

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Democratic and Popular Republic of Algeria / République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا للبيطرة ربيع بوشامة  
Higher National Veterinary School Rabie Bouchama  
École Nationale Supérieure Vétérinaire Rabie Bouchama



N° d'ordre : 026/PFE/202

## Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de **Docteur Vétérinaire**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Vétérinaires

### THÈME

---

*Impact d'utilisation d'un synthétique sur la production laitière (qualité) chez la vache laitière.*

---

Présenté par :  
**Mlle BOUGHOUFALA Hadil**  
**Mlle CHOUAF Amina**

Soutenu publiquement, le Jour/Mois/Année devant le jury composé de :

Pr. BAROUDI Djamel	Professeur (ENSV)	Président
Pr. KHELEF Djamel	Professeur (ENSV)	Promoteure
Dr. ZOUANE Aymen	Doctorant (ENSV)	Co-promoteur
Dr. GALLACHE Loubna	MCA (ENSV)	Examinateuse

Année universitaire : 2024/2025

## Remerciements

Avant toute chose, nous exprimons notre profonde gratitude à Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force, la persévérance et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères au **Professeur KHELEF Djamel**, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'assurer la direction de ce travail. Nous lui sommes particulièrement reconnaissants pour sa disponibilité constante, sa confiance, ses conseils éclairés et ses encouragements tout au long de cette étude.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à **Dr. ZOUANE Aymen**, notre co-promoteur, pour son accompagnement précieux tout au long de cette étude. Sa disponibilité, son professionnalisme, ainsi que la qualité de ses conseils scientifiques ont grandement contribué à la rigueur et à la pertinence de notre travail.

Nous avons particulièrement apprécié son engagement constant, sa réactivité et sa volonté de nous guider avec bienveillance à chaque étape du processus. Son soutien technique et humain a été d'un apport inestimable, et nous lui en sommes profondément reconnaissants.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury :

À **Pr. BAROUDI Djamel**, pour avoir accepté de présider ce jury de soutenance. Nous le remercions pour son engagement, la pertinence de ses remarques, et sa contribution à l'enrichissement de ce travail.

À **Dr. GALLACHE Loubna**, pour avoir accepté de participer à l'évaluation de ce mémoire. Nous la remercions pour l'attention portée à notre travail et ses retours constructifs.

Nous souhaitons exprimer toute notre reconnaissance à **Dr. Ainouz Lynda**, pour son soutien précieux et son aide dans la réalisation des analyses biochimiques à l'École Nationale Supérieure Vétérinaire. Sa disponibilité et son professionnalisme ont été d'un grand appui dans le bon déroulement de l'étude.

Nos remerciements s'étendent également aux **responsables du ferme de Dely Ibrahim Alger**, et à **DR. SAHRAOUI Serhane**, qui nous ont offert un cadre de travail optimal, empreint de bienveillance, et facilité l'accès aux structures nécessaires à la mise en œuvre de notre recherche.

Enfin, nous adressons notre profonde gratitude à toutes les personnes, qu'elles aient été proches ou simplement de passage, qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce projet

## **Dédicace**

Louange à Allah, le Très-Haut, le Tout-Puissant, qui, dans Sa sagesse infinie, m'a accordé la force, la patience et la persévérence nécessaires pour mener à bien ce travail. Que Ses bénédictions illuminent chaque étape de mon chemin.

Je dédie cette thèse, fruit d'années de labeur, de réflexion et de dépassement de soi, à ceux qui sont la source de mon existence, mes précieux piliers : À mes chers parents, « MEZOUAR Karima et Khaled » qui ont marché à mes côtés, silencieusement parfois, mais toujours avec un amour inconditionnel et un soutien indéfectible. Leur sagesse, leurs prières et leur foi en moi ont été le flambeau éclairant mes pas. Cette réussite est aussi la leur.

À ma sœurs Alaa , ainsi qu'à mes frères Mohamed , wail et Youcef , en qui je place tous mes espoirs et à qui je souhaite un avenir rayonnant, couronné de réussite et de paix.

Merci à chacun de membres de la famille MEZOUAR , d'avoir été à mes côtés, dans les moments d'effort comme dans ceux de doute, m'offrant leur soutien moral, leur écoute attentive et leur présence rassurante. Par leur affection discrète mais constante, ils ont su apaiser les jours difficiles et célébrer avec moi les étapes franchies.

À mon amie d'enfance, Roumaissa BENOUALI , qui a été à mes côtés ces treize dernières années . Pour ces treize années de complicité, de soutien et d'amitié fidèle .Merci d'avoir été présente à chaque étape, avec bienveillance et constance .Ta présence a été un vrai pilier dans ce long parcours.

A ma moitié , MY bestie SOUKEHAL Iman , Pour ton amitié sincère, ton écoute et ta présence rassurante, tant dans les heures studieuses que dans les instants de doute.

**BOUGHOUFALA Hadil**

## Dédicace

Louange à Dieu, le Très-Haut, le Tout-Puissant, le Clément, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance pour mener à bien ce travail. Sans Sa volonté et Sa grâce, rien de tout cela n'aurait été possible.

À mon **père** et à ma **mère**, mes piliers, mes modèles, mes sources d'inspiration. Merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux, votre soutien et vos prières constantes. Ce travail est le fruit de votre éducation et de vos valeurs.

À mes frères et sœurs : **Souad, Meriem, Zaki, Hadjer et Abderrahmen**, je vous dédie ces lignes avec tout mon amour. Merci pour votre présence, vos encouragements et vos sourires qui m'ont donné la force d'avancer.

À mes amis et amies, ceux qui ont partagé avec moi les moments de doute et de réussite, merci pour votre soutien précieux et vos encouragements sincères.

À **mes camarades de l'ENSV**, et particulièrement à tous ceux que j'ai eu la chance de rencontrer et de connaître au cours de ces années : vous avez marqué ce parcours par votre amitié, vos conseils et vos éclats de rire.

Enfin, à **toutes les personnes** qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail : ce mémoire est aussi le vôtre.

**Merci à vous tous.**

**CHOUAF Amina**

## Résume :

Le lait représente l'un des principaux produits de consommation en Algérie, distribué et approvisionné par un système économique conforme aux normes de l'agroalimentaire. Sa valeur repose essentiellement sur ses qualités physico-chimiques et organoleptiques. De ce fait, il est primordial d'assurer une gestion rigoureuse des élevages, incluant l'entretien des infrastructures, l'alimentation, le suivi sanitaire des animaux, ainsi que le respect des bonnes pratiques de traite et de conservation pour garantir un produit sain et propre à la consommation humaine.

Les résultats obtenus au terme de ce travail ont mis en évidence l'impact significatif de l'incorporation d'un mélange d'acides organiques sur l'amélioration de la qualité du lait chez la vache laitière. Cette amélioration a été confirmée par la comparaison des résultats obtenus entre le lot témoin et le lot traité ayant reçu ce mélange.

**Mots-clés :** lait – vache – qualité – acides organiques – production laitière

## Abstract

Milk is one of the main food products consumed in Algeria, distributed and supplied through an economic system that complies with agri-food standards. Its value is mainly based on its physico-chemical and organoleptic qualities. Therefore, it is essential to ensure rigorous farm management, including the maintenance of facilities, animal feeding, health monitoring, as well as compliance with good milking and preservation practices to guarantee a healthy product suitable for human consumption.

The results obtained at the end of this study highlighted the significant impact of incorporating a mixture of organic acids on improving milk quality in dairy cows. This improvement was confirmed by comparing the results of the control group with those of the treated group that received the mixture.

**Keywords:** milk; cow; quality; organic acids; dairy production

## الملخص

يُعد الحليب من أهم المنتجات الغذائية المستهلكة في الجزائر، حيث يتم توزيعه وتوفيره عبر منظومة اقتصادية منظمة وفقاً للمعايير المعتمدة في الصناعة الغذائية. وتعتمد قيمته بشكل رئيسي على خصائصه الفيزيائية والكيميائية والحسية، ومن ثم تبرز أهمية ضمان إدراة مهكمة للمزارع، تشمل صيانة المنشآت، وتغذية الحيوانات، ومراقبة صحتها، إلى جانب الالتزام بالمارسات الجيدة. أثناء عملية الحليب وحفظ المنتج لضمان منتج صحي صالح للاستهلاك البشري.

لقد أظهرت النتائج المحصلة في نهاية هذه الدراسة تأثيراً إيجابياً وملموساً لإضافة خليط من الأحماض العضوية على تحسين جودة الحليب لدى الأبقار الحلوب. وتم تأكيد هذا التحسن من خلال مقارنة نتائج الأبقار المعالجة مع تلك الخاصة بالأبقار الشاهدة.

**الكلمات المفتاحية** الحليب؛ الأبقار؛ الجودة؛ الأحماض العضوية؛ الإنتاج الحليبي : الكلمات المفتاحية

## SOMMAIRE :

INTRODUCTION:.....	1
Chapitre 1: le lait.....	2
1    déffinition et généralité sur le lait .....	2
2    Anatomie de la glande mammaire .....	3
2.1    Systèmes alvéolaire et caniculaire (galactophore) .....	5
2.1.1    Le système alvéolaire .....	5
2.1.2    Le système galactophore .....	6
3    Synthèse du lait .....	8
4    Composition physico-chimique de lait .....	11
5    Caractéristique physico-chimique de lait de vache.....	28
CHAPITRE 02 : La production laitière .....	37
1    La traite .....	37
1.1    Définition .....	37
1.2    Le mode et la qualité de la traite .....	37
1.2.1    Traite Manuelle .....	37
1.2.2    Traite mécanique .....	38
1.3    Pour Une production laitière .....	39
2    Le tarissement .....	39
2.1    La phase de tarissement dans le cycle de production du lait chez les vaches .....	39
2.2    Durée de la période de tarissement : L'équilibre entre production et santé .....	40
2.3    TRANSITION ALIMENTAIRE ET RATION POUR LE TARISSEMENT .....	41
2.4    Quels sont les enjeux de la période sèche ? .....	41
2.5    Gestion des vaches pendant une période de tarissement prolongée .....	42
3    La courbe de lactation .....	43
4    L'acidose ruminale et son impact sur la production laitière .....	45
4.1    L'Acidose Ruminale Sub-Aiguë (SARA) .....	45
4.2    Détection de l'acidose ruminale chez les ruminants .....	46
4.3    L'impact économique des troubles digestifs chez les vaches .....	46
4.4    Traitement .....	47
5    Principale pathologie autour de la mise bas chez la vache .....	47
5.1    Définition de mammite .....	47
5.2    Les types des mammites .....	47
5.3    Les mammites subclinique et les mammites cliniques subaiguës .....	48
5.4    La mammite bovine est causée par divers types de bactéries .....	48

5.5	Comment détecté la mammite subclinique .....	49
5.6	L'impact de la mammite sur la qualité et la production du lait .....	50
5.7	Comment contrôler la mammite subclinique ? .....	51
	Chapitre 03 : élevage bovin en Algérie .....	52
1	Généralités sur l'élevage des vaches laitière .....	52
2	Élevage bovine en Algérie .....	53
3	Alimentation des bovins .....	55
4	Digestion des aliment.....	56
	Chapitre 04 : Les mycotoxines .....	60
1	Généralité sur les mycotoxines .....	60
1.1	Une introduction générale sur les mycotoxines .....	60
1.2	Les mycotoxines et le lait .....	61
1.3	Moisissures et mycotoxines dans les denrées alimentaires .....	61
1.4	Les mycotoxines dans les aliments bovine .....	62
1.5	Le danger des mycotoxines pour les vaches .....	63
2	Effet des mycotoxines .....	64
2.1	Son impact sur la santé humaine .....	64
2.2	Son impact sur la santé animale .....	65
3	Agir pour limites les risques liées aux mycotoxines .....	67
3.1	Prévention de la croissance des champignons pendant la culture .....	68
3.2	Gestion intégrée des mycotoxines dans les troupeaux laitiers .....	69
	chapitre 05 : les acides organiques.....	70
1	Définition .....	70
2	Nomenclature .....	72
3	Mode d'action des acides organique.....	73
4	Avantages de l'utilisation d'acides organiques en nutrition animale.....	76
5	Réglementation .....	77
6	Utilisation comme alternative aux antibiotiques .....	78
	Conclusion et perspectives .....	80
	REFERENCES .....	81

## LISTE DES FIGURE

<b>Figure 1: Anatomie de la glande mammaire (Rf Charton ;2017).....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 2: la glande mammaire (Rf Charton ;2017).....</b>	<b>5</b>
<b>Figure3:Structure anatomique du trayon bovin et ses principales caractéristiques physiologiques (Payot ;1982).....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 4:Structure et fonction d'une portion d'acinus lactifère (payot lausanne.1982).....</b>	<b>10</b>
<b>Figure 5: Courbe de la pression du lait dans la mamelle au cours de la traite .....</b>	<b>11</b>
<b>Figure 6: structure polaire de l'eau (vignola,2002).....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 7: structure d'un globule de matière grasse(Vignola ;2002).....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 8: structure des principaux acides gras insaturés du lait(Vignola ;2002).....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 9: structure des principaux acides gras saturés du lait (Vignola ;2002).....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 10:Pourcentages des différentes protéines bovine (Vignola ;2002).....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 11:Composition en acides des aminés des six protéines majeures du lait (Vignola ;2002). .....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 12:Effet de l'acidification sur la structure des micelles de caséines.....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 13: Formation de ponts disulfure entre la <math>\beta</math>-lactoglobuline dénaturée et la micelle de caséine sous l'effet de la chaleur .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 14: caractéristique des principaux enzymes du lait.....</b>	<b>27</b>
<b>Figure 15: acidité naturelle, acidité développée et acidité titrable du lait(Vuillemard ;2010)...</b>	<b>30</b>
<b>Figure 16: Traite manuelle (Grohman, 2013).....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 17: Traite mécanique (Dagron ;2019). .....</b>	<b>39</b>
<b>Figure 18: le tarissement au carrefour de la production et de la reproduction (Séreys 1997). .</b>	<b>43</b>
<b>Figure 19: Courbe de lactation chez la vache laitière (Chaire bien-être animal 2021).....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 20: Rumens de bovins viande pris en abattoirs : à gauche les papilles ruminale s sont saines et bien développées, tandis que le rumen de droite a été "cramé" par l'acidose avec une grande partie des papilles détruites ( Vergonjeanne;2015).....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 21: Mammite bovine (Dyson ;2016).....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 22: Le test de Californie des cellules mammaires (CMT) (Photo Personnelle ;2024)....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 23: Photo Credit Penn State Extension (Robert J. van Saun, DVM, MS, PhD) .....</b>	<b>53</b>
<b>Figure 24: Élevage laitière bovine en Algérie (photo personnelle ;2025). .....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 25: La digestion ruminale des aliments.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 26: Photo des mycotoxines (Bonney &amp; Foucher; 2022). .....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 27: Alimentation des vaches laitières : attention aux mycotoxines ( García ;2018).....</b>	<b>63</b>
<b>Figure 28 : Les conséquences chez les ruminants (Difagri ;2024). .....</b>	<b>66</b>
<b>Figure 29: Les principales famille des mycotoxines (Difagri ;2024).....</b>	<b>67</b>
<b>Figure 30: Caractéristiques Physico-Chimiques de Divers Acides Organiques (CHERRINGTON &amp;al, 1991).....</b>	<b>70</b>
<b>Figure 31: Des acides organiques (CHERRINGTON &amp;al, 1991).....</b>	<b>71</b>
<b>Figure 32: Nomenclature des acides organiques (CHERRINGTON &amp;al, 1991). .....</b>	<b>72</b>
<b>Figure 33:Mode d'action des acides organique (RASHEED ; 2017). .....</b>	<b>73</b>
<b>Figure 34:Pourcentage de molécules d'acide butyrique, d'acide formique et d'acide lactique dissociées/non dissociées en fonction du pH du milieu (Sieiro &amp; al ;2013). .....</b>	<b>74</b>

## LISTES DES TABLEAUX

<b>Table 1: état physicochimique du lait de vache.....</b>	<b>11</b>
<b>Table 2: composition générale du lait de vache .....</b>	<b>12</b>
<b>Table 3: composition générale du lait de vache .....</b>	<b>13</b>
<b>Table 4: principaux indices et constantes de la matière.....</b>	<b>17</b>
<b>Table 5: constituants responsables de l'acidité naturelle du lait.....</b>	<b>29</b>

## **LISTE Des ABREVIATION**

C : carbone

Pro :proline

The : phenylalanine

Tip : tryptophane

Met : méthionine

Asp :acide aspartique

Glu : acide glutamique

Asn : asparagine

Gin : glutamine

Cys : cystéine

Tyr : tyrosine

Lys : lysine

Arg : arginine

SAB :la sérum albumine bovine

SNG : les solides non gras

AGNE : acide gras non estérifié

SARA :Acidose Ruminale Sub-Aiguë

AGV : acides gras volatils

PCR :Polymerase Chain Reaction

CMT : California Mastitis Test

AO : acides organique

EFSA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments

FDA : Food and Drug Administration

### INTRODUCTION:

La production laitière joue un rôle essentiel dans l'agriculture et l'économie alimentaire à travers le monde. Elle englobe l'élevage des animaux laitiers, principalement des vaches, des chèvres et des brebis, ainsi que la transformation du lait en divers produits tels que le fromage, le yaourt et le beurre. Cette industrie répond à une demande croissante de produits laitiers, motivée par les besoins nutritionnels des populations et les tendances alimentaires.

L'impact de la production laitière ne se limite pas seulement à la sécurité alimentaire ; elle contribue également à l'emploi rural et à la durabilité économique des exploitations agricoles. Toutefois, elle soulève des défis en matière de durabilité environnementale, de bien-être animal et de santé publique. Pour répondre à ces enjeux, des pratiques agricoles innovantes et durables sont de plus en plus mises en œuvre.

Les vaches laitières sont élevées spécifiquement pour la production de lait. Les races comme la Holstein, la Jersey et la Guernsey sont connues pour leur rendement élevé et la qualité de leur lait. Ces animaux sont généralement nourris avec une alimentation équilibrée, comprenant des fourrages, des concentrés et des minéraux, pour optimiser leur santé et leur production.

L'utilisation d'engrais et de pesticides synthétiques dans l'alimentation animale et la culture des fourrages a permis d'augmenter la productivité. Cependant, ces substances peuvent avoir des conséquences néfastes sur l'environnement, notamment la pollution des sols et des eaux, ainsi que des effets sur la santé des animaux et des consommateurs.

De plus, la montée en puissance des additifs alimentaires synthétiques dans les produits laitiers soulève des préoccupations concernant la santé publique et la qualité des aliments. Alors que les consommateurs deviennent de plus en plus conscients des enjeux liés à l'origine et à la composition de leurs aliments, la production laitière est confrontée à un besoin de transition vers des pratiques plus durables et respectueuses de l'environnement.

### Chapitre 1: le lait

#### 1 Définition et généralité sur le lait :

Liquide physiologique, blanc, opaque, légèrement sucré, de densité supérieure à celle de l'eau, sécrété par les glandes mammaires de la femme et des mammifères femelles.

Le lait est une sécrétion nutritive opaque de couleur blanchâtre produite par les cellules sécrétoires des glandes mammaires ou des femelles des mammifères, y compris les monotrèmes. La fonction principale du lait est de nourrir les jeunes jusqu'à ce qu'ils soient capables de digérer d'autres aliments.

Lait de vache : Le lait nourrissant est souvent vendu issu des vaches .

Le lait est un liquide blanc, nutritif, sécrété par les glandes mammaires chez les mammifères femelles, par lactation.

Le lait maternel, une boisson pour les jeunes est un biofluide lacté composé d'albumen.

Le lait destiné à l'alimentation humaine a été défini en 1908, lors du premier congrès international pour la répression des fraudes alimentaires, comme « produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli, proprement et ne pas contenir de colostrum » (**Deb & al. 2013**). Le lait est un liquide blanc, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré, sécrété par les glandes mammaires de la femme et par celles des mammifères femelles pour la nutrition des jeunes. Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation sauf la réfrigération à la ferme. La date limite de vente correspond au lendemain du jour de la traite. Le lait cru doit être porté à ébullition avant consommation (car il contient des germes pathogènes). Il doit être conservé au réfrigérateur et consommé dans les 24h. (**Fuenzalida & al., 2015**).

Rapportent que le lait doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et doit présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation. La dénomination "lait" sans indication de l'espèce animale de provenance, est réservée au lait de vache. Tout lait provenant d'une femelle laitière autre que la vache doit être désignée par dénomination "lait" suivie de l'indication l'espèce animale dont il provient (**Hansen, 2008**).

### 2 Anatomie de la glande mammaire :

- La glande mammaire (ou pis) de la vache est lourde et volumineuse. Son poids peut chez la vache adulte être supérieur à 50 kg. Chez une pluripare, la dimension du pis peut constituer un indicateur relatif du niveau de production laitière. Chez une primipare ce n'est pas le cas, le pis continuant à croître pendant la première lactation.

Les quartiers arrières produisent 60 % de lait. Néanmoins l'élevage sélectif a permis d'équilibrer la production laitière sur une plus grande partie des 4 trimestres.

-Glande mammaire constitue des 4 quartiers indépendants les uns des autres. Ils le sont en effet séparés par un ligament médian de fixation et par des ligaments latéraux (profonds et superficiels) de support qui les attachent à la paroi abdominale et au bassin. Les quartiers avant et arrière sont séparés par une fine membrane conjonctive. Ces séparations font que la qualité et la quantité de lait varie d'un quartier à l'autre mais aussi que les bactéries ne peuvent passer d'un quartier à l'autre. A l'inverse, un antibiotique infusé dans un quartier sera résorbé par le sang et disséminé dans tout l'organisme dont les autres quartiers. Une faiblesse de ligament médian peut rendre la traite plus difficile à conduire et le pis plus sensible aux blessures et aux infections. La rupture des ligaments suspenseurs ne laisse pas là-dessus impunément sur le risque de mammites. Elle peut être la conséquence de l'âge (le tissu élastique du ligament médian surtout se flétrit avec l'âge,), d'un œdème supérieur ou mauvaise conformation (action de la sélection.). Chaque quartier se prolonge par un trayon (**Hanzen, 2008**).

-Les deux quartiers ipsilatéraux sont desservis par l'artère honteuse externe, une petite partie du quartier postérieur étant desservie par une branche de l'artère honteuse interne.

-L'artère honteuse externe se ramifie après l'anneau inguinal en deux artères mammaires, l'une crânienne et l'autre caudale. Peut parfois donner lieu à une artère mammaire moyenne. Toutes ces artères se ramifient en de nombreux rameaux qui peuvent donner lieu entre elles à des anastomoses ipsilatérales.

-Il a trois ordres le premier des veines du trayon, le deuxième des veines du parenchyme et le troisième de base du pis .

- Au niveau de trayon se distinguent à son extrémité un plexus annulaire distal plus à l'extérieur encore que le sphincter.

-Les veines qui se détachent arrivent au second plexus annulaire qui se situe à base du trayon (réseau veineux of Fürstenberg). Ces veines papillaires et veines du parenchyme sont drainées par trois veines volumineuses , une crâniale, une deuxième moyenne et la dernière caudale. La veine médiane est la veine honteuse externe. Crâniale est également connue sous le nom de veine sous-cutanée abdominale. Sa

## Chapitre 01: Le lait

---

taille mesure parfois 3 à 4 cm (fontaine de lait). La veine caudale est à l'origine de la veine honteuse interne (Deb&al.2013).

Les ganglions lymphatiques retro-mammaires se situent à la base du pis sous la peau. Ils mesurent 6 à 10 cm de longueur et 2 à 4 cm de largeur. Ils drainent également la vulve, le clitoris et une petite partie de la cuisse.

-Les nerfs sont issus des rameaux ventraux des 4 premières paires de nerfs lombaires (nerf 1 ou nerf iliohypogastrique ; nerf 2 ou nerf ilio-inguinal ; nerf 3 ou nerf génito- fémoral qui reçoit une branche du 4<sup>ème</sup> nerf lombaire pour former le nerf inguinal ou nerf mammaire avant de s'engager dans l'anneau inguinal et se ramifie ensuite en un nerf crânial et un nerf caudal. La face caudale de la peau de la mamelle est innervée par une ramification du nerf honteux interne.

-La mamelle de la vache peut présenter ces anomalies. La polythélie est la présence de 4 trayons surnuméraires et la polymastie la présence de quartiers supplémentaires. À l'inverse, il se peut que un quartier soit absent (oligomastie) (RF Charton ;2017).

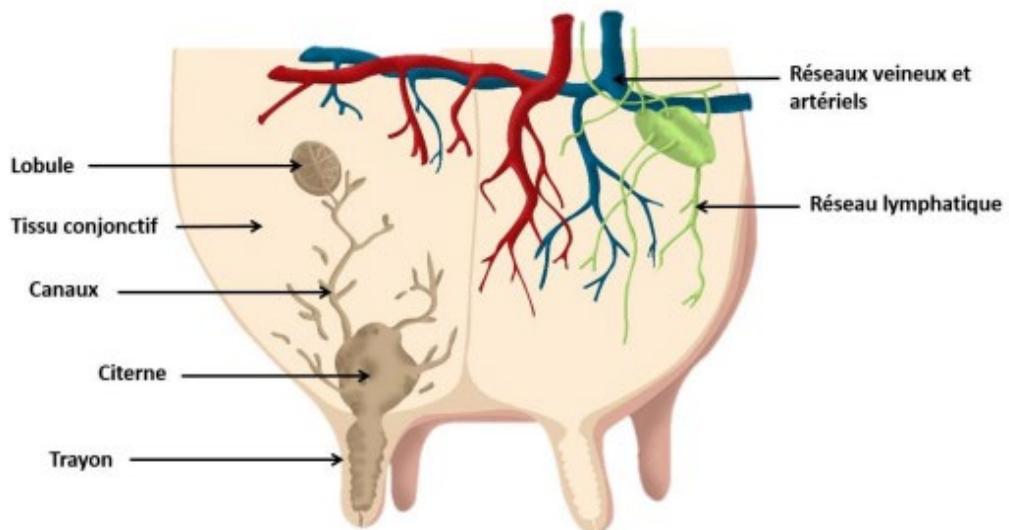


Figure 1: Anatomie de la glande mammaire (Rf Charton ;2017).

