

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Blida 1



Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de science alimentaire
Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en
Spécialité : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité

Thème :

Évaluation de l'effet de la supplémentation en *Saccharomyces cerevisiae* sur la qualité physico-chimique du lait chez la vache laitière

Réalisé par :

SAADOU Kamel

TOUIDJ Youcef

AYEB Anes

Devant le jury :

MEGATLI Smail	Professeur	Président
KADRI Brahim	MCB	Examineur
OUCHENE Nassim	Professeur	Promoteur
DAHMANI Radia	Doctorante	Co-promotrice

Année universitaire : 2024/2025

Résumé

Cette étude a évalué les effets de la supplémentation alimentaire en *Saccharomyces cerevisiae* sur les paramètres de qualité du lait chez des vaches laitières pendant une période de 60 jours. Quinze vaches ont été réparties en trois groupes recevant respectivement 0 g (témoin), 5 g ou 10 g de *S. cerevisiae* par jour. Des échantillons de lait ont été analysés pour déterminer le pH, la teneur en matières grasses, en protéines et en lactose. Les résultats ont révélé une amélioration significative de la composition biochimique du lait liée à la supplémentation en levure. Le pH du lait est resté stable, autour de 6,7, témoignant d'une meilleure stabilité acido-basique. La teneur en matières grasses a presque doublé, passant de 1,88 % à 3,99 % ($p < 0,001$), tandis que les taux de protéines et de lactose ont augmenté respectivement de 3,29 % à 3,69 % ($p < 0,001$) et de 4,93 % à 5,32 % ($p < 0,001$). Les analyses statistiques (ANOVA et tests robustes) ont confirmé l'effet significatif de la levure sur tous les paramètres, à l'exception des protéines, pour lesquelles la différence entre les doses de 5 g et 10 g n'était pas significative. Ces résultats suggèrent que *S. cerevisiae* constitue un additif probiotique efficace pour améliorer la qualité biochimique du lait, la dose de 5 g par jour apparaissant comme la plus bénéfique. Les conclusions confirment les travaux antérieurs sur l'effet positif de la levure sur la performance laitière.

Mot-clés : Probiotique, *Saccharomyces cerevisiae*, Vache, Lait, Lactose, pH, Protéines

Abstract :

This study evaluated the effects of dietary *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on milk quality parameters in dairy cows over a 60-day period. Fifteen cows were divided into three groups receiving 0 g (control), 5 g, or 10 g of *S. cerevisiae* per day, respectively. Milk samples were analyzed for pH, fat, protein, and lactose content. The results revealed a significant improvement in the biochemical composition of milk with yeast supplementation. The pH of the milk remained stable at around 6.7, indicating improved acid–base stability. Fat content nearly doubled, from 1.88% to 3.99% ($p < 0.001$), while protein and lactose levels increased from 3.29% to 3.69% ($p < 0.001$) and from 4.93% to 5.32% ($p < 0.001$), respectively. Statistical analyses (ANOVA and robust tests) confirmed the significant effect of yeast on all parameters except protein, for which the difference between the 5 g and 10 g doses was not significant. These results suggest that *S. cerevisiae* is an effective probiotic additive for improving the biochemical quality of milk, with the 5 g per day dose appearing to be the most beneficial. The findings confirm previous work on the positive effect of yeast on dairy performance.

Keywords: Probiotic, *Saccharomyces cerevisiae*, Cow, Milk, Lactose, pH, Proteins

الملخص

قيمت هذه الدراسة آثار إضافة الخميرة الغذائية *Saccharomyces cerevisiae* على معايير جودة حليب الأبقار الحلوب على مدى 60 يومًا. قُسمت خمس عشرة بقرة إلى ثلاث مجموعات تلقت 0 غرام (مجموعة ضابطة)، أو 5 غرامات، أو 10 غرامات من الخميرة يوميًا، على التوالي. حُللت عينات الحليب من حيث الرقم الهيدروجيني (pH)، والدهون، والبروتين، واللاكتوز. أظهرت النتائج تحسُّنًا ملحوظًا في التركيب الكيميائي الحيوي للحليب مع إضافة الخميرة. ظل الرقم الهيدروجيني للحليب مستقرًا عند حوالي 6.7، مما يشير إلى تحسن في التوازن الحمضي-القاعدي. تضاعف محتوى الدهون تقريبًا، من 1.88% إلى 3.99% ($p < 0.001$)، بينما ارتفعت مستويات البروتين واللاكتوز من 3.29% إلى 3.69% ($p < 0.001$) ومن 4.93% إلى 5.32% ($p < 0.001$)، على التوالي. أكدت التحليلات الإحصائية (تحليل التباين والاختبارات المتينة) التأثير الكبير للخميرة على جميع المعايير باستثناء البروتين، حيث لم يكن الفرق بين جرعتي 5 غ و 10 غ ذا دلالة إحصائية. تشير هذه النتائج إلى أن خميرة الخميرة تُعد مُضادًا بروبيوتيكًا فعالًا لتحسين الجودة الكيميائية الحيوية للحليب، ويبدو أن جرعة 5 غ يوميًا هي الأكثر فائدة. تؤكد هذه النتائج الدراسات السابقة حول التأثير الإيجابي للخميرة على أداء منتجات الألبان.

الكلمات المفتاحية: بروبيوتيك، خميرة الخميرة، بقرة، حليب، لاکتوز، درجة الحموضة، بروتينات

Remerciement

Nous rendons avant tout grâce à Dieu le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la volonté et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Sa bénédiction, cette réalisation n'aurait pas été possible.

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans le soutien indéfectible de nombreuses personnes, à qui nous tenons à exprimer notre profonde gratitude.

Nous remercions tout d'abord notre encadrants, Mr. OUCHENE Nassim, et Mme. DAHMANI Radia pour sa bienveillance, sa patience et ses précieux conseils. Sa rigueur scientifique et ses encouragements ont constitué une véritable source de motivation pour nous trois.

Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury, pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de notre travail ainsi que pour leurs remarques enrichissantes.

Nous exprimons aussi notre reconnaissance à l'ensemble des enseignants et du personnel administratif de SAAD DAHLEB BLIDA 1 département de SCIENCE ALIMENTAIRE pour leur accompagnement tout au long de notre parcours académique.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à la **Ferme de l'Hadj Brahim** ainsi qu'à l'**entreprise Tlemcani Agro** pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et leur accompagnement tout au long de notre stage.

Nous n'oublions pas nos camarades de promotion, avec qui nous avons partagé questionnements, défis et rires ; merci pour votre solidarité et vos encouragements.

Enfin, nous dédions ce mémoire à nos familles et à nos proches. Votre amour, votre confiance et votre soutien inestimable nous ont portés à chaque étape. Ce travail est aussi le vôtre.

Dédicase

À nos familles respectives, pour leur amour inconditionnel, leur soutien silencieux mais profond, et leur présence constante même dans l'ombre.

À nos parents, piliers de notre parcours, pour les sacrifices innombrables, les prières murmurées et la foi inébranlable qu'ils ont placée en nous.

À nos ami(e)s de toujours, pour leurs mots encourageants, leur écoute sincère et les instants partagés qui nous ont portés.

Et à toutes celles et ceux qui ont croisé notre route et ont, d'une manière ou d'une autre, nourri cette belle aventure intellectuelle et humaine : ce mémoire vous est dédié.

Tables des matières

Résumé	
Abstract :	
الملخص	
Remerciement.....	
Dédicase	
Tables des matières	
Liste des figures.....	
Listes des Tableaux	
Introduction :	1
Chapitre 01 : Revue de littérature.....	4
1. Généralités sur la production laitière chez la vache :	4
1.1. Facteurs influençant la production laitière	4
1.1.1. Facteurs génétiques	5
1.1.2. Facteurs nutritionnels	5
1.1.3. Facteurs environnementaux et de gestion	8
1.2. Besoins nutritionnels de la vache laitière	9
1.2.1. Rôle des macro-éléments dans la nutrition de la vache laitière	9
1.2.2. Importance des micro-éléments pour la santé et la productivité	10
1.2.3. Ajustement des apports nutritionnels	10
1.3. Importance de la qualité du lait	11
2. Les probiotiques	12
2.1. Définition et historique.....	12
2.2. Mécanismes d'action dans le tube digestif des ruminants	13
2.3. Principales souches utilisées en élevage	15
2.3.1. Lactobacillus : des probiotiques polyvalents.....	15
2.3.2. Bifidobacteriums	16
2.3.3. Saccharomyces cerevisiae	16
2.3.4. Bacillus spp. : Probiotiques sporulés pour la stabilité et la longévité	16
2.3.5. Souches émergentes : Akkermansia et Faecalibacterium.....	16
2.4. Les critères de sélection des souches probiotiques	17
2.5. Supplémentation en probiotiques chez les bovins laitiers.....	17
2.5.1. Les voies d'administration	17
2.5.2. Les effets attendus	18

2.5.3. Recherches antérieures et résultats observés	19
3. Impact des probiotiques sur la qualité du lait	21
3.1. Aperçu globale sur l'influence des probiotiques sur les différents paramètres	21
3.2. Les effets sur les paramètres physico-chimiques du lait	21
3.2.1. pH et acidité.....	22
3.2.2. Teneur en matières grasses	22
3.2.3. Composition des protéines	23
3.2.4. Teneur en lactose.....	23
3.2.5. Charge microbienne	23
3.2.6. Teneur en minéraux.....	24
3.3. Impacts microbiologiques potentiels.....	24
3.4. Les intérêts nutritionnels et technologiques	25
Matériel et méthodes	28
1. But et principe de l'expérimentation	28
2. Matériel animal.....	28
3. Matériel microbien	28
4. Site de l'expérimentation.....	28
5. Plan expérimental	29
6. Les paramètres physico-chimiques étudiés	29
7. Traitement des données et analyse statistique	31
Résultats et discussion.....	33
Résultat.....	33
1. Effet de la supplémentation du probiotiques en fonction de la période	33
1.1. Les données descriptives	33
1.2. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Lactose du lait durant 60 jours.....	34
1.3. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur le pH du lait durant 60 jours	35
1.4. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Protéines du lait durant 60 jours.	36
1.5. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Matière grasse du lait durant 60 jours.....	37
1.6. Test d'homogénéité (Levene's test)	38
1.7. Analyse one-way Anova	38
1.8. Test robuste d'égalité des moyennes	40
2. Effet de la supplémentation du probiotiques en fonction de la concentration (g).....	40

2.1. Les données descriptives	41
2.2. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur le pH en fonction de la concentration en (g)	42
2.3. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en lactose en fonction de la concentration en (g).	43
2.4. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en protéines du lait en fonction de la concentration en (g).....	44
2.5. Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Matière grasse en fonction de la concentration en (g)	45
2.6. Test d'homogénéité (Levene's test)	46
2.7. Analyse one-way Anova	47
2.8. Test robuste d'égalité des moyennes	48
Discussion	49
Conclusion générale	53
Les références bibliographiques	56

Liste des figures

Figure 1: Production de lait chez les vaches dans les fermes modernes (Starblends website, 2020).....	4
Figure 2: Les recommandations nutritionnelles pour les vaches laitières à différents stades de lactation et de gestation (Datt, 2015).....	11
Figure 3: Probiotiques et durabilité laitière bovine : Amélioration du rendement par la modulation du microbiote intestinal (La clinique DDG, 2022).	13
Figure 4: Mécanismes d'action des probiotiques dans le tube digestif des ruminants (Tiwari et al., 2012).....	15
Figure 5: La supplémentation en probiotiques dans l'alimentation des vaches laitières selon la méthode traditionnelle (Azarpajouh Daily-global website, 2023).	18
Figure 6: Influence des probiotiques sur l'efficacité de la production du lait de la vache (Varada & Kumar, 2024).....	26
Figure 7: Analyse de la qualité du lait avec le Lactoscan SP1 en laboratoire.....	30
Figure 8: Mesure du pH du lait avec le pH-mètre Milwaukee MW102 en laboratoire.	31
Figure 9 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Lactose du lait durant 60 jours.....	35
Figure 10 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur le pH du lait durant 60 jours.	35
Figure 11 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Protéines durant 60 jours.	36
Figure 12: Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Matière grasse durant 60 jours.	37
Figure 13 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur le pH en fonction de la concentration en (g).	43
Figure 14 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en lactose du lait en fonction de la concentration en (g).	44
Figure 15 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en protéines du lait en fonction de la concentration en (g).....	45
Figure 16: Effet de la supplémentation en probiotique à base de <i>saccharomyces cerevisiae</i> sur la teneur en Matière grasse en fonction de la concentration en (g).	46

Listes des Tableaux

Table 1: Critères de sélection utilisés pour le screening des probiotiques (NOUSIAINEN et al., 2004).....	17
Table 2: Résumé des études sur l'impact des probiotiques sur les paramètres physico-chimiques du lait	24
Table 3: Composition journalière de la ration unifeed distribuée aux vaches laitières pendant l'expérimentation.....	29
Table 4: Paramètres physico-chimiques du lait analysés et méthodes d'analyse associées.....	30
Table 5: Les statistiques descriptives des différents paramètres physico chimiques en fonction de la période d'échantillonnage	33
Table 6: Résultats du test de Levenes pour les paramètres physico-chimiques en fonction de la période d'échantillonnage.	38
Table 7: Résultats du test one-way Anova pour les paramètres physico-chimiques en fonction de la période d'échantillonnage.	39
Table 8: Résultats des tests robustes d'égalité des moyennes	40
Table 9: Résultats des statistiques descriptives pour les paramètres physico-chimiques en fonction des la dose.	41
Table 10: Résultats du test de Levene's pour les paramètres physico-chimiques en fonction des la dose.	46
Table 11: Résultats du test one-way Anova pour les paramètres physico-chimiques en fonction des la dose.	47
Table 12: Résultats des tests robustes pour les paramètres physico-chimiques en fonction des la dose.....	48

Introduction

Introduction :

La production laitière constitue un pilier essentiel de l'économie agricole mondiale, avec des enjeux majeurs liés à l'optimisation des performances des vaches laitières et à la qualité du lait (Bargo et al., 2003). Cette activité repose sur une combinaison complexe de facteurs génétiques, nutritionnels, et de gestion, qui influencent directement la productivité et la rentabilité des élevages. Les facteurs clés incluent la génétique des animaux, la formulation des rations alimentaires, les conditions d'élevage (logement, stress thermique), et la santé ruminale (Eastridge, 2006). Les besoins nutritionnels des vaches laitières, notamment en énergie, protéines, minéraux et vitamines, doivent être scrupuleusement respectés pour soutenir une lactation optimale tout en préservant la santé métabolique de l'animal (NRC, 2001). Par ailleurs, la qualité physico-chimique du lait caractérisée par des paramètres tels que le taux de matières grasses, de protéines, le pH, l'acidité, et la stabilité microbiologique est un critère déterminant pour son utilisation dans les industries fromagères et laitières, ainsi que pour sa conformité aux normes sanitaires internationales (Lucey & Kelly, 1994 ; EU Regulation 853/2004).

Ces dernières décennies, face aux défis de l'antibiorésistance et de la demande croissante pour des pratiques d'élevage durables, les probiotiques ont émergé comme une alternative prometteuse aux additifs chimiques et antibiotiques. Définis par l'OMS comme des « microorganismes vivants qui, administrés en quantités adéquates, confèrent un bénéfice pour la santé de l'hôte » (Hill et al., 2014), les probiotiques agissent en modulant le microbiote digestif, en renforçant la barrière intestinale, et en stimulant l'immunité systémique (Gaggia et al., 2010). Chez les ruminants, leur utilisation cible principalement le rumen, un écosystème microbien complexe où la dégradation des fibres et la synthèse d'acides gras volatils (AGV) déterminent l'efficacité alimentaire et la production laitière (Morgavi et al., 2010). Des souches telles que *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium animalis*, et *Saccharomyces cerevisiae* ont démontré leur capacité à stabiliser le pH ruminal, à réduire les risques d'acidose subclinique, et à améliorer la digestibilité des nutriments (Chaucheyras-Durand et al., 2010 ; Sun et al., 2013). Cependant, les effets de ces suppléments sur la qualité physico-chimique du lait notamment sur les teneurs en matières grasses et protéines, la composition en acides gras, ou la réduction des pathogènes comme *Staphylococcus aureus* restent insuffisamment explorés et souvent contradictoires dans la littérature (Tesfay et al., 2019 ; Ponnampalam et al., 2024).

La supplémentation en probiotiques chez les bovins laitiers peut être administrée via différentes voies (aliment, eau, bolus ruminal), chacune présentant des avantages et des limites en termes de praticité, de stabilité des souches, et de biodisponibilité (McAllister et al., 2011). Bien que des études aient rapporté des améliorations significatives de la production laitière (jusqu'à +15 % selon les souches et les conditions d'élevage), les mécanismes sous-jacents à ces résultats tels que l'interaction entre les probiotiques et le microbiote indigène, ou leur impact sur le métabolisme hépatique et mammaires nécessitent des clarifications (Stefańska et al., 2022). De plus, l'hétérogénéité des protocoles expérimentaux (durée de supplémentation, doses, souches utilisées) complique la généralisation des conclusions, soulignant le besoin de recherches standardisées et multidisciplinaires.

Ce travail vise à combler ces lacunes en évaluant de manière holistique l'effet de la supplémentation en probiotiques sur les performances laitières et la qualité du lait chez les vaches laitières. Au-delà d'une revue de littérature exhaustive, ce travail inclut une étude expérimentale originale menée sur un troupeau laitier, combinant des analyses zootechniques et biochimiques. Trois axes structureront cette recherche :

Chapitre 1 Revue de littérature : Synthèse des connaissances antérieures sur la production laitière chez la vache, les facteurs influençant la production laitière, les probiotiques, leurs mécanismes d'action, leurs impacts sur la production et la qualité du lait, et les controverses scientifiques persistantes, ainsi que les effets de la supplémentation des probiotiques sur les paramètres physico-chimiques du lait.

Chapitre 2 Matériel et méthodes : Description détaillée du protocole expérimental : sélection des animaux, formulation des rations (Témoin, 5g, 10g), souche probiotique utilisée (*Saccharomyces cerevisiae*), voies d'administration, durée de l'essai, les méthodes d'analyse et le traitement statistique.

Chapitre 3 Résultats et discussion : Présentation des données collectées sur la production laitière, les paramètres physico-chimiques du lait (matières grasses, protéines, lactose, pH). Une discussion critique comparera ces résultats aux études antérieures.

En conclusion, cette thèse ambitionne de fournir des recommandations basées sur des preuves pour l'utilisation des probiotiques en élevage laitier, tout en identifiant des pistes de recherche futures pour optimiser leur efficacité et leur rentabilité.

Chapitre 01 :

Revue de littérature

Chapitre 01 : Revue de littérature

1. Généralités sur la production laitière chez la vache :

La production laitière chez la vache est un processus biologique et physiologique sophistiqué, résultant de milliers d'années de domestication et de sélection génétique. Elle représente un pilier économique majeur pour de nombreux pays, notamment dans les régions spécialisées comme l'Europe, l'Amérique du Nord, et certaines zones d'Afrique et d'Asie (Berry et al., 2016). La lactation, déclenchée après le vêlage, est régulée par une interaction complexe d'hormones (prolactine, cortisol, hormone de croissance), de facteurs métaboliques, et de mécanismes cellulaires au niveau de la glande mammaire (Bauman & Currie, 1980). Cette section explore les fondements de la production laitière, en mettant l'accent sur les déterminants clés, les besoins nutritionnels des animaux, et l'importance de la qualité du lait dans la filière laitière.



Figure 1: Production de lait chez les vaches dans les fermes modernes (Starblends website, 2020).

1.1. Facteurs influençant la production laitière

La productivité laitière d'une vache résulte de l'interaction dynamique entre facteurs génétiques, nutritionnels, environnementaux et de gestion. Une compréhension approfondie de ces éléments est essentielle pour optimiser les rendements et garantir la durabilité des élevages (Gheorghe-Irimia et al, 2023).

1.1.1. Facteurs génétiques

Races laitières et potentiel génétique :

Les races spécialisées dans la production laitière, comme la Holstein-Friesian (rendement moyen de 10 000 kg/lactation), dominent les systèmes intensifs en raison de leur efficacité métabolique. En revanche, des races mixtes ou rustiques, telles que la Normande ou la Brown Swiss, privilégient un équilibre entre production laitière et qualité fromagère (Metaxas et al., 2016).

Génomique et sélection assistée :

Les avancées en génomique (GWAS, CRISPR) ont permis d'identifier des marqueurs génétiques associés à des traits clés. Par exemple, le gène DGAT1 (acyl-CoA:diacylglycérol acyltransférase) influence directement la synthèse des matières grasses du lait, tandis que le gène ABCG2 est lié à la sécrétion des protéines (Fink et al., 2020 ; Ma et al., 2021). Des programmes de sélection comme le PTA (Predicted Transmitting Ability) aux États-Unis optimisent ces traits pour les générations futures (Ruelle et al., 2019).

Héritabilité et variabilité :

L'héritabilité de la production laitière est estimée à 25-30 %, suggérant une forte influence des pratiques d'élevage et de l'environnement (Wahinya et al., 2020). Cependant, des traits comme la résistance aux mammites (*SCC: somatic cell count*) présentent une héritabilité plus faible (10-15 %), nécessitant une approche intégrée combinant génétique et gestion sanitaire (Narayana et al., 2023).

1.1.2. Facteurs nutritionnels

La production laitière chez la vache est fortement influencée par divers facteurs nutritionnels, notamment l'apport énergétique, la qualité des protéines alimentaires, et l'équilibre minéral selon le stade. Un apport énergétique insuffisant limite directement la production de lait, car l'énergie est nécessaire pour soutenir la synthèse du lait et le métabolisme général de l'animal (Bauman & Currie, 1980). De plus, la disponibilité et la qualité des protéines alimentaires influencent la production de lait en fournissant les acides aminés essentiels pour la synthèse des protéines laitières (National Research Council, 2001). Les minéraux comme le calcium et le phosphore jouent également un rôle clé, car ils sont indispensables à la contraction musculaire et à la santé osseuse, facteurs critiques durant la lactation (Kovacs, 2016). Un déséquilibre de ces nutriments peut non seulement réduire la production laitière, mais aussi affecter la santé de la vache, entraînant des troubles métaboliques tels que la fièvre vitulaire. Ainsi, une gestion

nutritionnelle rigoureuse est essentielle pour maximiser la productivité laitière tout en assurant le bien-être des animaux.

Besoins énergétiques : soutenir la lactation et l'entretien

L'énergie est le premier besoin nutritionnel des vaches laitières, car elle conditionne la capacité de l'animal à produire du lait et à maintenir ses fonctions vitales (NRC, 2001). En début de lactation, les vaches connaissent souvent un bilan énergétique négatif, car la demande énergétique dépasse l'ingestion alimentaire (Drackley, 1999). Un apport énergétique insuffisant augmente le risque de cétose et de perte de poids excessive (Butler, 2000). Il est donc essentiel d'adapter les rations en augmentant la densité énergétique avec des sources digestibles comme les glucides rapidement fermentescibles ou les graisses protégées (Palmquist & Jenkins, 1980).

