



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE IBN KHALDOUN DE TIARET
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES**



Thèse

En vue de l'obtention du diplôme

De DOCTORAT LMD EN SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Filière : Sciences Vétérinaires

Spécialité : Pathologies des Ruminants

Présenté par

BELDJOUHAR Nadjiba

THEME :

Effet des probiotiques sur les paramètres zootechniques, hémato-biochimiques et reproductifs chez la vache laitière

Devant le jury composé de :

Membres du jury	Nom et Prénom	Grade	Université d'origine
Président	AGGAD Hebib	Professeur	Université de Tiaret
Directeur de thèse	AYAD Mohamed Amine	Maitre de conférences A	Université de Tiaret
Co-Directeur de thèse	SAIM Mohamed Said	Maitre de conférences A	Université de Tiaret
Examinatrice	BOURABAH Akila	Professeur	Université de Tiaret
Examinatrice	SMAIL Fadhéla	Maitre de conférences A	Université Tiaret
Examineur	AMMAM Abdelkader	Professeur	Université de Saida
Examineur	BELMAMOUN Ahmed Reda	Professeur	Université de Sidi Bel Abbès

Année universitaire : 2024 – 2025

Remerciements

REMERCIEMENTS

LOUANGE À ALLAH,

Le Tout-Puissant, le Très Miséricordieux, qui m'a accordé la chance, la patience, et la force nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

AU PROPHÈTE MOHAMMED (S, A, W),

Que les bénédictions et la paix de Dieu soient sur lui. Ses paroles inspirantes, telles que : « Apprenez du berceau jusqu'à la tombe », nous rappellent l'importance de la quête de savoir tout au long de notre vie. Nous lui témoignons notre respect infini et notre gratitude pour son enseignement précieux à l'humanité.

À MON RAPPORTEUR DE THÈSE

MONSIEUR DR, AYAD MOHAMED AMINE

Maître de conférences A à l'institut vétérinaire de Tiaret

Il m'est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute ma gratitude envers vous. Vous avez été bien plus qu'un encadrant tout au long de ce travail : un véritable grand frère, toujours à mes côtés, prêt à m'écouter, à me conseiller et à me soutenir dans les moments les plus difficiles. Votre patience, votre sagesse et vos encouragements infaillibles m'ont permis de surmonter chaque obstacle. Grâce à vous, les étapes les plus complexes sont devenues des défis stimulants plutôt que des freins. Votre confiance en moi a été une source précieuse de motivation, et j'espère avoir été à la hauteur de vos attentes.

Merci du fond du cœur pour votre bienveillance, votre disponibilité et votre générosité. Ce travail est le fruit de notre collaboration et de votre précieux accompagnement, et je vous en suis profondément reconnaissante.

À MON CO-RAPPORTEUR

DR SAÏM MOHAMED SAÏD

Maitre de conférences A à l'institut vétérinaire de Tiaret

Je tiens à vous adresser mes plus sincères remerciements pour l'accompagnement précieux que vous m'avez offert tout au long de ce travail. Vous avez joué un rôle essentiel en m'apportant un soutien constant, des conseils judicieux, et une vision complémentaire qui ont enrichi mon parcours.

Remerciements

AUX MEMBRES DU JURY

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer mon travail.

À **Pr AGGAD Hebib** président du jury, je vous remercie sincèrement d'avoir présidé cette séance avec rigueur et bienveillance, et pour vos observations constructives qui enrichiront mon parcours scientifique.

À **Dr AYAD Mohamed Amine** et **Dr SAIM Mohamed Said**, je vous suis profondément reconnaissante pour le temps et les efforts consacrés à l'évaluation de mon travail. Vos remarques pertinentes et vos suggestions précieuses m'ont permis d'améliorer considérablement ce manuscrit.

À **Pr BOURABAH Akila**, **Dr SMAIL Fadhéla**, **Pr AMMAM Abdelkader** et **Pr BELMAMOUN Ahmed Reda**, merci pour votre intérêt porté à mon travail et pour vos questions stimulantes, qui m'ont permis de mieux approfondir certains aspects de ma recherche.

Votre expertise et vos contributions m'ont été d'un grand enrichissement, et je mesure pleinement l'importance de vos précieux conseils dans mon développement académique et personnel.

Je vous remercie tous et toutes pour votre générosité, votre disponibilité et votre engagement, et je suis honorée d'avoir pu bénéficier de votre encadrement et de vos critiques constructives

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes et structures qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements vont à l'équipe de la **Ferme Pilote Dhaoui**, notamment à Monsieur le Directeur **Fellag Mohamed**, au Médecin Vétérinaire Dr **Hanachi Imad**, au Zootechnicien Mr **Rouani Ahmed**, ainsi qu'à tous les ouvriers de la ferme, pour leur collaboration et leur soutien.

Je remercie également la **Direction des Services Agricoles (DSA)** de la wilaya de Médéa, représentée par Monsieur le Directeur **Slama** et le Vétérinaire Dr **Said**, pour avoir facilité les démarches nécessaires à la bonne réalisation de mon étude.

Ma reconnaissance va aussi au laboratoire d'Hygiène et Pathologies animales, dirigé par le Pr **Aggad Hebib**, pour leur accueil et leur appui technique. Un remerciement spécial est adressé à tous les enseignants de l'Institut Vétérinaire de Tiaret, en particulier à Dr **Assia Boumezrag**, pour son dévouement et ses efforts constants en faveur de la réussite de notre promotion de doctorat.

Je remercie chaleureusement le Médecin Vétérinaire Cabinaire, Dr **Benaada Khaled**, pour ses précieux conseils et son soutien, ainsi que le Directeur et le personnel du laboratoire d'analyses, Dr **Yaakoubi**, pour leur assistance technique et leur disponibilité.

Je remercie mes amies, mes sœurs **Benhamadi Nadine** et **Fares Sarah** ainsi que leurs familles

Enfin, je tiens à remercier mes amis de promotion pour leur camaraderie et leur soutien, tout en leur souhaitant une excellente continuation dans leurs parcours respectifs. À toutes les personnes qui m'ont aidée, directement ou indirectement, et dont les noms n'ont pas été cités ici, recevez également mes plus sincères remerciements

.

DÉDICACES

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

À MES PARENTS : MA CHÈRE MAMAN « FORTAS FOUZIA » ET MON CHER PAPA « BELDJOUHAR MORAD »

Trouvez dans ce travail, qui est aussi le vôtre, l'expression de mon amour et de ma profonde reconnaissance.

Maman, femme au cœur d'or, patiente, sereine et infatigable, tu as consacré toute ta vie à mon bien-être. Grâce à ton amour, ta tendresse, ton éducation exemplaire, ton soutien inestimable, tant moral que financier, et tes bénédictions, je suis devenue la personne que je suis aujourd'hui. Les mots sont insuffisants pour exprimer ma gratitude infinie. Que le Tout-Puissant, le Très Miséricordieux, te protège pour que tu puisses goûter aux fruits de ton dur labeur.

Mon papa, Tu as toujours incarné pour moi l'image d'un père respectueux, honnête et méticuleux, un véritable modèle que j'admire profondément. C'est grâce à toi, papa, que j'ai appris la valeur du travail et l'importance des responsabilités. Je te suis infiniment reconnaissant pour ton amour, ta générosité, ta compréhension et ton soutien constant, qui ont illuminé chaque étape de mon parcours.

Aucun mot ne saurait traduire pleinement l'amour, l'estime et le respect que je ressens pour toi. Ce modeste travail est le résultat des innombrables sacrifices que tu as consentis pour m'offrir la meilleure éducation et formation. Je t'aime de tout cœur, papa, et je prie le Tout-Puissant de te bénir d'une santé durable et d'une vie longue et comblée de bonheur.

À MES DEUX FRÈRES, MOHAMED ET BILAL

Pour tous les moments d'enfance partagés à vos côtés, je tiens à vous exprimer ma profonde estime et ma gratitude pour l'aide précieuse que vous m'avez apportée. Vous m'avez soutenue, réconfortée et encouragée à chaque étape. Puissent nos liens fraternels se renforcer et durer toujours plus longtemps.

À MA GRAND-MÈRE ELFAKHET ET MA CHÈRE TANTE MALIKA

Les mots ne suffisent pas pour vous exprimer toute ma gratitude. Merci infiniment pour votre aide précieuse, tant morale que financière. Merci pour votre soutien constant tout au long de mon parcours. Votre confiance en moi a été une source inestimable de motivation. Je vous aime profondément et vous en serai toujours reconnaissante.

Dédicaces

À MA TANTE FOUZIA

Pour ton encouragement et ta bénédiction, sois rassurée de ma sincère reconnaissance.

À MES ONCLES

Pour vos bénédictions, trouvez ici le témoignage de mon profond respect.

ET À TOUTE MA FAMILLE « BELDJOUHAR ET FORTAS »

À MA TRÈS CHÈRE ENSEIGNANTE SAIDJ DAHLIA

Il n'y a pas de mots assez forts pour exprimer ma reconnaissance envers vous. Vous avez été bien plus qu'une enseignante pour moi : vous avez été un guide, un soutien et une source de lumière dans des moments où l'obscurité semblait prendre le dessus. Vous m'avez accueillie avec bienveillance, écoutée avec patience, et conseillée avec une sagesse que je n'oublierai jamais. Votre foi en moi, même quand je doutais de moi-même, m'a donné la force de continuer. Vous m'avez soutenue comme une mère le ferait pour sa fille, et pour cela, je vous serai toujours reconnaissante.

Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi. Votre présence dans ma vie a marqué une différence que je chéris profondément.

الملخص

الملخص

في إطار تحسين تربية الأبقار الحلوب، كان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد تأثير إضافة مكملات غذائية للأبقار الحلوب تتضمن البروبيوتيك من نوع الخميرة، وجدار الخميرة البروبيوتيك، ومزيج من الاثنين (المكملات التآزرية) على بعض المعايير الزوتقنية (تركيز IgG في اللبأ، كمية الحليب وتركيبته بما في ذلك الدهون والبروتين واللاكتوز)، والمعايير الدموية والكيميائية الحيوية خلال فترة تكاثر حرجة وهي فترة الانتقال. بالإضافة إلى ذلك، هدفت الدراسة إلى تقييم فعالية استخدام جهاز قياس الانكسار Brix كأداة لقياس تركيز الجلوبيولينات المناعية (IgG) في اللبأ بالمقارنة مع الطريقة المرجعية وهي الانتشار المناعي الشعاعي (RID).

من 30 يومًا قبل تاريخ الولادة المتوقع إلى 60 يومًا بعد الولادة، تم تقسيم أربعين بقرة من سلالة مونبليارد (5 بكرات و35 متعددة الولادات) إلى أربع مجموعات: المجموعة الضابطة (CNT)؛ (n=10) تلقت حصة غذائية للفترة الجافة (DPD) خلال فترة الجفاف وحصة غذائية لفترة الإرضاع دون مكملات؛ مجموعة الخميرة (SC)؛ (n=10) تلقت الحصة الغذائية مع إضافة 5 جم/اليوم/بقرة من خميرة *Saccharomyces Cerevisiae* (بروبيوتيك)؛ مجموعة جدار الخميرة (PL)؛ (n=10) تلقت مكملًا غذائيًا يحتوي على 5 جم/اليوم/بقرة من أجزاء جدار الخميرة (مانان وبيتا-غلوكان؛ بروبيوتيك)؛ ومجموعة المزيج (Mixte)؛ (n=10) تلقت الحصة الغذائية للفترة الجافة أو فترة الإرضاع مع مزيج من 5 جم من خميرة *Saccharomyces Cerevisiae* و5 جم من أجزاء جدار الخميرة (مانان وبيتا-غلوكان) (مكمل تآزري).

تم جمع عينات اللبأ في حاويات معقمة مباشرة بعد الولادة. كما تم قياس حالة الجسم (BCS) وسحب عينات الدم من الوريد الوداجي في أنابيب تحتوي على الهيبارين و EDTA عند 30- يومًا، 15- يومًا قبل الولادة، يوم الولادة، 15، 45، و60 يومًا بعد الولادة. تم جمع عينات الحليب في الأيام 15، 45، و60 بعد الولادة وتجميدها عند -20 درجة مئوية. تم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام برنامج SPSS IBM

أظهرت النتائج فروقًا معنوية في تركيز IgG في اللبأ ($IgG > 50$ جم/لتر) لمجموعتي الخميرة والمزيج مقارنة بالمجموعة الضابطة ($P < 0.01$) لم يتم الكشف عن أي تأثير لحالة الجسم (BCS)، أو العمر، أو عدد الولادات، أو جنس المواليد ($P > 0.05$) على تركيز IgG في اللبأ. وكانت العلاقة بين نتائج طريقة الانتشار المناعي الشعاعي (RID) وجهاز قياس الانكسار عالية وإيجابية ($r=0.785$) بالنسبة لللبأ. لم تتأثر حالة الجسم والمعايير الدموية بالمكملات الغذائية ($P > 0.05$) كما تأثرت جودة وكمية الحليب بالعلاجات لمجموعتي المزيج و SC مقارنة بالمجموعة الضابطة ($P=0.04$) لم يتم تسجيل فروق إحصائية معنوية للمعايير الكيميائية الحيوية باستثناء زيادة مستوى البروتين في البلازما في مجموعتي PL والمزيج في أيام مختلفة ($P < 0.05$).

