

N° d'ordre : 035

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences vétérinaires

Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du **diplôme de Master** en
Sciences Vétérinaires

*Contribution à l'étude de l'Effet de l'utilisation d'un
mélange d'acides organiques sur les mammites
sub-cliniques chez la vache laitière*

Présenté par :

M/Melle/Mme : BENAKCHA Abderrahmane

M/Melle/Mme : TALAOUT Abdelhadi

Soutenu publiquement, le 08/07/2024 devant le jury :

Mme /M BAROUDI Djamel	Professeur (ENSV)	Président (e)
Mme /M KHELEF Djamel	Professeur (ENSV)	Promoteur (trice)
Mme /M BAAZIZI Ratiba	MCA (ENSV)	Examineur (trice)

Année universitaire 2023-2024

Remerciements

À Monsieur "KHELEF Djamel", qui a dirigé la réalisation de ce travail. Nous tenons à vous remercier pour votre disponibilité et vos bons conseils. Nous vous sommes également reconnaissants pour le temps conséquent que vous nous avez accordé, vos qualités pédagogiques et scientifiques, votre franchise et votre sympathie. Nous avons beaucoup appris à vos côtés et nous vous adressons notre gratitude pour tout cela.

Sincères remerciements, vous êtes le meilleur.

Nous adressons de sincères remerciements aux membres du jury, notamment à Monsieur "BAROUDI Djamel", pour avoir accepté d'évaluer ce travail, ainsi qu'à Madame "BAAZIZI Ratiba" et Madame "HANNI Amira".

Nous remercions grandement toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre travail et nous ont aidé à nous engager sur le terrain, en particulier "Dr. MECHMACH Mohamed et son assistant Lyamine", ainsi que toutes les autres personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.

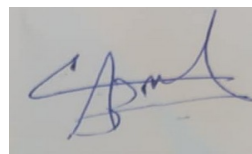
Enfin, nous remercions également tous les établissements pédagogiques responsables de notre formation, ainsi que tous nos amis les plus fidèles et les plus proches de notre vie.

DECLARATION SUR L'HONNEUR

Je , soussignée BENAKCHA Abderrahmane , déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sous toute forme de support , y compris l'internet constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée .

En conséquence , j'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire de fin d'étude .

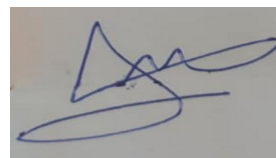
Signature



Je , soussignée TALAOUT Abdelhadi , déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sous toute forme de support , y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée .

En conséquence , j'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire de fin d'étude .

Signature



Dédicace

Merci au Noble «Allah» Dieu le Tout-Puissant qui m'a donné le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, «S.kHANNAFI et Abd El-Hak», qui ont partagé chaque étape de mon parcours éducatif avec moi. Grâce à leur soutien infini et à leur amour sans limites, j'ai surmonté les défis et continué à grandir.

À mon frère "Abderrahman" et à "mes chers frères et sœurs", à qui je souhaite tout le succès dans leurs parcours académiques et professionnels.

À ma chère tante, «KHANNAFI Khadidja» et à ma grand-mère, MRAZEGUA Aisha, qui ont été des soutiens et des encouragements tout au long de mes études.

À mes amis proches, «BENAKCHA Abderrahmane», «TEBBANI Akram» et «CHERRAD Yacine»; ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué à m'aider à atteindre cette étape de mon parcours.

À mes professeurs qui m'ont enseigné tout ce qui est utile, le respecté professeur «ALLAG Maamar», le professeur «BOUCHAGOUR Ali», le professeur «ABDELAZIZ Abdelhafid», et à tous les autres enseignants qui ont laissé en moi un sentiment de reconnaissance et d'appréciation.

TALAOUT Abdelhadi

Dédicace

Merci au Noble «Allah» Dieu le Tout-Puissant qui m'a donné le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail à mes chers "parents", qui ont partagé chaque étape de mon parcours éducatif avec moi. Grâce à leur soutien infini et à leur amour sans limites, j'ai surmonté les défis et continué à grandir.

À "mes chers frères, ma sœur et à la femme de mon frère, à qui je souhaite tout le succès dans leur vie.

À mon oncle "BenAkcha Ibrahim", ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé à atteindre cette étape de mon parcours.

À mon ami et collègue "TALAOUT Abdelhadi", à qui je souhaite tout le succès dans son parcours académique et professionnel.

À mes amis proches, ZAKI, OUSSAMA, HAITHAM, ABDELMALEK, à qui je souhaite tout le succès dans leur parcours.

À mes professeurs qui m'ont enseigné tout ce qui est utile, le respecté professeur "Fatiha AISSAOUI", le professeur "Sakina BOUSSAD", le professeur "ABDELAZIZ Abdelhafid", ainsi qu'à tous les autres enseignants qui ont laissé en moi un sentiment de reconnaissance et d'appréciation.

BENAKCHA Abderrahmane

RESUME

La mammite est la maladie la plus répandue et la plus coûteuse des élevages laitiers. Les mammites sont majoritairement sub-cliniques, ce qui rend leur détection difficile. Elles engendrent d'importantes pertes économiques en altérant la quantité et la qualité du lait, constituant ainsi un frein au développement de la filière laitière en Algérie.

Face aux risques liés aux résidus d'antibiotiques dans le lait et à l'émergence de bactéries résistantes, il est crucial de privilégier l'utilisation d'alternatives aux antibiotiques. C'est dans ce contexte que nous avons choisi ce thème, visant à évaluer l'effet des acides organiques comme traitement et protection contre les mammites sub-cliniques et leur impact sur la qualité du lait. Après une étude bibliographique approfondie sur l'importance, l'étiologie, le diagnostic et la prophylaxie des mammites sub-cliniques, nous avons mené une étude expérimentale dans la région de Sétif pour déterminer leur prévalence et étudier l'efficacité des acides organiques.

Mots clés : mammites subclinique ;acide organique ; lait ; comptage cellulaire CMT

ملخص

التهاب الضرع هو أكثر الأمراض انتشاراً وتكلفةً في مزارع الألبان. يكون التهاب الضرع في معظم الحالات دون أعراض واضحة، مما يجعل الكشف عنه صعباً. يسبب هذا المرض خسائر اقتصادية كبيرة بتدهور كمية وجودة الحليب، مما يعوق تطوير صناعة الألبان في الجزائر.

نظراً للمخاطر المتعلقة ببقايا المضادات الحيوية في الحليب وظهور البكتيريا المقاومة، فمن الضروري التفضيل بشكل أساسي إلى استخدام بدائل للمضادات الحيوية. في هذا السياق، اخترنا هذا الموضوع بهدف تقييم تأثير الأحماض العضوية كعلاج وحماية ضد التهابات الضرع غير الواضحة الأعراض وتأثيرها على جودة الحليب. بعد دراسة مكثفة للمراجع عن أهمية التهابات الضرع الغير واضحة الأعراض، وأسبابها، وتشخيصها، والوقاية منها، أجرينا دراسة تجريبية في منطقة سطيف لتحديد انتشار هذه الحالات ودراسة فعالية الأحماض العضوية.

الكلمات المفتاحية: التهاب الضرع تحت السريري ؛ الأحماض العضوية ؛ الحليب ؛ عد الخلايا غير المباشر.

Summary

Mastitis is the most widespread and costly disease in dairy farming. Mastitis cases are mostly sub-clinical, making detection difficult. They lead to significant economic losses by affecting both the quantity and quality of milk, thereby hindering the development of the dairy industry in Algeria.

Given the risks associated with antibiotic residues in milk and the emergence of resistant bacteria, it is crucial to prioritize the use of antibiotic alternatives. It is within this context that we have chosen this theme, aiming to evaluate the effect of organic acids as treatment and protection against sub-clinical mastitis and their impact on milk quality. Following an extensive literature review on the importance, etiology, diagnosis, and prophylaxis of sub-clinical mastitis, we conducted an experimental study in the region of Sétif to determine their prevalence and assess the effectiveness of organic acids.

Keywords: subclinical mastitis alternatives; organic acid; milk; somatic cell counting (CMT)

Table des matières

Table des matières	I
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Liste des abréviations	VIII
Introduction Générale	1
I partie Bibliographie	2
I.1 Rappel anatomique	2
I.2 Structure de la glande mammaire	2
I.3 Le trayon	3
I.4 Physiologie de la lactation	4
I.4.1 La mammogenèse	4
I.4.2 La lactogènes	5
I.4.3 La galactopoïèse	6
I.4.4 La sécrétion lactée	6
I.4.5 Physiologie du tarissement	7
I.4.5.1 Phase initiale d'involution	7
I.4.5.2 Phase intermédiaire	7
I.4.5.3 Phase finale ou La phase de régénérescence	7
I.5 LE LAIT	7
I.5.1 Définitions	7
I.5.2 Composition du lait	8
I.5.2.1 Les glucides	8
I.5.2.2 Matières minérales	9
I.5.2.3 Vitamines	9

I.5.3	Propriétés physico-chimiques du lait	9
I.5.4	Variabilité de la composition du lait	10
I.6	Etude pathologique des mammites	10
I.6.1	Définition	10
I.6.1.1	Origine	10
I.6.1.2	Gravité	10
I.6.2	Classification	11
I.6.2.1	Mammite clinique	11
I.6.2.2	Mammite sub-clinique	11
I.6.3	Importance des mammites	12
I.6.3.1	Importance sanitaire	12
I.6.3.2	Importance médicale	12
I.6.3.3	Importance Economique	13
I.7	Etiologies	13
I.7.1	Les germes responsables de mammites	13
I.7.1.1	Les espèces pathogènes majeures	14
I.7.1.2	Les espèces pathogènes mineures	14
I.7.1.3	Réservoirs de germes	16
I.8	Pathogénie	19
I.8.1	Pénétration d'agents pathogènes dans la mamelle	20
I.8.2	Installation d'une infection	21
I.8.3	Inflammation de la mamelle et cellules du lait	21
I.8.4	Evolution	23
I.9	Diagnostic	24
I.9.1	Diagnostic individuel	24
I.9.1.1	Diagnostic clinique	24
I.9.1.2	Le diagnostic étiologique	25
I.9.2	Diagnostic collectif	26
I.10	Traitement	27
I.10.1	Traitement pendant la lactation	27
I.10.1.1	Choix des animaux à traiter	28
I.10.1.2	Protocoles de traitements antibiotiques au tarissement et	
	autres traitements	29
I.10.1.3	Réforme des vaches mammitesuses	31
I.10.2	Traitement alternative(LES ACIDES ORGANIQUES)	31

I.10.2.1 Généralités sur les acides organiques	31
I.10.3 Mécanisme et mode d'action	32
I.10.4 Utilisation comme alternative aux antibiotiques	35
I.11 Prophylaxie	36
I.11.1 Prophylaxie sanitaire	36
I.11.2 Prophylaxie médicale	37
II PARTIE EXPERIMENTALE	37
II.1 Objectif de l'étude	38
II.2 Présentation de la zone et période du travail	38
II.3 Description de la ferme	38
II.4 MATERIEL	40
II.4.0.1 MATERIEL ANIMAL	40
II.4.1 AUTRES MATERIELS	40
II.4.1.1 La technique du test CMT	40
II.4.1.2 Prélèvements de lait	41
II.4.1.3 Matériels d'analyse physicochimique du lait	41
II.4.1.4 Additif alimentaire	44
II.5 METHODE	44
II.5.1 Description de la méthode	44
II.5.1.1 Notation de l'état corporel	45
II.6 RESULTATS	46
II.6.1 resultats du CMT avant l'utilisation du mélange d'acides organiques	46
II.6.2 Resultats du CMT Après l'utilisation d'acide organique	47
II.6.3 La production du lait	49
II.6.4 Body Condition Score (BCS)	50
II.6.5 Les paramètres physico-chimique	51
II.6.6 Acidité	52
II.6.7 PH	52
II.6.8 Densité	53
II.6.9 Discussion	54
II.6.9.1 Effet sur la santé mammaire	54
II.6.9.2 Impact sur la production laitière	54
II.6.9.3 Amélioration de l'état corporel	54
II.6.9.4 Modifications de la qualité du lait	54

II.6.9.5 Implications pour la gestion des mammites et la réduction	
de l'utilisation des antibiotiques	55
II.6.10 conclusion	56
Conclusion générale	56

Table des figures

I.1	Alvéole mammaire (Ch.Hanzen 2007-2008)	3
I.2	Tissu glandulaire du quartier (Ch. Hanzen 2008-2009)	3
I.3	schéma anatomique du trayon (Ch. Hanzen 2008-2009)	4
I.4	Phases du développement mammaire de la génisse (Ch. Hanzen 2008-2009)	5
I.5	Le réflexe d'éjection du lait (let-down) (Ch. Hanzen 2008-2009)	6
I.6	Graphique représentant le danger des mammites subcliniques dans le trou-	
	peau (KAIDI, MIMOUNE, 2023)	13
I.7	(Schéma du phénomène d'impact	18
I.8	Coupe longitudinale de l'extrémité du trayon chez la vache (d'après BA-	
	RONE 1978)	21
I.9	Interaction entre les défenses et les bactéries dans la mamelle de la vache	
	laitière (d'après KREMER et al 1990)	23
II.1	photo descriptif de la ferme (photo personnelle)	39
II.2	alimentation donnée à la ferme (photo personnelle)	39
II.3	Le LACTOSCAN (photo personnelle)	42
II.4	Mesure de l'acidité dornic (photo personnelle)	43
II.5	Mesure du pH (photo personnelle)	44
II.6	Histogramme représentant le résultat du CMT avant l'utilisation de l'acide	
	organique	46
II.7	Histogramme représentant les résultats du CMT après l'utilisation de	
	l'acide organique	48
II.8	Histogramme montrant la production laitière après l'utilisation du mé-	
	lange d'acide organique	49
II.9	Histogramme montrant le Body Condition Score (BCS) avant et après	
	l'utilisation d'acides organiques	50
II.10	Histogramme montrant le changement des paramètres physicochimiques	
	du lait avant et après l'utilisation du mélange d'acides organiques	51

II.11	Histogramme montrant le changement de l'acidité du lait avant et après l'utilisation de l'acide organique	52
II.12	Histogramme montrant le changement du pH du lait avant et après l'utilisation du mélange d'acides organique	52
II.13	Histogramme montrant le changement de la densité du lait avant et après l'utilisation du mélange d'acides organiques	53

Liste des tableaux

I.1	Les composants du lait (Hanzen, 2007)	8
I.2	Représentation des principaux paramètres et de leurs valeurs dans le lait (Hanzen, 2007).	10
I.3	Caractères épidémiologique et écologiques des espèces microbiennes responsables de mammites sub-cliniques et de mammites cliniques aiguës (FAROULT B, Avril 2000)	14
I.4	Répartition des différentes populations cellulaires du lait en l'absence d'infection (SERIEYS 1985)	22
I.5	Règle d'interprétation des résultats du CMT (BERTHELOT et al 1987)	25
I.6	Estimation du niveau d'infection du troupeau grâce au TCT. (NOIRE-TERRE, P. 2006)	27
I.7	Pronostic de curabilité des infections mammaires subcliniques par un traitement en lactation (Remy, 2010)	28
I.8	Spectre d'activité des antibiotiques présents dans les produits intra mammaire de tarissement. (Remy, 2010)	30
I.9	Nomenclature des acides organiques (CHERRINGTON et al., 1991).	32
II.1	représentation des vaches de la ferme	40
II.2	CMT avant l'utilisation du mélange d'acides organiques	46
II.3	CMT Après l'utilisation d'acide organique	47
II.4	laProduction laitière (en litres) avant et après l'utilisation d'acides organiques	49
II.5	Body Condition Score (BCS) avant et après l'utilisation d'acides organiques	50
II.6	représente les paramètres physico-chimiques du lait avant et après l'utilisation des acides organiques	51

Liste des abréviations

ADN : acide désoxyribonucléique.

AIS : anti inflammatoire stéroïdiens.

D° : degré Dornic.

GMQ : gain moyen quotidien

Gram- : gram négatif.

Gram+ : gram positif.

TB : taux butyreux.

TP : taux protéique.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

Les mammites subcliniques représentent un défi majeur pour l'industrie laitière mondiale, affectant significativement la santé animale et la rentabilité des exploitations. Ces infections mammaires, souvent asymptomatiques, entraînent une diminution de la production laitière, une altération de la qualité du lait et des coûts de traitement élevés. L'impact économique des mammites subcliniques est considérable, avec des pertes estimées à plusieurs milliards d'euros par an à l'échelle mondiale. De plus, ces infections compromettent le bien-être animal et peuvent potentiellement affecter la sécurité sanitaire des produits laitiers.

Traditionnellement, la gestion des mammites repose largement sur l'utilisation d'antibiotiques. Cependant, cette approche soulève de sérieuses préoccupations en raison du développement croissant de la résistance aux antimicrobiens. L'usage excessif et parfois inapproprié des antibiotiques dans l'élevage contribue à l'émergence de bactéries résistantes, menaçant non seulement la santé animale mais aussi la santé publique. De plus, la présence de résidus d'antibiotiques dans le lait pose des problèmes pour la transformation laitière et la sécurité alimentaire.

Face à ces défis, la recherche de solutions alternatives aux antibiotiques est devenue une priorité. Les acides organiques émergent comme une option prometteuse pour la prévention et le traitement des mammites subcliniques. Ces composés naturels présentent des propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires, tout en étant moins susceptibles de provoquer une résistance bactérienne. De plus, ils peuvent contribuer à améliorer la santé du rumen et l'efficacité alimentaire des vaches laitières.

Dans ce contexte, notre étude s'est concentrée sur l'évaluation de l'efficacité d'un mélange d'acides organiques dans la gestion des mammites subcliniques chez les vaches laitières. L'expérimentation a été menée sur un échantillon de sept vaches, en utilisant le California Mastitis Test (CMT) pour évaluer la santé mammaire, le Body Condition Score (BCS) pour suivre l'état corporel des animaux, et en analysant divers paramètres physico-chimiques du lait. Cette approche multidimensionnelle vise à fournir une compréhension approfondie des effets des acides organiques sur la santé mammaire, la production lai-

tière et la qualité du lait, ouvrant ainsi la voie à des recommandations pratiques pour l'industrie laitière.

Chapitre I

PARTIE BIBLIOGRAPHIE

I.1 Rappel anatomique

La conformation de la mamelle d'une vache laitière, dont le poids, estimé à environ 50 kilogrammes, peut varier en fonction de son âge, se distingue par une structure anatomique divisée en quatre quartiers grâce à l'existence de ligaments. Cette configuration particulière prévient le passage direct de bactéries d'un quartier à l'autre, préservant ainsi l'intégrité microbiologique du lait produit. En ce qui concerne la vascularisation, celle-ci est assurée par les artères mammaires craniale, caudale et honteuse externe, contribuant à la fourniture adéquate de sang et de nutriments. Par la suite, l'innervation est prise en charge par les nerfs honteux, génito-fémoral ou mammaires, jouant un rôle essentiel dans la régulation des fonctions liées à la lactation. Quant à la capacité de la citerne responsable du stockage du lait, elle est en moyenne d'environ 1 litre, soulignant le risque potentiel d'égouttage et mettant en évidence la nécessité de maintenir des conditions d'hygiène optimales pour éviter toute contamination. Avant la traite, le lait est réparti de manière spécifique dans les différentes parties de la mamelle, avec environ 60% dans les alvéoles, 20% dans les canaux, et les 20% restants stockés dans la citerne. Cette distribution précise revêt une importance cruciale pour optimiser le processus de traite et maximiser le rendement laitier. Une compréhension approfondie de ces aspects anatomiques et physiologiques permet aux éleveurs de mettre en œuvre des pratiques de soins et de traite adaptées, garantissant la santé et la productivité optimale des vaches laitières. (Prof. Ch.Hanzen 2008-2009)

I.2 Structure de la glande mammaire

La structure complexe de la glande mammaire d'une vache laitière se compose de deux systèmes distincts : le système alvéolaire et le système canaliculaire ou excréteur. Le système alvéolaire, au cœur de la synthèse du lait, opère dans les alvéoles ou acinis, des vésicules de 100 à 300 microns. Ce processus implique les lactocytes internes et les cellules myo-épithéliales externes, assurant ainsi la production et l'éjection efficace du lait. Un réseau artério-veineux périphérique joue un rôle crucial en fournissant environ 500 litres de sang par litre de lait produit, soulignant l'importance de la vascularisation pour le métabolisme laitier. Le système canaliculaire ou excréteur comprend les canaux galactophores, la citerne du pis, les sinus et le canal du trayon. Cette partie du système glandulaire permet le transport du lait vers l'extérieur de la mamelle, assurant ainsi une voie efficace pour la traite. La coordination précise entre ces deux systèmes, avec leurs composants anatomiques spécifiques, est essentielle pour le bon fonctionnement de la

lactation et la production laitière optimale chez les vaches.