Apports protéiques : pour la synthèse du lait

Les besoins en protéines augmentent fortement chez la vache laitière pour soutenir la synthèse des protéines du lait et la croissance cellulaire (Lee et al., 2012). L'équilibre entre l'azote dégradable dans le rumen et les protéines non dégradables est fondamental pour maximiser l'efficacité d'utilisation des nutriments (NRC, 2001). Un déficit protéique entraîne une réduction de la production de lait et une baisse de la teneur en protéines du lait (Broderick, 2003). À l'inverse, un excès de protéines peut nuire à la fertilité et entraîner un gaspillage azoté (Sinclair et al., 2014).

Rôle des minéraux et des vitamines

Les besoins en minéraux tels que le calcium, le phosphore, et le magnésium sont critiques pour le maintien de la santé osseuse, la prévention des maladies métaboliques et l'optimisation de la reproduction (Goff, 2008). Un déficit en calcium, notamment en période de transition, peut provoquer une hypocalcémie ou fièvre vitulaire (Reinhardt et al., 2011). Les vitamines liposolubles (A, D, E) sont également cruciales pour soutenir la croissance, l'immunité et la reproduction (Weiss, 1998). La supplémentation vitaminique devient indispensable en cas de fourrages de mauvaise qualité ou de stress oxydatif élevé.

Besoins en fibres : santé ruminale

Les fibres efficaces stimulent la mastication et la salivation, aidant ainsi à maintenir un pH ruminal stable indispensable pour la fermentation microbienne (Mertens, 1997). Une ration déficiente en fibres provoque une acidose ruminale, réduisant l'efficacité de digestion et affectant négativement la production laitière (Plaizier et al., 2008). Il est recommandé que la ration contienne au moins 30 % de fibres efficaces, adaptées en fonction de la taille des particules et de leur digestibilité (NRC, 2001).

Effet des lipides alimentaires sur la production laitière

L'ajout de lipides permet d'augmenter l'apport énergétique sans compromettre la consommation de matière sèche (Palmquist & Jenkins, 1980). Toutefois, il est nécessaire de ne pas dépasser 6 à 7 % de la matière sèche totale en graisses pour éviter des perturbations de la flore ruminale (Lock & Shingfield, 2004). L'utilisation de matières grasses protégées, notamment riches en oméga-3, peut également améliorer la fertilité et modifier favorablement le profil lipidique du lait (Loor et al., 2005).

1.1.2.5. Les stades de lactation et la composition de la ration alimentaire

1.1.2.5.1. Le stade de lactation :

Phase de démarrage (0-3 semaines post-vêlage) : Les besoins énergétiques dépassent souvent l'ingestion, entraînant un bilan énergétique négatif (NEB) (Gross et al., 2011). Ce déficit peut provoquer une mobilisation excessive des réserves adipeuses, augmentant les risques de cétose ou de stéatose hépatique (Drackley, 1999). Ensuite, Le pic de lactation chez les vaches laitières, qui survient généralement entre 4 et 12 semaines après le vêlage, est une période critique pour la production laitière. Durant cette période, les vaches atteignent leur production laitière quotidienne maximale, qui diminue ensuite progressivement jusqu'à la fin du cycle de lactation. Cette période se caractérise par une production laitière élevée et une augmentation correspondante des besoins en nutriments (Macaldowie, 2016 ; O'Brien & Guinee, 2022). En fin, la phase de déclin : Les besoins diminuent, permettant une récupération corporelle en vue du prochain cycle de reproduction (Managing Cow Lactation Cycles-siteweb, 2015).

1.1.2.5.2. Composition de la ration :

L'ensilage de maïs, riche en énergie, et le foin de luzerne, source de protéines, constituent des bases fourragères courantes, avec une teneur recommandée en NDF (Neutral Detergent Fiber) pour préserver la santé ruminale (Klevenhusen & Zebeli, 2021). Les compléments alimentaires, tels que les concentrés énergétiques (maïs, orge) et protéiques (tourteaux de soja et de colza), permettent d'ajuster les apports nutritionnels, tandis que l'ajout de lipides protégés, comme les sels de calcium d'acides gras, augmente la densité énergétique de la ration sans perturber la fermentation ruminale (Lock & Shingfield, 2004). Enfin, des additifs comme les levures vivantes (*Saccharomyces cerevisiae*) ou les tampons rumicaux (bicarbonate de sodium) contribuent à stabiliser le pH ruminal, réduisant ainsi les risques d'acidose (Chaucheyras-Durand et al., 2008).

1.1.3. Facteurs environnementaux et de gestion

Climat et conditions météorologiques

La production laitière est particulièrement sensible aux conditions climatiques extrêmes. Le stress thermique survient lorsque la température et l'humidité dépassent le seuil de confort thermique, généralement fixé autour de 25 °C selon l'indice température-humidité (THI) (Zimelman et al., 2009). Dans ces conditions, les vaches réduisent leur ingestion alimentaire pour limiter la production de chaleur métabolique, ce qui entraîne une baisse de la production de lait, parfois jusqu'à 40 % lors des fortes vagues de chaleur (West, 2003). Le stress thermique augmente également la fréquence respiratoire, perturbe la circulation sanguine vers la glande mammaire et réduit la fertilité, affectant ainsi à la fois la productivité et la reproduction. Des mesures telles que la ventilation, les brumisateurs et l'ombre artificielle sont nécessaires pour atténuer ces effets (Das et al., 2016).

Confort, logement et bien-être animal

Le confort et l'aménagement des bâtiments d'élevage sont essentiels pour optimiser la production laitière. Le type de sol (moelleux, antidérapant), la dimension des logettes, l'accès à l'eau potable et la qualité de la litière influencent directement le comportement des vaches, notamment leur temps de couchage (Cook & Nordlund, 2009). Une vache qui se couche suffisamment longtemps, soit environ 12 à 14 heures par jour, optimise sa circulation sanguine mammaire et augmente sa production de lait. Par ailleurs, un mauvais confort accroît le risque de boiteries et de mammites, principales causes de baisse de performance dans les troupeaux laitiers (Ferrari, 2014). Le respect du bien-être animal est aujourd'hui reconnu comme un facteur stratégique non seulement pour la productivité, mais aussi pour l'acceptabilité sociétale des pratiques d'élevage.

Gestion de la traite : technique, fréquence et hygiène

La traite est un moment clé dans la gestion de la production laitière. Une technique de traite inadéquate ou une irrégularité dans les horaires peut provoquer une vidange incomplète du pis, augmentant ainsi le risque d'infections mammaires (Smith et al., 1997). Une fréquence de traite plus élevée, par exemple trois fois par jour, peut augmenter la production quotidienne, car elle stimule plus fréquemment la libération d'ocytocine et la synthèse du lait (Amos et al., 1985). Toutefois, cette intensification doit être accompagnée d'une hygiène stricte pour limiter les infections. L'utilisation de robots de traite dans certains élevages modernes a également montré des effets positifs sur la production.

Gestion alimentaire, transitions nutritionnelles et alimentation de précision

L'alimentation représente environ 50 à 60 % des coûts totaux de production laitière et influence directement la performance des vaches. Une transition alimentaire progressive autour du vêlage est essentielle pour prévenir les troubles métaboliques comme l'acidose ruminale ou la cétose (Drackley, 1999). Le concept d'alimentation de précision permet aujourd'hui d'adapter les rations en temps réel selon les besoins de chaque vache, en utilisant des capteurs pour mesurer l'ingestion, l'activité et la production individuelle. Cela permet d'améliorer l'efficacité alimentaire, de réduire les coûts et d'augmenter la production laitière. De plus, l'ajustement de l'apport en micronutriments et en additifs (comme les levures ou les acides gras protégés) peut soutenir la santé du rumen et maximiser la conversion alimentaire en lait (González et al., 2018).

1.2. Besoins nutritionnels de la vache laitière

Les besoins nutritionnels de la vache laitière évoluent considérablement tout au long de la lactation, en fonction des changements physiologiques et de la production de lait (NRC, 2001). En début de lactation, les vaches font face à un bilan énergétique négatif, car leur ingestion alimentaire est insuffisante pour couvrir les énormes besoins énergétiques associés à la montée de lait (Drackley, 1999). Cette situation entraîne une mobilisation des réserves corporelles, notamment des lipides, pour soutenir la production, ce qui accroît le risque de troubles métaboliques tels que la cétose (Butler, 2000). À mesure que la lactation progresse et que la production de lait diminue, l'ingestion de matière sèche augmente, permettant ainsi de rétablir l'équilibre énergétique (Grummer, 1995). En fin de lactation, les besoins nutritionnels se stabilisent, mais une gestion attentive reste nécessaire pour éviter l'obésité avant le tarissement, qui prédispose aux troubles de la transition (Overton & Waldron, 2004). Ajuster avec précision l'apport en énergie, en protéines, en minéraux et en vitamines est essentiel pour soutenir la production laitière tout en préservant la santé et la reproduction des animaux (Goff, 2008).

1.2.1. Rôle des macro-éléments dans la nutrition de la vache laitière

Les macro-éléments, tels que le calcium, le phosphore, le magnésium, le potassium, et le sodium, sont essentiels pour assurer les fonctions vitales des vaches laitières et maintenir la production laitière optimale (NRC, 2001). Le calcium est particulièrement critique en période de transition pour prévenir la fièvre vitulaire, une hypocalcémie fréquente après le vêlage (Goff, 2008). Le phosphore participe à la synthèse des tissus et à la production d'énergie via le métabolisme des ATP, et son déficit peut entraîner une baisse de la fertilité et une diminution de la production laitière. Le phosphore est essentiel à des fonctions corporelles essentielles

comme la production d'ATP, la transduction du signal et la minéralisation osseuse. Environ 85 % sont stockés dans les os et les dents sous forme d'hydroxyapatite, 14 % se trouvent à l'intérieur des cellules et seulement 1 % sont présents dans les fluides extracellulaires, principalement sous forme de phosphate inorganique (Pi) (Serna & Bergwitz, 2020). Le magnésium joue un rôle dans la transmission nerveuse et la contraction musculaire, et un apport insuffisant peut provoquer la tétanie d'herbage, un trouble souvent observé chez les vaches pâturant des prairies jeunes et riches en potassium (Kemp & 't Hart, 1957). Un équilibre adéquat entre potassium et sodium est également crucial pour la régulation de l'équilibre hydrique et la fonction nerveuse (Block, 1984).

1.2.2. Importance des micro-éléments pour la santé et la productivité

Les micro-éléments, bien que nécessaires en très petites quantités, ont un impact majeur sur la santé immunitaire, la reproduction et la qualité du lait (Spears, 1996). Le zinc est impliqué dans la régénération cellulaire et la cicatrisation des tissus, et son insuffisance peut réduire la qualité de la peau et accroître la sensibilité aux infections (Miller et al., 1993). Le cuivre est indispensable pour l'activité de plusieurs enzymes, notamment celles impliquées dans la défense antioxydante ; une carence en cuivre peut entraîner une anémie et une altération du système immunitaire (Gengelbach et al., 1994). Le sélénium, souvent associé à la vitamine E, protège les cellules contre le stress oxydatif, et sa supplémentation réduit significativement l'incidence des mammites et améliore la fertilité (Weiss et al., 1997). D'autres oligo-éléments, tels que le manganèse et l'iode, jouent aussi des rôles critiques dans le métabolisme énergétique et la fonction thyroïdienne (Underwood & Suttle, 1999).

1.2.3. Ajustement des apports nutritionnels

Les besoins en macro-éléments et en microéléments varient selon le stade de lactation, nécessitant des ajustements précis pour éviter des déséquilibres nutritionnels (NRC, 2001). En début de lactation, l'accent est mis sur un apport élevé en calcium et en phosphore pour soutenir la forte demande de production laitière (Goff, 2008). En milieu de lactation, l'objectif est de maintenir un apport équilibré pour préserver la santé et la fertilité, tandis qu'en fin de lactation et pendant le tarissement, les niveaux de certains minéraux comme le potassium doivent être réduits pour prévenir les troubles métaboliques au prochain vêlage (Lean et al., 2006). Une supplémentation ciblée en micro-éléments est également nécessaire durant les périodes de stress ou de reproduction intensive pour soutenir la fonction immunitaire et hormonale (Spears & Weiss, 2008).

	Dry cow		Fresh cows 0 to 21d	Milk cows		
	Early	Close-up		Early 22 to 80d	Middle 80 to 200d	Late >200d
DMI (lbs)	28	22	40	52	49	42
CP %	13	15	19	18	16	14
*RDP:% of CP	70	60	60	62	64	68
UDP:% of CP	30	40	40	38	36	32
SIP:% of CP	35	30	30	31	32	34
TDN %	60	67	75	77	75	67
NE _L (Mcal/lb)	0.63	0.69	0.78	0.81	0.78	0.69
EE %	2	3	5	6	5	3
ADF%	30	24	21	19	21	24
NDF%	40	35	30	28	30	32
*NFC%	30	34	35	38	36	34
<i>*Ratio of NFC to RDP (% of DM) =3.5:1</i>						
Macro minerals, %						
Calcium	0.60	0.7(*1.4)	1.10	1.00	0.80	0.60
Phosphorous	0.26	0.30	0.50	0.46	0.42	0.36
Magnesium	0.16	0.2(*0.4)	0.33	0.30	0.25	0.20
Potassium	0.65	0.65	1.00	1.00	1.00	0.90
Sodium	0.10	0.05	0.33	0.30	0.20	0.20
Chloride	0.20	0.15(*0.8)	0.27	0.25	0.25	0.25
Sulfur	0.16	0.2(*0.4)	0.25	0.25	0.25	0.25
<i>*When anionic salts are used: mineral/anionic salt%</i>						
Vitamins, IU/day						
A	100,000	100,000	110,000	100,000	50,000	50,000
D	30,000	30,000	35,000	30,000	20,000	20,000
E	1,000	1,000	1,000	600	400	200

Figure 2: Les recommandations nutritionnelles pour les vaches laitières à différents stades de lactation et de gestation (Datt, 2015).

1.3. Importance de la qualité du lait

La qualité du lait revêt une importance capitale tant pour la rentabilité des exploitations laitières que pour la sécurité alimentaire des consommateurs (Fox & McSweeney, 1998). Un lait de haute qualité, caractérisé par une faible charge bactérienne et une bonne composition en matières grasses et protéines, permet non seulement d'obtenir de meilleurs prix de vente, mais aussi d'assurer la fabrication de produits laitiers transformés de qualité supérieure tels que les fromages et les yaourts (Walstra et al., 2005). Sur le plan sanitaire, un lait exempt de contaminants microbiologiques réduit les risques d'infections zoonotiques et améliore la confiance des consommateurs envers les produits laitiers (Ruegg, 2003). De plus, la qualité du lait est directement influencée par la santé de la vache, notamment par la prévention des mammites, qui peuvent entraîner une augmentation du compte cellulaire somatique et une baisse de la qualité nutritionnelle du lait (Hogan & Smith, 2003). Le respect des bonnes pratiques d'élevage, incluant l'hygiène de traite, l'alimentation équilibrée et la gestion sanitaire, est donc indispensable pour maintenir une qualité de lait optimale (Pantoja et al., 2009).

2. Les probiotiques

2.1. Définition et historique

Le terme « probiotique » est formellement défini par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme « des micro-organismes vivants qui, administrés en quantité adéquate, procurent un bénéfice pour la santé de l'hôte » (FAO/OMS, 2007). Cette conceptualisation moderne s'appuie sur un siècle de recherche scientifique, ancrée dans les observations historiques des propriétés thérapeutiques des aliments fermentés. Les premières preuves de l'utilisation des probiotiques remontent aux civilisations anciennes, comme la consommation de produits laitiers fermentés en Mésopotamie et de yaourt dans les cultures traditionnelles d'Asie et du Moyen-Orient, bien que ces pratiques n'aient été scientifiquement comprises que bien plus tard (Soccol et al., 2010). Les fondements scientifiques des probiotiques ont émergé au début du 20^e siècle avec les travaux pionniers du lauréat du prix Nobel « Élie Metchnikoff ». Metchnikoff (1908) a émis l'hypothèse que la longévité des paysans bulgares résultait de leur consommation régulière de yaourt contenant du *Lactobacillus bulgaricus*, qui, selon lui, pouvait supprimer les bactéries intestinales nocives et prolonger la vie – une théorie qui a catalysé l'intérêt pour les interactions microbiennes-hôtes. Dans les années 1930, le microbiologiste japonais Minoru Shirota a isolé la souche Shirota de *Lactobacillus casei* et l'a commercialisée en 1935 sous le nom de Yakult, marquant ainsi l'un des premiers exemples d'un produit probiotique formulé scientifiquement (Fujisawa et al., 1992). Le terme « probiotique », dérivé du latin pro (« pour ») et du grec bios (« vie »), a été introduit en 1965 par Lilly et Stillwell pour décrire les substances sécrétées par un micro-organisme pour stimuler la croissance d'un autre (Lilly & Stillwell, 1965). Cependant, cette définition a considérablement évolué au cours des décennies suivantes. Parker (1974) a redéfini les probiotiques comme des « organismes et substances contribuant à l'équilibre microbien intestinal », privilégiant les applications thérapeutiques. Fuller (1989) a quant à lui souligné la nécessité de la viabilité et de la colonisation microbiennes pour leur efficacité, affirmant que les probiotiques doivent être des « compléments alimentaires microbiens vivants qui ont un effet bénéfique sur l'animal hôte en améliorant son équilibre microbien intestinal » (Fuller, 1989). Ces révisions ont jeté les bases des critères normalisés de la FAO/OMS, qui exigent une validation clinique rigoureuse des bénéfices spécifiques à chaque souche (FAO/OMS, 2007). Le XXI^e siècle a connu une croissance exponentielle de la recherche sur les probiotiques, portée par les progrès de la génomique et de la science du microbiome. Des études valident désormais

leur rôle dans la modulation des réponses immunitaires, le soulagement de l'intolérance au lactose, la prévention des diarrhées associées aux antibiotiques et la prise en charge des maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (Hill et al., 2014). De plus, les innovations en matière d'isolement, de stabilisation et de systèmes d'administration des souches ont étendu leurs applications commerciales, des produits pharmaceutiques aux aliments fonctionnels. Aujourd'hui, les probiotiques représentent une convergence de connaissances empiriques traditionnelles et de la science de pointe, soulignant leur pertinence durable tant en santé publique qu'en pratique clinique (Leksir & Boushaba, 2012).

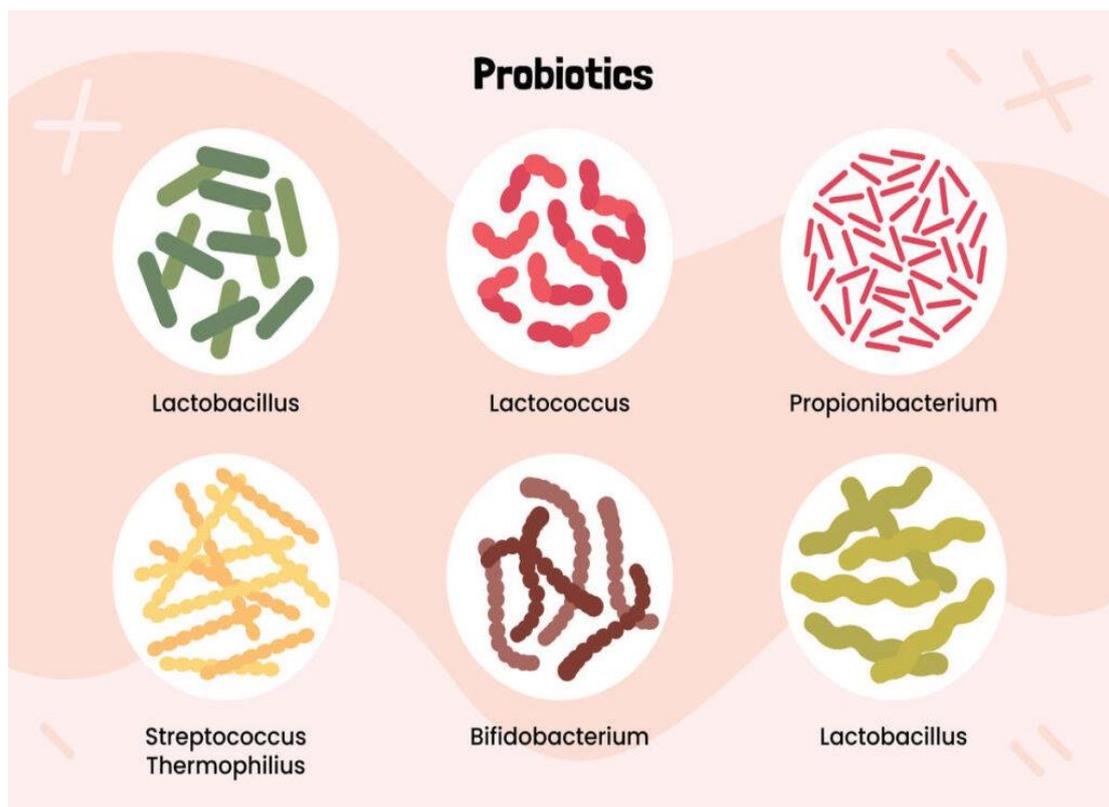


Figure 3: Probiotiques et durabilité laitière bovine : Amélioration du rendement par la modulation du microbiote intestinal (La clinique DDG, 2022).

2.2. Mécanismes d'action dans le tube digestif des ruminants

Le tube digestif des ruminants est caractérisé par des relations symbiotiques entre l'hôte et un écosystème microbien complexe, principalement dans le rumen, où les additifs alimentaires et les interventions microbiennes exercent leurs mécanismes d'action. Le microbiote ruminal, composé de bactéries, de protozoaires, de champignons et d'archées, dégrade les matières végétales fibreuses par fermentation, produisant des acides gras volatils (AGV) tels que

l'acétate, le propionate et le butyrate, qui constituent la principale source d'énergie des ruminants (Bergman, 1990). Les additifs alimentaires, tels que les probiotiques (microbiens administrés directement), les prébiotiques, les enzymes et les ionophores, modulent ce processus par des voies distinctes. Les probiotiques, notamment les bactéries lactiques (*Lactobacillus*) et les souches fibrolytiques (*Fibrobacter succinogenes*), favorisent la dégradation des fibres en stabilisant le pH du rumen, en supprimant les bactéries pathogènes et en synergie avec les microbes indigènes pour améliorer l'activité cellulolytique (Chaucheyras-Durand et al., 2010). Par exemple, les probiotiques *Saccharomyces cerevisiae* améliorent la rétention d'oxygène, créant un environnement anaérobie favorable aux anaérobies obligatoires, essentiels à la dégradation de la cellulose (Newbold et al., 2015). Les ionophores comme la monensine inhibent sélectivement les bactéries Gram positives, réduisant la production de lactate et les émissions de méthane en réorientant les voies métaboliques vers la synthèse de propionate, améliorant ainsi l'efficacité alimentaire (Russell & Strobel, 1989). Français Les enzymes exogènes, telles que les xylanases et les cellulases, hydrolysent directement les parois cellulaires végétales récalcitrantes, augmentant ainsi l'accessibilité du substrat pour la fermentation microbienne (Krause et al., 2003). De plus, les interventions microbiennes influencent la digestion post-ruminale : les probiotiques colonisant le tractus gastro-intestinal inférieur excluent de manière compétitive les agents pathogènes, renforcent l'immunité muqueuse via la modulation des cytokines et améliorent l'absorption des nutriments (Malmuthugell et al., 2019). Les progrès récents de la métagénomique ont élucidé les interactions spécifiques aux souches, révélant que les additifs microbiens peuvent réguler positivement les gènes de l'hôte impliqués dans le transport des AGV et la fonction de barrière épithéliale (Qi et al., 2023). Collectivement, ces mécanismes améliorent l'utilisation des nutriments, réduisent les troubles métaboliques (par exemple, l'acidose) et atténuent les impacts environnementaux en diminuant la production de méthane entérique un objectif essentiel pour une production animale durable (Adesogan et al., 2013). Ainsi, l'efficacité des additifs alimentaires chez les ruminants dépend de leur capacité à créer une synergie avec le microbiome du rumen, à optimiser la dynamique de fermentation et à soutenir la santé systémique, en reliant l'écologie microbienne à la physiologie animale.