في الختام، إن إضافة مكملات غذائية للأبقار الحلوب تحتوي على خميرة *Saccharomyces Cerevisiae* أو أجزاء من جدار الخميرة خلال فترة الانتقال، والتي تمتد من شهر قبل الولادة إلى شهرين بعد الولادة، تحقق تأثيرات مميزة حسب الأهداف المرجوة. يُعد استخدام الخميرة بشكل منفرد مفيدًا بشكل خاص لزيادة إنتاج الحليب، بينما يؤدي إضافة جدار الخميرة إلى زيادة كبيرة في تركيز البروتين في البلازما. لتحقيق هذين الهدفين معًا، يُوصى باتباع نهج تآزري يجمع بين النوعين من

المخلص

المكملات. تتيج هذه الاستراتيجية الشاملة تحسين أداء الأبقار الحلوب خلال هذه المرحلة الحرجة من دورة حياتها الفسيولوجية.

الكلمات المفتاحية جدار الخميرة؛ فترة الانتقال ; *Saccharomyces Cerevisiae*; الأبقار الحلوب؛ خميرة

Abstract

Abstract

As part of improving dairy cattle farming, the objective of this study was to determine the effect of supplementing dairy cows with yeast probiotics, yeast cell walls, prebiotics, and a combination of both (synbiotics) on certain immunological parameters (IgG concentration in colostrum), zootechnical parameters (milk yield, and composition including fat, protein, and lactose), hematological, and biochemical parameters during the critical transition period. Additionally, the study aimed to evaluate the Brix refractometer as an effective tool for measuring immunoglobulin (IgG) concentrations in colostrum compared to the reference method, radial immunodiffusion (RID).

From 30 days before the expected calving date until 60 days postpartum, forty Montbeliarde cows (5 primiparous and 35 multiparous) were divided into four groups: the control group (CNT; n=10) received a dry period diet (DPD) during the dry period and a lactation period diet without supplementation; the yeast group (SC; n=10) received diet supplemented with 5 g/day/cow of *Saccharomyces Cerevisiae* yeast (probiotic); the yeast cell wall group (PL; n=10) received 5 g/day/cow of yeast cell wall fractions (mannans and β -glucans; prebiotic); and the MIXED group (Mixte; n=10) received the dry or lactation period diet supplemented with a combination of 5 g of *Saccharomyces Cerevisiae* yeast and 5 g of yeast cell wall fractions (mannans and β -glucans) (synbiotic).

Colostrum samples were collected in sterile universal containers immediately after calving. Body condition score (BCS) assessment and blood samples were taken from the jugular vein in heparinized and EDTA tubes at -30 days, -15 days before calving, the day of calving, and at 15, 45, and 60 days postpartum (PP). Milk samples were collected on days 15, 45, and 60 PP and frozen at -20°C until analysis. Statistical analysis was performed using SPSS "IBM SPSS V. 22.0".

Significant differences in colostrum IgG concentration ($\text{IgG} > 50 \text{ g/L}$) were observed for the yeast and mixed groups compared to the control group ($P < 0.01$). No influence of body condition score (BCS), age, parity, or sex of the newborns ($P > 0.05$) on colostrum IgG concentration was detected. The correlation between the results of RID and the refractometer was high and positive ($r = 0.785$) for colostrum. BCS and hematological parameters were not affected by supplementation ($P > 0.05$). Milk quality and quantity were influenced by the treatments in the Mixed and SC groups compared to the control group ($P = 0.04$). No significant

Abstract

differences were observed for biochemical parameters, except for increased protein levels in the PL and Mixed groups on different days ($P < 0.05$).

In conclusion, supplementing dairy cows with *Saccharomyces Cerevisiae* or yeast cell walls during the transition period, spanning one month before calving to two months postpartum, yields distinct effects depending on the desired objectives. Exclusive use of yeast is particularly beneficial for increasing milk production, while the addition of yeast cell walls leads to a significant increase in plasma protein concentrations. To maximize both aspects simultaneously, a synergistic approach combining the two types of supplements is recommended. This comprehensive strategy optimizes dairy cow performance during this critical phase of their physiological cycle.

Keywords: Dairy cows; *Saccharomyces Cerevisiae*; Yeast cell wall; Transition period

Résumé

Dans le cadre de l'amélioration de l'élevage de bovins laitiers, l'objectif de cette étude était de déterminer l'effet de la supplémentation des vaches laitières avec des probiotiques de type levure, et la paroi de levure ; prébiotiques et un mélange des deux (synbiotiques) sur quelques paramètres immunologiques (concentration des IgG dans le colostrum), zootechniques (la quantité et la composition du lait en matière grasse MG, protéines et lactose du lait), hématologiques et biochimique pendant une période de reproduction critique qui est la période de transition. Parallèlement, l'étude visait à évaluer le réfractomètre Brix comme outil efficace pour mesurer la concentration en immunoglobulines (IgG) dans le colostrum en comparaison avec le test de référence, l'immunodiffusion radiale (IDR).

Trente jours avant la date prévue de vêlage jusqu'à 60 jour de postpartum, quarante vaches Montbéliardes (5 primipares et 35 multipares) ont été réparties en quatre groupes : le groupe témoin (CNT ; n=10) a reçu une ration pour la période de tarissement (RPT) pendant le tarissement et une ration pour la période de lactation sans supplémentation ; le groupe levure (SC ; n=10) a reçu la ration supplémentée avec 5 g/jour/vache de levure *Saccharomyces Cerevisiae* (probiotique) ; le groupe paroi de levure (PL ; n=10) a reçu une supplémentation de 5 g/jour/vache de fraction de paroi de levure (mannanes et β -glucanes ; prébiotique) ; et le groupe MIXTE (Mixte ; n=10) a reçu la ration pour la période de tarissement ou de lactation avec une combinaison de 5 g de levure *Saccharomyces Cerevisiae* et 5 g de fraction de paroi de levure (mannanes et β -glucanes) (synbiotique).

Les échantillons de colostrum ont été collectés dans des contenants universels stériles immédiatement après le vêlage. Des prélèvements sanguins ont été réalisés à partir de la veine jugulaire dans des tubes de prélèvement héparinés et EDTA et une prise du BCS (note d'état corporelle) à -30 jour, -15 jour avant le vêlage, le jour de vêlage, et 15 jours, 45 jours et 60 jours en postpartum PP. et les prélèvements du lait à J 15, J45 et 60 PP. Puis congelés à -20°C jusqu'à leurs analyses. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS « IBM SPSS V. 22.0 ». Des différences significatives dans la concentration en IgG du colostrum (IgG > 50 g/l) ont été observées pour le groupe levure et le groupe mélange par rapport au groupe témoin ($P < 0,01$). Aucune influence du score d'état corporel (BCS), de l'âge, de la parité ou du sexe des nouveau-nés ($P > 0,05$) sur la concentration en IgG du colostrum n'a été détectée. La corrélation entre les résultats de la diffusion radiale d'immunodiffusion (IDR) et le réfractomètre était élevée et positive ($r=0,785$) pour le colostrum, le BCS et les paramètres

Résumé

hématologiques n'ont pas été influencé par la supplémentation ($P > 0,05$). La qualité et la quantité du lait a été influencé par les traitements pour le groupe Mixte et SC par rapport au groupe témoin ($P = 0,04$). Aucune différence statistique significative n'a été enregistré pour les paramètres biochimique sauf une protéinémie augmenté dans le groupe PL et Mixte à différentes jours ($P < 0,05$).

En conclusion, la supplémentation des vaches laitières avec *Saccharomyces Cerevisiae* ou des parois de levure durant la période de transition, allant d'un mois avant le vêlage à deux mois après le postpartum, présente des effets distincts en fonction des objectifs recherchés. L'utilisation exclusive de levure se révèle particulièrement bénéfique pour augmenter la production laitière, tandis que l'ajout de parois de levure entraîne une augmentation significative des concentrations plasmatiques en protéines. Pour maximiser ces deux aspects simultanément, une approche synergique combinant les deux types de suppléments est recommandée. Cette stratégie globale permet d'optimiser les performances des vaches laitières durant cette phase critique de leur cycle physiologique.

Mots-clés : Vaches laitières ; *Saccharomyces Cerevisiae*, Paroi de levure, période de transition.

Table des matières

Tables des matières

REMERCIEMENTS	I
DÉDICACES	IV
الملخص	VI
Abstract	VIII
Résumé.....	X
Tables des matières	XII
Liste des tableaux	XVI
Liste des figures	XVII
Liste des abréviations	XIX
Chapitre 1 : La période de transition et ses défis	3
1. La période de transition.....	3
2. Le déficit énergétique	4
2.1. Evolution des besoins nutritionnels	4
2.2. Les conséquences métaboliques	5
2.3. Le métabolisme énergétique	6
2.3.1. Sources du glucose chez la vache laitière	6
2.3.2. La mobilisation des lipides	9
3. Le processus d'immunodépression au moment de la période de tarissement.....	12
3.1. Facteur alimentaire et déficit énergétique	14
3.2. Les désordres métaboliques	15
3.3. Le changement hormonal.....	17
4. Le stress oxydatif	17
4.1. Les conséquences du stress oxydatif	18
5. Conclusion.....	19
Chapitre 2 : l'utilisation des probiotiques et des prébiotiques chez les ruminants	20
Introduction aux probiotiques et prébiotiques	20
1. Les Probiotiques.....	20
1.1. Définition	20
1.2. Historique de l'utilisation des probiotiques en médecine vétérinaire	20
1.3. La sélection des probiotiques	21
1.4. Classification des probiotique en alimentation animale	22
1.5. Les probiotiques utilisés chez les ruminants.....	23
1.6. Mode d'action des probiotiques chez les ruminants.....	24
2. Prébiotiques	29

Table des matières

2.1.	Définition et historique.....	29
2.2.	Critères de sélection des prébiotiques.....	30
2.3.	Prébiotiques pour les animaux.....	31
3.	Rôles de l'incorporation des probiotiques de type levures chez les ruminants (la vache laitière).....	31
3.1.	Prévenir l'acidose	31
3.2.	Amélioration de la digestibilité	32
3.3.	Augmentation de la consommation de la matière sèche	32
3.4.	Amélioration de la qualité et la quantité de la production laitière	33
3.5.	Effet immunitaire	34
3.6.	Amélioration du BCS	35
3.7.	Effet sur la reproduction.....	36
4.	Effet de la supplémentation par des prébiotiques type MOS et Beta-glucane chez les ruminants.....	36
4.1.	Manno-oligosaccharides MOS	37
4.2.	Bêta-Glucanes.....	37
4.3.	Études Comparatives sur MOS et Bêta-Glucanes.....	38
1.	Lieu de l'expérimentation.....	40
2.	Les animaux de l'expérimentation	41
3.	Le schéma expérimental	42
4.	L'alimentation	46
4.1.	Période de tarissement.....	46
4.2.	Période de lactation.....	46
5.	La supplémentation	46
5.1.	Préparation et Administration des suppléments	47
6.	La réalisation des prélèvements et analyses des échantillons	48
6.1.	Prélèvement et traitement des échantillons sanguins.....	48
6.1.1.	Collecte des échantillons sanguins	49
6.1.2.	Préparation des échantillons pour les analyses	50
6.1.3.	Analyses biochimiques	51
6.2.	Prélèvement du colostrum	52
6.2.1.	Collecte du colostrum.....	52
6.2.2.	Analyse des échantillons	53
6.2.2.1.	Mesures par immunodiffusion radiale	53
6.2.2.2.	Mesures au réfractomètre Brix.....	55
6.3.	Prélèvements et analyses du lait	56