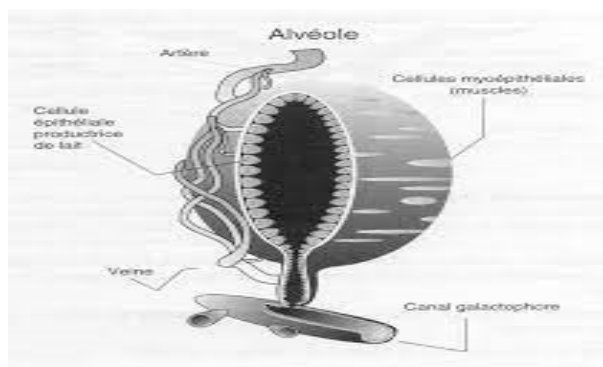


FIGURE I.1 — Alvéole mammaire (Ch.Hanzen 2007-2008)

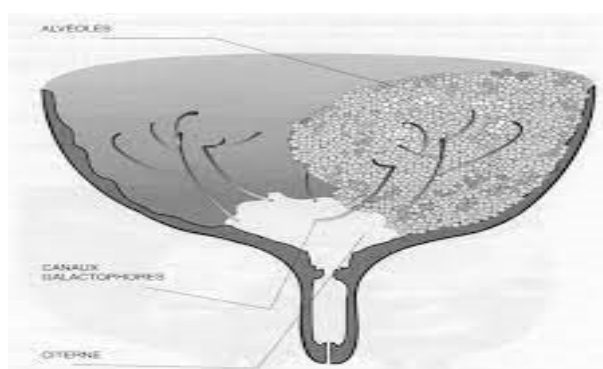


FIGURE I.2 — Tissu glandulaire du quartier (Ch. Hanzen 2008-2009)

I.3 Le trayon

Une composante cruciale du système mammaire des vaches laitières, présente des caractéristiques distinctives. Mesurant entre 3 et 10 cm de longueur, avec un diamètre variant de 2 à 4 cm, le trayon est équipé d'un repli annulaire, constitué de tissu érectile veineux, situé entre la citerne du pis et le sinus du trayon. Cette structure contribue à la régulation du flux sanguin et à la réponse mécanique et thermoréceptive grâce à de nombreux vaisseaux et nerfs, y compris des terminaisons nerveuses. Le canal du trayon, d'une longueur de 5 à 13 mm et d'un diamètre oscillant entre 1 à 2 mm (ouvert) et 0.4 mm (fermé). La kératine, qui tapisse la paroi interne du canal, joue un rôle essentiel dans la captation des bactéries, soulignant l'importance de maintenir une barrière protectrice (Ch. Hanzen 2008-2009). La zone cutanée du trayon se caractérise par une fragilité inhérente, dépourvue de poils, de glandes sébacées, muqueuses ou sudoripares qui pourraient la protéger. Cette particularité la rend particulièrement réceptive aux fluctuations de température, d'hygrométrie et de luminosité, comme souligné par (Sylvain G en 2008)

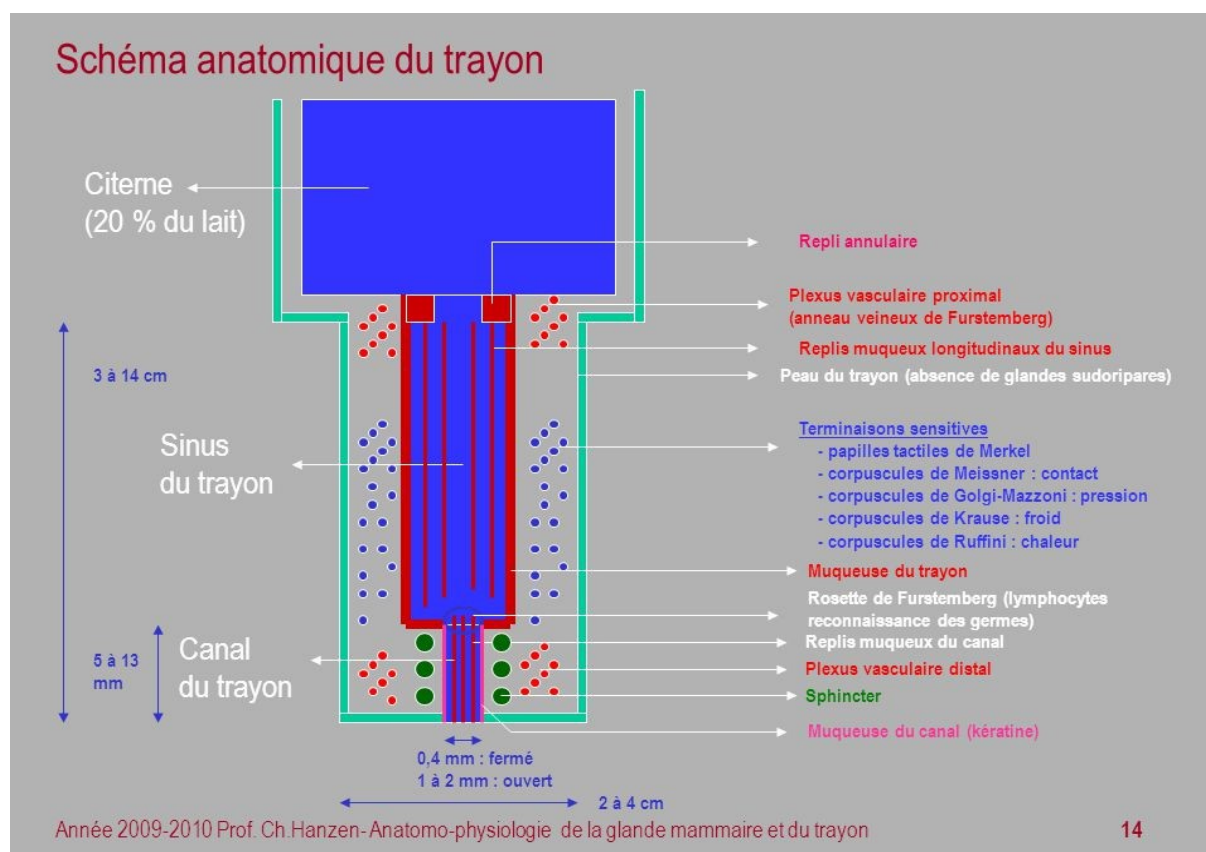


FIGURE I.3 — schéma anatomique du trayon (Ch. Hanzen 2008-2009)

I.4 Physiologie de la lactation

I.4.1 La mammogénèse

Représente la phase de développement de la glande mammaire chez la vache, englobe plusieurs étapes tout au long de la vie de l'animal.

Durant la période fœtale, on observe le fractionnement des crêtes mammaires, jetant ainsi les bases de la structure glandulaire à venir.

De la naissance à la puberté, la glande mammaire de la vache connaît peu de modifications, avec une croissance isométrique, c'est-à-dire proportionnelle au développement global de son corps.

Au stade pré-pubertaire, la mamelle de la vache subit une croissance allométrique, caractérisée par une expansion plus rapide que celle du reste de son corps. Cette phase est influencée positivement par les premiers pics d'œstrogènes, bien que la présence d'un GMQ dépassant les 700 grammes puisse avoir un impact négatif sur la production laitière.

Pendant la période pubertaire, il y a une accélération de la multiplication du système

canaliculaire de la mamelle, en particulier chez les vaches appartenant à des espèces à cycle sexuel court, favorisée par une suralimentation. La gestation chez la vache marque la continuité de la multiplication et la différenciation du système alvéolaire de la glande mammaire, aboutissant à l'acquisition de la capacité de synthèse du lait environ deux jours avant le vêlage. Ainsi, la mammogenèse chez la vache représente un processus complexe, régulé par des facteurs hormonaux et environnementaux, qui contribue au développement de la glande mammaire et prépare la voie à la production laitière lors de la lactation (Ch. Hanzen 2008-2009).

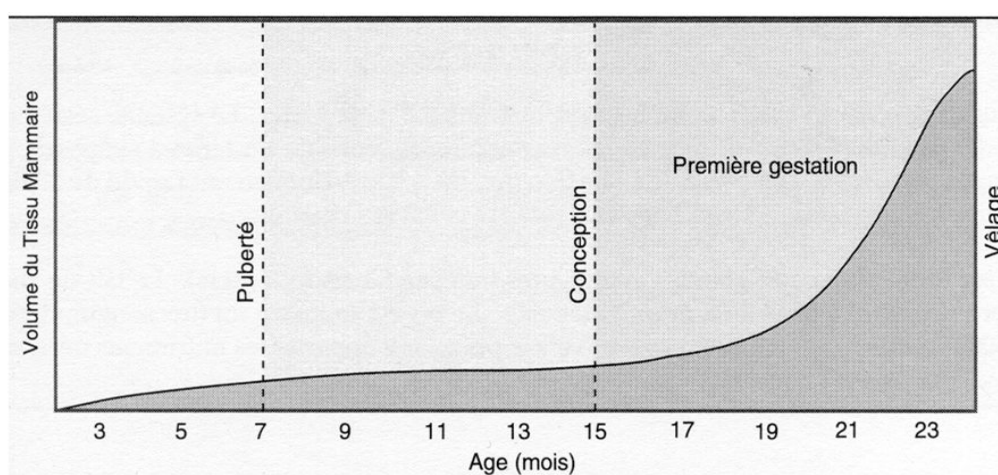


FIGURE I.4 — Phases du développement mammaire de la génisse (Ch. Hanzen 2008-2009)

I.4.2 La lactogènes

Au cours de la gestation, les alvéoles mammaires se forment progressivement. Les cellules épithéliales qui composent ces alvéoles développent la capacité de synthétiser les composants du lait. Cependant, cette activité synthétique demeure relativement limitée jusqu'au moment de la parturition. À la naissance de veau, l'activation des processus de sécrétion, stimulée par la tétée ou la traite, entraîne une significative amplification de l'activité synthétique des cellules alvéolaires, marquée par l'acquisition d'une structure hypertrophiée (Jarrig. R, 1982). Selon, (Ch. Hanzen 2008-2009) la lactogènes représente la phase initiale de déclenchement de la lactation. Cette période est caractérisée par des modifications histologiques significatives, comprenant l'hypertrophie du réticulum endoplasmique (RE) et de l'appareil de Golgi. De plus, on observe une augmentation du nombre de gouttelettes graisseuses, l'apparition d'une bipolarité apicale et basale, ainsi que l'étêtement des cellules. Ces transformations histologiques jouent un rôle crucial dans la préparation de la glande mammaire pour la production et la sécrétion ultérieure du

lait.

I.4.3 La galactopoïèse

Qui succède immédiatement à la lactogènes, englobe l'optimisation de la synthèse du lait et le maintien de sa sécrétion. Le lait résulte de l'élaboration de métabolites prélevés dans le sang, suivant deux processus distincts : la synthèse et la filtration sélective. La filtration sélective permet le transfert direct, sans altération, des protéines sériques telles que l'albumine et la globuline, de l'azote non protéique, des acides gras, des sels minéraux, des oligo-éléments, des enzymes et des vitamines du sang vers le lait. Concernant les vaches, la production laitière connaît une augmentation significative dès la mise bas, atteignant son apogée entre la 6^e et la 8^e semaine, avant de décroître progressivement (Boukacem. A et Radoui. A, 2005-2006)

I.4.4 La sécrétion lactée

Le lait alvéolaire synthétisé dans les cellules épithéliales traverse les canaux galactophores pour atteindre la citerne de la mamelle. Ce processus est déclenché par la contraction des alvéoles, résultant d'un réflexe neuroendocrinien. Diverses stimulations au niveau des terminaisons sensibles du trayon, telles que la pression, la tétée du jeune ou la traite, déclenchent la libération d'ocytocine. Par conséquent, le réflexe d'éjection du lait peut être conditionné chez la vache en réponse à des stimulations caractéristiques d'une salle de traite. Tout facteur de "stress", qu'il soit physique ou psychique, a pour effet d'inhiber l'éjection du lait (Boukacem. A et Radoui. A, 2005-2006).

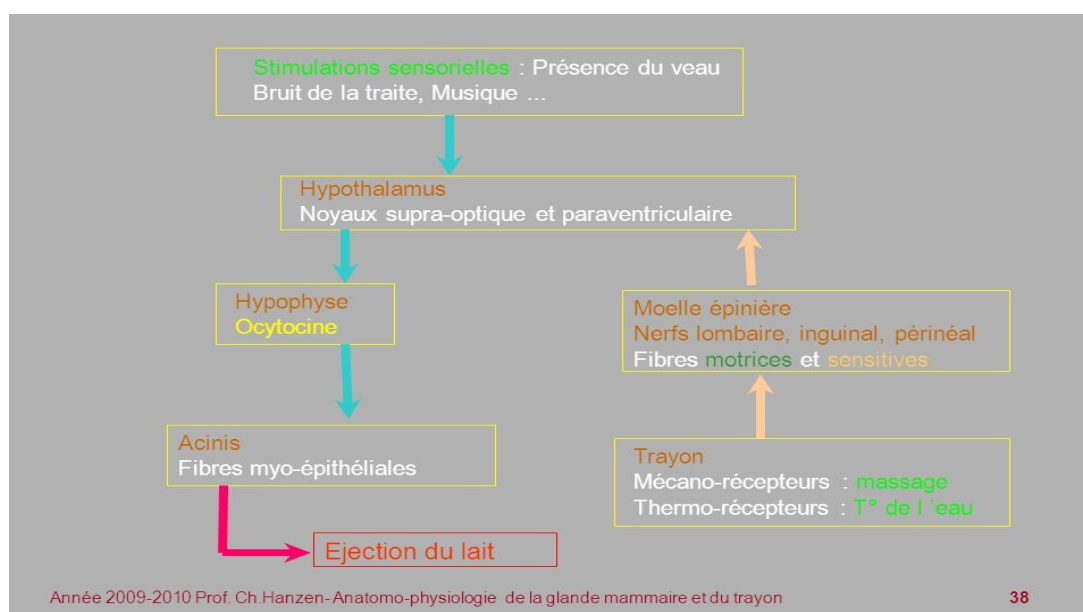


FIGURE I.5 — Le réflexe d'éjection du lait (let-down) (Ch. Hanzen 2008-2009).

I.4.5 Physiologie du tarissement

Au cours de la période de tarissement, la vache laitière est sujette à une série de changements hormonaux, morphologiques et physiologiques. Ces modifications ont un impact significatif sur la mamelle en particulier. Traditionnellement, on identifie trois phases successives de ce processus :

I.4.5.1 Phase initiale d'involution

Durant cette période, le tissu sécrétoire subit une désorganisation, conduisant à la diminution ultime de la lactation (Ch. Hanzen 2008-2009).

I.4.5.2 Phase intermédiaire

Où la glande mammaire subit une involution totale, mettant fin à toute activité sécrétoire (Ch. Hanzen 2008-2009).

I.4.5.3 Phase finale ou La phase de régénérescence

Qui commence environ 2 à 3 semaines avant le vêlage, est caractérisée par des changements hormonaux significatifs. Une diminution des niveaux d'œstrogènes s'accompagne d'une augmentation de la prolactine, tandis que la progestérone diminue, favorisant une augmentation des récepteurs à la prolactine. Au cours de cette période, la formation du colostrum est initiée, marquée par un transfert actif des IgG1, ainsi que par la synthèse locale des IgG2, IgM et IgA. La synthèse de lactose débute environ trois semaines avant le vêlage. Un œdème mammaire se développe également, conduisant à la dilation du canal du trayon. Ces événements sont tous des indicateurs clés de la préparation de la mamelle à la production laitière imminente (Ch. Hanzen 2008-2009).

I.5 LE LAIT

I.5.1 Définitions

Le lait destiné à la consommation humaine a été officiellement défini en 1908 lors du premier congrès international pour la répression des fraudes alimentaires. Il est décrit comme le produit résultant de la traite complète et continue d'une vache en bonne santé, correctement nourrie et non stressée, et doit être collecté de manière hygiénique, sans présence de colostrum (Deb et al., 2013).

Le lait est un liquide blanc et opaque, doté d'une saveur légèrement sucrée, qui constitue

un aliment complet et équilibré. Il est produit par les glandes mammaires des mammifères femelles, y compris chez l'homme, pour nourrir leurs jeunes. Le lait cru désigne le lait qui n'a subi aucun traitement de conservation, à l'exception de la réfrigération à la ferme. Sa date limite de vente est fixée au jour suivant celui de la traite. Pour des raisons de sécurité alimentaire, il est recommandé de porter le lait cru à ébullition avant consommation, car il peut contenir des germes pathogènes. Il doit également être conservé au réfrigérateur et consommé dans les 24 heures suivant sa réception (Fuenzalida et al., 2015).

Ils mentionnent que le lait doit également être collecté dans des conditions d'hygiène strictes et répondre à toutes les normes sanitaires requises. Avant sa commercialisation, il peut subir des procédés de standardisation lipidique et de purification microbiologique afin de réduire les risques sanitaires et garantir une conservation prolongée.

La dénomination "lait", sans spécification de l'espèce animale d'origine, est exclusivement réservée au lait de vache. Tout lait provenant d'une autre femelle laitière doit être désigné comme "lait" suivi de l'indication de l'espèce animale dont il provient.

I.5.2 Composition du lait

TABLE I.1 — Les composants du lait (Hanzen, 2007)

Les composants	Leurs teneurs
Eau	902.2
Matières sèches	130.0
Glucides	49.0
Matières grasses	39.0
Matières azotées	33.0
Protéines	32.7
Caséine	28.0
Protéines solubles	4.7
Azote non protéique	0.3
Sel	9.0
Biocatalyseurs, enzymes, vitamines	Traces

I.5.2.1 Les glucides

Le lactose est pratiquement le seul glucide présent dans le lait de vache, et il est spécifique à ce lait. Ce sucre est un diholoside composé d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose. Chez les ruminants, il est synthétisé par la glande mammaire à partir des acides gras volatils (AGV). Le lactose est le seul sucre pouvant être efficacement

utilisé par les jeunes animaux, car leur tube digestif possède l'enzyme lactase mais manque de saccharase, de maltase et d'amylase (Michel et al., 2000).

I.5.2.2 Matières minérales

Les matières minérales se trouvent sous forme d'ions ou de sels non dissociés. Elles incluent principalement le calcium, le potassium, le sodium, ainsi que des traces de fer, de cuivre, de zinc et de manganèse (Pinzon-Sanchez et Ruegg, 2011).

