	Autres	Mycobacterium bovis Nocardia asteroides Candida albicans Algues (Prototheca zoopfi)
Germes pathogènes mineurs	Staphylocoques à coagulase	-Staphylococcus xylosus Staphylococcus hyicus Staphylococcus chromogenes Staphylococcus saprophyticus Staphylococcus cohnii Staphylococcus capitis Staphylococcus warneri Staphylococcus haemolyticus
	Microcoques et macrocoques	Macrococcus caseolyticus ...
	Corynébactéries	Corynebacterium bovis

II. 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.

II.1. L'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.

A-Éléments 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,32 1990). Les infections peuvent affecter isolément un seul quartier en respectant les autres (Boudry, 2005).

Anatomie de la mamelle

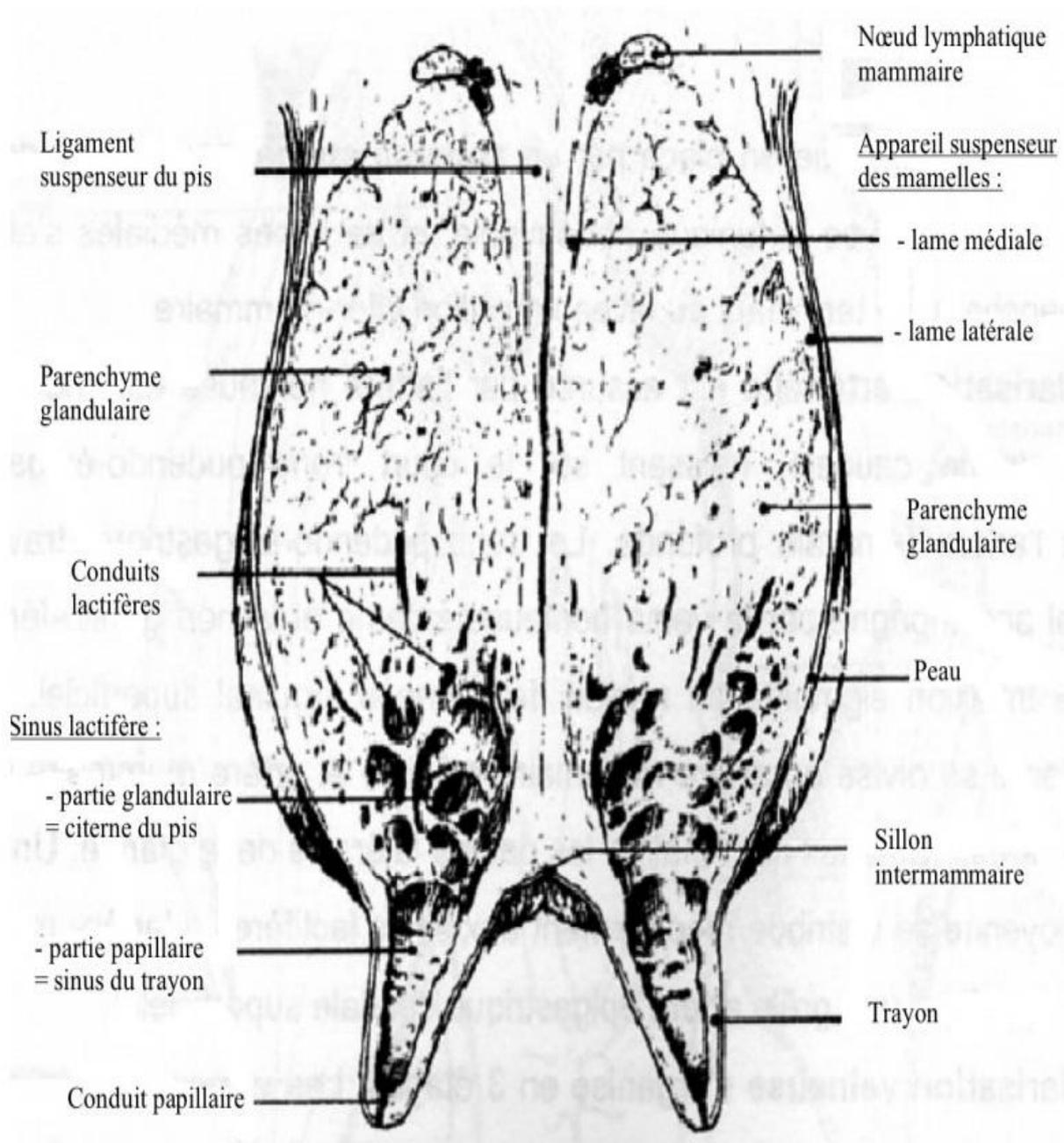
Anatomie des quartiers

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 intra lobulaire. Les conduits intra lobulaires s'unissent en conduits inter lobulaires qui aboutit 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 chassent le lait vers la citerne, seuls les 20 % contenus dans la citerne du pis seraient récoltés lors de la traite (Boudry,2005).

Figure 02: Coupe transversale de la mamelle passant par les quartiers caudaux
 (Source : Baronne, 1990)



Anatomie du trayon

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 (Goureaud coll., 1995).

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.

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.

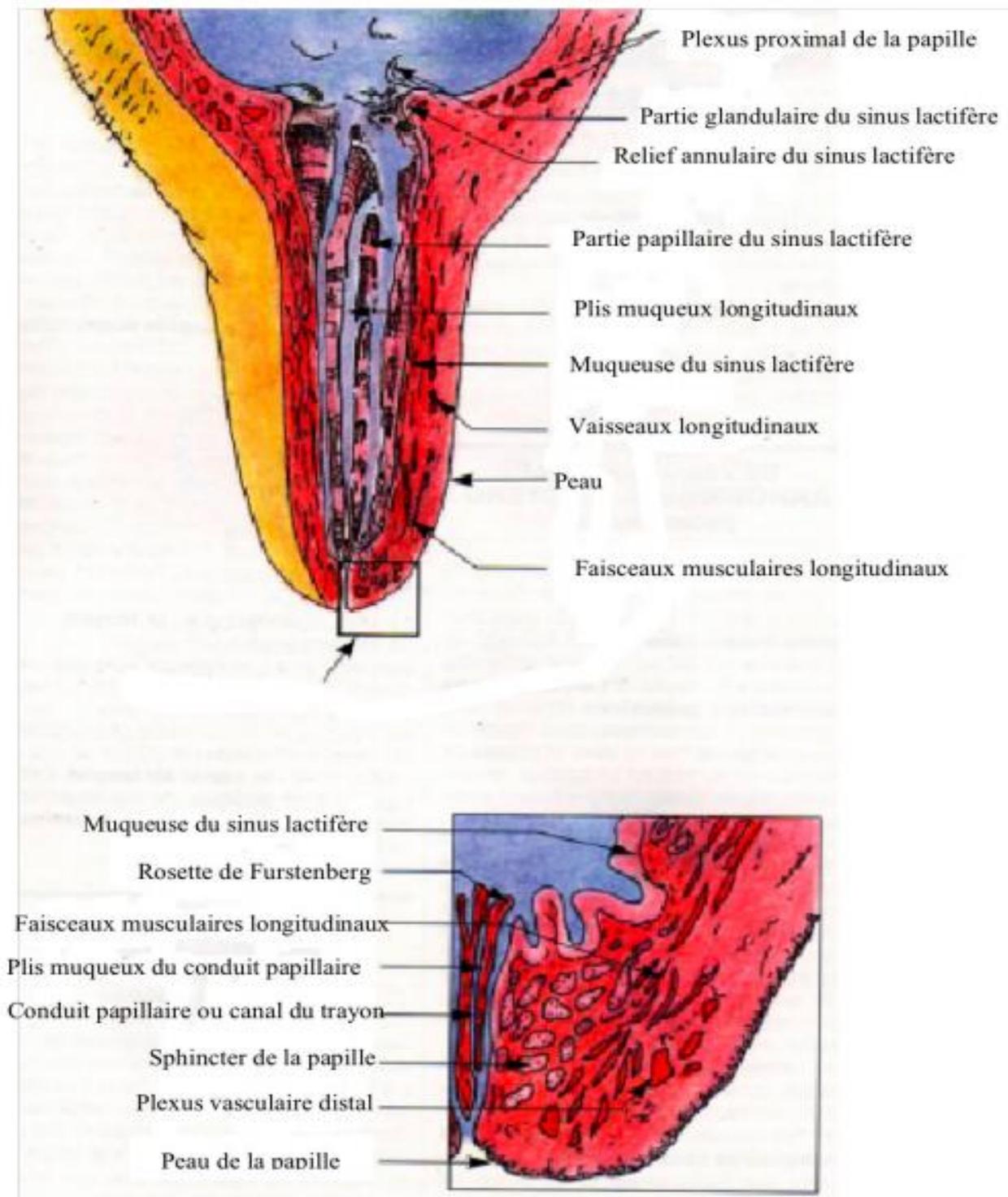
Le sinus du trayon est situé dans le corps du trayon. Revêtue d'une muqueuse jaunâtre, sa paroi est pourvue de plis longitudinaux effaçables par la distension.

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 03: Conformation et structure du trayon

(Source : Barone ,1990)