Table des matières

6.4. Notation de l'état corporel des vaches laitières	58
6.5. Analyses statistiques	58
1. Effet de la supplémentation sur la qualité immunologique du colostrum (concentration en IgG).....	59
1.1. Analyse de la concentration des IgG dans le colostrum	59
1.2. Effet de la supplémentation sur la concentration d'IgG colostrale	60
1.3. Effet du BCS, l'âge, la parité et le sexe du nouveau-né sur la concentration colostrale d'IgG	60
1.4. Corrélation entre la méthode d'immunodiffusion radiale IDR et le Brix % de réfractomètre pour la mesure des IgG colostrale	64
2. Effet de la supplémentation sur les paramètres zootechniques	65
2.1. Effet de la supplémentation sur la note d'état corporelle	65
2.2. Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur la quantité et la qualité (concentration de la matière grasse, protéines et lactose) du lait	67
2.2.1. Quantité de lait	68
2.2.2. Qualité du lait	69
3. Effet de la supplémentation sur les paramètres Hémato-Biochimiques.....	71
3.1. Effet sur les paramètres hématologiques.....	71
3.1.1. Les paramètres érythrocytaires	71
3.1.2. Les paramètres leucocytaires	80
3.2. Effet de la supplémentation sur les paramètres biochimiques	83
1. Effet de la supplémentation sur la qualité immunologique du colostrum (concentration en IgG).....	92
1.1. Effet du BCS, l'âge, la parité et le sexe du nouveau-né sur la concentration colostrale en IgG	94
1.2. Evaluation de la méthode de réfractomètre pour l'estimation de la qualité et la concentration des IgG dans le colostrum	95
2. Effet de la supplémentation sur les paramètres zootechniques	96
2.1. Effet de la supplémentation sur la note d'état corporelle	96
2.2. Effet de la supplémentation sur la quantité et la qualité du lait	97
2.2.1. La quantité de lait	97
2.2.2. La qualité du lait : matière grasse MG, protéines et lactose du lait	98
3. Effet de la supplémentation sur les paramètres hématologiques	100
3.1. Les paramètres érythrocytaires	100
3.2. Les paramètres leucocytaires.....	101
4. Effet de la supplémentation sur les paramètres biochimiques	104
Étude économique : Impact de l'incorporation d'un mélange entre probiotique et prébiotique sur la rentabilité des élevages laitiers.....	110

Table des matières

Recommandations	114
Références Bibliographiques	115
ANNEXES	142

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques de la balance énergétique au début de lactation en fonction de la parité (De Vries et al, 1999).	5
Tableau 2: Principales déférences entre les probiotiques de la première et la deuxième génération utilisés en alimentation animale (Lettat, 2011)	22
Tableau 3: Principaux microorganismes utilisés couramment comme probiotiques chez les animaux (Anee et al., 2021)	23
Tableau 4 : Concentration d'IgG dans le colostrum et le Brix pourcentage % mesuré par réfractomètre dans les groupes expérimentaux.	59
Tableau 5 : Catégorisation de la qualité du colostrum dans les groupes expérimentaux.	59
Tableau 6 : Effet du BCS, Age et la parité sur la concentration du colostrum en IgG.....	62
Tableau 7 : Effet du sexe du nouveau-né sur la concentration d'IgG du colostrum.....	64
Tableau 8: Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur la note d'état corporelle.....	65
Tableau 9 : Effet de la supplémentation des vaches laitières et du jour de prélèvement sur la quantité et qualité de lait produit.....	67
Tableau 10 : Effets de la supplémentation et le jour de prélèvement sur les paramètres hématologiques	72
Tableau 11 : Impact de la supplémentation des vaches laitières sur les paramètres leucocytaires au fil de temps	78
Tableau 12 : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur la glycémie, la cholestérolémie et le taux des triglycérides sanguins	83
Tableau 13 : : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur le taux des protéines totales et l'albuminémie.	86
Tableau 14 : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur l'urémie et la créatinémie.	88
Tableau 15 : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur les enzymes hépatique ASAT, ALAT	90

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1 : Besoins et couverture énergétiques lors du peripartum (Aubadie-ladrix, 2011).	4
Figure 2: Calcul de la quantité d'énergie nette et de la quantité de protéines métabolisables requises, consommées et utilisées par la glande mammaire en lactation de vaches laitières en bonne santé, 4 jours après vêlage (Drackley, 1999).....	4
Figure 3: Voies biochimiques de la fermentation et de la production d'AGV (Enjalbert, 1996).	8
Figure 4: Bilan du devenir des AGNE dans la voie de l'estérification, de l'oxydation complète et incomplète (AOA = forte concentration en oxaloacétate et aoa = faible concentration en oxaloacétate) d'après (Cuvelier, Et Al., 2005 ; Herdt, 2000).	10
Figure 5: Contrôle de la CPTI en fonction de la glycémie, et orientation de l'utilisation des AGNE au sein de l'hépatocyte ("+" = Stimulation & "-" = Inhibition) d'après (Herdt et al., 2000).....	12
Figure 6: Activité des lymphocytes (aptitude à la blastogénèse) et des neutrophiles (aptitude à ingérer et neutraliser des bactéries) en peripartum (J. P. Goff & Horst, 1997).....	13
Figure 7: Mécanisme d'action des levures probiotique et leur effet sur la population microbienne chez les ruminants (Kulkarni et al., 2022).	25
Figure 8: Mécanisme d'action des DFM (direct fed micro-organismes) dans le rumen. Les rôles des bactéries utilisatrices d'acide lactique (LUB), des bactéries productrices d'acide lactique (LAB), les bactéries utilisant l'amidon et les levures dans la fermentation du rumen sont décrites en relation avec la fermentation des glucides et la synthèse des protéines microbiennes (Kulkarni et al., 2022).....	26
Figure 9 : Mécanisme d'action des DFM dans le tube digestif inférieur des ruminants. A amélioration de la fonction barrière intestinale. B descente du pH luminal en produisant du lactate. C synthèse d'antimicrobien composés (par exemple, acides organiques, peroxyde d'hydrogène, bactériocines). D adhésion et compétition pour les nutriments. E modulation de l'hôte réponse immunitaire (Kulkarni et al., 2022).....	28
Figure 10: La ferme pilote Ahmed Dhaoui, Ouamri, Médéa	41
Figure 11: Un plan de la ferme Ahmed Dhaoui, Ouamri, Médéa.....	41
Figure 12 : Sac de 25 kg de levure <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> (ActiSaf SC 47)	47
Figure 13 : Sac de 25 kg de paroi de levure SafMannan.	47
Figure 14 : Répartition des produits de supplémentation dans des sachets de 5g.	48
Figure 15 : Mesure de 5g de supplément par une balance de précision.	48
Figure 16: Administration du supplément de façon individuelle mélangé avec le concentré.	48
Figure 17: Réalisation des prélèvements sanguins à partir de la veine jugulaire.	49
Figure 18 : Prélèvement sanguin sur tube hépariné de 4ml.	50
Figure 19 : Prélèvement sanguin sur tube EDTA 4ml.	50
Figure 20 : Tubes de prélèvement sanguin après centrifugation.	50
Figure 21: Transférer le plasma dans des Eppendorf de 1,5 ml.	51
Figure 22:Automate d'analyse biochimique KENZA 240 TX, BIOLABO.	52
Figure 23 : Les réactifs de dosage biochimique, BIOLABO.	52
Figure 24 : Préparation des échantillons de plasma dans des cuves pour être analysés.	52
Figure 25 : Prélèvements du colostrum	53
Figure 26 : Kit de dosage des IgG par IDR.....	53
Figure 27 : Réalisation des dilutions du colostrum	54
Figure 28 : Placer les plaques dans l'incubateur à 37 C° pendant 16 à 20 heures.....	54
Figure 29 : Lecture du diamètre de diffusion.	55
Figure 30 : Réfractomètre C.T type 0-30%.....	55
Figure 31 : Prélèvements du lait.....	56
Figure 32 : La salle de traite dont les machine à traire sont liées à des compteurs pour la mesure de la quantité du lait.....	57

Liste des figures

Figure 33 : Analyseur ultrasonique de lait (Lactoscan SP).	57
Figure 34 : Corrélation entre la méthode IDR et le réfractomètre utiliser pour la mesure des IgG colostral	64

Liste des abréviations

Liste des abréviations

°C : Degrés Celsius	EDTA : Ethylenediaminetetraacetic Acid
AA : Acides Aminés	Eosi : Eosinophiles
AG : Acides Gras	EPA : Acide Eicosapentaénoïque
AGNE : Acides Gras Non Estérifiés	FABP : Fatty Acid Binding Proteins
AGV : Acides gras volatils	FADH : Flavine Adénine Dinucléotide
AI : Insémination Artificielle	Réduite
ALAT : Alanine Aminotransférase	FB : Fibres Brutes
Alb : Albumine	g/l : gramme par litre
ANOVA : Analyse de la Variance	GB : Globules Blancs
AOA : Acétyl-Oxaloacétate.	GH : Growth Hormone
ASAT : Aspartate Aminotransférase	Glu : Glucose
ATB : Antibiotiques	GR : Globules Rouges
ATP : Adénosine Triphosphate	Hb : Hémoglobine
Bas : Basophiles	Ht : Hématocrite
BCS : Body Condition Score	IDR : Immunodiffusion Radiale
BEN : Bilan Energétique Négatif	Ig : Immunoglobulines
BHB : Béta-Hydroxy Butyrate	IgA : immunoglobulines A
CCMH : Concentration Corpusculaire	IGF-1 : Insuline -Like Growth Factor-1
Moyenne en Hémoglobine	IgG : immunoglobulines G
Cho : Cholestérol	IgM : immunoglobulines M
CI : Capacité d'Ingestion	IL : Interleukines
CM : Chylomicron	LAB : Lactic Acid Bacteria (bactéries lactiques).
CNT : Contrôle	Leu : Leucocytes
COA : Co-enzyme A	LUB : Lactic Acid Utilizing Bacteria (bactéries utilisant l'acide lactique)
CPTI : Carnitine Palmitoyl-Transferase I	Lym : Lymphocytes
Crea : Créatinine	MG : Matière Grasse
CTA1 : Catalase A	mg/l : milligramme par litre
DHA : Docosahexaénoïque	
DZD : Dinar Algérien	

Liste des abréviations

MO : Matière Organique

MON : Monocytes

MS : Matière Sèche

NADH : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Réduite

Neu : Neutrophiles

NF κ B : Facteur Nucléaire-Kappa B)

NN : Nouveau-Né

PAMP : Pathogenes-Associated Molecular Partterns

PB : Protéines Brutes

PBMC : Les Cellules Mononucléaires du Sang Périphérique Bovine

PL : Paroi de Levure

PP : Postpartum

PT : Période de Tarissement

PT : Protéines Totales

ROS : Reactive Oxygen Species

SC : *Saccharomyces Cerevisiae*

TCMH : Tenure Corpusculaire Moyenne En Hémoglobine

TG : Triglycerides

TLR : Toll Like Receptors

TNF : Facteurs De Nécrose Tumoraux

UI/l : Unité Internationale Par Litre

VGM : Volume Globulaire Moyen

VL : Vaches Laitières

VLDL: Verry Low Density Lipoprote

Introduction

Introduction

La production laitière occupe une place centrale dans l'agriculture moderne, contribuant de manière significative à l'économie mondiale et à la sécurité alimentaire. Le succès de la production laitière repose non seulement sur la gestion des troupeaux, mais aussi sur l'optimisation de la santé et des performances des vaches laitières. À cet égard, la nutrition est un facteur clé, influençant à la fois la productivité, la santé globale et la reproduction des animaux (Krehbiel et al., 2003).

Ces dernières années, la production animale traverse actuellement une période de changements constants. La demande croissante pour des élevages sans recours aux composés synthétiques et aux produits pharmaceutiques, tels que les facteurs de croissance et les antibiotiques, incite les producteurs à adopter des approches plus innovantes et "naturelles". Ces approches incluent l'utilisation de suppléments alimentaires offrant à la fois des avantages en termes de croissance et de santé, parmi lesquels figurent souvent des levures « probiotique » ou leurs sous-produits « prébiotique ». Par conséquent, le marché des aliments pour animaux connaît une augmentation des suppléments prétendant améliorer les performances ou modifier l'état de santé. De nombreux produits à base de levures ont effectivement démontré leur capacité à améliorer la croissance, l'efficacité alimentaire, la production laitière et les réponses immunitaires (Broadway et al., 2015a). Cependant, dans certaines conditions, certains produits à base de levures peuvent avoir des effets limités ou négatifs sur la production animale (Burdick Sanchez et al., 2013 ; Young et al., 2017).