I.5.2.3 Vitamines

Les vitamines présentes dans le lait peuvent être classées en deux catégories : les vitamines hydrosolubles (B, C), qui se trouvent dans la phase aqueuse du lait comme le lait écrémé et le lactosérum, et les vitamines liposolubles (A, D, E) qui sont associées aux matières grasses telles que la crème et le beurre (Hanzen, 2007).

I.5.3 Propriétés physico-chimiques du lait

Dans l'industrie laitière, plusieurs propriétés physico-chimiques du lait sont couramment utilisées, notamment la masse volumique, la densité, le point de congélation, le point d'ébullition et l'acidité (Amiot et Coll., 2002).

— A.Masse volumique

D'après (Pointurier 2003), la masse volumique moyenne du lait entier à 20°C est d'environ 1030 kg/m³.

— B.Densité

La densité d'un liquide est une mesure sans dimension qui représente le rapport entre la masse d'un volume donné de ce liquide et la masse du même volume d'eau.

— C.Point de congélation

Selon Neville et Jensen (1995), le point de congélation du lait se situe généralement entre -0.54 et -0.55°C.

— D.Point d'ébullition

D'après Amiot et Coll. (2002), le point d'ébullition du lait est légèrement supérieur à celui de l'eau, soit environ 100.5°C

— E.Acidité du lait

Jean et Dijon (1993) indiquent que l'acidité titrable du lait peut être exprimée en grammes d'acide lactique par litre de lait ou en degrés Dornic (°D). Un degré Dornic (1°D) correspond à 0.1g d'acide lactique par litre de lait. Le lait cru collecté doit avoir une acidité 21 °D. Un lait avec une acidité 27 °D coagule à la chaleur, tandis

qu'un lait avec une acidité 70 °D coagule à froid.

I.5.4 Variabilité de la composition du lait

La composition du lait varie considérablement en fonction de la race de la vache, du stade de lactation, de la saison et de nombreux autres facteurs. Cependant, le rapport entre certains composants est très stable et peut être utilisé pour détecter des altérations de la composition naturelle du lait.

TABLE I.2 — Représentation des principaux paramètres et de leurs valeurs dans le lait (Hanzen, 2007).

Paramètre	Valeurs
pH (20°C)	6.5 à 6.7
Acidité titrable	16 à 18 D
Densité (20°C)	1.023 à 1.034
Point de congélation	-0.518°C à -0.534°C
Point d'ébullition	100.17°C
1 litre de lait	1032 g

I.6 Etude pathologique des mammites

I.6.1 Définition

Inflammation affectant un ou plusieurs quartiers, indépendamment de leur origine, de leur gravité et de leur évolution.

I.6.1.1 Origine

Les mammites sont principalement d'origine infectieuse. Les occurrences de mammites d'origine chimique ou traumatique sont rares et tendent souvent à se compliquer par une infection mammaire, entraînant des symptômes tels que la douleur, la rétention lactée et l'infection.

I.6.1.2 Gravité

- soit une perturbation simple de la fonction de sécrétion, se manifestant par une diminution de la production et une augmentation du nombre de cellules somatiques dans le lait, sans présenter de signes cliniques apparents (mammites sub-cliniques).
- soit une perturbation de la fonction de sécrétion accompagnée de signes cliniques fonc-

tionnels tels que des grumeaux dans le lait.

- soit une perturbation de la fonction de sécrétion avec des signes cliniques fonctionnels (grumeaux dans le lait) en plus de signes locaux tels que l'enflure, la chaleur, la rougeur et la douleur.
- soit une perturbation de la fonction de sécrétion, des signes cliniques fonctionnels (grumeaux dans le lait), des signes locaux, ainsi que des signes généraux tels qu'un syndrome fébrile (HOUARI, H., ZENATI, H. (2011).

I.6.2 Classification

I.6.2.1 Mammite clinique

La mammite clinique se définit par la présence de symptômes fonctionnels, indiquant une altération de la sécrétion de la glande mammaire. Les modifications de la quantité et de l'aspect du lait témoignent d'une perturbation des fonctions de sécrétion et de filtration.

En plus de ces symptômes fonctionnels, les manifestations locales classiques de l'inflammation peuvent être observées, telles que la rougeur, la tuméfaction, la chaleur et la douleur au niveau de la mamelle ou du quartier touché, caractérisant ainsi la mammite aiguë. Dans le cas de la mammite chronique, on note une atrophie et une sclérose du quartier affecté.

Parfois, des symptômes généraux liés à une intoxication peuvent être remarqués, se manifestant par une altération de l'état général, comprenant l'abattement, l'anorexie, l'hyperthermie, la rumination altérée, la déshydratation, et des troubles locomoteurs. Cette condition est alors qualifiée de mammite suraiguë. Noireterre, P. (2006).

I.6.2.2 Mammite sub-clinique

Par définition, elle ne présente aucun symptôme évident : la sécrétion semble macroscopiquement normale même au début de la traite, et aucun signe local ou général n'est perceptible. Seule une analyse en laboratoire du lait révèle des altérations chimiques (diminution des taux de caséines et de lactose, augmentation des taux de chlorures), bactériologiques (présence de germes), et surtout cellulaires, avec une augmentation des cellules somatiques du lait, notamment des polynucléaires neutrophiles.

Les mammites sub-cliniques, plus fréquentes que les mammites cliniques, opèrent de manière insidieuse, engendrant d'importantes pertes économiques dues à une diminution de la production laitière et à une hausse des comptages cellulaires dans le troupeau. Noireterre,

P. (2006).

I.6.3 Importance des mammites

I.6.3.1 Importance sanitaire

Les mammites représentent une menace pour l'hygiène animale et peuvent entraîner des préoccupations pour la santé publique. La possibilité de transmission de germes via le lait, créant un risque zoonotique, suscite des inquiétudes au sein de la communauté de la santé publique. (BRADLEY,2002).

En effet, le lait affecté par la mammité constitue un moyen de transmission des agents responsables de diverses toxi-infections alimentaires collectives (TIAC), tels que *Staphylococcus aureus*, *Salmonelles* et *Listeria*. Il est important de souligner que certaines souches de *Staphylococcus aureus* ont la capacité de produire des entérotoxines thermostables, susceptibles de déclencher des TIAC. Il est recommandé que le lait présente une concentration en dessous de 500 souches de *S. aureus* par millilitre, tandis que le lait affecté par la mammité peut contenir jusqu'à 10^5 souches par millilitre (DOMINIQUE, 2007).

I.6.3.2 Importance médicale

Les mammites représentent le motif d'intervention vétérinaire le plus fréquent et ont des conséquences néfastes sur le bien-être des animaux (Poutrel, 1985).

Les mammites cliniques peuvent entraîner la perte de l'animal ou, au minimum, compromettre sa productivité. Parallèlement, les mammites sub-cliniques, bien que difficiles à guérir, conduisent souvent à la réforme de l'animal et à son abattage précoce, se propageant parfois rapidement au sein d'un troupeau sans que le producteur en ait conscience. Il est

important de noter qu'un seul cas de mammité clinique peut être associé en moyenne à 20 à 40 cas de mammites sub-cliniques. La fréquence des cas cliniques sert d'indicateur de l'ampleur des mammites sub-cliniques au sein d'un troupeau (Wattiaux,2006)

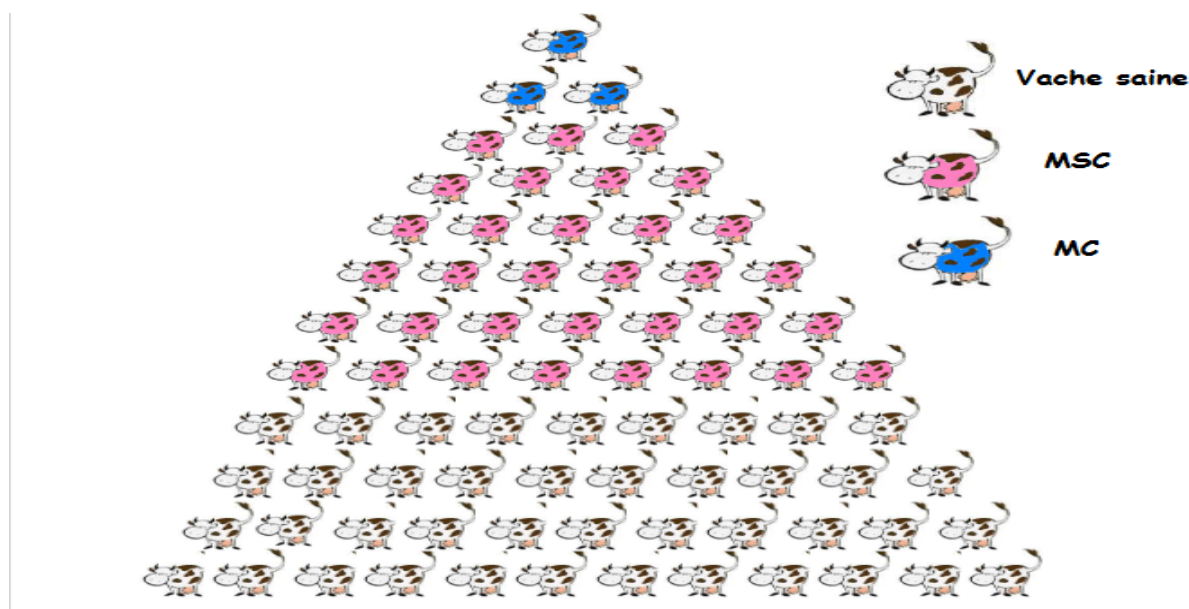


FIGURE I.6 — Graphique représentant le danger des mammites subcliniques dans le troupeau (KAIDI, MIMOUNE, 2023)

I.6.3.3 Importance Economique

La mammite se positionne en tant que la pathologie prédominante dans le secteur de l'élevage laitier, exerçant un impact économique significatif. Cette influence économique se décompose en plusieurs aspects majeurs. Tout d'abord, les coûts associés aux traitements nécessaires pour contrer la mammite représentent une part substantielle des dépenses économiques dans un élevage. De plus, la période de retrait du lait de la consommation, nécessaire pendant le traitement, entraîne une non-commercialisation du lait, entraînant des pertes financières supplémentaires.

Un autre élément important est la perte de production laitière consécutive à la mammite clinique, impactant directement la rentabilité de l'élevage. En outre, coût des réformes liées aux mammites

I.7 Etiologies

I.7.1 Les germes responsables de mammites

La mamelle ne contient pas de flore microbienne, et le lait d'un quartier sain est stérile à sa sortie. Néanmoins, le canal du trayon est souvent exposé à une contamination bactérienne. La majorité des infections sont causées par des bactéries, tandis que les mammites mycosiques sont peu fréquentes, et les mammites virales sont rares (P Guerin, et V Guerin

-Faublée, 2005) Il est peu fréquent de détecter deux types de bactéries dans un échantillon de lait provenant d'une mammité correctement collectée et transportée (P Guerin, et V Guerin –Faublée 2005). Traditionnellement, les espèces bactériennes impliquées dans les mammites sont classées en deux groupes :

I.7.1.1 Les espèces pathogènes majeures

Susceptibles de causer des mammites cliniques ou sub cliniques, comprennent les streptocoques (*Streptococcus uberis*, *Str. dysgalactiae*, *Str. agalactiae*), les entérocoques (*Enterococcus faecalis*...), les staphylocoques à coagulase positive (CPS) tels que *Staphylococcus aureus*, ainsi que les entérobactéries (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter aerogenes*...). Ces trois familles de germes sont responsables de la grande majorité des cas de mammites cliniques, représentant entre 80 et 90 % des occurrences selon (ARGENTE et al 2005, FABRE et al 1997).

TABLE I.3 — Caractères épidémiologique et écologiques des espèces microbiennes responsables de mammites sub-cliniques et de mammites cliniques aiguës (FAROULT B, Avril 2000)

	Sévérité des infections	Persistance des infections	Réservoirs des microorganismes	Mécanisme du transfert des microorganismes
Staphylocoque doré (<i>S. aureus</i>)	+	+++	Mamelle	À l'occasion de la traite
Streptocoque (<i>S. agalactiae</i>)	++	++	Mamelle	À l'occasion de la traite
Streptocoque (<i>S. dysgalactiae</i>)	++	++	Mamelle	À l'occasion de la traite
Streptocoque (<i>S. uberis</i>)	++	++	Litières	En dehors des traites
Colibacille (<i>E. coli</i>)	+++	+	Litières	En dehors des traites

(+++ : Importante, ++ : Moyenne, + : Faible)

I.7.1.2 Les espèces pathogènes mineures

Sont rarement associées aux cas de mammites cliniques, mais plutôt à des mammites sub-cliniques. Ces germes sont principalement représentés par les staphylocoques à coagulase négative (CNS) tels que *S. xylosus*, *S. chromogenes*, *S. warneri*, *S. haemolyticus* (ARGENTE et al 2005, FABRE et al 1997).

- A. Les streptocoques : coques à Gram positif en chaîne anaérobies facultatifs, caractérisés par leur catalase négative, présentent une croissance privilégiée sur

gélose au sang, formant des colonies translucides en goutte de rosée en l'espace de 24 heures. Trois types de streptocoques sont principalement associés aux mammites bovines :

- *Str. uberis*, caractérisé par une esculine variable.
- *Str. agalactiae*, qui a une survie limitée dans l'environnement et une sensibilité élevée aux antibiotiques (donc susceptible d'éradication)
- *Str. dysgalactiae*, dont la transmission se fait d'un quartier à l'autre pendant la traite, provoquant ainsi des mammites de traite ou contagieuses. À noter que, sauf *Str. uberis*, qui se transmet principalement entre les traites, induisant des mammites d'environnement (Bidaud O et al ; 2007).

— B. Les staphylocoques

a) Staphylocoques pathogènes majeurs :

Staphylococcus aureus, également connu sous le nom de staphylocoque à coagulase positive (CPS), occupe la position du germe pathogène le plus fréquemment associé aux cas de mammite chez les vaches. Les mammites provoquées par *S. aureus* sont considérées comme des affections contagieuses, se propageant d'un quartier infecté à un quartier sain. Ce micro-organisme produit diverses toxines et enzymes, notamment la toxine , la coagulase, les fibrinolysines, les hyaluronidases, les leucocidines et les hémolysines, expliquant ainsi sa pathogénicité. La toxine , en particulier, induit une nécrose cutanée résultant d'une vasoconstriction prolongée, expliquant l'émergence occasionnelle de mammites suraiguës, également appelées mammites gangreneuses (Bidaud O et al ; 2007).

b) Staphylocoques pathogènes mineurs :

Il s'agit principalement des staphylocoques à coagulase négative, également appelés « CNS ». Ces micro-organismes sont les premiers responsables des infections mammaires chez les vaches lors de leur première lactation, touchant jusqu'à 48% des animaux. Bien qu'ils entraînent des augmentations des taux cellulaires du lait, créant une préleucocytose, les infections cliniques sont rares.

De plus, *S. epidermidis* exerce un effet protecteur sur la mamelle contre *E. coli*, *Str. agalactiae* et *S. aureus*. Les infections mammaires causées par les staphylocoques, en particulier *S. aureus*, se caractérisent par une persistance élevée. Ces germes pénètrent profondément dans le parenchyme mammaire grâce à leur équipement enzymatique comprenant la fibrinolysine et la coagulase, et ils résistent à la lyse par les macrophages en raison de la présence d'une capsule. Ainsi, ils peuvent persister à l'intérieur des phagocytes, se retrouvant dans de micro abcès disséminés dans

le parenchyme mammaire des quartiers infectés. Ces infections à staphylocoques, qu'il s'agisse de *S. aureus* ou de CNS, persistent jusqu'au tarissement dans environ 85 85% des cas (P Guerin, et V Guerin -Faublée, 2005).

I.7.1.3 Réservoirs de germes

La dissémination des micro-organismes dans les élevages est étendue. Cependant, chaque microbe présente des zones privilégiées, appelées réservoirs primaires, ainsi que des sites supplémentaires, désignés comme réservoirs secondaires. Par exemple, les réservoirs primaires de *S. aureus*, *Str. Agalactiae* et *Str. Dysgalactiae* sont les quartiers infectés et les lésions des trayons. De même, les entérobactéries, *Str. Uberis*, *E. faecium* et *E. faecalis* trouvent leurs réservoirs primaires dans la litière.

— A. Facteurs de variations

a) Facteurs liés à l'animal :

- Le stade de lactation : La majorité des nouvelles infections se produisent au cours des trois premiers mois de lactation ; Parmi ces nouvelles infections et celles qui suivent, 80 80% persistent jusqu'au tarissement. De plus, pendant la même période de lactation, la moitié des quartiers qui ont été assainis connaissent une réinfection, ce qui signifie que seulement 10% des quartiers nouvellement infectés au cours de cette lactation seront effectivement assainis avant le tarissement. La persistance des infections subcliniques contribue à expliquer leur importance économique. Par la suite, pendant la période sèche, de nouvelles infections sont observées, représentant 15 à 20%, au cours des trois premières semaines du tarissement, ainsi que dans les quinze jours précédant le vêlage. Entre ces deux périodes, la mamelle complètement involuée semble résister aux infections, à l'exception de celles causées par *Arcanobacterium pyogenes* ; en l'absence de traitement au tarissement, 80% des infections persistent jusqu'au vêlage (Noireterre, 2006).
- Mamelle : Les vaches présentant des mamelles fortement développées, décrites comme étant "décrochées", se montrent plus vulnérables aux infections en raison d'une exposition accrue aux souillures, une situation similaire à celle des animaux aux trayons allongés. La configuration des trayons joue également un rôle dans la sensibilité aux infections. Par conséquent, dans les critères de sélection, l'objectif est d'obtenir une mamelle haute, solidement attachée, équilibrée, avec des trayons courts, fins et non coniques. De manière similaire, la rapidité de la traite, influencée par le diamètre du canal et son élasticité, présente une corrélation significative avec la fréquence des infections (Noireterre,2006).

- Nombre de lactation : La fréquence des mammites augmente à mesure que les vaches vieillissent, avec une diminution de l'élasticité du sphincter du trayon et un rapprochement de la mamelle par rapport aux jarrets (Noireterre, 2006).

b) Facteurs liés à l'espèce bactérienne :

L'espèce bactérienne impliquée joue principalement un rôle dans la persistance de l'infection de la glande mammaire. Les mammites causées par des staphylocoques sont particulièrement tenaces, formant des micro-abcès dans le parenchyme mammaire où ils demeurent insensibles aux antibiotiques. La prévalence des différentes bactéries varie en fonction de la période de lactation : *E. coli* est principalement observé dans les semaines suivant le vêlage, *Arcanobacterium pyogenes* est plus fréquent chez les vaches tarées et les génisses, tandis que *S. aureus* peut être détecté à n'importe quel moment pendant la lactation.

En cas de mammites à *S. aureus* dans un élevage, une seule souche prédomine largement dans les différents laits de mammites, suggérant que l'infection se propage des quartiers infectés aux quartiers sains lors de la traite (GUERIN 1998).