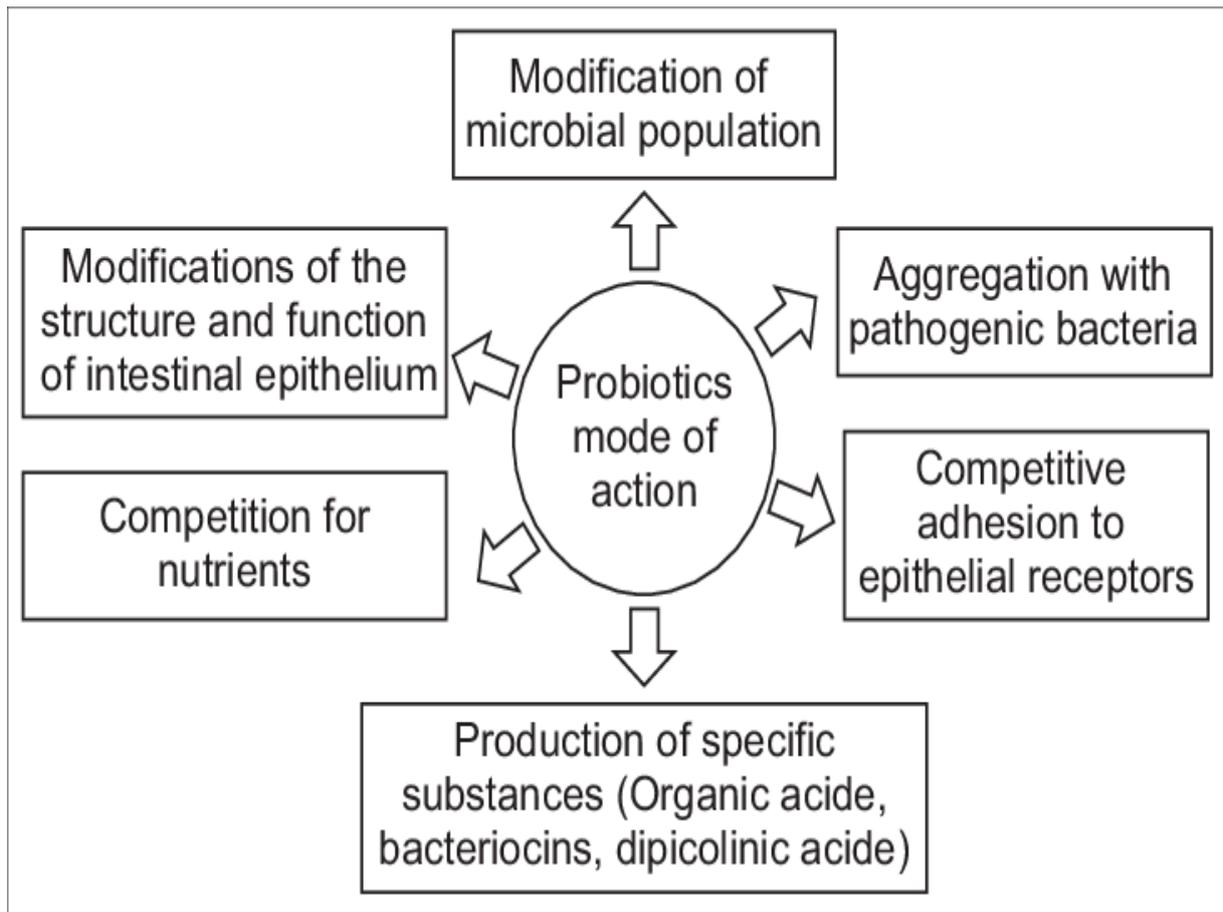


Figure 4: Mécanismes d'action des probiotiques dans le tube digestif des ruminants (Tiwari et al., 2012).

2.3. Principales souches utilisées en élevage

2.3.1. *Lactobacillus* : des probiotiques polyvalents

Le genre *Lactobacillus* comprend des bactéries Gram positives productrices d'acide lactique, largement utilisées dans les formulations probiotiques et les aliments fermentés. Des souches telles que *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus* GG et *Lactobacillus casei* sont réputées pour leur capacité à coloniser le tractus gastro-intestinal, à moduler les réponses immunitaires et à inhiber les agents pathogènes via la production de bactériocines (Sanders et al., 2019). Chez les animaux d'élevage, *Lactobacillus plantarum* améliore l'efficacité alimentaire en stabilisant le microbiote intestinal et en réduisant l'inflammation entérique, tandis que *Lactobacillus reuteri* améliore la croissance des volailles en supprimant la colonisation par *Salmonella* (Gaggia et al., 2010). Leur tolérance à l'acide et à la bile assure également la survie pendant le transit gastro-intestinal, une caractéristique essentielle à l'efficacité (Walter, 2008).

2.3.2. *Bifidobacterium*

Les espèces de *Bifidobacterium*, dont *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium breve* et *Bifidobacterium animalis subsp. lactis*, sont des bactéries anaérobies dominantes dans l'intestin du nourrisson, où elles métabolisent les oligosaccharides du lait maternel pour produire de l'acétate et du lactate (O'Callaghan et van Sinderen, 2016). Ces souches sont incorporées aux préparations pour nourrissons et aux produits laitiers afin d'imiter les effets prébiotiques du lait maternel, améliorant ainsi la digestion du lactose et réduisant l'incidence des diarrhées. Chez les animaux d'élevage, *Bifidobacterium thermophilum* améliore l'absorption des nutriments chez les ruminants en dégradant les glucides complexes, tandis que *Bifidobacterium pseudolongum* atténue le stress post-sevrage chez les porcelets grâce à l'exclusion compétitive des agents pathogènes (Dowarah et al., 2017).

2.3.3. *Saccharomyces cerevisiae*

La levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* est un additif essentiel à la nutrition des ruminants. En captant l'oxygène et en stabilisant le pH du rumen, elle favorise la croissance de bactéries cellulolytiques comme *Fibrobacter succinogenes*, favorisant ainsi la dégradation des fibres et la production d'acides gras volatils (Newbold et al., 2015). *S. cerevisiae* var. *boulardii* est également utilisée chez les animaux monogastriques et chez l'homme pour prévenir la diarrhée associée aux antibiotiques, en neutralisant les toxines et en renforçant la barrière muqueuse (McFarland, 2010).

2.3.4. *Bacillus spp.* : Probiotiques sporulés pour la stabilité et la longévité

Bacillus subtilis et *Bacillus licheniformis* sont des bactéries sporulées appréciées pour leur résistance à la chaleur, aux pH extrêmes et au stockage, ce qui les rend idéales pour l'intégration dans les aliments granulés (Cutting, 2011). Ces souches sécrètent des amylases et des protéases qui améliorent la digestibilité des aliments chez les volailles et les porcs, tandis que leurs mécanismes d'exclusion compétitive réduisent les épidémies de *Clostridium perfringens* chez les poulets de chair (Lee et al., 2020).

2.3.5. Souches émergentes : *Akkermansia* et *Faecalibacterium*

Des recherches récentes mettent en évidence de nouvelles souches telles qu'*Akkermansia muciniphila*, une bactérie dégradant la mucine associée à une amélioration de la santé métabolique chez l'homme, et *Faecalibacterium prausnitzii*, un commensal anti-inflammatoire potentiellement efficace dans l'atténuation des troubles intestinaux (Plovier et al., 2017 ; He et al., 2021). Bien que leur utilisation en sélection animale soit exploratoire, ces souches illustrent

l'évolution vers des probiotiques de nouvelle génération ciblant des interactions spécifiques entre l'hôte et les microbes.

2.4. Les critères de sélection des souches probiotiques

Les critères de sélection des souches probiotiques dépendent de leurs caractéristiques bactériennes spécifiques. Les effets des probiotiques étant spécifiques à chaque souche, il est essentiel d'en identifier l'origine et les propriétés. Les principaux critères de sélection comprennent l'incapacité de la souche à provoquer des maladies (non-pathogénicité) et sa capacité à survivre au transit digestif. La survie nécessite de surmonter des barrières physiologiques telles que l'acidité gastrique, les sels biliaires et les enzymes pancréatiques, qui peuvent inactiver les probiotiques avant qu'ils n'atteignent leur site cible (Shewale et al., 2014; Fernández, 2003; Percival, 2009).

Table 1: Critères de sélection utilisés pour le screening des probiotiques (NOUSIAINEN et al., 2004).

Critères	But recherché
Résistance à l'acidité gastrique	Survie pendant le passage par l'estomac et duodénum
Résistance aux sels biliaires	Survie pendant le passage par l'intestin grêle
Production d'acide (à partir de glucose et lactose)	Production (de barrière acide) efficace dans l'intestin
Adhésion au mucus et/ ou aux cellules épithéliales humaines	Colonisation efficace, réduction des sites d'adhésion des pathogènes à la surface
Production de substances antimicrobiennes	Inhibition du développement des germes pathogènes
Résistance à la chaleur	Survie pendant le processus de transformation
Bonnes propriétés technologiques	Stabilité, croissance sur une large échelle, survie dans le produit, résistance aux bactériophages

2.5. Supplémentation en probiotiques chez les bovins laitiers

2.5.1. Les voies d'administration

Les probiotiques sont administrés aux vaches laitières par différents systèmes d'administration, chacun influençant leur viabilité et leur efficacité. La méthode la plus courante est l'incorporation alimentaire, où les probiotiques (p. ex., *Lactobacillus* spp., *Saccharomyces*

cerevisiae) sont mélangés à des rations totales mélangées (RTM) ou à des concentrés, garantissant ainsi un apport constant et une libération progressive dans le rumen (Kulkarni et al., 2022). Les probiotiques hydrosolubles offrent une alternative pour la supplémentation à l'échelle du troupeau, bien que leur stabilité dans l'eau chlorée et leur dosage irrégulier posent des problèmes (Barreto et al., 2021). Pour une administration ciblée, des bolus ou des capsules protégés du rumen contenant des microbes lyophilisés (par exemple, *Megasphaera elsdenii*) contournent la caillette acide, libérant des cellules viables directement dans le rumen (Arik et al., 2019). Des techniques émergentes, comme l'inoculation directe dans le rumen ou le colostrum enrichi en probiotiques pour les veaux, sont également explorées, bien que leur évolutivité reste limitée (Górka et al., 2018).



Figure 5: La supplémentation en probiotiques dans l'alimentation des vaches laitières selon la méthode traditionnelle (Azarpajouh Daily-global website, 2023).

2.5.2. Les effets attendus

La supplémentation en probiotiques chez les vaches laitières vise à optimiser la digestion en stabilisant le pH du rumen, en augmentant l'activité cellulolytique et en stimulant la production d'acides gras volatils (AGV), améliorant ainsi l'efficacité alimentaire (Krehbiel et al., 2003). Français Des souches comme *Propionibacterium freudenreichii* améliorent l'utilisation de l'amidon, tandis que les champignons *Aspergillus oryzae* augmentent l'activité des enzymes

fibrolytiques (Seo et al., 2010). Les effets immunomodulateurs comprennent une production accrue de cytokines et une réduction de l'incidence des mammites grâce à l'exclusion compétitive de pathogènes comme *Escherichia coli* (Rainard & Riollet, 2006). Les bénéfices systémiques pour la santé comprennent une diminution du nombre de cellules somatiques (SCC) dans le lait et une réduction du risque de cétose grâce à un métabolisme énergétique amélioré (Oetzel, 2007). En fin de compte, ces mécanismes se traduisent par une augmentation du rendement laitier (gains de 3 à 5 %) et une teneur en matières grasses du lait plus élevée, grâce à une répartition efficace des nutriments et à une bonne santé métabolique (Stefańska et al., 2022).

2.5.3. Recherches antérieures et résultats observés

Des recherches approfondies ont documenté les effets de la supplémentation en probiotiques chez les vaches laitières, bien que les résultats varient selon la souche, le dosage et le contexte de production. Une méta-analyse de 68 essais réalisée par Stefańska et al. (2022) a conclu que les probiotiques à base de levure (*Saccharomyces cerevisiae*) augmentaient systématiquement la production laitière et la teneur en matières grasses du lait ce qui était attribué à une activité cellulolytique ruminale accrue et à la production d'AGV. Par exemple, Mao & Wang (2025) ont signalé une réduction de 40 % de l'incidence de l'acidose subclinique chez les vaches à forte production nourries avec *Lactobacillus acidophilus*, le pH du rumen étant stabilisé à 6,2, contre 5,8 dans les groupes témoins. De même, Pang et al. (2022) ont observé que la supplémentation alimentaire en *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* (*B. animalis* JYBR-190) chez les porcelets sevrés a montré que *B. animalis* améliorait les performances de croissance, réduisait les diarrhées et améliorait la santé intestinale. Plus précisément, il augmentait la hauteur des villosités duodénales, les cellules caliciformes jéjunales, l'activité amylasique et la capacité antioxydante, tout en diminuant les taux de malondialdéhyde. Aucune modification significative de la barrière intestinale ni de l'expression des gènes inflammatoires n'a été observée. L'analyse du microbiote a révélé une augmentation des bactéries bénéfiques et une diminution des bactéries nocives comme *Helicobacter* et *Escherichia-Shigella* chez les porcelets traités par *B. animalis*. Dans l'étude par Olchewy et al. (2019) évaluant l'amendement probiotique Great Land (GL) a révélé que les vaches laitières pâturant dans des pâturages traités avec GL produisaient significativement plus de lait et de protéines laitières que les vaches vivant dans des pâturages non traités, malgré une couverture et une consommation similaire entre les groupes. Cela suggère que les traitements probiotiques des pâturages pourraient avoir

une influence positive sur la production laitière, bien que les mécanismes exacts à l'origine de ces effets restent flous.

En faveur de l'utilisation des probiotiques en agriculture animale, une étude menée par Adjei-Fremah et al. (2017) sur des vaches Holstein-Friesian en lactation a révélé qu'une supplémentation orale avec un probiotique multi-souches avait des effets systémiques sur les paramètres immunitaires et l'expression génétique. Bien qu'aucun changement n'ait été observé au niveau du poids corporel ou de la chimie sanguine de base, les vaches traitées présentaient une augmentation du nombre de lymphocytes et une diminution du nombre de neutrophiles, indiquant une modulation immunitaire. Plus de 10 000 gènes étaient exprimés différemment, les voies liées à la réponse immunitaire, notamment la signalisation des récepteurs de type Toll et l'inflammation, étant significativement affectées, soulignant le potentiel des probiotiques à influencer la santé et la productivité au niveau moléculaire. De plus, Conformément aux preuves croissantes des bienfaits des probiotiques, une étude par Xu et al. (2017) utilisant *Lactobacillus casei* Zhang et *Lactobacillus plantarum* P-8 a montré que la supplémentation augmentait significativement la production laitière et augmentait les niveaux de composants fonctionnels du lait tels que les IgG, la lactoferrine, le lysozyme et la lactoperoxydase, tout en réduisant le nombre de cellules somatiques. Bien que la composition de base du lait (matières grasses, protéines, lactose) soit restée inchangée, les probiotiques ont modifié positivement le microbiote fécal en enrichissant les bactéries bénéfiques et fermentatives et en supprimant les pathogènes opportunistes, indiquant un lien entre la santé intestinale et l'amélioration de la qualité du lait. Globalement, ces résultats démontrent que la supplémentation en probiotiques peut constituer une stratégie efficace pour améliorer la santé et la productivité des vaches laitières. De nombreuses études ont montré que les probiotiques améliorent la production laitière, augmentent la concentration en composants bénéfiques du lait, modulent les réponses immunitaires et influencent positivement le microbiote intestinal. Si les mécanismes exacts restent à élucider, l'amélioration constante de la qualité du lait, des marqueurs immunitaires et de l'équilibre microbien souligne le potentiel des probiotiques comme outil durable et non chimique pour améliorer les résultats de la production laitière.

3. Impact des probiotiques sur la qualité du lait

3.1. Aperçu globale sur l'influence des probiotiques sur les différents paramètres

L'intégration de probiotiques dans les systèmes laitiers influence considérablement la qualité du lait grâce à des améliorations mesurables des paramètres physico-chimiques, de la sécurité microbiologique et des propriétés nutritionnelles et technologiques. Physico-chimiquement, les probiotiques tels que les souches de *Lactobacillus* et de *Bifidobacterium* modulent l'acidité et le pH du lait en produisant de l'acide lactique pendant la fermentation, ce qui améliore la stabilité des protéines et réduit l'oxydation des lipides, retardant ainsi le rancissement (Oliveira et al., 2009 ; Daneshi et al., 2013; Anumudu et al., 2024). Ces changements biochimiques sont également corrélés à une durée de conservation prolongée, comme en témoigne une augmentation plus lente des acides gras libres dans le lait traité aux probiotiques pendant le stockage (Tripathi & Giri, 2014). Microbiologiquement, les probiotiques inhibent de manière compétitive les agents pathogènes comme *Listeria monocytogenes* et *Salmonella* spp. en sécrétant des bactériocines et en abaissant le pH intestinal, avec Oliveira et al. (2009) et Anumudu et al. (2024) rapportent une réduction du nombre de coliformes. De plus, la supplémentation en probiotiques réduit les organismes d'altération, tels que les bactéries psychrotrophes, dans le lait réfrigéré, améliorant ainsi la sécurité microbienne (Daneshi et al., 2013). Sur le plan nutritionnel, les probiotiques augmentent la teneur en composés bioactifs, notamment les acides linoléiques conjugués (ALC) et le folate, qui améliorent la valeur fonctionnelle du lait (Prestes et al., 2021). Sur le plan technologique, certaines souches améliorent la texture et la viscosité des produits fermentés comme le yaourt, tandis que leur activité protéolytique améliore la digestibilité (Sánchez et al., 2017 ; Maajid et al., 2022). Cependant, la variabilité spécifique à chaque souche nécessite une sélection rigoureuse pour optimiser ces avantages sans compromettre les attributs sensoriels (Hill et al., 2014). Collectivement, les probiotiques offrent une approche multidimensionnelle pour améliorer la qualité du lait, en équilibrant sécurité, nutrition et performance technologique dans l'innovation laitière.

3.2. Les effets sur les paramètres physico-chimiques du lait

Concernant les paramètres physicochimiques, les probiotiques tels que *Lactobacillus* spp. modulent directement l'acidité et le pH du lait par la synthèse d'acide lactique, ce qui stabilise les protéines de caséine et retarde l'oxydation des graisses, préservant ainsi l'intégrité

structurale du lait (Anumudu et al., 2024). Par exemple, la fermentation probiotique réduit, inhibant la protéolyse alcaline et prolongeant la durée de conservation en limitant la dégradation des protéines (Tripathi & Giri, 2014). De plus, la peroxydation lipidique dans la matière grasse du lait est supprimée dans les échantillons supplémentés en probiotiques, car les métabolites microbiens comme les exopolysaccharides agissent comme antioxydants (Maleki et al., 2025). Sur le plan nutritionnel, les probiotiques augmentent les composants bioactifs, notamment les acides linoléiques conjugués (ALC) dérivés de la matière grasse du lait, qui présentent des propriétés anticancéreuses, et les enzymes protéolytiques qui hydrolysent la caséine en peptides digestibles (Prestes et al., 2021). Sur le plan technologique, des souches comme *Bifidobacterium animalis* améliorent la viscosité du yaourt grâce à la production d'exopolysaccharides, rehaussant ainsi l'attrait de la texture (Sánchez et al., 2017 ; Maajid et al., 2022). Cependant, l'activité métabolique spécifique à chaque souche nécessite une sélection sur mesure pour équilibrer la stabilité physicochimique (Hill et al., 2014).

3.2.1. *pH et acidité*

La supplémentation en probiotiques chez les vaches laitières peut moduler le pH et l'acidité titrable du lait en stabilisant la fermentation ruminale et en réduisant la surproduction d'acide lactique. Des souches microbiennes bénéfiques, telles que *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*, améliorent le métabolisme des glucides dans le rumen, minimisant ainsi l'acidose subaiguë et les fluctuations subséquentes de l'acidité du lait (Retta 2016 ; Tesfaye & Hailu, 2019). Des études indiquent que les vaches nourries aux probiotiques produisent du lait avec un pH légèrement plus élevé que les groupes témoins, ce qui est attribué à une translocation microbienne réduite des bactéries productrices d'acide dans les tissus mammaires (Sun et al., 2013). De plus, les probiotiques inhibent les organismes d'altération du lait, retardant ainsi l'acidification post-traite pendant le stockage (Kunwar 2024).

3.2.2. *Teneur en matières grasses*

La teneur en matières grasses du lait et les profils d'acides gras sont influencés positivement par les probiotiques grâce à une meilleure biohydrogénation du rumen et à une meilleure digestion des fibres (Sun et al., 2022). Des souches probiotiques comme *Propionibacterium freudenreichii* améliorent la conversion des fibres alimentaires en acides gras volatils, augmentant ainsi la synthèse de novo d'acides gras à chaîne courte et moyenne (Luthi, 2024). Il en résulte des rendements en matières grasses du lait élevés et des taux élevés d'acide linoléique conjugué (ALC), associés à des propriétés anti-inflammatoires (Chinnadurai &

Tyagi, 2011). Cependant, un dosage excessif de probiotiques peut déstabiliser les membranes des globules gras, augmentant ainsi la sensibilité à la lipolyse (Lemaire et al., 2024).

3.2.3. *Composition des protéines*

La supplémentation en probiotiques améliore la synthèse des protéines du lait en optimisant l'utilisation de l'azote dans le rumen. Des additifs microbiens tels que *Saccharomyces cerevisiae* améliorent la production de protéines microbiennes, augmentant les concentrations de caséine et de protéines de lactosérum (Tesfaye & Hailu 2019). Les probiotiques réduisent également les marqueurs inflammatoires dans les glandes mammaires, préservant ainsi l'intégrité des micelles de caséine et la stabilité thermique (Kand et al., 2021). À l'inverse, certaines souches peuvent accélérer l'activité protéolytique du lait stocké, ce qui nécessite une sélection rigoureuse des souches pour équilibrer rendement et durée de conservation (Khan et al., 2025).