Avec la demande croissante des consommateurs visant à éliminer les composés pharmacologiques synthétiques dans la production animale et les pressions législatives qui en découlent (Burdick Sanchez et al., 2021), la levure et les produits à base de levures pourraient offrir des avantages aux producteurs en se positionnant comme une alternative aux antibiotiques et autres suppléments synthétiques, particulièrement dans le contexte de la résistance et de l'inefficacité croissante des antibiotiques. Une meilleure compréhension des mécanismes par lesquels ces produits exercent leurs effets permettra de fournir des informations plus précises aux producteurs, afin de cibler les domaines de la production animale où ces produits peuvent être les plus bénéfiques.

Bien que plusieurs études aient démontré l'impact positif des probiotiques et des prébiotiques sur la santé animale, leur effet combiné sur un ensemble de paramètres, incluant les performances zootechniques, héмато-biochimiques et reproductifs, reste encore peu exploré

Introduction

chez la vache laitière. Une compréhension approfondie de ces interactions pourrait offrir de nouvelles perspectives pour améliorer la productivité laitière tout en assurant le bien-être et la santé des animaux (Nagpal, Kumar, & Kumar, 2012). De plus, avec l'augmentation des restrictions sur l'usage des antibiotiques dans les élevages, les probiotiques et prébiotiques apparaissent comme des alternatives prometteuses pour soutenir la santé animale de manière naturelle et durable (Krehbiel et al., 2003).

Toutefois, en Algérie l'utilisation de régimes riches en céréales, souvent adoptés pour améliorer les performances des vaches, leur expose en *péripartum* à des déséquilibres alimentaires importants. Ces régimes augmentent le risque d'accumulation de dépôts de graisse et favorisent l'apparition de troubles métaboliques tels que l'acidose ruminale. Depuis plusieurs années, la supplémentation en probiotiques, notamment par la culture de levures vivantes comme *Saccharomyces Cerevisiae*, a été étudiée pour ses effets stabilisateurs sur la fermentation ruminale et sa capacité à prévenir les perturbations de la flore microbienne du rumen (Elghandour et al., 2015). Ces probiotiques contribuent à améliorer l'ingestion alimentaire (Rossow et al., 2018), la digestibilité des nutriments (Hassan et al., 2016), les performances de lactation (Rossow et al., 2018), mais aussi, les caractéristiques de la carcasse (Ovinge et al., 2018).

Les modes d'action de *S. cerevisiae* incluent la régulation de la fermentation ruminale (Kumprechtová et al., 2019), le renforcement de l'activité cellulolytique dans le rumen (Chaucheyras-Durand et al., 2016), ainsi que l'apport de nutriments essentiels et de cofacteurs nutritionnels à la microflore ruminale (Elghandour et al., 2015). De plus, cette levure favorise la colonisation fongique dans le rumen (Elghandour et al., 2015), ce qui améliore la digestibilité des nutriments (Elghandour et al., 2017) et accélère les taux initiaux de digestion des fibres (Williams et al., 1991).

Cette étude vise donc à explorer l'effet de l'incorporation de probiotiques de type levure *Saccharomyces cerevisiae* et la paroi de ces levures considérée comme prébiotiques, ou bien une combinaison entre les deux dans l'alimentation de la vache laitière pendant la période de transition sur la qualité immunologique du colostrum (concentration des IgG du colostrum), quelques paramètres zootechniques, héмато-biochimiques chez les vaches laitières. En approfondissant les connaissances sur ces additifs, elle pourrait fournir des outils précieux pour optimiser les pratiques d'élevage et améliorer la durabilité des exploitations laitières.

Chapitre 1

La période de transition et ses défis

Chapitre 1 : La période de transition et ses défis

Avec l'amélioration de la productivité des vaches laitières et suite au développement du potentiel génétique de la production laitière, les vaches sont confrontées aux modifications du métabolisme qui auront des conséquences catastrophiques surtout au début de lactation (Salat, 2005). Ainsi que ; les troubles du *péri partum* sont liés entre eux et ont comme facteurs ; la non-installation rapide d'une approche thérapeutique dans les maladies infectieuses, une mauvaise gestion de l'élevage qui serait normalement adapté aux vaches laitières hautes productrices et finalement la non-maitrise de l'alimentation "respect de la période de transition".

1. La période de transition

Elle se compose de deux périodes physiologiques très différentes de point de vue besoins nutritionnels.

La première représente la fin de tarissement caractérisée par des besoins modérés, par contre la deuxième représente le début de lactation caractérisée par un pic des besoins et une capacité d'ingestion faible figure 1 (Enjalbert F, 1998). La période de transition représente un moment clé dans la vie et la carrière des vaches laitières VL, elle peut se définir comme une période allant de la 3^{ème} semaine avant le part jusqu'à la 3^{ème} semaine après la mise bas ; c'est un passage d'un état de gestation et de non-lactation à un état de non-gestation et de lactation, caractérisée par une expression d'un fardeau de changement métabolique qui a comme conséquences des troubles graves qui coïncident avec un pic d'incidence des affections que ce soit métaboliques (cétose, déplacement de caillette (de 3,2% (Duffield et al., 2009) à 5,1% (S. J. LeBlanc et al., 2005)) ou bien infectieuses ; métrites à 2,7% (Duffield et al., 2009)), mammites à 10,3% (Duffield et al., 2009). Cela est due à :

- ❖ Un bilan énergétique négatif inévitable.
- ❖ Un état d'immunodépression plus ou moins important (Salat, 2005).
- ❖ Stress oxydatif.

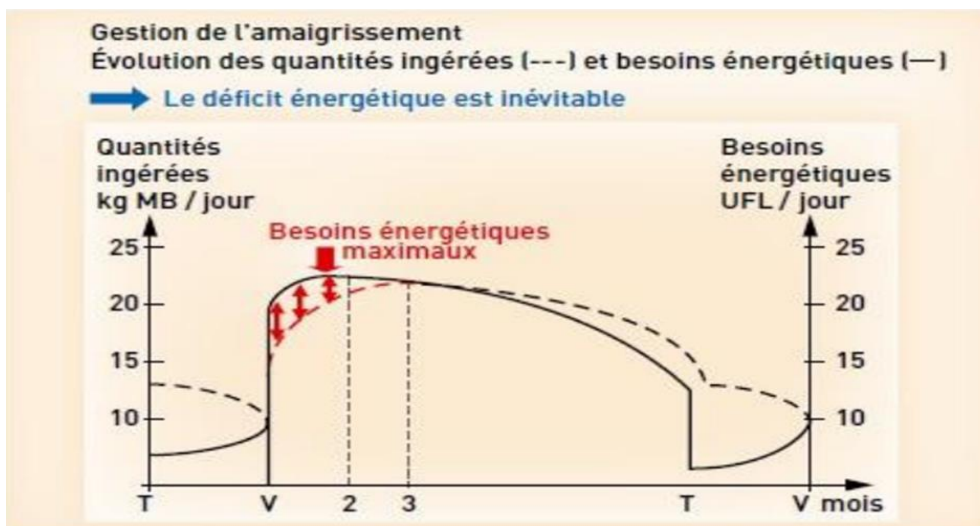


Figure 1 : Besoins et couverture énergétiques lors du *peripartum* (Aubadie-ladrix, 2011).

2. Le déficit énergétique

2.1. Evolution des besoins nutritionnels

Les besoins utéro-placentaires de la VL augmentent et représentent 30% de l'énergie totale, 45% du glucose et 72% des acides aminés (Gerloff, 2000), plus les besoins de la mamelle qui sont de l'ordre de 90% de l'apport en énergie et de 80% en protéines ce qui ne laisse que peu d'apport pour couvrir les besoins d'entretien (Drackley, 1999) comme il est montré dans la figure 2 :

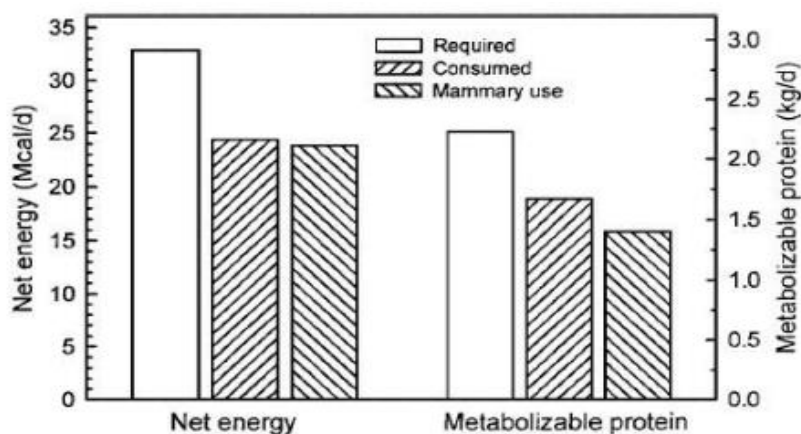


Figure 2: Calcul de la quantité d'énergie nette et de la quantité de protéines métabolisables requises, consommées et utilisées par la glande mammaire en lactation de vaches laitières en bonne santé, 4 jours après vêlage (Drackley, 1999)

Au début de lactation plus précisément au 4^{ème} jour les besoins énergétiques nutritionnels sont triplés, doublés voir triplés en glucose et doublés en acides aminés alors que d'autre auteur

montre que les besoins en glucose le lendemain du part sont 5 fois plus importants que ceux d'une semaine avant le vêlage (Bell, 1995). Cette augmentation des besoins intervient là où les vaches souffrent d'une capacité d'ingestion très réduite, il est apporté qu'elle est réduite de 30 à 50% pendant les 3 dernières semaines de gestation par rapport au début de tarissement et 89% de cette diminution est lieu dans la dernière semaine de gestation (Hayirli et al., 2002); (J. Goff et al., 1997)) donc un déphasage entre l'augmentation de la capacité d'ingestion et l'augmentation forte et brutale des besoins énergétiques ou on peut dire le bilan énergétique négatif est inévitable et qui se poursuit en début de lactation et il est plus ou moins long et plus ou moins important selon la parité, figure 3. (Salat, 2005).

Tableau 1: Caractéristiques de la balance énergétique au début de lactation en fonction de la parité (De Vries et al, 1999).

	Demande maximale d'énergie	Maximum d'énergie consommée	Moment où le bilan énergétique négatif est maximum	Moment où le bilan énergétique redevient positif
Primipares	7 ^e semaine	12 ^e semaine	4,8 jours	56,2 jours
2 ^e lactation	5 ^e semaine	14 ^e semaine	5,4 jours	85,3 jours
Multipares	6 ^e semaine	16 ^e semaine	2,5 jours	85,4 jours

La diminution de la capacité d'ingestion CI peut être due au :

- ❖ Rapprochement du terme et augmentation du stress.
- ❖ La Note d'état corporel NEC : plus, elle est élevée plus la matière sèche ingérée est moindre.
- ❖ Le type et la qualité de l'alimentation au moment du tarissement (Hayirli et al., 2002)

En plus, le facteur physique lié à la taille du rumen ; avec l'avancement de la gestation, le veau augmente de taille et domine la taille du rumen. Et finalement, quelques autres facteurs métaboliques ont aussi un rôle important tels que : les hormones de la reproduction, hormones de stress, la leptine, l'insuline et d'autres peptides (Ingvarsen & Andersen, 2000).

Les besoins en calcium pour une vache tarie sont modérés, Ils sont de l'ordre de 60 g/j, généralement apportés par la ration de tarissement sans supplémentation. Après le vêlage, la synthèse du colostrum et du lait augmente les besoins de l'animal en cet élément sachant qu'un litre de colostrum nécessite 2.3 g de calcium.

2.2.Les conséquences métaboliques

Pour éviter que les vaches arrivent à une note d'état corporel trop élevée durant la période sèche, la ration du tarissement est basée sur le fourrage grossier ce qui va augmenter le pH

ruminal favorisant le développement d'un type de microflore qui est la flore cellulolytiques accompagnée avec une diminution de la surface d'absorption suite à la réduction de la taille et du nombre des papilles ruminales qui sont le lieu d'absorption des acides gras volatiles “ source d'énergie chez les ruminants”, elle peut atteindre les 50% (Salat, 2005).

Ainsi, Oetzel (1998) ajoute que pour modifier le faciès fermentaire de la microflore ruminale au vêlage suite au changement du type d'alimentation, il faut 3 à 4 semaines d'adaptation qui permet le développement d'un autre type de microflore qui est la flore amylolytique utilisant l'amidon et le lactate, et 5 semaines pour que les papilles ruminales arrivent au plan de développement maximal. Tout un changement brusque dans l'alimentation dans le but de couvrir les besoins peut entraîner l'accumulation des acides gras volatils AGV dans le rumen, à savoir le lactate qui est à l'origine de l'acidose ruminale et qui se répercute sur l'appétit et le fonctionnement digestif de la vache.