Cette caractéristique monoclonale ou oligoclonale des infections à *S. aureus* dans un élevage était traditionnellement acceptée jusqu'à présent (SERIEYS et GICQUEL-BRUNEAU 2005), bien que cela fasse l'objet de controverses. En revanche, lors de mammites à *E. coli*, différents génotypes sont isolés dans le même élevage, indiquant que l'infection provient plutôt de l'environnement, le réservoir de la bactérie étant environnemental.

c) Facteurs liés au logement :

L'influence du logement se manifeste de deux manières distinctes. Tout d'abord, il conditionne la fréquence des traumatismes des trayons, favorisant ainsi les bactéries qui trouvent leur réservoir dans la peau et les plaies du trayon. Des conditions de logement déficientes ont un impact direct négatif sur le taux cellulaire du tank et sur les cas de mammites liées à la traite. De plus, la contamination microbienne du lieu de couchage et l'atmosphère générale du bâtiment influent sur le taux de contamination du trayon, entraînant une augmentation des cas de mammites dites environnementales. La conception du logement doit donc intégrer ces considérations. Il est essentiel que le logement soit conçu de manière à minimiser les lésions des trayons, dont les circonstances d'apparition sont bien connues : difficultés lors du relevé dans des logettes mal conçues, couchage sur des sols rugueux, risques de glissade sur le béton non rainuré, et bousculades à la sortie de la traite autour de l'abreuvoir. Pour réduire au maximum la contamination des trayons par les germes

environnementaux, une attention particulière doit être portée au lieu de couchage. Cela inclut la surveillance de l'état de la litière, de sa température et de son humidité. Une litière de qualité doit être maintenue sèche et ne pas dépasser 38°C, au-delà de quoi il est nécessaire de la remplacer. Des normes ont été établies dans les années 80 concernant la surface minimale de litière par animal (7m²) et le volume d'air par animal, mais il est nécessaire de les ajuster aujourd'hui pour répondre aux besoins des vaches hautes productrices, qui sont nettement plus élevés (Noire-terre,2006).

d) Facteurs liés à la traite :

La technique de traite et le fonctionnement de la machine à traire contribuent aux mammites par le biais de deux mécanismes : les lésions du trayon et les phénomènes de reflux de lait ou d'impact. Comme évoqué précédemment, les lésions du trayon affaiblissent sa capacité de protection contre les micro-organismes. Parmi les dysfonctionnements de la machine à traire, on peut citer un niveau de vide excessif provoquant l'éversion du canal du trayon et un pulsateur défectueux. En ce qui concerne la technique de traite, toute sur-traite ou tout défaut d'arrachage des griffes peut entraîner des lésions du trayon. Le phénomène d'impact se produit lorsque de l'air entre accidentellement dans un manchon trayeur, provoquant une baisse du niveau de vide dans ce manchon. Cela entraîne un reflux du lait de ce trayon vers les autres manchons trayeurs où le niveau de vide est plus élevé. Ce reflux de lait peut transporter des germes.

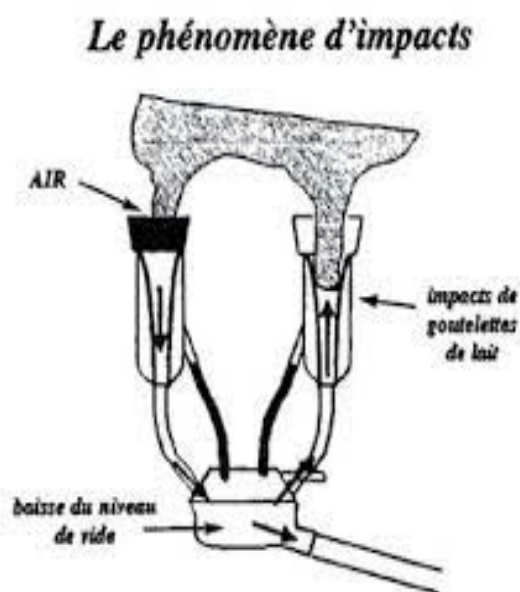


FIGURE I.7 — (Schéma du phénomène d'impact

On observe également des phénomènes de traite humide lorsque les trayons restent immergés dans le lait qui ne s'évacue pas assez rapidement, surtout en cas de problèmes de pulsation ou de mauvaise évacuation du lait due à une pente de lactoduc trop faible.

Toutes les étapes de la traite influent sur la qualité du lait et la santé de la mamelle. Idéalement, la traite devrait débuter par le lavage des mains du trayeur. Ensuite, la préparation de la mamelle commence par le nettoyage, soit avec des lingettes à usage unique, soit avec des douchettes. En éliminant les premiers jets, idéalement sur un bol à fond noir pour détecter rapidement les mammites, on contribue à une détection précoce. Malheureusement, de nombreux éleveurs éliminent encore ces premiers jets sur le sol de la salle de traite. La qualité de la détection des mammites influence la rapidité du traitement et donc son efficacité. Les mammites non détectées évoluent souvent en formes sub-cliniques, créant ainsi des réservoirs de germes dangereux pour les autres quartiers du troupeau. De plus, éliminer les premiers jets avant la traite permet de réduire la charge microbienne du lait.

Pendant la pose des gobelets trayeurs, il est essentiel d'agir avec douceur, en évitant les entrées d'air dans le circuit et le phénomène d'impact en pliant les tuyaux courts. Le décrochage automatique de la griffe réduit considérablement le risque de sur-traite lié au décrochage manuel.

Pendant la traite, il ne doit y avoir aucun bruit de succion ou de craquement, indiquant des fuites au niveau des manchons et le risque de phénomène d'impact. Après la traite, il est fortement recommandé d'appliquer un produit de trempage sur chaque trayon, ayant des propriétés couvrantes et antibactériennes, pour empêcher la pénétration des germes pendant la demi-heure suivant la traite, le temps nécessaire au sphincter du trayon pour se refermer. Il est également conseillé d'alimenter les animaux après la traite pour éviter qu'ils ne se couchent immédiatement. Enfin, il serait judicieux d'établir un ordre de traite, en donnant la priorité aux primipares et aux vaches en début de lactation (supposées non infectées), tandis que les vaches atteintes de mammites cliniques ou sub-cliniques devraient être traitées en dernier ou avoir un poste de traite qui leur est réservé (Noireterre, 2006).

I.8 Pathogénie

En ce qui concerne les infections mammaires, il est essentiel de considérer la possible existence d'une source d'agents pathogènes, leur transfert vers la surface cutanée du trayon, puis l'infiltration de ces agents dans le trayon, entraînant par la suite une réaction

de l'organisme hôte

I.8.1 Pénétration d'agents pathogènes dans la mamelle

À l'exception des mammites d'origine hématogène, telles que la mammite brucellique ou tuberculeuse, les agents pathogènes accèdent à la glande mammaire par le canal du trayon. Ce canal représente la première ligne de défense contre l'intrusion des agents pathogènes (voir Figure I.8). Un sphincter situé à sa base maintient le canal fermé entre les traites. De plus, la muqueuse du canal est revêtue de cellules kératinisées dotées de propriétés bactériostatiques. Ces cellules se desquament régulièrement, contribuant ainsi à l'élimination des agents pathogènes au début de la traite.

Pour que les agents pathogènes puissent pénétrer, il est nécessaire que le sphincter soit ouvert. L'ouverture maximale du sphincter se produit à la fin de la traite, ce qui rend la période de traite et la demi-heure suivant celle-ci particulièrement propices à la survenue de la plupart des infections. De même, le diamètre du canal du trayon augmente lors du vêlage et du tarissement, accroissant ainsi la sensibilité des vaches aux infections pendant ces périodes.

Le passage à travers le canal peut se produire de trois manières principales :

- Par le phénomène d'impact lors de la traite mécanique : une entrée d'air imprévue au niveau d'un manchon trayeur entraîne une diminution de la pression dans la griffe, provoquant le reflux de lait de la griffe vers les autres manchons trayeurs où la pression est plus élevée. Ce lait transporte alors des germes vers les trayons sains.
- Par la multiplication des germes présents sur le trayon entre les traites : ces germes profitent de la fermeture retardée du sphincter pour entrer dans le canal. Toute altération du trayon (verruie, blessure, gerçure) favorise la multiplication des germes et, par conséquent, accroît la fréquence des infections.
- Par l'introduction directe de germes dans le sinus lactifère lors de traitements intramammaires mal réalisés ou lors de toute sonde introduite dans le canal du trayon. (NOIRETERRE P, 2006)

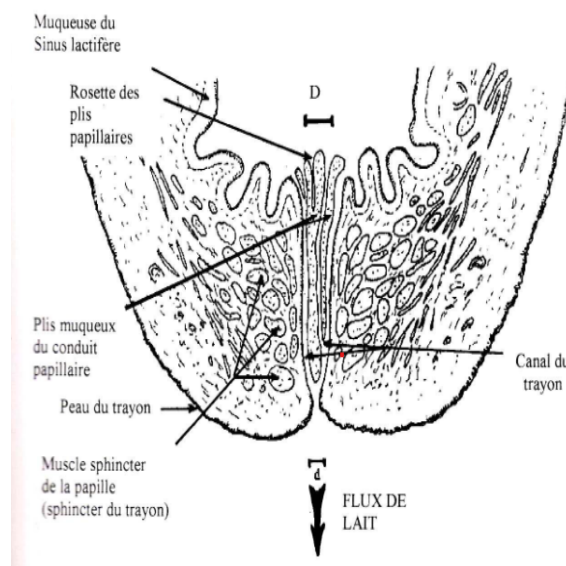


FIGURE I.8 — Coupe longitudinale de l'extrémité du trayon chez la vache (d'après BARONE 1978)

I.8.2 Installation d'une infection

Typiquement, la traite, par son effet de vidange, contribue à éliminer les germes qui auraient pu pénétrer dans le sinus lactifère. Les agents pathogènes responsables de l'infection présentent donc des propriétés d'adhésion à l'épithélium du sinus lactifère. Des études *in vivo* ont démontré que *Staphylococcus aureus* et *Streptococcus agalactiae* adhèrent aux cellules épithéliales de la glande mammaire. Par la suite, ces agents pathogènes se multiplient rapidement et envahissent le tissu mammaire. La prolifération des germes est accompagnée de la production d'enzymes et de toxines qui endommagent le tissu sécrétoire, entraînant une altération qualitative du lait produit. La multiplication bactérienne est d'autant plus aisée que la réaction de défense cellulaire de la glande est lente à se mettre en place. En effet la glande mammaire saine renferme normalement peu de cellules. Les cellules les plus nombreuses alors sont les macrophages, mais leur aptitude à phagocyter les germes pathogènes est diminuée par rapport aux monocytes sanguins, à cause de la phagocytose des débris cellulaires et des globules de gras du lait (NOIRETERRE P, 2006)

I.8.3 Inflammation de la mamelle et cellules du lait

La glande mammaire en bonne santé renferme une faible concentration de cellules, principalement composée de macrophages (66-88%) , auxquels s'ajoutent des lymphocytes, des cellules épithéliales desquamées et quelques polynucléaires

TABLE I.4 — Répartition des différentes populations cellulaires du lait en l'absence d'infection (SERIEYS 1985)

Type cellulaire	pourcentage
Macrophages	66-88
Polynucléaires neutrophiles	0-11
Lymphocytes	10-27
Cellules épithéliales	0-7

Lors d'une infection, les lésions du tissu sécrétoire entraînent un afflux important de polynucléaires neutrophiles du sang vers la glande par diapédèse (voir Figure I.9). Ces cellules deviennent alors prédominantes dans le lait, représentant environ 50% des cellules lors d'une infection modérée et jusqu'à 90% lors d'une mammite aiguë. La quantification totale des cellules somatiques du lait offre une estimation fiable du nombre de polynucléaires neutrophiles et donc de l'état inflammatoire de la glande mammaire. Les polynucléaires neutrophiles, en raison de leur capacité de phagocytose, jouent un rôle clé dans la défense de la mamelle contre les infections. Cependant, similairement aux macrophages, leur efficacité à phagocyter les agents pathogènes est moindre par rapport aux polynucléaires neutrophiles présents dans le sang. L'afflux massif de polynucléaires altère considérablement la qualité de la sécrétion, entraînant la présence de caillots de fibrine et de grumeaux dans le lait. D'autres systèmes de défense de la glande sont également présents, tels que les lactoferrines, le lysozyme, et le système lacto-peroxydase-thiocyanate-peroxydase présents dans le lait. (NOIRETERRE P, 2006) |

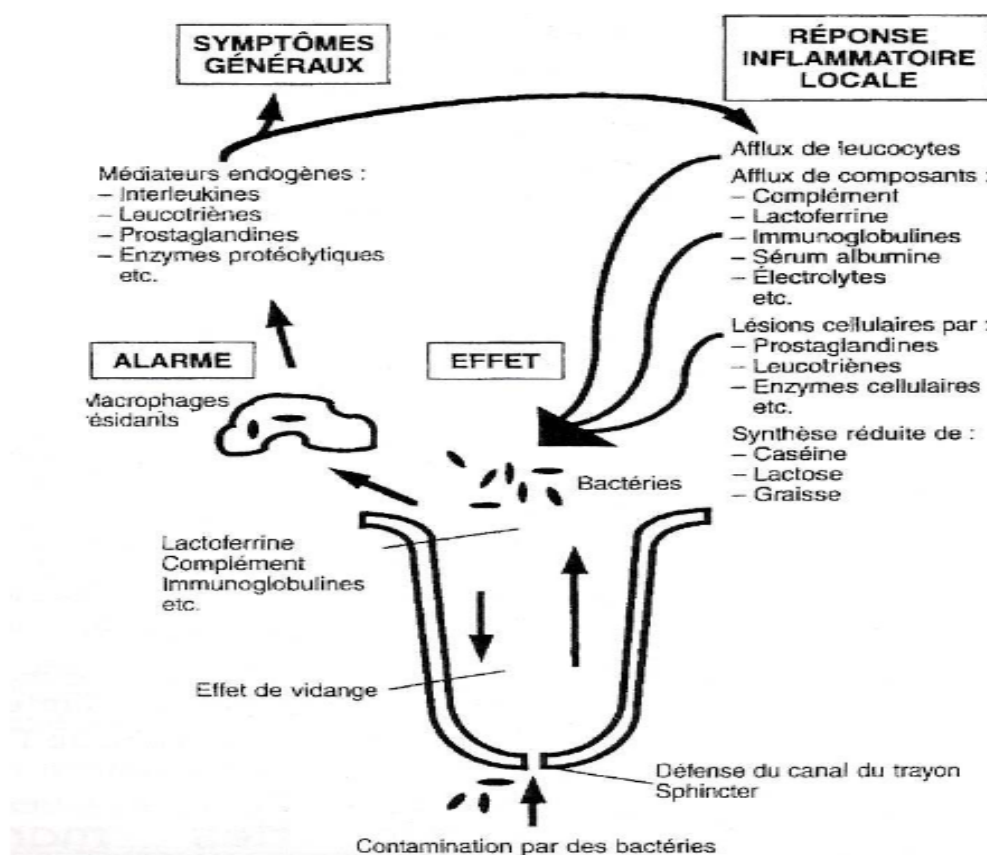


FIGURE I.9 — Interaction entre les défenses et les bactéries dans la mamelle de la vache laitière (d'après KREMER et al 1990)

I.8.4 Evolution

En fonction de la virulence du micro-organisme et de l'efficacité des mécanismes de défense de la glande, l'évolution peut prendre différentes voies :

- En cas de réponse cellulaire de qualité, cela peut conduire à une guérison spontanée.
- En présence d'un micro-organisme très pathogène, on observe une extension de l'inflammation et de l'infection, se manifestant cliniquement par des signes de mammite.
- Lorsque l'infection persiste dans la glande, on parle de mammite sub-clinique, caractérisée par un équilibre entre l'infection et la réponse inflammatoire de la glande. Si cet équilibre est rompu, l'expression clinique de la maladie reprend. (NOIRETERRE P, 2006)

I.9 Diagnostic

I.9.1 Diagnostic individuel

I.9.1.1 Diagnostic clinique

La détection précoce des mammites consiste à repérer les signes fonctionnels avant l'apparition de symptômes locaux. Pour ce faire, on cherche à identifier la présence de grumeaux dans le lait. Une méthode efficace pour cela est l'épreuve du bol de traite. Pendant la préparation de la mamelle avant la traite, on recueille les premiers jets de lait de chaque quartier dans un bol à fond noir, avant de mettre en place les gobelets trayeurs. Malheureusement, de nos jours, cette méthode n'est pas systématiquement utilisée sur tous les quartiers dans de nombreux élevages. (NOIRETERRE, P.2006)

— A. Diagnostic expérimental

Pour diagnostiquer les mammites sub-cliniques, il faut détecter une augmentation du nombre de cellules dans le lait.

a) Technique directe de numération cellulaire

Dans les exploitations laitières participant au contrôle laitier, des méthodes automatisées sont utilisées chaque mois pour analyser le lait provenant des quatre quartiers de chaque vache. Le Fossomatic® et ses dérivés sont les appareils de mesure les plus couramment utilisés dans les laboratoires. Ils utilisent une méthode fluoro-opto-électronique, où les noyaux des cellules du lait sont colorés au bromure d'éthidium (un agent intercalant de l'ADN) pour rendre les cellules fluorescentes. Le lait est placé sur un disque, et la fluorescence est émise par les cellules après excitation à une longueur d'onde spécifique du bromure d'éthidium (400-530 nm) (LERAY 1999). Le nombre de cellules varie en fonction du stade de lactation, de la race et du rang de lactation (LE PAGE 1999).

Pour évaluer la santé de la vache, plusieurs comptages sont effectués par vache pour une lactation (SERIEYS 1985) :

- Si tous les comptages cellulaires individuels (CCI) sont inférieurs à 300 000 cellules par millilitre, la vache est considérée comme saine.
- Si deux CCI sont supérieurs à 800 000 cellules par millilitre, la vache est considérée comme infectée de manière persistante.
- Dans tous les autres cas, elle est considérée comme douteuse.

Il est à noter que dans notre étude, nous mesurerons également le taux cellulaire du lait de chaque quartier individuellement dans le but d'estimer la guérison du quartier ou de détecter les quartiers potentiellement infectés.

b) Technique indirecte de numération cellulaire

- Le « Californian mastitis test » (CMT) ou test au Teepol® :

C'est une méthode semi-quantitative que l'éleveur peut utiliser directement pendant la traite en salle. Lors de la préparation de la mamelle avant la traite, comprenant le lavage, l'essuyage des trayons et l'élimination des premiers jets, une quantité de 2 ml de lait provenant de chaque quartier est recueillie dans une coupelle spécifique, puis mélangée avec 2 ml de Teepol® (alkyl-aryl-sulfonate de Na) à 10%, un détergent conçu pour induire la lyse des cellules du lait. Après agitation douce pendant quelques secondes, la consistance du mélange est observée. En induisant la lyse des membranes cellulaires, le détergent libère l'ADN des cellules, formant ainsi un gel dont la viscosité est proportionnelle au nombre de cellules présentes dans le lait. (NOIRETERRE, P. 2006)

TABLE I.5 — Règle d'interprétation des résultats du CMT (BERTHELOT et al 1987)

aspect	résultat	Cellules par Ml	Interprétation
Aucun flocculat	-	<500 000	Pas d'infection sub-Clinique
Flocculat léger persistant	+	500 000 à 1 000 000	Infection sub-clinique Légère
Flocculat épais adhérent	++	1 000 000 à 5 000 000	Infection sub-clinique Nette
Gel épais « blanc d'œuf »	+++	>5 000 000	Infection sub-clinique à Clinique

I.9.1.2 Le diagnostic étiologique

L'objectif est de détecter les agents pathogènes à l'origine des mammites dans le troupeau, en vue de mettre en œuvre des mesures de lutte appropriées.

A. Bactériologie

L'analyse bactériologique du lait, qu'il s'agisse de la mammite ou d'un prélèvement de lait permettant d'évaluer la santé des mamelles, est une procédure précieuse. Elle

offre une approche permettant d'analyser une situation spécifique et de surveiller son évolution (Durel et al., 2011). La bactériologie est la méthode privilégiée pour déterminer la cause d'une mammite.

Une mamelle saine ne contient pas de flore commensale. La détection d'une bactérie signale une infection ou une contamination lors du prélèvement. Le lait d'un quartier spécifique est stérilement prélevé par une personne qualifiée, telle qu'un vétérinaire ou un éleveur, après un lavage et une désinfection du trayon, ainsi que l'élimination des premiers jets.