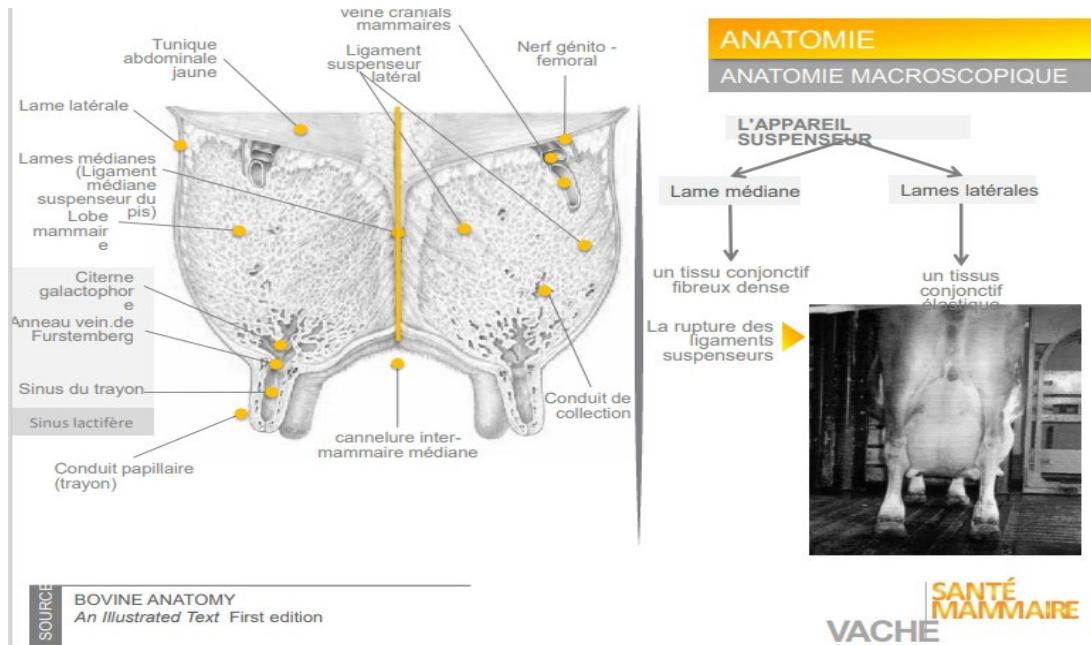


Figure 2: la glande mammaire (Rf Charlton ;2017).

### 2.1 Systèmes alvéolaire et canalicular (galactophore)

#### 2.1.1 Le système alvéolaire :

Le lait est sécrété dans des vésicules de 100 à 300 microns appelées alvéoles ou acini. En grappes, elles sont entourées d'un tissu conjonctif et adipeux très vascularisé appelé stroma. Ils s'ouvrent Physio anatomie-Propédeutique et Pathologie mammaire bovine 8 sur des arborisations caniculaires : les canaux galactophores qui drainent le lait de son lieu de sécrétion vers le pis citerne et le trayon. L'alvéole est enveloppée extérieurement par un réseau de cellules myo-épithéliales et intérieurement par une couche cellulaire cuboïde : les lactocytes. Elles sont liées à une membrane basale au travers de laquelle s'effectuent des échanges nutritifs et hormonaux, chaque alvéole étant enveloppée par un système artério-veineux (un litre de lait entraînerait 500 litres de passage sanguin). Chaque lactocyte synthétise journalisation de son poids équivalent protéines, lactoses minéraux et lipides(Hanzen, 2008).

### 2.1.2 Le système galactophore :

-Le système galactophore est constitué des canaux galactophores, de la citerne, du sinus du trayon et du canal du trayon.

-Chaque quartier possède à sa base une citerne remplie d'un litre de lait en moyenne. Pendant la traite, 60 % du lait est dans les alvéoles, 20 % dans les canaux et 20 % dans la citerne.

-Le trayon mesure entre 3 cm et 14 cm de long et le diamètre est compris entre 2 et 4 cm. La longueur du trayon augmente de la 1<sup>e</sup> à la 3<sup>e</sup> lactation puis demeure constante. Elle est conique ou plus généralement cylindrique. Cette conformation est cependant variable d'un individu à l'autre et des races. La citerne du pis est écartelé du sinus du trayon par un repli annulaire contenant un tissu érectile veineux (plexus veineux proximal ou anneau veineux de Furstemberg). Ce dernier peut surtout en fin de traite être un obstacle au passage du lait.

-La paroi du trayon est épaisse et comporte de nombreux vaisseaux et terminaisons nerveuses sensitives ou corpuscules. Elle n'est pas équipée de glandes sudoripares (**Vignola, 2011**)

Cette spécificité incite à réfléchir sur l'importance du tournage éventuel au moyen de crèmes émollientes. 40 % au moins des vaches possèdent à la naissance des trayons surnuméraires, normalement localisés au niveau des quartiers postérieurs. Ils sont le plus souvent non fonctionnels mais peuvent être infectés. Ils seront sectionnés ou cautérisés à la naissance. Leur persistance peut rendre l'animal moins commercialisable, le risque de mammite (mammite d'été) s'en trouve augmenté et leur proximité avec un trayon normal rend la traite plus difficile.

-Le trayon subit en cours de traite et au cours des 20 à 30 minutes suivantes des changements importants de longueur mais surtout de diamètre de son canal (**Dyce, 2010**)

-À l'extrémité inférieure du trayon, on trouve le canal du trayon. Il fait de 5 à 13 mm de long (9 mm en moyenne). Dans son état ouvert, il fait 1 à 2 mm de diamètre. Le diamètre du canal du trayon est plus grand dans la partie proximale (0.8 mm) que vers sa partie distale (0.4 mm). Il est par conséquent un élément de substance la résistance. Fibres musculaires lisses qui sont associées aux fibres élastiques et à celles de collagène se condensent à l'apex du trayon en un sphincter responsable normal de l'occlusion du canal. Ce sphincter est entouré du plexus veineux distal. La muqueuse du canal est tapissée d'un épiderme kératinisé analogue à celui de la peau. Cette muqueuse s'épanouit dans le sinus en 5 à 6 replis qui forment une collerette qui forment un type de neuf tissulaire contenant des lymphocytes : la Rosette de Furstenberg. La rosse est impliquée dans les stades précoce de la réponse immunitaire (reconnaissance des

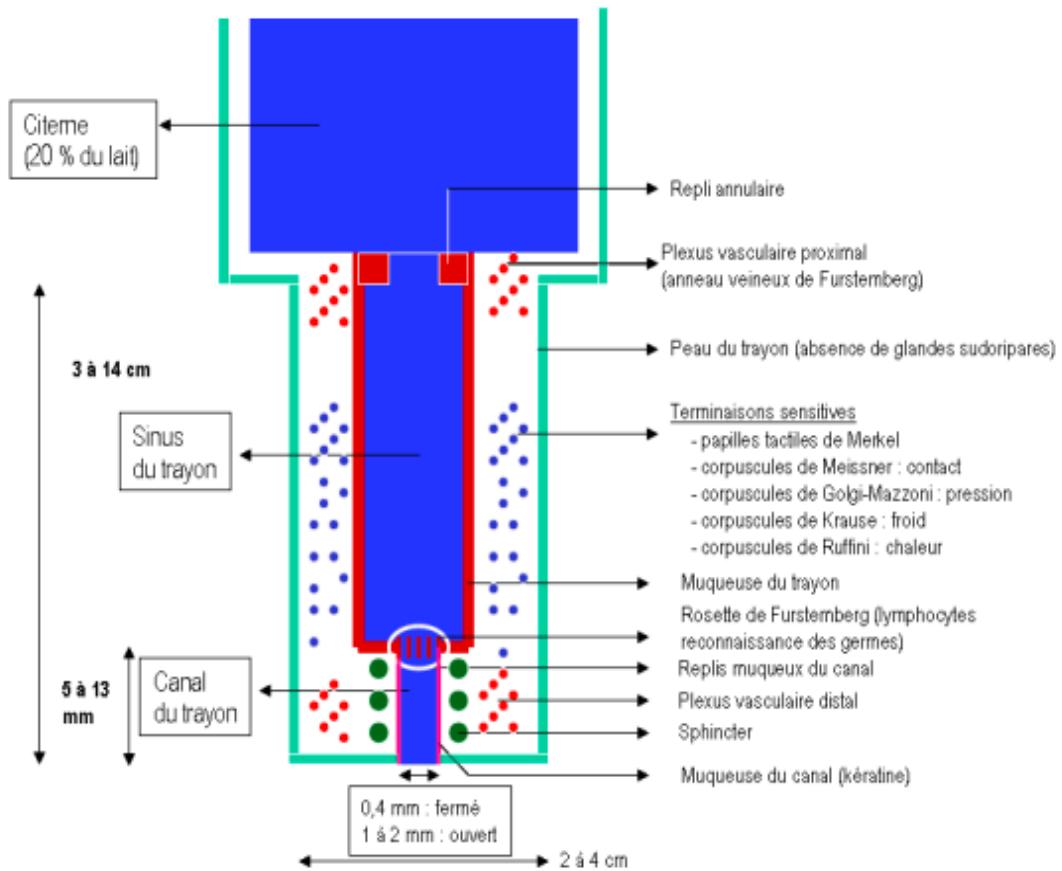
germes)(**Frandsen,2017**).

-Un trayon extrémités lésions sont un facteur de risque de pénétration et de multiplication croissante des germes, de traite plus douloureux, d'augmentation du temps de traite et de perte de lait entre les traites .

-La kératine couvrant la muqueuse du canal du trayon est bactéricide par l'intermédiaire de différentes substances dont elle constitue le support de fixation (acide laurique, acide oléique, défensines, xanthineoxydase). Elle se renouvelle sans cesse, un tiers environ étant éliminé par les deux traites quotidiens.

-Elle permet également de « piéger » les bactéries. C'est pourquoi les premiers jets de lait sont plus contaminé . La circulation du lait à chaque traite empêche les bactéries de s'attacher aux muqueuses et favorise leur élimination du quartier (**Grossman,1986**).

-Divers travaux expérimentaux ont mis en évidence une accélération des phénomènes inflammatoires et infectieux avec les rétentions de lait intervenant en cours de lactation en cas de sous-traite (machine mal réglée, mauvaise stimulation de l'animal, mauvaise ambiance de traite) ou au cours d'un progressive tarissement. Une mauvaise élimination de la kératine (par exemple en cas de traite trop « douce ») favorise les infections mammaires (**Hanzen,2008**).



**Figure3:Structure anatomique du trayon bovin et ses principales caractéristiques physiologiques (Payot ;1982).**

### 3 Synthèse du lait :

La perfusion et les proportions des substances permettent de saisir toute la valeur de l'aliment. Les teneurs en ses composants les plus abondants , parmi lesquels les matières grasses et les protéines , fixent et commandent en partie son avenir industriel et les traitements qu'il devra pour être conservé ou transformé en produits divers (**MATHIEU, 1999**).

Le lait est un mélange liquide de nombreuses substances dont la plus abondante est l'eau . Le lait est sécrété par les glandes mammaires des femelles mammifères ( la vache possède quatre glandes )

Elaboration du lait par les cellules lactogènes : l'activité de la glande mammaire débute lors de la mise basse , se poursuit pendant environ dix mois et s'achève avec le tarissement . Le lait est synthétisé par les cellules des acini à partir des matériaux qu'elles choisissent et puisent dans le sang .

## Chapitre 01: Le lait

---

On peut considérer la glande mammaire comme une couche de cellules d'une très grande surface dont les replis en acini lui permet de prendre place dans le petit volume de la mamelle , et d'être en contact avec un réseau sanguin important (**Mathieu, 2006**).

Le lait une fois fabriqué , s'écoule depuis les cellules lactogènes vers la cavité centrale des alvéoles ou acinus , puis transite à travers les canaux et les diverses citernes qui les prolongent.

Les constituants du lait ne proviennent pas directement du sang , mais passent par les cellules des acinus . bien que certaines substances comme l'urée et certains éléments salins soient présentes dans le lait et le sang à des concentrations variées , d'autres composants , tels que les caséines et le lactose , sont absents du sang .

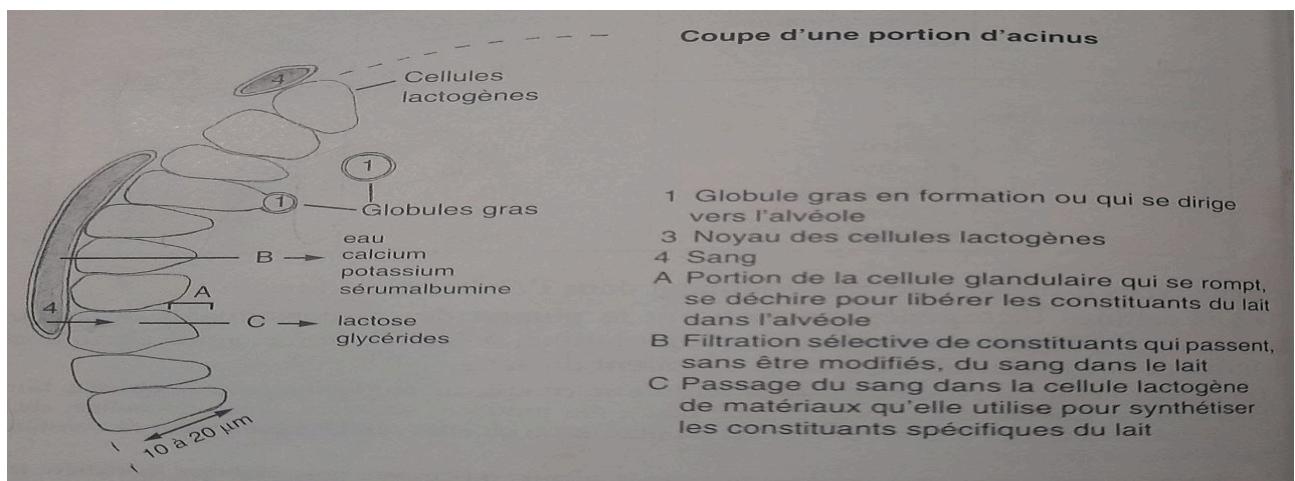
Malgré leur capacité commune à coaguler , le sang et le lait présentant des différences significatives dans leur composition . Le rôle des cellules lactogènes consiste à extraire et transformer les éléments du plasma sanguin pour produire et excréter le lait( **Walstra, 2005**).

Les cellules lactogènes synthétisent la plupart de ses constituants organiques , lactose , triglycérides , caséines ,  $\beta$ -lactoglobulines ,  $\alpha$ -lactalbumine...etc. . En utilisant des matériaux qu'elles extraient du sang . Les cellules des acini produisent 90 % du protéines et du lactose en utilisant le glucose sanguin qu'elles filtrent . Les acides aminés provenant du plasma (**Payot ;1982**).

Le glycérol et les acides gras consommés par la glande mammaire pour élaborer la matière grasse laitière dérive en partie des glycérides transportés par le sang . Ces derniers ne pénètrent pas dans les cellules lactogènes qui possèdent toutefois la faculté de séparer le glycérol des acides gras entant dans leur composition . Une fois libérés ces deux constituants s'introduisent dans les cellules glandulaires . Celles-ci ont aussi la possibilité de remanier certains acides gras reçus de cette façon et d'en synthétiser d'autres à partir d'acétate et de propionate fournis par le sang . Enfin ces mêmes cellules unissent le glycérol aux acides gras pour obtenir les glycérides caractéristiques du lait et différents de ceux du sang( **Jenness,2012**).

L'ensemble des substances ainsi sécrétées représente environ 92 % de la matière sèche du lait .

Moins nombreux , les autres constituants , à la fois présents dans le lait et le sang , proviennent directement de ce dernier et passent à travers des cellules glandulaires sans subir de modifications . eau , urée , minéraux tels que calcium , sodium , chlorure , etc. . Se retrouvent dans le lait , inchangés , mais à des concentrations différentes des celles normalement observées dans le sang . De plus le tissu lactogène peut limiter le transfert de certains éléments , sodium et chlore par exemple ou au contraire en concentrer d'autres comme potassium et calcium (**Payot ;1982**).



**Figure 4:Structure et fonction d'une portion d'acinus lactifère (payot lausanne.1982).**

Certains composants du lait proviennent directement du sang. Ce sont : l'eau, une partie de sels, la globuline, les vitamines, les colorants, les odeurs et les gouts. Quelques-uns des éléments qui composent le lait sont produits, chez le ruminant, par les bactéries de la panse. Ils passent directement du canal digestif dans le sang. Le lait, qui est formé dans les cellules épithéliales, s'accumule dans les alvéoles et les canaux en attendant la traite. Cela se fait en plusieurs stades et comme suit :

\_ la formation du lait commence immédiatement après la traite. Les cellules se remplissent et se gonflent. Elles sécrètent, tout d'abord, la partie aqueuse du lait et les protides. Elles produisent déjà des globules gras qui passent dans le vide de l'alvéole par rupture de la paroi de la cellule. A ce moment, la pression dans la mamelle est encore faible.

\_ A mesure que les alvéoles se remplissent, la pression du lait augmente, empêchant la rupture de la paroi cellulaire et la libération de globules gras qui en résulte. Seuls les composants de dimensions réduites et l'eau peuvent encore pénétrer dans l'alvéole durant cette période.

La formation du lait et son accumulation continuent jusqu'au moment où la pression du lait égale à peu près celle du sang dans les capillaires. Elles sont alors de 25 à 40 mm de mercure. Le lait sécrété jusqu'à ce moment a une teneur en graisse réduite, car une partie de celle-ci est encore retenue dans les cellules épithéliales.

\_ lorsqu'on traite la vache, la pression du lait diminue, les parois des cellules peuvent se rompre et libérer les globules gras. C'est ainsi que s'explique l'augmentation considérable de la teneur en graisse du lait du début à la fin de la traite (Mathieu, 1998).

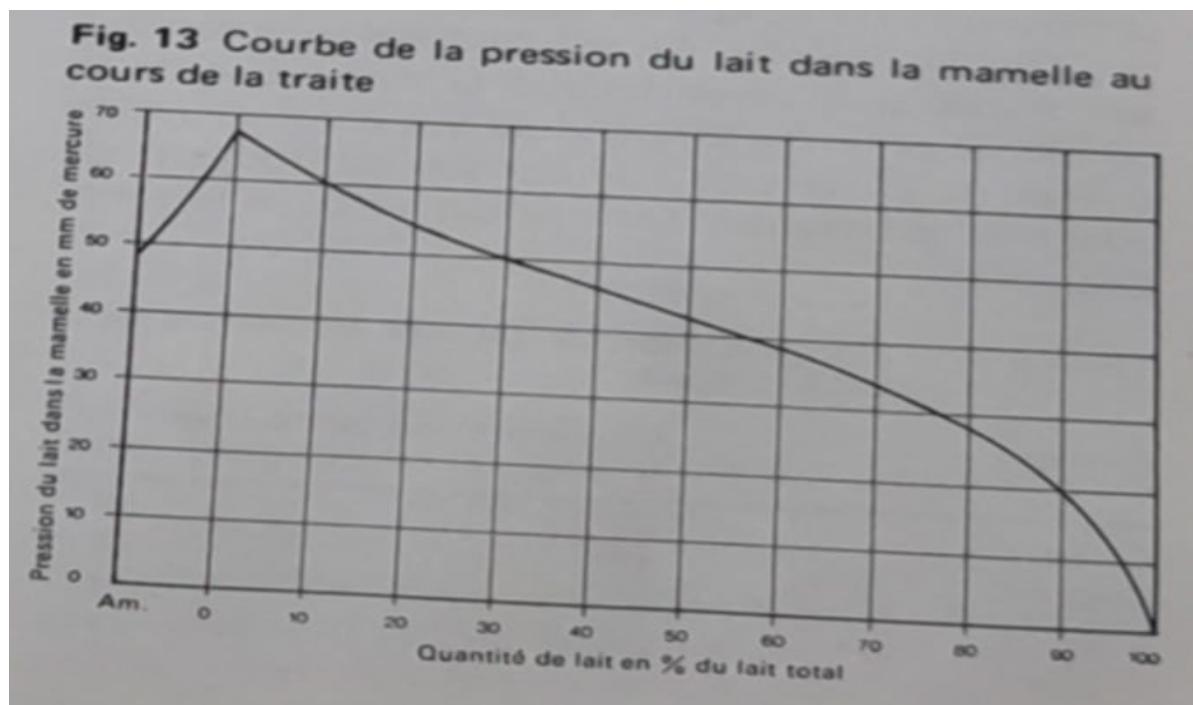


Figure 5: Courbe de la pression du lait dans la mamelle au cours de la traite

#### 4 Composition physico-chimique de lait

De point de vue physicochimique , le lait est un produit très complexe . Une connaissance approfondie de sa composition et ses propriétés nécessaires lors de la transformation de lait et lors de différents traitements industriels (Vignola, 2002).

Le lait constitue d'une solution vraie , et d'une solution colloïdale , d'une suspension colloïdale et d'une émulsion .

**Table 1: état physicochimique du lait de vache(Vignola, 2002).**

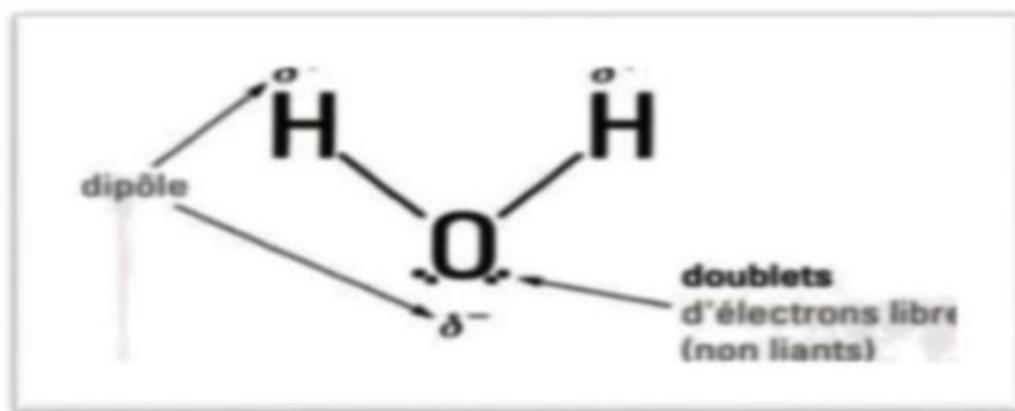
Constituents	Dimension (m)	Emulsion	Solution colloïdale	Suspension Colloïdale	Solution Vraie
Matière grasses	$10^{-5}$ à $10^{-6}$ n-	X			
Micelles de Caséines	$10^{-7}$ à $10^{-8}$ n-			X	
Proteins du Serum	$10^{-8}$ à $10^{-9}$ n-		X		
Glaucids	$10^{-9}$ à $10^{-10}$ n-				X
Minéraux	$10^{-9}$ à $10^{-10}$ n-				X

**Table 2: composition générale du lait de vache (Fédération des producteurs de lait du Québec et al., 2000–2001)**

Constituents' majeures	Variation limites (%)	Valeur's moyenne (%)
Eau	85,5- 89,5	87,5
Matière grasses	2,4 – 5,5	3,7
proteins	2,9 – 5,0	3,2
Glaucids	3,6 – 5,5	4,6
Minéraux	0 ,7 – 0,9	0 ,8

### 1 – Eau :

L'eau, composant principal du lait en termes de proportion, joue un rôle crucial. Sa structure, caractérisée par un dipôle et des doublets d'électrons libres, lui confère une nature polaire. Cette polarité permet à l'eau de dissoudre des substances polaires telles que les glucides et les minéraux sous forme de solutions véritables, ainsi que de former une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum(vignola,2002)



**Figure 6: structure polaire de l'eau (vignola,2002)**

L'eau adopte un arrangement hexagonal spécifique lorsqu'elle atteint son point de congélation. Cette structure entraîne une augmentation de son volume et une diminution de sa densité. Cette propriété joue un rôle essentiel dans la fabrication des produits laitiers glacés, car elle peut provoquer la formation de cristaux de glace(vignola,2002)

### 2 – Matière grasse :

Les matières grasses du lait sont principalement constituées de triglycérides, de phospholipides et d'une fraction insaponifiable contenant majoritairement du cholestérol et du bêta-carotène. Ces composants peuvent être

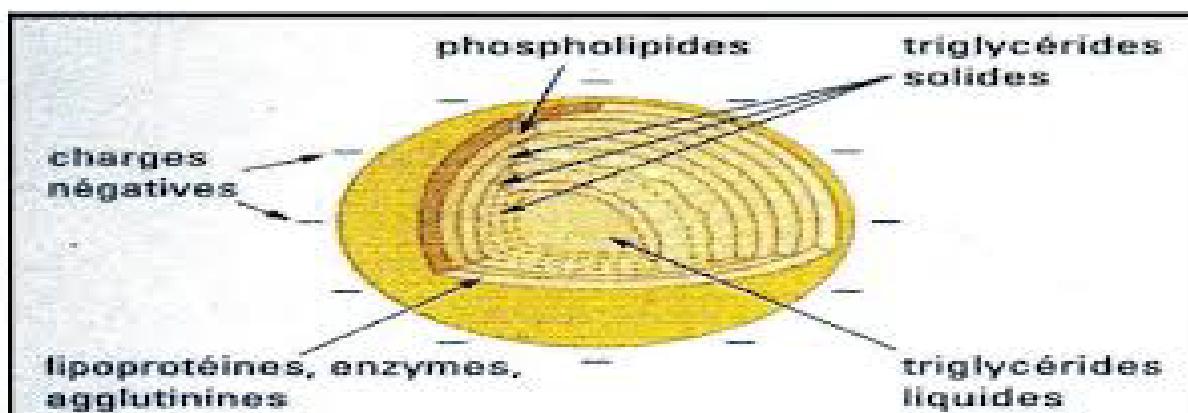
extraits à l'aide de solvants organiques non polaires, tels que l'éther éthylique, l'éther de pétrole et le chloroforme.(Hanzen,2007)

**Table 3: composition générale du lait de vache (Vignola, 2002)**

Constituents	Proportion de lipides du lait (%)
Triglycérides	98
Phospholipides	1
Fraction insaponifiable	1

Les matières grasses se présentent sous forme de petits globules sphériques visibles au microscope. La taille des globules varie généralement entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$  (0,001 mm). Cette dimension diffère selon l'espèce animale (plus petits dans le lait de chèvre), la race (par exemple, les globules sont plus petits chez les Holstein que chez les Ayrshire ou les Jersey) et la période de lactation (leur taille diminue vers la fin de la lactation). En moyenne, les globules mesurent 3 à 4  $\mu\text{m}$  de diamètre, avec une densité estimée à trois à quatre milliards de globules par millilitre de lait entier. (**Walstra, Pieter et al.2005**).