Ainsi, la vache au début de lactation est dans un bilan énergétique négatif et pour faire face à ce dernier, cette dernière nécessite une adaptation du métabolisme énergétique très fine ; elle est obligée de mobiliser ses réserves corporelles alors que les seules qui sont mobilisables sont les réserves graisseuses. Entre 30 et 60 kg de lipides peuvent être mobilisés, entraînant une augmentation des concentrations plasmatiques en acides gras volatils (AGV). Cette augmentation est inversement proportionnelle à la capacité d'ingestion. (Ingvarsen, Andersen, 2000)

2.3.Le métabolisme énergétique

Il est évident que les besoins de la VL en glucose augmentent durant la période de transition, ces dernières passent de 1kg/ vache/ jour en fin de gestation à 2Kg/vache/jour au début de lactation. En revanche, les réserves en cette substrat sont très restreintes, elles sont réparties comme suite :

- ❖ Le foie : représente 160g du glucose sous forme de glycogène (Enjalbert F, 1996).
- ❖ Le sang : le glucose qui circule dans le sang représente un total de près de 30g à l'échelle de 0.5g/l.

Cette réserve n'est pas apte à couvrir les besoins de la production laitière alors que la vache a besoin de 1.5 à 2.5 kg /j de glucose pour produire du lait, de ce fait, elle est obligée de chercher d'autres sources de glucose.

2.3.1. Sources du glucose chez la vache laitière

Les glucides

Deux types de glucides sont à l'origine de l'énergie chez les ruminants :

- ❖ Les sucres pariétaux ou l'hydrates de carbone fibreux principalement la cellulose et l'hémicellulose apportent peu d'énergie mais indispensables à la rumination et à la stimulation de système tampon de la salive (Forgeat, 2013).
- ❖ Les sucres cytoplasmiques ou hydrates de carbone non fibreux ; directement fermentescibles à savoir l'amidon, augmentent la teneur en énergie mais ne stimule pas la rumination.

La digestion des glucides se fait principalement dans le rumen par le biais d'une importante microflore symbiotique constituée par des bactéries, 10^{10} à 10^9 bactéries par ml de jus de rumen ; différentes selon la fonction (cellulolytique, amylolytique, protéolytique, lipolytique), des archéobactéries, protozoaires et des champignons avec une teneur de 10^8 , 10^6 à 10^4 et 10^4 respectivement (Ferran, 2012)

La fermentation des glucides dans le rumen permet d'avoir comme produits ; de l'énergie, du gaz (CH_4 , CO_2), de la chaleur et des AGV (figure 4). Ces derniers sont la principale source d'énergie d'un ruminant représentant 50 à 70% de l'énergie totale et ils sont de l'ordre de trois ; acide propionique (C_3), acide acétique (C_2) glucoformateurs, et l'acide butyrique (C_4) cétoformateur (Dragoul et al., 2004)

Les protéines

Sont très essentielles, elles interviennent dans différentes fonctions ; la croissance, la reproduction et la production. En plus, les ruminants ont la particularité de synthétiser les acides aminés au niveau ruminal via la microflore en utilisant de l'azote non protéique, certains acides aminés (AA) d'entre eux sont dits glucoformateurs ; précurseurs du glucose au moment de la néoglucogenèse.

Les lipides

Malgré la faible quantité de lipides dans la ration des ruminants 4 à 5%, leur valeur est très importante car ils possèdent un contenu énergétique élevé et ils sont impliqués directement dans la synthèse de 50% de la matière grasse du lait chez la vache laitière. L'hydrolyse des lipides donne du glycérol qui sera rapidement fermenté en AGV puis utilisé comme source de glucose en plus des AGNE qui seront captés par le foie (Forgeat, 2013).

La néoglucogénèse

Pour avoir de l'énergie, Les ruminants suivent la voie de la néoglucogénèse qui consiste en un ensemble de mécanismes qui contribuent à la formation du glucose ou du glycogène à partir des substrats non glucidiques tel que la néoformation à partir des AGV particulièrement l'acide propionique (C₃) qui sera converti en propionyl- coenzyme A puis en acide oxaloacétique "molécule centrale de la néoglucogénèse" (Forgeat, 2013). Ainsi, les AA glucoformateurs : alanine, glutamine, glycine, sérine et valine qui représentent 30 à 50% de l'apport énergétique en fin de gestation (le Bars, 1991).

Le glucose peut être aussi néoformé en glycérol qui provient de la lipomobilisation ; 5% de l'apport énergétique pour produire du glycogène hépatique (le Bars, 1991), et finalement le lactate qui provient de la dégradation de l'acide propionique (C₃) par la muqueuse ruminale.

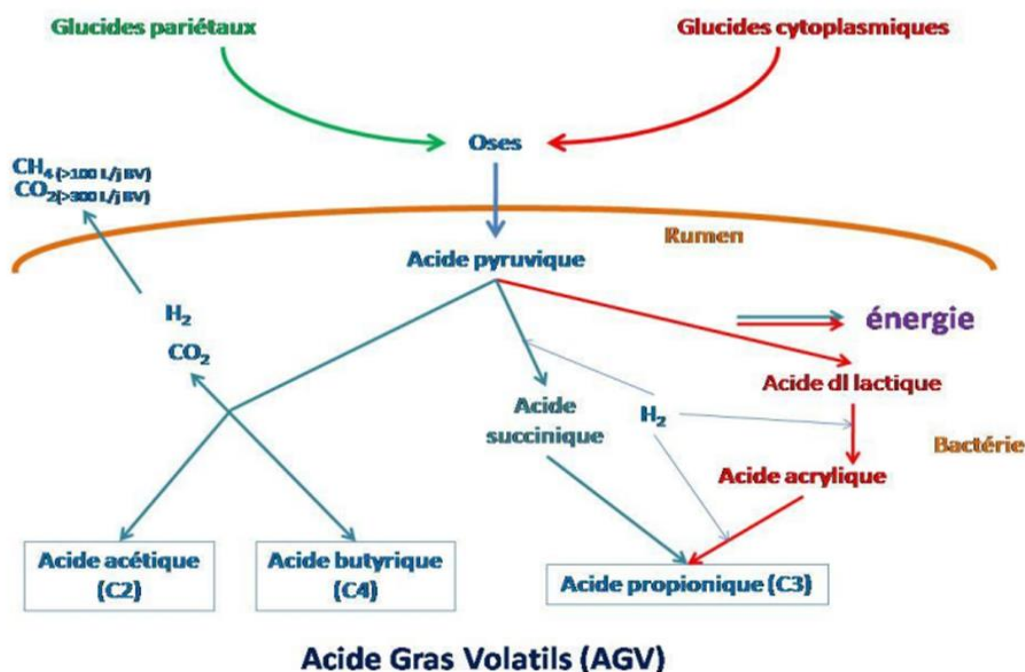


Figure 3: Voies biochimiques de la fermentation et de la production d'AGV (Enjalbert, 1996).

Comme la vache en période de transition est dans un bilan énergétique négatif BEN, les conditions physiologiques ne lui permettent pas de couvrir ses besoins via la néo glycolyse. Il y a donc des changements importants dans le profil endocrinien qui ont été observés et qui touchent surtout l'axe de l'hormone de la croissance et qui influence le métabolisme. Dans cette situation, la vache est obligée de mobiliser ses réserves corporelles :

2.3.2. La mobilisation des lipides

Au moment du déclenchement de la lactation, un feed-back positif sur la sécrétion de l'hormone de croissance GH qui stimule la glycogénèse par le foie pour fabriquer du glucose nécessaire pour la production du lait et les autres besoins. En parallèle, le GH a un feed-back négatif sur la sécrétion d'insuline au niveau du pancréas empêchant l'utilisation de glucose par le foie, les muscles plus le tissu adipeux en diminuant le nombre des récepteurs de l'insuline et insuline-like growth factor-1 (IGF-1). Le résultat de cet événement est un déséquilibre entre l'énergie produite et l'énergie nécessaire pour couvrir les besoins. Une adaptation rapide de l'organisme s'installe par la lipomobilisation des réserves graisseuses et la libération des acides gras non-estérifiés AGNE.

Dans les conditions physiologiques, la mobilisation de 40 à 50 kg de poids vif permet de couvrir une production de 400 à 500 litres de lait, ce qui montre l'intérêt d'avoir une note d'état corporel entre 3 et 3.5 de la vache au moment du vêlage (Enjalbert F, 1998).

La mobilisation des lipides est une hydrolyse des triglycérides donnant du glycérol et des acides gras non estérifiés ou bien des acides gras libres, puis le devenir de ces derniers est lié à leur taille (figure 5).

- ❖ Les AGNE > 12 atomes de carbone subissent une estérification au niveau des entérocytes puis transporté vers les organes via les lipoprotéines ; VLDL very low density lipoprotein et les CM chylomicron formés par les TG, phospholipides, cholestérol et apolipoprotéine. Ce type d'AGNE représente un bon marqueur de la mobilisation graisseuse chez la VL (Forgeat, 2013)
- ❖ Les AGNE ≤ 12 atomes de carbone, vont être directement transportés vers le foie à travers l'albumine (Cuvelier, 2005) Le recrutement des AGNE vers le foie est proportionnel à la concentration sanguine en AGNE (Lean et al., 1991).

Le devenir des AGNE au niveau hépatique est soit :

- ❖ Minoritairement sécrétés dans la bile (Cuvelier et al., 2005).
- ❖ Une oxydation complète ou incomplète
- ❖ Une estérification

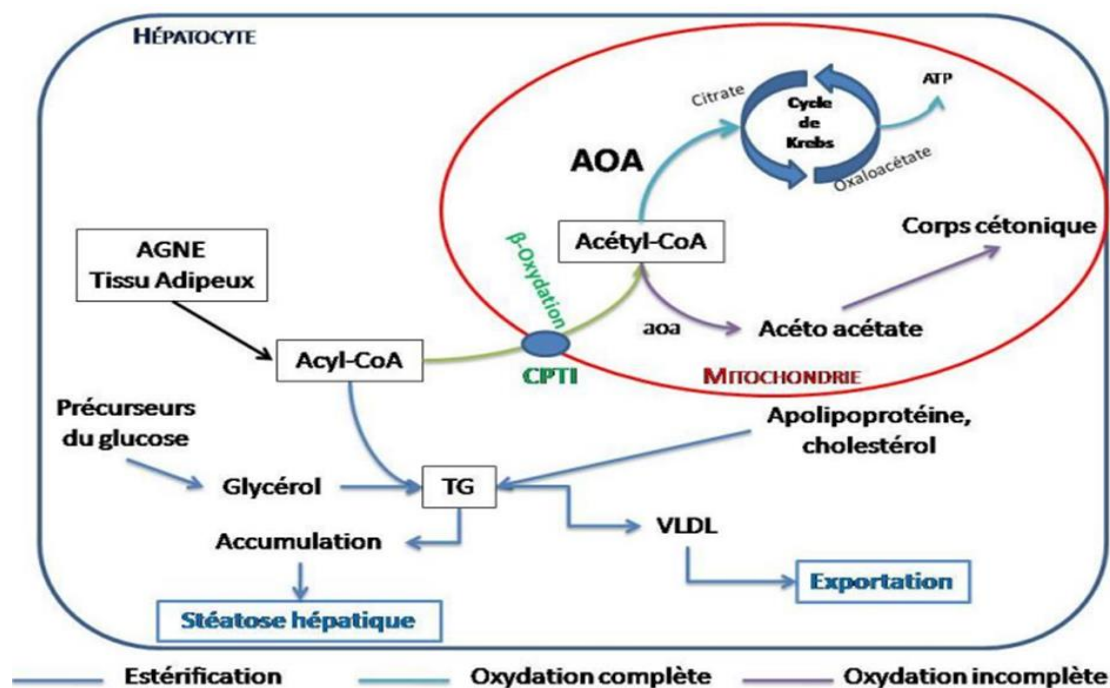


Figure 4: Bilan du devenir des AGNE dans la voie de l'estérification, de l'oxydation complète et incomplète (AOA = forte concentration en oxaloacétate et aoa = faible concentration en oxaloacétate) d'après (Cuvelier, Et Al., 2005 ; Herdt, 2000).

L'oxydation

La première voie à détailler est l'oxydation, qu'elle soit complète ou incomplète, donc au niveau hépatique les AGNE vont directement se lier à des protéines de liaison Fatty Acid Binding proteins (FABP) puis s'associer avec la co-enzyme A (COA) pour donner de l'acyl co-enzyme A qui va entrer dans les mitochondries d'une manière déférente selon la taille des AG :

- ❖ Inférieure à 12 atomes de carbone, entrent de façon passive.
- ❖ Entre 12 et 18 atomes de carbone, entre à travers une enzyme c'est la CPT1 Carnitine palmitoyltransférase.
- ❖ Supérieure à 20 atomes, ne peuvent pas être directement métabolisés dans les mitochondries. Ils subissent d'abord une bêta-oxydation partielle dans les peroxysomes. Ce processus permet de raccourcir leur chaîne carbonée afin qu'ils puissent être pris en charge par les mitochondries pour une oxydation complète.