La méthode consiste à cultiver des géloses sélectives pour un type particulier de bactérie, puis à les incubier pendant 24 heures à 37°C. Après l'incubation, l'aspect des colonies et la réalisation de tests enzymatiques permettent d'identifier le genre bactérien (Staphylocoques, Streptocoques, Entérobactéries). Des systèmes intégrant plusieurs géloses sélectives facilitent le travail et accélèrent le processus (Schmitt-Van de Leemput et al., 2013).

B. Antibiogramme

L'antibiogramme évalue la sensibilité in vitro d'une bactérie à divers antibiotiques. Son objectif est de détecter les résistances acquises et de guider le choix du traitement antibiotique, même si l'efficacité d'un antibiotique in vitro peut différer de celle in vivo. Une étude de Kuang et al. (2009) a démontré une activité réduite des Tétracyclines dans le lait par rapport à l'antibiogramme, suggérant la formation de complexes entre l'antibiotique et les protéines du lait, en particulier la caséine. Un échec thérapeutique, malgré des résultats favorables à l'antibiogramme, peut résulter de problèmes pharmacocinétiques, tels qu'un accès insuffisant à la mamelle à des concentrations appropriées

I.9.2 Diagnostic collectif

La laiterie ou le service de contrôle laitier effectue régulièrement un diagnostic collectif en mesurant le taux cellulaire du lait dans le tank, plusieurs fois par mois. Cette mesure, appelée le TCT (taux cellulaire de tank), est réalisée à l'aide du même type d'appareil utilisé pour mesurer le CCI de chaque vache. Le TCT permet d'évaluer le niveau d'infection dans l'ensemble du troupeau et est crucial pour détecter d'éventuels problèmes de mammites sub-cliniques au sein du troupeau.

TABLE I.6 — Estimation du niveau d'infection du troupeau grâce au TCT. (NOI-RETERRE, P. 2006)

Taux cellulaire de tank	% de quartiers infectés (niveau d'infection)
200 000 cell./mL	3 à 7 %
400 000 cell./mL	8 à 12 %
800 000 cell./mL	20 à 25 %

I.10 Traitement

La mammite subclinique chez les vaches peut passer inaperçue et ne pas être traitée pendant de longues périodes (Hillerton et Berry, 2003 ; Oliver et al., 2004). Elle est identifiée en mesurant l'augmentation du nombre de cellules somatiques dans le lait, appelée le comptage de cellules somatiques (CCS). Avant d'entamer un traitement pour la mammite, il est essentiel de déterminer le germe responsable et sa sensibilité aux différents antibiotiques, en réalisant un antibiogramme pour choisir le traitement le plus efficace. Utiliser des antibiotiques sans effectuer de test préalable peut entraîner des échecs de traitement dus à la résistance des bactéries aux antibiotiques. Les staphylocoques, par exemple, présentent une résistance liée à des souches produisant un ferment décomposant la pénicilline (Weisen, 1974)

I.10.1 Traitement pendant la lactation

Pendant longtemps, le traitement des mammites subcliniques pendant la lactation était déconseillé en raison de considérations économiques, jugé non rentable. Cependant, grâce aux progrès scientifiques, il est désormais opportun de réévaluer l'utilisation d'antibiotiques pendant la lactation d'un point de vue économique (Remy, 2010). Les bénéfices potentiels de cette approche sont variés, notamment :

- Contrôler la propagation des infections chez les vaches du troupeau.
- Favoriser un retour plus rapide à une production laitière normale.
- Prévenir autant que possible le développement de mammites cliniques graves.
- Réduire le nombre de vaches qui devront être retirées du troupeau en raison de mammites persistantes ou de quartiers improductifs (Durel et al., 2011).

La mise en place de cette stratégie doit être réfléchie et implique nécessairement la prise en compte des différents éléments mentionnés ci-dessous :

I.10.1.1 Choix des animaux à traiter

Un premier réflexe pourrait être de sélectionner les animaux avec les numérations cellulaires (CCS) les plus élevées. Cependant, cette approche est efficace uniquement si l'objectif est de temporairement réduire le niveau cellulaire du lait du réservoir, spécifiquement pour les animaux ayant de réelles chances de guérison. C'est pourquoi il est crucial d'inspecter la mamelle et de prendre en considération l'historique de l'infection. Cela inclut l'identification des quartiers touchés, par exemple, en utilisant un test de Californie Mastitis Test (CMT). Cette démarche permettra d'évaluer les perspectives de guérison

— A. Choix des infections à traiter

Le traitement de la mammite subclinique doit toujours être spécifique. En effet, à ce stade, l'infection est présente depuis plusieurs semaines, ce qui rend son élimination plus complexe, le germe ayant eu le temps de s'installer profondément dans la mamelle. La réussite du traitement dépendra donc du type de germe identifié et de la durée de l'infection (Remy, 2010).

TABLE I.7 — Pronostic de curabilité des infections mammaires subcliniques par un traitement en lactation (Remy, 2010)

Mauvais pronostic	Pronostic correct	Bon pronostic
<i>Staphylococcus aureus</i> Résistant à la pénicilline	<i>Streptococcus uberis</i>	Autres streptocoques
Staphylocoques à coagulase négative multi-antibiorésistant	Entérocoques	Staphylocoques à coagulase négative antibiosensible
Entérobactéries	<i>Staphylococcus aureus</i> sensible à la pénicilline	Peu de CCS élevées avant traitement

— B. Traitement au tarissement :

Le traitement des vaches au tarissement est une mesure clé pour contrôler les infections mammaires. Il est facile à mettre en place et donne de meilleurs résultats que le traitement pendant la lactation, car la dose d'antibiotique est plus élevée et reste concentrée dans la mamelle (lorsqu'il n'y a pas de traite) (Royster, Wagner, 2015). En effet, le taux de guérison des mammites subcliniques pendant la lactation est en moyenne de 50%, tandis qu'il atteint 70-80% lors du tarissement. Ce traitement poursuit deux objectifs principaux

Ce traitement poursuit deux objectifs principaux :

1. Traiter la majorité, voire toutes les mamelles infectées
2. Prévenir de nouvelles infections lors de la lactation suivante

Il est généralement appliqué de manière systématique dans la plupart des fermes, mais peut également être administré de manière sélective dans celles où les exigences des consommateurs ont conduit les éleveurs à arrêter le traitement systématique (Bergonier, 2010).

I.10.1.2 Protocoles de traitements antibiotiques au tarissement et autres traitements

Le traitement au tarissement est essentiel pour la gestion efficace d'un troupeau laitier, et il y a deux approches de traitement (Remy, 2010)

— A.Traitement uniforme

Il s'agit de traiter tous les quartiers de toutes les vaches maintenues dans le troupeau. Cette méthode est couramment utilisée dans les troupeaux présentant une situation sanitaire défavorable (plus de 25% des vaches avec un CCSI > 300 000 cellules/ml au tarissement) ou qui ne disposent pas des moyens techniques minimums requis (CCSI mensuels). Malheureusement, dans les troupeaux bien gérés, cette approche uniforme conduit à administrer des antibiotiques à la plupart des animaux, même s'ils sont en bonne santé, simplement pour prévenir d'éventuelles infections tardives (Durel et al., 2011).

— B.Traitement différencié

Dans les exploitations où l'état de santé des vaches est bien connu pendant la période de tarissement, il est possible de personnaliser les traitements pour chaque vache. Cette approche a l'avantage d'utiliser le traitement le plus approprié pour chaque animal : un produit préventif efficace pour les vaches en bonne santé et un traitement thérapeutique optimal pour celles qui sont infectées (Remy, 2010)

— a) Les antibiotiques

• Traitement intra-mammaire

Le traitement le plus commun, implique l'administration après la dernière traite d'une pommade ou d'une solution contenant un ou deux antibiotiques dans chaque quartier de la mamelle (Durel et al., 2011).

TABLE I.8 — Spectre d'activité des antibiotiques présents dans les produits intra mammaire de tarissement. (Remy, 2010)

	Bactéries Gram +	Staphylococcus aureus résistant à la pénicilline	Bactéries Gram -
Pénicilline Pénéthamate	+++	-	-
Cloxacilline Nafcilline	+++	+++	-
Céphasoline Céphalexine	+++	++	-
Céphalonium	++	++	++
Céphquinome	++	++	++
Dihydrostreptomycine	+	++	+++
Néomycine Framycétine	+	++	+++
Riphaximine	+++	++	-

- Traitement par voie générale

Il n'y a pas suffisamment de preuves pour soutenir que l'administration simultanée d'antibiotiques par voie générale améliore de manière significative les effets curatifs ou préventifs d'un traitement intra-mammaire (Durel et al., 2011)

— b) Autres traitement

- Fluidothérapie :

En cas de déshydratation, en particulier lors de choc, la fluidothérapie constitue l'élément essentiel du traitement de réanimation. Le choc peut être déclenché par la libération d'endotoxines par des agents pathogènes tels que les entérobactéries, ou par des exotoxines produites par des bactéries telles que les staphylocoques, les streptocoques, les clostridies et *Trueperella pyogenes* (Le Page et al., 2014).

- Les anti inflammatoires :

L'utilisation des anti-inflammatoires systémiques (AIS) est sujette à controverse. Bien qu'ils puissent être bénéfiques dans le traitement des mammites endotoxiques pour favoriser la guérison, leur utilisation pourrait augmenter le risque d'infections cliniques chez les vaches présentant une mammite subclinique à staphylocoques en raison de la diminution de l'immunité qu'ils peuvent provoquer. (Le Page et al., 2014)

I.10.1.3 Réforme des vaches mammites

La mise à la retraite des animaux infectés est une approche efficace pour lutter contre les mammites incurables. Cependant, cette tactique a ses limites (Durel et al., 2011). La décision de mettre à la retraite en raison de problèmes mammaires repose sur l'évaluation de l'état de santé des mamelles, en prenant en considération plusieurs facteurs tels que la récurrence, la chronicité, l'examen physique, l'examen bactériologique, l'âge et le nombre de quartiers infectés, le niveau d'infection dans le troupeau, et le niveau de guérison dans le troupeau (Durel et al., 2011)

I.10.2 Traitement alternative(LES ACIDES ORGANIQUES)

I.10.2.1 Généralités sur les acides organiques

— A.Definition

Le terme "acide organique" désigne une vaste catégorie de composés utilisés dans les processus métaboliques essentiels du corps. Ils se trouvent largement dans la nature en tant que composants des plantes ou des tissus animaux et sont également produits par des micro-organismes lors de la fermentation des glucides, principalement dans le processus de digestion. En l'absence d'oxygène dans des environnements anaérobies, les matières organiques subissent une oxydation incomplète, produisant principalement des acides organiques comme produits finaux du catabolisme des glucides et des acides aminés (RUSSELL et DIEZ-GONZALEZ 1998)

Chimiquement ils sont considérés comme des acides carboxyliques organiques, de structure générale $R-COOH$, présentant des propriétés acides(DIBNER et al, 2002)

.

Les acidifiants peuvent être des acides simples comme le formique, acétique, propionique et butyrique, ou des acides avec des groupes hydroxyle tels que le lactique, malique, tartrique et citrique. Ils incluent également des acides à chaîne courte avec des doubles liaisons, comme le fumarique et le sorbique (SHAHIDI,2014 ; PEARLIN et al, 2020) On les trouve aussi sous forme de sodium, potassium ou des sels de calcium. (PAPATSIROS et al, 2013)

— B.Nomenclature

Les acides organiques sont des molécules polaires avec un groupe fonctionnel carboxylique ($COOH$). Les acides organiques saturés à chaîne droite du tableau 1 peuvent être regroupés en acides gras à chaîne courte (1 à 6 atomes de carbone), acides gras à chaîne moyenne (7 à 10 atomes de carbone) et acides gras à chaîne

longue (11 atomes de carbone ou plus) en fonction de leur longueur de chaîne carbonée (CHERRINGTON, et al 1991)

Les acides individuels sont nommés de manière systématique à partir de l'alcane normal ayant le même nombre d'atomes de carbone. On retire le "e" final et on ajoute le suffixe "-oïque"

TABLE I.9 — Nomenclature des acides organiques (CHERRINGTON et al., 1991).

Formule	Nom commun	Nom systématique
Acides gras à chaînes courtes		
C1 HCOOH	Acide formique	Acide méthanoïque
C2 CH ₃ COOH	Acide acétique	Acide éthanoïque
C3 CH ₃ CH ₂ COOH	Acide propionique	Acide propanoïque
C4 CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	Acide butyrique	Acide butanoïque
C5 CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	Acide valérique	Acide pentanoïque
C6 CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	Acide caproïque	Acide hexanoïque
Acides gras à chaînes moyennes		
C7 CH ₃ (CH ₂) ₅ COOH	Acide énanthique	Acide heptanoïque
C8 CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	Acide caprylique	Acide octanoïque
C9 CH ₃ (CH ₂) ₇ COOH	Acide pélargonique	Acide nonanoïque
C10 CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	Acide caprique	Acide décanoïque
Acides gras à chaînes longues		
C12 CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	Acide laurique	Acide dodécanoïque
C14 CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	Acide myristique	Acide tétradécanoïque
C16 CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	Acide palmitique	Acide hexadécanoïque
C18 CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	Acide stéarique	Acide octadécanoïque

I.10.3 Mécanisme et mode d'action

Les activités d'un acide varient en fonction de plusieurs facteurs, tels que la capacité tampon du milieu, la présence de composés organiques comme la caséine dans les produits laitiers acides, la concentration en acide, la structure de l'acide (comme la longueur de la chaîne et la saturation), et l'utilisation de sels acides ou de mélanges d'acides (CHERRINGTON et al, 1991).

Chaque acide a ses propres effets microbien et acidifiant, et en général, le mélange de plusieurs acides, avec des valeurs de pKa variées, offre un large spectre d'activité. Cela contribue à maintenir un pH optimal dans le tractus intestinal (NGUYEN et al, 2020). Le mode d'action de ces acides et leur efficacité dépendent du pH et de la valeur pKa. Les acides organiques ayant une valeur pKa élevée sont considérés comme des conservateurs

plus puissants pour les aliments. En raison de leur faible dissociation, ils sont présents en grande partie sous leur forme non dissociée dans les aliments, offrant ainsi une protection accrue contre les infections fongiques et microbiennes. Ainsi, lorsque le pKa d'un acide organique est bas (ce qui signifie une proportion élevée de forme dissociée), son impact sur la réduction du pH est plus marqué. Cependant, son effet antimicrobien est moindre dans les parties les plus éloignées du tube digestif pendant la digestion. Un acide fort, ayant un faible pKa, peut acidifier l'aliment et l'estomac, mais il n'aura pas d'effets significatifs sur la microflore intestinale.

Les acides ont un double effet antimicrobien : d'une part, ils acidifient le milieu, et d'autre part, ils exercent un effet spécifique à l'intérieur des micro-organismes (THEOBALD, 2015)

— A. Effet acidifiant

Les acides organiques agissent en diminuant le pH gastrique ou en diminuant la capacité tampon des régimes alimentaires. Cela conduit à la diminution des agents pathogènes dans l'estomac, à la destruction directe des bactéries, à l'équilibrage de la population microbienne et à la promotion de la croissance de bactéries bénéfiques (PAPATSIROS, et al, 2013).

Les acides organiques et les sels ayant un faible pKa ont un effet inhibiteur sur la croissance des micro-organismes en réduisant le pH externe. Selon PEARLIN et al. (2020), ces acidifiants limitent la croissance des bactéries pathogènes et diminuent la compétition microbienne en modifiant le pH externe.

D'après cette étude, la croissance de la plupart des bactéries sensibles au pH, telles qu'E. coli, Salmonella et Clostridium perfringens, est minimisée en dessous de pH 5. Elles ne peuvent donc pas se développer dans des conditions acides extrêmes (pH < 4,5), tandis que les bactéries tolérantes aux acides parviennent à survivre.

Il est important de noter que chaque espèce bactérienne nécessite un pH spécifique pour une croissance optimale, mais toutes ne réagissent pas de la même manière au pH :

Le pH interne varie entre les micro-organismes, allant de 6,5 pour les acidophiles à 9 pour certains alcalophiles. Les bactéries tolérantes aux acides, comme Lactobacillus sp. et Bifidobacterium sp., peuvent supporter un déséquilibre entre le pH externe et interne. Les acides peuvent quitter ces bactéries tout en revenant à leur forme non dissociée lorsque le pH interne est inférieur (PEARLIN, 2020).

Chez les bactéries Gram-positives, un niveau élevé de potassium intracellulaire peut neutraliser les anions acides (RUSSELL et DIEZ-GONZALEZ, 1998).

— Effet antimicrobien spécifique

En plus de diminuer le pH, les acides organiques ont également un effet direct qui tue les bactéries. Les acides plus faibles sont plus efficaces contre les microbes lorsque le pH est bas plutôt que neutre (SALMINEN, 1998) .

Cela indique que l'effet des acides organiques est plus prononcé dans des environnements acides tels que l'estomac, et moins significatif à un pH neutre, comme dans l'intestin. Parmi les acides organiques les plus utilisés se trouvent les acides gras à chaîne courte, tels que l'acide formique, l'acide propionique, l'acide butyrique, l'acide acétique, l'acide citrique et l'acide malique (un acide dicarboxylique). Ces acides sont généralement considérés comme faibles (NGUYEN et al, 2020), ce qui les rend plus efficaces pour inhiber les microorganismes, notamment en influençant le pH cytoplasmique.

L'importance d'un pH bas dans l'activité antimicrobienne des acides organiques peut être expliquée par son impact sur la dissociation de l'acide. À un pH bas, une plus grande proportion de l'acide organique existe sous une forme non dissociée (DIBNER et BUTTIN, 2002). Il est important de souligner que les acides sont définis par leur valeur de pKa, correspondant au pH où il y a un équilibre entre les formes dissociées (COO^-) et non dissociées (COOH). Plus le pH est inférieur au pKa, plus l'acide se trouve sous une forme non dissociée. Cette forme non dissociée a un effet spécifique (en plus de son effet acidifiant) sur les microorganismes, comme le mentionne ACHESON (1999), soulignant que les formes non dissociées des acides organiques sont plus bactéricides.

Les acides organiques non dissociés possèdent une affinité pour les lipides, facilitant ainsi leur passage à travers la membrane cellulaire des bactéries (HOLTZAPFEL, 1998), ainsi que des moisissures (MROZ, 2000, PARTANEN, 2001). Cette pénétration entraîne une diminution du pH intracellulaire, réduisant les activités métaboliques des bactéries (TAYLOR, 2005) et entravant certains mécanismes de transport (PARENTE, 1994).

Une fois à l'intérieur de la cellule bactérienne, le pH élevé du cytoplasme provoque la dissociation de l'acide, conduisant à une réduction du pH intracellulaire qui perturbe les réactions enzymatiques et les systèmes de transport des nutriments (CHERRINGTON et al., 1991).

De plus, le processus de transport des protons libres hors de la cellule nécessite de l'énergie, ce qui contribue à diminuer la disponibilité d'énergie pour la prolifération, induisant ainsi un certain niveau de bactériostase (DIBNER et BUTTIN, 2002).

L'efficacité antimicrobienne varie selon le type d'acide utilisé. Par exemple, les acides formiques et propionique agissent largement contre les bactéries et les champignons, l'acide lactique est surtout efficace contre les bactéries, tandis que l'acide sorbique est connu pour son efficacité contre les moisissures(HAJATI, 2018).

Le sel de calcium de l'acide propionique, en tant que conservateur robuste, n'est pas considéré comme dangereux pour la santé et n'ajoute que peu ou pas de saveur aux doses normales d'utilisation. Il offre une grande efficacité contre les moisissures et les bactéries, ce qui le rend particulièrement adapté à une utilisation dans l'industrie alimentaire, les aliments pour animaux et les produits pharmaceutiques(ALAM, et al 2014).