Les globules de matières grasses sont en émulsion de type huile dans l'eau. Comme le montre la figure 7, chaque globule est constitué de plusieurs couches de triglycérides : au centre se trouvent les triglycérides liquides, à bas point de fusion, entourés de triglycérides solides, à plus haut point de fusion. À la périphérie, une membrane enveloppe le globule. Cette membrane comprend des phospholipides, qui sont à la fois hydrophiles et lipophiles, jouant un rôle clé dans la stabilité de l'émulsion. Elle contient également des protéines de membrane, telles que des lipoprotéines, des enzymes et des agglutinines, qui renforcent la structure externe du globule (**Walstra, Pieter et al.2005**).



**Figure 7: structure d'un globule de matière grasse(Vignola ;2002).**

La membrane des globules de matières grasses est relativement fragile et peut être endommagée, partiellement ou totalement, par des traitements tels qu'une agitation excessive ou l'homogénéisation. Cette rupture entraîne la dispersion des composants dans le sérum et les expose à des réactions de dégradation microbiologiques, comme l'hydrolyse, ou chimiques, comme l'oxydation. Il est donc essentiel que les membranes des globules se reforment après ces traitements pour garantir la stabilité chimique des lipides(**Vignola ;2002**).

### Triglycérides :

Les triglycérides représentent environ 98 % de la matière grasse du lait. Ce sont des esters de glycérol, formés par la condensation de trois molécules d'acides gras avec une molécule de glycérol, accompagnée de la perte de trois molécules d'eau. Comme illustré dans la figure 7, la réaction de formation d'un triglycéride met en évidence le lien ester formé entre la fonction alcool du glycérol et la fonction acide carboxylique des acides gras. Les triglycérides peuvent être "purs" si les trois acides gras sont identiques, ou "mixtes" si au moins un des acides gras diffère. La majorité des triglycérides présents dans le lait sont mixtes, offrant une grande diversité de combinaisons d'acides gras, ce qui confère à la matière grasse du lait sa complexité unique .

Lorsqu'elles sont partiellement hydrolysées par l'action des lipases du lait, les molécules de triglycérides produisent des diglycérides (deux esters d'acides gras) ou des monoglycérides (un seul ester). Les acides gras eux-mêmes, bien que partageant une partie glycérol identique, sont les principaux responsables des propriétés physicochimiques des triglycérides. Ces propriétés dépendent de la composition des acides gras et de leur position sur la molécule(**Jenness, R., & Patton, S.1976**).

### Acides gras :

Les acides gras sont des molécules linéaires composées d'une chaîne de carbone et d'hydrogène, comportant toujours un nombre pair d'atomes de carbone (entre 4 et 32). Le premier carbone porte une fonction carboxyle, tandis que la chaîne carbonée, hydrophobe, détermine leur caractère non soluble dans l'eau. Deux caractéristiques influencent leurs propriétés physicochimiques :

1. La présence de doubles liaisons (insaturations) entre les atomes de carbone.
2. La longueur de la chaîne carbonée.

Ces facteurs modifient les propriétés des acides gras, qui, à leur tour, influencent la nature globale des matières grasses du lait (**Michel et al,2000**)

Les acides gras se distinguent par la nature de leurs liaisons entre atomes de carbone. On les qualifie de **saturés** lorsque toutes ces liaisons sont simples, et **insaturés** en présence d'une ou plusieurs doubles liaisons entre des atomes de carbone adjacents.

Parmi les acides gras insaturés, on distingue :

## Chapitre 01: Le lait

---

- **Monoinsaturés** : ils ne possèdent qu'une seule double liaison.
- **Polyinsaturés** : ils contiennent plusieurs doubles liaisons.

Les acides gras polyinsaturés peuvent être décrits de manière plus précise selon le nombre d'insaturations qu'ils possèdent, comme **d'insaturés** (deux doubles liaisons), **tri insaturés** (trois doubles liaisons) ou **tétra insaturés** (quatre doubles liaisons) (Vignola, 2002).

Les acides gras peuvent être saturés ou insaturés, et leurs propriétés sont influencées par la position et l'isomérie des doubles liaisons. L'isomérie correspond à l'orientation spatiale des chaînes de carbone et d'hydrogène autour des doubles liaisons :

- **Cis** : Les chaînes se trouvent du même côté de la double liaison .
- **Trans** : Les chaînes se situent de part et d'autre de la double liaison.

Dans la plupart des acides gras naturels, l'isomérie est de type **cis**, ce qui affecte leurs propriétés physicochimiques(Vignola, 2002).

La figure 8 illustre la structure des principaux acides gras présents dans les triglycérides du lait. Ces acides gras sont classifiés en fonction du nombre d'atomes de carbone et du nombre d'insaturations. Par exemple :

- **C4:0** représente l'acide butyrique, avec 4 atomes de carbone et aucune insaturation.
- Les acides gras insaturés sont représentés avec plus de détails pour indiquer la position des doubles liaisons. Par exemple, l'acide linoléique est noté **C18:2**, indiquant 18 atomes de carbone et deux doubles liaisons situées entre les carbones 9-10 et 12-13 (Vignola, 2002).

### Acides insaturés

oléique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
linoléique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
linolénique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
arachidonique	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$

Figure 8: structure des principaux acides gras insaturés du lait(Vignola ;2002).

Acides saturés	
butyrique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
caproïque	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
caprylique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
caprique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
laurique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
myristique	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
palmitique	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$
stéarique	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{OH}$

Figure 9: structure des principaux acides gras saturés du lait (Vignola ;2002).

### Phospholipides :

Les phospholipides du lait, classés comme lipides complexes, se distinguent par la présence de phosphore dans leurs structures. Ils contiennent du glycérol ou de la sphingosine relié à un ou deux acides gras et à un groupement phosphate auquel est rattaché un groupement azoté qui peut être la choline, l'éthanolamine ou la sérine (un acide aminé). Dans le lait, on distingue trois types de phospholipides: les lécithines, les céphalines et les sphingomyélines. Les deux plus importants phospholipides sont les lécithines et les céphalines. Les deux se composent de glycérol estérifié par deux acides gras et par l'acide phosphorique auquel se rattache un groupement azoté Pour les lécithines, le groupement azoté est là Les sphingomyélines consistent en une sphingosine, à laquelle est rattachée un acide gras, et en un groupement phosphate, auquel est rattachée la choline, qui est le groupement azoté. La caractéristique la plus importante des phospholipides est leur propriété émulsifiante, c'est-à-dire leur capacité d'abaisser la tension ou force interfaciale présente à la surface des globules de matières grasses. Cette tension est provoquée par le caractère hydrophobe des matières grasses, qui les pousse à s'éloigner de l'eau. La propriété émulsifiante des phospholipides est due à leur

## Chapitre 01: Le lait

---

caractère amphipolaire caractérisé par la présence d'une partie hydrophile, qui s'associe à l'eau, et d'une partie lipophile, qui s'associe aux constituants du globule de matières grasses (Vignola, 2002).

**Table 4: principaux indices et constantes de la matière (Vignola, 2002).**

Chaleur spécifique	527,4 j
Masse volumique ( 15°C )	0,93 – 0,95 g/ml
Point de fusion	28 – 35 °C
Point de solidification	25 – 30°C
Indice de réfraction ( 40°C)	1,45326 – 1,45512
Indice de saponification	220 – 241
Indice d'iode	26 – 45
Indice d'acide	Moins de 0, 3

Fraction insaponifiable : Outre les triglycérides et les phospholipides, l'extraction du lait par les solvants organiques non polaires comprend d'autres matières appelées les herbes marines du lait : l'ensemble de ces substances est appelé fraction insaponifiable, car ces composants ne sont pas sujets à la réaction de saponification qui sera expliquée plus loin. On trouve principalement dans la fraction insaponifiable les stérols, les caroténoïdes, les xanthophylles et les vitamines liposolubles A, D, E et K. Le plus important des stérols est le cholestérol ; certaines maladies cardiovasculaires lui sont associées lorsqu'il se lie aux diverses lipoprotéines présentes dans le sang. Il existe d'autres stérols : le cholestérol et le 7-déhydrocholestérol qui, exposés à la lumière, transforment en vitamine D les Tocophérols , synonymes de vitamine E. qui joue un rôle d'antioxydants naturels pouvant prévenir l'oxydation des phospholipides. La plus importante des caroténoïdes est le B-carotène, le précurseur de la vitamine A. Puisque les triglycérides forment la majorité des constituants des matières grasses du lait, ce sont leurs propriétés physiques qui influenceront celles du lait. Nous verrons les propriétés qui déterminent le caractère des matières grasses comme la solubilité, la masse volumique et le point de fusion (Vignola, 2002).

La masse volumique est la mesure entre la masse d'une substance ou une solution et le volume qui est occupé par la substance ou par la solution:

$$\rho = m / V$$

où:

## Chapitre 01: Le lait

---

$\alpha$  : représente la masse volumique

$m$  : représente la masse

$V$  : représente le volume

La masse volumique des matières grasses du lait est variable et se situe entre 0,93 et 0,95g/ml à une température de 15 °C . Voici les facteurs qui font varier la masse volumique :

La structure de la matière grasse, définie comme le rapport des triglycérides, des phospholipides et de la fraction insaponifiable:

- le rapport des acides gras différents composant les triglycérides: la température.

Puisque la masse volumique des matières grasses est inférieure à 1.00 g/ml. soit la masse volumique de l'eau, elles auront tendance à flotter sur l'eau. L'analyse quantitative des matières grasses du lait par la méthode Babcock repose sur cette propriété .

Le point de fusion est la température à laquelle les matières grasses du lait passent de l'état solide à l'état liquide. Cette température est plus basse: elle est de 28 à 35 °C. Puisque cette température est inférieure à la température interne de la vache, les matières grasses du lait sont en liquide à la traite. Le facteur le plus influant sur le point de fusion des matières grasses est la composition des triglycérides. En effet, la composition en acides gras différents et leur position sur le glycérol change le point de fusion des triglycérides (Vignola, 2002).

**transformation chimique de matière grasses** . Les matières grasses du lait, et surtout les triglycérides et les phospholipides, peuvent subir beaucoup de changements chimiques.

La chémanèstie délicate qui donne aux matières grasses leur teneur en acides gras est, partiellement, due à l'existence d'un grand nombre de liaisons esters et d'insaturations sur certaines chaînes. Notons maintenant les trois transformations chimiques essentielles, à savoir la lipolyse, la saponification et l'oxydation (Vignola, 2002).

La lipolyse est une réaction d'origine enzymatique catalysée par la lipase. Ce n'est pas un enzyme naturellement présent dans le lait ou développé par les bactéries. Il décompose le lait lorsque celui-ci est en trop grande quantité ou lorsque les globules de matières grasses ont été détruits.

La lipolyse est donc, avec l'aide de la lipase, à briser le lien entre les acides gras et le glycérol, et cette réaction se produit en grande partie sur les triglycérides. Les acides gras libérés par-là, particulièrement les acides gras à courte chaîne, c'est-à-dire ceux composés de quatre à huit atomes de carbone, sont les responsables de l'apparition du goût rance que le lait peut développer (Vignola, 2002).

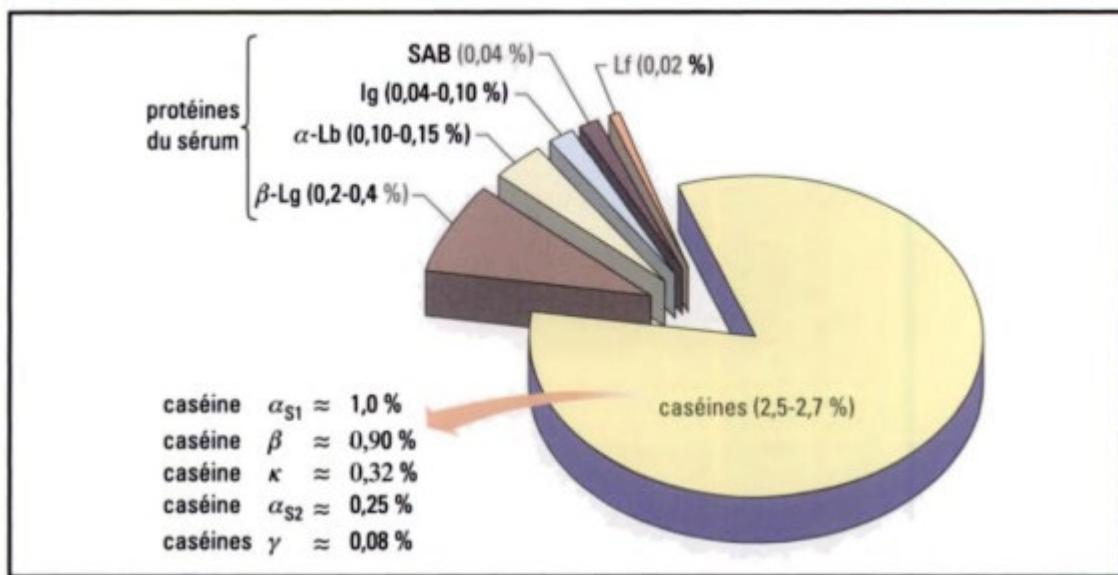


Figure 10: Pourcentages des différentes protéines bovine (Vignola, 2002).

### Les protéines :

Les protéines sont des éléments essentiels au bon fonctionnement des cellules vivantes et elles constituent une part importante du lait et des produits laitiers. L'analyse du lait par minéralisation, appelée méthode Kjeldahl (sect. 1.9), permet d'évaluer que 95% de la quantité totale d'azote est présente dans les protéines dont la concentration moyenne est de 3,2%. Les composés azotés non protéiques sont principalement des protéases, des peptones et de l'urée. Différentes structures et propriétés physicochimiques distinguent les protéines du lait. On les classe en deux catégories d'après leur solubilité dans l'eau et leur stabilité: d'une part, les différentes caséines qui sont en suspension colloïdale, qui se regroupent sous forme de micelles et qui précipitent sous l'action de la pression ou lors de l'acidification à un pH d'environ 4,6; d'autre part, les protéines du sérum qui sont en solution colloïdale et qui précipitent sous l'action de la chaleur. La figure 11 donne la proportion des différentes protéines du lait.

**Structure des protéines.** Les protéines sont des polymères naturels qui se caractérisent par : la présence d'azote. Il s'agit principalement de vingt acides aminés différents reliés entre eux par des liens

peptidiques. Certaines protéines peuvent contenir des constituants autres que des acides aminés, comme des lipides ou des glucides. La figure 1.10 illustre la structure générale d'un acide aminé et montre un lien peptidique. On remarque son caractère amphotère puisqu'un acide aminé a une fonction amine qui possède un caractère basique et une fonction acide carboxylique. Le groupement R représente la chaîne latérale qui caractérise chacun des différents acides aminés (Vignola, 2002).

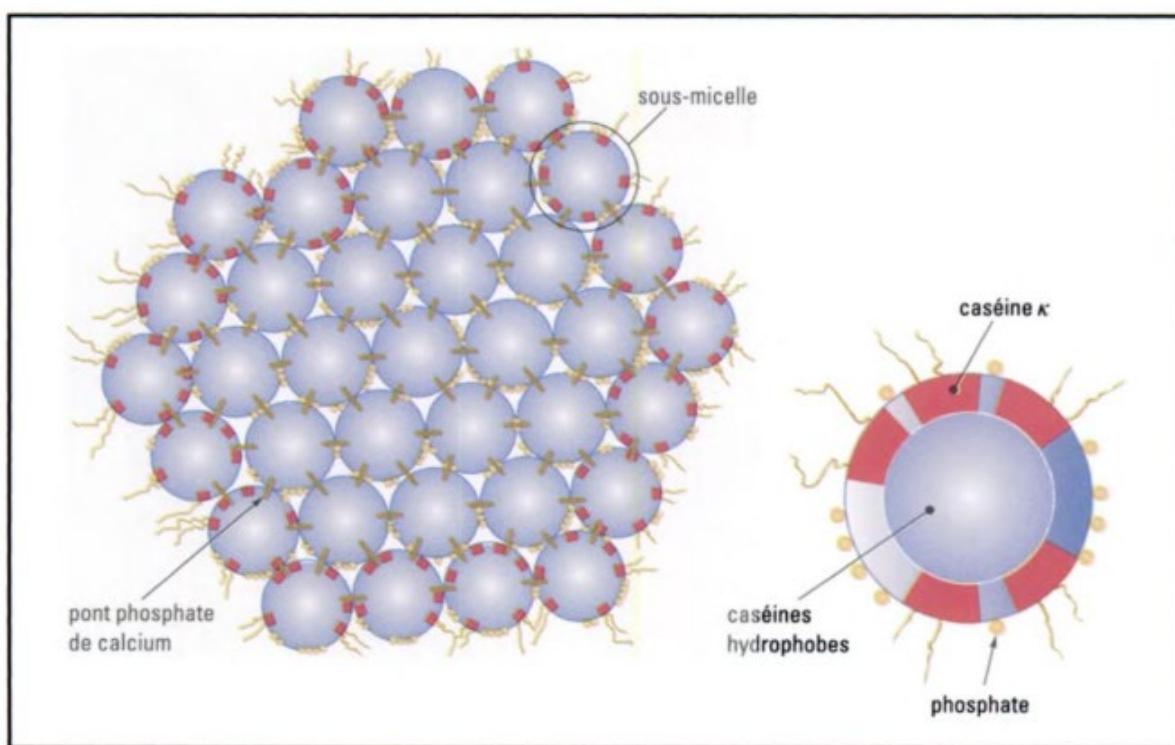
**Acides aminés.** Les protéines présentes dans les organismes vivants, soit les animaux, les végétaux et les microorganismes, sont formées par l'enchaînement de vingt acides aminés fondamentaux. Quelques acides aminés spécifiques peuvent se trouver dans certains organismes. Les acides aminés sont caractérisés par leur chaîne latérale qui leur confère un caractère hydrophobe, c'est-à-dire non polaire, ou un caractère hydrophile, c'est-à-dire polaire. Voici le nom et le symbole des acides aminés hydrophobes: glycine (Gly), Alanine (Ala), valine (Val), leucine (Leu),

Acides aminés	Caséines				Protéines sériques	
	$\alpha_{s1}$ B	$\alpha_{s2}$ A	$\beta$ A <sub>2</sub>	$\kappa$	$\beta$ -Lg A	$\alpha$ -Lb B
<i>hydrophobes:</i>						
Gly	9	2	5	2	3	6
Ala	9	8	5	15	14	3
Val	11	14	19	11	10	6
Leu	17	13	22	8	22	13
Ile	11	11	10	13	10	8
Pro	17	10	35	20	8	2
Phe	8	6	9	4	4	4
Trp	2	2	1	1	2	4
Met	5	4	6	2	4	1
Cystine <sup>1</sup>	0	2	0	2 ou 0	4	8
<i>hydrophiles:</i>						
Asp	7	4	4	4	11	9
Glu	24	25	18	13	16	8
Asn	8	14	5	7	5	12
Gln	15	15	21	14	9	5
Ser	8	6	11	12	7	7
Ser-P <sup>2</sup>	8	11	5	1	0	0
Cys (-SH)	0	0	0	0 ou 2	1	0
Thr	5	15	9	14	8	7
Tyr	10	12	4	9	4	4
Lys	14	24	11	9	15	12
Arg	6	6	4	5	3	1
His	5	3	5	3	2	3
<b>Total</b>	<b>199</b>	<b>207</b>	<b>209</b>	<b>169</b>	<b>162</b>	<b>123</b>

Figure 11: Composition en acides des aminés des six protéines majeures du lait (Vignola ;2002).

Ce caractère hydrophobe ou hydrophile des acides aminés se transmettre aux protéines, généralement, les acides aminés hydrophiles se retrouvent sur la partie extérieure de la protéine, tandis que les acides aminés hydrophobes se retrouvent principalement dans la partie intérieure de la protéine. Le tableau 11 présente la composition en acides aminés des six principales protéines du lait.

La constitution des micelles de caséine présente une différence notable entre leur centre et leur périphérie. Les caséines  $\alpha$  et  $\beta$  sont plus abondantes au centre de la micelle, où elles forment un cœur hydrophobe. En revanche, la partie externe de la micelle est principalement composée de caséine  $\kappa$ , qui joue un rôle crucial dans la stabilisation de la structure micellaire grâce à ses chaînes hydrophiles. La caséine  $\alpha$ s est la protéine la plus abondante dans le lait, représentant environ 40% des caséines totales. Les traitements utilisés en transformation alimentaire peuvent modifier la structure micellaire en affectant les liaisons chimiques qui maintiennent cette organisation, entraînant des changements dans les propriétés physicochimiques des micelles(Vignola ;2002).



**Figure 10 : Structure d'une micelle de caséine et organisation des sous-micelles (Vignola ;2002).**

**Caséines.** Les caséines forment près de 80% de toutes les protéines présentes dans le lait: leur point isoélectrique moyen est de 4.65. L'élucidation de la structure tridimensionnelle permet d'affirmer que les caséines se regroupent

## Chapitre 01: Le lait

---

sous forme sphérique appelée micelle. La taille des micelles se situe entre 100 et 500 nm, avec un diamètre moyen près de 180 nm, et elle varie principalement selon l'espèce animale, la saison, le stade de lactation.

Les micelles de caséine sont constituées de 92% de protéines et de 89% de minéraux. Les quatre principales protéines contenues dans les micelles sont les caséines a. 2. B (beta) et (kappa) dans les proportions respectives suivantes: 4; 1:3.7 et 1.4. Il existe également une y-caséine qui est formée par l'hydrolyse de la pi-caséine par la plasmine. Jusqu'à maintenant, on a proposé différents modèles structuraux de micelles et il semble clair que les micelles sont formées de sous-micelles reliées ensemble par des ponts phosphate de calcium. Les sous-micelles périphériques sont plus hydrophiles et contiennent une plus grande proportion de e-caséine (**Vignola, 2002**).

**Protéines de sérum :** Les protéines du sérum, qui représentent environ 20% des protéines totales du lait, se présentent sous forme de solution colloïdale. Les principales protéines du sérum incluent la  $\beta$ -lactoglobuline, l' $\alpha$ -lactalbumine, les immunoglobulines, la sérum albumine bovine (SAB), et la lactoferrine.

La  $\beta$ -lactoglobuline est la protéine du sérum la plus abondante, représentant environ 55% des protéines du sérum. Elle possède un point isoélectrique de 5,1 et sept variants génétiques, dont les variants A et B sont les plus répandus. Sa structure primaire comprend 162 résidus d'acides aminés, avec quatre cystines formant des ponts disulfure dans sa structure tertiaire. Cette structure tertiaire inclut une petite poche hydrophobe capable de fixer la vitamine A et certains acides gras.

Les immunoglobulines, qui constituent environ 13% des protéines du sérum, sont des glycoprotéines agissant comme anticorps. Elles se répartissent en cinq catégories : IgG, IGA, IgM, et IgE, avec des points isoélectriques variant de 5,5 à 8,3. Elles présentent une structure en forme de « Y ».

Sérum Albumine Bovine (SAB) et Lactoferrine , La SAB représente environ 7% des protéines du sérum et est composée de 582 résidus d'acides aminés. Elle est associée au transport de diverses substances physiologiques. La lactoferrine, qui représente environ 4% des protéines du sérum, est une protéine porteuse de fer avec un point isoélectrique entre 8,4 et 9, lui conférant une charge positive dans le lait (**Vignola, 2002**).

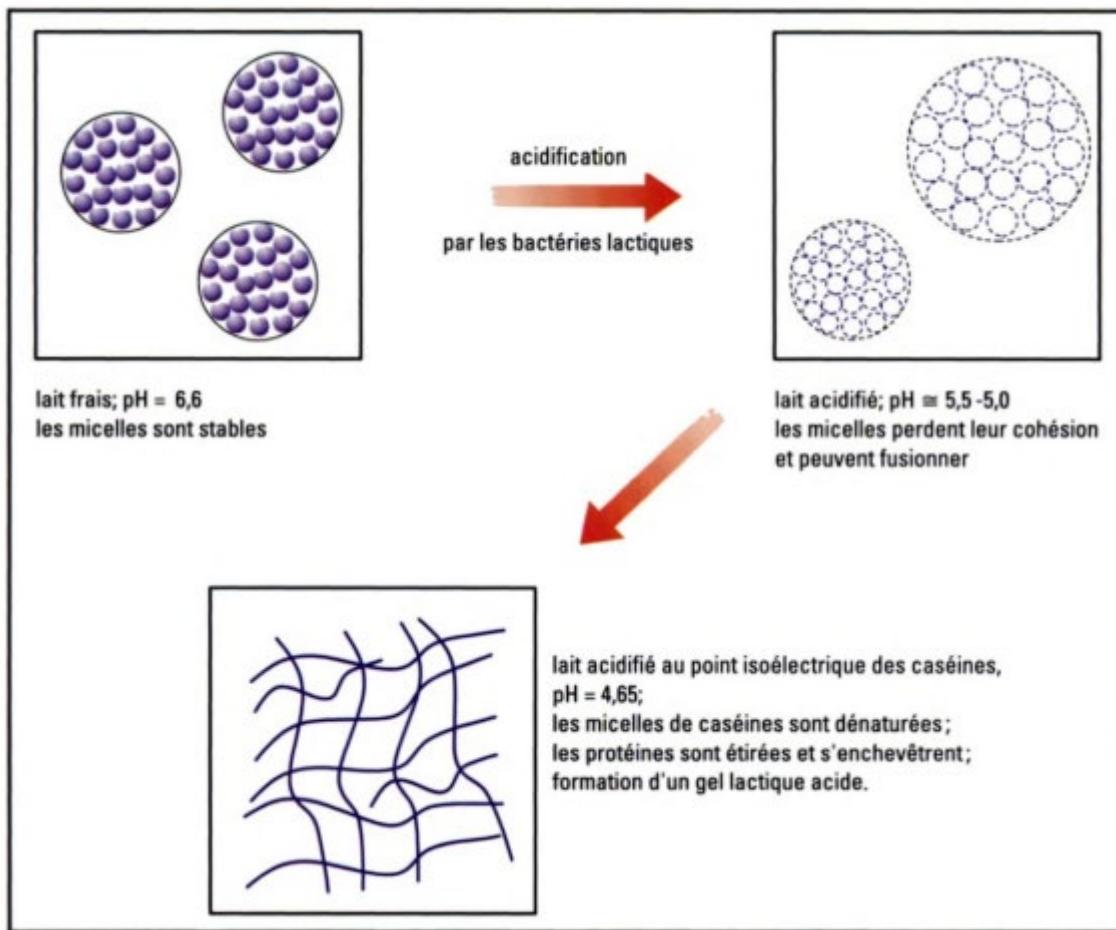
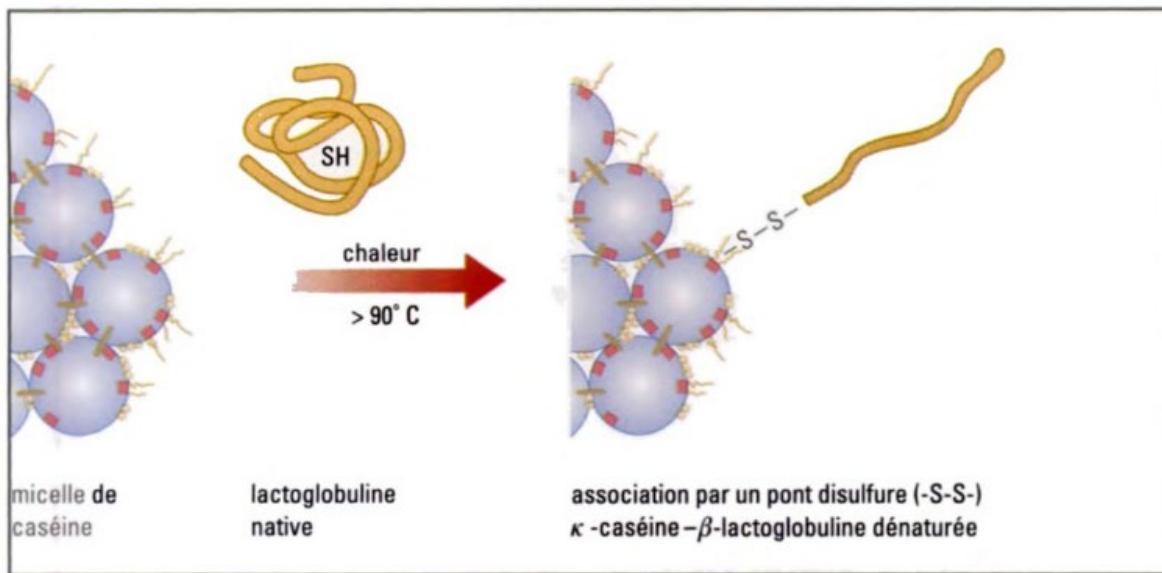


Figure 12: Effet de l'acidification sur la structure des micelles de caséines.