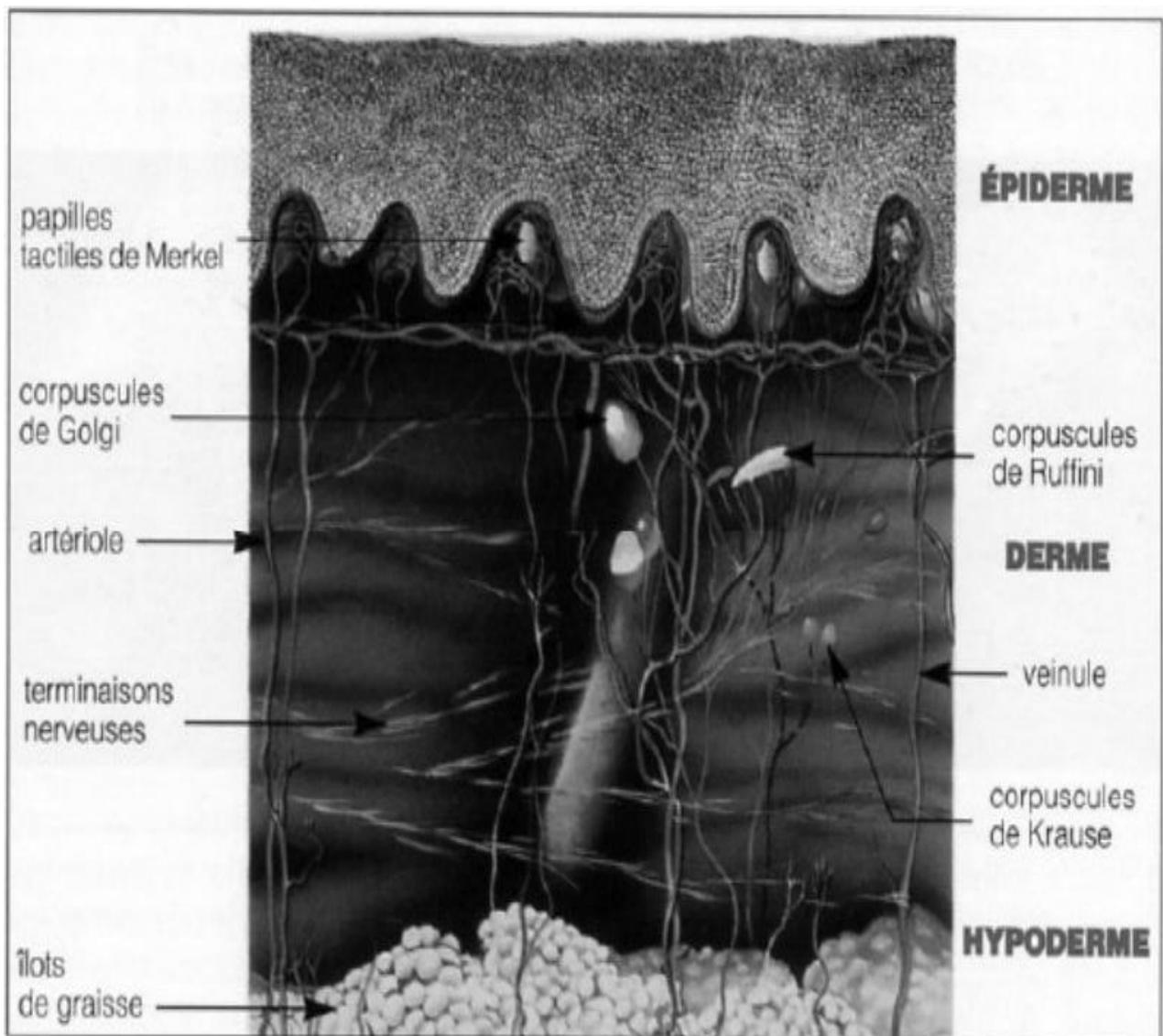


Innervation du trayon

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 (Goureaucoll., 1995)

Figure 04: Peau du trayon

(Source : Laboratoire Lipha-Santé cité par Goureau et coll., 1995)



Particularités du trayon

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).

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 enfin de traite.

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.

La 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.

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, les 40 trayons 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).

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.

Les médiateurs de l'immunité innée

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.

Les défenses cellulaires

La rosette de Fürstenberg est un repli muqueux situé à l'extrémité supérieure interne du canal du trayon. 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).

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).

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 millilitre (Schukken et al., 2001).

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).

Les facteurs solubles chimiques

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).

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).

Les médiateurs de l'immunité acquise

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.

Les défenses cellulaires

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).

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 (Schukkenetal., 2001).

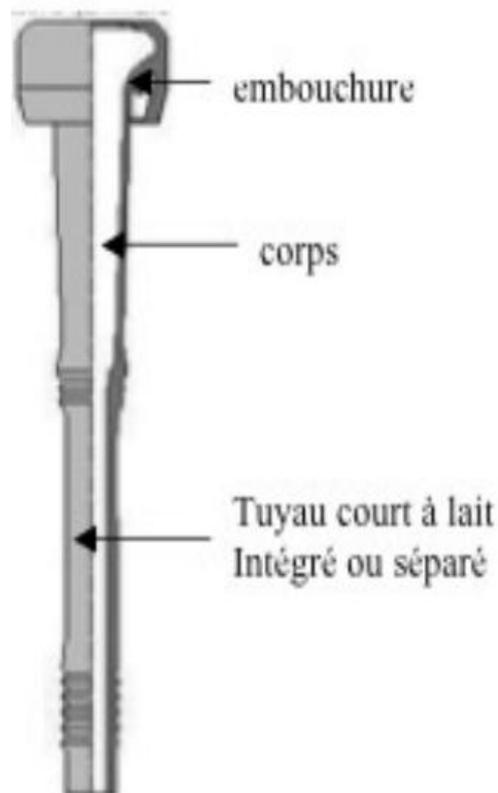
2- Liés à la machine : action du manchon sur le trayon lors de la traite

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 (Goureau et coll.,1995).

Figure 05 : Conformation extérieure et intérieure du manchon trayeur (source Hanzen, 2007)



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).

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.

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.

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.

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.

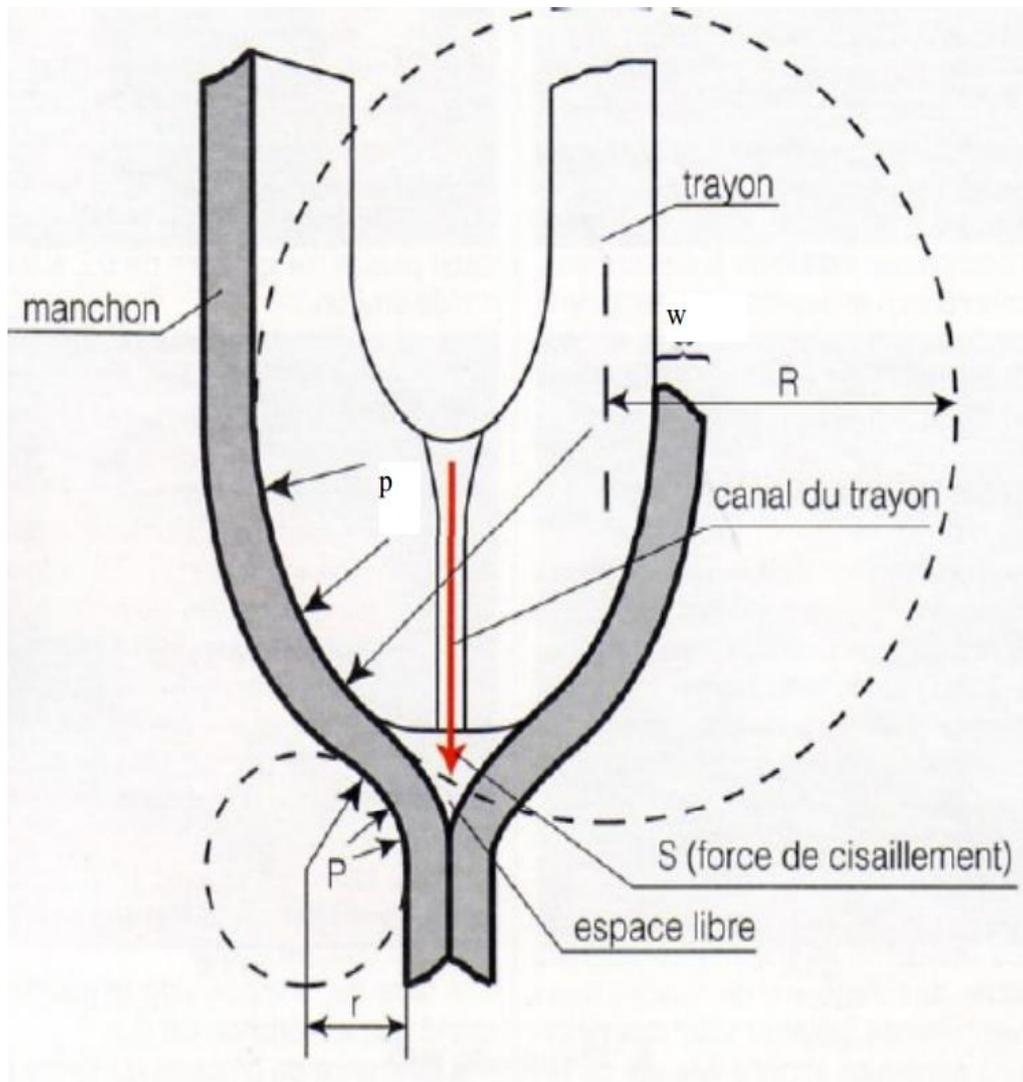
Cependant, la coaptation laisse toujours un petit espace libre situé just au-dessous du bout du trayon (Figure 14) (Meinetal., 1987).

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 06: 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) :

$$1. P r = p R$$

$$2. P = S w / R$$

Application à la force de compression

$$\text{Si } P r = p R \text{ alors } p = P r / R$$

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.

Application à la force de cisaillement

$$\text{Si } p = S w / R \text{ et } P r = p R \text{ alors } S w = p R = P r \text{ donc } S = P r / w$$

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 (Meinetal., 1987)

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.

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 (Figure15) (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 sur traite. 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.

2- L'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 (Brouillet et coll.,2002)

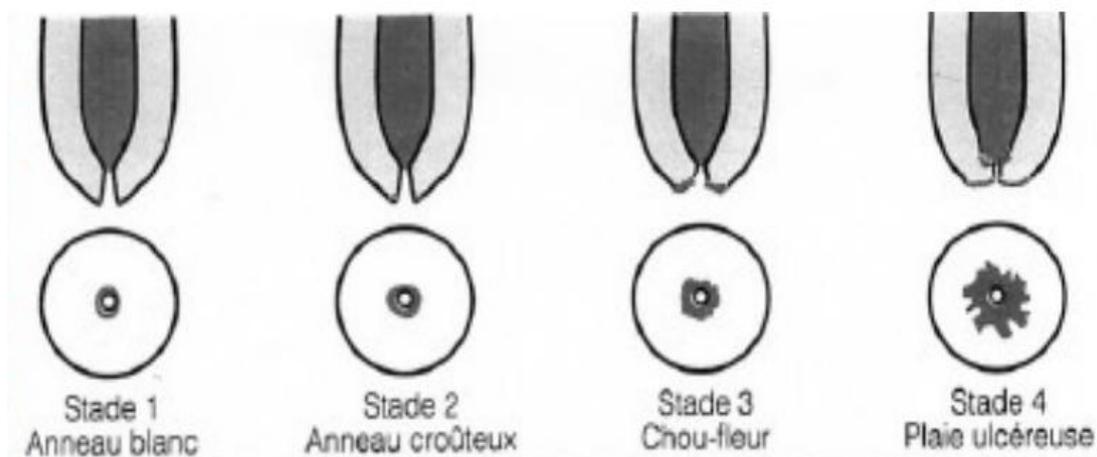
Figure 07: Lésions d'hyperkératose à un stade avancé sur les trayons arrière
(source : Teat Club International cité par PLM Document technique,2005)



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.

Figure 08: Classification des stades 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, 1995)

Les facteurs de risque de ces lésions sont les suivants :

• Liés à la traite

- Traite trop longue : sur traite 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 sur traite 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 09 : Pétéchies sur l'extrémité du trayon
(Source : TeatClub 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).