L'acide propionique exerce une action inhibitrice sur l'absorption de certaines molécules de substrat, telles que le phosphate et les acides aminés. Il peut perturber les gradients électrochimiques au sein de la membrane cellulaire, affectant ainsi les processus de transport. L'efficacité antimicrobienne du propionate de calcium provient de la forme non dissociée de l'acide propionique, qui est neutre, lipophile et se dissout facilement dans les membranes cellulaires des champignons(ZHANG, et al 2020)

I.10.4 Utilisation comme alternative aux antibiotiques

L'Union européenne (UE) a complètement interdit l'utilisation d'antibiotiques comme stimulateurs de croissance en nutrition animale depuis le 1er janvier 2006 (conformément à l'article 11-2 du règlement (CE) n°2003/1831). Cette interdiction vise à éviter d'éventuelles conséquences néfastes sur la santé des animaux et la sécurité alimentaire. En réponse à cette interdiction, des alternatives aux antibiotiques ont été développées, et des additifs non antibiotiques sont maintenant utilisés à des fins prophylactiques contre les agents pathogènes ou comme stimulants de croissance (PAPATSIROS, et al. 2013) Les acides organiques, tout comme les antibiotiques, possèdent une activité antimicrobienne. Cela présente un avantage clair et significatif pour la santé et le développement de l'intestin, contribuant finalement à des effets positifs sur la santé et la productivité des animaux.

L'utilisation d'acides organiques en tant qu'acidifiants dans l'alimentation du bétail est considérée comme une alternative aux antibiotiques, visant à améliorer la digestibilité des nutriments.

En outre, les acides organiques offrent des avantages supplémentaires allant au-delà de ceux des antibiotiques, tels que la réduction du pH du tractus digestif et l'augmentation

des niveaux de sécrétion pancréatique ; La supplémentation en OA a un effet positif sur la digestion, conduisant à une meilleure absorption des nutriments essentiels (NGUYEN et al, 2020).

Les effets positifs des acides organiques (OA) peuvent être attribués à plusieurs facteurs, notamment :

- • L'activité antimicrobienne des formes non dissociées des acides organiques.
- • La réduction du pH du tube digestif, en particulier dans l'estomac, facilitant ainsi la digestion des protéines.
- • La diminution du taux de vidange de l'estomac.
- • La stimulation de l'excrétion et de l'activité des enzymes pancréatiques dans l'intestin grêle.
- • La fourniture de nutriments au tissu intestinal, contribuant ainsi à améliorer l'intégrité et la fonction de la muqueuse (De lange et al, 2010).

I.11 Prophylaxie

L'équation des mammites peut être résumée ainsi : Mammites = exposition aux micro-organismes + occasions d'entrer dans le trayon + stress affectant le système immunitaire. Afin de les prévenir, il est crucial d'établir un système de contrôle visant à éviter la convergence de ces trois facteurs (Levesque, 2006). De plus, les vaches laitières, sélectionnées pendant de nombreuses décennies pour la production laitière, présentent une corrélation génétique positive entre les mammites et l'augmentation de la production laitière (Pyörälä, 2002)

I.11.1 Prophylaxie sanitaire

- Maintenir un équilibre nutritionnel constant tout au long de l'année, y compris pendant l'hiver.
- Assurer l'état fonctionnel et la maintenance appropriée des bâtiments, en respectant les normes de surface pour réduire la pression microbienne.
- Effectuer un entretien régulier des sols et des litières, incluant le raclage, le curage et le paillage.
- Maintenir des conditions ambiantes optimales dans les bâtiments, en contrôlant l'humidité, la température, la ventilation et l'éclairage.
- Appliquer une hygiène rigoureuse dans la salle de traite, en effectuant un entretien régulier des mamelles avant la traite (utilisation de lavettes individuelles, élimination des premiers jets, lavage deux fois par jour et trempage).

- Effectuer le nettoyage et la désinfection de la machine à traire après chaque passage d'un lot de vaches.
- Mettre en œuvre la réforme des vaches incurables (Remy, 2010).
- Sélectionner les vaches considérées comme "faciles à traire" en raison d'une bonne conformation de la mamelle et des trayons (Remy, 2010).

I.11.2 Prophylaxie médicale

En 2009, le laboratoire « Laboratorios Hipra » a obtenu l'autorisation de mise sur le marché (AMM) pour le premier vaccin contre les mammites, appelé Startvac®. Selon l'évaluation publique européenne, Startvac® est destiné à renforcer l'immunité de troupeaux entiers de vaches laitières qui, bien que globalement en bonne santé, sont connus pour avoir des problèmes de mammites.

Ce vaccin consiste en une suspension injectable de deux bactéries inactivées, à savoir *S.aureus* et *E.coli*, qui sont deux agents pathogènes majeurs des mammites. Il est important de noter que le vaccin ne couvre pas *S.uberis*, et pour obtenir de bons résultats, l'ensemble du troupeau laitier doit être vacciné à chaque gestation (Petit, 2013).

Chapitre II

PARTIE EXPERIMENTALE

II.1 Objectif de l'étude

L'effet de l'incorporation d'un mélange d'acides organiques sur les mammites subcliniques et la qualité du lait chez la vache laitière.

II.2 Présentation de la zone et période du travail

La commune de Guellal, située dans la wilaya de Sétif, a été sélectionnée comme zone d'étude. Cette région est un important bassin laitier et se caractérise par un climat semi-aride, avec des étés chauds et secs ainsi que des hivers rigoureux. Les précipitations y sont insuffisantes et irrégulières, à la fois dans le temps et dans l'espace. Les monts de Babor reçoivent le plus de pluie, avec une moyenne annuelle de 700 mm, tandis que les hauteurs de plaines en reçoivent environ 400 mm. En revanche, la zone Sud-Sud-Est est la moins arrosée, avec des précipitations ne dépassant pas 300 mm par an.

La température moyenne varie selon les saisons, atteignant 6,1°C en janvier, le mois le plus froid, et 26,8°C en juillet, le mois le plus chaud. Les températures moyennes mensuelles montrent que les températures estivales sont les plus élevées, avec des estimations de 32°C en juillet et 27°C en août. En revanche, les températures hivernales sont les plus basses, avec des estimations de 5,3°C en janvier et 6,2°C en février

II.3 Description de la ferme

La ferme du MARSAOUI Nouredine est un endroit où l'on élève des vaches pour produire du lait. Les bâtiments où vivent les vaches ont un sol en béton recouvert de sable pour qu'elles soient à l'aise, et l'air circule bien à l'intérieur. Les vaches sont logées dans des enclos où elles peuvent se déplacer librement, mais pas complètement. La nourriture des vaches, comme les granulés concentrés, est conservée dans un grand conteneur près des bâtiments. En général, la ferme MARSSAOUI est bien entretenue et propre.



FIGURE II.1 — photo descriptif de la ferme (photo personnelle)



FIGURE II.2 — alimentation donnée à la ferme (photo personnelle)

II.4 MATERIEL

II.4.0.1 MATERIEL ANIMAL

L'essai a porté sur sept vaches laitières

TABLE II.1 — représentation des vaches de la ferme

Identification	Race	Nb. de lactation	Stade de gestation
0047	MONTBELIARDE	2	VIDE
5305	MONTBELIARDE	2	VIDE
3122	MONTBELIARDE	2	VIDE
999	MONTBELIARDE	2	VIDE
2062	MONTBELIARDE	2	VIDE
6102	MONTBELIARDE	2	VIDE
9314	MONTBELIARDE	2	VIDE

II.4.1 AUTRES MATERIELS

Le CMT, ou "California Mastitis Test" de Laval, est une méthode simple et économique permettant de détecter très tôt les infections des quartiers mammaires, ce qui limite les risques liés aux mammites subcliniques

II.4.1.1 La technique du test CMT

Après avoir nettoyé la mamelle et éliminé les premiers jets dans un récipient à fond noir,

Mettez 2 millilitres de lait dans une coupelle du plateau à tester. Ajoutez le même volume de réactif Raidex.

Faites tourner le plateau en mouvement circulaire une dizaine de fois pour bien mélanger le réactif et le lait.

La réaction est notée de (-, +, ++, +++) en fonction du niveau d'infection selon le tableau "I.5"

Dans cette étude, les quartiers avec un score $CMT > 2$ sont considérés comme infectés, tandis que ceux avec un score CMT de 0 et 1 sont considérés comme non infectés.

Ce test donne une indication sur la quantité de cellules somatiques présentes dans le lait. Le test CMT ne réagira de manière visible qu'à partir d'un taux de 400 000 cellules et plus.

II.4.1.2 Prélèvements de lait

Nous avons collecté du lait lors des visites en prélevant une quantité égale de la mamelle de chaque vache. Le lait a été conservé dans des flacons propres de 60 ml, portant le numéro d'identification de la vache, pour une analyse physico-chimique ultérieure.

Les prélèvements ont été transportés au laboratoire d'analyse situé dans la wilaya de BLIDA dans les 18 heures suivant la collecte, à une température constante de 4°C.

II.4.1.3 Matériels d'analyse physicochimique du lait

Les échantillons nécessaires pour effectuer les analyses du lait ont été envoyés à un laboratoire privé

— A.Le LACTOSCAN

Le lactoscan est un appareil compact utilisé pour l'analyse automatique du lait. Il est équipé d'un écran où les résultats des analyses sont affichés. Cet analyseur chimique moderne est conçu pour traiter divers types de lait, y compris le lait de vache, le lait pasteurisé homogénéisé, le lait de brebis, le lait de chèvre, le lait de bufflonne, le lait de chamelle, le lait de lama, le lait reconstitué, le lait UHT, ainsi que la crème de lactosérum

•Paramètres mesurés

- La matière grasse(%), Les protéines(%), Densité(%), l'eau (le moulage) (%), Point de congélation (°C), La température (°C), L'acidité (°D), Le lactose (%)

•Principe

Le Lactoscan est un analyseur de chimie moderne adapté à l'analyse de chaque type de lait. Grâce à la technologie ultrasonore utilisée, il est possible d'obtenir une précision dans la mesure, quelle que soit l'acidité du lait, tandis que pour la température de l'échantillon, nous pouvons utiliser du lait à la température de 5°C à 40°C. Les résultats de l'analyse sont affichés dans les 50 secondes sur l'écran, mais peuvent être reproduits sur papier, si le Lactoscan possède une imprimante intégrée



FIGURE II.3 — Le LACTOSCAN (photo personnelle)

B.Mesure de l'acidité

La méthode Dornic utilise une solution de soude à N/9 (0,111 mol/l) et de la phénolphtaléine en solution alcoolique à 2 % comme indicateur. Pour commencer, on prélève 10 ml de lait, puis on y ajoute 3 gouttes de phénolphtaléine. Ensuite, on verse la soude goutte à goutte jusqu'à ce que la couleur devienne rose pâle. Le nombre de millilitres de soude versé, multiplié par 10, correspond au degré Dornic, $1^{\circ}\text{D} = 0,1\text{g}$ d'acide lactique.

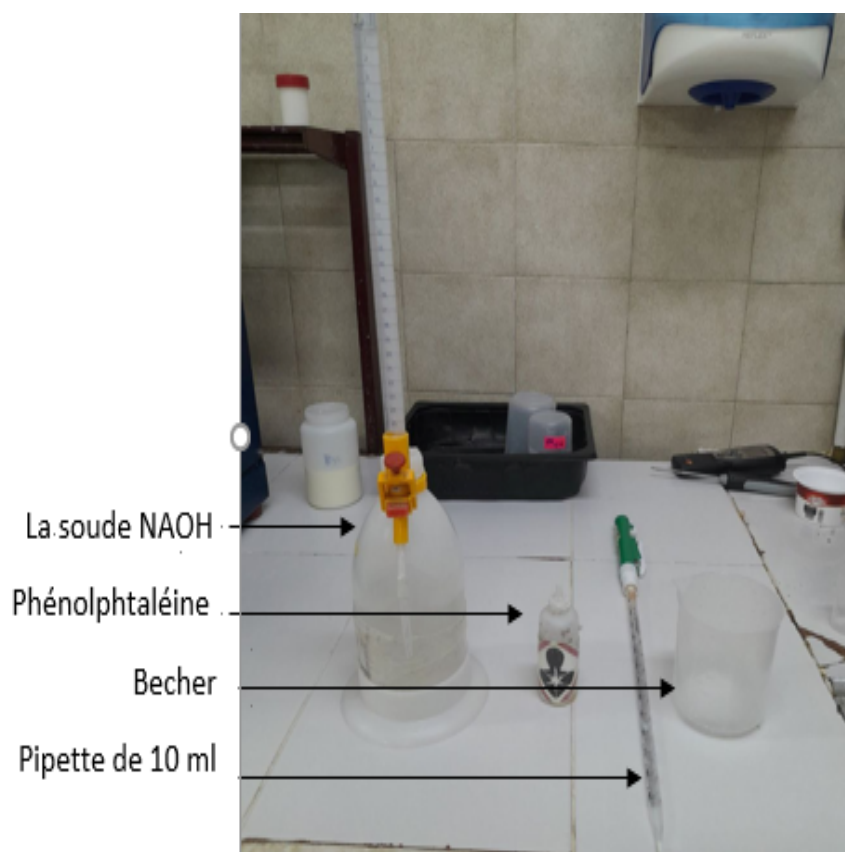


FIGURE II.4 — Mesure de l'acidité dornic (photo personnelle)

C.Mesure du pH

Pour mesurer le pH du lait à l'aide d'un pH mètre, voici les étapes à suivre

1. Calibrer le pH mètre en suivant les instructions du fabricant.
2. Prélever un échantillon de lait dans un récipient propre.
3. Plonger l'électrode du pH mètre dans l'échantillon de lait.
4. Lire et enregistrer la valeur du pH affichée sur le pH mètre une fois que la mesure est stable.
5. Nettoyer l'électrode du pH mètre avec de l'eau distillée après utilisation pour éviter toute contamination.



FIGURE II.5 — Mesure du pH (photo personnelle)

II.4.1.4 Additif alimentaire

— A.Composition de RUMINOTOX

- Sel de sodium de l'acide malique.
- Acide malique.
- Propionate de calcium.
- Formiate de calcium.
- Extrait de paroi cellulaire de levures MOS ET 1.3 1.6 beta glucanes. Sépiolite Bentonite et Kieselgur. Gallate de propyle et citrate de calcium.
- Sel minéraux

— B.Dosage de l'additive

Quatre cuillères par jour (2 cuillères le matin et 2 cuillères le soir) soit 20g le matin et 20 g le soir mélangé dans l'aliment distribué

II.5 METHODE

II.5.1 Description de la méthode

Les animaux sont nourris de la même manière, avec un aliment concentré pour vaches laitières composé de céréales, de leurs sous-produits, de tourteaux, de minéraux et de vitamines .Chaque vache reçoit 10 kg de cet aliment par jour, ainsi que 2 kg de son de blé et 7 kg de paille.

Les vaches sont traitées à 7 heures du matin et à 17 heures l'après-midi, moments où elles reçoivent également l'aliment concentré. La traite est réalisée à l'aide d'une machine à traire.

Toutes les vaches ont été évaluées selon le Body Condition Score (BCS). De plus, un examen du lait a été effectué sur chacune d'entre elles à l'aide du CMT, deux fois à trois semaines d'intervalle. La production laitière a été enregistrée à deux reprises au cours de notre expérimentation

II.5.1.1 Notation de l'état corporel

Le BCS est une méthode subjective visant à estimer la quantité de réserves de graisses sous cutanée ou musculaire dans les régions de la colonne vertébrale et de la croupe (Laloux et al. (2009)) L'échelle employée s'étend de 1 (vache extrêmement maigre) à 5 (vache extrêmement grasse). Pour une évaluation plus précise, nous avons également intégré un système de 0.25 et 0.5 dans la grille

II.6 RESULTATS

II.6.1 resultats du CMT avant l'utilisation du mélange d'acides organiques

TABLE II.2 — CMT avant l'utilisation du mélange d'acides organiques

	trayon A G	trayon A D	trayon P G	trayon P D
0047	2	2	2	2
5305	0	0	0	3
3122	0	0	0	0
999	0	2	2	0
2062	0	0	0	0
6102	0	2	0	2
9314	0	2	0	2

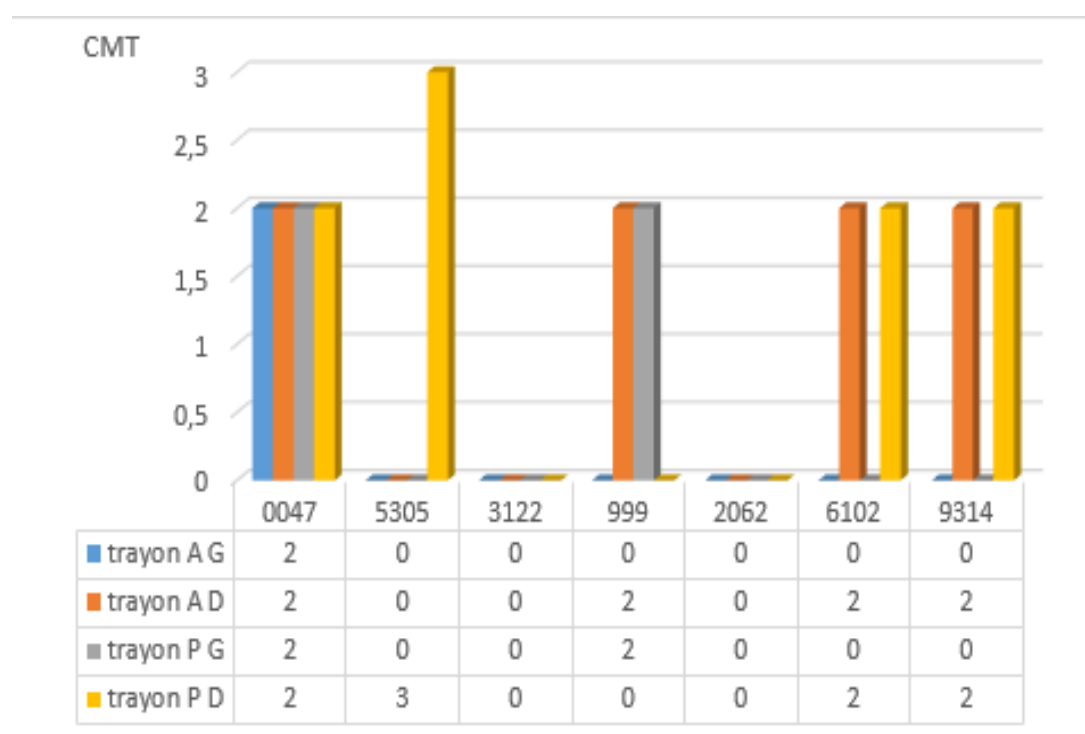


FIGURE II.6 — Histogramme représentant le résultat du CMT avant l'utilisation de l'acide organique

1. Prévalence des mammites subcliniques :

- 11 quartiers sur 28 (39,3%) présentent un score CMT 1, indiquant une mammité subclinique.
- 17 quartiers sur 28 (60,7%) ont un score CMT = 0, considérés comme sains.

2. Distribution des infections :

- La vache 0047 montre des signes d'infection dans tous ses quartiers (score 2 partout).
- Les vaches 5305, 999, 6102 et 9314 présentent des infections dans un ou plusieurs quartiers.
- Les vaches 3122 et 2062 semblent être exemptes d'infection subclinique.

3. Sévérité :

- Un seul quartier (vache 5305, trayon PD) présente un score de 3, indiquant une infection plus sévère.
- 10 quartiers ont un score de 2, suggérant une infection modérée.