**Figure 13: Formation de ponts disulfure entre la  $\beta$ -lactoglobuline dénaturée et la micelle de caséine sous l'effet de la chaleur (Vignola, 2002).**

### Le Lactose : Structure, Propriétés et Rôles dans les Produits Laitiers

Le lactose, principal glucide du lait, constitue environ 40% des solides totaux. Présent à hauteur de 4,8% dans le lait liquide, sa concentration atteint 52% dans la poudre de lait écrémé et 70% dans la poudre de lactosérum. Il peut également se décomposer en glucose et galactose par hydrolyse enzymatique ou chimique, et certains glucides dérivés peuvent se lier aux protéines (Vignola, 2002).

Le lactose est un disaccharide composé de deux monosaccharides, le D-glucose et le D-galactose, liés par une liaison glycosidique  $\beta$ -1→4. En tant que sucre réducteur, il existe sous deux formes cycliques :  $\alpha$ -lactose et  $\beta$ -lactose. Ces formes diffèrent par leurs propriétés physiques telles que la solubilité, le pouvoir sucrant et le pouvoir rotatoire optique. À 20°C, le rapport  $\beta$ -lactose/ $\alpha$ -lactose est de 1,63, avec un équilibre du pouvoir rotatoire stabilisé à +52,3°. Ce phénomène de conversion entre formes cycliques est appelé mutarotation. Le lactose commercial se trouve principalement sous forme  $\alpha$ -lactose monohydraté.

Le lactose est un solide blanchâtre soluble dans l'eau grâce à ses groupements hydroxyles (-OH), mais sa solubilité est environ dix fois inférieure à celle du saccharose. À 15°C, la solubilité initiale de l' $\alpha$ -lactose est de 7,3 g/100 g d'eau, tandis que celle du  $\beta$ -lactose atteint 50 g/100 g d'eau après plusieurs heures. La solubilité augmente avec la température : à 100°C, elle atteint 70 g/100 g pour l' $\alpha$ -lactose et 95 g/100 g pour le  $\beta$ -lactose.

## Chapitre 01: Le lait

---

La faible solubilité du lactose favorise sa cristallisation en solutions concentrées. Au-dessus de 94°C, il cristallise sous forme  $\beta$ -lactose anhydre ; en dessous de cette température, il forme  $\alpha$ -lactose monohydraté. La déshydratation sous vide entre 65°C et 93°C permet de produire l' $\alpha$ -lactose anhydre. Lors du séchage lent du lait, une quantité importante de lactose cristallise, tandis que le séchage rapide inhibe la formation de cristaux en laissant le lactose sous forme amorphe (vitreuse). Une cristallisation contrôlée influence la taille des cristaux : une vitesse lente produit des gros cristaux, alors qu'une agitation rapide génère des petits cristaux offrant une texture douce (**Vignola, 2002**).

Le lactose possède un pouvoir sucrant quatre fois inférieur à celui du saccharose (22 contre 100). Cependant, son hydrolyse en D-glucose et D-galactose augmente ce pouvoir sucrant (69 pour le glucose et 63 pour le galactose).

**Les minéraux** présents dans le lait, qui représentent environ 0,60 à 0,90% de sa composition après incinération, se trouvent principalement sous forme de sels, de bases et d'acides. La composition minérale inclut des éléments majeurs tels que le calcium, le potassium, le magnésium et le sodium, ainsi que des oligo-éléments comme le manganèse, le bore, le fluor, le silicium, le brome, le molybdène, le cobalt, le baryum, le titane et le lithium(**Pinzon Sanchez & Ruegg, 2011**)

La composition minérale du lait varie en fonction des saisons et de l'alimentation des vaches. Par exemple, un lait provenant de vaches en pâturage contiendra une teneur plus élevée en citrate, ce qui stabilise le calcium et améliore la stabilité lors des traitements thermiques. En revanche, un lait mammiteux tendra à se rapprocher de la composition du sang, avec une teneur plus élevée en chlorures et sodium mais plus faible en calcium, magnésium, potassium et phosphore.

Les minéraux du lait se présentent sous deux formes principales : sous forme de sels ionisés solubles dans le sérum et sous forme micellaire insoluble. Les éléments basiques majeurs comme le calcium, le potassium, le magnésium et le sodium forment des sels avec les constituants acides tels que les protéines, les citrates, les phosphates et les chlorures. Le calcium, le magnésium, les citrates et les phosphates se trouvent également sous forme colloïdale dans les micelles de caséines(**Vignola, 2002**).

**Les vitamines** sont des substances essentielles à la vie, agissant comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et les échanges membranaires cellulaires. L'organisme humain est incapable de les synthétiser, ce qui les rend nécessaires via l'alimentation. Elles sont présentes en faible quantité dans les aliments.

Les vitamines se répartissent en deux catégories selon leur solubilité : les vitamines hydrosolubles et les vitamines liposolubles. Le tableau 14 présente les principales vitamines du lait ainsi que leur teneur moyenne.

**Tableau 1 : teneur moyenne des principales vitamines du lait**

Vitamines	Teneur moyenne
<b>Vitamines liposolubles:</b>	
Vitamine A (+ carotènes)	40 µg/100 ml
Vitamine D	2,4 µg/100 ml
Vitamine E	100 µg/100 ml
Vitamine K	5 µg/100 ml
<b>Vitamines hydrosolubles:</b>	
Vitamine C (acide ascorbique)	2 mg/100 ml
Vitamine B1 (thiamine)	45 µg/100 ml
Vitamine B2 (riboflavine)	175 µg/100 ml
Vitamine B6 (pyridoxine)	50 µg/100 ml
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	0,45 µg/100 ml
Niacine et niacinamide	90 µg/100 ml
Acide pantothénique	350 µg/100 ml
Acide folique	5,5 µg/100 ml
Vitamine H (biotine)	3,5 µg/100 ml

Les **enzymes** sont des protéines globulaires spécifiques produites par les cellules vivantes. Chaque enzyme possède un point isoélectrique unique et est vulnérable à divers agents dénaturants, tels que les variations de pH, de température, de force ionique, ainsi que les solvants organiques. En tant que biocatalyseurs, les enzymes accélèrent les réactions biochimiques avec une spécificité absolue pour un type de réaction et un substrat particulier. Cette spécificité est conférée par le site actif de l'enzyme, qui présente une forme complémentaire au substrat (**Vignola, 2002**).

Le lait contient principalement trois groupes d'enzymes : les hydrolases, les déshydrogénases (ou oxydases), et les oxygénases. L'activité enzymatique est principalement influencée par deux facteurs : le pH et la température. Chaque enzyme a un pH et une température optimaux pour son activité, ce qui est crucial pour comprendre leur

## Chapitre 01: Le lait

---

rôle dans les processus technologiques du lait. Le tableau 15 résume les principales classes d'enzymes du lait ainsi que leur pH et leur température d'activité maximale.

Les lipases sont des estérases qui catalysent l'hydrolyse des triglycérides en acides gras libres et glycérides. Cette réaction, appelée lipolyse, est responsable du goût rance du lait, principalement dû à la production d'acide butyrique. Les traitements du lait, tels que le barattage, peuvent endommager la membrane des globules de matières grasses, exposant les triglycérides à l'action des lipases. Les lipases présentes dans le lait sont d'origine naturelle et microbienne, avec les premières étant détruites par la pasteurisation (**Vignola, 2002**).

Les phosphatases catalysent l'hydrolyse des esters phosphoriques. La phosphatase alcaline est une glycoprotéine présente dans le lait, active à un pH alcalin entre 9 et 10, et nécessite la présence d'ions magnésium et zinc. Elle est dénaturée par un chauffage à 60 °C pendant une heure ou à 72 °C pendant trente secondes.

Les protéases hydrolysent les liens peptidiques des protéines, produisant des protéases, des peptones, des peptides ou des acides aminés selon le degré d'hydrolyse. Les principales protéases du lait sont le lysozyme et la plasmine. Le lysozyme possède des propriétés antibactériennes en hydrolysant les protéines des parois cellulaires bactériennes. La plasmine hydrolyse les caséines, libérant des peptides qui contribuent aux goûts particuliers de certains fromages. Elle est thermorésistante, nécessitant des traitements à 70 °C pendant quarante minutes ou à 90 °C pendant cinq minutes pour être dénaturée à 99% (**Vignola, 2002**).

Groupes d'enzymes	Classes d'enzymes	Activité maximale		
		pH	Température (°C)	Substrats
Hydrolases	<b>Estérases :</b> lipases phosphatase alcaline phosphatase acide	8,5 9 - 10 4,0 - 5,2	37 37 37	Triglycérides Esters phosphoriques Esters phosphoriques
	<b>Protéases :</b> lysozyme plasmine	7,5 8	37 37	Parois cellulaires microbiennes Caséines
	Déshydrogénases ou oxydases	sulphydryle oxydase xanthine oxydase	7 8,3	Protéines, peptides Bases puriques
	Oxygénases	lactoperoxydase catalase	6,8 7	Composés réducteurs + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>

**Figure 14:** caractéristique des principaux enzymes du lait.

### 5 Caractéristique physico-chimique de lait de vache :

Les propriétés physiques et chimiques du lait jouent un rôle crucial dans sa transformation industrielle. Parmi les caractéristiques physiques les plus déterminantes figurent la masse volumique (ou densité), le point de congélation, le point d'ébullition, ainsi que l'acidité et le pH (Vuillemard, 2005).

#### 1 . Masse volumique et densité du lait

La masse volumique du lait, généralement exprimée en grammes par millilitre (g/ml) ou kilogrammes par litre (kg/L), est une propriété physique dépendante de la température, car le volume d'une solution varie avec celle-ci. Pour limiter l'influence de la température, la densité relative (ou densité) est préférée. Cette dernière est définie comme le rapport entre la masse volumique d'une substance à une température donnée et celle de l'eau à la même température :

En pratique, la masse volumique de l'eau est de 1,000 g/mL à 4 °C et de 0,99823 g/mL à 20 °C. La densité du lait à 15 °C varie généralement entre 1,028 et 1,035, avec une moyenne autour de 1,030. Cette variation est liée à la composition du lait : la matière grasse, dont la densité est inférieure à 1 (ex. crème à 35 % : 0,996), tend à diminuer la densité globale, tandis que les solides non gras (SNG), dont la densité est supérieure à 1, l'augmentent (ex. lait écrémé : 1,036). Ainsi, une teneur élevée en matières grasses entraîne une diminution de la densité, alors qu'un lait écrémé ou dilué par addition d'eau voit sa densité augmenter ou diminuer respectivement (Vuillemard, 2005).

#### 2. Point de congélation

Le point de congélation du lait est inférieur à celui de l'eau pure en raison de la présence de solides solubilisés qui abaissent ce seuil. Il varie typiquement entre -0,520 °C et -0,560 °C, avec une valeur moyenne d'environ -0,545 °C. Un point de congélation supérieur à -0,520 °C est généralement interprété comme un indicateur d'adjonction d'eau au lait. Le contrôle du point de congélation est réalisé à l'aide d'une cryoscopie lors des analyses de qualité. (Neville & Jensen, 1995)

#### 3. Point d'ébullition

Le point d'ébullition correspond à la température à laquelle la pression de vapeur du liquide égale la pression ambiante. Comme pour le point de congélation, la présence de solides solubilisés dans le lait élève légèrement

son point d'ébullition par rapport à l'eau pure, atteignant environ 100,5 °C. Ce paramètre est sensible à la pression ambiante, ce qui est exploité dans les procédés industriels de concentration du lait, notamment sous vide partiel, où la température d'ébullition diminue. (Amiot & coll,2002)

### 4. Acidité du lait

Le lait frais présente dès la traite une acidité dite naturelle, attribuable à sa richesse en protéines, substances minérales et acides organiques, principalement l'acide citrique. Cette acidité apparente varie généralement entre 0,13 % et 0,17 % en équivalent acide lactique. La contribution relative des différents constituants du lait à cette acidité naturelle est synthétisée dans le tableau 5.

Après la traite, le lait est rapidement contaminé par des microorganismes. Au cours de sa conservation, certains de ces micro-organismes métabolisent le lactose en produisant des acides organiques, principalement de l'acide lactique ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$ ), ce qui entraîne une augmentation de l'acidité, dite acidité développée.

Si vous souhaitez, je peux également vous aider à formater le tableau 5 ou à approfondir certains points spécifiques.(Jean et Dijon,1993)

**Table 5: constituants responsables de l'acidité naturelle du lait**

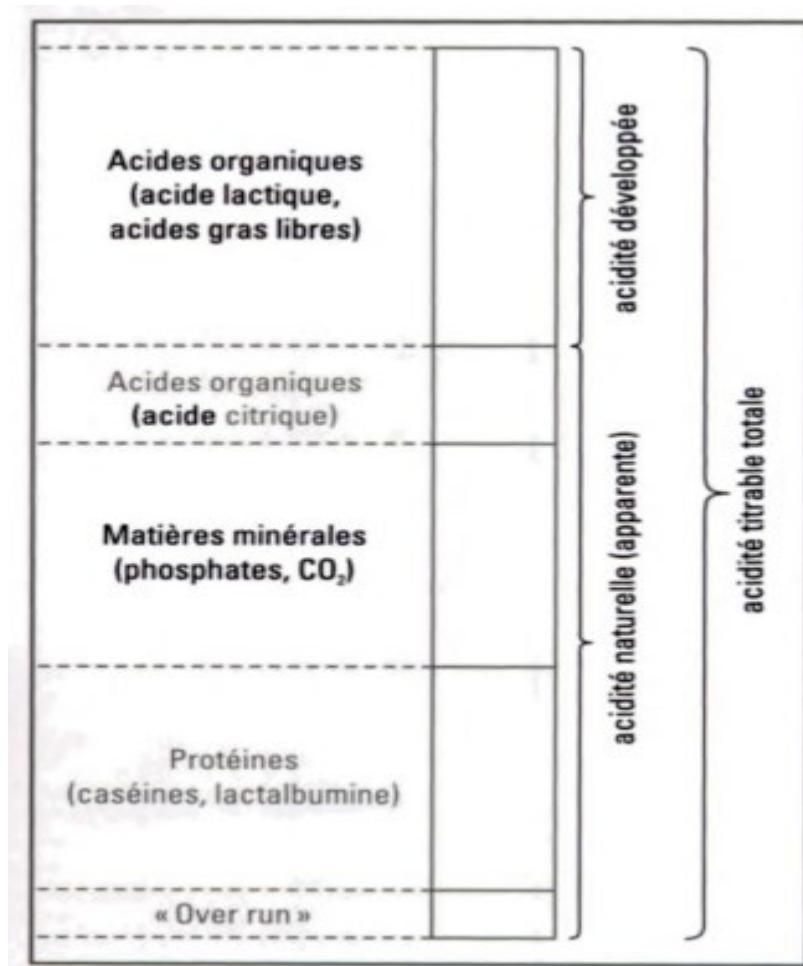
Constituents	Acidité ( % d'équivalent d'acide lactique)
Caséines	0,05 à 0,08
Phosphates	0,05 à 0,07
Lactalbumine	0,01
CO <sub>2</sub>	0,01 à 0,02
Acide critique	0,01

#### 4.1 Acidité titrable

L'acidité titrable du lait correspond à la neutralisation complète des ions hydrogène ( $\text{H}^+$ ), qu'ils soient libres en solution ou associés à des constituants portionnables, principalement les protéines ainsi que les anions phosphates, citrates et carbonates présents dans le milieu. Elle représente la somme de l'acidité naturelle et de l'acidité développée, selon la relation suivante :

$$\text{Acidité titrable} = \text{Acidité naturelle} + \text{Acidité développée}$$

La figure 13 montre la relation entre ces trois acidités. Ainsi, la détermination de l'acidité titrable avant et après la fermentation d'un lait par des bactéries lactiques (acidité développée) correspond effectivement à la quantité d'acide lactique produite.



**Figure 15: acidité naturelle, acidité développée et acidité titrable du lait(Vuillemard ;2010).**

L'acidité titrable s'exprime généralement de deux manières : en pourcentage d'équivalents d'acide lactique ou en degrés Dornic (°D).

### 4 .2 pH :

Le pH du lait frais se situe généralement entre 6,6 et 6,8. Des valeurs comprises entre 6,5 et 6,9 sont considérées comme anormales et peuvent indiquer des altérations de la qualité du lait. Le colostrum présente un pH plus bas, inférieur à 6,0, en raison de sa teneur élevée en protéines. À l'inverse, les infections mammaires, telles que les mammites, entraînent une élévation du pH du lait, souvent supérieure à 7,5.

## **Chapitre 01: Le lait**

---

Il est important de noter que deux échantillons de lait peuvent présenter un pH identique, indiquant un état de fraîcheur similaire, mais différer en acidité titrable si l'un des deux est plus riche en protéines et en minéraux, qui contribuent au pouvoir tampon du lait. Inversement, deux laits peuvent avoir des acidités titrables équivalentes, c'est-à-dire une concentration similaire en composés acides, mais des pH différents en fonction de leur composition.

Par exemple :

Lait n°1 : pH = 6,7 ; acidité titrable = 14°D ; lait frais normal .

Lait n°2 : Ph = 6,7 ; acidité titrable = 18°D ; lait riche en protéines et en minéraux .

Lait n°3 : Ph = 6 ,4 ; acidité titrable = 18°D ; Lait ayant une acidité développée , état de fraîcheur douteux .

Cette distinction souligne l'importance de combiner l'analyse du pH et de l'acidité titrable pour une évaluation précise de la qualité et de la fraîcheur du lait.

N'hésitez pas à me demander si vous souhaitez intégrer des références bibliographiques ou approfondir certains aspects (**Vuillemard ;2010**).

### CHAPITRE 02 : La production laitière :

#### 1 La traite :

##### 1.1 Définition :

Haut du formulaire

La traite est l'opération qui consiste à extraire le lait contenu dans la mamelle ; il s'agit d'une opération essentielle, son bon déroulement biquotidien et son efficacité conditionnant à la fois le maintien de la bonne santé mammaire de la vache et la quantité et la qualité du lait obtenu. Tout doit être donc mis en œuvre pour la réaliser facilement et le mieux possible possible, c'est-à-dire dans de bonnes conditions pour le trayeur et les animaux (l'Institut de l'élevage.2009)

#### 1.2 Le mode et la qualité de la traite :

Les vaches sont traites de deux manières principales : manuellement et à l'aide d'une machine.

##### 1.2.1 Traite Manuelle :

La traite se fait généralement du côté gauche de la vache, en commençant par verser les premières gouttes de lait dans un gobelet de filtrage pour éliminer les salissures et détecter toute mastite (**Figure 11**). Il existe deux méthodes pour la traite manuelle :

- Méthode de la Stripping (tassage) : Il s'agit de presser la mamelle entre le pouce et l'index et de tirer le lait de la mamelle.
- Traite à la main complète : Cette méthode consiste à presser alternativement la mamelle entre les doigts et la paume de la main, et elle est plus efficace car elle imite la succion du veau et convient aux mamelles plus grandes.

Il faut éviter le "knuckling" (hublot), qui consiste à plier le pouce contre la mamelle, afin de prévenir des blessures. De plus, il est conseillé de ne pas mélanger les premières gouttes de lait avec le reste de la production, car elles contiennent un taux élevé de bactéries (**Rajkumar & Madurai, 2008**).



**Figure 16: Traite manuelle (Grohman, 2013).**

### 1.2.2 Traite mécanique

Dans le passé, les fermiers traitaient les vaches manuellement, mais cette méthode est devenue très rare. Il y a plus de 100 ans, des machines à traire ont été développées pour fournir une méthode uniforme et confortable pour les vaches, rendant le processus plus efficace et rapide par rapport à la traite manuelle. Le premier brevet pour une machine à traire a été déposé en 1907, et depuis lors, elle est devenue la méthode standard de traite des vaches à travers le monde. Ces machines fonctionnent par aspiration douce, ce qui imite la méthode naturelle d'extraction du lait, tout en aidant à maintenir la propreté et la qualité du lait en le transférant à travers des tuyaux stérilisés vers des réservoirs de refroidissement spéciaux (**Innovation Center for U.S. Dairy .2016**).

Le lait est collecté plus facilement et rapidement grâce à des machines à traire bien conçues, qui permettent une utilisation efficace de la main-d'œuvre, préservent la santé du trayon et sont faciles à nettoyer et à désinfecter (**Mills, 2016**)



**Figure 17: Traite mécanique (Dagron ;2019).**

### 1.3 Pour Une production laitière :

Une vache doit vêler, mettant ainsi au monde un veau.

Après jours, la vache commence à produire du lait pendant environ 10 mois, c'est la période de lactation.

Sur cette période, il convient de respecter certaines des principes :

Les 5 principes à respecter :

- Une traite calme et agréable
- Une préparation de la mamelle stimulante et efficace
- Respect du délai entre stimulation et pose du faisceau trayeur
- Chasser la "surtraite" de la vache
- Limiter les risques de contaminations croisées (**Sagoin ;2021**).

## 2 Le tarissement :

### 2.1 La phase de tarissement dans le cycle de production du lait chez les vaches :

Le tarissement des vaches à la fin de la lactation est une pratique de gestion courante dans les exploitations laitières. La plupart des exploitations laitières arrêtent de traire les vaches brusquement (par exemple, en arrêtant de les traire à une date fixe) (**Rajala-Schultz & al ;2018**) ;

La phase de tarissement est une étape essentielle du cycle de production du lait chez les vaches.

Elle commence après environ dix mois de traite continue. Pendant cette période, l'éleveur arrête la traite de la vache afin de lui offrir une période de repos d'environ deux mois avant son prochain vêlage.

À l'approche de la mise bas, la vache subit plusieurs changements physiques, tels qu'une augmentation du volume du pis, un relâchement de certains ligaments et de légères fluctuations de la température corporelle.

Pour assurer le succès de cette phase, il est recommandé de séparer les vaches taries des vaches en lactation dès l'arrêt de la traite et de modifier leur environnement au cours des trois premières semaines du tarissement, ce qui contribue à réduire progressivement le volume du pis.

Les vaches taries nécessitent des soins particuliers. Leur régime alimentaire doit être adapté à leurs besoins changeants, car leurs besoins nutritionnels diminuent en raison de l'arrêt de la production laitière.

Il est également essentiel de surveiller leur poids afin d'éviter toute prise excessive. De plus, la santé du pis doit être suivie de près pour prévenir les infections, garantissant ainsi une transition saine et sans complications vers la phase de mise bas et de reprise de la production laitière (**Dailloux ;2022**).

### 2.2 Durée de la période de tarissement : L'équilibre entre production et santé :

La période de tarissement dure généralement de 6 à 8 semaines, en plus de nombreux avantages, comme offrir aux vaches une période de repos avant la mise bas et d'augmenter la production laitière de prochaine lactation. Pendant la période de tarissement il y a le renouvellement des cellules mammaires de rythme plus rapide que lorsque les vaches seraient traites jusqu'à la mise basse, en plus permet de traiter la vache avec des antibiotiques en cas de mammite subclinique persistante (**Kok &al .2019**).

La période de tarissement est une période importante pour le remodelage des tissus dans la glande mammaire, mais elle représente également un événement stressant, en raison des changements dans la routine quotidienne, l'alimentation et le métabolisme. Les niveaux élevés de production de lait produits par les vaches modernes en fin de gestation augmentent le besoin d'interventions appropriées autour de la période de tarissement, car l'accumulation excessive de lait peut compromettre le succès du tarissement, avec des effets négatifs sur la prochaine lactation . Les niveaux de production dépassant 15 kg/jour représentent un facteur de risque supplémentaire pour la santé de la mamelle, retardent l'involution de la glande mammaire et augmentent le stress métabolique ainsi que les réponses inflammatoires (**Cattaneo & al. 2023**).

Raccourcir cette période contribue à améliorer l'état corporel et à réduire les troubles métaboliques après le vêlage, mais cela peut entraîner une légère baisse de la production laitière chez les vaches à plus faible rendement. Ainsi, trouver un équilibre dans la durée du tarissement permet d'assurer une meilleure santé et une production durable (**Dailloux ;2022**).

### 2.3 TRANSITION ALIMENTAIRE ET RATION POUR LE TARISSEMENT :

Pendant la période de tarissement, une transition alimentaire est effectuée en réduisant les compléments alimentaires au cours des dernières semaines, en cohérence avec la baisse de la production laitière, afin d'éviter un engrangement excessif des vaches.