5- 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 10: 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, sur traite, 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.

1- 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.

2- 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.

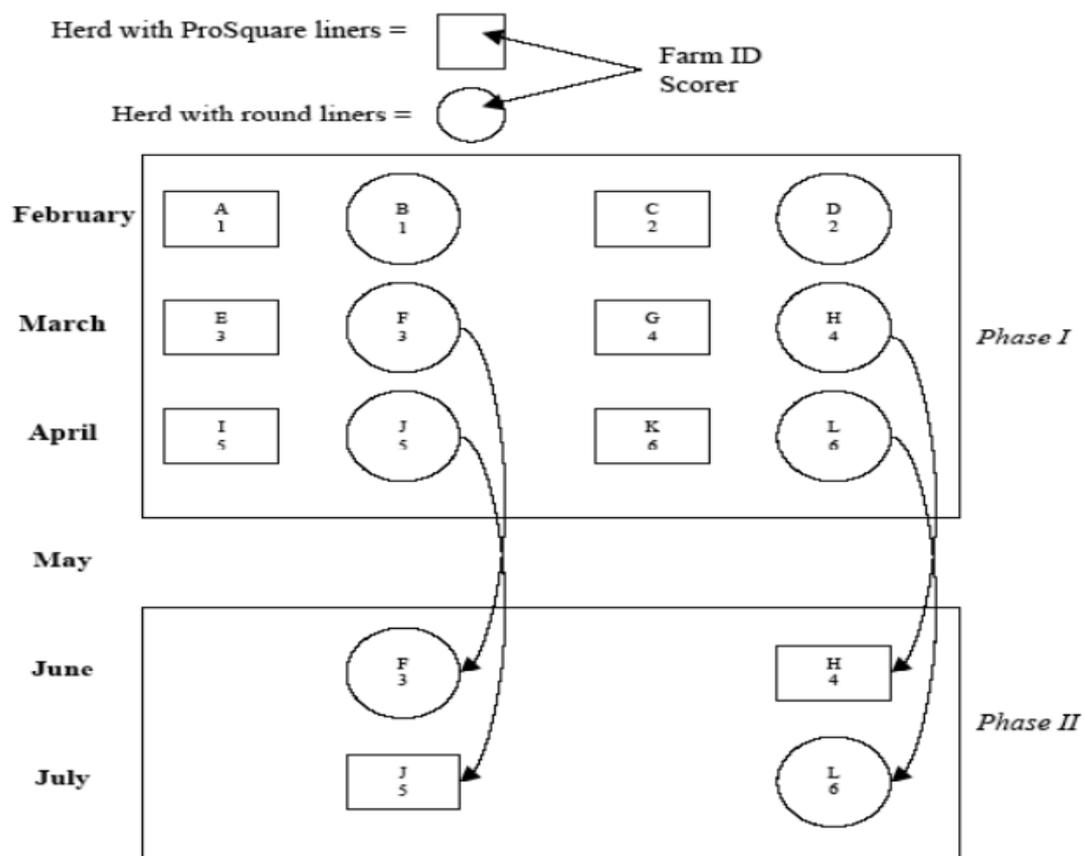
Parmi les rares études sur ce sujet, citons Schukken et al. (2006) qui a évalué l'effet du type de manchon à section carré versus section ronde sur l'extrémité du trayon de vaches en lactation.

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 11: Description de l'étude de Schukken et al. (2006)



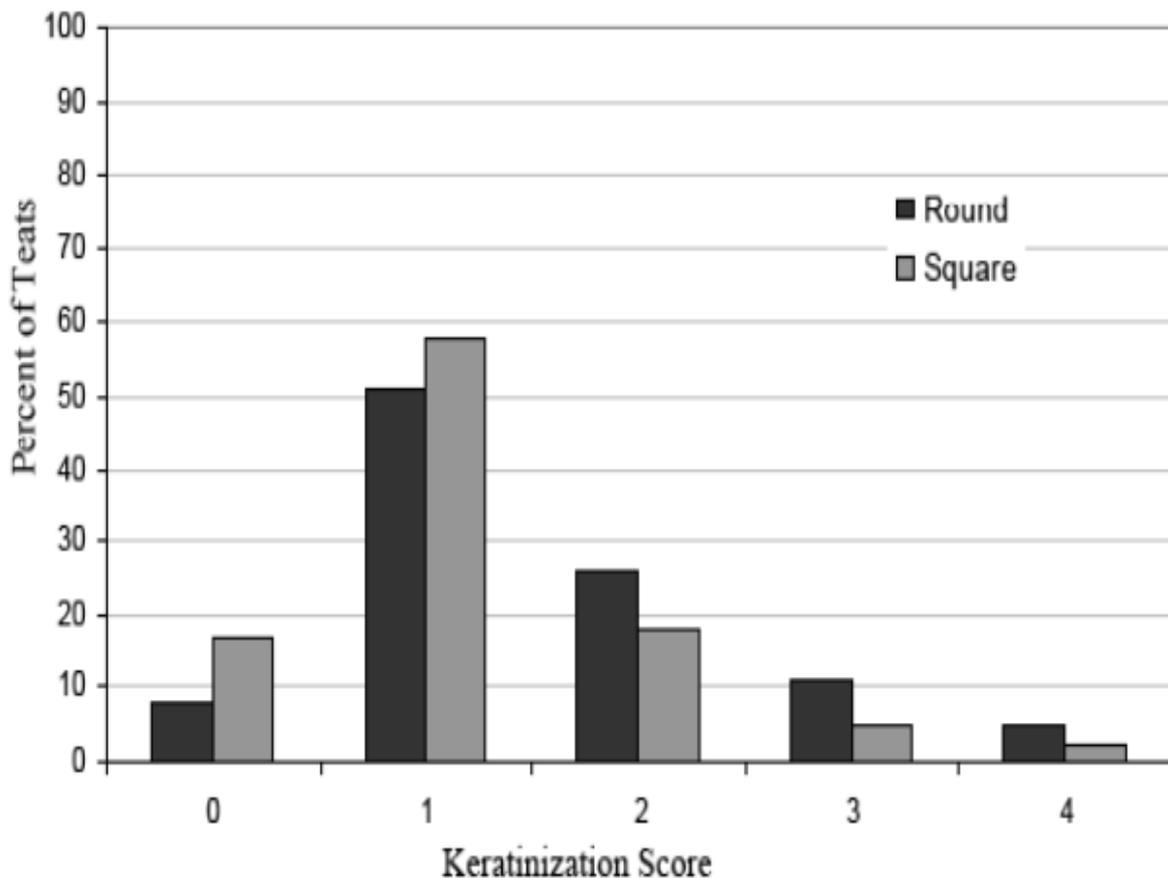
Les paires de troupeaux sont identifiées par un chiffre et deux troupeaux appariés sont représentés par deux lettres consécutives : A avec B pour la paire 1 ; C avec D pour la paire 2 par exemple.

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 12 : 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)

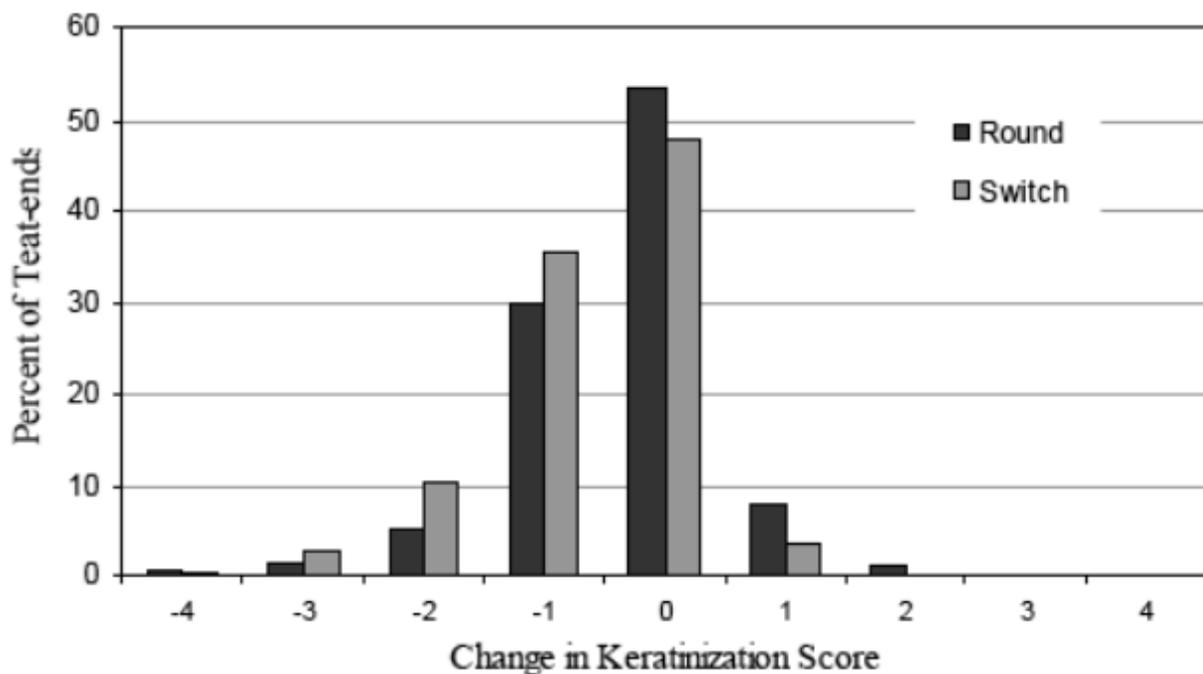


L'utilisation des manchons à section carrée s'accompagne d'un plus faible pourcentage de trayons présentant un score supérieur à 2.

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

(Source : Schukkenetal., 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.

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.