4. Symétrie :

- On observe une certaine symétrie dans les infections, notamment pour les vaches 6102 et 9314 (quartiers AD et PD infectés).

II.6.2 Resultats du CMT Après l'utilisation d'acide organique

TABLE II.3 — CMT Après l'utilisation d'acide organique

	trayon A G	trayon A D	trayon P G	trayon P D
0047	0	0	0	0
5305	0	0	0	1
3122	0	0	0	0
999	0	1	0	0
2062	0	0	0	0
6102	0	2	0	0
9314	0	0	0	1

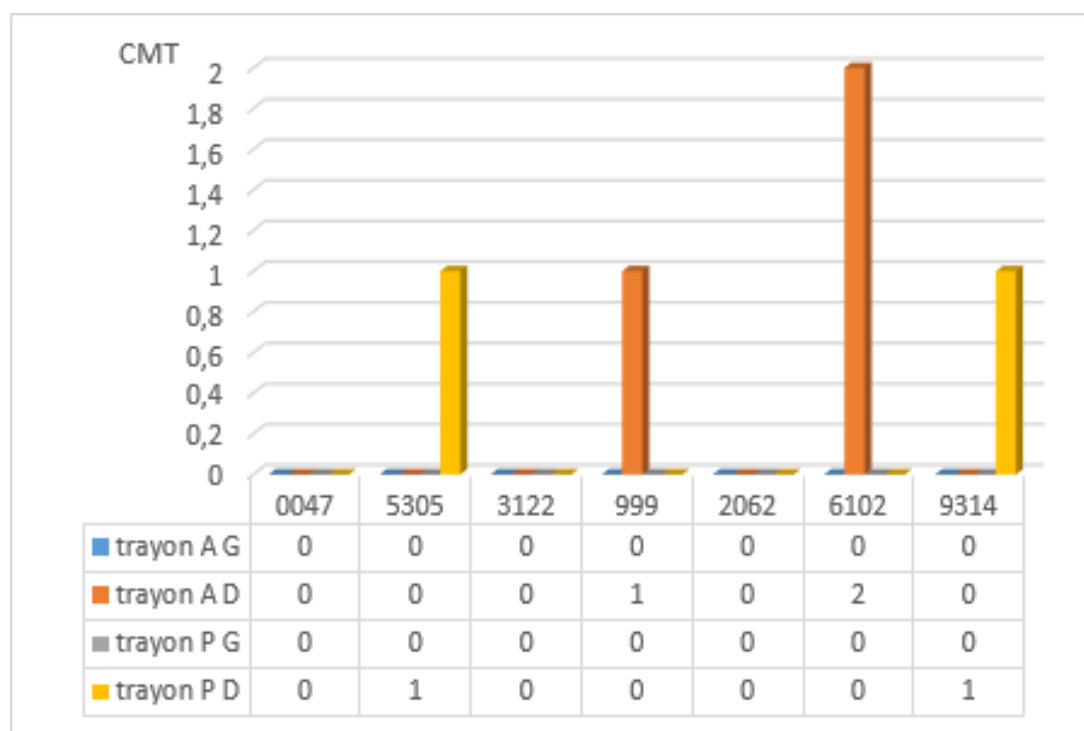


FIGURE II.7 — Histogramme représentant les résultats du CMT après l'utilisation de l'acide organique

1. Prévalence des mammites subcliniques :

- 1 quartier sur 28 (3,6%) présente un score CMT 2.
- 3 quartiers sur 28 (10,7%) ont un score CMT de 1.
- 24 quartiers sur 28 (85,7%) ont un score CMT de 0, considérés comme véritablement sains.

2. Amélioration globale :

- Une réduction significative des scores CMT est observée pour la plupart des vaches.
- La vache 0047, qui avait initialement tous ses quartiers infectés, montre une amélioration complète (tous les scores à 0).

3. Cas persistants :

- Un seul quartier (vache 6102, trayon AD) maintient un score de 2.
- Deux autres quartiers (vache 5305 PD et vache 9314 PD) montrent une amélioration partielle avec un score de 1.

4. Guérison complète :

- 4 vaches sur 7 (0047, 3122, 2062, 999) n'ont plus aucun quartier avec un score > 0 .

II.6.3 La production du lait

TABLE II.4 — laProduction laitière (en litres) avant et après l'utilisation d'acides organiques

	La production du lait avant (L)	La production du lait après (L)
0047	29	29
5305	21	20
3122	29	30
999	21	23
2062	29	30
6102	28	30
9314	18	20

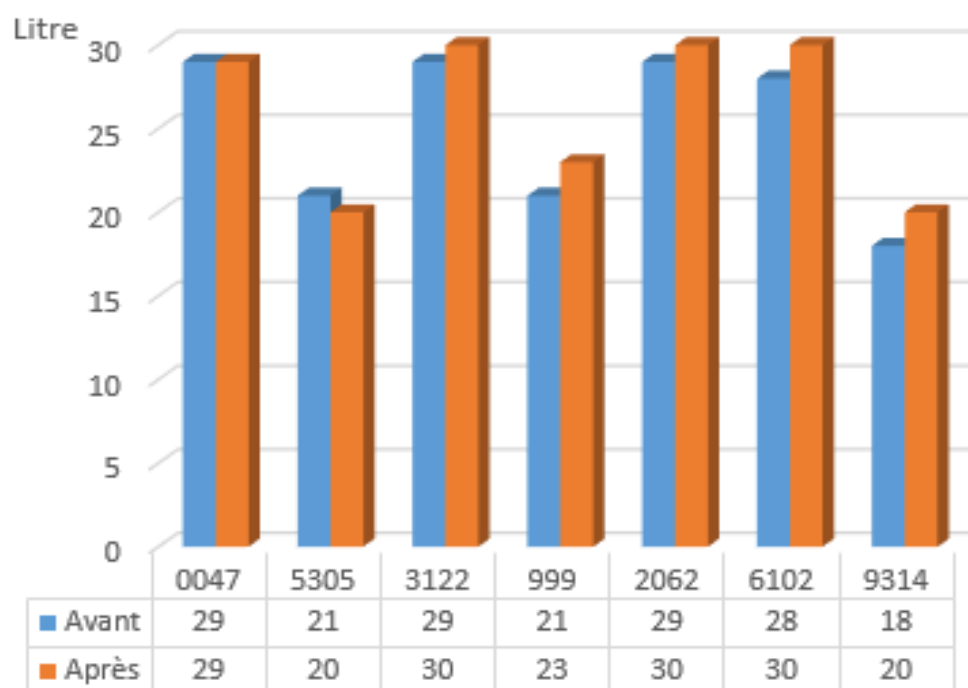


FIGURE II.8 — Histogramme montrant la production laitière après l'utilisation du mélange d'acide organique

- 5 vaches sur 7 ont augmenté leur production
- 1 vache a maintenu sa production
- 1 vache a légèrement diminué sa production

La production moyenne est passée de 25 litres à 26 litres par vache, soit une augmentation moyenne de 4%. Les augmentations les plus notables sont observées chez les vaches 999 (+2L), 6102 (+2L) et 9314 (+2L).

II.6.4 Body Condition Score (BCS)

TABLE II.5 — Body Condition Score (BCS) avant et après l'utilisation d'acides organiques

	BCS avant	BCS après
0047	2,75	3,25
5305	3	3,3
3122	2,75	3
999	2,75	3
2062	2,5	3
6102	2,25	2,75
9314	2,5	3

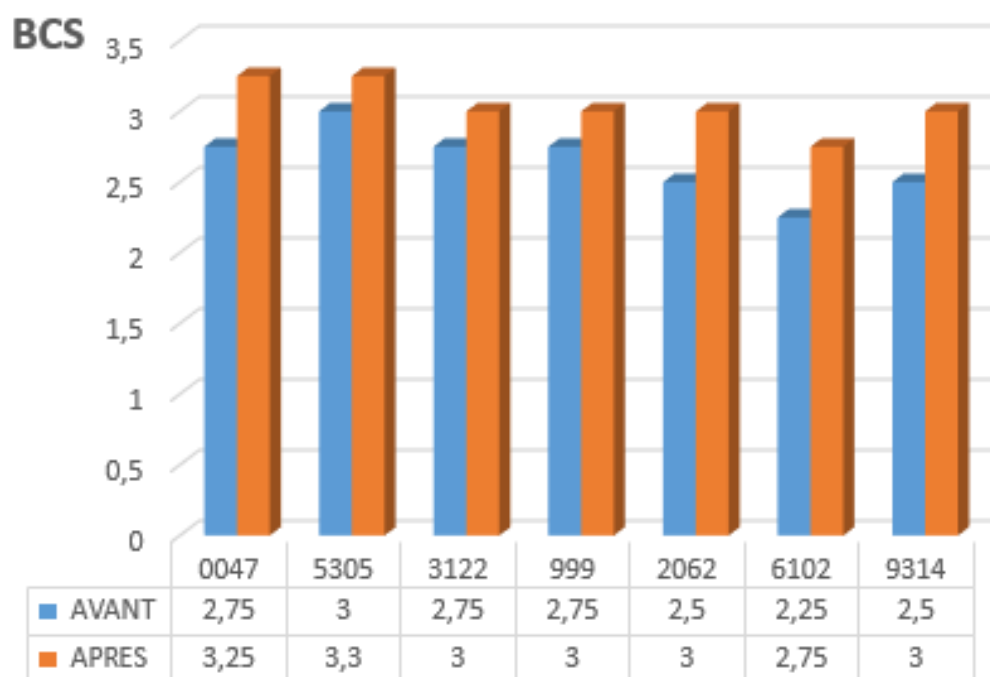


FIGURE II.9 — Histogramme montrant le Body Condition Score (BCS) avant et après l'utilisation d'acides organiques

- Le BCS moyen est passé de 2,64 avant traitement à 3,04 après traitement.
- L'augmentation moyenne est de 0,4 point sur l'échelle BCS.
- Toutes les vaches ont vu leur BCS augmenter.

L'amélioration la plus marquée est observée chez la vache 0047 (+0,5 point) et la vache 6102 (+0,5 point).

II.6.5 Les paramètres physico-chimique

TABLE II.6 — représente les paramètres physico-chimiques du lait avant et après l'utilisation des acides organiques

	Taux butyrique (g/l)	Taux Protéique (g/l)	Lactose (g/l)	Acidité (D)	PH	Sel (g/l)	Densité (g/ml)
Avant	43,1	29,9	45	15	6,8	8,5	1,039
Après	56,5	33,6	48,1	12	6,8	8,5	1,03

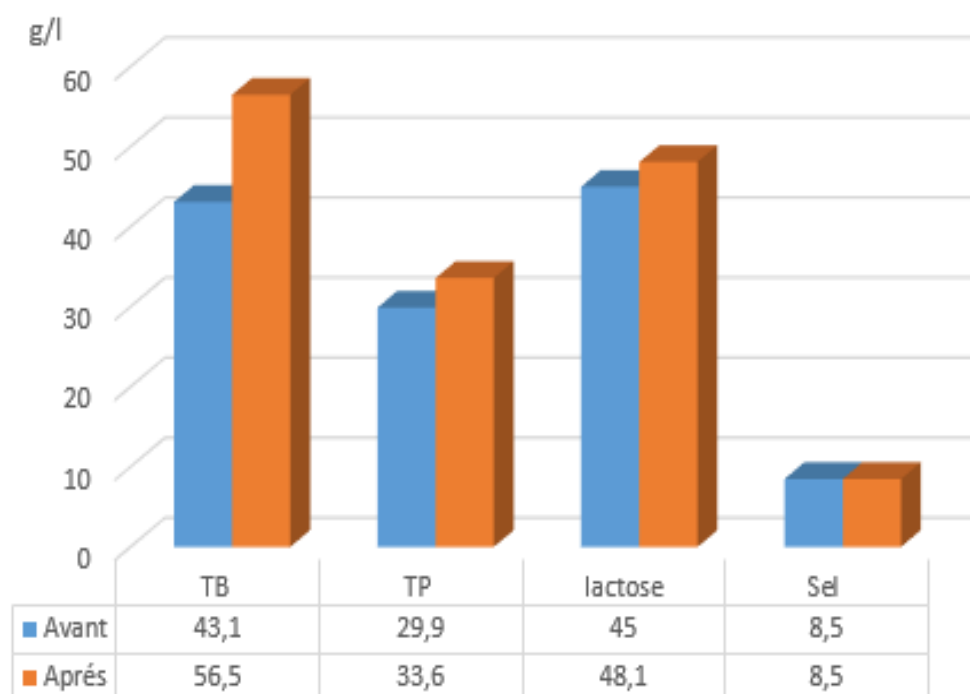


FIGURE II.10 — Histogramme montrant le changement des paramètres physico-chimiques du lait avant et après l'utilisation du mélange d'acides organiques

- Taux butyrique : Augmentation de 31,1% (de 43,1 g/l à 56,5 g/l).
- Taux protéique : Augmentation de 12,4% (de 29,9 g/l à 33,6 g/l)
- Lactose : nous notons une légère augmentation de 6,9% du taux de lactose (de 45 g/l à 48,1 g/l).
- Le sel : La teneur en sel est restée constante à 8,5 g/l avant et après l'utilisation de l'acide organique.

Cette valeur se situe dans la plage normale pour le lait de vache, qui est généralement comprise entre 8 et 10 g/l.

II.6.6 Acidité

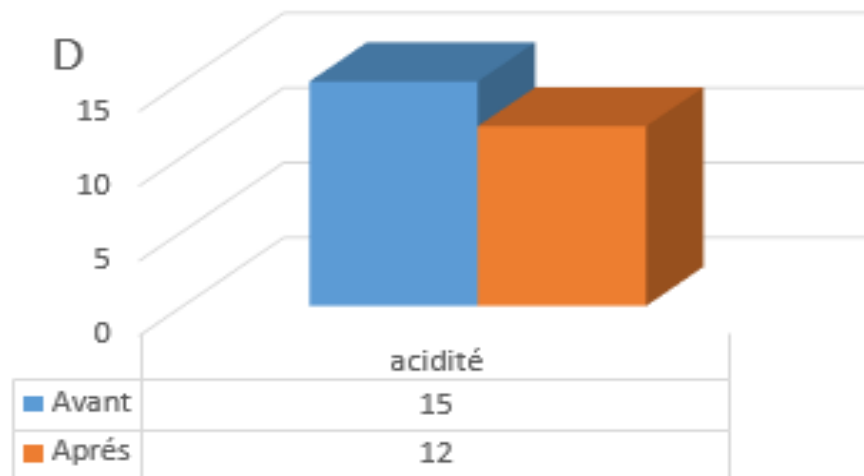


FIGURE II.11 — Histogramme montrant le changement de l'acidité du lait avant et après l'utilisation de l'acide organique

On observe une diminution de 20% de la acidité

II.6.7 PH

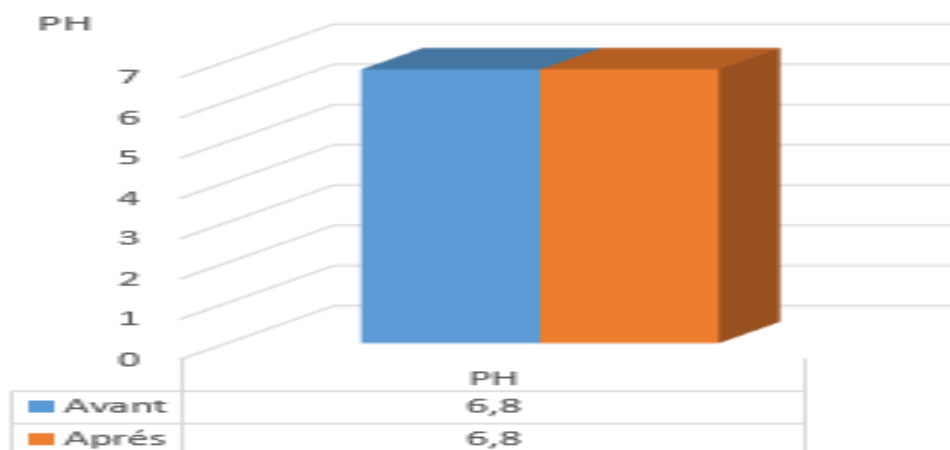


FIGURE II.12 — Histogramme montrant le changement du pH du lait avant et après l'utilisation du mélange d'acides organique

Le pH est resté stable à 6,8, ce qui est optimal pour le lait de vache

II.6.8 Densité

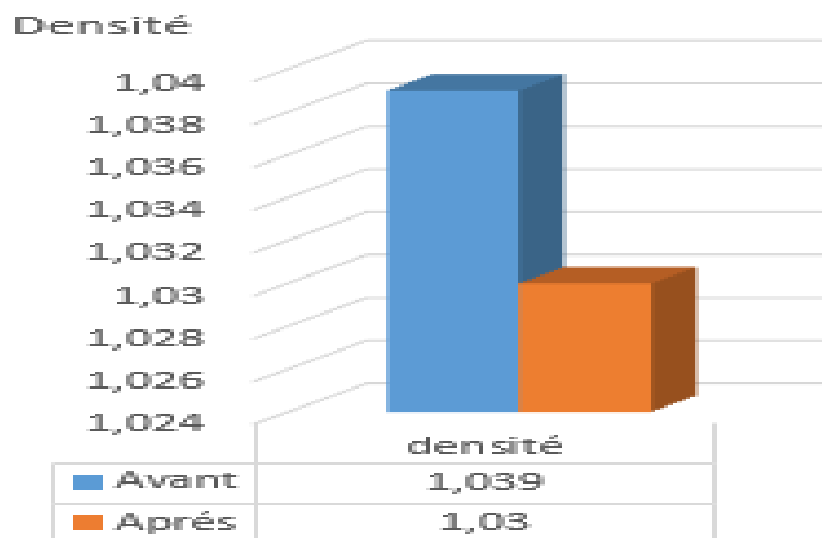


FIGURE II.13 — Histogramme montrant le changement de la densité du lait avant et après l'utilisation du mélange d'acides organiques

On observe une légère diminution de 0,87% de la densité (de 1,039 à 1,03 g/ml)

II.6.9 Discussion

II.6.9.1 Effet sur la santé mammaire

L'utilisation du mélange d'acides organiques a conduit à une réduction significative des scores CMT positifs, passant de 39,3% à 10,7% des quartiers. Cette amélioration de la santé mammaire pourrait s'expliquer par plusieurs mécanismes

- a)Création d'un environnement défavorable aux pathogènes dans la mamelle (Ruegg, 2017).
- b)Stimulation du système immunitaire local de la glande mammaire (Olagaray and Bradford, 2019).
- c)Modification du microbiome du trayon, favorisant les bactéries bénéfiques (Derakhshani et al., 2018).

II.6.9.2 Impact sur la production laitière

L'augmentation moyenne de 4% de la production laitière observée dans notre étude, bien que modeste, est cohérente avec les résultats de Souza et al. (2018), qui ont rapporté une amélioration de la production laitière suite à la supplémentation en acides organiques. Cette augmentation pourrait être attribuée à :

- a) L'amélioration de la santé mammaire (Ruegg, 2017).
- b)Une meilleure efficacité alimentaire due à l'amélioration de la digestion et de l'absorption des nutriments dans le rumen (Castillo-Lopez et al., 2017).

II.6.9.3 Amélioration de l'état corporel

L'amélioration uniforme du BCS chez toutes les vaches (augmentation moyenne de 0,4 point) est un résultat intéressant. (Plaizier et al. 2018) ont suggéré que les additifs alimentaires peuvent améliorer la santé du rumen, ce qui pourrait expliquer cette amélioration de l'état corporel.