Ensuite, les compléments sont totalement arrêtés avant le tarissement, pour permettre à la vache de réduire naturellement sa production de lait dans un premier temps. À cette étape, il est nécessaire d'isoler les animaux et de leur fournir une ration sèche pendant plusieurs jours, dans le but de stopper la production de lait et de sécher la mamelle.

Les **besoins alimentaires** d'une vache pendant la période de tarissement sont de **1 unité fourragère (UF) pour 100kg de poids vif**, soit environ 7 UF en moyenne. Il faut ajouter 0,5 UF pendant le 8<sup>e</sup> mois de gestation.

Au cours du 9<sup>e</sup> mois, il convient d'ajouter 1 UF, puis 1 UF supplémentaire par semaine durant les deux dernières semaines avant le vêlage.

Concernant la **complémentation azotée**, il est nécessaire d'apporter 10 % de MAT (matière azotée totale) au début du 8<sup>e</sup> mois de gestation, pour atteindre 13 % de MAT en fin de gestation.

### 2.4 Quels sont les enjeux de la période sèche ?

Au début de la période de tarissement, la quantité de matière sèche ingérée par la vache est d'environ 13 kg par jour, puis diminue progressivement jusqu'à enregistrer une chute marquée durant les deux dernières semaines de gestation, atteignant 9 kg de matière sèche par jour au moment du vêlage. Or, c'est précisément à cette période que les besoins énergétiques du foetus sont les plus élevés, en raison de sa croissance et de son développement.

Après le vêlage, une perte de poids est inévitable, car les besoins énergétiques liés à la production laitière augmentent plus rapidement que la capacité d'ingestion chez les vaches à haute production. Ce déséquilibre énergétique ne peut pas être compensé simplement en augmentant les concentrés énergétiques dans la ration, au risque de provoquer une acidose ruminale.

Pour faire face à ce déficit énergétique en début de lactation, des matières grasses sont utilisées en raison de leur forte densité énergétique (2,73 UFL/kg). Cependant, administrées en grande quantité, elles perturbent les fermentations ruminales. Par ailleurs, la capacité de digestion des lipides est limitée chez les ruminants. Ces matières grasses sont d'autant plus efficaces pour réduire l'amaigrissement post-partum que la ration

est naturellement pauvre en lipides, comme dans les rations à base d'ensilage d'herbe ou de foin, comparativement à celles à base d'ensilage de maïs.

La mobilisation des graisses corporelles en début de lactation se traduit dans le sang par un afflux de glycérol (utilisé comme substrat énergétique) et d'acides gras non estérifiés (AGNE). Ces AGNE sont utilisés par la mamelle pour produire les matières grasses du colostrum et du lait. Ils sont également captés par le foie pour :

- Produire de l'ATP (énergie),
- Être exportés sous forme de lipoprotéines,
- Ou stockés sous forme de triglycérides dans les hépatocytes.

La captation hépatique des AGNE est proportionnelle à leur concentration sanguine, mais la capacité du foie à synthétiser les lipoprotéines est limitée, ce qui empêche l'exportation complète des triglycérides. Cela entraîne une accumulation de graisses dans le foie (stéatose hépatique).

Cette accumulation lipidique dans le foie réduit sa capacité à produire l'urée (uréogenèse) et à assurer la néoglucogenèse, qui représente la principale source de glucose chez la vache laitière.

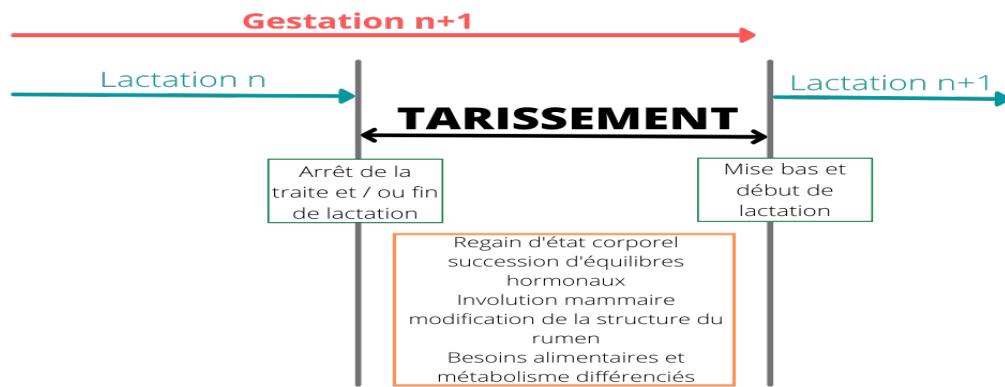
Enfin, la perte de poids post-partum est d'autant plus marquée que la vache était grasse au vêlage, car il existe une corrélation négative entre l'état d'engraissement ante-partum et l'ingestion post-partum.

### 2.5 Gestion des vaches pendant une période de tarissement prolongée :

La gestion des vaches taries n'est pas difficile, mais elle est souvent négligée. Il affecte principalement la production de lait et la santé de la vache pendant la prochaine lactation (**Boyd Brady ;2021**).

Lorsque la période de tarissement dépasse 45 jours, il est préférable de diviser les vaches en deux groupes en fonction de leurs besoins, sans nécessiter d'enclos séparés.

Au cours des dernières semaines précédant le vêlage, connues sous le nom de phase de « préparation au vêlage », les vaches nécessitent des soins particuliers. Cela inclut l'ajustement de leur régime alimentaire pour augmenter les niveaux d'énergie et de protéines, ainsi que la régulation des minéraux essentiels tels que le calcium, le phosphore et le magnésium. Il est également crucial de surveiller les niveaux de sélénium et de vitamine E afin d'assurer un vêlage sans complications et un début de lactation optimal(**fabozzi ;2020**).



**Figure 18: le tarissement au carrefour de la production et de la reproduction (Séreys ; 1997).**

### 3 /La courbe de lactation :

Pour que les vaches produisent du lait, elles doivent mettre bas. Le cycle de lactation est la période entre la naissance d'un veau et la suivante. Ce cycle dure généralement 12 mois dans des conditions idéales et se divise en quatre phases principales :

- La phase précoce de lactation (environ 120 jours).
- La phase intermédiaire de lactation (environ 120 jours).
- La phase tardive de lactation (environ 120 jours).
- La phase de tarissement (environ 65 jours), une période de repos nécessaire avant la prochaine mise bas pour assurer la santé de la vache et la production de lait.

Au fur et à mesure que les vaches progressent dans ces phases, leur corps subit des changements physiologiques qui affectent la production de lait et leur santé générale, ce qui rend la gestion équilibrée de ce cycle essentielle pour maintenir l'efficacité de la production et le bien-être de l'animal. (Moran. 2015).

#### 1/Les phases de courbe de lactation :

Les vaches laitières, comme tous les mammifères, produisent du lait pour nourrir leur petit dès sa naissance.

Les changements hormonaux qui surviennent après le vêlage stimule la lactogenèse et la mobilisation des réserves corporelles (graisses et muscles). Les vaches commencent à produire du lait après avoir vêlé et donné naissance à un veau.

La production lait évolue progressivement, suivant une courbe appelée "courbe de lactation". Cette courbe a la forme d'une parabole : elle augmente jusqu'au pic de lactation, puis diminue lentement jusqu'au tarissement. La courbe de lactation se divise en trois phases :

- La phase ascendante :

Elle dure en moyenne de 3 à 8 semaines, et correspond à la période allant du vêlage jusqu'au pic de lactation.

- La phase de plateau :

C'est la période où la production atteint son maximum, durant environ un mois.

- La phase de décroissance :

Elle s'étend du pic de lactation jusqu'au tarissement, qui a lieu environ 300 jours après le vêlage (Chaire-Bea ;2021).

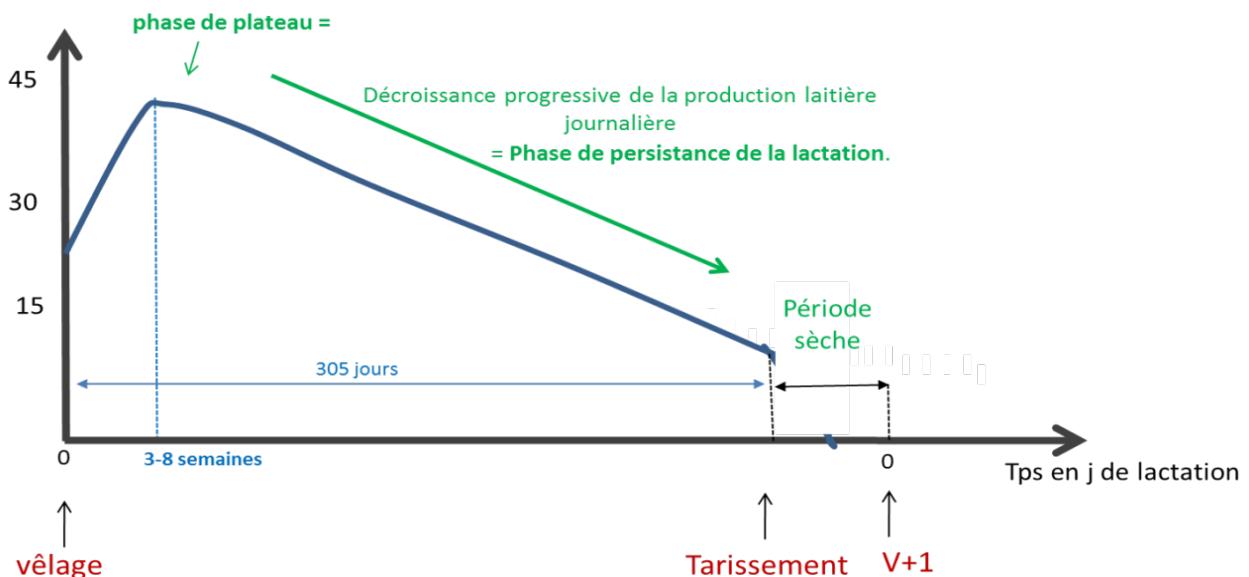


Figure 19: Courbe de lactation chez la vache laitière (Chaire bien-être animal 2021).

### 4 /L'acidose ruminale et son impact sur la production laitière :

#### 4.1 L'Acidose Ruminale Sub-Aiguë (SARA) :

Définition, Causes et Conséquences dans la Production Laitière :

La production de lait chez les producteurs de lait augmente grâce à l'adoption de régimes alimentaires riches en céréales à forte teneur en amidon et pauvres en fibres, dans le but d'augmenter la consommation d'énergie et de répondre aux besoins nutritionnels des vaches à haute production. Cependant, ce type d'alimentation, bien qu'efficace pour stimuler la production, augmente le risque de développer une acidose sous-aiguë du rumen (SARA), ce qui rend la conciliation entre maximiser la production de lait et maintenir la santé du rumen un véritable défi pour la plupart des éleveurs (**Abdela, 2016**).

L'acidose ruminale est un trouble nutritionnel affectant les animaux ruminants, et elle résulte souvent de la consommation excessive d'aliments riches en glucides facilement fermentescibles, notamment si les animaux n'ont pas suffisamment de temps pour s'adapter à ce type de régime. Ce mode alimentaire conduit à une production excessive d'acides gras volatils (AGV) et d'acide lactique, ce qui provoque une chute brutale du pH du rumen à des niveaux anormaux. Ce déséquilibre acido-basique peut entraîner des complications graves, telles que l'inflammation de la paroi du rumen, l'acidose métabolique, la boiterie, les abcès hépatiques, la pneumonie, et dans les cas extrêmes, la mort (**Golder & al ; 2008**).

Ainsi, l'acidose ruminale est considérée comme une condition complexe résultant d'un dysfonctionnement dans le maintien de l'équilibre acido-basique au sein du rumen, ou d'une incapacité à éliminer efficacement les produits de la fermentation issus de la consommation de composés à fermentation rapide (**Bramley, & al ;2008**).



**Figure 20:** Rumens de bovins viande pris en abattoirs : à gauche les papilles ruminales sont saines et bien développées, tandis que le rumen de droite a été "cramé" par l'acidose avec une grande partie des papilles détruites ( Vergonjeanne;2015).

### 4.2 Détection de l'acidose ruminale chez les ruminants :

L'acidose ruminale peut être diagnostiquée à travers un ensemble d'indicateurs comportementaux et physiologiques chez l'animal, dont les principaux sont :

- Performance de production : On observe une diminution du taux de croissance quotidien et du taux de conversion alimentaire, en raison de la perturbation du processus de fermentation dans le rumen, particulièrement chez les vaches destinées à l'engraissement. De plus, la production de lait diminue, avec une baisse du pourcentage de matière grasse, ce qui affecte négativement le rapport matière grasse/protéine (TB/TP).
- Caractéristiques des fèces : La présence de fèces liquides contenant des grains non digérés indique un dysfonctionnement dans le rumen et une accélération anormale du processus de digestion, ce qui réduit l'efficacité de l'utilisation des aliments.
- État corporel : L'animal paraît maigre, avec une dégradation notable de son état général.
- Stress thermique : Il constitue un facteur aggravant de l'acidose, car il entraîne :
  - Un changement dans le comportement alimentaire, les animaux ayant tendance à consommer de l'aliment principalement pendant les périodes froides.
  - Une réduction de la consommation de matière sèche, avec une préférence pour les glucides à fermentation rapide au détriment des fibres.
  - Une diminution de la production de salive en raison de la chaleur, ce qui affaiblit la régulation du pH dans le rumen et aggrave l'acidose (**Sauvant, & al ;2010**).

### 4.3 L'impact économique des troubles digestifs chez les vaches :

Les troubles digestifs, principalement l'acidose ruminale, sont des facteurs qui causent des pertes financières significatives dans le secteur de l'élevage de vaches, qu'elles soient destinées à la production laitière ou à l'engraissement.

Dans le cas des vaches laitières, ces troubles affectent négativement les performances de production, entraînant une baisse de la teneur en matière grasse du lait, une diminution de la quantité produite, ainsi qu'un impact évident sur l'efficacité reproductive, ce qui réduit la rentabilité globale du troupeau.

En ce qui concerne les vaches destinées à l'engraissement, les pertes économiques se traduisent par une diminution du taux de croissance quotidien, une baisse de l'efficacité de la conversion de l'aliment en masse corporelle, ainsi qu'une réduction de la qualité de la viande, ce qui diminue la valeur marchande de l'animal lors de sa commercialisation (**Sauvant & al ;2010**).

### 4.4 Traitement :

Dans les cas graves Vidange du rumen pour éliminer les acides accumulés Dans les cas chroniques ou moins sévères Administration progressive de bicarbonate de sodium (100-500 g/jour), sauf en cas de paralysie du rumen Médicaments hépatiques pour prévenir les (INSTITUT DE L'ÉLEVAGE ;2008).

## 5 Principale pathologie autour de la mise bas chez la vache :

### 5.1 /Définition de mammite

#### Qu'est-ce que la mammite ?

La mammite est une infection de la mamelle résultant de la multiplication des germes à l'intérieur de celle-ci, ce qui perturbe la composition du lait et augmente le nombre de globules blancs.

Ces cellules peuvent être vivantes, comme les globules blancs, ou mortes, issues du fonctionnement normal de la mamelle. Une concentration élevée de globules blancs dans le lait indique une inflammation ou une irritation de la mamelle (Wei Nee Cheng & al .2020).

La mammite affecte la qualité et la production du lait en entraînant une diminution des éléments nutritifs essentiels, tels que les matières grasses, les matières azotées et le lactose. Une augmentation des éléments de filtration, comme l'eau et les sels minéraux, ainsi qu'une hausse du nombre de globules blancs (Dominique ;2010).



**Figure 21: Mammite bovine (Dyson ;2016).**

### 5.2 Les types des mammites :

La mammite se présente sous trois formes principales : Mammite latente : Aucun signe extérieur n'est visible sur la mamelle ou le lait, mais la présence de germes pathogènes représente un risque pour le troupeau, car la contamination peut se propager sans que l'éleveur ne s'en aperçoive. Mammite subclinique : Une évolution de la mammite latente où le nombre de germes et de globules blancs augmente. Elle entraîne une baisse de la production laitière et des modifications légères de la composition du lait, sans symptôme visible sur la mamelle. Mammite clinique (chronique) : Cette forme est visible et se manifeste

par un gonflement, une rougeur et une sensibilité accrue de la mamelle. Le lait peut être modifié de manière significative (présence de grumeaux), et la production laitière diminue fortement, pouvant aller jusqu'à l'arrêt complet en cas de mammite sévère. Lorsqu'elle persiste sans guérison totale, on parle alors de mammite chronique( **INSTITUT DE L'ÉLEVAGE ;2000**).

### 5.3 Les mammites subclinique et les mammites cliniques subaiguës :

Chez la vache, les infections mammaires se manifeste :

- Par des mammites subclinique inapparent : aucun symptôme n'est détectable. L'inflammation due à l'infection s'accompagne essentiellement d'un afflux de cellules dans le lait du quartier infecté.
- Par les mammites cliniques : dans ce cas, les symptômes sont très clairs, notamment une mammite et un changement dans l'apparence la couleur et la densité du lait. Dans le cas suraigu, outre les symptômes mammaires, l'état général de la vache est affecté.
- En fonction des espèces bactériennes en cause, les infections sont soit des mammites subcliniques ou cliniques, une mammite subclinique pouvant devenir clinique, et réciproquement (**Haxhiaj & al ;2022**).

#### **Mammites subclinique**

La mammite subclinique est une infection qui ne présente pas de symptômes évidents ni d'effets systémiques, mais qui peut entraîner des modifications temporaires du lait. Si l'infection persiste pendant plus de deux mois, elle est classée comme chronique et peut durer tout au long de la période de lactation, voire toute la vie de la vache, en fonction du type d'agent pathogène responsable (Matthias, w - 2024)

La mammite subclinique peut affecter l'ensemble du troupeau sans présenter de signes visibles chez les vaches individuellement. Pour surveiller efficacement sa prévalence, l'examen régulier du comptage des cellules somatiques (SCC) de chaque vache est essentielle (**Potts ;2022**).

### 5.4 La mammite bovine est causée par divers types de bactéries :

La mammite est causée par deux principaux types de bactéries : Les bactéries infectieuses, qui vivent à l'intérieur du pis ou sur la peau des trayons, comme *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* et *Mycoplasma spp.* Elles se transmettent entre les vaches par le biais des équipements de traite et des mains contaminées, entraînant des infections chroniques, les bactéries environnementales, telles que *Streptococcus uberis* et *Escherichia coli*, qui sont présentes dans l'environnement des vaches, notamment dans les aires de repos ;elles infectent le pis lorsque les trayons sont contaminés pendant la traite, la prévention repose sur l'amélioration de l'hygiène et une bonne gestion des animaux, tandis que le

diagnostic s'appuie sur la culture bactérienne ou la technique PCR pour identifier avec précision les agents pathogènes responsables (**Ahmed & al ;2021**).

Les infections causées par ces micro-organismes sont généralement de courte durée et peuvent disparaître spontanément sans intervention médicale. Agents infectieux : Ils comprennent les streptocoques hémolytiques (*Streptococcus agalactiae*), le staphylocoque doré (*Staphylococcus aureus*) et les mycoplasmes (*Mycoplasma spp.*). Ces infections sont persistantes et guérissent rarement d'elles-mêmes, nécessitant une intervention thérapeutique appropriée. La culture bactérienne d'un échantillon de lait est un outil essentiel pour diagnostiquer l'agent causal de l'infection. Elle fournit des données précises qui permettent d'orienter le traitement efficace et de mettre en place des mesures de gestion pour limiter la propagation de la maladie (**Potts ;2022**).

### 5.5 Comment détecté la mammite subclinique :

Les tests diagnostiques, tels que le test de Californie des cellules mammaires (CMT) voire (figure 22), le comptage des cellules somatiques et la conductivité électrique, ont démontré une grande efficacité dans la détection de la mammite subclinique dans les troupeaux de vaches laitières.

Selon une étude de **Dego (2020)**, ces méthodes présentent une sensibilité et une précision élevées. Les résultats d'une autre étude (**Suárez et al., 2014**) ont confirmé la forte corrélation entre le test CMT et le comptage des cellules somatiques, renforçant ainsi leur fiabilité en tant qu'outils de diagnostic efficaces de la mammite chez les vaches. En revanche, les valeurs seuils standard du comptage des cellules somatiques n'ont pas montré la même précision dans le diagnostic de la mammite chez les chèvres laitières, en raison des différences physiologiques entre les deux espèces. Cela souligne la nécessité d'adopter des critères diagnostiques spécifiques pour cette catégorie d'animaux (**Navàzez ;2022**).



**Figure 22: Le test de Californie des cellules mammaires (CMT) (Photo Personnelle ;2024).**

### **5.6 6/L'impact de la mammite sur la qualité et la production du lait :**

Ils ont mené une étude sur 90 vaches provenant de trois fermes commerciales afin d'explorer la relation entre la mammite et son effet sur le seuil de perception de la douleur thermique. Le diagnostic s'est basé sur un examen visuel du lait et du pis pour détecter la mammite clinique, ainsi que sur le test de Californie pour identifier les cas subcliniques. Les vaches ont été classées comme saines ou atteintes de différents degrés de mammite en fonction du nombre de cellules somatiques dans le lait. Le seuil de perception de la douleur a été mesuré à l'aide d'un dispositif appliquant de la chaleur sur les pattes arrière. Les résultats ont montré une diminution de la tolérance à la chaleur chez les vaches atteintes par rapport aux vaches saines. De plus, le seuil thermique était plus bas sur la patte arrière du même côté que la glande mammaire infectée. Une corrélation a été observée entre l'augmentation du nombre de cellules somatiques dans le lait et la diminution du seuil thermique, indiquant une sensibilité accrue à la douleur chez les vaches infectées. Cette étude suggère que la mammite subclinique pourrait avoir un impact sur le bien-être des vaches, en raison de son rôle dans l'augmentation de la perception de la douleur, même aux stades où aucun symptôme évident n'est présent(Peters ;2015).

La mammite affecte directement la qualité du lait en augmentant le nombre de cellules somatiques (globules blancs), ce qui réduit sa durée de conservation et altère son goût.

Elle entraîne aussi une baisse des composants essentiels comme les graisses, les protéines et le lactose, compromettant ainsi la transformation du lait en fromage ou en yaourt.

Sur le plan quantitatif, la mammite diminue la production laitière, parfois jusqu'à 50 %, en endommageant les cellules productrices du lait.

Même les formes subcliniques peuvent causer une baisse de 5 à 15 %., les vaches souffrant de mammite récurrente sont souvent mises à la réforme plus tôt, augmentant les coûts d'élevage. Les pertes économiques liées à la mammite sont considérables : baisse de la production, lait jeté, traitements vétérinaires coûteux et remplacement des vaches affectées. Prévenir cette maladie est donc essentiel pour maintenir la rentabilité d'une exploitation laitière (**Zalewska & al ;2025**).

### 5.7 Comment contrôler la mammite subclinique ?

Stratégies de contrôle de la mammite et amélioration des pratiques de traite Le contrôle de la mammite est un élément essentiel de la bonne gestion des vaches laitières. Son incidence peut être réduite grâce à un bon entretien de l'environnement et à l'adoption de pratiques préventives. Après chaque traite, il est recommandé de tremper ou de pulvériser les trayons avec une solution désinfectante. De plus, il est conseillé de maintenir les vaches debout pendant au moins 30 minutes après la traite en leur offrant de la nourriture, ce qui aide à réduire le risque d'infection. En cas de mammite clinique, l'utilisation d'antibiotiques intra-mammaires ou par injection intramusculaire est recommandée, en consultant un vétérinaire pour garantir un traitement approprié. Il est également essentiel d'assurer une hygiène rigoureuse lors de la traite (**Iraguha ;2022**).

### Chapitre 03 : Elevage bovin en Algérie

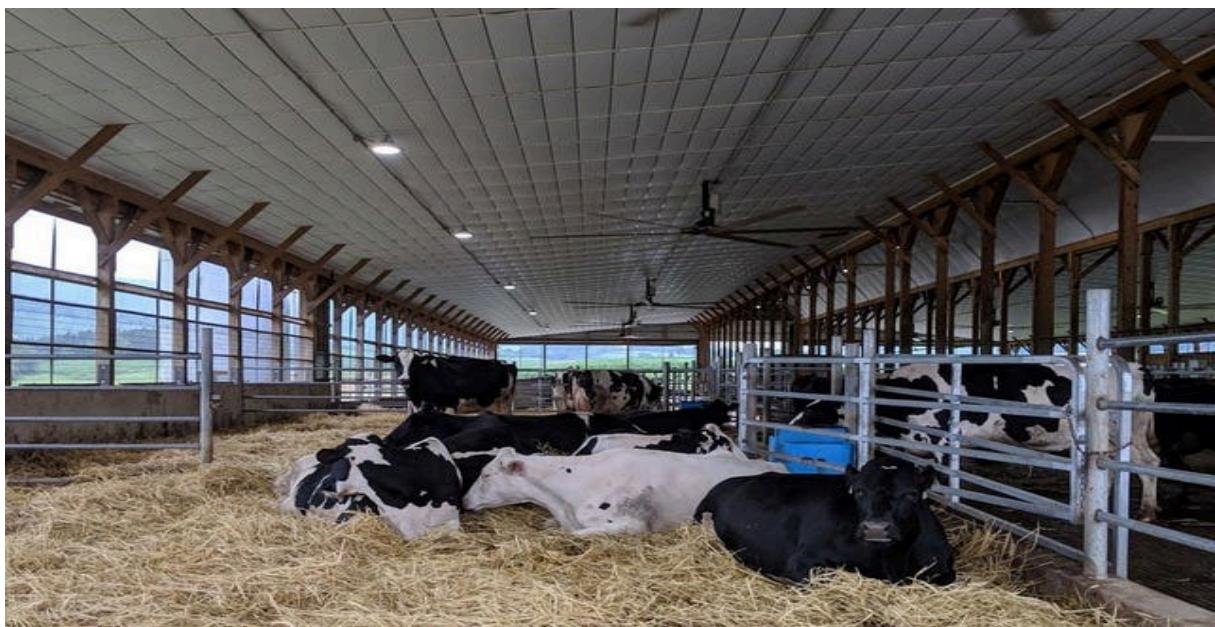
#### 1 Généralités sur l'élevage des vaches laitière :

Les vaches laitières sont des animaux sociaux, intelligents et sensibles, vivant en troupeaux et formant des liens solides avec les membres de leur groupe. Dans leur environnement naturel, elles peuvent vivre jusqu'à 20 ans. Cependant, les systèmes de production modernes réduisent considérablement leur durée de vie, car elles sont généralement réformées (abattues) après environ 5,8 ans, souvent après avoir eu deux à trois vêlages (**CNIEL ; 2024**).