3.2.4. *Teneur en lactose*

Le lactose, composant essentiel du lait, est synthétisé dans la glande mammaire et sa concentration est influencée par divers facteurs, dont la production laitière globale. Lorsque la production laitière augmente grâce à une supplémentation en probiotiques, la concentration en lactose, bien que non directement affectée par les probiotiques eux-mêmes, peut paraître légèrement inférieure en raison de l'augmentation du volume de lait produit (Antanaitis et al., 2024). L'impact des probiotiques sur la composition du lait est généralement indirect, découlant de leur influence sur la fermentation ruminale et la disponibilité des nutriments. Si les taux de lactose peuvent ne pas varier significativement, d'autres composants comme les matières grasses et les protéines pourraient être affectés par des modifications de la digestibilité des aliments et de l'utilisation des nutriments (Nalla et al., 2022). Les effets spécifiques des probiotiques sur la production et la composition du lait peuvent varier selon la souche probiotique utilisée, le régime alimentaire de la vache et son état physiologique général (Asil et al 2023). Malgré ça des études ont montrés que la supplémentation en probiotique peut améliorer la teneur en lactose (Arief & Satria, 2019 ; Toghdori et al., 2022).

3.2.5. *Charge microbienne*

Les probiotiques réduisent la charge microbienne pathogène dans le lait en inhibant de manière compétitive les bactéries responsables de mammites telles que *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* (Kober et al., 2022). L'administration orale de souches de *Lactobacillus* diminue le nombre de cellules somatiques (CCS) améliorant ainsi la sécurité sanitaire et la durée de conservation du lait (Qiao et al., 2015 ; Miyaguchi et al., 2018). Après la traite, les probiotiques résiduels dans le lait continuent de supprimer les organismes psychrotrophes

responsables de la détérioration, retardant ainsi le développement des arômes indésirables (Yalew et al., 2024). Cependant, la viabilité des probiotiques dans les produits pasteurisés dépend de la résistance à la chaleur et des paramètres de transformation (Tripathi & Giri, 2014).

3.2.6. Teneur en minéraux

Les probiotiques améliorent la biodisponibilité minérale du lait en améliorant l'absorption intestinale du calcium, du phosphore et du magnésium chez les vaches laitières. La supplémentation en *Lactobacillus fermentum* par exemple régule positivement les transporteurs duodénaux, augmentant ainsi les concentrations de calcium dans le lait (Bergillos-Meca et al., 2013 ; Ilesanmi-Oyelere & Kruger, 2020). Cela renforce la réticulation des micelles de caséine, améliorant ainsi la stabilité thermique pendant la transformation. À l'inverse, une absorption excessive de minéraux peut altérer l'équilibre ionique, nécessitant des formulations probiotiques équilibrées (Devarajan et al., 2022).

Table 2: Résumé des études sur l'impact des probiotiques sur les paramètres physico-chimiques du lait

Paramètre	Effet/Impact	Mécanisme/Exemple	Référence
Acidité et Ph	Réduction du pH et augmentation de l'acidité	Synthèse d'acide lactique par <i>Lactobacillus</i> spp.,	Oliveira et al., 2009; Anumudu et al., 2024 ; Tripathi & Giri, 2014
Texture, viscosité et stabilité	Amélioration de la texture et la viscosité des produits fermentés	Exopolysaccharide (EPS)-producing lactic acid bacteria	Maleki et al., 2025
Stabilité des protéines	Stabilisation des protéines de caséine	Acidification du lait évite la dénaturation non souhaitée et préserve l'intégrité structurale pendant le stockage.	Tesfaye & Hailu 2019
Durée de conservation	Prolongation de la durée de conservation	Inhibition des réactions de dégradation grâce à l'acidité et aux antioxydants.	Tripathi & Giri, 2014.
Teneur en Lactose	Amélioration de la concentration du lactose	Améliorer la santé globale et l'efficacité de l'animal producteur de lait	Arief & Satria, 2019 ; Toghdori et al., 2022

3.3. Impacts microbiologiques potentiels

La supplémentation en probiotiques dans les systèmes laitiers exerce des impacts microbiologiques critiques en supprimant la flore pathogène tout en favorisant l'activité

microbienne bénéfique, tout en modifiant les propriétés physicochimiques et nutritionnelles ce qui améliore la qualité du lait (Devarajan et al., 2022). Sur le plan microbiologique, les probiotiques antagonisent les agents pathogènes tels qu'*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* par exclusion compétitive, production de bactériocines et réduction du pH via la synthèse d'acide lactique, créant un environnement inhospitalier pour les bactéries nocives (Nataraj & Mallappa, R 2021 ; Mgomi et al., 2023). Bernárdez et al. (2008) ont démontré que *Lactobacillus casei* CECT 4043, produit par fermentation en lots alimentés et administré comme complément alimentaire probiotique, améliorerait les indicateurs de performance clés chez les porcelets sevrés. Alors que les groupes probiotiques et antibiotiques (avilamycine) ont tous deux montré une prise de poids comparable à court terme après 28 jours, le probiotique a particulièrement amélioré l'efficacité de la conversion alimentaire au cours de l'essai de 42 jours, suggérant une meilleure utilisation des nutriments. Bien que ses effets sur les coliformes fécaux aient été transitoires, l'étude souligne le potentiel du probiotique comme alternative durable aux antibiotiques en production animale, notamment pour optimiser l'efficacité alimentaire. Sur le plan nutritionnel, les probiotiques augmentent les métabolites bioactifs, notamment les isomères d'ALC issus de la matière grasse du lait, qui présentent des effets antimicrobiens et immunomodulateurs contre les agents pathogènes (Prestes et al., 2021). Cependant, la spécificité de la souche reste cruciale, car certains probiotiques peuvent dominer temporairement les microbes commensaux, ce qui nécessite des formulations équilibrées (Hill et al., 2014). Ainsi, les probiotiques agissent comme des agents de biocontrôle, remodelant l'écologie microbienne du lait pour favoriser la sécurité et la fonctionnalité tout en préservant son intégrité physicochimique (Tripathi & Giri, 2014).

3.4. Les intérêts nutritionnels et technologiques

La supplémentation en probiotiques dans les produits laitiers améliore la valeur nutritionnelle et technologique du lait en enrichissant ses composés bioactifs et en améliorant ses propriétés fonctionnelles, complétant ainsi ses avantages physicochimiques et microbiologiques (Gaba & Anand, 2023). Sur le plan nutritionnel, les probiotiques synthétisent des métabolites bénéfiques pour la santé pendant la fermentation, tels que les acides linoléiques conjugués (ALC) issus de la matière grasse du lait, qui présentent des effets anti-inflammatoires et anti-obésogènes, et le folate, une vitamine B essentielle déficiente dans le lait non fermenté (Prestes et al., 2021). L'activité protéolytique de souches comme *Lactobacillus helveticus* hydrolyse la caséine en peptides bioactifs, notamment des inhibiteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine

(ECA), qui contribuent à la régulation de la pression artérielle (Chen et al., 2021). De plus, le métabolisme des probiotiques augmente la digestibilité en prédigérant le lactose, réduisant ainsi les symptômes d'intolérance chez les consommateurs (Leis et al., 2020). D'un point de vue technologique, les probiotiques améliorent la fonctionnalité des produits : les exopolysaccharides (EPS) produits par *Bifidobacterium animalis* améliorent la viscosité et la texture du yaourt, tandis que l'acidification pendant la fermentation renforce la structure du gel dans les fromages (Tiwari et al., 2021). Des souches probiotiques telles que *Lactobacillus* prolongent également la durée de conservation en inhibant les levures et les moisissures d'altération par épuisement compétitif des ressources (Siedler et al., 2020). Cependant, l'obtention de ces avantages nécessite une optimisation spécifique à chaque souche, car une protéolyse excessive ou une production excessive d'EPS peut altérer les profils sensoriels, nécessitant des protocoles de fermentation sur mesure (Hill et al., 2014). En harmonisant la biodisponibilité des nutriments et l'efficacité du traitement, les probiotiques transforment le lait en un aliment fonctionnel avec une santé améliorée et un attrait technologique (Tripathi & Giri, 2014).

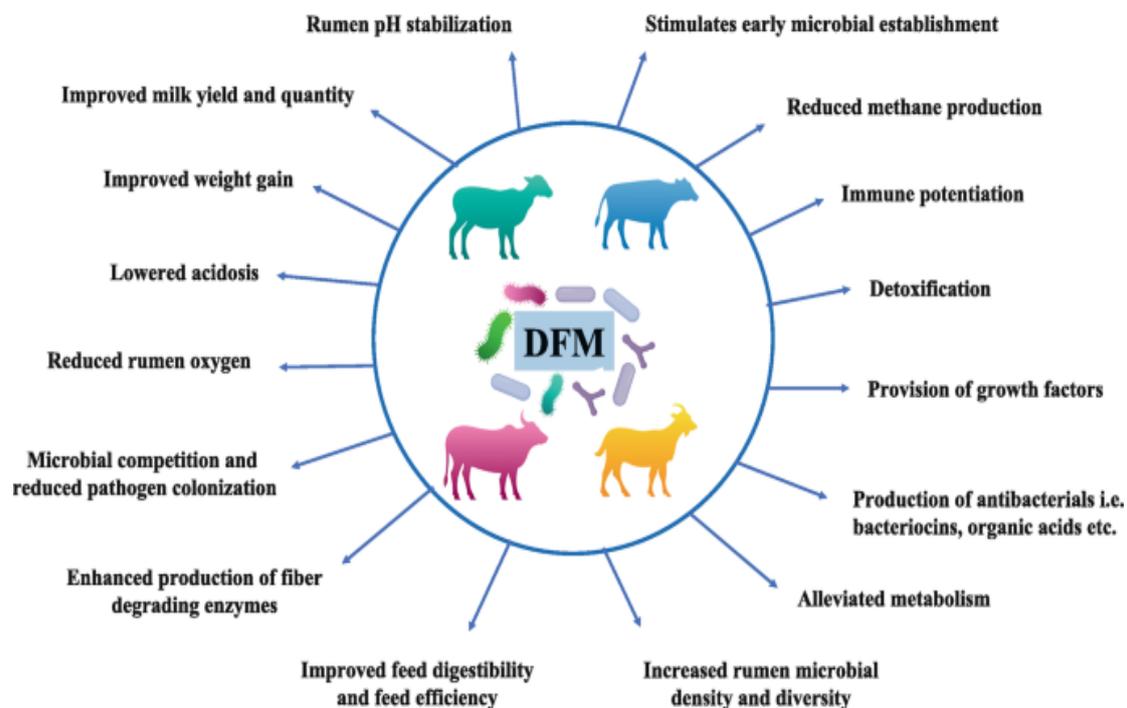


Figure 6: Influence des probiotiques sur l'efficacité de la production du lait de la vache (Varada & Kumar, 2024).

Chapitre 02 :
Matériels et
méthodes

Matériel et méthodes

1. But et principe de l'expérimentation

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la dose de supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* (souche CNCM I-4407, 10^{10} CFU/g, Actisaf Sc 47 ; Phileo by Lesaffre, France) sur les caractéristiques physico-chimiques du lait de vaches laitières en début de lactation. L'expérimentation a été conduite sur une période de 60 jours, sur un effectif de 36 vaches laitières de race Fleckvieh, réparties en trois lots homogènes. Deux niveaux de supplémentation (5 g et 10 g/jour) ont été testés, dans le but d'analyser leur impact sur des paramètres tels que le pH, la matière grasse, la teneur en protéines et en lactose, et ainsi identifier la dose optimale pour améliorer durablement la qualité du lait.

2. Matériel animal

L'expérimentation a été réalisée sur un total de 36 vaches laitières de race « Fleckvieh ». Les animaux étaient au même stade physiologique, correspondant au début de la lactation (du 10^e au 60^e jour post-partum). Les vaches étaient élevées en stabulation libre, avec accès à une ration unifeed (Total Mixed Ration) distribuée deux fois par jour.

3. Matériel microbien

Le probiotique utilisé dans cette étude est une souche de levure vivante, *Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-4407 (concentration : 10^{10} UFC/g), commercialisée sous le nom Actisaf Sc 47 par Phileo by Lesaffre (France). Le produit a été fourni sous forme lyophilisée et conservé à température ambiante, à l'abri de l'humidité et de la lumière, conformément aux recommandations.

4. Site de l'expérimentation

L'étude a été menée au sein de la Ferme Ibrahim – Monte Bello, située sur la route N67, à la périphérie de Sidi Rached, au sud-est de la wilaya de Tipaza, à environ 40 km d'Alger sur les coordonnées géographiques « 36.5669229805514, 2.562027301990859 ». Ce complexe agro-industriel s'étend sur une superficie d'environ 38 hectares, dont 25 hectares sont consacrés à l'agriculture irriguée. La ferme dispose d'une infrastructure d'élevage bovin moderne, comptant entre 260 et 400 vaches laitières de race Simmental, réputées pour leurs performances en production laitière. Elle intègre également une unité de transformation laitière sur place : la fromagerie Monte Bello.

5. Plan expérimental

Le protocole expérimental a été conçu avec deux facteurs étudiés :

1. Le facteur « dose », correspondant à trois niveaux de supplémentation quotidienne en *Saccharomyces cerevisiae* (CNCM I-4407, Actisaf® Sc47) :
 - 0 g/jour (groupe T0)
 - 5 g/jour (groupe T5)
 - 10 g/jour (groupe T10)
2. Le facteur « période », correspondant aux trois dates de prélèvement de lait :
 - Jour 0 (J0) : avant le début de la supplémentation
 - J30 (30 jours après début de supplémentation)
 - J60 (60 jours après début de supplémentation)

Les 36 vaches laitières de race Fleckvieh ont été réparties aléatoirement et de manière équilibrée entre les trois groupes expérimentaux (12 vaches/groupe), en tenant compte de leur âge, rang de lactation et stade post-partum.

Chaque vache des groupes T5 et T10 a reçu respectivement 5 g ou 10 g de levure probiotique Actisaf® Sc47, incorporée dans le concentré du matin. Le groupe T0 n'a reçu aucune supplémentation selon le protocole établie par (Kumprechtová & Hall, 2023).

Toutes les vaches ont été nourries avec la même ration unifeed, composée des ingrédients suivants :

Table 3: Composition journalière de la ration unifeed distribuée aux vaches laitières pendant l'expérimentation.

Aliment	Quantité par vache/j
Foin de luzerne	2,5 kg
Paille de blé	3,0 kg
Ensilage de maïs	20,0 kg
Maïs céréales	3,0 kg
Tourteau de soja	1,5 kg
Son de blé	2,5 kg
Complément minéral-vitaminique (CMV)	70 g
Sel	50 g

6. Les paramètres physico-chimiques étudiés

Les échantillons de lait ont été prélevés individuellement lors de la traite du matin aux jours J0, J30 et J60 de l'expérimentation, selon un protocole standardisé. Les analyses ont porté sur les

principaux paramètres physico-chimiques du lait, permettant d'évaluer l'impact de la supplémentation en levure probiotique. Les méthodes d'analyse utilisées sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Table 4: Paramètres physico-chimiques du lait analysés et méthodes d'analyse associées.

Paramètre	Méthode d'analyse
Teneur en matière grasse (%)	Lactoscan® SP1
Teneur en protéines (%)	Lactoscan® SP1
Teneur en lactose (%)	Lactoscan® SP1
pH du lait	pH-mètre électronique calibré

Lactoscan SP1

Le Lactoscan SP1 est un analyseur ultrasonique de lait compact et performant, utilisé pour mesurer rapidement et avec précision les principaux paramètres du lait tels que la matière grasse, la densité, le taux de protéines, le lactose, les solides non gras (SNF), la température, la conductivité. Il fonctionne sans produits chimiques, en utilisant une technologie ultrasonique fiable, et fournit des résultats en 30 à 60 secondes avec seulement 5 à 10 ml de lait.



Figure 7: Analyse de la qualité du lait avec le Lactoscan SP1 en laboratoire.

PH mètre

Le Milwaukee MW102 est un pH-mètre portable numérique de haute précision, conçu pour mesurer à la fois le pH des liquides. Utilisé dans les laboratoires, l'agroalimentaire ou encore en contrôle de la qualité du lait, il permet une lecture rapide et fiable par une sonde électrochimique immergée dans l'échantillon. L'appareil dispose d'un grand écran digital indiquant la valeur du pH. L'étalonnage de l'appareil est une étape essentielle pour garantir l'exactitude des mesures. Il se fait à l'aide de solutions tampons de référence et consiste à ajuster l'appareil pour qu'il lise correctement les valeurs connues.

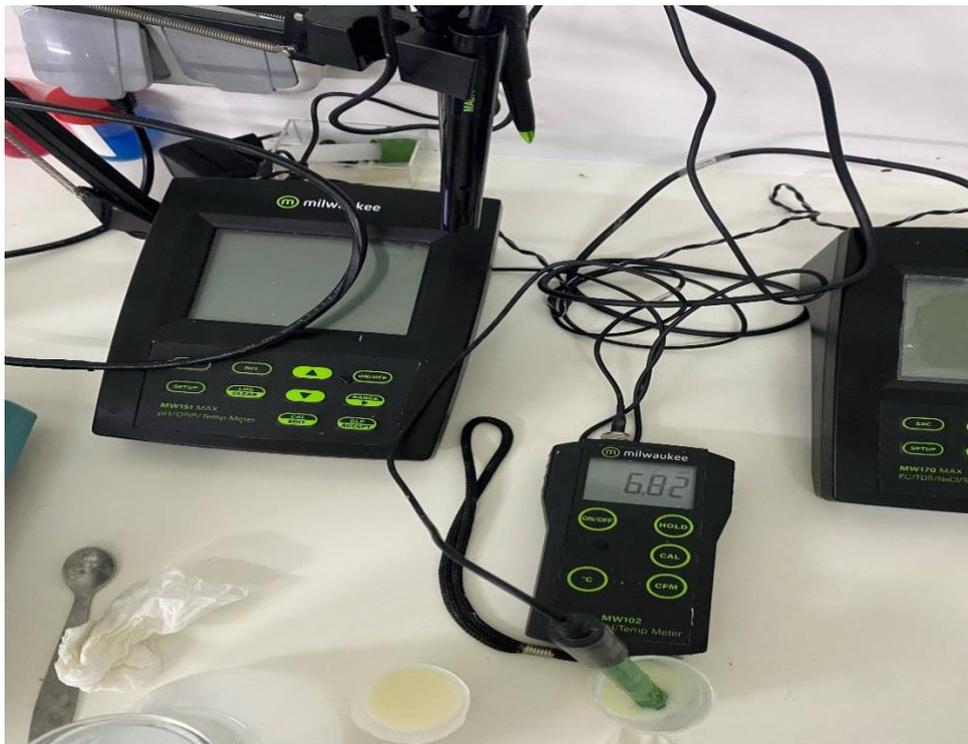


Figure 8: Mesure du pH du lait avec le pH-mètre Milwaukee MW102 en laboratoire.

7. Traitement des données et analyse statistique

Les données collectées ont été organisées sous forme de tableaux à l'aide du logiciel Microsoft Excel, qui a également servi à la création des graphiques illustrant les résultats. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS (version 22). Les traitements ont inclus des statistiques descriptives (moyennes, écarts-types), le test de Levene pour évaluer l'homogénéité des variances, l'ANOVA à un facteur (One-Way ANOVA) pour comparer les moyennes entre groupes, et, en cas de variances inégales, les tests de Welch et de Brown-Forsythe ont été appliqués. Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$.

Chapitre 03:

Résultats et discussion

Résultats et discussion

Résultat

1. Effet de la supplémentation du probiotiques en fonction de la période

1.1. Les données descriptives

Des statistiques descriptives ont été calculées pour résumer les caractéristiques principales des données, incluant la moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum.

Table 5: Les statistiques descriptives des différents paramètres physico chimiques en fonction de la période d'échantillonnage

Descriptives

Period	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
pH	J0	36	6.6528	.09098	.01516	6.6220	6.6836	6.30	6.80
	J30	36	6.6900	.10928	.01821	6.6530	6.7270	6.20	6.90
	J60	36	6.7167	.12536	.02089	6.6743	6.7591	6.10	6.80
	Total	108	6.6865	.11157	.01074	6.6652	6.7078	6.10	6.90
MG	J0	36	1.8808	.67418	.11236	1.6527	2.1089	.68	3.88
	J30	36	3.6797	1.19338	.19890	3.2759	4.0835	1.08	6.30
	J60	36	3.9947	1.02297	.17049	3.6486	4.3408	1.56	5.64
	Total	108	3.1851	1.35352	.13024	2.9269	3.4433	.68	6.30
Pro	J0	36	3.2856	.14612	.02435	3.2361	3.3350	3.00	3.56
	J30	36	3.6672	.28149	.04692	3.5720	3.7625	2.63	3.97
	J60	36	3.6875	.28602	.04767	3.5907	3.7843	3.12	4.25
	Total	108	3.5468	.30686	.02953	3.4882	3.6053	2.63	4.25
Lac	J0	36	4.9275	.21835	.03639	4.8536	5.0014	4.50	5.34
	J30	36	5.3692	.52933	.08822	5.1901	5.5483	3.93	5.96
	J60	36	5.3156	.49150	.08192	5.1493	5.4819	4.22	5.95
	Total	108	5.2041	.47471	.04568	5.1135	5.2946	3.93	5.96

L'ajout du probiotique *Saccharomyces cerevisiae* a induit des effets notables sur les paramètres physico-chimiques du lait au cours des 60 jours de suivi. Le pH du lait a montré une tendance croissante significative, passant de $6,65 \pm 0,09$ à J0, à $6,69 \pm 0,11$ à J30, puis à $6,72 \pm 0,13$ à J60. Cette légère augmentation indique une amélioration de la stabilité du lait et une réduction potentielle de l'acidité, ce qui est souvent associé à une meilleure qualité microbiologique. La

matière grasse (MG) a connu une augmentation marquée au fil du temps : elle est passée de $1,88 \pm 0,67$ % à J0 à $3,68 \pm 1,19$ % à J30, puis $3,99 \pm 1,02$ % à J60. Cette évolution suggère une amélioration de la digestion et de la valorisation des fibres dans le rumen, souvent liée à l'activité fermentaire accrue induite par le probiotique.

La teneur en protéines (Pro) a également augmenté de manière significative, allant de $3,29 \pm 0,15$ % à J0 à $3,67 \pm 0,28$ % à J30, puis $3,69 \pm 0,29$ % à J60. Cette progression peut refléter une amélioration de la synthèse protéique mammaire ou un meilleur équilibre nutritionnel, favorisé par la modulation du microbiote ruminal. En ce qui concerne le lactose (Lac), on observe une élévation de $4,93 \pm 0,22$ % à J0 à $5,37 \pm 0,53$ % à J30, avec un léger repli à $5,32 \pm 0,49$ % à J60. Cela reste néanmoins supérieur à la valeur initiale, indiquant une bonne fonctionnalité des cellules sécrétrices de la glande mammaire et une production continue d'énergie pour le veau et la conservation du lait.