Dans les peroxysomes, cette bêta-oxydation produit du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) comme sous-produit, lequel est dégradé par la catalase (CTA1). Contrairement à la bêta-oxydation mitochondriale, celle réalisée dans les peroxysomes ne génère pas de NADH ni d'ATP, car elle

n'est pas couplée à la chaîne respiratoire. Elle a pour unique rôle de "raccourcir" les acides gras très longs pour permettre leur entrée dans les mitochondries.

Dans les mitochondries, les AGNE raccourcis sont ensuite métabolisés via la bêta-oxydation classique, avec la participation de la carnitine palmitoyltransférase I (CPT1), produisant de l'énergie sous forme de NADH et FADH₂. (Forgeat, 2013)

Arrivant au niveau des mitochondries, l'Acyl-CoA subit une oxydation. En premier lieu, c'est une bêta-oxydation qui aboutit à la formation de NADH et de l'Acétyl-CoA à son tour subit une oxydation soit complète ou incomplète ; cela est en relation avec la présence d'une molécule indispensable à l'oxydation complète qui est l'acide oxaloacétique "précurseur de glucose" (Cuvelier et al., 2005 ; Herdt Thomas, 2000)

L'oxydation complète des AGNE se déroule dans le cycle de Krebs, ayant pour objectif principal la production d'énergie. En revanche, l'oxydation partielle, qui correspond à la céto-genèse – un processus intermédiaire du métabolisme énergétique des ruminants – aboutit à la formation de corps cétoniques. (BHB : bêta hydroxybutyrate, Acétone et l'Acétoacétate). La production de l'énergie par cette voie est cinq fois faible en comparaison avec celle du cycle du Krebs. Cette voie est mise en fonction lorsque les réserves en glucose sont insuffisantes donc on a un manque d'oxaloacétate ce qui va conduire à une oxydation incomplète et une production de l'Acétyl-CoA précurseur de corps cétoniques.

Dans le cas d'une hypoglycémie elle représente une source d'énergie importante pour les tissus périphériques ; il y a une retransformation des corps cétoniques en Acétyl-CoA qui sera intégré dans le cycle de Krebs comme ils peuvent être utilisés directement par la mamelle "BHB" pour la formation de la matière grasse du lait (Cuvelier et al., 2005 ; Duffield, 2000 ; Herdt, 2000).

Les corps cétoniques sont donc des substrats énergétiques bénéfiques tant que leur production n'a pas dépassé leur utilisation par les tissus périphériques et dans le cas contraire, on parle de Cétose ou l'Acétonémie qui correspond à l'augmentation de la concentration sanguine des corps cétoniques (le Bars, 1991).

L'estérification

Cette voie est observée dans deux cas, le premier c'est lors d'un bilan énergétique positif ou le stockage des réserves graisseux est sous forme de TG à partir du glycérol et des AGNE. Le deuxième est lors d'un BEN avec une forte mobilisation des réserves graisseux, avec une

libération excessive des AGNE et une capacité des CPT1 à faire rentrer l'Acyl-CoA dans les mitochondries qui est dépassée, avec une re-estérification de ces AGNE en TG (figure 6).

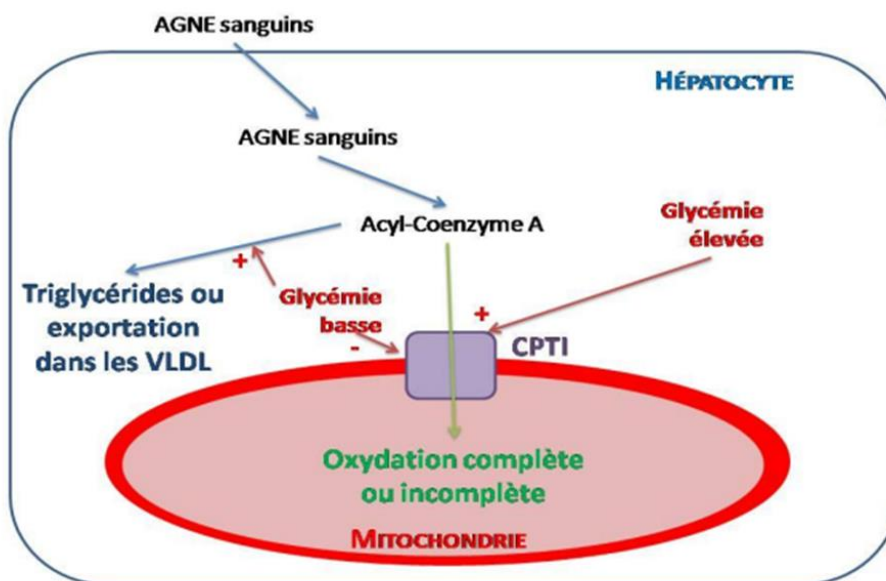


Figure 5: Contrôle de la CPT1 en fonction de la glycémie, et orientation de l'utilisation des AGNE au sein de l'hépatocyte ("+" = Stimulation & "-" = Inhibition) d'après (Herdt et al., 2000)

Les TG formés vont être répartis en deux pools différents soit, microsomal pour former les VLDL qui sont responsables de l'exportation des TG vers les tissus périphériques. Malheureusement, les ruminants produisent peu de VLDL qui nécessite la vitamine B1. En plus, la plupart des TG vont être orientés vers le pool cytosolique. Dans ce pool, les TG seront stockés sous forme de gouttelettes lipidiques dans le cytoplasme des hépatocytes, dans ce cas, on aura la mise en place de la stéatose hépatique "syndrome de surcharge hépatique" (Forgeat, 2013).

3. Le processus d'immunodépression au moment de la période de tarissement

La période de tarissement entraîne des modifications dans la redistribution des nutriments, la conformation de la microflore du rumen, ainsi que dans la physiologie de la glande mammaire, (Dingwell, Kelton and Leslie, 2001) ce qui est généralement lié à des défis psychologiques. (Van Dorland et al., 2009). L'immunosuppression physiologique se produit pendant plusieurs semaines autour du vêlage, avec un pic dans la semaine *post-partum* (Salat, 2005) ; (Leblanc, 2012). D'après (Biswas & E Lopez-Collazo, 2009), le tarissement a un rôle fondamental dans le développement du dysfonctionnement immunitaire et de l'inflammation systémique pendant la période de tarissement. Douglas (2006) constate que les vaches produisant plus de 15 litres

de lait par jour dans les jours précédant le tarissement sont les plus exposées à des conditions inflammatoires sévères lors de l'interruption de la traite. Cela pourrait s'expliquer par le rôle des leucocytes dans la phase d'involution de la glande mammaire. (Dingwell et al., 2001). Cette phase est caractérisée par :

- ❖ Une diminution de la capacité des phagocytes à neutraliser les bactéries : diminution de l'activité de la myéloperoxydase et de la cytotoxicité médiée par les neutrophiles (Cai et al., 1994) comme il est montré dans la figure 7.
- ❖ Une diminution de la réponse lymphocytaire aux agents mitotiques (Goff & Horst, 1997).
- ❖ Une diminution des taux sériques d'immunoglobulines, de complément et de lectines.

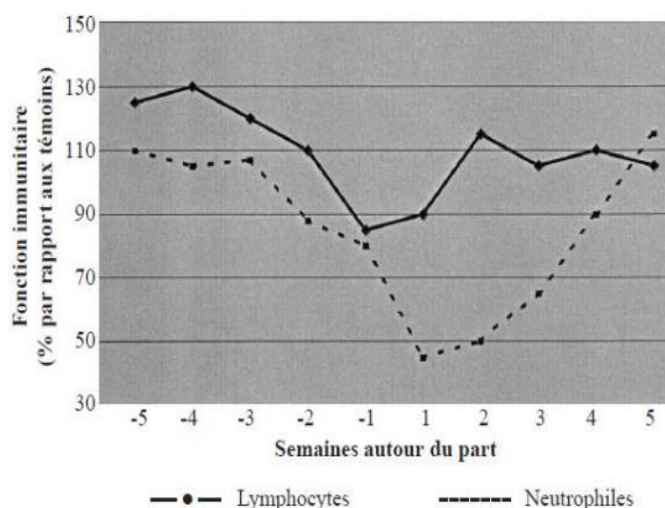


Figure 6: Activité des lymphocytes (aptitude à la blastogénèse) et des neutrophiles (aptitude à ingérer et neutraliser des bactéries) en peripartum (J. P. Goff & Horst, 1997)

Dans le même contexte, (Drackley, 1999) ajoute qu'un niveau élevé en cytokines pro-inflammatoires pourrait induire une activation dysfonctionnelle des cellules dendritiques inhibant le rôle antiphlogistique des lymphocytes T et prédispose les VL au développement d'inflammation. Ainsi, l'exposition des leucocytes à des facteurs de stress biologiques suite à l'arrêt de la traite pourrait probablement déclencher une tolérance aux endotoxines. Ces phénomènes couplés à l'effet immunodépresseur du cortisol libéré au tarissement suite à des stress métaboliques (Drackley et al., 2016). L'association de tous ces phénomènes peuvent expliquer l'activité réduite des leucocytes pendant la période de tarissement. Finalement, ce dysfonctionnement immunitaire peut être causé par plusieurs facteurs :

3.1.Facteur alimentaire et déficit énergétique

Un facteur alimentaire qui pourrait potentiellement affecter l'adaptation des vaches à la nouvelle lactation, c'est la densité énergétique de la ration administrée, en particulier pendant la première phase de la période de tarissement PT (Mezzetti et al., 2021).

La suralimentation des vaches laitières pendant cette phase peut favoriser le dépôt du tissu adipeux et induire des changements graves dans l'expression des gènes médiée par le tissu adipeux, ce qui perturbe la sensibilité à l'insuline et les fonctions immunitaires (Goetz et al., 2021; Janovick & Drackley, 2010), et renforce l'hypothèse qu'un excès prolongé d'énergie induit une inflammation systémique chez les VL (Guarini et al., 2019) similaire à l'état Méta-inflammatoire rapporté chez l'Homme qui est associé à l'obésité et les maladies chroniques.

Outre la contribution du niveau de l'énergie à la fonction leucocytaire, un autre facteur alimentaire susceptible d'altérer les fonctions immunitaires des VL c'est la contribution des changements du régime alimentaire à l'intégrité du tractus gastro-intestinal. D'autres changements alimentaires survenant après le vêlage affectant les bactéries et les métabolites du rumen en diminuant le pH du rumen qui altère la perméabilité de la paroi ruminale permettant la translocation des lipopolysaccharides LPS dans le sang et stimule les réponses inflammatoires systémiques et l'infiltration des leucocytes dans le rumen (Ingvarsen, 2006 ; Huang et al., 2021)

Jusqu'à présent, rien n'indique que les déficits énergétiques puissent être directement liés à l'immunosuppression qui survient après le part. En revanche, on peut fortement soupçonner qu'il existe un lien entre les deux phénomènes. Premièrement, il consiste en plusieurs changements métaboliques dans un organisme pour soutenir un état physiologique ou une fonction préférentielle due à l'homéostasie. Par exemple, les vaches en début de lactation ne mangent pas assez pour subvenir aux besoins énergétiques nécessaires à la production de lait. Pendant ce temps, la production de lait prend le pas sur les autres fonctions de l'organisme. On peut alors supposer que la défense immunitaire de l'organisme fait partie des fonctions non prioritaires durant cette période. De plus, chez les vaches mammectomisées, aucun déficit énergétique n'a été observé et l'immunosuppression était pratiquement absente (Kimura et al., 1999 ; Kimura et al., 2002 ; Kimura ; Nonnecke et al., 2003). Donc, Un déficit énergétique en début de lactation réduira certainement l'efficacité des défenses immunitaires de l'animal.

Aussi, les jours qui précèdent la mise bas, la concentration plasmatique en vitamine A est réduite de 38% et de 47% pour la vitamine E. Cette diminution est le résultat d'une part d'une utilisation excessive dans les processus immunitaires et métaboliques du vêlage et d'autre part ; à la production du colostrum, ces deux éléments ont un effet sur l'immunité soit direct "vit A" ou indirect au tant qu'antioxydant " vit E" (Goff and Horst, 1997).