Il pourrait y avoir plus de 1000 races de bovins à travers le monde. Beaucoup de ces races sont utilisées pour la production de lait, ainsi que pour d'autres fins (**Buchanan ; 2016**).

L'élevage de vaches laitières est une source de revenus importante, fournissant un revenu quotidien provenant de la vente du lait, ainsi que des bénéfices supplémentaires provenant de la vente de veaux et de vaches non productives. Il contribue également à l'utilisation des résidus végétaux et du fourrage secondaire, ainsi qu'à la production d'engrais qui améliorent la fertilité des sols. Les agriculteurs peuvent générer ces revenus même sur de petites superficies ou sans posséder de terres. Bien qu'investir dans les vaches soit un moyen d'économiser du capital, Bien qu'investir dans des vaches soit un moyen d'économiser du capital, cela comporte des risques tels que la maladie et le vol.

Le lait est également très périssable, ce qui nécessite une manipulation et un stockage appropriés. De plus, démarrer une petite ferme laitière nécessite du temps et du capital avant d'atteindre la production et le rendement financier souhaité ; les systèmes d'élevage pour la production laitière varient en fonction des conditions locales, telles que le climat, la disponibilité des terres, les infrastructures et les traditions suivies dans chaque région (**Blauw & al ; 2008**).



**Figure 23: Photo Credit Penn State Extension (Robert J. van Saun, DVM, MS, PhD)**

## 2 /Élevage bovine en Algérie :

Le secteur de l'élevage en Algérie a connu un développement remarquable ces dernières années, avec une augmentation importante du nombre de bétail et des taux de production. L'élevage des vaches laitières fait partie de la stratégie nationale visant à atteindre la sécurité alimentaire et énergétique dans le secteur agricole de manière durable. Cependant, malgré les efforts déployés, l'Algérie reste parmi les plus grands importateurs de lait au monde, car le nombre de vaches laitières, malgré les importations massives, n'a pas atteint un niveau suffisant pour répondre aux besoins du marché local.

L'amélioration de la productivité et de la fertilité est l'un des objectifs principaux de l'élevage des vaches, ce qui nécessite un environnement économique optimal et des conditions de vie adéquates. Toutefois, l'activité d'élevage se concentre dans la bande côtière et les plaines des régions intérieures, où les pâturages sont dominants grâce à l'abondance des pluies. En revanche, le sud, qui représente 80 % de la superficie du pays, dispose de ressources limitées dans ce domaine en raison de la rareté des fourrages et du manque de pluie. Cela rend l'élevage en Algérie vulnérable aux fluctuations climatiques et aux variations saisonnières, ce qui augmente les défis pour atteindre l'autosuffisance en lait et en produits dérivés (Eulmi ;2023).

L'élevage des vaches en Algérie est réparti en fonction de l'altitude, prospérant dans les plaines et vallées jusqu'à 1500 mètres. Dans les régions dépassant cette altitude, l'élevage des moutons et des chèvres prédomine, tandis que les vaches deviennent rares pendant l'hiver, se dirigeant vers les pentes des montagnes au début de la fonte des neiges, à la recherche de conditions plus favorables pour le pâturage (Nedjraoui ; 2001).

Ce type d'élevage est concentré dans le nord du pays, où il représente 53 % du troupeau total, tandis que sa part ne dépasse pas 24,5 % dans la région centrale et 22,5 % dans l'ouest (figure n° 02). Cette disparité est due à l'abondance des pâturages dans les régions orientales, grâce aux fortes précipitations qui caractérisent ces zones (**Ammal, 1995**).

Le troupeau bovin algérien se compose de trois types principaux :

1. Les vaches laitières modernes importées (BLM) : Ce groupe comprend des races importées d'Europe, telles que la Holstein, la Frisonne et la Montbéliarde.
2. Les vaches laitières locales (BLL) : Ces vaches appartiennent à la race des bovins atlasiques d'origine ancienne (*Bos mauritanicus*), qui se sont adaptées à l'environnement algérien, formant des branches locales comme la Khemissia, la Cherfaouia, la Setifia et la Chelifia.
3. Les vaches laitières améliorées (BLA) : Ce groupe résulte d'un croisement non contrôlé entre les races locales et les races importées.

Il est à noter que le nombre de vaches locales et améliorées dépasse celui des vaches modernes, en raison de la propagation des croisements entre ces races (**KERBACHE, &al 2019**).

L'élevage de veaux destinés à devenir des vaches laitières à haute productivité, avec une bonne capacité de reproduction et une adaptation aux conditions d'élevage, représente un défi qui nécessite une gestion précise à moindre coût. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel de maîtriser les étapes de croissance fondamentales, depuis la naissance jusqu'à la première insémination, en tenant compte de l'impact des programmes alimentaires et des races. Le contrôle de l'âge de l'insémination (24, 30 ou 36 mois) en fonction du système alimentaire est crucial, car l'insémination à 24 mois nécessite une croissance rapide et un bon développement sans obésité excessive. L'insémination à 30 ou 36 mois permet une croissance modérée, à condition que celle-ci soit d'au moins 400 grammes par jour pour maintenir la fertilité et la durée de vie productive. Les régimes alimentaires à base d'herbe contribuent à réduire les coûts, et l'alimentation peut être combinée, avec des traitements dans un élevage collectif pour améliorer les résultats (**Le COZLER &al ; 2009**).



**Figure 24: Élevage laitière bovine en Algérie (photo personnelle ;2025).**

### 3 Alimentation des bovins :

L'herbe, le 1er aliment des bovins , Pour produire du lait ou de la viande , les ruminants, comme les vaches, ont besoin d'une ration journalière constituée principalement d'herbe. Cette herbe est directement fraîche à la belle saison, et récoltée directement par les vaches lorsqu'elles pâturent. En automne et en hiver, les ruminants peuvent manger de l'herbe sous forme de foin et d'ensilage.

L'herbe est produite dans l'exploitation. Cet aliment est donc **le moins cher** pour l'agriculteur et **le plus adapté** aux bovins.

L'herbe constitue **60% à 80% de la ration alimentaire** d'une vache. En plus des fourrages (herbe pâturée, ensilage de maïs ou d'herbe), **d'autres sources d'énergies** sont utilisées pour équilibrer la ration alimentaire des vaches : céréales, drêches de brasseries, tourteaux de colza, tourteaux de soja, tourteaux de lin, graines de pois et d'oléagineux...

Il faut savoir que la proportion de chaque type d'aliment est adaptée au type de bétail et à son stade de croissance. La proportion des aliments varie aussi de l'autonomie alimentaire de la ferme et de ce qu'elle peut produire.

**Les quantités d'eau et d'aliments nécessaires** : Tout comme pour la nature des différents aliments, les bovins ont besoin de quantités différentes en eau et en aliments. En effet, cela dépend de la race, de l'âge et du type d'élevage.

A titre indicatif, voici des **fourchettes estimées** :

Quantité d'aliments

Entre **6-10 et 15-20 kg** de matière sèche sont ingérés chaque jour :

- Vache allaitante : 11 – 14 kg de matière sèche (MS)
- Vache laitière : 15 – 20 kg de matière sèche (MS)

Eau consommée

Une vache doit boire **entre 40 et 70 litres d'eau** par jour, voire plus

- Vache laitière : environ 70 litres.

La quantité d'eau est aussi fonction de la production (surtout en élevage laitier), de la température et aussi de la quantité d'eau dans les aliments (**Poncin, 2020**).

Les fourrages ne couvrent pas toujours tous les besoins des bovins. L'éleveur, qui connaît ses animaux et sait évaluer leurs besoins, va régulièrement adapter la ration qu'il leur distribue. En particulier, il va la compléter avec des aliments concentrés, d'origine végétale et minérale. Une grande partie des compléments de nature végétale est produite sur l'exploitation, notamment les céréales.

Un complément protéique est apporté par les tourteaux, obtenus à partir des graines de plantes oléagineuses comme le soja, le lin, le tournesol ou encore le colza, après extraction de l'huile.

Un complément énergétique est apporté par des céréales riches en glucides telles que le blé, l'orge et le maïs ou d'autres végétaux tels que les betteraves sous forme de pulpe.

Des compléments minéraux (calcium, phosphore) et vitaminiques peuvent être apportés. Ils sont soit directement ajoutés aux fourrages ou aux autres compléments alimentaires, soit mis à la libre disposition des animaux, dans le pré ou à l'étable, sous forme d'un bloc de sels minéraux que les éleveurs appellent la " pierre à lécher (**LA-VIANDE.FR.2025**).

### 4 Digestion des aliments

Les ruminants, grâce à leur microbiote digestif, ont l'avantage de pouvoir transformer les aliments non consommables par l'homme et riches en cellulose (fourrages, par exemple herbe, sous-produits

végétaux...) en viande et lait de haute qualité nutritionnelle pour l'homme. Cette particularité des ruminants est responsable d'un paradoxe. D'un côté et d'un point de vue strictement physiologique, les ruminants ont, par rapport aux espèces monogastriques, une faible efficience biologique quant au rendement brut de conversion des aliments en produits animaux (Mottet *et al.*, 2017). Cela est la conséquence, entre autres, des pertes d'énergie (sous forme de méthane notamment) et de protéines (sous forme d'ammoniaque puis d'urée) liées à la transformation des aliments par le microbiote du rumen qui ajoute un niveau trophique entre les aliments et l'animal. En revanche, les ruminants possèdent une efficience nette supérieure à celle des monogastriques, lorsque celle-ci est rapportée à la fraction de la ration des ruminants qui serait directement consommable par l'homme (Wilkinson, 2011 ; Laisse *et al.*, 2018). Ce paradoxe contribue aujourd'hui au débat scientifique mais aussi médiatique sur la place de l'élevage des ruminants dans les systèmes alimentaires durables (**LA-VIANDE.FR ;2025**).

Le système digestif des Ruminants, et notamment leur « estomac », présente un certain nombre de particularités leur permettant de digérer les végétaux qu'ils ingèrent. Après avoir présenté ces spécificités, cet article explique le rôle du microbiote ruminal dans la digestion des glucides, lipides et protéines.

Les Ruminants possèdent trois réservoirs prégastriques dont le plus important est le rumen. Il fait jusqu'à 200 L chez un bovin adulte et autour de 15 L chez un ovin, et permet la digestion microbienne des aliments, en particulier ceux d'origine végétale. Le bon fonctionnement du rumen nécessite des conditions particulières : une température de 39 °C, un pH voisin de 6 et une anaérobiose stricte.

Les digestions ruminales sont réalisées par des Bactéries, des protozoaires, des Archées et des Champignons. Ces microorganismes dégradent les glucides en acides gras volatils, transforment une partie des protéines ingérées, et hydrolysent les triglycérides et autres esters, puis assurent l'hydrogénéation de la majorité des acides gras insaturés .

Selon la nature du glucide fermenté, on différencie deux types de bactéries. Les bactéries amylolytiques, dont le substrat privilégié est l'amidon, synthétisent essentiellement du propionate et préfèrent les pH inférieurs à 6. Les bactéries fibrolytiques s'attaquent quant à elles surtout aux glucides pariétaux pour donner majoritairement de l'acéate et du butyrate, et affectionnent les pH supérieurs à 6.

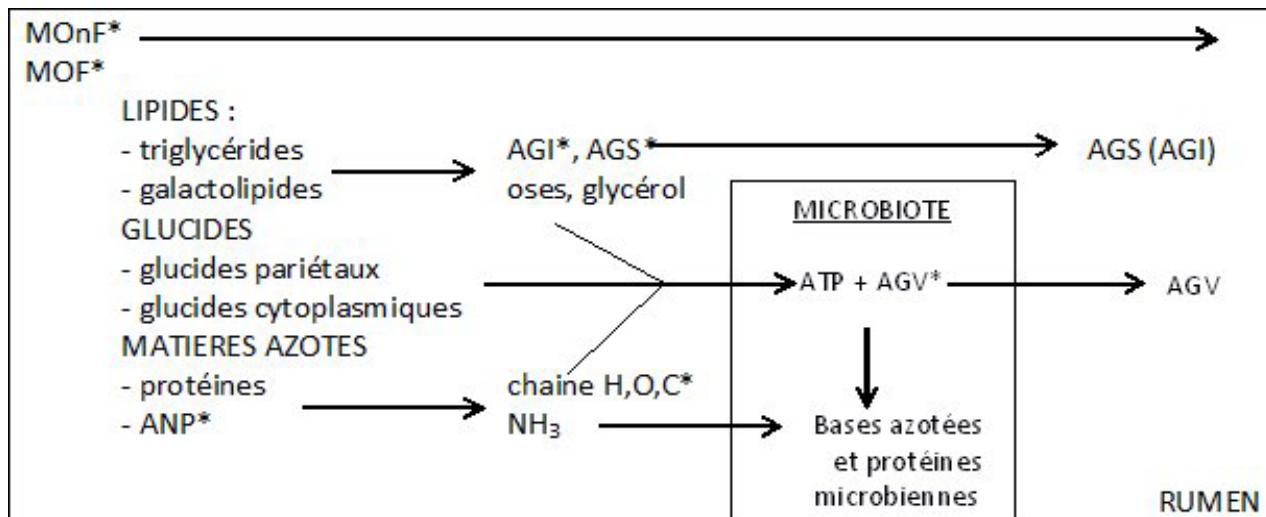


Figure 25: La digestion ruminale des aliments.

MOnF : matière organique non fermentée, MOF : matière organique fermentée, ANP : azote non protéique, AGS : acides gras saturés, AGI : acides gras insaturés, AGV : acides gras volatils.

Auteur(s)/Autrice(s) : Annabelle Meynadier, Clément Dusart et Florian Touitou Licence : [CC-BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

Les Ruminants possèdent trois pré-estomacs : le réseau et le rumen, formant le réticulorumen, et le feuillet. Le « véritable » estomac, sécrétant des sucs gastriques, est la caillette. Cet ensemble est très volumineux : il représente environ les deux tiers de la cavité abdominale.

Il est un fermenteur anaérobiose où la digestion microbienne se déroule en continu. Les mouvements de ce réservoir brassent la masse alimentaire et facilitent son ensemencement bactérien. Ces mouvements participent également à la régurgitation physiologique du bol alimentaire qui va pouvoir être à nouveau mastiqué et insalivé : c'est la rumination. Ensuite, ils permettent la vidange vers l'omasum. Puis ils contribuent à l'élimination des gaz de fermentation : c'est l'éruption.

Le rumen, d'un volume moyen de 150 L chez les bovins, contient environ 90 L de digesta. Son contenu est divisé en trois phases : liquide en partie ventrale, solide en partie intermédiaire, et gazeuse en partie dorsale. La phase liquide, principalement composée d'eau (85 %), provient de l'abreuvement, de la salivation et des aliments. Elle permet l'imbibition des aliments et est essentielle aux réactions enzymatiques microbiennes. La phase solide est issue des aliments ingérés, tandis que la phase gazeuse résulte des fermentations microbiennes et est éliminée par éruption.

Le pH du rumen varie entre 5,5 et 7, résultant d'un équilibre entre acides et bases faibles, ainsi que des substances tampons de la salive. La température, comprise entre 39 et 41 °C, augmente avec l'intensité des fermentations, notamment après les repas. Ces conditions physicochimiques favorisent le développement d'un microbiote anaérobiose actif.

Le rumen accueille un microbiote diversifié : environ 200 espèces de bactéries ( $10^{10}$  à  $10^{11}$  bactéries par mL), des protozoaires (de  $10^4$  à  $10^6$  par mL) et des champignons (entre  $10^3$  et  $10^5$  zoospores par mL – les zoospores sont des spores mobiles flagellées participant à la reproduction de certains Eumycètes). On trouve également entre  $10^7$  et  $10^9$  particules de virus bactériophages par ml (5) (**MEYNADIER & al.2020**).

### Chapitre 04: Les mycotoxines

#### 1 Généralité sur les mycotoxines :

##### 1.1 Une introduction générale sur les mycotoxines :

Les mycotoxines sont des composés toxiques produits par certains types de moisissures (champignons) qui se développent sur des aliments tels que les céréales, les noix, les fruits secs et les épices, en particulier dans des environnements chauds et humides. La moisissure peut se former avant ou après la récolte, lors du stockage, ou même à l'intérieur même des aliments. Les mycotoxines sont caractérisées par leur stabilité chimique, ce qui les rend résistantes aux processus de transformation alimentaire (OMS ;2023).

Parmi les centaines de types identifiés, les aflatoxines, l'ochratoxine A, le patuline, les fumonisines, le zéaralénone et le nivalénol/deoxynivalénol sont les plus dangereuses pour la santé humaine et animale. La contamination se transmet soit directement par la consommation d'aliments contaminés, soit indirectement à travers des produits d'origine animale résultant de l'alimentation d'animaux avec des aliments contaminés, comme le lait (Alkhayyat &al ;2014).



**Figure 26: Photo des mycotoxines (Bonnery & Foucher; 2022).**

### 1.2 Les mycotoxines et le lait :

Le lait est l'une des principales sources alimentaires qui fournit les nutriments essentiels au corps, et le lait de vache représente la plus grande part de la production mondiale. Avec l'augmentation de sa consommation, notamment parmi les groupes vulnérables, l'intérêt pour le lait cru croît également, car certains croient qu'il est plus bénéfique pour la santé, malgré les risques associés, tels que sa contamination par des mycotoxines. Ces toxines fongiques sont produites par des champignons spécifiques comme *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*, et sont transférées dans le lait par l'intermédiaire des aliments contaminés, ce qui peut causer des dommages graves à la santé, notamment le cancer, une immunité affaiblie et des intoxications neurologiques (*Leite & al ; 2020*).

L'aflatoxine M1, un métabolite de l'aflatoxine B1, est la mycotoxine la plus courante dans le lait. La Commission européenne a établi des limites maximales en raison de sa forte toxicité et de sa stabilité thermique. Bien que l'accent soit mis sur ce contaminant, d'autres types de mycotoxines, telles que le déoxynivalénol, l'ochratoxine et les fumonisines, nécessitent également une attention particulière en raison de leurs effets toxiques variés, allant du cancer aux impacts sur le système immunitaire et digestif. De plus, de nouvelles toxines, telles que le beauvericine et l'enniatine, ont émergé, ce qui complique l'analyse de la contamination du lait (*Youssef & al ;2021*).

Les aliments pour vaches laitières peuvent être naturellement contaminés par plusieurs types de champignons, tels qu'*Aspergillus*, *Fusarium* et *Penicillium*, qui produisent des mycotoxines (*Lynch ;1972*).

La consommation de ces aliments contaminés entraîne des troubles aigus ou chroniques, connus sous le nom d'intoxication fongique, qui peut également affecter d'autres animaux et les humains. Dans les cas aigus, des troubles hormonaux, digestifs et rénaux apparaissent, en plus d'une diminution de l'immunité. Quant à l'exposition chronique, elle peut provoquer des cancers, des maladies du foie, des mutations génétiques, ainsi que des dysfonctionnements du système immunitaire, digestif, reproductif et nerveux, représentant ainsi un danger sanitaire majeur pour les animaux et l'homme (*Corassin & al ;2023*).

### 1.3 Moisissures et mycotoxines dans les denrées alimentaires :

La contamination des aliments par les mycotoxines est un problème mondial persistant qui suscite des inquiétudes, en raison de son imprévisibilité et de la difficulté à l'éviter, même en suivant les meilleures pratiques agricoles, de stockage et de transformation. Le danger de ces toxines réside dans leur haute stabilité et leur résistance à la chaleur ainsi qu'aux traitements physiques et chimiques, ce qui rend leur élimination lors

de la fabrication des aliments extrêmement difficile. Le risque ne se limite pas aux produits végétaux, mais s'étend également aux produits d'origine animale tels que le lait, la viande et les œufs, où les mycotoxines peuvent être transmises par les fourrages contaminés, augmentant ainsi la probabilité d'exposition humaine. Malgré les efforts continus pour développer des stratégies efficaces afin de réduire ce problème, trouver des solutions définitives reste complexe et constitue un défi majeur pour la sécurité alimentaire (**Rev. Int. de Recherche Environ. Et Santé Publique ; 2017**).

Les moisissures présents dans les aliments d'origine végétale constituent une source potentielle de mycotoxines, des toxines qui peuvent provoquer des mutations génétiques ou des cancers chez l'homme et les animaux .Ces champignons peuvent se développer à différentes étapes de la production alimentaire, de la culture jusqu'au produit final. Les aliments les plus exposés à cette contamination sont les céréales, les fruits et les légumes (**El-Sayed & al ;2022**).

### 1.4 Les mycotoxines dans les aliments bovine :

Les aliments pour animaux laitiers peuvent être exposés à une contamination naturelle par divers champignons capables de produire des composés toxiques appelés mycotoxines. Ces champignons incluent des espèces appartenant aux genres *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, entre autres, qui produisent des mycotoxines dans les céréales, les fourrages et le silage utilisés pour nourrir les vaches laitières (**Driehuis &al, 2008**).

Lorsque les vaches laitières consomment des aliments contaminés par ces toxines, elles peuvent souffrir d'intoxications fongiques, un trouble qui peut également affecter d'autres animaux et même les humains. Dans les cas aigus, des symptômes peuvent apparaître, tels que des troubles hormonaux, des maladies intestinales, des problèmes rénaux, ainsi qu'un affaiblissement du système immunitaire dans certains cas. Lors d'une exposition chronique à ces toxines, cela peut conduire à des maladies graves telles que le cancer, des maladies du foie, des mutations génétiques, et une diminution de la production de cellules sanguines. Ces toxines peuvent également provoquer de graves défaillances dans les fonctions des systèmes immunitaire, intestinal, urinaire, digestif, nerveux et reproductif des animaux, ce qui fait de la gestion de la contamination des fourrages par les mycotoxines une question de santé et de vétérinaire d'une importance capitale (**Corassin ;2023**).

Les mycotoxines dans les aliments sont associées à un taux élevé de troubles métaboliques, tels que la cétose, la rétention placentaire, la torsion de l'estomac, la mammite, l'endométrite, la boiterie, ainsi qu'à une augmentation du nombre de cellules somatiques (SCC), ce qui entraîne une légère baisse de la production de lait. De plus, l'exposition chronique aux mycotoxines à faibles doses réduit la rentabilité, en provoquant une

baisse de la production de lait et une augmentation des coûts associés aux traitements vétérinaires nécessaires ( **Borutova ;2020**).



**Figure 27: Alimentation des vaches laitières : attention aux mycotoxines ( García ;2018).**

### 1.5 Le danger des mycotoxines pour les vaches :

Les mycotoxines représentent une menace constante dans l'environnement de la ferme, même dans les opérations agricoles les plus efficaces. L'exposition à ces toxines peut se produire soit par une dose importante et soudaine, soit par la consommation de petites quantités sur une longue période. Le problème devient encore plus complexe lorsque plusieurs types de mycotoxines sont présents à des concentrations faibles, car leur effet cumulé peut être similaire à celui d'une seule mycotoxine à haute concentration. Ces toxines pénètrent dans le corps des vaches par l'alimentation contaminée, et elles ne sont souvent détectées qu'une fois qu'elles commencent à affecter la santé de l'animal. Il est donc essentiel que tous les éleveurs soient conscients des signes de danger associés à ces toxines afin de prendre les mesures préventives appropriées (**Krogh, 1978**).

Les vaches laitières sont exposées au risque de contamination par une variété de mycotoxines, qui peuvent provenir de différentes sources d'alimentation, telles que les fourrages grossiers et les mélanges d'aliments composés. La consommation de ces mélanges complexes de toxines peut entraîner des risques sanitaires imprévus, dont l'intensité et les effets varient. La sensibilité des vaches est accrue pendant la période de transition, en raison de leur état de carence énergétique préalable, ce qui les rend plus vulnérables aux effets négatifs causés par l'ingestion d'aliments contaminés par des moisissures, des spores fongiques et des mycotoxines (**Wayne ,2012**).

La gravité de l'intoxication fongique ne se limite pas uniquement aux maladies des animaux ou à la baisse de leur production, mais s'étend également à ses effets sur la santé humaine. La présence de mycotoxines dans les aliments pour animaux laitiers peut entraîner le transfert de leurs métabolites dans les produits laitiers, représentant ainsi une menace pour la santé des consommateurs (**Fink-Gremmels,2008**).

### 2 Effet des mycotoxines :

#### 2.1 Son impact sur la santé humaine :

Les mycotoxines sont des composés toxiques qui peuvent causer de graves dommages aux humains et aux animaux, avec des effets négatifs tels que le cancer, les malformations congénitales, l'immunosuppression, ainsi que des toxicités neurologiques, hépatiques, rénales, reproductives et développementales, en plus des troubles digestifs. Ces toxines se caractérisent par leur capacité à cibler plusieurs systèmes dans le corps de manière différente, en fonction du type de substance, de sa dose et de la durée de l'exposition, bien que des progrès aient été réalisés dans les recherches, les effets synergiques entre différentes mycotoxines ne sont pas encore entièrement compris (**Bezerra da Rocha & al ;2014**).

De plus, les mycotoxines sont hautement stables, ce qui les rend résistantes aux différentes conditions environnementales tout au long des étapes de production des aliments et des fourrages, y compris le traitement et le stockage.

Afin de réduire les risques de croissance de moisissures et de formation de ces toxines dès le début de la production, les pratiques agricoles modernes s'appuient sur la culture de variétés de céréales adaptées, une fertilisation et une irrigation équilibrées, ainsi que l'élimination efficace des mauvaises herbes. Il est également recommandé, pendant la saison de récolte, de minimiser les dommages aux grains afin d'éviter les infections secondaires pendant le stockage (**Pleadin & al ;2019**).