Les écarts-types, relativement faibles pour le pH et les protéines, indiquent une réponse homogène entre les animaux, tandis que ceux observés pour la MG et le lactose traduisent une certaine variabilité individuelle dans la réponse au probiotique. En résumé, l'administration de *S. cerevisiae* a permis d'améliorer de façon cohérente et significative la composition biochimique du lait, sans recourir à des traitements chimiques, ce qui confirme son intérêt comme stratégie naturelle pour optimiser la productivité et la qualité du lait en élevage laitier.

1.2. Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Lactose du lait durant 60 jours.

L'évolution de la teneur en lactose du lait au cours des 60 jours suivant l'administration du probiotique *Saccharomyces cerevisiae* révèle une amélioration significative de ce paramètre biochimique. À J0, la concentration moyenne en lactose était de $4,93 \pm 0,22$ %, représentant la valeur de base avant intervention. Cette valeur a nettement augmenté à $5,37 \pm 0,53$ % à J30, indiquant une amélioration de la fonction de sécrétion des cellules mammaires et une activité métabolique accrue, probablement soutenue par l'effet bénéfique du probiotique sur la santé digestive et l'absorption des nutriments. À J60, la teneur en lactose reste élevée à $5,32 \pm 0,49$ %, légèrement inférieure à celle observée à J30, mais toujours supérieure à la valeur initiale. Cette stabilité dans le temps suggère que l'effet du probiotique est maintenu au-delà du premier mois de traitement. L'augmentation du lactose est généralement considérée comme un indicateur positif de performance laitière, car ce sucre est le principal osmolyte responsable du volume de lait produit. Les écarts-types modérés observés à J30 et J60 (0,53 et 0,49) traduisent une certaine variabilité entre les individus, mais n'altèrent pas la tendance générale. Ainsi, *S.*

cerevisiae semble améliorer durablement le métabolisme lactique et la qualité nutritionnelle du lait, ce qui en fait un allié prometteur pour une production laitière plus performante et naturelle.

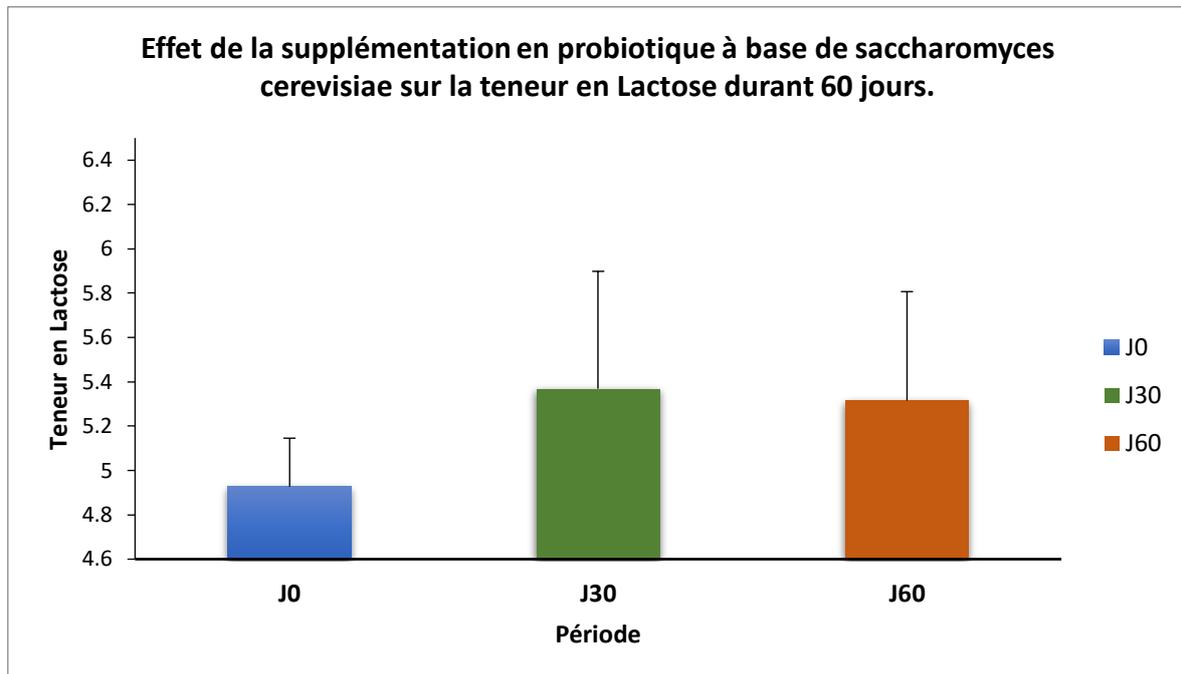


Figure 9 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Lactose du lait durant 60 jours.

1.3. Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur le pH du lait durant 60 jours

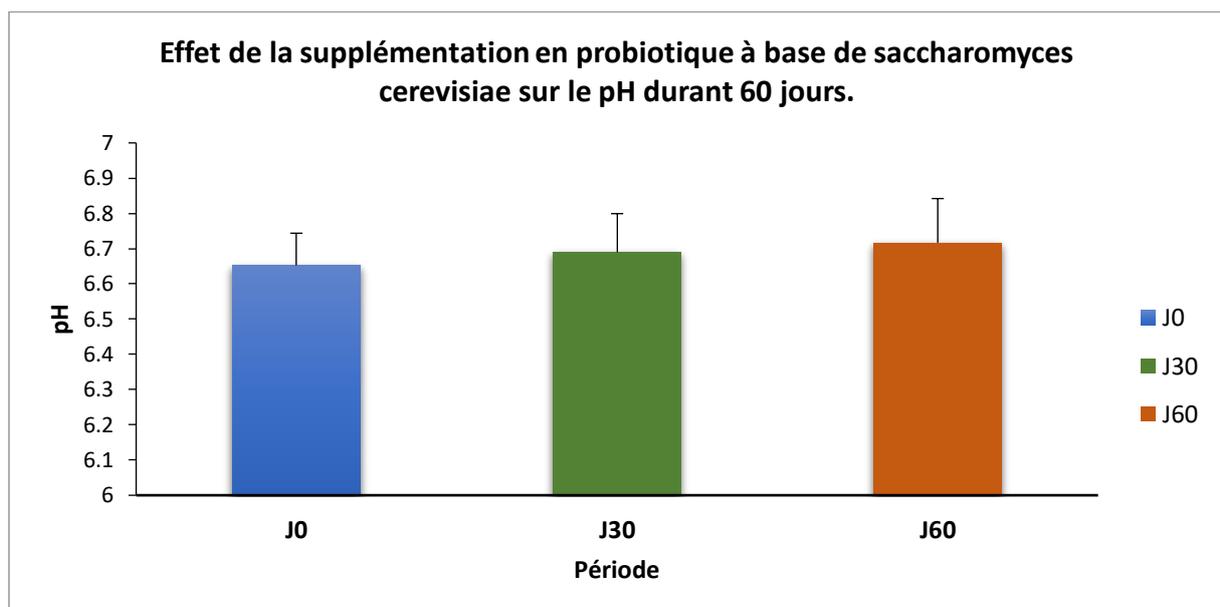


Figure 10 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur le pH du lait durant 60 jours.

L'administration du probiotique *Saccharomyces cerevisiae* a permis de maintenir le pH du lait stable autour de 6,7 au cours des 60 jours de suivi, reflétant une excellente stabilité physico-chimique du produit. À J0, le pH moyen était de $6,65 \pm 0,09$, attestant d'un équilibre acido-basique normal du lait en début de traitement. À J30, ce pH est resté à $6,69 \pm 0,11$, suggérant une bonne maîtrise des fermentations ruminales et une absence d'acidification excessive. À J60, le pH a conservé sa valeur à $6,72 \pm 0,13$, confirmant l'effet stabilisant et durable du probiotique sur la composition du lait. Les écarts-types modérés (de 0,09 à 0,13) traduisent une légère variabilité interindividuelle, sans remettre en cause la tendance générale à la stabilité. Globalement, ce maintien du pH souligne l'impact bénéfique de *S. cerevisiae* sur la qualité et la conservation naturelle du lait.

1.4. Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Protéines du lait durant 60 jours.

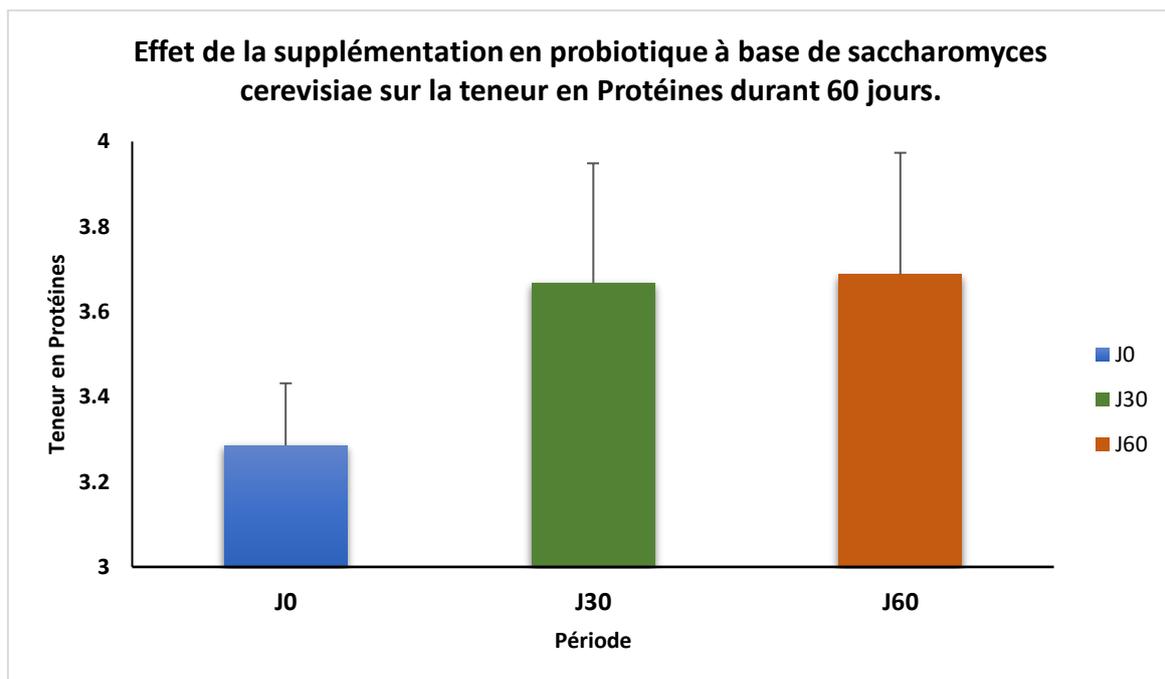


Figure 11 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Protéines durant 60 jours.

La teneur en protéines du lait a connu une amélioration marquée et soutenue au fil des 60 jours suivant l'ajout du probiotique *Saccharomyces cerevisiae*, ce qui témoigne d'un effet bénéfique sur la synthèse protéique mammaire. Initialement, à J0, la concentration moyenne en protéines était de $3,29 \pm 0,15$ %, ce qui constitue une valeur standard pour du lait de vache en conditions

normales. Après 30 jours de traitement, cette teneur a significativement augmenté pour atteindre $3,67 \pm 0,28$ %, puis s'est légèrement consolidée à $3,69 \pm 0,29$ % à J60. Cette hausse régulière des protéines dans le lait suggère une amélioration de la fonction métabolique de l'animal, probablement liée à une meilleure valorisation des nutriments et à une activité ruminale optimisée grâce au probiotique. L'augmentation progressive de l'écart-type (de 0,15 à 0,29) reflète une certaine variabilité individuelle dans la réponse au traitement, sans pour autant remettre en question la tendance générale. Une teneur protéique plus élevée est un indicateur clé de la qualité nutritionnelle du lait et de son aptitude à la transformation (notamment fromagère). Ces résultats montrent que *S. cerevisiae* peut être utilisé comme un complément naturel efficace pour soutenir la production laitière, en améliorant non seulement la quantité, mais aussi la valeur biologique du lait produit.

1.5. Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Matière grasse du lait durant 60 jours

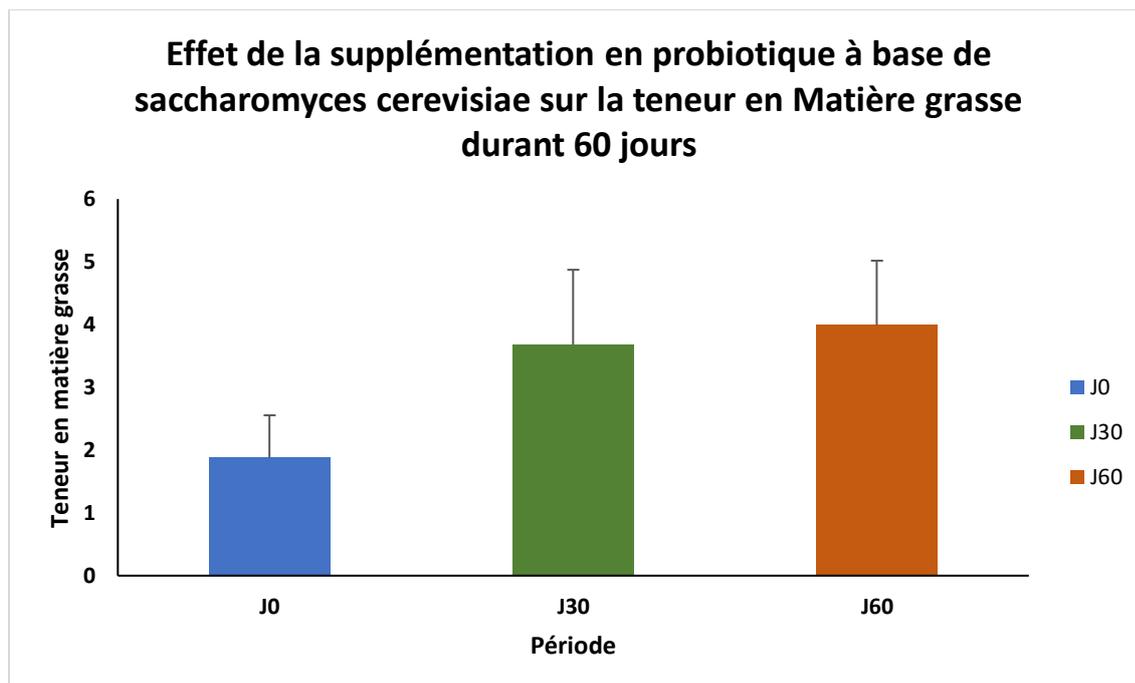


Figure 12: Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Matière grasse durant 60 jours.

La teneur en matière grasse du lait a connu une progression spectaculaire au cours des 60 jours suivant l'ajout du probiotique *Saccharomyces cerevisiae*, traduisant un effet métabolique fort sur la synthèse lipidique chez la vache laitière. Au jour 0 (J0), la concentration moyenne en MG

était relativement faible, avec $1,88 \pm 0,67$ %, ce qui reflète soit un stade physiologique bas de production, soit une activité ruminale modérément efficace. Toutefois, dès J30, cette valeur a presque doublé pour atteindre $3,68 \pm 1,19$ %, marquant une amélioration significative de la capacité de la glande mammaire à concentrer les lipides dans le lait. À J60, cette tendance s'est maintenue avec une teneur moyenne de $3,99 \pm 1,02$ %, indiquant que l'effet du probiotique n'est pas transitoire, mais bien durable. Cette hausse importante pourrait s'expliquer par une meilleure digestibilité des fibres et une augmentation de la production d'acides gras volatils (notamment l'acétate), substrats essentiels à la lipogenèse dans la glande mammaire. L'augmentation des écarts-types, en particulier à J30 (1,19) et J60 (1,02), traduit une certaine hétérogénéité dans la réponse des animaux, mais la tendance globale reste claire et biologiquement significative. Ainsi, *S. cerevisiae* se révèle être un additif prometteur pour améliorer la qualité énergétique du lait, en stimulant la production de matière grasse, un paramètre essentiel à la valeur nutritive et commerciale du lait.

1.6. Test d'homogénéité (Levene's test)

Table 6: Résultats du test de Levenes pour les paramètres physico-chimiques en fonction de la période d'échantillonnage.

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
pH	.179	2	105	.836
MG	4.457	2	105	.014
Pro	5.264	2	105	.007
Lac	10.094	2	105	.000

Le test de Levene valide l'hypothèse d'homogénéité des variances pour le pH ($p = 0,836$), autorisant l'application de l'ANOVA classique. En revanche, les résultats mettent en évidence une hétérogénéité significative des variances pour la matière grasse ($p = 0,014$), les protéines ($p = 0,007$) et le lactose ($p < 0,001$). Dans ces conditions, l'hypothèse d'égalité des variances étant rejetée, le recours à des méthodes d'analyse robustes, telles que les tests de Welch ou de Brown-Forsythe, s'impose afin d'assurer la validité des comparaisons entre groupes.

1.7. Analyse one-way Anova

Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée pour comparer les moyennes des groupes, avec un seuil de signification fixé à 0,05 pour déterminer la signification statistique.

Table 7: Résultats du test one-way Anova pour les paramètres physico-chimiques en fonction de la période d'échantillonnage.

ANOVA

		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
pH	Between Groups	.074	2	.037	3.095	.049
	Within Groups	1.258	105	.012		
	Total	1.332	107			
MG	Between Groups	93.645	2	46.823	48.021	.000
	Within Groups	102.380	105	.975		
	Total	196.025	107			
Pro	Between Groups	3.692	2	1.846	30.360	.000
	Within Groups	6.384	105	.061		
	Total	10.076	107			
Lac	Between Groups	4.182	2	2.091	11.017	.000
	Within Groups	19.930	105	.190		
	Total	24.113	107			

L'analyse de la variance (ANOVA) révèle des effets significatifs du traitement probiotique sur la majorité des paramètres physico-chimiques du lait au cours des 60 jours d'étude. Pour le pH, l'effet global est modeste mais significatif ($F = 3,095$; $p = 0,049$), indiquant une légère acidification progressive du lait au fil du temps, possiblement liée à une amélioration de la fermentation ruminale ou à des changements dans la microflore intestinale. Concernant la matière grasse (MG), l'effet du traitement est hautement significatif ($F = 48,021$; $p < 0,001$), ce qui confirme que le probiotique influence fortement la synthèse lipidique. La somme des carrés entre les groupes (93,645) représente une part substantielle de la variabilité totale, traduisant un effet biologique puissant et cohérent. Le taux de protéines est également significativement affecté ($F = 30,360$; $p < 0,001$), suggérant que le probiotique stimule non seulement la production laitière, mais aussi sa qualité nutritionnelle, en particulier la synthèse protéique mammaire. Pour le lactose, bien que l'effet soit moins marqué que pour les autres composants, il reste fortement significatif ($F = 11,017$; $p < 0,001$), ce qui témoigne d'une amélioration de l'efficacité métabolique et de la disponibilité énergétique. Globalement, ces résultats confirment que *Saccharomyces cerevisiae* exerce une influence positive sur la composition du lait, en agissant de manière différenciée mais significative sur ses principaux

constituants, et renforcent son potentiel en tant qu'additif bénéfique dans l'alimentation des vaches laitières.

1.8. Test robuste d'égalité des moyennes

Table 8: Résultats des tests robustes d'égalité des moyennes

Robust Tests of Equality of Means					
		Statistic ^a	df1	df2	Sig.
pH	Welch	3.270	2	68.793	.044
	Brown-Forsythe	3.095	2	98.662	.050
MG	Welch	66.792	2	65.741	.000
	Brown-Forsythe	48.021	2	89.935	.000
Pro	Welch	44.393	2	62.766	.000
	Brown-Forsythe	30.360	2	86.721	.000
Lac	Welch	17.203	2	59.409	.000
	Brown-Forsythe	11.017	2	81.568	.000

a. Asymptotically F distributed.

Les tests robustes d'égalité des moyennes de Welch et de Brown-Forsythe permettent de confirmer la validité des résultats de l'ANOVA en présence d'hétérogénéité des variances, comme observé pour certains paramètres dans le test de Levene. Ces tests indiquent que tous les paramètres physico-chimiques, à l'exception partielle du pH, montrent des différences de moyennes statistiquement significatives entre les groupes (J0, J30, J60). Pour le pH, les résultats sont à la limite de la significativité (Welch : $p = 0,044$; Brown-Forsythe : $p = 0,050$), suggérant une évolution modérée mais constante du pH au fil du temps. En revanche, les effets du probiotique sur la matière grasse (MG) sont très marqués, avec des valeurs de F très élevées (Welch : $F = 66,792$; Brown-Forsythe : $F = 48,021$; $p < 0,001$), confirmant des augmentations substantielles et fiables du taux de lipides dans le lait. De même, les protéines présentent des différences nettes entre les groupes ($p < 0,001$), ce qui reflète un effet fort du probiotique sur la synthèse protéique ou la qualité nutritionnelle du lait. Enfin, les résultats pour le lactose sont également significatifs (Welch : $F = 17,203$; Brown-Forsythe : $F = 11,017$; $p < 0,001$), indiquant que la teneur en lactose a été influencée par le traitement au fil du temps. En résumé, ces tests robustes confirment les effets significatifs du probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la majorité des composants du lait, même en tenant compte des différences de variances, renforçant ainsi la validité et la solidité des conclusions de l'étude.

2. Effet de la supplémentation du probiotiques en fonction de la concentration (g)

2.1. Les données descriptives

Des statistiques descriptives ont été calculées pour résumer les caractéristiques principales des données, incluant la moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum.

Table 9: Résultats des statistiques descriptives pour les paramètres physico-chimiques en fonction de la dose.

Descriptives

[C]	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
pH	Témoin	33	6.6273	.15263	.02657	6.5732	6.6814	6.10	6.80
	5g	36	6.7222	.05909	.00985	6.7022	6.7422	6.60	6.80
	10g	39	6.7036	.08752	.01402	6.6752	6.7320	6.50	6.90
	Total	108	6.6865	.11157	.01074	6.6652	6.7078	6.10	6.90
MG	Témoin	33	2.4100	.84550	.14718	2.1102	2.7098	1.08	4.18
	5g	36	3.5900	1.55562	.25927	3.0637	4.1163	.68	6.30
	10g	39	3.4672	1.25258	.20057	3.0611	3.8732	1.14	5.40
	Total	108	3.1851	1.35352	.13024	2.9269	3.4433	.68	6.30
Pro	Témoin	33	3.4855	.28273	.04922	3.3852	3.5857	3.01	3.98
	5g	36	3.5700	.27867	.04645	3.4757	3.6643	3.13	4.19
	10g	39	3.5772	.34868	.05583	3.4642	3.6902	2.63	4.25
	Total	108	3.5468	.30686	.02953	3.4882	3.6053	2.63	4.25
Lac	Témoin	33	4.9145	.43575	.07585	4.7600	5.0691	4.15	5.96
	5g	36	5.3417	.39162	.06527	5.2092	5.4742	4.70	5.95
	10g	39	5.3221	.47789	.07652	5.1671	5.4770	3.93	5.94
	Total	108	5.2041	.47471	.04568	5.1135	5.2946	3.93	5.96

L'analyse des données issues de l'administration du probiotique *Saccharomyces cerevisiae* à des doses de 5 g et 10 g par vache montre des effets notables sur plusieurs paramètres physico-chimiques du lait, traduisant une amélioration de la qualité globale du lait produit. Concernant le pH, on observe une légère mais significative augmentation avec l'ajout du probiotique : le pH moyen du lait passe de 6.63 ± 0.15 chez les vaches témoins à 6.72 ± 0.06 dans le groupe 5 g, et 6.70 ± 0.09 pour le groupe 10 g. Cette élévation du pH peut être interprétée comme un effet stabilisateur du probiotique sur l'environnement ruminal, probablement dû à une réduction de l'acidité liée à la fermentation excessive ou à l'accumulation d'acides organiques. Un pH légèrement plus élevé favorise aussi l'activité enzymatique optimale dans le rumen et une meilleure dégradation des fibres alimentaires. La matière grasse (MG), un critère essentiel de

la qualité laitière et de la valorisation fromagère, a fortement augmenté après supplémentation. Le groupe témoin présente une teneur moyenne de 2.41 ± 0.85 %, contre 3.59 ± 1.56 % pour 5 g et 3.47 ± 1.25 % pour 10 g. Ces augmentations reflètent probablement une meilleure digestion des fibres et production d'acides gras volatils, en particulier l'acétate, principal précurseur de la synthèse des lipides laitiers. On note néanmoins une variabilité plus élevée dans les groupes traités (écarts-types plus grands), ce qui peut s'expliquer par des réponses individuelles différenciées selon le microbiote initial des vaches.