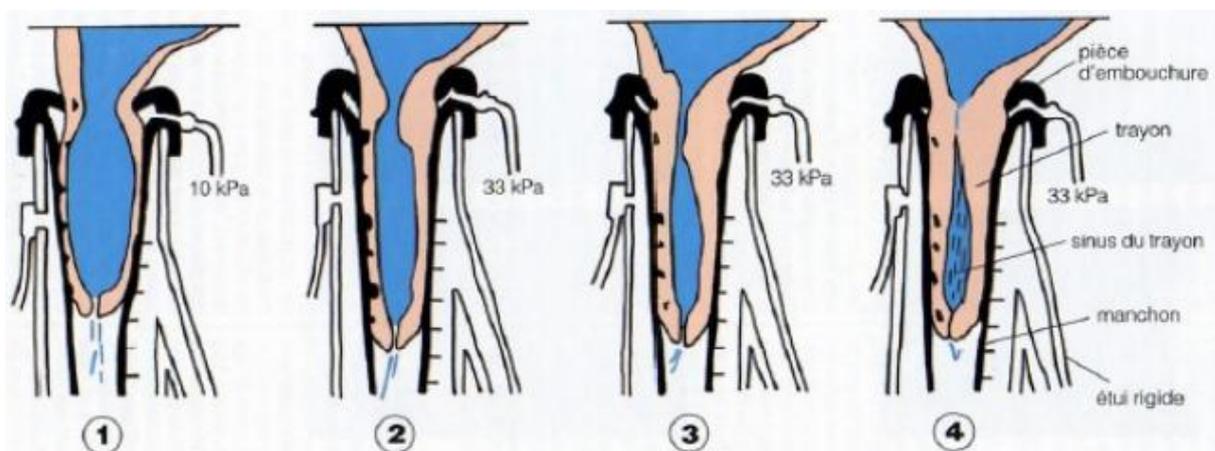
Influence de la pièce d'embouchure sur la formation des anneaux de compression

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 14 : action de l'embouchure du manchon sur la racine du trayon
(source : Gourreau et coll1995. 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).

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 de 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.

Influence de l'adéquation entre le niveau de vide et le type de manchon trayeur 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).

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 5 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.

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.

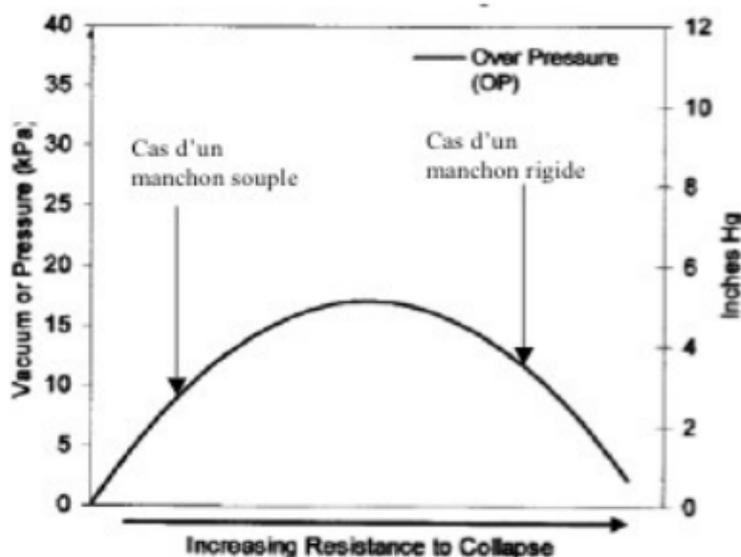
En effet, à l'extrémité du corps du manchon des lignes de tension sont présentes. Ces lignes permettent la courbure du manchon autour de l'apex du trayon lors du massage. Il faut

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.....

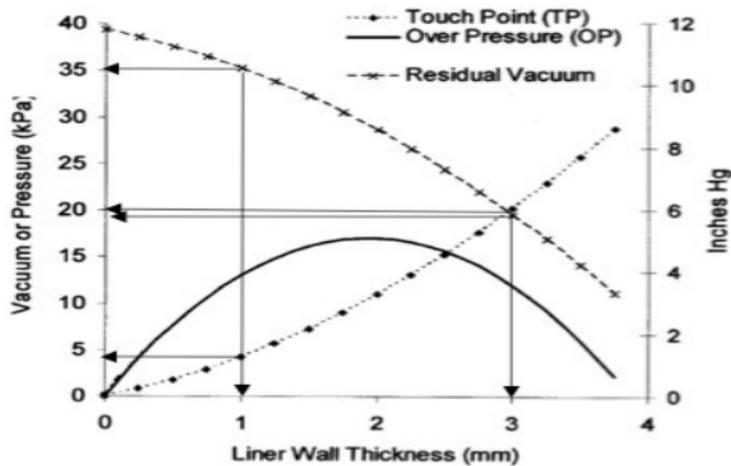
Figure 15 : Surpression exercée en fonction de la résistance du manchon à la fermeture
(source : Mein et al., 2003)



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 de 1 mm requiert 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 requiert 20 kPa pour se fermer (touchpoint), il reste donc 19 kPa pour le massage (residual vacuum).

Figure 16 : Force de massage disponible en fonction de l'épaisseur du manchon à un niveau de vide de 39 kPa (source : Mein et al., 2003)



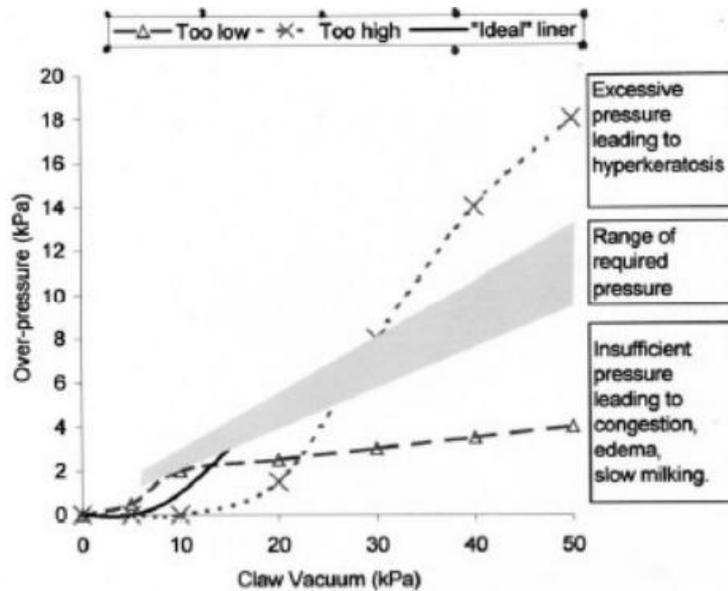
La surpression est nécessaire pour limiter la congestion du trayon mais elle ne doit pas non plus être excessive au risque d'entraîner des lésions d'hyperkératose.

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 17 : 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 des 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 manchon, 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.

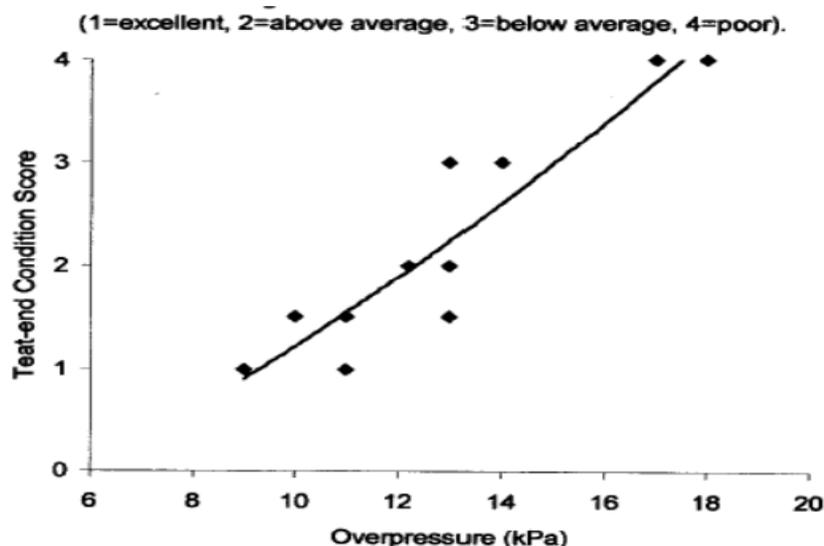
Lorsque ces facteurs sont trop augmentés, la surpression entame une phase de décroissance qui peut apparaître contradictoire, mais qui résulte en réalité de l'augmentation de la résistance des manchons à se courber autour de l'extrémité du trayon.

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

Figure 18 : 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.

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 sur traite, 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 davantage autour de l'extrémité du trayon car les parois du trayons ont tendance à s'épaissir pendant cette période.

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).

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.

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.).

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 intra mammaire 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 supérieure 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.

4- 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.

Sur la congestion des trayons

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.

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).

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 traits 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.

5- Influence de la gestion de la traite

La dépose automatique

Lorsqu'on ajuste les seuils de dépose automatique, en vue de réduire la durée moyenne de la traite, la sur traite 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.

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.

6- 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 traites 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 sur traite des quartiers avant. Pour cette raison, l'état des trayons devrait être amélioré.

Face à ces hypothèses divergentes, De Vliegher 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.

2- Section du manchon trayeur

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

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.

Section ovale

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

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. Ce pendant, une fois de plus, la vitesse de traite permise est moindre.

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.

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 19 : manchon à section hybride vu de dessus en position fermée (source : milkinginflation,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.

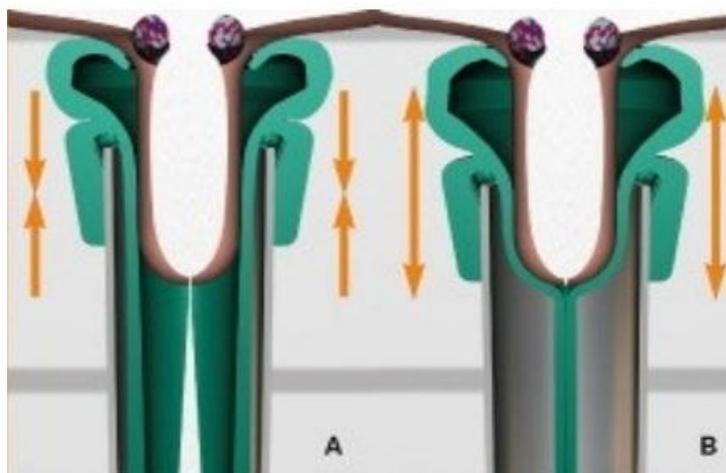
Tout d'abord, sa conception en silicone confère à la lèvres d'embouchure une structure souple et dont les caractéristiques ne s'altèrent que très peu au cours des utilisations.

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 20 : Configuration de la lèvres d'embouchure du manchon Classic Pro®
(Source : WestfaliaSurge, 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.

C- 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.

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).

III- Le 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 sur traite qui provoquent ou facilitent la pénétration des microbes dans le canal du trayon.