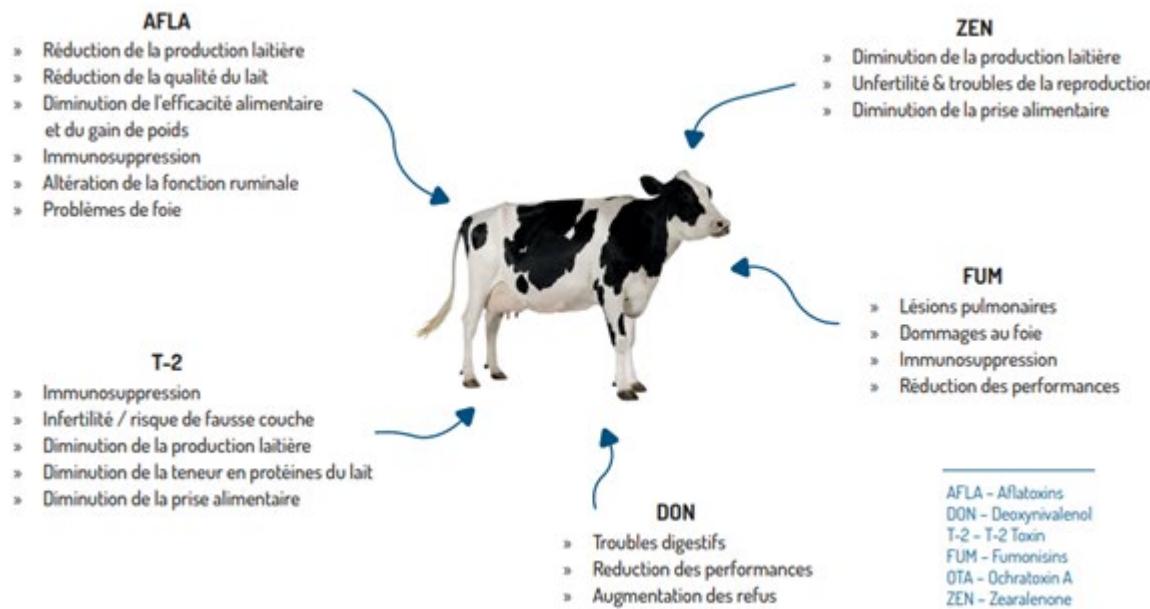
Les mycotoxines peuvent causer des problèmes de santé graves, tels que le cancer, les allergies et la toxicité des organes, la gravité de leurs effets dépendant de la durée d'exposition et de leurs propriétés mutagènes et tératogènes. Par exemple, la consommation d'aliments contaminés par des champignons est liée à des complications à long terme, telles que le cancer du foie et l'immunosuppression (AFB1, OTA), des douleurs abdominales (DON), des troubles endocriniens (ZEN) et un retard de croissance (toxine T-2). Une exposition continue à plusieurs types de mycotoxines peut également entraîner des effets synergiques augmentant leur dangerosité ; pour garantir la sécurité alimentaire, la détection précise des mycotoxines est essentielle, et des techniques avancées telles que la chromatographie en phase gazeuse (GC), la chromatographie liquide haute performance (HPLC), couplées à la spectrométrie de masse (LC/MS), sont utilisées. Cependant, ces méthodes,

bien qu'extrêmement précises, ne sont pas idéales pour des analyses rapides en raison de leur coût élevé et de la nécessité d'experts qualifiés (**Khan &al ;2024**).

### 2.2 Son impact sur la santé animale :

Les aflatoxines sont des mycotoxines capables de provoquer des troubles graves au niveau cellulaire, ce qui peut entraîner des problèmes de santé aigus ou chroniques chez les animaux. Leurs effets nuisibles peuvent aller de la détérioration de l'état de santé jusqu'à des maladies mortelles, ce qui en fait un véritable danger menaçant la vie des animaux (**Mavrommatis &al ;2021**).

Les éleveurs de bétail font face à d'énormes défis pour maintenir la santé de leurs vaches et augmenter leur productivité, dont l'une des plus graves est la présence de mycotoxines dans les aliments, qui nuisent à la santé de l'animal et à ses performances. Ces toxines affectent négativement le système immunitaire et des organes vitaux tels que le rumen, le système digestif, le foie, les reins, le système reproducteur et nerveux, augmentant ainsi la probabilité de maladies telles que l'acidose cétonique, la rétention placentaire, la mammite et les maladies du foie gras, ces maladies ne répondent pas aux traitements vétérinaires traditionnels, et les pertes peuvent s'aggraver si elles ne sont pas traitées efficacement. De plus, les ajustements dans l'alimentation ou la gestion de la ferme peuvent ne pas être suffisants à eux seuls. Les mycotoxines commencent par inhiber l'immunité et réduire le nombre de cellules de défense, puis affectent le rumen et les fonctions organiques, ce qui entraîne une réponse diminuée au traitement, une baisse de la consommation alimentaire et une réduction de la production de lait, par conséquent, la gestion préventive et le contrôle de la qualité des aliments sont des solutions clés pour protéger le troupeau (**Biomin GmbH ;2008**).



**Figure 28 : Les conséquences chez les ruminants (Difagri ;2024).**

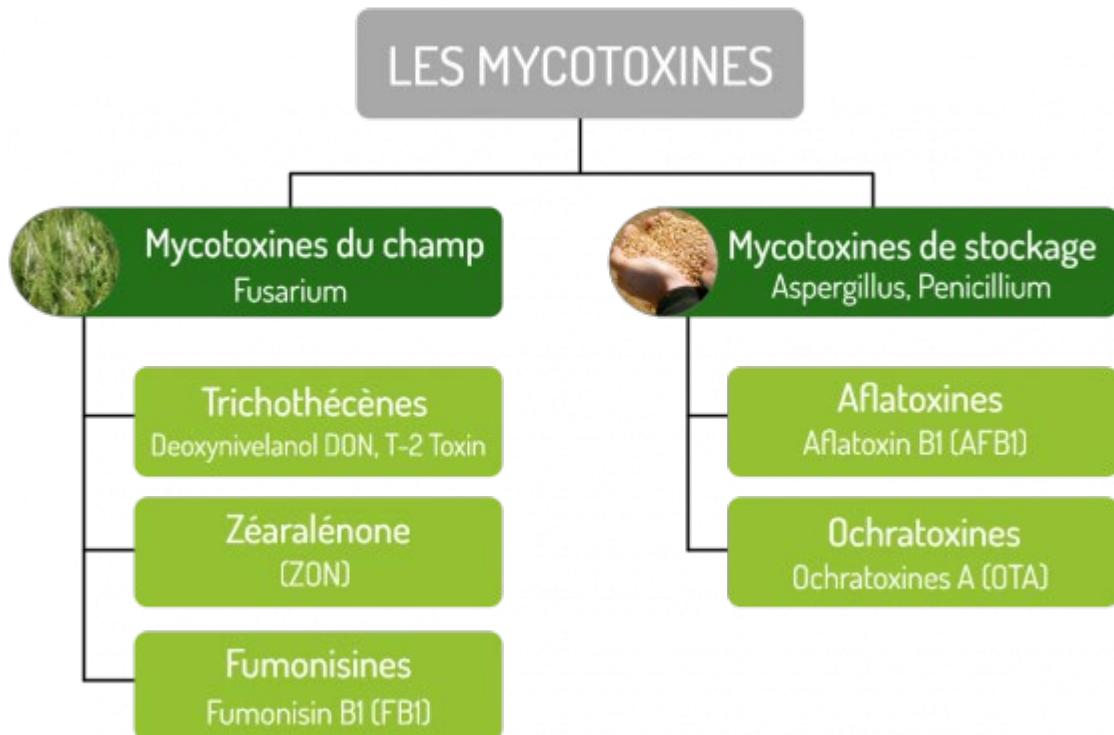
### III/Principales mycotoxines :

Les mycotoxines sont des composés toxiques produits par certaines espèces de champignons (moisissures) qui se développent sur les aliments, elles représentent une menace pour la santé humaine et animale, en plus de leur impact négatif sur la production agricole et l'économie (Groopman & al ;2013).

Parmi les centaines d'espèces découvertes, les aflatoxines, l'ochratoxine A, le patuline, les fumonisines, le zéaralénone et le néoaspartate/désoxy-nivalénol figurent parmi les mycotoxines les plus dangereuses pour la santé humaine et animale. La contamination peut se produire soit directement par la consommation d'aliments contaminés, soit indirectement à travers les produits d'origine animale provenant d'animaux nourris avec des fourrages contaminés, comme le lait ( Alkhayyat & al ;2014).

De plus, les mycotoxines les plus étudiées figurent les aflatoxines (AF), l'ochratoxine (OTA), les fumonisines, les trichothécènes (TH), la patuline (PAT), le citrinin (CIT) et le zéaralénone (ZEA), Certaines cultures agricoles sont particulièrement sensibles à la contamination par les mycotoxines, telles que le maïs, le mil, le blé, le soja, l'arachide, ainsi que les sous-produits dérivés de ces cultures. La contamination ne se limite pas aux céréales, aux graines oléagineuses et aux légumineuses, mais s'étend également aux déchets alimentaires, au pain mois, aux graines de coton, aux épices, et aux produits industriels destinés à l'alimentation animale, Ces contaminants sont attribués à plusieurs types de champignons, principalement *Aspergillus*, *Fusarium*,

Penicillium, Alternaria, Cladosporium, ainsi que les moisissures saprophytes. Ces champignons endommagent les cultures durant les phases pré et post-récolte, ce qui nécessite la mise en place de mesures préventives strictes pour protéger la nourriture et garantir sa sécurité (Chebutia & al ;2021).



**Figure 29: Les principales familles des mycotoxines (Difagri ;2024).**

### 3 Agir pour limiter les risques liés aux mycotoxines :

Pour réduire au maximum les risques sanitaires liés aux mycotoxines, il est conseillé de prendre les précautions suivantes :

- Inspecter les grains entiers, tels que le maïs, le mil, le blé et le riz, ainsi que les figues séchées et les noix oléagineuses, y compris les arachides, les pistaches, les amandes, les noix, les noix de coco, les noix du Brésil et les noisettes, car elles sont souvent susceptibles d'être contaminées par l'aflatoxine. Il est recommandé de jeter tout produit présentant des signes de moisissure, de décoloration ou de flétrissement.
- Éviter d'exposer les grains à des dommages pendant la récolte, le séchage ou le stockage, car les grains endommagés sont plus susceptibles de favoriser la croissance de moisissures et la production de mycotoxines.

- Acheter des grains et des noix séchées aussi frais que possible pour garantir leur qualité et leur sécurité.
- Stocker les aliments dans un environnement approprié, à l'abri de l'humidité, de la chaleur excessive et des insectes, afin de préserver leur qualité et d'empêcher la croissance de moisissures.
- Consommer les aliments dans un délai approprié et éviter de les stocker trop longtemps pour prévenir l'accumulation de mycotoxines.
- Veiller à diversifier l'alimentation, ce qui aide à réduire les risques d'exposition aux mycotoxines tout en améliorant la qualité nutritionnelle globale (**OMS ;2023**).

Étant donné que les champignons sont des organismes aérobiques se trouvant à la surface extérieure des grains et des fruits, l'élimination des enveloppes et le lavage des coquilles sont parmi les méthodes les plus efficaces et faciles pour réduire la contamination fongique tout au long des étapes de production. Les techniques de tri, de tamisage, de flottation, de lavage, de décorticage, de trempage et de broyage ont prouvé leur efficacité pour réduire les niveaux de mycotoxines telles que les trichothécènes, les aflatoxines, les alcaloïdes d'ergot, les fumonisines, et le zéaralénone dans les céréales, le patulin dans les pommes, l'ochratoxine A dans les raisins, le cacao et les grains de café. Les matériaux inertes aident également à adsorber les aflatoxines, l'ochratoxine A et les fumonisines, contribuant ainsi à améliorer la qualité et la sécurité des aliments (**Badiale ;2024**).

### 3.1 Prévention de la croissance des champignons pendant la culture :

La croissance des champignons dans les cultures avant la récolte est fortement influencée par les conditions climatiques, les niveaux de contamination fongique variant d'une saison à l'autre. Bien que les environnements chauds et humides constituent un milieu idéal pour la croissance des champignons, les types de mycotoxines produites varient en fonction des conditions environnementales dominantes. Étant donné qu'il est impossible de contrôler la météo, notamment dans de vastes zones agricoles comme les champs de blé, la recherche de stratégies alternatives devient essentielle (**Hiren & al ;2021**).

Les fongicides sont une solution possible, mais ils peuvent laisser des résidus nuisibles dans les produits alimentaires. Dès lors, des méthodes plus sûres et plus efficaces, comme l'utilisation de microorganismes pour le contrôle biologique, émergent. Les études ont montré que l'application de solutions diluées de bactéries lactiques antifongiques sur les plantes et le sol limite la propagation des champignons. De plus, le choix de variétés agricoles résistantes aux champignons, qu'elles soient naturelles ou génétiquement modifiées, constitue une approche prometteuse, certaines variétés de maïs génétiquement modifiées

montrant une plus grande résistance à la contamination par le fumonisine par rapport aux variétés traditionnelles (**Cattini ;2019**).

### 3.2 Gestion intégrée des mycotoxines dans les troupeaux laitiers :

La gestion des mycotoxines chez les vaches laitières nécessite une approche intégrée dont l'importance ne peut être sous-estimée. L'efficacité de la gestion de ces risques repose sur la mise en œuvre d'un ensemble de mesures préventives, allant des soins à la ferme jusqu'à une alimentation appropriée.

Un programme de gestion efficace comprend :

- L'amélioration des pratiques agricoles par un labour approprié pour éliminer les résidus végétaux qui pourraient offrir un environnement favorable à la croissance des moisissures.
- La rotation des cultures pour éviter l'accumulation de champignons dans le sol.
- La gestion des cultures et des récoltes afin de s'assurer qu'elles sont collectées dans des conditions optimales limitant la croissance des mycotoxines.
- Le traitement des grains utilisés dans l'alimentation, pour réduire le risque de contamination.
- Le maintien de la propreté de l'usine d'aliments, en particulier si l'aliment composé fait partie du régime alimentaire.
- Garantir un transport optimal des aliments pour maintenir leur qualité et éviter toute contamination lors du stockage ou de la distribution.
- Une gestion efficace du fourrage en utilisant des additifs appropriés qui améliorent sa qualité et empêchent la croissance des moisissures.
- L'utilisation de liants pour mycotoxines afin de limiter leurs effets négatifs sur la santé des vaches et leur production.
- L'amélioration de la gestion du mélange total de ration (TMR) grâce à l'ajout de suppléments alimentaires appropriés pour renforcer la protection contre les mycotoxines pendant l'alimentation.

Adopter cette approche globale contribue à maintenir la santé des vaches laitières, ce qui a un impact positif sur la productivité du troupeau et la qualité du lait (**Haladi, ;2020**).

### chapitre 05 : les acides organiques

#### 1 Définition :

Un acide organique est un acide carboxylique, notamment un acide gras de formule RCOOH, aux propriétés acides. Les acides organiques les plus couramment utilisés sont les acides gras à chaîne courte, comme l'acide formique, l'acide propionique, l'acide butyrique, l'acide acétique, l'acide citrique et l'acide malique, un acide dicarboxylique. Ce sont généralement des acides organiques faibles qui, dissous dans l'eau, se transforment respectivement en ions hydrogène et hydroxyle. Le mode d'action de ces acides dépend de leur pH et de leur Pka. Le Pka est la valeur à laquelle 50 % de l'acide est présent sous forme dissociée. Ce n'est que sous sa forme non dissociée qu'un acide organique traverse la paroi cellulaire des bactéries et exerce son activité antimicrobienne. Cela signifie que ces acides organiques ont une activité plus marquée en milieu acide, par exemple dans l'estomac, et une activité réduite en milieu alcalin, par exemple dans l'intestin grêle.

Par conséquent, les acides organiques à pKa élevé sont plus faibles et donc plus efficaces comme conservateurs pour les aliments. Présents dans les aliments sous une proportion plus élevée de leur forme non dissociée, ils peuvent les protéger des champignons et des microbes. Par conséquent, plus le pKa des acides formique et lactique, comme ceux utilisés pour améliorer la digestibilité chez les animaux, est faible. Plus un acide organique (plus sa forme dissociée est élevée), plus son effet sur la réduction du pH gastrique est important et plus son effet antimicrobien est faible dans les parties distales du tube digestif. Un acide fort (à faible pKa) acidifiera les aliments et l'estomac, mais n'aura pas d'effet direct important sur la microflore intestinale. C'est pourquoi un acide comme l'acide propionique à Pka élevé est utilisé comme conservateur des aliments, tandis qu'un acide à Pka plus faible (**Hafiz Usama ;2017**).

ACID	MOLAR MASS (g/mol)	STATE	Pka
Formic	46.03	Liquid	3.75
Lactic	90.08	Liquid	3.83
Acetic	60.05	Liquid	4.76
Sorbic	112.14	Solid	4.76
Propionic	74.08	Liquid	4.88
benzoic	122.12	solid	4.20

**Figure 30 : Caractéristiques Physico-Chimiques de Divers Acides Organiques (CHERRINGTON &al, 1991).**

Les acides organiques sont des additifs très utilisés dans l'industrie alimentaire. Ils peuvent servir d'agents de conservation, d'acidulants, d'antioxydants, d'émulsifiants, etc.

On peut extraire la plupart des acides organiques de cultures microbiennes car certains micro-organismes en synthétisent de grandes quantités au cours de leur métabolisme.

Acides organiques		
Additifs alimentaire	Micro-organismes producteur	Exemples d'utilisation
Acide acétique	Acetobacter aceti (bactérie)	Agent de conservation dans les mayonnaises, pâtisseries...
Acide lactique	Lactobacillus (bactérie) Aspergillus griseus (moisissure) Rhizopus (moisissure)	Agent de conservation et acidulant pour confitures, gelées, confiseries, boissons gazeuses, marinades, olives, poissons...
Acide citrique	Aspergillus niger (moisissure)	Acidulant et antioxydant dans les boissons gazeuses, produits laitiers, desserts, fruits congelés, fruits et légumes en conserve...
Acide gluconique	Aspergillus niger (moisissure) Pénicillium chrysogenum (moisissure)	Acidulant pour viandes, salaisons, bière, renforce le goût dans la margarine...
Acide fumarique	Rhizopus (moisissure) Mucor (moisissure)	Acidulant dans les jus de fruits, desserts à la gélatine, biscuits secs, lait en poudre, jambon...
Acide malique	Pénicillium brevicompactum (moisissure) Leuconostoc (bactérie) Aspergillus oryzae (moisissure)	Acidulant dans les confiseries, jus de fruits, crème glacée...
Acide tartrique	Pénicillium notatum (moisissure)	Acidulant pour boissons, gelées...
Acide propionique	Propionibacterium spp	Agent de conservation de nombreux aliments, dont les pâtisseries...

Figure 31: Des acides organiques (CHERRINGTON &al, 1991).

## 2 Nomenclature :

Selon la nomenclature officielle de l'UPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ,Un acide carboxylique porte un groupement carbonyle (COOH) . Toujours situé à l'extrémité de la chaîne carbonée .

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

Figure 32: Nomenclature des acides organiques (CHERRINGTON &al, 1991).

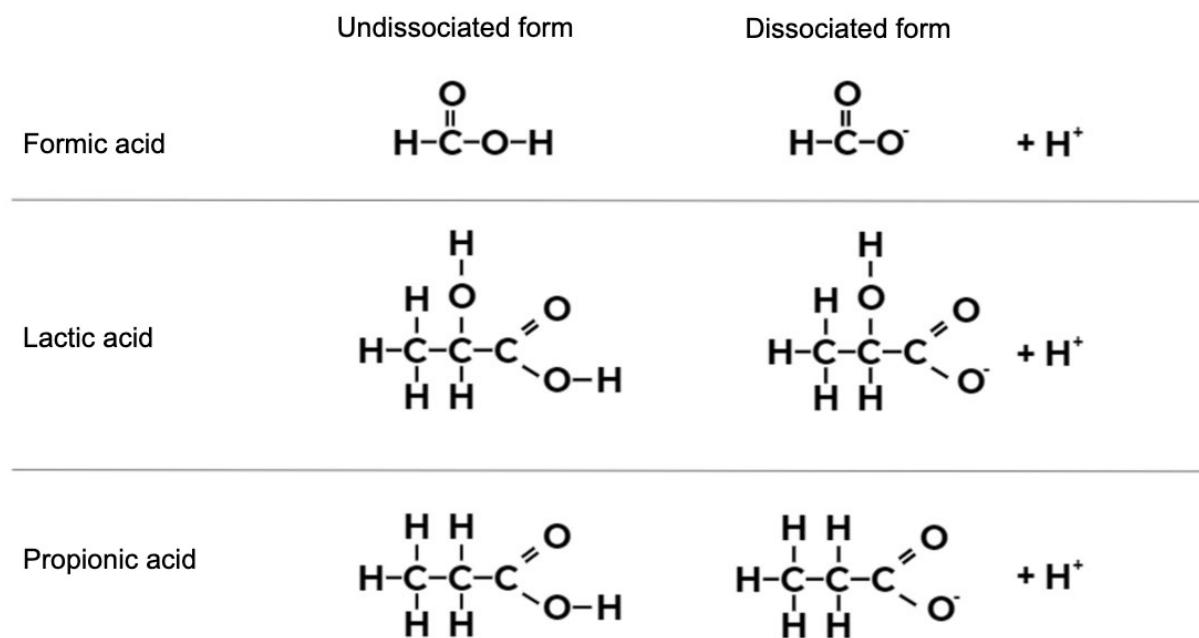
### 3 Mode d'action des acides organique

Selon le pH du milieu gastro-intestinal et les valeurs de pKa et de LogP Koe de l'AO, celui-ci peut se présenter sous forme non dissociée (RCOOH, AO conservant toute sa structure chimique) ou dissociée (RCOO- + H+, AO ayant libéré au moins un ion H+ dans le milieu).

Un AO non dissocié possède une forte capacité de diffusion à travers la membrane bactérienne vers son cytoplasme, où l'acide se dissocie, modifiant ainsi l'équilibre du pH interne du cytoplasme bactérien, ce qui entraîne la suppression de l'activité de ses systèmes enzymatiques et du transport des nutriments, entraînant la lyse de la bactérie (Dibner et Buttin, 2002).

Un AO dissocié, quant à lui, possède une capacité d'acidification due à la libération d'ions H+ dans le milieu, inhibant la croissance de bactéries acido-sensibles telles que *Salmonella* spp ou *E. coli* et favorisant des effets positifs sur la santé gastrique et intestinale, que nous aborderons ultérieurement.

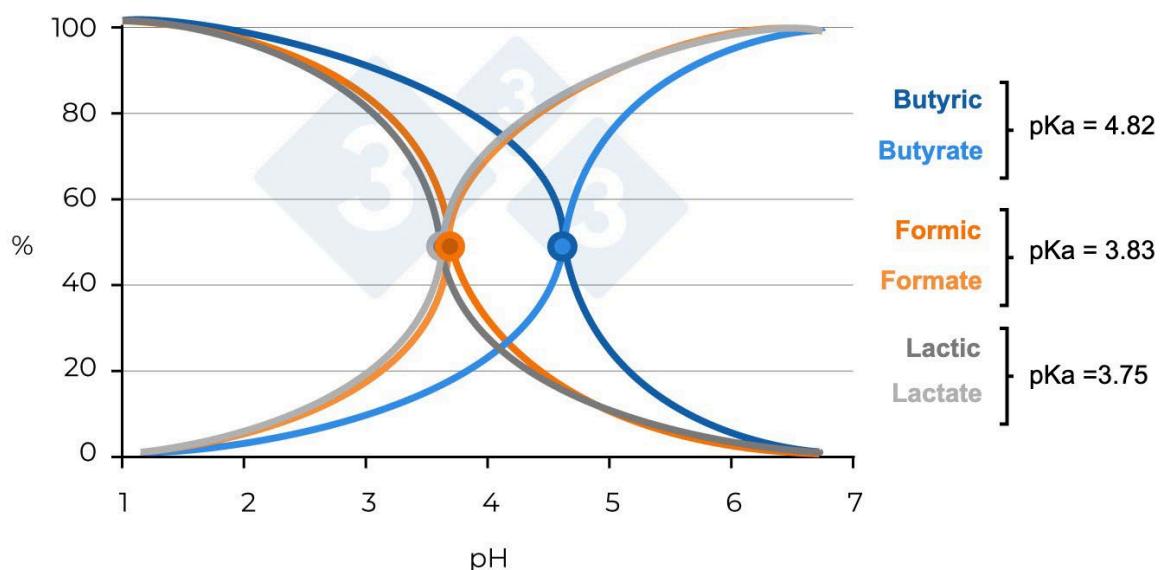
Les AO capables de libérer un seul H+, comme l'acide formique, sont dits monoprotiques, tandis que ceux capables de libérer plusieurs H+, comme l'acide citrique, sont dits polyprotiques. La structure chimique des formes non dissociées et dissociées de l'acide formique, de l'acide lactique et de l'acide propionique est illustrée à la figure 34 .



**Figure 33:Mode d'action des acides organique (RASHEED ; 2017).**

Le pKa d'un OA est la valeur de pH à laquelle 50 % de l'acide reste dissocié et les 50 % restants non dissociés. Un OA possède autant de valeurs de pKa qu'il y a de groupes carboxyles. Dans le cas des OA polyprotiques, leur valeur de pKa augmente à chaque dissociation, de sorte que la première libération (pKa1) définit la force

d'acidification de l'OA concerné. Si le pH du milieu est inférieur au pKa de l'OA, plus de 50 % de l'OA sera sous forme non dissociée, tandis que, si le pH du milieu est supérieur au pKa de l'OA, plus de 50 % de l'OA sera sous forme dissociée. Par conséquent, lorsque le pH de l'environnement dépasse ou diminue la valeur du pKa de l'OA, le pourcentage de molécules d'OA dissociées ou non dissociées augmente, respectivement (figure 35) (Sieiro & al ;2013).



**Figure 34: Pourcentage de molécules d'acide butyrique, d'acide formique et d'acide lactique dissociées/non dissociées en fonction du pH du milieu (Sieiro & al ;2013).**

Au niveau physiologique, plus le pKa de l'AO est faible, plus son effet sur la réduction du pH gastrique est important et plus son effet antimicrobien sur les parties distales du tractus intestinal est faible.

Deux AO ayant un pKa similaire et administrés à la même dose peuvent avoir des capacités bactéricides différentes en raison de leur poids moléculaire. Par exemple, à dose égale, l'acide formique a un effet bactéricide supérieur à celui de l'acide lactique, car son poids moléculaire est plus faible. En effet, à quantité égale, il y aura plus de molécules d'acide formique que d'acide lactique : 1 kg d'acide lactique contient 11,1 moles, contre 21,7 moles pour 1 kg d'acide formique (Van Immerseel & al., 2006).