Les protéines laitières montrent aussi une amélioration légère mais constante. Le taux moyen passe de 3.49 ± 0.28 % (témoin) à 3.57 ± 0.28 % (5 g) et 3.58 ± 0.35 % (10 g). Cette amélioration pourrait être attribuée à une meilleure efficacité de la digestion des protéines alimentaires et à une valorisation plus efficace de l'azote grâce à une meilleure activité microbienne dans le rumen. Des souches comme *S. cerevisiae* peuvent capturer l'azote ammoniacal excédentaire et favoriser la synthèse microbienne de protéines, augmentant ainsi leur disponibilité pour la production laitière.

Le lactose, principal glucide du lait et indicateur indirect de la productivité mammaire, connaît également une augmentation significative. Le taux moyen s'élève de 4.91 ± 0.44 % (témoin) à 5.34 ± 0.39 % (5 g) et 5.32 ± 0.48 % (10 g). Cela peut refléter une meilleure disponibilité énergétique (via le propionate produit lors de la fermentation ruminale), ce qui stimule la synthèse du lactose dans la glande mammaire. Une hausse du lactose est généralement corrélée avec une augmentation du volume de lait, bien que ce paramètre ne soit pas indiqué ici. Enfin, les données révèlent que l'effet de la dose de 5 g est souvent légèrement supérieur ou égal à celui de 10 g, notamment pour le pH, la MG et le lactose. Cela suggère un effet dose-optimum, au-delà duquel les bénéfices supplémentaires sont limités voire contrebalancés par des effets de saturation du microbiote ruminal ou de compétition entre espèces microbiennes.

2.2.Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur le pH en fonction de la concentration en (g)

L'analyse des données sur le pH du lait en fonction de l'administration de différentes doses de *Saccharomyces cerevisiae* montre une légère augmentation du pH chez les vaches traitées par rapport au groupe témoin, mais celui-ci est resté stable autour de 6,7 dans l'ensemble des groupes. Le pH moyen du groupe témoin est de $6,6273 (\pm 0,1526)$, tandis qu'il atteint $6,7222 (\pm 0,0591)$ chez le groupe ayant reçu 5 g du probiotique, et $6,7036 (\pm 0,0875)$ pour celui ayant reçu 10 g, valeurs toutes comprises dans une plage de stabilité acido-basique satisfaisante.

Le faible écart-type observé dans les groupes traités, en particulier avec 5 g ($\pm 0,0591$), indique non seulement une réponse plus homogène au traitement, mais aussi le maintien de la stabilité du pH, ce qui témoigne d'un effet régulateur de *S. cerevisiae* sur les processus métaboliques impliqués dans la synthèse du lait. Bien que les différences entre groupes soient minimes, ces résultats suggèrent une constance accrue de la qualité du lait avec le probiotique, et confirment que la dose de 5 g optimise l'effet sans induire de fluctuations indésirables.

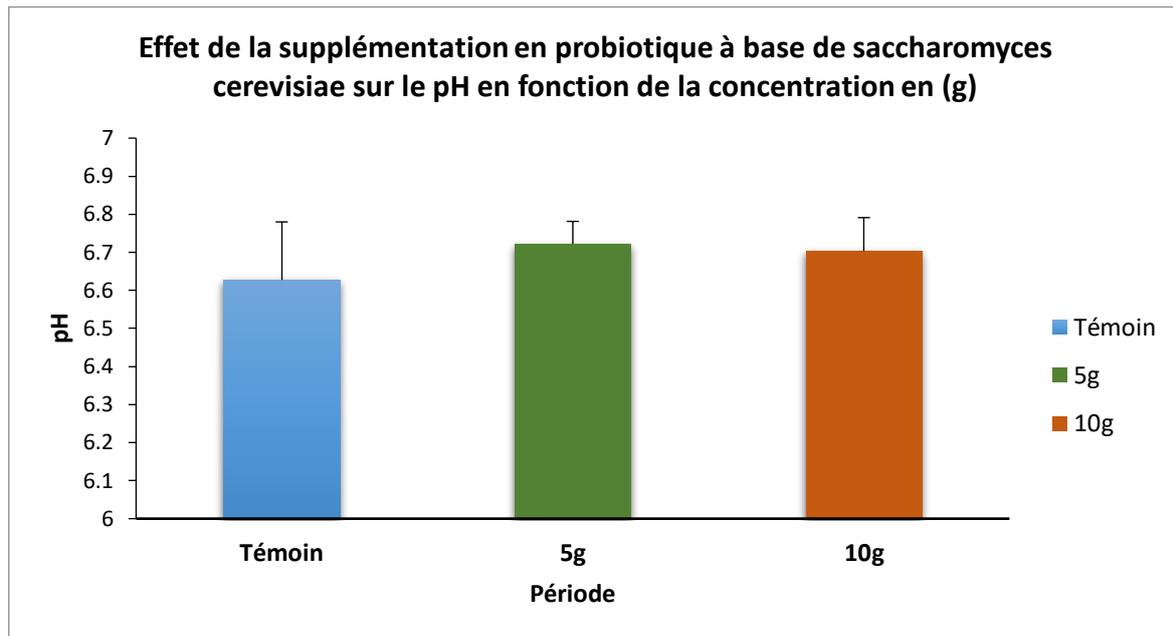


Figure 13 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur le pH en fonction de la concentration en (g).

2.3.Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en lactose en fonction de la concentration en (g).

L'analyse des teneurs en lactose du lait selon les différentes doses de *Saccharomyces cerevisiae* administrées révèle une amélioration significative par rapport au groupe témoin. Le lait des vaches non supplémentées (groupe témoin) présente une moyenne de 4.9145 g/100 ml (± 0.4358), tandis que les groupes ayant reçu 5 g et 10 g du probiotique montrent respectivement des moyennes de 5.3417 g/100 ml (± 0.3916) et 5.3221 g/100 ml (± 0.4779). Ces résultats indiquent une augmentation du lactose avec l'administration du probiotique, traduisant une amélioration du métabolisme glucidique ou une stimulation de la sécrétion lactée par l'action microbienne bénéfique dans le rumen.

L'augmentation la plus marquée est observée avec la dose de 5 g, suggérant que cette quantité optimise davantage l'environnement ruminal en favorisant la fermentation des glucides structuraux et non structuraux, ce qui améliore l'apport énergétique disponible pour la synthèse du lactose dans la glande mammaire. La dose de 10 g maintient un effet similaire mais n'apporte pas de gain supplémentaire notable, ce qui peut indiquer un seuil d'efficacité au-delà duquel une augmentation de la dose n'améliore plus les performances.

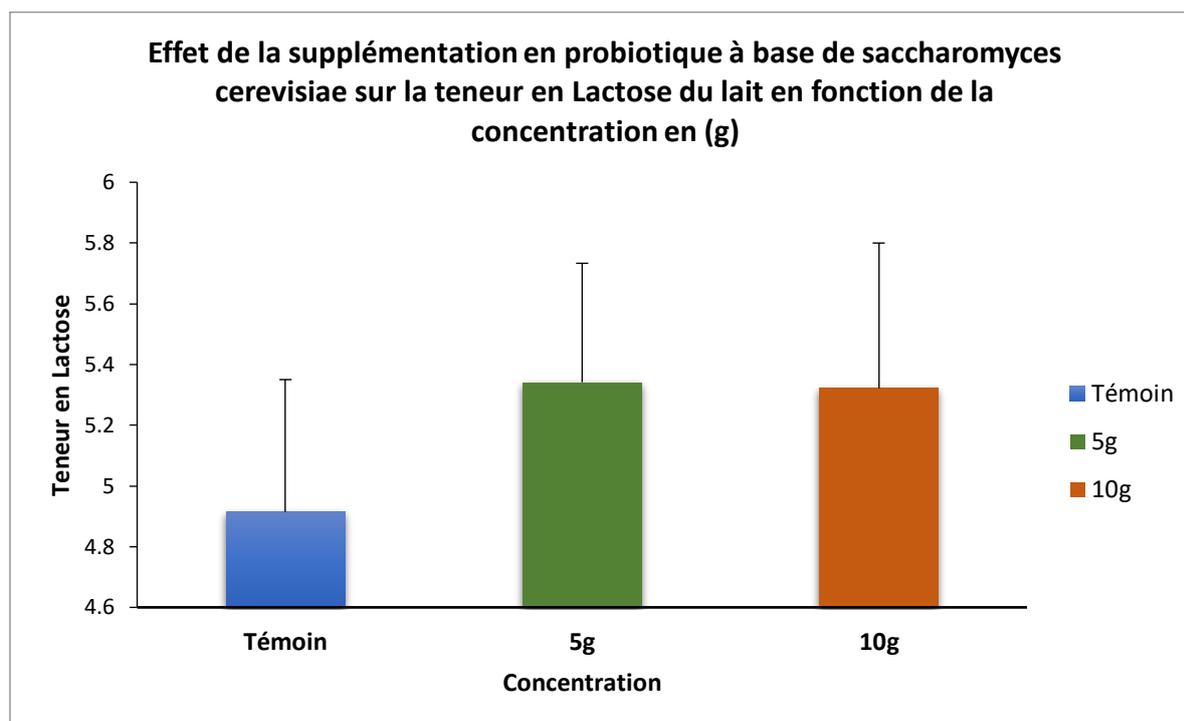


Figure 14 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en lactose du lait en fonction de la concentration en (g).

2.4.Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en protéines du lait en fonction de la concentration en (g)

L'analyse des teneurs en protéines du lait en fonction des doses de *Saccharomyces cerevisiae* administrées met en évidence une légère amélioration par rapport au groupe témoin. Le lait des vaches non supplémentées présente une moyenne de 3.4855 g/100 ml (± 0.2827), tandis que les groupes ayant reçu respectivement 5 g et 10 g du probiotique atteignent des moyennes de 3.5700 g/100 ml (± 0.2787) et 3.5772 g/100 ml (± 0.3487). Cette progression, bien que modérée, traduit un effet positif du probiotique sur le métabolisme protéique et la synthèse des protéines laitières. L'augmentation est légèrement plus marquée entre le groupe témoin et le groupe 5 g, suggérant que cette dose stimule efficacement la digestion ruminale des matières azotées et l'absorption des acides aminés précurseurs des caséines et autres protéines du lait. La stabilité des valeurs entre les doses 5 g et 10 g indique que l'effet du probiotique atteint un plateau, sans

bénéfice supplémentaire notable à plus forte dose, ce qui peut s'expliquer par une saturation de l'activité microbienne ou une limitation physiologique de la capacité de synthèse protéique dans la glande mammaire.

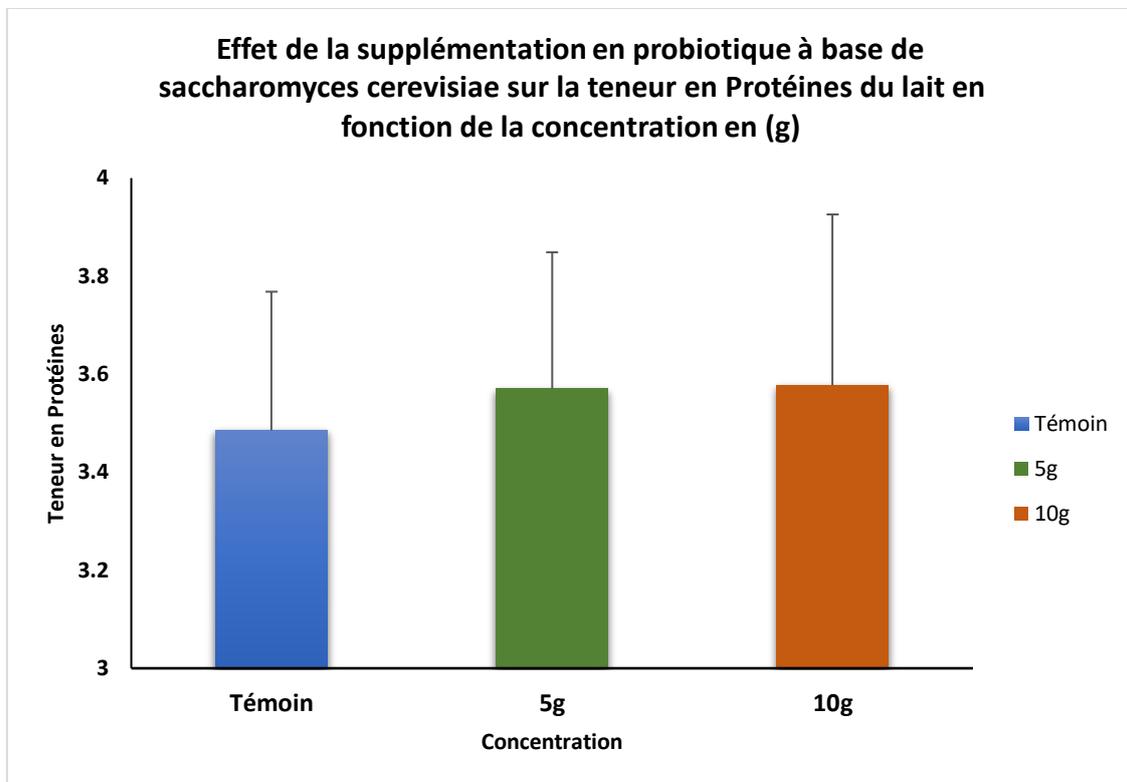


Figure 15 : Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en protéines du lait en fonction de la concentration en (g).

2.5.Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Matière grasse en fonction de la concentration en (g)

L'analyse des teneurs en matière grasse (MG) du lait selon les différentes doses de *Saccharomyces cerevisiae* administrées montre une amélioration notable par rapport au groupe témoin. Le groupe témoin présente une moyenne de 2.41 g/100 ml (± 0.8455), tandis que les groupes ayant reçu 5 g et 10 g du probiotique présentent respectivement 3.59 g/100 ml (± 1.5556) et 3.4672 g/100 ml (± 1.2526). L'augmentation marquée de la teneur en matière grasse dans les groupes traités suggère un effet positif du probiotique sur l'activité microbienne ruminale, en particulier sur la fermentation des fibres et la production d'acides gras volatils, précurseurs essentiels de la synthèse lipidique dans la glande mammaire.

Le groupe ayant reçu 5 g montre une légère supériorité en matière de concentration lipidique par rapport à celui ayant reçu 10 g, bien que l'écart-type plus élevé (± 1.5556) témoigne d'une variabilité interindividuelle plus importante dans la réponse. Le groupe de 10 g, avec une

matière grasse légèrement inférieure mais un écart-type réduit (± 1.2526), montre une réponse plus homogène. Ces résultats indiquent qu'une dose modérée du probiotique semble être plus efficace, bien que la dose élevée maintienne un niveau supérieur au témoin.

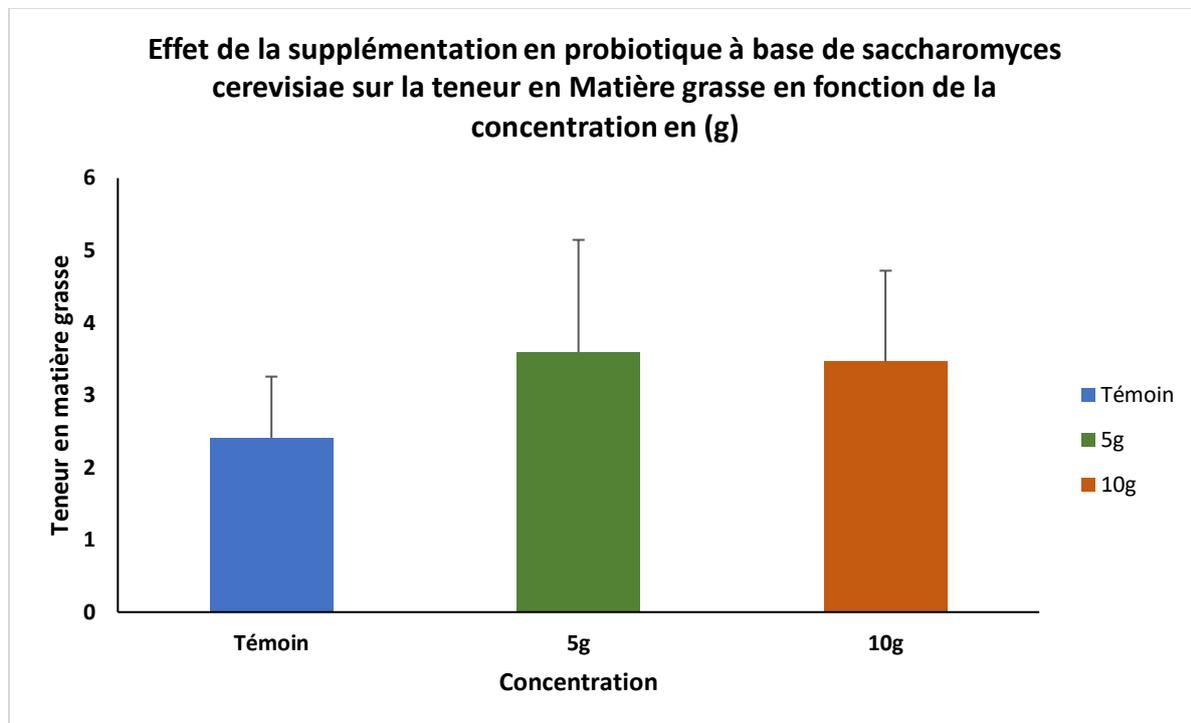


Figure 16: Effet de la supplémentation en probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae* sur la teneur en Matière grasse en fonction de la concentration en (g).

2.6. Test d'homogénéité (Levene's test)

Table 10: Résultats du test de Levene's pour les paramètres physico-chimiques en fonction des la dose.

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
pH	3.873	2	105	.024
MG	8.904	2	105	.000
Pro	.870	2	105	.422
Lac	.514	2	105	.600

Le test de Levene révèle une hétérogénéité des variances pour le pH ($p = 0,024$) et la matière grasse ($p < 0,001$), indiquant une dispersion significativement inégale entre groupes. À l'inverse, les variances des protéines ($p = 0,422$) et du lactose ($p = 0,600$) sont homogènes. Ces résultats valident l'usage de l'ANOVA classique pour les protéines et le lactose, mais suggèrent

des tests alternatifs (Welch ou Brown-Forsythe) pour le pH et la matière grasse en raison de la non-homogénéité des variances.

2.7. Analyse one-way Anova

Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée pour comparer les moyennes des groupes, avec un seuil de signification fixé à 0,05 pour déterminer la signifiante statistique.

Table 11: Résultats du test one-way Anova pour les paramètres physico-chimiques en fonction des la dose.

ANOVA

Variables		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
pH	Between Groups	.173	2	.087	7.842	.001
	Within Groups	1.159	105	.011		
	Total	1.332	107			
MG	Between Groups	28.831	2	14.415	9.053	.000
	Within Groups	167.194	105	1.592		
	Total	196.025	107			
Pro	Between Groups	.180	2	.090	.953	.389
	Within Groups	9.896	105	.094		
	Total	10.076	107			
Lac	Between Groups	3.991	2	1.995	10.412	.000
	Within Groups	20.122	105	.192		
	Total	24.113	107			

L'analyse de la variance (ANOVA) permet d'évaluer si les moyennes des paramètres physico-chimiques du lait diffèrent significativement entre les trois groupes de traitement (Témoin, 5 g et 10 g de *Saccharomyces cerevisiae*).

Pour le pH, le test montre une différence hautement significative entre les groupes ($F = 7.842$, $p = 0.001$). Cela suggère que l'ajout du probiotique a entraîné une modification significative de l'acidité du lait, probablement en lien avec une activité microbienne modifiée dans le rumen ou une amélioration de la santé métabolique des vaches.

Concernant la matière grasse (MG), le résultat est également significatif ($F = 9.053$, $p < 0.001$), ce qui indique une influence claire du probiotique sur la teneur en matière grasse du lait. Ce résultat corrobore les tendances observées dans les moyennes, où une augmentation nette de MG a été enregistrée avec la supplémentation en probiotiques, notamment à 5 g.

En revanche, pour les protéines (Pro), l'ANOVA révèle une absence de différence significative entre les groupes ($F = 0.953$, $p = 0.389$). Cela signifie que le probiotique n'a pas eu d'impact statistiquement détectable sur la teneur en protéines du lait, même si de légères augmentations numériques ont pu être observées dans les moyennes. Pour le lactose (Lac), l'analyse montre une différence hautement significative entre les groupes ($F = 10.412$, $p < 0.001$), ce qui indique une amélioration du métabolisme glucidique sous l'effet de la supplémentation. Cette hausse de la teneur en lactose pourrait refléter une meilleure activité enzymatique ou une amélioration de la synthèse du lait au niveau de la glande mammaire.

En résumé, l'ANOVA montre que le probiotique *Saccharomyces cerevisiae* influence significativement le pH, la matière grasse et le lactose, mais pas les protéines du lait. Ces résultats renforcent l'hypothèse selon laquelle ce probiotique agit positivement sur certains paramètres clés de la qualité laitière, potentiellement via une modulation du microbiote ruminal et une meilleure assimilation des nutriments.

2.8. Test robuste d'égalité des moyennes

Table 12: Résultats des tests robustes pour les paramètres physico-chimiques en fonction de la dose.

Robust Tests of Equality of Means					
		Statistic ^a	df1	df2	Sig.
pH	Welch	5.644	2	61.615	.006
	Brown-Forsythe	7.397	2	61.085	.001
MG	Welch	12.936	2	67.498	.000
	Brown-Forsythe	9.264	2	89.260	.000
Pro	Welch	1.030	2	69.726	.362
	Brown-Forsythe	.971	2	103.149	.382
Lac	Welch	10.589	2	69.250	.000
	Brown-Forsythe	10.502	2	102.983	.000

a. Asymptotically F distributed.