II.6.9.4 Modifications de la qualité du lait

Les changements observés dans les paramètres physico-chimiques du lait sont particulièrement intéressants

- a)L'augmentation significative du taux butyrique (31,1%) pourrait être liée à une amélioration de la fermentation ruminale, comme l'ont suggéré (Seymour et al. 2005).
- b) L'augmentation du taux protéique (12,4%) pourrait résulter d'une meilleure synthèse des protéines du lait, possiblement due à une amélioration de l'apport en acides

aminés ou à une meilleure efficacité de leur utilisation (Huhtanen et al., 2011).

- c) La légère augmentation du lactose (6,9%) pourrait indiquer une amélioration du métabolisme énergétique global, comme l'ont proposé (Baumgard et al. 2017).
- d) Acidité et pH : La diminution de l'acidité (de 15°D à 12°D) sans changement du pH (stable à 6,8) est intéressante. Cela pourrait indiquer une meilleure stabilité du lait, potentiellement due à l'équilibre amélioré des composants du lait. Le pH stable à 6,8 est optimal pour le lait de vache et suggère que l'ajout d'acides organiques dans l'alimentation n'a pas perturbé l'équilibre acido-basique du lait.

II.6.9.5 Implications pour la gestion des mammites et la réduction de l'utilisation des antibiotiques

Les résultats prometteurs de cette étude suggèrent que l'utilisation d'acides organiques pourrait être une stratégie efficace pour réduire l'incidence des mammites subcliniques. Cela pourrait potentiellement conduire à une réduction de l'utilisation des antibiotiques dans la gestion des mammites, contribuant ainsi à la lutte contre la résistance aux antimicrobiens dans l'élevage laitier (Gomes and Henriques, 2016).

II.6.10 conclusion

Cette étude a démontré des effets bénéfiques significatifs de l'utilisation d'un mélange d'acides organiques chez les vaches laitières. Une réduction notable des mammites subcliniques a été observée, avec une diminution des scores CMT positifs de 39,3% à 10,7%. La production laitière a augmenté en moyenne de 4%, accompagnée d'une amélioration de l'état corporel des vaches.

Les analyses physico-chimiques du lait ont révélé des changements positifs, notamment une augmentation du taux butyrique (31,1%) et du taux protéique (12,4%). Ces résultats suggèrent que les acides organiques pourraient améliorer la santé mammaire, l'efficacité métabolique et la qualité du lait.

Il est important de noter que cette étude a été menée sur un petit échantillon de vaches (n=7) et sur une courte période. Des recherches supplémentaires avec un plus grand nombre d'animaux, sur une plus longue durée, et incluant un groupe témoin seraient nécessaires pour confirmer ces résultats et explorer les mécanismes sous-jacents.

CONCLUSION
GÉNÉRALE

L'utilisation d'un mélange d'acides organiques dans l'alimentation des vaches laitières s'avère être une approche prometteuse pour améliorer la santé mammaire, la production et la qualité du lait. Cette stratégie pourrait avoir des implications significatives pour l'industrie laitière, tant en termes de santé animale que de qualité des produits.

L'importance des acides organiques comme alternative efficace aux antibiotiques dans le traitement des mammites bovines ne peut être sous-estimée. Non seulement ils offrent une solution pour lutter contre la résistance croissante aux antibiotiques, mais ils contribuent également à une approche plus naturelle et durable de la santé animale. De plus, ces composés jouent un rôle crucial dans l'amélioration des processus digestifs, ce qui se traduit par une augmentation de la production laitière et une réduction des pertes économiques. Cette optimisation de la digestion permet une meilleure utilisation des nutriments, améliorant ainsi l'efficacité globale de l'élevage.

L'un des aspects les plus prometteurs de cette approche est le passage d'une stratégie curative à une stratégie préventive. En intégrant les acides organiques dans l'alimentation quotidienne des vaches, on peut potentiellement prévenir l'apparition de mammites et d'autres problèmes de santé, plutôt que de les traiter une fois qu'ils se manifestent. Cette approche proactive pourrait considérablement réduire l'utilisation d'antibiotiques et améliorer le bien-être général des animaux.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHESON, Donald. Independent inquiry into inequalities in health report. London : The Stationery Office. 1999.
- ALAM, S., SHAH, H. U., AFZAL, M., et al. Influence of calcium propionate, water activity and storage time on mold incidence and aflatoxins production in broiler starter feed. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, vol. 188, p. 137-144.
- Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R., Turgeon H., (2002). Composition, Propriétés Physicochimiques, Valeur Nutritive, Qualité Technologique Et Techniques d'analyses Du Lait. In Vingnola C.L, *Science Et Technologie Du Lait*, Isbn : 3-25 29, Ecole Polytechnique De Montréal, Pp.600
- ARGENTE G., LARDOUX S., LE BERRE K., LABBE J-F. (2005) Valeur de l'observation clinique de symptômes simples de mammite pour prédire les bactéries
- Baillargeon Paul (2005) : la mammite ce n'est pas toujours pareil. Le producteur de lait Québécois. Université de Blida
- Baumgard, L.H., Collier, R.J., Bauman, D.E., 2017. A 100-Year Review : Regulation of nutrient partitioning to support lactation. *J. Dairy Sci.* 100, 10353–10366.
- BERTHELOT X., LEBRET P., PETIT C. (1987) Les infections mammaires de la vache laitière. *Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse*, 192p
- Bidaud O., Houffschmitt P., Viguerie Y., (2005-2007) : étiologie des mammites bovines en France. Services techniques Intervet, 49071 Beaucauzé
- Bosquet G, Faroult B, Labbé J-F, le page P, Sérieys F. 2013. *Référentiel Vétérinaire 2013 pour le traitement des mammites bovines SNGTV*, Paris, France. 100p.
- Boukacem. A et Radoui. A (2005-2006) : étude bibliographique sur les mammites. PFE en médecine vétérinaire. P.3
- BRADLEY A.J, 2002 : Bovine mastitis an evolving disease. *The veterinary journal*.
- Bushnell RB. 1984. The importance of hygienic procedures in controlling mastitis. *Vet Clin North Am Large Anim Pract.* 6(2) :361-70.
- Castillo-Lopez, E., Ramirez Ramirez, H.A., Klopfenstein, T.J., Anderson, C.L., Aluthge, N.D., Fernando, S.C., Jenkins, T., Kononoff, P.J., 2017. Effects of feeding dried distillers grains with solubles on ruminal biohydrogenation, intestinal fatty acid profile, and gut microbial diversity evaluated through DNA pyro-sequencing. *J. Anim. Sci.* 95, 4089–4101.
- Derakhshani, H., Fehr, K.B., Sepehri, S., Francoz, D., De Buck, J., Barkema, H.W., Plaizier, J.C., Khafipour, E., 2018. Invited review : Microbiota of the bovine udder : Contributing factors and potential implications for udder health and mastitis susceptibility. *J. Dairy Sci.* 101, 10605–10625.
- De Lange, C.F.M. ; Pluske, J. ; Gong, J. ; Nyachoti, C.M. Strategic use of feed ingre-

dients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livest. Sci.* 2010, 134, 124–134.

- Deb, R., A. Kumar, S. Chakraborty, A. K. Verma, R. Tiwari, K.Dhama, U. Singh, and S. Kumar. 2013. Trends in diagnosis and control of bovine mastitis : A review. *Pak. J. Biol. Sci.* 16 :1653–1661. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.1653.1661>
- DIBNER, J. J. et BUTTIN, P. Use of organic acids as a model to study the impact of gut micro flora on nutrition and metabolism. *Journal of Applied Poultry Research*, 2002, vol. 11,no 4
- DOMINIQUE REMY, 2007 : Les mammites. Groupe France Agricole, pp 5-6-8.
- Durel L, Guyot H, Théron L. 2011. Vade-mecum des mammites bovines. ÉditionsMed'Com, Paris, France. 270 p.-282.
- Durel L, Guyot H, Théron L. 2011.Vade-mecum des mammites bovines. ÉditionsMed'Com, Paris, France. 270 p.-282.
 - Gilibert Sylvain (2008) : les affections cutanées de la mammite et du trayon chez la vache.P16-17
- Gomes, F., Henriques, M., 2016. Control of Bovine Mastitis : Old and Recent Therapeutic Approaches. *Curr. Microbiol.* 72, 377–382.
- GUERIN P. (1998) Mammites à Staphylocoques chez la vache : aspects épidémiologiques.In : Staphylocoques et santé publique, Neuvièmes rencontres GTV Rhône-Alpes, Ecole nationale vétérinaire de Lyon, 18 juin 1998, 21 p.
- Guérin, P., Guérin-Faubleé, V. (2007). Les mammites de la vache laitière. École Nationale de Médecine Vétérinaire de Lyon (France).
- H. Overview of gut flora and probiotics. *International journal of food microbiology*, 1998, vol. 41, no 2, p. 85-101.
- HAJATI, Hosna. Application of organic acids in poultry nutrition. *International Journal of Avian Wildlife Biology*, 2018, vol. 3, no 4, p. 324-329.
- Hanzen Ch. (2008-2009) : physiologie de la glande mammaire et du trayon de la vache laitière. Faculté de médecine vétérinaire.p.6-7 -28-31-38-43
- HOLZAPFEL, W. H., HABERER, P., SNEL, J., SCHILLINGER, U., et in't Veld, J. H.
- HOUARI, H., ZENATI, H. (2011). Etude Bibliografique des Mammites chez le Bovin Laitier (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).
- Huhtanen, P., Hristov, A.N., 2009. A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 3222–3232.

- Jarrig. R (1982). Physiologie et pathologie périnatale chez les animaux de ferme.P.55
- Jean C., et Dijon C., (1993) Au fil du lait, ISBN 2-86621-172-3.GEDILAGHINE V. La rationalisation du traitement des mammites en exploitation laitière. ([https ://www.fao.org/es/ESN/probio/probio.htm](https://www.fao.org/es/ESN/probio/probio.htm)).
- Kaidi, R., Mimoune, N. (2023).Les mammites. ENSV.
- Krömker V, Zinke C, Paduch J-H, Klocke D, Reimann A, Eller G. 2010.Evaluation of increased milking frequency as an additional treatment for cows with clinical mastitis. J. Dairy Res. 77, 90-94
- Kuang Y, Jia H, Miyanaga K, Tanji Y. 2009.Effect of milk on antibacterial activity of tetracycline against Escherichia coli and Staphylococcus aureus isolated from bovine mastitis. ApplMicrobiolBiotechnol.
- Kuang Y, Jia H, Miyanaga K, Tanji Y. 2009.Effect of milk on antibacterial activity of tetracycline against Escherichia coli and Staphylococcus aureus isolated from bovine mastitis. ApplMicrobiolBiotechnol.
- Kuang Y, Jia H, Miyanaga K, Tanji Y. 2009.Effect of milk on antibacterial activity of tetracycline against Escherichia coli and Staphylococcus aureus isolated from bovine mastitis. ApplMicrobiolBiotechnol.
- Kuang Y, Jia H, Miyanaga K, Tanji Y. 2009.Effect of milk on antibacterial activity of tetracycline against Escherichia coli and Staphylococcus aureus isolated from bovine mastitis. ApplMicrobiolBiotechnol.
- Laloux, L., Bastin, C., Gillon, A., Bertozzi, C., Gengler, N. (2009). Le BCS, une méthode simple à la source de conseils variés : ration, repro et santé. In 14ième Carrefour des Productions animales : Les filières bovines dans la tourmente, Produire plus et mieux avec moins.
- LE PAGE P. (1999)Les cellules du lait et la mamelle In : Cellules somatiques du lait, Journées nationales Groupements techniques Vétérinaires INRA, Nantes, 26-27-28 mai.
- LERAY O. (1999)Méthodes de comptage des cellules du lait et contrôle qualité In : Cellules somatiques du lait, Journées nationales Groupements techniques Vétérinaires INRA, Nantes, 26-27-28 mai.
- McDougall S, Parker KI, Heuer C, Compton CW. 2009.A review of prevention and control of heifer mastitis via non-antibiotic strategies. Vet Microbiol. 134(1-2) :177-185.
- Michel M., Romain J., Gerard (2000) : Initiation à la technologie fromagère .Edition
- Neville M.C Et Jensen R.G., (1995) The physical properties of human and bovine milks In JENSEN R., Handbook of milkcomposition-General description of milks,AcademicPress,Inc : 82 (919 pages) .

- NGUYEN, DinhHai, SEOK, Woo Jeong, et KIM, In Ho. Organic acids mixture as a dietary additive for pigs—a review. *Animals*, 2020, vol. 10, no 6, p. 952.
- Noireterre, P. (2006). Suivi de comptages cellulaires et d'examens bactériologiques lors de mammites cliniques chez la vache laitière. Etude expérimentale au centre d'élevage Lucien Bizet de Poissy. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon. p, 211.
- Noireterre, P. (2006). Suivis de comptages cellulaires et d'examens bactériologiques lors de mammites cliniques chez la vache laitière : étude expérimentale au Centre d'Elevage Lucien Bizet de Poissy [Haute-Savoie] (Doctoral dissertation)
- Noireterre, P. (2006). Suivis de comptages cellulaires et d'examens bactériologiques lors de mammites cliniques chez la vache laitière : étude expérimentale au Centre d'Elevage Lucien Bizet de Poissy [Haute-Savoie] (Doctoral dissertation)
- Noireterre, P. (2006). Suivis de comptages cellulaires et d'examens bactériologiques lors de mammites cliniques chez la vache laitière : étude expérimentale au Centre d'Elevage Lucien Bizet de Poissy [Haute-Savoie] (Doctoral dissertation).
- Olagaray, K.E., Bradford, B.J., 2019. Plant flavonoids to improve productivity of ruminants – A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 251, 21–36.
- PAPATSIROS, V. G., KATSOULOS, Panagiotis-Dimitrios, KOUTOULIS, K. C., et al. Alternatives to antibiotics for farm animals. *CAB Rev*, 2013, vol. 8, no 32, p. 1-15.)
- CHERRINGTON, C. A., HINTON, M., MEAD, G. C., et al. Organic acids : chemistry, anti-bacterial activity and practical applications. *Advances in microbial physiology*, 1991, vol. 32, p. 87-108
- PAPATSIROS, V. G., KATSOULOS, Panagiotis-Dimitrios, KOUTOULIS, K. C., et al. Alternatives to antibiotics for farm animals. *CAB Rev*, 2013, vol. 8, no 32, p. 1-15.)
- PARENTE, E., RICCIARDI, A., et ADDARIO, G. Influence of pH on growth and bacteriocin production by *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 14ONWC during batch fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1994, vol. 41, no 4, p. 388-394.
- Partanen, K. 2001. Organic acids—Their efficacy and modes of action in pigs. Page 201 in *Gut Environment of Pigs*. A. Piva, K. E. Bach Knudsen, and J. E. Lindberg, eds. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- PEARLIN, Beulah Vermilion, MUTHUVEL, Shanmathy, GOVIDASAMY, Prabakar, et al. Role of acidifiers in livestock nutrition and health : A review. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 2020, vol. 104, no 2, p. 558-569.
- Pinzon-Sanchez, C., and P. L. Ruegg. 2011. Risk factors associated with short-term post treatment outcomes of clinical mastitis. *J. Dairy Sci.* 94 :3397–3410. [https : / / doi .org/ 10 .3168/ jds .2010 -3925](https://doi.org/10.3168/jds.2010-3925).

- Plaizier, J.C., Li, S., Danscher, A.M., Derakshani, H., Andersen, P.H., Khafipour, E., 2018. Changes in Microbiota in Rumen Digesta and Feces Due to a Grain-Based Subacute Ruminant Acidosis (SARA) Challenge. *Microb. Ecol.* 75, 261–272.
- POUTREL B., 1985 : Généralité sur les mammites de vache laitière, méthode de control. *Rec. Med. Vét.*, 6-7 .
- Roberson JR, Warnick LD, Moore G. 2004. Mild to moderate clinical mastitis : efficacy of intramammary amoxicillin, frequent milk-out, a combined intramammary amoxicillin, and frequent milk-out treatment versus no treatment. *J. Dairy Sci.*, 87, 583-592.
- Ruegg, P.L., 2017. A 100-Year Review : Mastitis detection, management, and prevention. *J. Dairy Sci.* 100, 10381–10397.
- Russell, J. B., Diez-Gonzalez, F. (1998). The effects of fermentation acids on bacterial growth. *Advances in Microbial Physiology*, 39, 205–234.
- Russell, J. B., Diez-Gonzalez, F. (1998). The effects of fermentation acids on bacterial growth. *Advances in Microbial Physiology*, 39, 205–234
- SALMINEN, S., BOULEY, C., BOUTRON, M.-C., et CUMMINGS, J. H., FRANCK, A., GIBSON, G. R., et ROWLAND, I. Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *British journal of nutrition*, 1998, vol. 80, no S1, p. S147-S171.
- Schmitt-Van DE Leemput E, Gaudout N, Samson O, Lhuillier D, Lhermie G. 2013. Comparaison de deux méthodes d'identification bactérienne en clientèle. *Le Point Vétérinaire*.
- SERIEYS F. (1985) Utilisation de la numération des cellules du lait de vache dans la lutte contre les mammites. Thèse de Docteur Ingénieur en Sciences agronomiques. Ecole Nationale Supérieure de Montpellier, octobre 1985, 240p
- SERIEYS F., GICQUEL-BRUNEAU M. (2005) Les souches de *Staphylococcus aureus* responsables de mammites subcliniques sont-elles homogènes intra-troupeau pour la production de -lactamase et la résistance à la pénicilline? In : Journées Nationales des Groupements Techniques Vétérinaires, Nantes, 25-26-27 mai, 687-690
- Seymour, W.M., Campbell, D.R., Johnson, Z.B., 2005. Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows : a literature study. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119, 155–169.
- Souza, J., Batistel, F., Santos, F.A.P., 2017. Effect of sources of calcium salts of fatty acids on production, nutrient digestibility, energy balance, and carryover effects of early lactation grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100, 1072–1085.
- TAYLOR, Mark J., BANDI, Claudio, et HOERAUF, Achim. *Wolbachia*. Bacterial endosymbionts of filarial nematodes. *Advances in parasitology*, 2005, vol. 60, p. 245-284.

- technique et documentaire .Lavoisier .Paris .Codex 08. 180 pages.
- Theobald, P. Principles of Using Organic Acids in Animal Nutrition.2015.Availableonline :<https://pdfs.semanticscholar.org/3529/208446f1fd200efad0050191b0e3effd42> (consulté le 12 décembre 2021). Thèse pour le doctorat vétérinaire. École nationale vétérinaire d'alfort, pp 17-19, 22, 34.
- WATTIAUX .M, 2006 : Lactation et récolte de lait. In : Essentiels Laitières, chapitre 24. Babcock Institute.2006.Online : www.babcock.wisc.edu/node/.120-65-67 .
- Wattiaux, Michel Andre.1995. Mastitis : prevention and detection. Babcock Institute for International Dairy Research and Development.
- Zadoks, R. N., J. R. Middleton, S. McDougall, J. Katholm, and Y. H. Schukken.2011. Molecular epidemiology of mastitis pathogens of dairy cattle and comparative relevance to humans. J. Mammary. Gland. Biol. Neoplasia. 16(4) :357-372 .
- Ruegg, P.L., 2017. A 100-Year Review : Mastitis detection, management, and prevention. J. Dairy Sci. 100, 10381–10397.
- Seymour, W.M., Campbell, D.R., Johnson, Z.B., 2005. Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows : a literature study. Anim. Feed Sci. Technol. 119, 155–169.
- Souza, J., Batistel, F., Santos, F.A.P., 2017. Effect of sources of calcium salts of fatty acids on production, nutrient digestibility, energy balance, and carryover effects of early lactation grazing dairy cows. J. Dairy Sci. 100, 1072–1085.