L'action des acides gras à chaîne moyenne (AGCM) sur les micro-organismes dépend également de la complexité de leur membrane/paroi cellulaire externe. Les acides gras à chaîne moyenne (AGCM) ont une forte action bactéricide sur les bactéries à Gram positif telles que *Clostridium perfringens* ou *Streptococcus* spp, tandis que les acides gras à chaîne courte (AGCC) ont une activité bactéricide plus élevée sur les bactéries à Gram négatif telles que *E. Coli*, *Campylobacter jejuni* ou *Salmonella* spp. Cela est dû au coefficient de partage

octanol-eau (LogP Kow, tableau 1) de chaque AGCC, qui indique si un acide a un caractère plus hydrophobe ou hydrophile. Dans le cas des AGCM, ceux-ci ont des valeurs de LogP Kow supérieures à 1,0, indiquant leur caractère lipophile qui leur permet d'interagir plus efficacement avec la membrane cellulaire des bactéries à Gram positif, tandis que la présence de lipopolysaccharides dans la paroi cellulaire des bactéries à Gram négatif confère une résistance aux AGCM(**Adisseo ,2025**).

Pour améliorer l'action des acides gras saturés (AO) le long du tractus gastro-intestinal, il est intéressant de travailler avec des mélanges d'AO aux propriétés différentes. (2002) ont observé que l'association simultanée d'acide propionique, d'acide acétique et d'acide formique offre un pouvoir bactéricide supérieur à l'utilisation de ces acides individuellement. (2013) ont conclu que l'inclusion d'un mélange 1:1 de 0,5 % d'acide propionique et d'acide formique et de 0,2 % d'acide caprique a un impact positif sur les performances de production et augmente la digestibilité des nutriments des porcelets après le sevrage grâce à une meilleure santé de la muqueuse intestinale( **Kritas ,2002**).

Certains acides organiques sont utilisés sous forme de sels de sodium, de calcium ou de potassium. Comparés aux acides organiques libres, les sels sont plus faciles à manipuler lors de la fabrication des aliments en raison de leur faible corrosivité et sont généralement inodores grâce à leur forme solide et à leur faible volatilité. Au niveau physiologique, le sel est libéré au niveau gastrique, l'AO non dissocié atteignant le niveau intestinal où il peut agir soit en acidifiant le milieu, soit en bactéricide, selon son pKa. Parmi les sels d'AO, on trouve le formiate de sodium (1k237), le propionate de sodium (1k281) et le propionate de calcium (1a282). L'association d'AO et de sels d'AO présentant différents pKa et LogP Koe pour obtenir une action acidifiante et bactéricide le long du tractus gastro-intestinal constitue un excellent outil nutritionnel.

Les acides organiques et leurs sels peuvent être utilisés en nutrition porcine sous forme libre ou microencapsulée. La microencapsulation empêche la dissociation rapide de l'acide dans l'estomac, ce qui permet aux acides d'agir dans les parties distales de l'intestin comme bactériostatiques ou bactéricides (**Cho & al., 2014**).

### 4 Avantages de l'utilisation d'acides organiques en nutrition animale :

L'élimination des microbes, notamment des bactéries Gram négatif (*Salmonella*, *E. coli*), présents dans l'eau de boisson et dans l'intestin, améliore l'utilisation et l'absorption des aliments, ce qui se traduit par une meilleure prise de poids et un meilleur indice de consommation. L'abaissement du pH freine la croissance des microbes pathogènes (**Rasheed, 2017**).

Il prévient la formation de biofilms dans les systèmes d'abreuvement, minimisant ainsi la charge pathogène dans l'eau.

Il améliore la digestibilité des nutriments, notamment des protéines, grâce à son effet réducteur de pH dans l'estomac, ce qui favorise la libération de pepsine, une enzyme dégradant les protéines.

L'augmentation des sécrétions pancréatiques améliore la digestion et le métabolisme des graisses.

Le retard de la vidange gastrique des aliments améliore l'absorption des nutriments. Ils servent de substrats intermédiaires (acide butyrique, acide citrique) dans les différents cycles métaboliques et constituent ainsi une source d'énergie directe pour les oiseaux. Plusieurs études ont démontré l'effet positif de l'acide butyrique sur la réduction de la population de *Salmonella* dans l'intestin, vraisemblablement en inhibant la synthèse de facteurs pathogènes par les salmonelles. L'acide butyrique est un métabolite intermédiaire du cycle énergétique des entérocytes, ce qui contribue à maintenir leur performance et leur intégrité.

Réduire l'incidence des diarrhées et des entérites subcliniques.

Améliorer l'absorption des minéraux (P, Cu, Zn).

Alternatives aux AGP pour réduire le coût des médicaments.

De NOUVELLES STRATÉGIES pour les acides organiques ont été développées afin d'améliorer leur fonctionnement dans l'intestin. Ces stratégies incluent l'encapsulation d'acide organique. Ce procédé assure la libération ciblée d'acide dans l'intestin grêle et le côlon, où se trouve une importante charge microbienne pathogène. Une autre stratégie consiste à utiliser des glycérides d'acide. Lors de ce procédé, l'acide organique est lié (estérifié) au glycérol. Cette combinaison protège l'acide de la dégradation par le pH gastrique. Une fois ces glycérides présents dans l'intestin grêle, la lipase rompt la liaison et libère l'acide. (**Rasheed, 2017**)

L'utilisation d'une combinaison d'acides organiques est une autre stratégie. Comme indiqué précédemment, les différents acides organiques ont des valeurs de pka différentes, ce qui les rend différents dans le tractus gastro-

intestinal. L'objectif de cette combinaison est de maximiser les effets le long du tractus gastro-intestinal. L'utilisation de sels d'acides organiques, par exemple Le formiate de potassium est également courant. L'utilisation de sels d'acide réduit l'amertume et la corrosivité de l'acide.

### 5 Réglementation :

Actuellement, l'utilisation des additifs alimentaires est strictement encadrée par une réglementation rigoureuse et harmonisée à l'échelle de l'Union européenne, incluant ses 27 États membres ainsi que des pays associés tels que la Norvège et l'Islande (Marie, 2014). Cette réglementation garantit que les additifs autorisés ne dissimulent aucune altération des produits alimentaires et qu'ils ne présentent aucun risque pour la santé publique (Régulation (EC) No 1333/2008, 2008). De plus, il est obligatoire que leur présence soit clairement indiquée sur l'étiquetage des denrées alimentaires, afin de garantir la transparence et d'assurer une information complète pour les consommateurs (**EFSA, 2021**).

Les additifs alimentaires autorisés doivent répondre à des normes strictes d'innocuité et d'efficacité avant leur approbation. Ils sont généralement utilisés de manière préventive sur des animaux sains dans un but nutritionnel ou technologique, contrairement aux médicaments vétérinaires, qui sont administrés pour le traitement de maladies diagnostiquées sous supervision vétérinaire et sur une période limitée, souvent associée à un délai d'attente avant la consommation des produits d'origine animale (**Codex Alimentarius, 2011 ; EFSA, 2021**).

La sécurité des additifs alimentaires est évaluée selon des critères précis définis par des agences spécialisées telles que l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) et la Food and Drug Administration (FDA). Ces évaluations incluent l'analyse des données toxicologiques, des effets sur la santé animale et humaine, ainsi que des impacts environnementaux potentiels (**Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2019**). À titre d'exemple, les acides organiques, largement utilisés comme additifs, ont démontré leur capacité à améliorer la santé digestive et à réduire la charge microbienne pathogène dans les aliments et les systèmes de production animale (**Cherrington et al., 1991; Dibner et Buttin, 2002**).

En conclusion, les additifs alimentaires sont soumis à un cadre réglementaire strict qui assure leur innocuité, leur efficacité et leur transparence pour répondre aux attentes des consommateurs et aux exigences sanitaires des produits alimentaires (**Regulation (EC) No 178/2002, 2002; Marie, 2014**).

### 6 Utilisation comme alternative aux antibiotiques :

Depuis le 1er janvier 2006, l'Union européenne (UE) a interdit l'utilisation des antibiotiques comme facteurs de croissance dans l'alimentation animale, en raison des risques potentiels qu'ils posent pour la santé animale et la sécurité alimentaire, conformément à l'article 11-2 du règlement (CE) n° 1831/2003. Cette mesure a encouragé le développement d'alternatives non antibiotiques, notamment des additifs destinés à un usage prophylactique contre les agents pathogènes ou en tant que promoteurs de croissance (**Papatsiros & al., 2013**).

Parmi ces alternatives, les acides organiques se distinguent par leurs propriétés antimicrobiennes, tout en offrant des avantages significatifs pour la santé intestinale et le développement des animaux, ce qui se traduit par une amélioration de leur santé globale et de leur productivité. Utilisés comme acidifiants dans les aliments pour le bétail, ces composés optimisent la digestibilité des nutriments et agissent comme de véritables substituts aux antibiotiques.

En outre, les acides organiques possèdent des effets supplémentaires qui vont au-delà des fonctions des antibiotiques. Ils abaissent le pH du tractus gastro-intestinal, stimulent la sécrétion pancréatique et favorisent ainsi une meilleure digestion des protéines et une absorption accrue des nutriments essentiels ; leur supplémentation améliore également la ruminat, ce qui contribue à une absorption optimale des nutriments (**Nguyen & al., 2020**).

L'efficacité des acides organiques repose sur plusieurs mécanismes, notamment :

- Leur activité antibactérienne sous forme non dissociée ;
- La réduction du pH dans le tractus digestif, en particulier dans l'estomac, favorisant la digestion des protéines et ralentissant le vidage gastrique ;
- La stimulation de la sécrétion et de l'activité enzymatique dans l'intestin grêle ;
- Leur rôle nutritif pour les tissus intestinaux, renforçant ainsi l'intégrité et les fonctions de la muqueuse intestinale (**De Lange & al., 2010**).

Ces mécanismes confèrent aux acides organiques un rôle essentiel dans l'amélioration de la santé animale, tout en répondant aux préoccupations liées à l'abandon des antibiotiques comme facteurs de croissance.

L'utilisation d'antibiotiques en tant que promoteurs de croissance dans la nutrition animale a considérablement contribué à l'amélioration des performances zootechniques et à la prévention des maladies. Cependant, cette pratique a soulevé d'importantes préoccupations en matière de biosécurité, notamment en raison de l'émergence et de la propagation de résistances antimicrobiennes chez les

pathogènes, ainsi que de l'accumulation de résidus d'antibiotiques dans les produits d'origine animale et dans l'environnement. Ces problématiques, identifiées comme des menaces majeures pour la santé humaine et animale par des organisations internationales telles que l'OMS, l'OIE et la FAO, ont conduit à une réévaluation de l'utilisation des antibiotiques dans l'alimentation animale.

En réponse à ces préoccupations, l'Union européenne a, dès 2006, interdit l'utilisation systématique des antibiotiques comme facteurs de croissance dans la nutrition animale, conformément à une réglementation visant à limiter leurs impacts négatifs (**Mohamed, 2011**).

La sélection et la combinaison des acides organiques dépendent de l'objectif prioritaire visé par l'éleveur, qu'il s'agisse d'améliorer les performances zootechniques, de renforcer la santé animale ou d'optimiser la rentabilité économique. Une approche sélective et stratégique est essentielle pour garantir un spectre d'action large et une efficacité optimale (**Barbara, 2009**).

### Conclusion et perspectives :

En conclusion, il est clair que le mélange d'acides organiques exerce une influence significative sur la qualité du lait chez les vaches laitières. La présence naturelle de ces acides dans le lait, ainsi que leur rôle dans la détermination de sa saveur, de son pH, de ses caractéristiques physico-chimiques, de sa stabilité microbiologique et de sa texture, en fait des éléments essentiels pouvant avoir un impact direct sur le processus de digestion et l'absorption des nutriments, et par conséquent sur la production, le rendement laitier et la qualité du produit final. De plus, la compréhension des interactions entre les acides organiques et les autres composants du lait constitue une nécessité pour optimiser les procédés de production et améliorer la qualité du lait. Par ailleurs, la maîtrise du niveau de ces acides dans le lait contribue à garantir sa sécurité et sa stabilité, tout en répondant aux attentes des consommateurs en matière de goût, de texture et de valeur nutritionnelle. Ainsi, l'intégration de l'impact des acides organiques dans les stratégies d'amélioration de la qualité du lait apparaît indispensable pour une exploitation optimale des ressources laitières et l'obtention de produits de haute qualité.

Il convient de souligner que l'effet des acides organiques sur la qualité du lait peut varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment le type d'acide organique, la dose utilisée, le régime alimentaire adopté et l'état de santé général de la vache.

Dans le cadre des perspectives futures pour l'amélioration de la qualité du lait chez les vaches, nous proposons ce qui suit :

- **Le développement d'additifs alimentaires à base d'acides organiques**, destinés au traitement du lait afin d'en améliorer la qualité, en renforçant sa résistance aux altérations microbiennes et en prolongeant sa durée de conservation.
- **L'exploration de formules spécifiques d'acides organiques**, pouvant ouvrir de nouvelles perspectives pour une amélioration qualitative du lait, que ce soit au niveau de ses propriétés physico-chimiques, de ses caractéristiques sensorielles, de sa stabilité ou de sa valeur nutritionnelle.

En combinant ces pistes avec des recherches approfondies, il devient possible d'apporter des améliorations notables à la qualité du lait chez les vaches, en exploitant le potentiel des acides organiques de manière innovante et plus efficace.

**REFERENCES :**

1. ABDELA, N. (2016). Acidose ruminale subaiguë (SARA) et ses conséquences chez les vaches laitières : une revue des recherches passées et récentes à l'échelle mondiale. *Achievements in the Life Sciences*, 10(2), 187-196.
2. ABED, Ahmed H., et al. (2021). Subclinical mastitis in selected bovine dairy herds in North Upper Egypt: Assessment of prevalence, causative bacterial pathogens, antimicrobial resistance and virulence-associated genes. *Microorganisms*, 9(6), 1175. DOI: 10.3390/microorganisms9061175.
3. ALKHAYYAT, Fahad ; YU, Jae-Hyuk. (2014). Upstream Regulation of Mycotoxin Biosynthesis. *Advances in Applied Microbiology*, 86, 251-278. DOI: 10.1016/B978-0-12-800262-9.00005-6.
4. AMELLAL R. (1995). La filière lait en Algérie : entre l'objectif de sécurité alimentaire et la réalité de la dépendance. *Options méditerranéennes*, série B, 14 : 229-238.
5. BIOMIN GmbH. (2008, 8 septembre). Les mycotoxines chez les vaches laitières : un danger pour les vaches, les éleveurs et les consommateurs.
6. BLAUW, H., den Hertog, G., & Koeslag, J. (2008). L'élevage de vaches laitières: Plus de lait grâce à une meilleure gestion. Fondation Agromisa et CTA. ISBN Agromisa: 978-90-8573-103-0, ISBN CTA: 978-92-9081-391-0.
7. BORUTOVA, R. (2020). 10 signes d'alerte des mycotoxines dans votre troupeau de vaches laitières. Alltech Mycotoxin Management.
8. BRADY, B., DILLARD, L., & MOSS, B. R. (2021). Gestion et soins des vaches taries. Alabama Extension. <https://www.aces.edu>.
9. BRAMLEY, E., et al. (2008). Définition de l'acidose dans les troupeaux laitiers principalement nourris à base de pâturages et de concentrés. *Journal of Dairy Science*, 91(1), 308-321. DOI: 10.3168/jds.2007-0302.
10. BRYDEN, W.L. (2012). Contamination par les mycotoxines de la chaîne d'approvisionnement en aliments: Implications pour la productivité animale et la sécurité des aliments pour animaux. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2), 134-158. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2012.01.001.
11. BUCHANAN, D.S. (2016). Major Bos taurus Breeds. *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Third edition), 106-115. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.00624-7.
12. CATTANEO, L., et al. (2023). Revue bibliographique: le défi du tarissement chez les vaches à haut rendement laitier. *Journal of Dairy Science*, 106(9), 6416-6426. DOI: 10.3168/jds.2022-23113.
13. CATTINI, C. (2019). Réduire le risque de mycotoxines dans les aliments. IFIS, 4 novembre 2019.

14. CHAIRES BEA (2021). Bien-être animal. VetAgro Sup. DOI: 10.5281/zenodo.12914092.
15. CHARTON, C. (2017). Caractérisation de l'adaptation de la glande mammaire des vaches laitières à l'allongement de l'intervalle entre traites. Thèse de doctorat. Rennes: Agrocampus Ouest.
16. CHENG, Wei Nee ; HAN, Sung Gu. (2020). Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(11), 1699-1713. DOI: 10.5713/ajas.20.0156.
17. CHERRINGTON, C.A., et al. (1991). Organic acids: chemistry, antibacterial activity and practical applications. *Advances in Microbial Physiology*, 32, 87-108.
18. CNIEL. (2024). L'économie laitière en chiffres - Édition 2024. <https://www.cniel.fr>.
19. CORASSIN, C.H. ; DE OLIVEIRA, C.A.F. (2023). Mycotoxines dans l'industrie laitière. *Dairy*, 4(2), 392-394. DOI: 10.3390/dairy4020025.
20. DAILLOUX, M. (2022). Adaptation de la ration des vaches laitières en période de tarissement.
21. DRIEHUIS, F., et al. (2008). Apparition des mycotoxines dans les aliments pour vaches laitières et estimation des apports alimentaires totaux. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4261-4271. DOI: 10.3168/jds.2008-1093.
22. EL-SAYED, R.A., et al. (2022). Vue d'ensemble des principales mycotoxines dans les produits alimentaires: caractéristiques, toxicité et analyse. *Journal of Future Foods*, 2(2), 91-102. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.03.002.
23. EULMI, H., et al. (2023). Pratiques d'élevage de bovins laitiers, production et contraintes dans les environnements bioclimatiques arides et semi-arides en Algérie. *International Journal of Environmental Studies*. DOI: 10.1080/00207233.2023.2228616.
24. FARMLAB DIAGNOSTICS. Comment la mammite affecte-t-elle la qualité et la production du lait? <https://farmlab.ie>.
25. FINK-GREMMELS, J. (2008). Le rôle des mycotoxines dans la santé et la performance des vaches laitières. *Vet. J.*, 176, 84-92.
26. FURLONG, E.B., et al. (2024). Atténuation des mycotoxines dans les aliments - Est-ce possible? *Foods*, 13(7), 1112. DOI: 10.3390/foods13071112.
27. GOLDER, H.M., & LEAN, I.J. (2008). L'acidose ruminale et sa définition - une revue critique. *Journal of Dairy Science*, 91(1), 308-321. DOI: 10.3168/jds.2007-0302.
28. GROOPMAN, J.D., et al. (2013). Sécurité alimentaire: Mycotoxines - Occurrence et effets toxiques. *Encyclopedia of Human Nutrition* (3e éd.), 337-341.
29. GUIDE DES ALIMENTS. Présence naturelle des acides organiques dans l'environnement et leur rôle dans l'alimentation. <https://www.guide-des-aliments.com>.

## Références

---

30. HALADI, S. (2020). L'impact des mycotoxines sur la santé et la productivité des vaches laitières. Webinaire.
31. HANZEN, C. (2007-2008). Anatomo-physiologie de la glande mammaire et du trayon de la vache laitière. <http://www.therioruminant.ulg.ac.be>.
32. HAXHIAJ, Klevis, et al. (2022). Mastitis: What It Is, Current Diagnostics, and the Potential of Metabolomics to Identify New Predictive Biomarkers. *Dairy*, 3(4), 722-746. DOI: 10.3390/dairy3040050.
33. INNOVATION CENTER FOR U.S. DAIRY. (2016). Comment traire une vache avec une machine à traire? <https://www.usdairy.com>.
34. INSTITUT DE L'ÉLEVAGE. (2000). Maladies des bovins: manuel pratique. [3e éd.]. Paris: Éd. France agricole. ISBN 2-85557-048-4.
35. INSTITUT DE L'ÉLEVAGE. (2008). Maladies des bovins. 4e éd. Paris: France Agricole. ISBN 978-2-85557-149-2.
36. IRAGUHA, B. (2023). Stratégies de contrôle de la mammite bovine avec un accent sur les pays en développement. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.112348.
37. KEMBOI, D.C., et al. (2021). Une revue de l'impact des mycotoxines sur la santé des vaches laitières: défis pour la sécurité alimentaire et la production laitière en Afrique subsaharienne. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 678678. DOI: 10.3389/fvets.2021.678678.
38. KERBACHE, Imene, et al. (2019). Étude socio-économique de l'élevage bovin à l'Est algérien. *Review of Economic Papers*, 3(1), 802.
39. KHAN, R., et al. (2024). Revue complète des mycotoxines: toxicologie, détection et approches efficaces de mitigation. *Heliyon*, 10(8), e28361. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28361.
40. KOK, A., et al. (2019). Durée de la période sèche chez les vaches laitières: conséquences métaboliques, bien-être et stratégies de gestion personnalisées. *Animal*, 13(Supplément 1), s42-s51. DOI: 10.1017/S1751731119001174.
41. KROGH, P. (1978). Mycotoxicoses of animals. *Mycopathologia*, 65, 43-45.
42. LAUMONNIER, G. (2006). L'alimentation de la vache laitière au tarissement: tarissement, période sèche et préparation au vêlage. *Le Point Vétérinaire*, 267.
43. LA-VIANDE.FR. L'alimentation des bovins. <https://www.la-viande.fr>.
44. LE COZLER, Y., et al. (2009). Pratiques d'élevage et performances des génisses laitières: état des connaissances et perspectives. *Productions Animales*, 22(4), 303-316. DOI: 10.20870/productions-animales.2009.22.4.3356.
45. LEITE, Marta, et al. (2023). Mycotoxines dans le lait bovin cru: méthode UHPLC-QTrap-MS/MS comme outil de contrôle de la biosécurité. *Dairy*, 4(2), 392-394. DOI: 10.3390/dairy4020025.

## Références

---

46. LYNCH, G.P. (1972). Mycotoxines dans les aliments pour animaux et leur effet sur les vaches laitières. *Journal of Dairy Science*, 55(9), 1243-1255.
47. MATHIEU, Jacques. (1999). *Initiation à la physicochimie du lait*. Paris: Tec & Doc. ISBN 2-7430-0263-4.
48. MAVROMMATIS, A., et al. (2021). Impact des mycotoxines sur le statut oxydatif des animaux. *Antioxidants*, 10(2), 214. DOI: 10.3390/antiox10020214.
49. MEYNADIER, A., et al. (2019). La digestion ruminale des aliments. *Planet-Vie*. <https://planet-vie.ens.fr>.
50. MILLS, O., & DZIDIC, A. (2016). Gestion des animaux laitiers: Brebis - Gestion de la traite. *Encyclopédie des sciences laitières* (3e éd.), 18-33. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.00827-1.
51. MORAN, J. (2015). Gestion des cycles de lactation chez la vache. *Asia Dairy Network*. <https://www.thecattlesite.com>.
52. MULTON, Jean-Louis. (1982). *Le lait*. Lausanne: Payot. ISBN 2-601-00825-7.
53. NARVÁEZ-SEMANATE, J.L. ; DAZA-BOLAÑOS, C.A. (2022). Méthodes diagnostiques de la mastite subclinique dans le lait bovin: un aperçu. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(3). DOI: 10.15446/rfnam.v75n3.100520.
54. NEDJRAOUI D. (2001). *Profil fourrager*. Alger: INRA. 37 p.
55. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. (2023). *Mycotoxines*. <https://www.who.int>.
56. PATEL, H.K., et al. (2021). Prévention et contrôle des mycotoxines pour la sécurité alimentaire et la sécurité des aliments pour humains et animaux. Dans *Fungi Bio-Prospects in Sustainable Agriculture, Environment and Nano-technology*, 3, 315-345.
57. PAYOT. *Le lait*. Lausanne: Payot. (Année non précisée).
58. PÉREZ-ALVARADO, M.A. & J.C. Organic Acids, with emphasis on Benzoic Acid, to rationalize the use of therapeutic antibiotics. Engormix. <https://en.engormix.com>.
59. PETERS, M.D.P., et al. (2015). Impact des mastites subcliniques et cliniques sur la sensibilité à la douleur des vaches laitières. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/S1742761515000845.
60. PIEPERS, S. (2025). Bactéries environnementales et infections en élevage laitier. Plan National Antibiotiques (PNA).
61. PLEADIN, J., et al. (2019). Mycotoxines dans les aliments et les aliments pour animaux. *Advances in Food and Nutrition Research*, 89, 297-345.
62. PONCIN, Marie. (2020). L'alimentation des bovins: une vache ça mange quoi? Celagri. <https://www.celagri.be>.

## Références

---

63. RAJKUMAR, C.P. Princely. (2008). Méthodes de traite. AC&RI, Madurai.
64. RAJKUMAR-SCHULTZ, P.J., et al. (2018). Effet de la méthode d'arrêt de la traite sur l'activité comportementale des vaches laitières. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 3261-3270. DOI: 10.3168/jds.2017-13588.
65. RASHEED, H.U. (2017). Use of Organic Acids in Poultry Industry. Mian Group Of Companies. <https://www.pig333.com>.
66. RÉMY, Dominique. (2010). Les mammites: guides. Paris: France Agricole. ISBN 978-2-85557-171-3.
67. ROCHA, M.E.B. da, et al. (2014). Mycotoxines et leurs effets sur la santé humaine et animale. *Food Control*, 36(1), 159-165. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.08.021.
68. SAGORIN, S. (2021). La traite des vaches: les 5 principes à respecter.
69. SAUVANT, D., & PEYRAUD, J.-L. (2010). Calcul des rations et évaluation du risque d'acidose. INRA Productions Animales, 23(4), 333-342.
70. VIGNOLA, Carole L. (2002). Science et technologie du lait: transformation. Québec: Presses de l'Université Laval. ISBN 2-7637-7886-7.
71. VUILLEMARD, Jean-Christophe. (2010). Science et technologie du lait. 3e éd. Paris: Tec & Doc Lavoisier.
72. WIELAND, Matthias. (2024). Mastitis in Cattle. The MSD Veterinary Manual. <https://www.msdbvetmanual.com>.
73. YOUSSEF, Nesrine H., et al. (2021). Mycotoxines dans le lait: apparition et évaluation de certaines tentatives de détoxicification. *Toxins*, 13(8), 505-518. DOI: 10.3390/toxins13080505.
74. ZALEWSKA, Magdalena, et al. (2025). The quality and technological parameters of milk obtained from dairy cows with subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 108(2), 1285-1300. DOI: 10.3168/jds.2024-23456.
75. Codex Alimentarius. (2011). Code of Practice for the Use of Animal Feed Additives. FAO/WHO.
76. EFSA. (2021). Guidance on the transparency of the scientific aspects of risk assessment. EFSA Journal.
77. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (2019). Evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Technical Report Series.
78. Règlement (CE) n° 1333/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 sur les additifs alimentaires.

## Références

---

79. Règlement (CE) n° 178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux de la législation alimentaire.