Les résultats des tests robustes d'égalité des moyennes (Welch et Brown-Forsythe) confirment que l'ajout du probiotique *Saccharomyces cerevisiae* entraîne des effets significatifs sur plusieurs paramètres physico-chimiques du lait. En effet, des différences hautement significatives ont été observées pour le pH ($p = 0.006$ et 0.001), la matière grasse ($p < 0.001$) et le lactose ($p < 0.001$), ce qui suggère une amélioration notable de la qualité du lait suite à l'administration du probiotique, particulièrement aux doses de 5 g et 10 g. Ces effets sont d'autant plus fiables que les tests utilisés sont robustes aux inégalités de variances entre

groupes. En revanche, aucune différence significative n'a été constatée pour les protéines ($p > 0.3$), indiquant que ce paramètre reste stable quel que soit le niveau de supplémentation. Ces résultats soutiennent l'intérêt de *Saccharomyces cerevisiae* pour optimiser certains composants du lait, sans altérer sa teneur protéique.

Discussion

Les résultats obtenus indiquent que la supplémentation des vaches laitières en *Saccharomyces cerevisiae* a amélioré de façon cohérente la composition physico-chimique du lait sur la période étudiée. Cette levure probiotique est connue pour favoriser la flore ruminale bénéfique, en particulier les bactéries consommatrices de lactate (Shabangu, 2015). Ce qui tend à stabiliser le pH ruminal et, par ricochet, le pH du lait. Nos mesures confirment une augmentation progressive du pH moyen du lait (de 6,65 à J0 à 6,72 à J60). Cette hausse légère mais significative traduit une moindre acidité lactique du lait. Elle s'accorde avec l'augmentation du pH ruminal (+0,03 en moyenne) rapportée par Desnoyers et al. (2009) lors de supplémentations en levures vivante. En outre, l'écart-type du pH reste faible (0,09–0,13), suggérant une réponse relativement homogène entre animaux. Cela indique que *S. cerevisiae* améliore l'équilibre acido-basique du rumen et du lait, limitant le stress métabolique chez les animaux.

Pour le pH du lait : nos résultats montrent que, malgré une légère tendance à l'augmentation, le pH est demeuré stable autour de 6,7 pendant toute la durée de l'étude, attestant d'une capacité de *S. cerevisiae* à maintenir l'équilibre acido-basique du lait. Cette stabilité souligne l'action régulatrice du probiotique sur la microflore ruminale, limitant les fluctuations d'acidité et assurant une composition homogène. Les écarts-types modérés traduisent une variabilité interindividuelle maîtrisée, sans altérer la tendance générale à la stabilité. Ce maintien du pH confirme l'efficacité de *S. cerevisiae* pour garantir la qualité physico-chimique du lait.

Teneur en matière grasse (MG) : Nous avons observé une hausse spectaculaire de la MG du lait (de 1,88 % à J0 à 3,99 % à J60). Cette amélioration forte diffère de la majorité des études antérieures. En méta-analyse, Desnoyers et al. (2009) rapportent en moyenne une légère augmentation du taux de matière grasse (+0,05 % en teneur relative) avec les levures. De même, Boudjenah & Temim (2008) n'avaient pas constaté de changement significatif du taux butyreux malgré une production laitière accrue. La différence notable de notre essai (plus du double du pourcentage initial) peut s'expliquer par une digestion fibreuse améliorée sous l'effet de *S. cerevisiae*. En favorisant les bactéries cellulolytiques et la production d'acétate ruminal, la levure fournit davantage de précurseurs à la lipogenèse mammaire (Wang, 2002). Ainsi, la

forte élévation de la matière grasse constatée suggère une meilleure digestibilité des fibres et un accroissement du bilan lipidique du lait, en accord partiel avec le mécanisme hypothétique (Khalouei, 2020). Bauman & Griinari (2003) ont décrits toutefois que la variabilité du taux gras était importante (écarts-types élevés), ce qui confirme que certains animaux répondent différemment au traitement.

Teneur en protéines : La teneur protéique du lait a également augmenté dans notre essai, passant de 3,29 % à J0 à 3,69 % à J60. Cette augmentation modérée est supérieure à ce qu'on trouve généralement dans la littérature. Desnoyers et al. (2009) ont en effet constaté *a priori* l'absence d'effet significatif sur la teneur en protéines du lait. De même, Boudjenah & Temim (2008) ont signalait un taux protéique stable malgré l'augmentation du volume de lait. Notre résultat différent peut s'expliquer par une meilleure valorisation azotée par *S. cerevisiae*. La levure capte l'ammoniac excédentaire et stimule la synthèse de protéines microbiennes ruminales, augmentant la quantité d'acides aminés disponibles pour la synthèse lactique. L'augmentation observée pourrait donc refléter une meilleure assimilation de l'azote alimentaire (Shabangu, 2015; Sun et al., 2021). Par ailleurs, une étude récente de Zhang et al. (2024) a également montré que 20 g/j de levures vivantes accroissent significativement le rendement total en protéines du lait, confirmant que l'apport de levures peut stimuler la synthèse protéique même si la teneur relative du lait n'augmente pas toujours.

Teneur en lactose : Le lactose a connu une hausse nette, de 4,93 % à J0 à 5,32 % à J60. Ce sucre osmotique, principal déterminant du volume de lait, augmente lorsqu'on fournit plus d'énergie au métabolisme lactique. Peu d'études se sont focalisées sur ce paramètre, mais notre résultat est cohérent avec l'amélioration générale de la production laitière. En effet, Zhang et al. (2024) ont trouvé que le rendement total en lactose est aussi accru par 20 g/j de levures. La légère baisse du lactose à J60 (comparé à J30) reste marginale, et la tendance générale indique une meilleure efficacité glucidique des cellules mammaires. L'augmentation du lactose suggère une disponibilité énergétique accrue (via le propionate ruminal) et une fonctionnalité optimale de la glande mammaire (Lehloenya et al., 2008).

L'examen de la dose de levure indique que 5 g/j a souvent été aussi efficace qu'une dose plus élevée (10 g/j). Pour le pH du lait, la différence est minime : le groupe 5 g a un pH moyen légèrement plus élevé et une variabilité plus faible ($\pm 0,059$) qu'à 10 g. Cela peut signifier qu'une faible dose suffit à stabiliser le milieu ruminal sans induire de fluctuations majeures. Concernant la MG, la concentration a culminé à 3,59 % en moyenne avec 5 g, contre 3,47 % à 10 g, bien que l'écart-type soit plus grand à 5 g. Le taux protéique et le lactose présentent des

améliorations comparables entre 5 g et 10 g (3,57 % vs 3,58 % pour les protéines, 5,34 % vs 5,32 % pour le lactose), ce qui suggère un plateau d'efficacité. Ainsi, la dose de 5 g apparaît optimale : au-delà de cette valeur, les gains supplémentaires sont limités, vraisemblablement du fait d'un effet dose non linéaire. Desnoyers et al. (2009) soulignent en effet que les bénéfices de la levure croissent selon une fonction logarithmique de la dose, d'où une saturation des effets aux fortes doses [researchgate.net](https://www.researchgate.net)

L'ANOVA a confirmé que la dose de levure influence significativement le pH, la MG et le lactose ($p < 0,01$), mais pas la teneur en protéines ($p = 0,389$). Les tests robustes sur moyennes (Welch/Brown-Forsythe) confortent ces conclusions. L'absence d'effet clair sur les protéines en fonction de la dose, malgré une légère tendance à l'augmentation, indique probablement que la synthèse protéique atteint sa limite physiologique ou que les ressources azotées ne suffisent plus pour un gain supplémentaire. En revanche, la matière grasse et le lactose, plus dépendants des substrats énergétiques et de la fermentation ruminale, restent sensibles à la supplémentation, même si l'effet maxi a probablement été atteint à 5 g.

*Conclusion
générale*

Conclusion

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'effet de la levure vivante *Saccharomyces cerevisiae* sur la composition physico-chimique du lait chez les vaches laitières, en particulier sur le pH, la teneur en matière grasse, en protéines et en lactose. Les résultats obtenus au terme des 60 jours d'expérimentation mettent en évidence une amélioration significative des paramètres physiques et chimiques du lait, en lien direct avec la supplémentation en levure, et confirment en grande partie les bénéfices attendus d'un tel additif probiotique naturel dans l'alimentation des ruminants.

Le pH du lait est resté stable, autour de 6,7, témoignant d'une meilleure stabilité acido-basique, probablement lié à une stabilité accrue du pH ruminal. Cette évolution reflète une réduction du stress métabolique chez les vaches et une amélioration de l'environnement microbien du rumen, ce qui constitue un indicateur positif de bien-être animal et de performance digestive. La teneur en matière grasse a connu une hausse marquée, dépassant parfois le double de la valeur initiale. Cette amélioration, bien que plus importante que ce qui est rapporté dans certaines études antérieures, s'explique par une meilleure digestibilité des fibres et une augmentation de la production d'acétate dans le rumen. De la même manière, la teneur protéique a légèrement augmenté mais significativement statistiquement, probablement en raison d'une meilleure valorisation de l'azote alimentaire et d'une production accrue de protéines microbiennes. Enfin, le lactose, principal sucre du lait et marqueur de l'état énergétique de l'animal, a également progressé au cours de l'expérimentation, suggérant un bon fonctionnement de la glande mammaire et une meilleure disponibilité des substrats énergétiques.

L'analyse comparative entre les deux doses testées (5 g et 10 g de levure par jour) a montré que les effets bénéfiques de *S. cerevisiae* étaient atteints dès la plus faible dose, sans amélioration proportionnelle avec la dose supérieure. Cela indique qu'une supplémentation modérée est suffisante pour induire des effets positifs, ce qui représente un avantage économique non négligeable pour les éleveurs. La dose de 5 g/j a ainsi permis d'obtenir des résultats comparables, voire supérieurs pour certains paramètres (notamment la matière grasse), à ceux enregistrés avec 10 g/j. Ce constat suggère l'existence d'un seuil d'efficacité au-delà duquel l'augmentation de la dose ne conduit pas nécessairement à une amélioration supplémentaire.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sont globalement en accord avec ceux rapportés dans la littérature scientifique, bien que certaines différences aient été observées,

Conclusion

notamment concernant l'ampleur des effets. Alors que plusieurs travaux antérieurs soulignent l'impact modeste des levures sur la composition du lait, notre essai met en évidence des gains plus prononcés, notamment sur les taux de matière grasse et de lactose.

En conclusion, cette étude démontre que la supplémentation en *Saccharomyces cerevisiae* constitue une stratégie efficace et naturelle pour améliorer la composition du lait chez les vaches laitières. L'impact positif sur le pH, la matière grasse, les protéines et le lactose atteste de l'intérêt de cette levure dans le renforcement des fonctions digestives et métaboliques de l'animal. Ces résultats offrent une perspective prometteuse pour les éleveurs désireux d'optimiser la qualité du lait tout en réduisant le recours aux intrants chimiques.

Les perspectives

Pour prolonger ces travaux, il serait non seulement utile d'étendre l'expérimentation sur un cycle complet de lactation afin d'évaluer la pérennité des effets et la variabilité saisonnière, mais aussi de parallèlement optimiser la dose et la forme galénique de *Saccharomyces cerevisiae* (poudre, encapsulée ou associée à des prébiotiques) de manière à identifier le seuil minimal efficace, tout en caractérisant la flore ruminale et les profils métaboliques (acétate, propionate, butyrate) pour en élucider les mécanismes d'action. De plus, il conviendrait d'intégrer ces résultats à une analyse coûts-bénéfices tenant compte à la fois de la valorisation économique du lait et de l'empreinte environnementale (émissions de méthane, réduction des intrants chimiques) et de reproduire l'essai sur d'autres races laitières ainsi que dans divers systèmes d'alimentation, tout en explorant enfin les impacts sur la santé animale (statut immunitaire, troubles métaboliques) et les modifications des propriétés technologiques du lait (pouvoir émulsifiant, aptitude à la transformation fromagère) afin d'ouvrir de nouvelles applications industrielles.

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

Les références bibliographiques

- Adjei-Fremah, S., Ekwemalor, K., Asiamah, E. K., Ismail, H., Ibrahim, S., & Worku, M. (2017). Effect of probiotic supplementation on growth and global gene expression in dairy cows. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 257–263. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1292913>
- Agriculture Organization of the United Nations. Food Quality, Standards Service, Agriculture Organization of the United Nations. Plant Production, Protection Division, World Health Organization. Food Safety Dept. Zoonoses, Foodborne Diseases, & World Health Organization. (2007). FAO/WHO framework for the provision of scientific advice on food safety and nutrition. Food & Agriculture Org.
- Amos, H. E., Kiser, T., & Loewenstein, M. (1985). Influence of milking frequency on productive and reproductive efficiencies of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 68(3), 732-739.
- Antanaitis, R., Džermeikaitė, K., Krištolaitytė, J., Girdauskaitė, A., Arlauskaitė, S., Tolkačiovaitė, K., & Baumgartner, W. (2024). The Relation between Milk Lactose Concentration and the Rumination, Feeding, and Locomotion Behavior of Early-Lactation Dairy Cows. *Animals*, 14(6), 836.
- Anumudu, C. K., Miri, T., & Onyeaka, H. (2024). Multifunctional Applications of Lactic Acid Bacteria: Enhancing Safety, Quality, and Nutritional Value in Foods and Fermented Beverages. *Foods*, 13(23), 3714. <https://doi.org/10.3390/foods13233714>
- Arief, J. N., & Satria, B. (2019). Response of etawa dairy goat to provision of probiotics in ration containing by-product of palm oil industry. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 7(11), 999-1005.
- Arik, H. D., Gulsen, N., Hayirli, A., & Alatas, M. S. (2019). Efficacy of *Megasphaera elsdenii* inoculation in subacute ruminal acidosis (SARA) in cattle. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(2), 416–426.
- Asil, A. K., Mohammadabadi, T., Chaji, M., & Direkvandi, E. (2023). Evaluating the effects of direct-fed microbial supplementation on the performance, milk quality and fatty acid of mid-lactating dairy cows. *Veterinary Medicine and Science*, 9(5), 2212-2220.
- Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., & Cassidy, T. W. (2003). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 1777–1792.
- Barreto, M. O., Soust, M., Moore, R. J., Olchoway, T. W., & Alawneh, J. I. (2021). Systematic review and meta-analysis of probiotic use on inflammatory biomarkers and disease prevention in cattle. *Preventive Veterinary Medicine*, 194, 105433.
- Bauman, D. E., & Currie, W. B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, 63(9), 1514–1529.

Références bibliographiques

- Bauman, D. E., & Currie, W. B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of dairy science*, 63(9), 1514-1529.
- Bauman, D. E., & Griinari, J. M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual review of nutrition*, 23(1), 203-227.
- Bergillos-Meca, T., Navarro-Alarcón, M., Cabrera-Vique, C., Artacho, R., Olalla, M., Giménez, R., ... & Ruiz-López, M. D. (2013). The probiotic bacterial strain *Lactobacillus fermentum* D3 increases in vitro the bioavailability of Ca, P, and Zn in fermented goat milk. *Biological trace element research*, 151, 307-314.
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*, 70(2), 567-590.
- Bernárdez, P. F., González, C. F., Batán, J., Castro, L. P., & Guerra, N. P. (2008). Performance and intestinal coliform counts in weaned piglets fed a probiotic culture (*Lactobacillus casei* subsp. *casei* CECT 4043) or an antibiotic. *Journal of food protection*, 71(9), 1797-1805.
- Berry, D. P., Friggens, N. C., Lucy, M., & Roche, J. R. (2016). Milk production and fertility in cattle. *Annual review of animal biosciences*, 4(1), 269-290.
- Block, E. (1984). Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever. *Journal of dairy science*, 67(12), 2939-2948.
- Boudjenah, A., & Temim, S. (2008). Effet d'une supplémentation de l'aliment en levure *saccharomyces cerevisiae* sur les paramètres zootechniques de la vache laitière en peripartum (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire).
- Broderick, G. A. (2003). Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(4), 1370-1381.
- Butler, W. R. (2000). Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, 60-61, 449-457.
- Chaucheyras-Durand, F., & Durand, H. (2010). Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial Microbes*, 1(1), 3-9.
- Chaucheyras-Durand, F., Ameilbonne, A., Auffret, P., Bernard, M., Mialon, M. M., Dunière, L., & Forano, E. (2019). Supplementation of live yeast based feed additive in early life promotes rumen microbial colonization and fibrolytic potential in lambs. *Scientific reports*, 9(1), 19216.
- Chaucheyras-Durand, F., Masségli, S., Fonty, G., & Forano, E. (2010). Influence of the composition of the cellulolytic flora on the development of hydrogenotrophic microorganisms, hydrogen utilization, and methane production in the rumens of gnotobiotically reared lambs. *Applied and environmental microbiology*, 76(24), 7931-7937.

Références bibliographiques

- Chaucheyras-Durand, F., Walker, N. D., & Bach, A. (2008). Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 5-26.
- Chen, L., Wang, L., Li, J., & Shu, G. (2021). Antihypertensive potential of fermented milk: The contribution of lactic acid bacteria proteolysis system and the resultant angiotensin-converting enzyme inhibitory peptide. *Food & Function*, 12(22), 11121-11131.
- Chinnadurai, K., & Tyagi, A. (2011). Conjugated linoleic acid: A milk fatty acid with unique health benefit properties. *Soybean and health*, 111.
- Cook, N. B., & Nordlund, K. V. (2009). The influence of the environment on dairy cow behavior, claw health and herd lameness dynamics. *The Veterinary Journal*, 179(3), 360–369.
- Cutting, S. M. (2011). *Bacillus* probiotics. *Food Microbiology*, 28(2), 214–220.
- Daneshi, M., Ehsani, M. R., Razavi, S. H., & Labbafi, M. (2013). Effect of refrigerated storage on the probiotic survival and sensory properties of milk/carrot juice mix drink. *Electronic Journal of Biotechnology*, 16(5), 5-5.
- Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., & Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary world*, 9(3), 260.
- Datt, C. (2015). *Animal Feeding: Concepts and Practices*. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 32(3).
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C., & Sauvant, D. (2009). Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1620-1632.
- Devarajan, A., Mudgil, P., Aldhaheri, F., Hamed, F., Dhital, S., & Maqsood, S. (2022). Camel milk-derived probiotic strains encapsulated in camel casein and gelatin complex microcapsules: Stability against thermal challenge and simulated gastrointestinal digestion conditions. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 1862-1877.
- Devarajan, A., Mudgil, P., Aldhaheri, F., Hamed, F., Dhital, S., & Maqsood, S. (2022). Camel milk-derived probiotic strains encapsulated in camel casein and gelatin complex microcapsules: Stability against thermal challenge and simulated gastrointestinal digestion conditions. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 1862-1877.
- Dowarah, R., Verma, A. K., & Agarwal, N. (2017). The use of *Lactobacillus* as an alternative of antibiotic growth promoters in pigs: A review. *Animal Nutrition*, 3(1), 1–6.
- Drackley, J. K. (1999). Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2259–2273.
- Eastridge, M. L. (2006). Major advances in applied dairy cattle nutrition. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1311–1323.

Références bibliographiques

- European Union (EU). (2004). Regulation (EC) No 853/2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin. *Official Journal of the European Union*, L139, 55–205.
- Fernández, M. F., Boris, S., & Barbes, C. (2003). Probiotic properties of human lactobacilli strains to be used in the gastrointestinal tract. *Journal of applied microbiology*, 94(3), 449-455.
- Ferrari, S. (2014). Improving Cow Comfort to Reduce Health Issues and Increase Milk Yield on Dairy Farms.
- Fink, T., Lopdell, T. J., Tiplady, K., Handley, R., Johnson, T. J., Spelman, R. J., ... & Littlejohn, M. D. (2020). A new mechanism for a familiar mutation—bovine DGAT1 K232A modulates gene expression through multi-junction exon splice enhancement. *BMC genomics*, 21, 1-13.
- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (1998). *Dairy Chemistry and Biochemistry*. London: Blackie Academic & Professional.
- Fujisawa, T., Benno, Y., Yaeshima, T., & Mitsuoka, T. (1992). Taxonomic study of the *Lactobacillus acidophilus* group, with recognition of *Lactobacillus gallinarum* sp. nov. and *Lactobacillus johnsonii* sp. nov. and synonymy of *Lactobacillus acidophilus* group A3 (Johnson et al. 1980) with the type strain of *Lactobacillus amylovorus* (Nakamura 1981). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 42(3), 487-491.
- Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66(5), 365–378.
- Gaba, K., & Anand, S. (2023). Incorporation of probiotics and other functional ingredients in dairy fat-rich products: Benefits, challenges, and opportunities. *Dairy*, 4(4), 630-649.
- Gaggia, F., Mattarelli, P., & Biavati, B. (2010). Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*, 141(Suppl 1), S15–S28.
- Gaggia, F., Mattarelli, P., & Biavati, B. (2010). Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*, 141, S15–S28.
- Gengelbach, G. P., Ward, J. D., & Spears, J. W. (1994). Effect of dietary copper, iron, and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *Journal of Animal Science*, 72(10), 2722–2727.
- Gharib, N. K., Rahimi, S., & Khaki, P. (2012). Comparison of the effects of probiotic, organic acid and medicinal plant on *Campylobacter jejuni* challenged broiler chickens.
- Gheorghe-Irimia, R. A., Sonea, C., Tapaloaga, D., Gurau, M. R., Ilie, L. I., & Tapaloaga, P. R. (2023). Innovations in Dairy Cattle Management: Enhancing Productivity and Environmental Sustainability. *Annals of Valahia University of Târgoviște. Agriculture*, 15(2).

Références bibliographiques

- Goff, J. P. (2008). The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *The Veterinary Journal*, 176(1), 50–57.
- González, L. A., Kyriazakis, I., & Tedeschi, L. O. (2018). Precision nutrition of ruminants: approaches, challenges and potential gains. *Animal*, 12(s2), s246-s261.
- Górka, P., Kowalski, Z. M., Zabielski, R., & Guilloteau, P. (2018). Invited review: Use of butyrate to promote gastrointestinal tract development in calves. *Journal of dairy science*, 101(6), 4785-4800.
- Gross, J., van Dorland, H. A., Bruckmaier, R. M., & Schwarz, F. J. (2011). Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. *Journal of dairy science*, 94(4), 1820-1830.
- Grummer, R. R. (1995). Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2820–2833.
- He, X., Zhao, S., & Li, Y. (2021). Faecalibacterium prausnitzii: A Next-Generation Probiotic in Gut Disease Improvement. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, 2021(1), 6666114.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... & Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*.
- Hogan, J. S., & Smith, K. L. (2003). Coliform mastitis. *Veterinary Research*, 34(5), 507–519.
- Ilesanmi-Oyelere, B. L., & Kruger, M. C. (2020). The role of milk components, pro-, pre-, and synbiotic foods in calcium absorption and bone health maintenance. *Frontiers in Nutrition*, 7, 578702.
- Kand, D., & Dickhoefer, U. (2021). The effects of rumen nitrogen balance on nutrient intake, nitrogen partitioning, and microbial protein synthesis in lactating dairy cows offered different dietary protein sources. *Journal of Dairy Science*, 104(4), 4223-4235.
- Kemp, A., & 't Hart, M. L. (1957). Grass tetany in grazing milking cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 5(1), 4–17.
- Khalouei, H. (2020). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products (SCFP) and subacute ruminal acidosis (SARA) on feed intake, milk production and component, and fermentation in lactating dairy cows.
- Khan, M. U., Yu, P., Wu, Y., Chen, Z., Kong, L., Farid, A., ... & Yang, J. (2025). Comprehensive review of enzymes (protease, lipase) in milk: Impact on storage quality, detection methods, and control strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(3), e70164.
- Klevenhusen, F., & Zebeli, Q. (2021). A review on the potentials of using feeds rich in water-soluble carbohydrates to enhance rumen health and sustainability of dairy cattle production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(14), 5737-5746.