3.2. Les désordres métaboliques

L'une des conséquences des changements métaboliques pendant la période de tarissement est la cétose que ce soit clinique ou subclinique, caractérisée par l'augmentation de la concentration des corps cétoniques dans le sang et qui ont des conséquences sur l'état immunitaire de la vache (Mezzetti et al., 2012) . Il est constaté que les vaches ayant une cétose subclinique en *postpartum* " début de lactation" révèlent un état inflammatoire ce qui est cohérent avec les résultats de (Park et al., 2018).

Ainsi, il est rapporté que la stimulation des leucocytes des VL atteintes de cétose subclinique au début de la lactation conduit à une grande production d'interféron gamma (IFN- γ) pendant la période de transition et une faible production des cytokines pro inflammatoires sont observées (Mezzetti et al., 2021). L'apparition d'une cétose au début de lactation pourrait augmenter l'altération de la fonction des leucocytes, en raison d'une combinaison d'une lipomobilisation élevée (Creutzinger et al., 2021) et une grande expression des gènes anti-inflammatoires au niveau du foie pour faire face à l'inflammation et prévenir la stéatose hépatique. D'autres recherches ont trouvé un effet inhibiteur sur les voies transcriptomiques liée au cycle cellulaire, à la duplication de l'ADN et la réparation dans les leucocytes circulantes chez les VL cétoniques causé par le niveau élevé des BHB.

Chez les vaches laitières, l'excès de tissu adipeux (vaches grasses au vêlage) et des concentrations élevées d'AGNE (vaches à déficit énergétique *post-partum*) sont un facteur de risque pour plusieurs maladies inflammatoires telles que la mammite et la métrite. Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer la relation entre AGNE et la régulation des réponses inflammatoires. En particulier, ils affectent la fonction de deux types de cellules, les leucocytes et les cellules endothéliales (Andres Contreras G & Sordillo LM, 2011).

Le rôle des AGNE dans l'activation de la voie NF κ B (Nuclear Factor-kappa B)

Les TLR (Toll Like Receptors) qui se trouvent sur la surface des cellules endothéliales reconnaissent les séquences conservées des agents pathogènes, les Pathogenes-Associated Molecular patterns (PAMP). Les PAMPs des bactéries Gram positif c'est l'acide Lipoteichoïque

reconnu par les TMR 1, TLR 2 et les TLR 6. Par contre, les TLR 4 reconnaissent les LPS lipopolysaccharides des bactéries à Gram négatif. L'activation des TLR initie une cascade de signalisation qui conduit à la synthèse de chimiokines et de cytokines pro-inflammatoires, notamment les interleukines (IL), les molécules de la famille du facteur de nécrose tumorale (TNF) et les prostaglandines (Gros Louise, 2015). NFκB (facteur nucléaire-kappa B) est une famille de petites protéines de dimères (p50-p65) qui fonctionnent pour activer la transcription de gènes cibles et conduisent à l'établissement de réponses pro-inflammatoires par la synthèse de cytokines, de chimiokines et de molécules d'adhésion vasculaire. La voie NFκB peut être activée par tous les récepteurs TLR. Cependant, les AGNE y compris l'acide palmitique (C16 : 0) et l'acide stéarique (C18 : 0), peuvent activer le TLR-4, déclenchant ainsi une réponse inflammatoire via la voie NFκB. De même, TLR-2 peut également être activé par des acides gras saturés tels que l'acide dodécanoïque (C12 :0).

De plus, les AGNE polyinsaturés oméga 3 (DHA, EPA) inhibent la production de NFκB, évoluant vers la suppression des réponses inflammatoires. Cependant, la concentration en oméga 3 diminue pendant la période de transition. Ainsi, les AGNE libérés en périnatalité sont pro-inflammatoires (Andres Contreras & Sordillo, 2011)

La production des médiateurs pro-inflammatoires

Une autre voie par laquelle les acides gras peuvent interférer avec les réponses inflammatoires et immunitaires est la biosynthèse des médiateurs lipidiques eicosanoïdes : prostaglandines, prostacyclines, leucotriènes, lipoxine et thromboxane, qui sont des modulateurs des réponses inflammatoires, en présence de fortes concentrations d'AGNE avec des caractéristiques périnatales typiques (augmentation des acides gras saturés et diminution des oméga 3) ; augmentation de la production de cytokines pro-inflammatoires par les cellules endothéliales vasculaires (Andres Contreras & Sordillo, 2011).

Perturbation de la fonction des macrophages et neutrophiles en *peripartum*

Les macrophages et les neutrophiles ont besoin de beaucoup d'énergie pour remplir leurs fonctions antimicrobiennes. Le glucose étant la principale source d'énergie, une diminution marquée de la glycémie périnatale affecte les cellules immunitaires en limitant l'énergie disponible (Sordillo & Raphael, 2013). Ainsi qu'il est rapporté que la synthèse de l'ADN, la sécrétion d'interféron et la synthèse d'IgM par les cellules mononucléaires du sang périphérique

bovine (PBMC) diminuent à mesure que les concentrations plasmatiques des AGNE augmentent lors d'une lipomobilisation. Une deuxième conséquence de l'accumulation excessive des AGNE et d'autres métabolites lipidiques est l'induction de la mort cellulaire programmée ou de l'apoptose par un processus appelé stress du réticulum endoplasmique. (Andres Contreras & Sordillo, 2011).

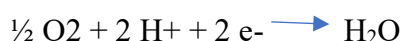
3.3. Le changement hormonal

Les taux d'œstrogène et de cortisol dans le sang augmentent vers la fin de la gestation. Ces hormones semblent affecter négativement le système immunitaire. Certaines études n'ont pas montré les effets des œstrogènes sur les cellules immunitaires, mais la plupart des études semblent montrer que les œstrogènes ont un fort effet suppresseur sur l'immunité. De plus, les glucocorticoïdes comme le cortisol sont reconnus pour leurs effets immunosuppresseurs (Griffin., 1989). L'élévation des œstrogènes et du cortisol à la fin de la gestation est probablement l'une des causes de l'immunosuppression chez les vaches laitières. Cependant, aucune étude n'a pu déterminer les effets immunosuppresseurs de ces hormones pendant la période *Péripartum*.

Une autre hormone susceptible d'être impliquée dans le phénomène d'immunosuppression est la leptine. La leptine diminue après la parturition et joue un rôle important dans le maintien du système immunitaire. Une baisse de leptine pendant l'allaitement peut entraîner une détérioration du système immunitaire. Les modifications hormonales périnatales peuvent être l'une des causes de l'immunosuppression en début de lactation. (Lenogue & Lescure, 2022)

4. Le stress oxydatif

La respiration cellulaire fournit 90% de l'énergie indispensable au fonctionnement normal des cellules eucaryotes en utilisant des réactions redox. Ces réactions font intervenir des agents oxydants, ou accepteurs d'électrons, et des agents réducteurs, ou donneurs d'électrons. Où l'oxygène est l'accepteur d'électrons final après la réaction redox en cascade.



Cependant, 2 à 3 % de l'oxygène n'est pas réduit en eau, mais converti en radicaux libres (Auberval, 2010). On parle alors de ROS (des espèces réactives de l'oxygène). Par exemple, le radical superoxyde O_2^- , l'hydroxyle $\text{HO}^\cdot$, le peroxyde $\text{ROO}^\cdot$ ou même le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , qui n'est pas un réel radical libre mais il est considéré comme un ROS car il peut rapidement se disproportionner en deux radicaux hydroxyles.

Les ROS sont principalement produites par les neutrophiles et les macrophages et sont essentielles à la destruction des bactéries phagocytées. En effet, ces dérivés oxygénés ont un effet potentiellement toxique sur les agents infectieux : désintégration membranaire due à la peroxydation lipidique, modifications protéiques, notamment enzymatiques, modifications des chromosomes par interactions avec l'ADN (Weill & Batteux, 2003).

Malgré leurs nombreux effets bénéfiques sur les réponses immunitaires et inflammatoires, les ROS peuvent également causer des dommages cellulaires s'ils sont produits en excès (Sordillo et Raphael 2013). Pour surmonter les effets négatifs des ROS, de nombreuses entités antioxydantes sont synthétisées dans le corps ou ingérées à partir des aliments pour neutraliser et éliminer les entités oxydantes. C'est par exemple des enzymes telles que la superoxyde dismutase, la catalase ou la glutathion peroxydase, une sélénoprotéine et d'autre non enzymatiques, le tocophérol (vitamine E), l'acide ascorbique (vitamine C) et les caroténoïdes (Sordillo & Aitken, 2009). Dans des conditions normales, un équilibre est maintenu entre les entités oxydantes et les antioxydants. Cependant, lorsqu'un déséquilibre survient en faveur des espèces oxydantes, on parle alors de stress oxydatif. (Auberval 2010).

La production intense et rapide des ROS peut être causé par des situation de stress tel que la transition alimentaire, le changement de bâtiment, le vêlage, un métabolisme intense pour couvrir les besoins et finalement les processus inflammatoires (Lamer, 2014). Ces événements se déroulent dans la période de *péripartum* et donc il y a une forte production des ROS pendant cette période. Par contre, une diminution de la quantité des antioxydants comme la vitamine E est observée (Goff et Horst, 1997). Finalement, on comprend que la vache en *péripartum* souffre du stress oxydatif.

4.1. Les conséquences du stress oxydatif

Les lipides et principalement leurs acides gras polyinsaturés sont attaqués par un radical hydroxyle qui peut extraire un hydrogène d'un carbone situé entre deux doubles liaisons et former un radical diène conjugué qui s'oxyde en radical pyroxyde. Cette réaction est appelée la peroxydation lipidique (Esterbauer et al., 1992).

L'ADN est la mémoire de toute la composition biochimique d'un organisme, c'est une molécule très sensible aux attaques des radicaux oxygénés. En principe, cinq grandes classes de dommages oxydatifs médiés par $\text{OH}^\cdot$ sont produites. Ceux-ci comprennent les bases oxydées, les sites abasiques, les adduits intrabrin, les ruptures de brin et les réticulations ADN-protéine (Cadet et al., 2002).

Entre autres, les protéines les plus sensibles aux attaques radicalaires sont ceux qui contiennent des groupes sulfhydryl (SH). C'est le cas de nombreuses enzymes cellulaires et protéines de transport, qui sont oxydées et inactivées (Beckman & Ames, 1998).

5. Conclusion

La période du *péripartum* constitue une phase particulièrement critique chez les ruminants, marquée par des bouleversements physiologiques majeurs. Cette période se caractérise par l'apparition d'un bilan énergétique négatif, une immunodépression qui augmente la susceptibilité aux maladies infectieuses et métaboliques, ainsi qu'un stress oxydatif accru. Ces interactions complexes soulignent l'importance d'une gestion adaptée et d'interventions ciblées pour minimiser les impacts négatifs sur la santé et la production.

Chapitre 2

l'utilisation des probiotiques et des prébiotiques chez les ruminants

Chapitre 2 : l'utilisation des probiotiques et des prébiotiques chez les ruminants

Introduction aux probiotiques et prébiotiques

1. Les Probiotiques

1.1.Définition

Le mot probiotique est un terme qui vient du grec dont la signification, **Pro** « qui est pour » et **Biotikos** « qui concerne la vie », en terme général « pour la vie » (Chiquette, 2010). Il a été utilisé la première fois par Lilly et Stilwell pour définir des produits de micro-organismes vivants ayant des propriétés de stimuler la multiplication des autres micro-organismes (Lilly & Stillwell, 1965).

La première observation de leurs effets bénéfiques remonte à 1908, lorsque Metchnikoff a reçu le prix Nobel pour cette découverte. Ensuite, Fuller, 1989 a défini les probiotiques comme état « des micro-organismes vivants associés à des effets bénéfiques sur l'hôte qui les ingère grâce à une amélioration de l'équilibre de la microflore intestinale ». La FAO/WHO donne une autre définition : « des micro-organismes vivants, qui, lorsqu'ils sont en quantité adéquate, confèrent des effets bénéfiques sur la santé de l'hôte ». En 1992, Havenaar et al. ont proposé une autre définition « c'est des monocultures ou des cultures mixtes de micro-organismes vivants, lorsqu'elles sont administrées à un animal ou un être humain, ont un effet bénéfique grâce à l'amélioration des propriétés de sa microflore indigène ». Cette dernière, c'est la plus précise en termes d'hôte et de type de micro-organismes car elle ne limite pas les probiotiques à la microflore intestinale, mais elle comprend aussi d'autres écosystèmes comme la bouche, le rumen...