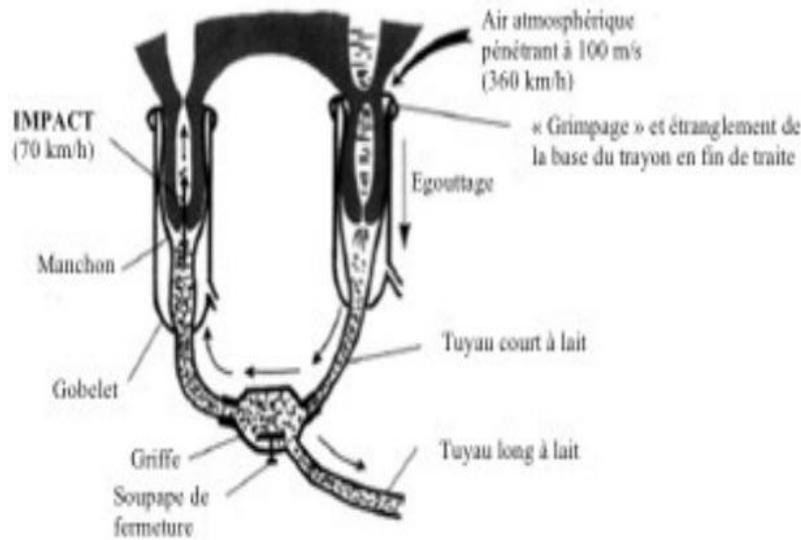
A- Le phénomène d'impact

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 21 : Mécanisme du phénomène d'impact
(source : Goureau et coll.,1995)



2- Études récentes

Facteurs de risque du phénomène d'impact

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).

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 sur traite et sont au fait des risques inhérents à cette pratique.

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).

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).

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.

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.

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 le 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.

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 traités 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'aluminium de 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 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).

3- Innovations proposées

Conception du faisceau trayeur

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.

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 constructeur sont montrées que ces tuyaux réduisent jusqu'à 30 pour cent les problèmes de glissement du manchon trayeur.

Répartition 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.

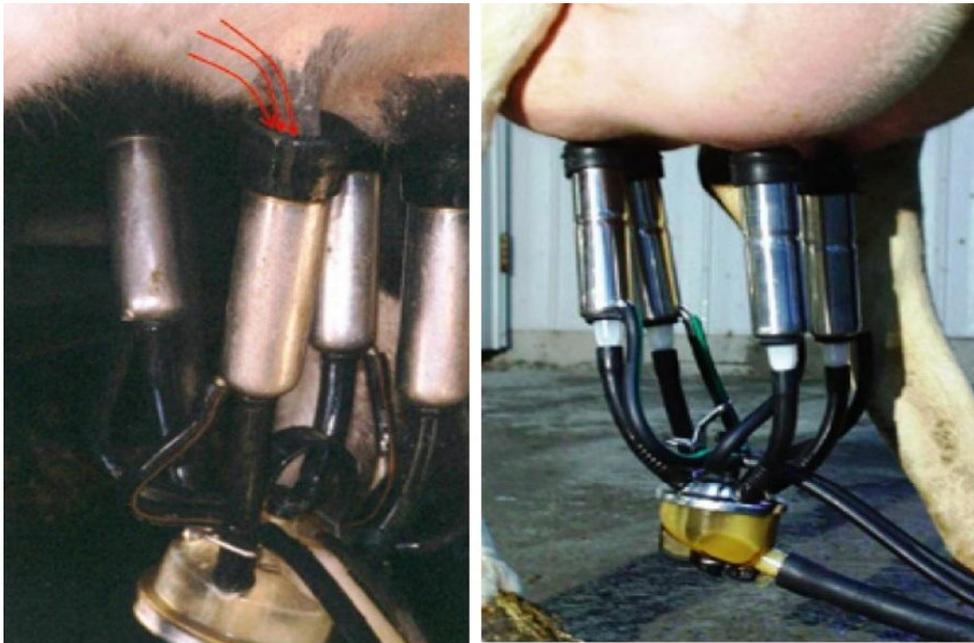
Alignement du faisceau trayeur

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.

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 22 : Faisceau mal positionné à gauche (risque de glissement), faisceau bien positionné à droite (gobelets verticaux)
(Source : Levesque, 2004)**

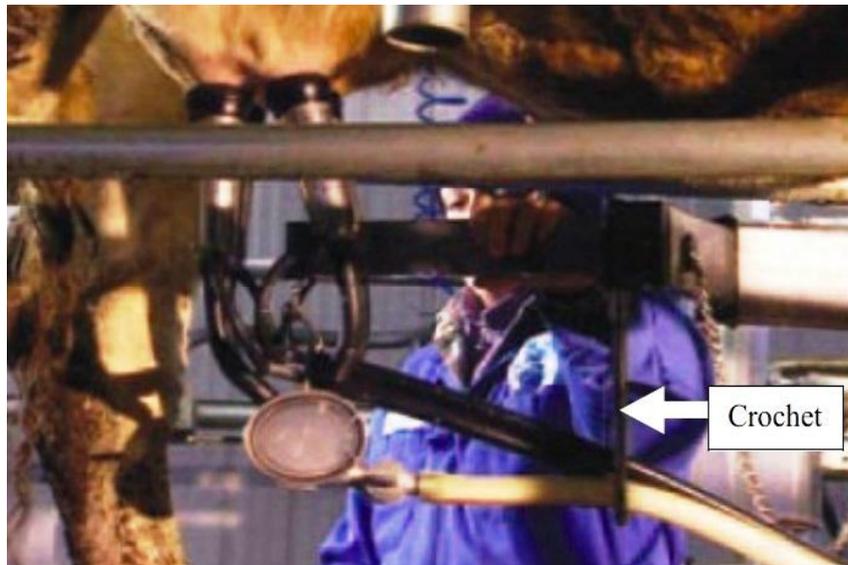


Dans la plupart des cas, la sortie de la griffe est dirigée vers la tête de la vache. Avec une salle de traite par l'arrière, la sortie de la griffe est dirigée directement entre les pattes arrière.

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).

Figure 23 : crochet de maintien du tuyau long à lait assurant l'alignement correct du faisceau trayeur
(Source : Levesque, 2004)



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.

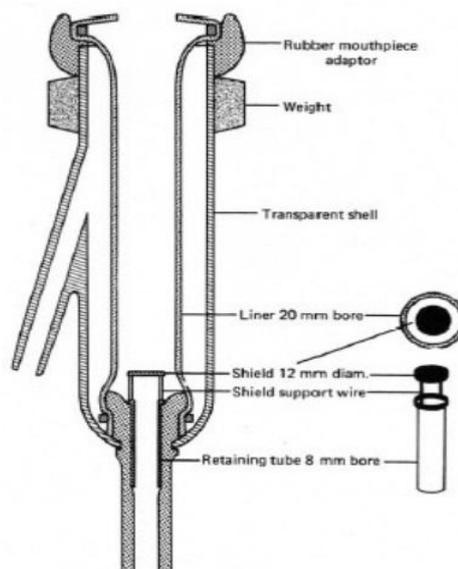
Utilisation de boucliers déflecteurs

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 Crochet 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 24 : Principe et installation du déflecteur (shield) à la base du manchon trayeur (Source : Griffinet 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.

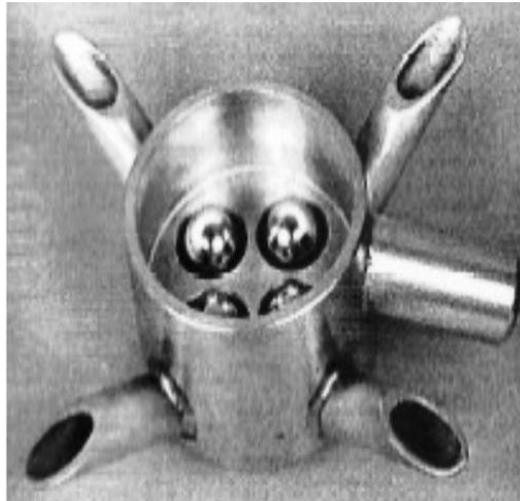
Des déflecteurs ont été utilisés en conditions réelles dans 31 troupeaux en les installant sur deux manchons sur quatre pour chaque griffe ; le taux de nouvelles infections s'est vu légèrement diminué de 10 % seulement (15% quand les trayons étaient désinfectés après la traite). Ces résultats décevants 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.

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 ...). 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 25 : Griffe multi-valves
(Source : Griffin et al., 1988)



Griffin et al. (1988) ont tout d'abord comparé le taux de nouvelles infections des vaches traites avec cette griffe par rapport à une griffe classique, en les soumettant à une pression bactérienne exagérée de streptocoques. Onze des quarante quartiers traités avec la griffe classique se sont infectés alors que les quarante autres traités 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.

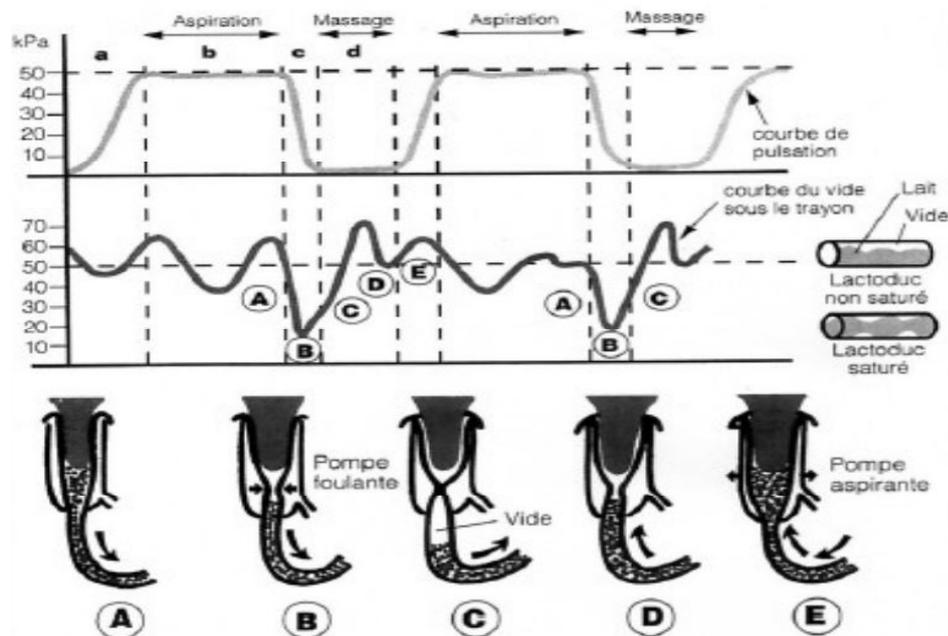
Ces innovations seront traitées dans la partie suivante.

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 26 : 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 la se spécifique. Le référentiel n'est pas encore publié.