Références bibliographiques

- Kober, A. H., Saha, S., Islam, M. A., Rajoka, M. S. R., Fukuyama, K., Aso, H., ... & Kitazawa, H. (2022). Immunomodulatory effects of probiotics: a novel preventive approach for the control of bovine mastitis. *Microorganisms*, 10(11), 2255.
- Kovacs, C. S. (2016). Maternal mineral and bone metabolism during pregnancy, lactation, and post-weaning recovery. *Physiological reviews*, 96(2), 449-547.
- Krause, D. O., Denman, S. E., Mackie, R. I., Morrison, M., Rae, A. L., Attwood, G. T., & McSweeney, C. S. (2003). Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: Microbiology, ecology, and genomics. *FEMS Microbiology Reviews*, 27(5), 663–693.
- Krehbiel, C. R., Rust, S. R., Zhang, G., & Gilliland, S. E. (2003). Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: Performance response and mode of action. *Journal of Animal Science*, 81(14_suppl_2), E120–E132.
- Kulkarni, N. A., Chethan, H. S., Srivastava, R., & Gabbur, A. B. (2022). Role of probiotics in ruminant nutrition as natural modulators of health and productivity of animals in tropical countries: an overview. *Tropical Animal Health and Production*, 54(2), 110.
- Kunwar, H. (2024). Lactic acid bacteria with antagonistic properties towards dairy food microbial contaminants and mastitis pathogens (Doctoral dissertation, Swinburne).
- Latif, A., Shehzad, A., Niazi, S., Zahid, A., Ashraf, W., Iqbal, M. W., Rehman, A., Riaz, T., Aadil, R. M., Khan, I. M., Özogul, F., Rocha, J. M., Esatbeyoglu, T., & Korma, S. A. (2023). Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Frontiers in microbiology*, 14, 1216674. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1216674>
- Lean, I. J., DeGaris, P. J., McNeil, D. M., & Block, E. (2006). Hypocalcemia in dairy cows: Meta-analysis and dietary cation anion difference theory revisited. *Journal of Dairy Science*, 89(2), 669–684.
- Lee, C., Hristov, A. N., Dell, C. J., Feyereisen, G. W., Kaye, J., & Beegle, D. (2012). Effect of dietary protein concentration on ammonia and greenhouse gas emitting potential of dairy manure. *Journal of dairy science*, 95(4), 1930-1941.
- Lee, K. W., Lillehoj, H. S., & Jang, S. I. (2020). Effects of Bacillus-based probiotics on growth performance, nutrient digestibility, and intestinal health in broilers. *Poultry Science*, 99(11), 5414–5422.
- Lehloenya, K. V., Stein, D. R., Allen, D. T., Selk, G. E., Jones, D. A., Aleman, M. M., ... & Spicer, L. J. (2008). Effects of feeding yeast and propionibacteria to dairy cows on milk yield and components, and reproduction. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 92(2), 190-202.
- Leis, R., de Castro, M. J., de Lamas, C., Picáns, R., & Couce, M. L. (2020). Effects of prebiotic and probiotic supplementation on lactase deficiency and lactose intolerance: a systematic review of controlled trials. *Nutrients*, 12(5), 1487.

Références bibliographiques

- Leksir, C., & Boushaba, R. (2012). Caractérisation et contrôle de la qualité de ferments lactiques utilisés dans l'industrie laitière algérienne (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).
- Lemaire, M., Ménard, O., Cahu, A., Nogret, I., Briard-Bion, V., Cudennec, B., ... & Le Huërou-Luron, I. (2021). Addition of dairy lipids and probiotic *Lactobacillus fermentum* in infant formulas modulates proteolysis and lipolysis with moderate consequences on gut physiology and metabolism in Yucatan piglets. *Frontiers in nutrition*, 8, 615248.
- Lilly, D. M., & Stillwell, R. H. (1965). Probiotics: Growth-promoting factors produced by microorganisms. *Science*, 147(3659), 747–748.
- Lock, A. L., & Shingfield, K. J. (2004). Optimising milk composition. In P. C. Garnsworthy (Ed.), *Nutrition and Lactation in the Dairy Cow* (pp. 107–188). Nottingham University Press.
- Loor, J. J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M., & Chilliard, Y. (2005). Relationship among trans and conjugated linoleic acids and milk fat percentage for cows fed diets high in concentrate or grass silage. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 726–740.
- Lucey, J. A., & Kelly, J. (1994). Cheese yield. *Journal of the Society of Dairy Technology*, 47(1), 1–14.
- Lucey, J. O. H. N., & Kelly, J. A. M. E. S. (1994). Cheese yield.
- Luthi, A. (2024). Modulating acidity and bioactivities of sauerkraut with *Propionibacterium freudenreichii*: A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science in Food Innovation at Lincoln University.
- Ma, Y., Khan, M. Z., Xiao, J., Alugongo, G. M., Chen, X., Chen, T., ... & Cao, Z. (2021). Genetic markers associated with milk production traits in dairy cattle. *Agriculture*, 11(10), 1018.
- Maajid, H. S., Nurliyani, N., & Widodo, W. (2022). Exopolysaccharide production in fermented milk using *Lactobacillus casei* strains AP and AG. *AIMS microbiology*, 8(2), 138.
- Macaldowie, C. (2016). *Management of Dairy Animals: Sheep: Health Management*.
- Maleki, M. H., Daneshniya, M., & Abdolmaleki, F. (2025). Investigating the Physicochemical and Antioxidant Properties of Goat Milk Enriched With Rice Extract Fermented by Exopolysaccharide-Producing Lactic Bacteria for Functional Yogurt Production. *International Journal of Food Science*, 2025(1), 8008452.
- Malmuthuge, N., Liang, G., & Guan, L. L. (2019). Regulation of rumen development in neonatal ruminants through microbial metagenomes and host transcriptomes. *Genome Biology*, 20(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13059-019-1786-0>
- Managing Cow Lactation Cycles. (2015). [Thecattlesite.com. https://www.thecattlesite.com/articles/4248/managing-cow-lactation-cycles/#:~:text=Hence%20a%20cow%20peaking%20at,delay%20the%20onset%20of%20oestrus.](https://www.thecattlesite.com/articles/4248/managing-cow-lactation-cycles/#:~:text=Hence%20a%20cow%20peaking%20at,delay%20the%20onset%20of%20oestrus.)

Références bibliographiques

- Mao, J., & Wang, L. (2025). Rumen acidosis in ruminants: a review of the effects of high-concentrate diets and the potential modulatory role of rumen foam. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1595615.
- McAllister, T. A., Beauchemin, K. A., Alazeh, A. Y., et al. (2011). Review: The use of direct fed microbials to mitigate pathogens and enhance production in cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(2), 193–211.
- McFarland, L. V. (2010). Systematic review and meta-analysis of *Saccharomyces boulardii* in adult patients. *World Journal of Gastroenterology*, 16(18), 2202–2222.
- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463–1481.
- Metaxas, L. (2016). The production performance of Holstein and Fleckvieh x Holstein cows in an intensive feeding system (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Metchnikoff, É. (1908). *The prolongation of life: Optimistic studies*. G. P. Putnam's Sons.
- Mgomi, F. C., Yang, Y. R., Cheng, G., & Yang, Z. Q. (2023). Lactic acid bacteria biofilms and their antimicrobial potential against pathogenic microorganisms. *Biofilm*, 5, 100118.
- Miller, J. K., Brzezinska-Slebodzinska, E., & Madsen, F. C. (1993). Oxidative stress, antioxidants, and animal function. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2812–2823.
- Miyaguchi, J., Shiga, K., Ogawa, K., Suzuki, F., Katagiri, K., Saito, D., ... & Igimi, S. (2018). Treatment with *Lactobacillus* retards the tumor growth of head and neck squamous cell carcinoma cells inoculated in mice. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 245(4), 269-275.
- Morgavi, D. P., Forano, E., Martin, C., & Newbold, C. J. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4(7), 1024–1036.
- Nalla, K., Manda, N. K., Dhillon, H. S., Kanade, S. R., Rokana, N., Hess, M., & Puniya, A. K. (2022). Impact of probiotics on dairy production efficiency. *Frontiers in microbiology*, 13, 805963.
- Narayana, S. G., de Jong, E., Schenkel, F. S., Fonseca, P. A., Chud, T. C., Powell, D., ... & Barkema, H. W. (2023). Underlying genetic architecture of resistance to mastitis in dairy cattle: A systematic review and gene prioritization analysis of genome-wide association studies. *Journal of dairy science*, 106(1), 323-351.
- Nataraj, B. H., & Mallappa, R. H. (2021). Antibiotic resistance crisis: an update on antagonistic interactions between probiotics and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Current microbiology*, 78(6), 2194-2211.
- National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th ed.). National Academies Press.

Références bibliographiques

- Newbold, C. J., de la Fuente, G., Belanche, A., Ramos-Morales, E., & McEwan, N. R. (2015). The role of ciliate protozoa in the rumen. *Frontiers in Microbiology*, 6, Article 1313.
- Nousiainen, J., & Setälä, J. (1993). Lactic acid bacteria as animal probiotics.
- NRC (National Research Council). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th rev. ed.). Washington, DC: National Academy Press.
- O'Brien, B., & Guinee, T. P. (2022). Seasonal Effects on Processing Properties of Cows' Milk. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 615–622. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818766-1.00336-6>
- O'Callaghan, A., & van Sinderen, D. (2016). Bifidobacteria and their role as members of the human gut microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 7, Article 925.
- Oetzel, G. R. (2007). Herd-level ketosis: Diagnosis and risk factors. *Proceedings of the 40th Annual Conference of the American Association of Bovine Practitioners*, 67–91.
- Olchoway, T. W. J., Soust, M., & Alawneh, J. (2019). The effect of a commercial probiotic product on the milk quality of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2188-2195.
- Oliveira, R. P. D. S., Perego, P., Converti, A., & De Oliveira, M. N. (2009). Growth and acidification performance of probiotics in pure culture and co-culture with *Streptococcus thermophilus*: The effect of inulin. *LWT-Food Science and Technology*, 42(5), 1015-1021.
- Overton, T. R., & Waldron, M. R. (2004). Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metabolic health. *Journal of Dairy Science*, 87(E. Suppl.), E105–E119.
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (1980). Fat in lactation rations: Review. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 1–14.
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (1980). Fat in lactation rations. *Journal of dairy science*, 63(1), 1-14.
- Pang, J., Liu, Y., Kang, L., Ye, H., Zang, J., Wang, J., & Han, D. (2022). *Bifidobacterium animalis* promotes the growth of weaning piglets by improving intestinal development, enhancing antioxidant capacity, and modulating gut microbiota. *Applied and environmental microbiology*, 88(22), e01296-22.
- Pantoja, J. C. F., Hulland, C., & Ruegg, P. L. (2009). Dynamics of somatic cell counts and intramammary infections across the dry period. *Preventive Veterinary Medicine*, 90(1–2), 43–54.
- Parker, R. B. (1974). Probiotics: The other half of the antibiotic story. *Animal Nutrition & Health*, 29(1), 4–8.
- Percival, S. L. (2009). Probiotics and the Ageing Gut. *Microbiology and Aging: Clinical Manifestations*, 275-289.

Références bibliographiques

- Pereira, R. T., Costa, A. P., & Silva, J. T. (2011). Effects of probiotic supplementation on milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(6), 729–736.
- Plaizier, J. C., Krause, D. O., Gozho, G. N., & McBride, B. W. (2008). Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. *The Veterinary Journal*, 176(1), 21–31.
- Plovier, H., Everard, A., Druart, C., Depommier, C., Van Hul, M., Geurts, L., ... & Cani, P. D. (2017). A purified membrane protein from *Akkermansia muciniphila* or the pasteurized bacterium improves metabolism in obese and diabetic mice. *Nature Medicine*, 23(1), 107–113.
- Ponnampalam, E. N., Priyashantha, H., Vidanarachchi, J. K., Kiani, A., & Holman, B. W. (2024). Effects of nutritional factors on fat content, fatty acid composition, and sensorial properties of meat and milk from domesticated ruminants: An overview. *Animals*, 14(6), 840.
- Prestes, A. A., Vargas, M. O., Helm, C. V., Esmerino, E. A., Silva, R., & Prudencio, E. S. (2021). How to improve the functionality, nutritional value and health properties of fermented milks added of fruits bioactive compounds: a review. *Food Science and Technology*, 42, e17721.
- Qi, W., Xue, M. Y., Jia, M. H., Zhang, S., Yan, Q., & Sun, H. Z. (2023). Understanding the functionality of the rumen microbiota: searching for better opportunities for rumen microbial manipulation. *Animal bioscience*, 37(2), 370.
- Qiao, J., Kwok, L., Zhang, J., Gao, P., Zheng, Y., Guo, Z., ... & Zhang, H. (2015). Reduction of *Lactobacillus* in the milks of cows with subclinical mastitis. *Beneficial Microbes*, 6(4), 485-493.
- Rainard, P., & Riollet, C. (2006). Innate immunity of the bovine mammary gland. *Veterinary Research*, 37(3), 369–400.
- Regulation - 853/2004 - EN - EUR-Lex. (2024). Europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/853/oj/eng>
- Reinhardt, T. A., Lippolis, J. D., McCluskey, B. J., Goff, J. P., & Horst, R. L. (2011). Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *The Veterinary Journal*, 188(1), 122–124.
- Retta, K. S. (2016). Role of probiotics in rumen fermentation and animal performance: a review. *International journal of livestock production*, 7(5), 24-32.
- Ruegg, P. L. (2003). Practical food safety interventions for dairy production. *Journal of Dairy Science*, 86(E. Suppl), E1–E9.
- Ruelle, E., Delaby, L., & Shalloo, L. (2019). Linkage between predictive transmitting ability of a genetic index, potential milk production, and a dynamic model. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3512-3522.

Références bibliographiques

- Russell, J. B., & Strobel, H. J. (1989). Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(1), 1–6.
- Sánchez, B., Delgado, S., Blanco-Míguez, A., Lourenço, A., Gueimonde, M., & Margolles, A. (2017). Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease. *Molecular nutrition & food research*, 61(1), 1600240.
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Reid, G., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. (2019). Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: From biology to the clinic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 16(10), 605–616.
- Seo, J. K., Kim, S. W., Kim, M. H., Upadhaya, S. D., Kam, D. K., & Ha, J. K. (2010). Direct-fed microbials for ruminant animals. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(12), 1657-1667.
- Serna, J., & Bergwitz, C. (2020). Importance of Dietary Phosphorus for Bone Metabolism and Healthy Aging. *Nutrients*, 12(10), 3001. <https://doi.org/10.3390/nu12103001>
- Shabangu, N. P. (2015). Milk yield and quality, nitrogen metabolism and rumen fermentation parameters in dairy cows fed different level of dietary concentrate and live yeast (Doctoral dissertation).
- Shewale, R. N., Sawale, P. D., Khedkar, C. D., & Singh, A. (2014). Selection criteria for probiotics: A review. *International Journal of Probiotics & Prebiotics*, 9(1/2), 17.
- Siedler, S., Rau, M. H., Bidstrup, S., Vento, J. M., Aunsbjerg, S. D., Bosma, E. F., ... & Neves, A. R. (2020). Competitive exclusion is a major bioprotective mechanism of lactobacilli against fungal spoilage in fermented milk products. *Applied and environmental microbiology*, 86(7), e02312-19.
- Sinclair, K. D., Garnsworthy, P. C., Mann, G. E., & Sinclair, L. A. (2014). Reducing dietary protein in dairy cow diets: Implications for nitrogen utilization, milk production, fertility and emissions. *Animal*, 8(12), 1961–1971.
- Smith, K. L., Hogan, J. S., & Weiss, W. P. (1997). Dietary vitamin E and selenium affect mastitis and milk quality. *Journal of Animal Science*, 75(6), 1659-1665.
- Soccol, C. R., Vandenberghe, L. P. de S., Spier, M. R., Medeiros, A. B. P., Yamaguishi, C. T., Lindner, J. D. D., Pandey, A., & Thomaz-Soccol, V. (2010). The potential of probiotics: A review. *Food Technology and Biotechnology*, 48(4), 413–434. <https://hrcak.srce.hr/59423>
- Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1–2), 151–163.
- Spears, J. W., & Weiss, W. P. (2008). Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *The Veterinary Journal*, 176(1), 70–76.
- Stefańska, B., Katzer, F., Golińska, B., Sobolewska, P., Smulski, S., Frankiewicz, A., & Nowak, W. (2022). Different methods of eubiotic feed additive provision affect the health, performance, fermentation, and metabolic status of dairy calves during the preweaning period. *BMC Veterinary Research*, 18(1), 138.

Références bibliographiques

- Sun, P., Wang, J. Q., & Deng, L. F. (2013). Effects of *Bacillus subtilis* natto on milk production, rumen fermentation and ruminal microbiome of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 180(3–4), 146–156.
- Sun, X., Wang, Y., Ma, X., Li, S., & Wang, W. (2022). Producing natural functional and low-carbon milk by regulating the diet of the cattle—The fatty acid associated rumen fermentation, biohydrogenation, and microorganism response. *Frontiers in Nutrition*, 9, 955846.
- Sun, X., Wang, Y., Wang, E., Zhang, S., Wang, Q., Zhang, Y., ... & Li, S. (2021). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal fermentation, blood metabolism, and performance of high-yield dairy cows. *Animals*, 11(8), 2401.
- Tesfaye, A., & Hailu, Y. (2019). The effects of probiotics supplementation on milk yield and composition of lactating dairy cows. *The Journal of Phytopharmacology*, 8(1), 12-17.
- Tesfaye, A., & Hailu, Y. (2019). The effects of probiotics supplementation on milk yield and composition of lactating dairy cows. *The Journal of Phytopharmacology*, 8(1), 12-17.
- Tesfaye, A., & Hailu, Y. (2019). The effects of probiotics supplementation on milk yield and composition of lactating dairy cows. *The Journal of Phytopharmacology*, 8(1), 12-17.
- Tiwari, G., Tiwari, R., Pandey, S., & Pandey, P. (2012). Promising future of probiotics for human health: Current scenario. *Chronicles of Young Scientists*, 3(1), 17. <https://doi.org/10.4103/2229-5186.94308>
- Tiwari, S., Kavitate, D., Devi, P. B., & Shetty, P. H. (2021). Bacterial exopolysaccharides for improvement of technological, functional and rheological properties of yoghurt. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1585-1595.
- Toghdori, A. H., Ghorchi, T., Hosseinabadi, M., & Rezvani, M. M. (2022). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production and composition, nutrient digestibility and blood parameters in dairy cows.
- Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of functional foods*, 9, 225-241..
- Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of functional foods*, 9, 225-241.
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). *The Mineral Nutrition of Livestock* (3rd ed.). Wallingford: CABI Publishing.
- Uyeno, Y., Shigemori, S., & Shimosato, T. (2015). Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and environments*, 30(2), 126-132.
- Valk, H. (1994). Effects of phosphorus intake on excretion, and milk production in dairy cows. *Ph.D. Thesis*, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Références bibliographiques

- Varada, V. V., & Kumar, S. (2024). Scope of microbial feed additives in ruminant nutrition. In *Feed Additives and Supplements for Ruminants* (pp. 29-50). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Wahinya, P. K., Jeyaruban, M. G., Swan, A. A., Gilmour, A. R., & Magothe, T. M. (2020). Genetic parameters for test-day milk yield, lactation persistency, and fertility in low-, medium-, and high-production systems in Kenya. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 10399-10413.
- Walstra, P., Walstra, P., Wouters, J. T., & Geurts, T. J. (2005). *Dairy science and technology*. CRC press.
- Walter, J. (2008). Ecological role of lactobacilli in the gastrointestinal tract: Implications for fundamental and biomedical research. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(16), 4985–4996.
- Wang, J., Zhao, G., Zhuang, Y., Chai, J., & Zhang, N. (2022). Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture promotes the performance of fattening sheep by enhancing nutrients digestibility and rumen development. *Fermentation*, 8(12), 719.
- Weiss, W. P. (1998). Requirements of fat-soluble vitamins for dairy cows: A review. *Journal of Dairy Science*, 81(9), 2493–2501.
- Weiss, W. P., Hogan, J. S., Todhunter, D. A., & Smith, K. L. (1997). Effect of vitamin E supplementation in diets with a low concentration of selenium on mammary gland health of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 73(2), 381–390.
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144.
- Xu, H., Huang, W., & Hou, Q. (2019). Probiotics increase milk yield and lactose synthesis in dairy cows via gut-microbiota-mammary axis signaling. *Microorganisms*, 7(10), 452. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7100452>
- Xu, H., Huang, W., Hou, Q., Kwok, L. Y., Sun, Z., Ma, H., ... & Zhang, H. (2017). The effects of probiotics administration on the milk production, milk components and fecal bacteria microbiota of dairy cows. *Science Bulletin*, 62(11), 767-774.
- Yalew, K., Pang, X., Huang, S., Zhang, S., Yang, X., Xie, N., ... & Li, X. (2024). Recent Development in Detection and Control of Psychrotrophic Bacteria in Dairy Production: Ensuring Milk Quality. *Foods*, 13(18), 2908.
- Zhang, Q., Ma, L., Zhang, X., Jia, H., Tana, Guo, Y., ... & Wang, J. (2024). Feeding live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) improved performance of mid-lactation dairy cows by altering ruminal bacterial communities and functions of serum antioxidation and immune responses. *BMC Veterinary Research*, 20(1), 245.
- Zimbelman, R. B., Rhoads, R. P., Rhoads, M. L., Duff, G. C., Baumgard, L. H., & Collier, R. J. (2009). A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) on milk production in high producing dairy cows. *Proceedings of the 24th Southwest Nutrition and Management Conference*, 158–168.

Références bibliographiques

Elghandour, M. M., Abu Hafsa, S. H., Cone, J. W., Salem, A. Z., Anele, U. Y., & Alcala-Canto, Y. (2024). Prospect of yeast probiotic inclusion enhances livestock feeds utilization and performance: An overview. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(3), 2923-2935.

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Blida 1



Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de science alimentaire
Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en
Spécialité : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité

Thème :

Évaluation de l'effet de la supplémentation en *Saccharomyces cerevisiae* sur la qualité physico-chimique du lait chez la vache laitière

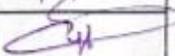
Réalisé par :

SAADOU Kamel

TOUIDJ Youcef

AYEB Anes

Devant le jury :

MEGATLI Smail	Professeur	Président
KADRI Brahim	MCB	Examineur 
OUCHENE Nassim	Professeur	Promoteur 
DAHMANI Radia	Doctorante	Co-promotrice

Année universitaire : 2024/2025