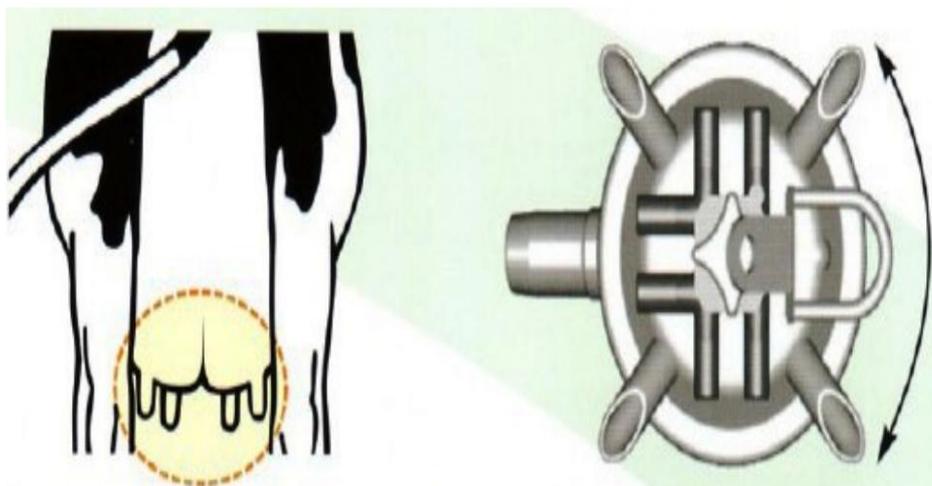
3- Innovations pour favoriser l'évacuation du lait

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.

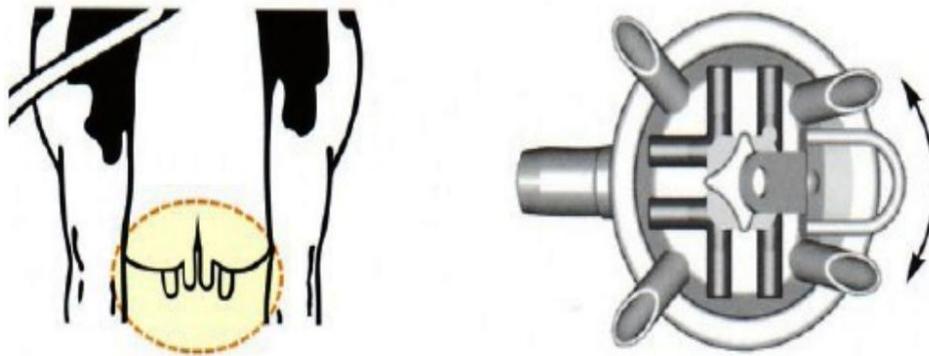
Westfalia propose deux types de griffes selon la production et la conformation des trayons du troupeau. La Classic 300 présente un volume de 300 ml et un positionnement évasé des tubulures parfaitement symétrique et large. Elle est adaptée aux vaches ayant des trayons normaux ou écartés (Figure.....).

**Figure 27 : Griffe à lait Classic300 et type de mamelle y correspondant
(Source : Westfalia Surge. Document technique. Classic 300 et Classic300 E)**



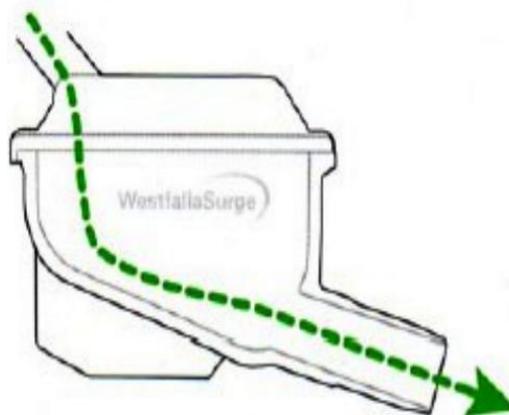
La Classic 300 Evolution présente un positionnement des tubulures différent pour les quartiers avant et arrière. L'avant est similaire à la Classic 300 alors qu'à l'arrière, le positionnement des tubulures est plus rapproché et moins évasé. Elle est ainsi conçue pour les vaches hautes productrices actuelles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

Figure 28 : Griffe à lait Classic300 E et type de mamelle y correspondant (Source : WestfaliaSurge. Document technique. Classic 300 et Classic300 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).

Figure 29 : Conception des griffes Classic 300 et 300 E permettant l'écoulement direct du lait (Source : WestfaliaSurge. Document technique. Classic 300 et Classic300 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).

Figure 30 : Conception de la FloStar Max®
(Source : Boumatic. Document technique. FloStar Max®)



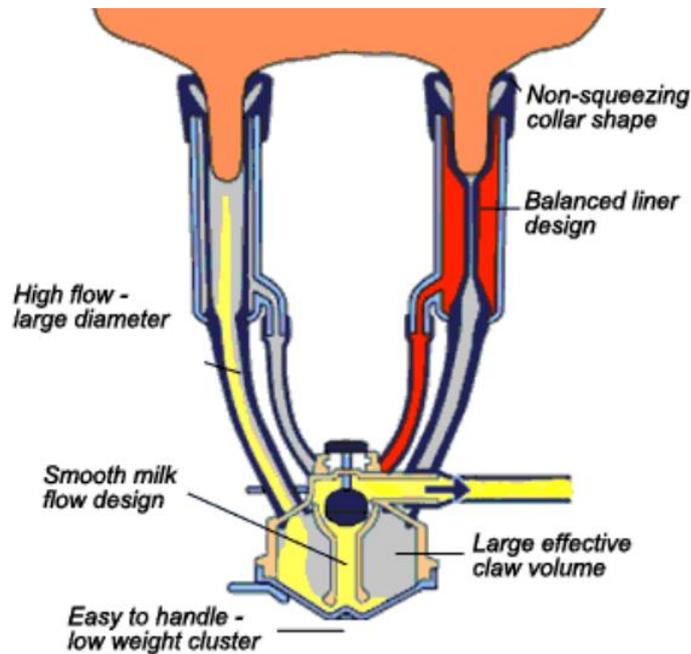
Accélérer l'évacuation du lait et de l'air hors de la griffe

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 griffes suffit par fois 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. La 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).

Figure 31 : 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.

DeLava 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.

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 sur traite ou gradient de pression inversé

1- Eléments de base

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 thermorécepteurs 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).

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 rayon (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

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 micro capteurs 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.

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.

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 126 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.

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.

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 lors que 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 réparation 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)

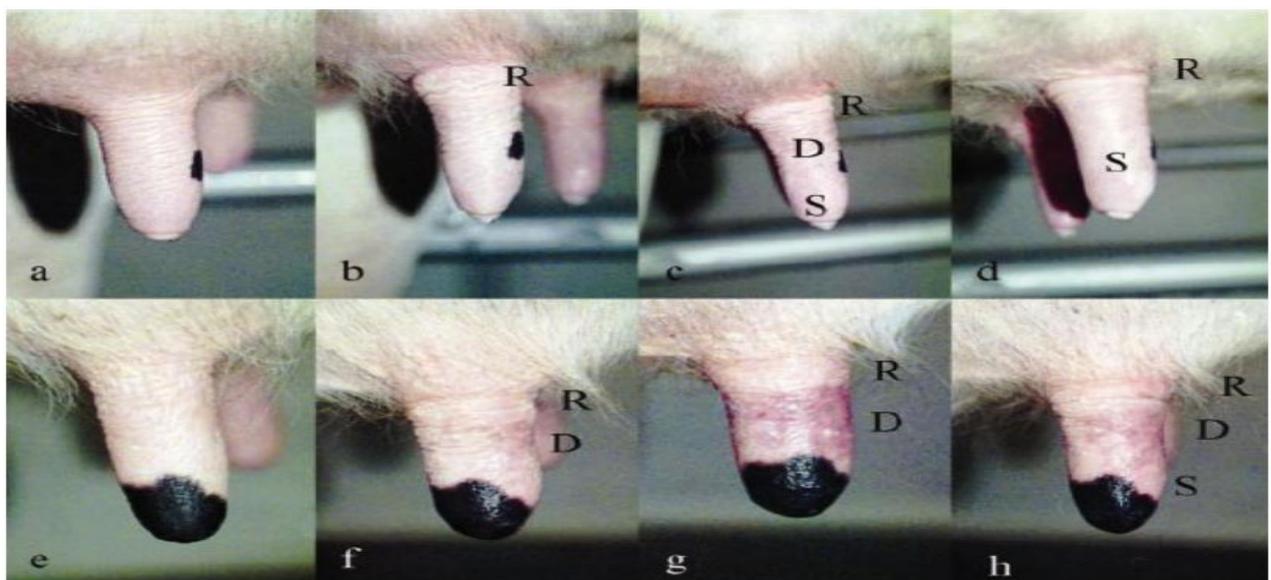
Conséquences de la surtraite sur l'état des trayons

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 (normale /rouge) ; anneau de compression(aucun /visible/ palpable) ;congestion (absence/ présence)(Figure).

Figure 32 : Trayon savant-droit de deux des six vaches étudiées lors d'une expérience De sur traite 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

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.

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.

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.

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)

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 défaillante, 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

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 optimale des percussions sur la production laitière.

Tout d'abord Rasmussen (1993) a réalisé une étude sur 135 vaches, fraîchement vêlées, 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 arrière 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 0,82kg/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 établi 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 : 88500 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 instaurée 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)

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-de ça 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.

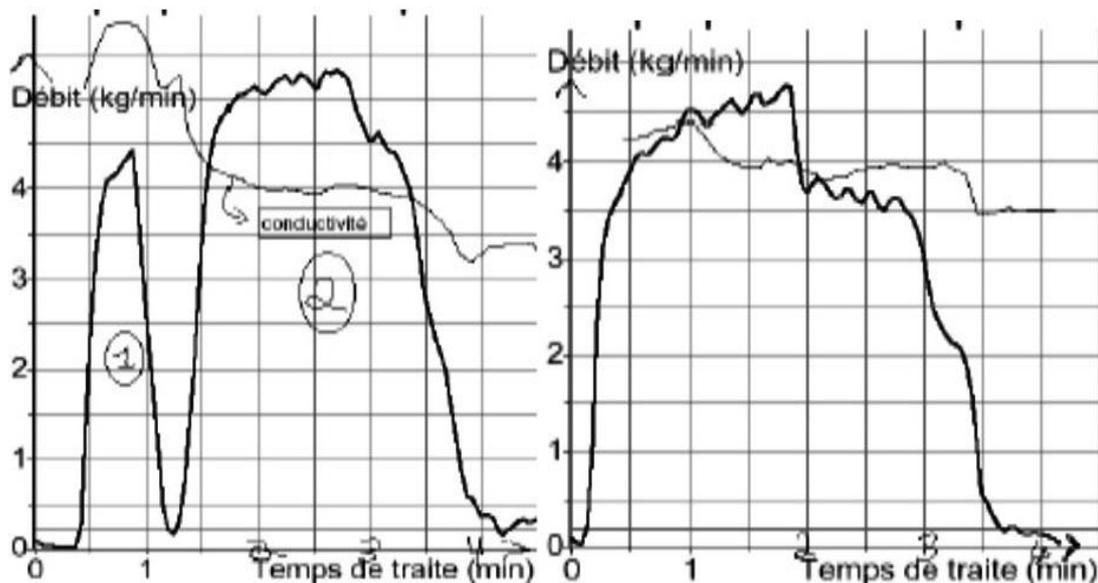
Un concept intéressant serait d'initier la dépose à un certain pourcentage de temps après le pic d'éjection ce qui permettrait de faire face aux variations de débits entre quartiers et entre animaux au sein d'un troupeau (Rasmussen, 2004)

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 33 : 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 défaillante 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.

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)

Encesens, des nouvelles techniques de nettoyage des mamelles comme par exemple, le prétrempage 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 neuroendocrinien 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.

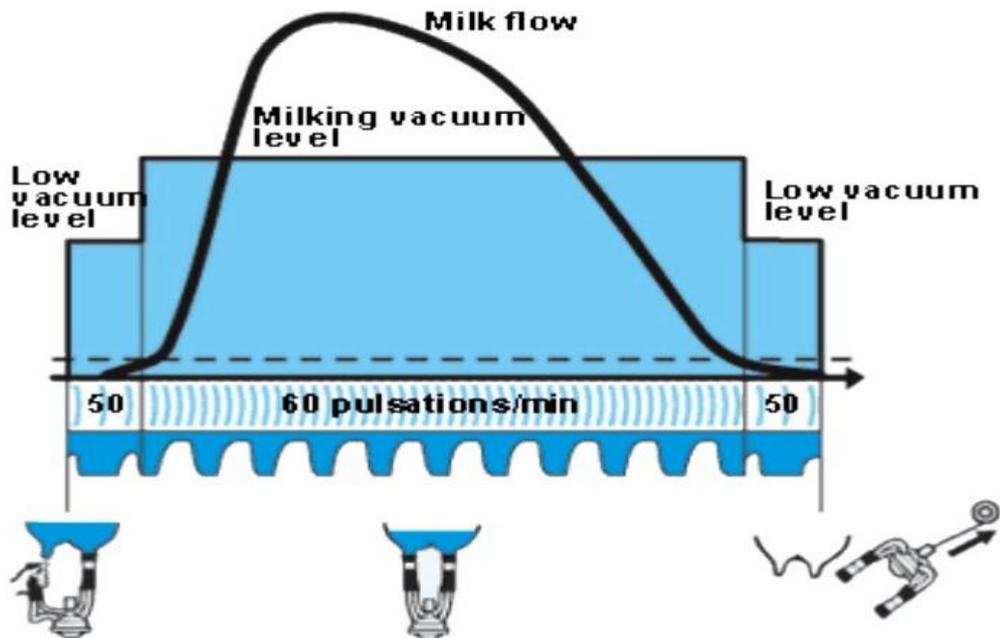
Traite à débit contrôlé

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 situé 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 34 : 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'IsolatorXP.

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.

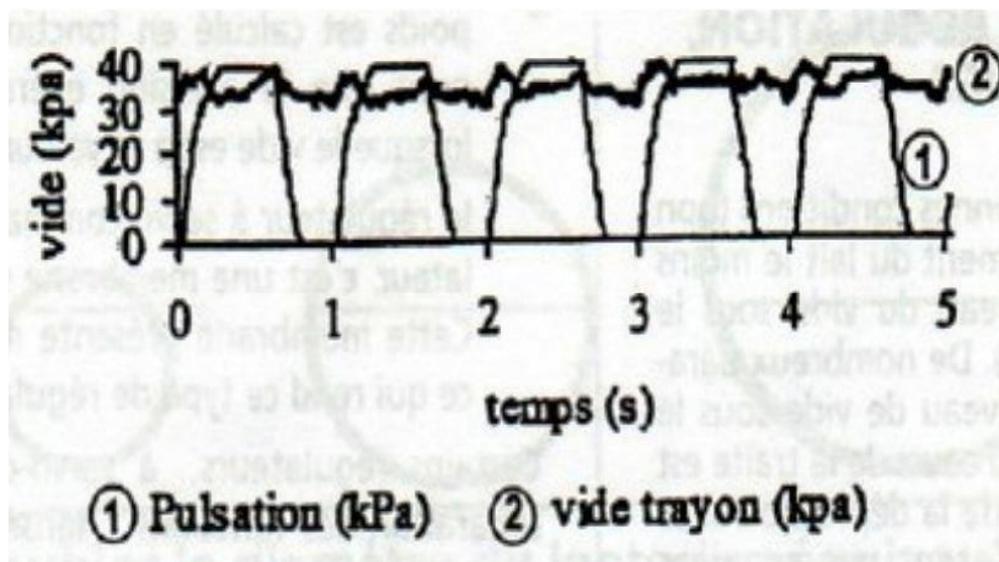
1- Éléments de base : les fluctuations du vide sous le trayon

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

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 35 : 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.

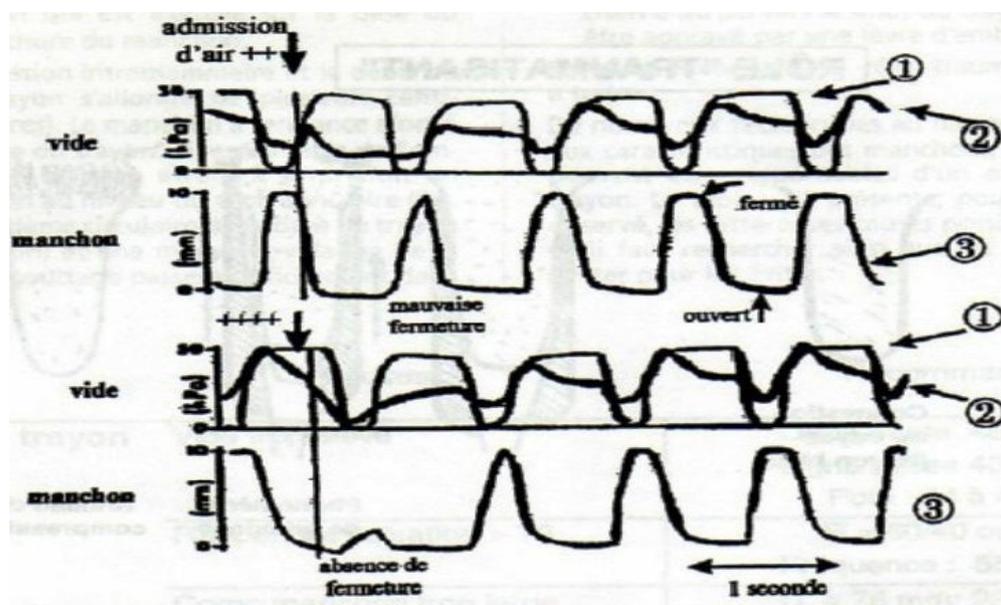
Ces fluctuations sont également influencées, dans une moindre mesure, par le type de manchon: par exemple, les manchons de petite taille ont un volume intérieur plus faible, d'où des variations plus grandes de la dépression sous le trayon (Federici-Mathieu et Godin,2002).

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.

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 36 : 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 :

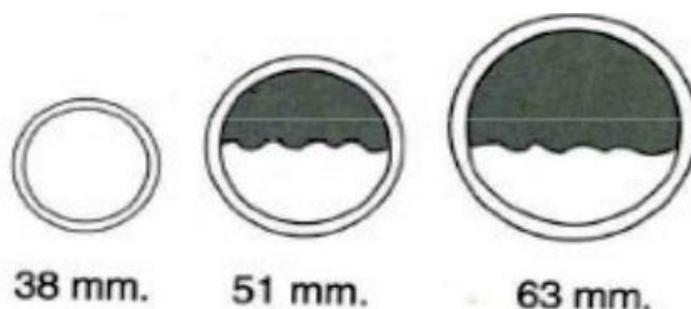
Dans cette même expérimentation, Ronningen a montré que les dimensions et la pente du lactoduc sont les éléments les plus impliqués sur les larges chutes du niveau de vide et le nombre d'unité de traite sur le nombre total de fluctuations. La réserve réelle de vide affecte le nombre de petites chutes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

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.

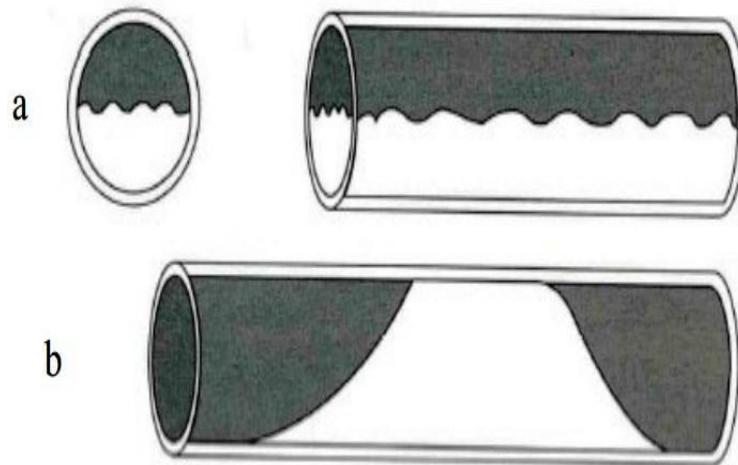
Figure 37 : Effet du diamètre du lactoduc sur la qualité du transport
(Source : Hanzen, 2007)



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 38 : 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 : 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)

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.

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).

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 influencée 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).

5- Innovation proposée : le testage dynamique de l'installation de traite.

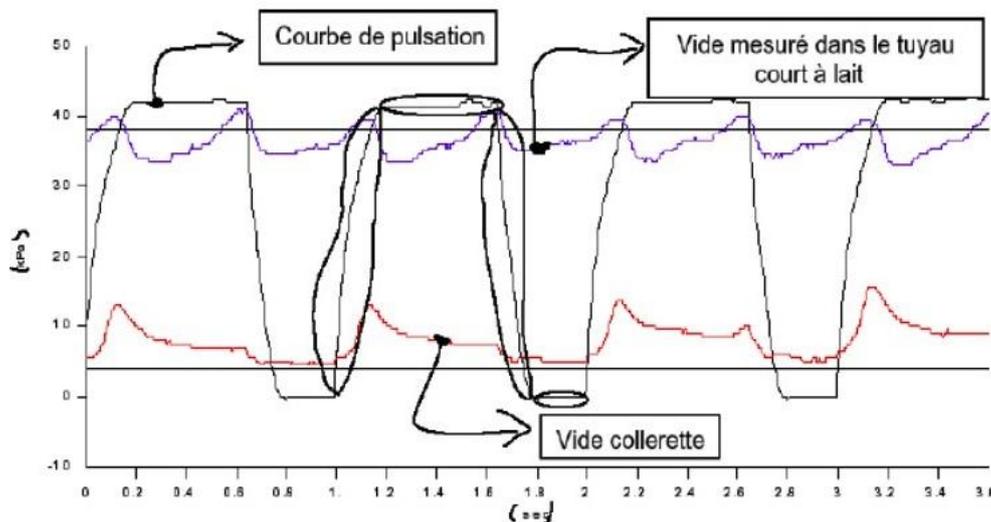
Les contrôles annuels obligatoires de l'installation de traite se font en l'absence d'animaux et ne tiennent pas compte de la présence de lait dans l'installation et du comportement du trayeur. Ils ne critiquent pas certains réglages : niveau de vide, durée des phases de pulsation intermédiaire, seuil de déclenchement du décrochage et freins à l'évacuation du lait.

En cas de doute sur une installation répondant aux normes obligatoires (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 39 : 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), défectueuse ou mal réglées

Ces mesures débouchent sur des conseils de réglages et de modifications à apporter à la machine 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)

Conclusion

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

1. BARONE R. 1990. Anatomie comparée des mammifères domestiques – Tome 4 : Spanchnologie II. Ed. Vigot, Paris.
2. BAXTER J.D, ROGERS G.W, SPENCER S.B, EBERHART R.J. 1992. The effect of milking machine linerslip on new intramammary infections. *Journal of Dairy Science*. 75 1015-1018.
3. 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.
4. 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. Avril2001.
5. 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.
6. 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 septembre2003.
7. 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 con duite et traite des troupe aux laitiers. Février2007.
8. BILLON P, MEFFE N. 2007. Etude du pouvoir contaminant des machines à traire nettoyées avec un nouveau concept de produits sans pré lavage. Résultats d'un essai réalisé dans 14 élevage. Institut de l'élevage. Février2007.
9. BILLON P, TOURNAIRE F. 2002. Rapport Institut de l'Elevage. Journées techniques des 8, 12 et 14 mars2002.
10. 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.
11. BILLON P. 2004 a. Recommandations sur l'hygiène de la machine à traire. In : Session RETCR 2004. 7 -11 juin 2004.
12. 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.
13. 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 ruminants2006. 143-150.
14. 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 novembre2005.
15. 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.
16. DE Vlieghe 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 endcondition. *Journal of Dairy Science*.

17. ESPADA E, VIJVERBERG H. 2002. Milk colour analysis as a tool for the detection of ab normal milk. Page IV28-IV38 in Proceedings First National Animal Conference Robotic Milking, Toronto, Canada.
18. 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.
19. GAUCHOT J.Y. 1993. Machine à traire et hygiène de la mamelle. Approche pratique. Thèse Toulouse 1993. n°102.
20. GIE Lait-Viande de Bretagne. 1984. Étude des principaux facteurs de dégradation lipolytique des laits.
21. GILLON J. 2002. Paiement du lait. Centre Interprofessionnel Laitier Bretagne – Pays de Loire. Novembre 2002.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. GRINDAL R.J, GRIFFIN T.K. 1989. Effect of hydraulic milking on milking performance, teat condition and lipolysis. Journal of Dairy Research.
26. 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.
27. HAMANN J, MEIN G.A, WETZEL S. 1993. Teat tissue reactions to milking : effects of vacuum level. Journal of Dairy science.
28. HAMANN J, MEIN G.A. 1996. Teat thickness changes may provide biological test for effective pulsation. Journal of Dairy Research.
29. HAMANN J, ZECCONI A. 1998. Evaluation of the electrical conductivity of milk as a mastitis indicator. Bull. 334. Int. Dairy Fed., Brussels, Belgium
30. HANZEN. C. 2007. Pathologie infectieuse de la glande mammaire. Facteurs d'élevages. Année académique 2007-2008. Faculté de Médecine Vétérinaire de Liège.
31. 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.
32. HEUCHEL V, SOMMELIER L. 1996. Caractérisation de la flore microbiologique et aptitudes fromagères des laits ultra-propres. Rapport final. Institut de l'élevage.
33. 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.
34. HEUCHEL V. 1988 a. Incidence du matériel de traite sur la lipolyse du lait de vache. ITEB, CR n°88011.
35. HILLERTON J, PANKEY J.W, PANKEY P. 2002. Effect of over-milking on teat condition. Journal of Dairy Research.
36. HILLERTON J. 2005. Teat condition scoring. An effective diagnostic tool. In : National Mastitis Council Regional meeting Proceedings (2005).
37. HOGEVEEN H, OUWELTJES W. 2003. Sensors and management support in high-technology milking. Journal of Animal Science. 81 (Suppl. 3).

38. <http://pages.usherbrooke.ca/infosbio/PSL705/Biologie/Immunologie/immunologie.htm> (consultée le 21 août 2007)
39. ISAKSSON A, LIND O. 1992. Teat reactions in cows associated with machine milking. *Journal of Veterinary Medicine*. A39.
40. 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
41. JORF du 19 avril 1994.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. JORF. 1994. Arrêté du 18 mars 1994 relatif à l'hygiène de la production et de la collecte du lait.
46. JORF. 1970. Décret n°70-1056 du 16 novembre 1970 pris pour l'application des articles 3 et 5 de la
47. 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. 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.
49. LACOMBE J.F. 1995 b. Pathologie liée à la machine à traire. Manuel pratique : accidents et maladies du trayon. Ed. France Agricole.
50. LACOMBE J.F. 1990. Machines à traire, mammites et vétérinaires praticiens. *Bulletin des G.T.V.*, 1990.
51. LACOMBE J.F. 1995 a. Le trayon, carrefour des microbes. *La dépêche Vétérinaire*, supplément technique n°42.
52. 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*.
53. LECOQ P. 1966. Les installations de traite mécanique. *Ann. Nutri. Alim.* 1966.
54. Le DU J. 1975. Le décrochage automatique supprime aussi l'égouttage et la surtraite. *L'Éleveur de bovins*. 1975.
55. Le DU J. 1977. Traite mécanique d'hier... et d'aujourd'hui. *L'Éleveur de bovins*. 1977.
56. LEPOURRY A. 1981. La traite mécanique : la vache laitière, la machine à traire et la technique de traite. Thèse Méd. Vét., Toulouse ; n°67.
57. LEVESQUE P. 2004. La méthode de traite passée en revue : des gobelets en bonne position. In : *Le producteur de lait québécois*. Avril 2004.
58. 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.

59. 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
60. 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.
61. 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..
62. MEIN G.A, MURRAY R. BROWN, DAVID M. WILLIAMS. 1986. Effects on mastitis of overmilking in conjunction with pulsation failure. *Journal of Dairy Research*.
63. 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 Council*., Fort Worth, Texas.
64. 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
65. MEIN G.A, BROWN M.R, WILLIAMS D.M. 1983. Pulsation failure as a consequence of milking with short teat cupliners. *Journal of Dairy Research*.
66. 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
67. 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*.
68. NATZKE R. P, EVERETT R. W, BRAY D. R. 1982. Effect of overmilking on udder health. *Journal of Dairy Science*.
69. NEIJENHUIS F. 2004. Chapter 7 : General Discussion. In : *Teat condition in dairy cows*.
70. NEIJENHUIS F, KLUNGEL G.H, HOGEEVEN H. 2001. Recovery of cow teats after milking as determined by ultrasonographic scanning. *Journal of Dairy Science*.
71. NEIJENHUIS F, DE BOER J, HOSPES P, KLUNGEL G. 1999. Fast pulsation transition phases do no lead to shorter machine on times. *Veehouderijtechniek*.
72. NEWMAN J.A, GRINDAL R, BUTLER M.C. 1991. Influence of liner design on mouthpiece chamber vacuum during milking. *Journal of Dairy Research*.
73. NORBERG E, HOGEEVEN H, KORSGAARD I. R, FRIGGENS N.C, SLOTH K, LOVENDAHL. Electrical conductivity of milk : ability to predict mastitis status. *Journal of Dairy Science*.
74. O'BRIEN B, O'CALLAGHAN E, DILLON P. 1998. Effect of various milking machine systems and component son free fat tyacid levels in milk. *Journal of Dairy Research*.
75. 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*.
76. OSTERAS O, RONNINGEN O, SANDVIK L, WAAGE S. 1995. Field studies show associations between pulsator characteristics and udder health. *Journal of Dairy Research*.
77. OUWELTJES W, HOGEEVEN H. 2001. Detecting abnormal milk through colour measuring. *Proceeding Annual National Mastitis Council*, RENO, NV.

78. PERRAUDIN JP. 1991. Protéines à activités biologiques : lactoferrine et lactoperoxydase. Connaissances récemment acquises et technologies d'obtention.
79. PLM. Document technique Production Laitière Moderne. 2005. Le guide du trayon. Crédits photos : Teat Club International. Extrait du numéro.
80. RASMUSSEN M.D. 1993. Influence of switch level of automatic cluster removers on milking performance and udder health. *Journal of Dairy Research* .
81. RASMUSSEN M.D. 2004. Over milking and teat condition. In : *Proceedings Annual Meeting, National Mastitis Council*.
82. 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*.
83. RASMUSSEN M.D. 1997. The relationship between mouthpiece vacuum, teat condition and udder health. *Proceedings 36th Annual Meeting, National Mastitis Council, Wisconsin*.
84. RONNINGEN O. 2002. Milkline vacuum stability in milking machine installations. *Journal of Dairy Research*.
85. SCHUILING E. 2004. Automatic milking, a better understanding. Wageningen Academic Publisher, 341-347.
86. 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*.
87. SCHUKKEN Y.H, PETERSON L.G, RAUCH B.J. 2006. Liners and teat end health. In : *National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings*.
88. STEWART S, GODDEN S, RAPNICKI P, REID D, JOHNSON A, EICKER S. 2002. Effects of automatic cluster rem setting on average milking duration, milk flow, and milk yield. *Journal of Dairy Science*.
89. WESTFALIA SURGE. Document technique. Classic300 & Classic300 E.
90. WESTFALIA SURGE. Document technique. Manchons en silicone ClassicPro.
91. 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*.

Documents web :

1. Delaval. [www.delaval.co.uk/Dairy_Knowledge/EfficientMilking/DeLaval_Concepts.htm]
2. Institut de l'élevage. Calcul du diamètre d'un lactoduc. SAUVEEO. [<http://www.instelevage.asso.fr/html1/spip.php?article917>] Mise à jour le 28 mars 2008. (consultée le 25 juin 2008)
3. Milking inflations. [www.inflations.net] Mise à jour le 4 janvier 2008. (consultée le 24 juin 2008)
4. Mise à jour le 5 février 2006. (consultée le 24 juin 2008)