1.2.Historique de l'utilisation des probiotiques en médecine vétérinaire

L'idée de la consommation des probiotique pour la santé humaine ne date pas d'hier. En effet, suite à l'observation de son effet bénéfique par Metchnikoff, la consommation des lactobacilles des produits lactiques fermentés était souhaitable pour la prolongation de la vie des êtres humains (Metchnikoff Elie, 1910), et la recherche continue en ce domaine. Malgré que le concept des probiotiques a été scientifiquement prouvé mais n'a reçu que peu d'intérêts suite à la découverte des antibiotiques (ATB) après la deuxième guerre mondiale, mais ils étaient toujours utilisés suite à un traitement d'ATB vigoureux pour réensemencer la microflore intestinale. (Chiquette, 2010) .

Les techniques d'élevage et l'amélioration des performances zootechniques pour couvrir les besoins de la population en denrées alimentaires d'origine animale est en relation avec la potentialité des animaux, l'alimentation mais aussi à la réduction des agents pathogènes susceptibles d'altérer ces potentialités (Guillot, 1998). A cause de cette problématique, et depuis 1946, les antibiotiques ont été utilisés comme des facteurs de croissance pour l'amélioration des performances zootechniques des animaux d'élevage. Cependant, l'apparition puis l'augmentation du nombre des souches de bactériennes résistantes aux antibiotiques, cette situation conduit depuis 1970 à la diminution progressive de l'utilisation des ATB comme additifs alimentaires chez les animaux d'élevage (Corpet., 1999). Arrivant en 2005, l'Union Européenne a banni l'utilisation des ATB à des fins non thérapeutiques. Cette évolution a suscité un regain d'intérêt pour la recherche des alternatives sous forme d'incorporation des souches de micro-organismes dans l'alimentation qui permet d'avoir le même effets bénéfiques d'ATB ce qui correspond aux « **Probiotiques** ».(Ayad., 2017). Ainsi, l'utilisation des probiotiques se présente comme une solution biologique jouissant d'une image favorable auprès des consommateurs et pouvant constituer une alternative efficace en élevage.

1.3.La sélection des probiotiques

Les probiotiques sont sélectionnés en deux générations, la première génération « 1950-1993 » reconnue par une efficacité supposée avec absence de réglementation, cette génération est scientifiquement mal définie, utilisée sans savoir ni de son mode d'action ni son innocuité (tableau 2). Contrairement à la deuxième génération qui a été sélectionnée selon des critères scientifiques et une réglementation bien définie décrite par l'Agence Française de la Santé et Sécurité Alimentaire (AFSA) qui exige la preuve scientifique de l'innocuité des micro-organismes (pour le manipulateur, le consommateur (humain ou animal) et l'environnement et une démonstration de leur efficacité. (Bernardeau & Vernoux, 2009)

Tableau 2: Principales différences entre les probiotiques de la première et la deuxième génération utilisés en alimentation animale (Lettat, 2011)

Probiotiques utilisés en alimentation animale		
	Première génération	Seconde génération
Période	1950 - 1993	1993 - ?
Réglementation	Absente	Dir 70/524/EC modifiée 93/114/EC Règlement 1831/2003/CE
Micro-organismes	Mals définis	Bien définis
	Mono / multi souches	Mono / double souches
Innocuité	Non évalués	Evalués
Efficacité	Cible principalement la performance de croissance	Cible les performances de croissance et la santé animale
	Absence d'analyse statistique	Avec analyses statistiques
Mode d'action	Non étudié, inconnu	Etudié, ± connu
Cibles	Intérêts alimentaires	Alimentation, santé

Les trois volets du dossier d'enregistrement européen pour les probiotiques incluent :

Identité et qualité : ce volet couvre les caractéristiques de la souche (taxonomie, métabolisme, propriétés, etc.), le procédé de fabrication, la stabilité du probiotique (seul ou en mélange), et les méthodes d'analyse

Sécurité : cela inclut l'évaluation de l'innocuité pour l'espèce cible (à 10 fois la dose recommandée), pour le manipulateur, le consommateur (absence de résistance aux antibiotiques, absence de génotoxicité et mutagenicité), ainsi que pour l'environnement.

Efficacité : ce volet exige la démonstration de l'efficacité pour l'espèce cible à travers un minimum de trois études significatives réalisées dans deux lieux différents. Il comprend également la description de l'espèce cible, les conditions d'utilisation (âge, stade physiologique, type de production), les doses recommandées, les performances attendues et les mécanismes d'action possibles. Les allégations liées aux probiotiques peuvent porter sur leurs effets sur la performance animale, la production animale, le bien-être des animaux, ou encore sur l'environnement. (Bernardeau & Vernoux, 2009)

1.4. Classification des probiotique en alimentation animale

La réglementation européenne a classé les additifs alimentaires en cinq catégories selon leurs fonctions et propriétés ; les additifs technologiques ajoutés à des fins technologiques, additifs sensoriels ajoutés pour l'amélioration ou la modification organoleptique des animaux, additifs nutritionnels, additifs zootechniques, les coccidiostatiques et les

histomonostatiques. Les probiotiques et les prébiotiques appartiennent à la catégorie des additifs zootechniques ; ce sont des additifs utilisés pour l'amélioration des performances des animaux, cette dernière est répartie en groupes fonctionnels suivants : améliorateurs de la digestibilité, stabilisateurs intestinaux, substances ayant un effet positif sur l'environnement et d'autres additifs zootechniques. (Lettat, 2011)

1.5. Les probiotiques utilisés chez les ruminants

Les principaux micro-organismes fréquemment étudiés et utilisés comme probiotiques dans les aliments pour ruminants incluent des espèces bactériennes appartenant aux genres *Streptococcus*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Propionibacterium*, *Bifidobacterium*, et *Prevotella bryantii*, ainsi que des espèces fongiques telles que *Saccharomyces* et *Aspergillus* (Gaggia et al., 2010) (Tableau 3). Les souches bactériennes probiotiques peuvent être classées en deux groupes principaux : les bactéries utilisant l'acide lactique (LUB) et les bactéries produisant de l'acide lactique (LAB). Le probiotique le plus utilisé à des fins commerciales chez les ruminants est *Saccharomyces cerevisiae* (Anadón et al., 2006).

Tableau 3: Principaux microorganismes utilisés couramment comme probiotiques chez les animaux (Anee et al., 2021)

Microorganismes	Genre	Espèce
Bactéries produisant de l'acide lactique	<i>Lactobacillus</i>	<i>Lactobacillus brevis</i>
		<i>L. lactis</i>
		<i>L. reuteri</i>
		<i>L. johnsonii</i>
		<i>L. fermentum</i>
		<i>L. paracasei</i>
		<i>L. plantarum</i>
		<i>L. acidophilus</i>
		<i>Lactobacillus casei</i> ssp. <i>Casei</i>
<i>Bifidobacterium</i>		<i>Bifidobacterium longum</i>
		<i>B. breve</i>
		<i>B. lactis</i>
		<i>B. bifidum</i>
		<i>B. infantis</i>
		<i>B. thermophilum</i>
		<i>B. pseudolongum</i>

Suite du tableau 3 :

Microorganismes	Genre	Espèce
Enterococcus		<i>E. faecalis</i>
		<i>E. faecium</i>
Bactéries utilisant l'acide lactique	<i>Megasphaera</i>	<i>Megasphaera elsdenii</i>
Propionibacterium		<i>Propionibacterium freudenreichii</i>
		<i>P. shermanii</i>
Autres espèces	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus cereus</i>
		<i>Bacillus licheniformis</i>
<i>Saccharomyces</i>		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
		<i>Saccharomyces boulardii</i>
<i>Prevotella</i>		<i>Prevotella bryantii</i>
<i>Lactococcus</i>		<i>Lactococcus lactis ssp. lactis</i>
<i>Pediococcus</i>		<i>Pediococcus acidilactici</i>
<i>Aspergillus</i>		<i>Aspergillus oryzae</i>
<i>Sporolactobacillus</i>		<i>Sporolactobacillus inulinus</i>
<i>Candida</i>		<i>Candida utilis</i>

Chez les ruminants, plusieurs métabolites de levure et cultures de levure sont également utilisés comme probiotiques (Shurson, 2018). La culture de levure contient un mélange de biomasse de levure et de métabolites de fermentation (alcools, esters, acides organiques, etc.) (Shurson, 2018). Par ailleurs, la levure de brasserie séchée, la torula (*Candida Utilis*), et la levure de lactosérum sont aussi utilisées dans l'alimentation animale. En raison des effets synergiques d'adhésion, les combinaisons de différentes souches probiotiques peuvent renforcer les effets bénéfiques sur la santé par rapport à l'utilisation de souches individuelles ((Elghandour et al., 2015).

1.6.Mode d'action des probiotiques chez les ruminants

Divers mécanismes d'action ont été proposés pour les probiotiques lorsqu'ils sont supplémentés à l'alimentation des animaux dans les élevages. Certains des mécanismes proposés incluent :

- La production d'une large gamme de substances antimicrobiennes telles que le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), les acides organiques, les bactériocines et le diacétyle, qui inhibent la croissance des microbes pathogènes (Chaucheyras-Durand & Ossa, 2014) ;

- La compétition directe avec les pathogènes pour les sites d'adhésion ou les sources de nutrition ;
- La production de facteurs de croissance ou de nutriments (par exemple, des vitamines, des acides aminés) stimulant les microbes bénéfiques dans le tractus digestif des animaux hôtes ;
- L'immunomodulation de l'hôte ;
- La stimulation et la synthèse d'enzymes ;
- Le métabolisme et la détoxification des composés toxiques.

Il existe des variations spécifiques parmi les différents groupes probiotiques en fonction de leurs propriétés et de leur mécanisme d'action, figure 7.

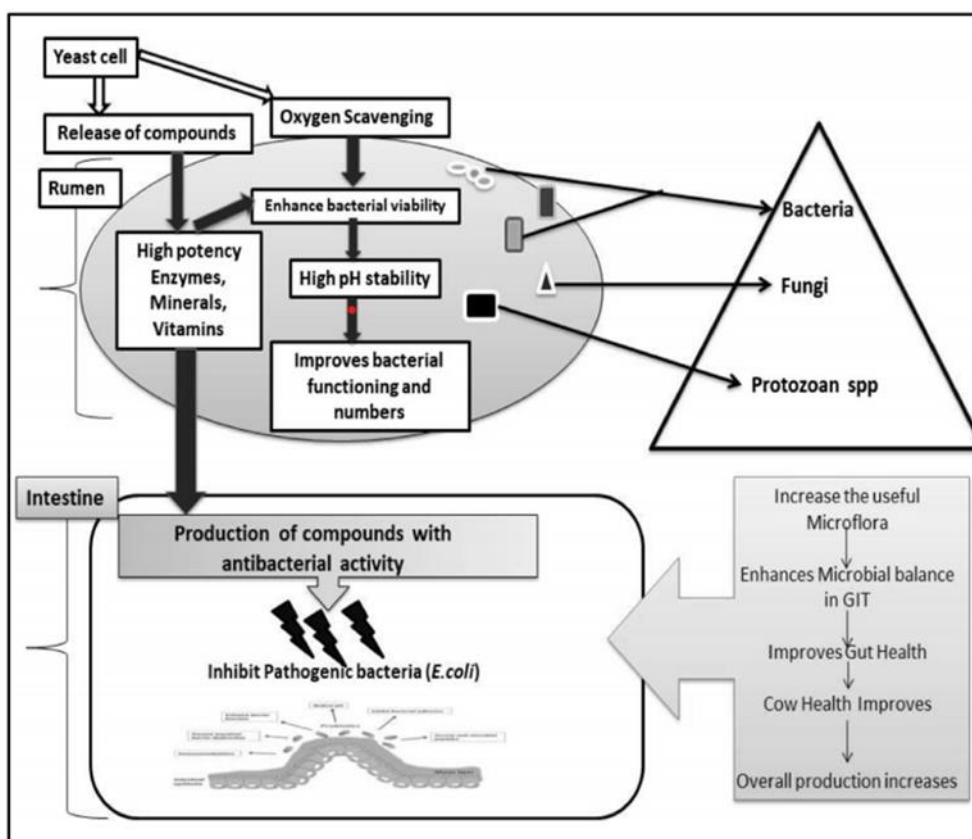


Figure 7: Mécanisme d'action des levures probiotique et leur effet sur la population microbienne chez les ruminants (Kulkarni et al., 2022).

Les principales bactéries lactiques (LAB) présentes dans le rumen incluent *Streptococcus bovis*, *Lactobacillus spp* et les entérocoques, qui peuvent proliférer rapidement en conditions de faible pH (Kassa, 2016). Ces LAB, telles que les lactobacilles et les entérocoques, produisent constamment du lactate dans le rumen, stimulant ainsi la croissance des populations de bactéries utilisant l'acide lactique pour maintenir le pH ruminal (Figure 8).

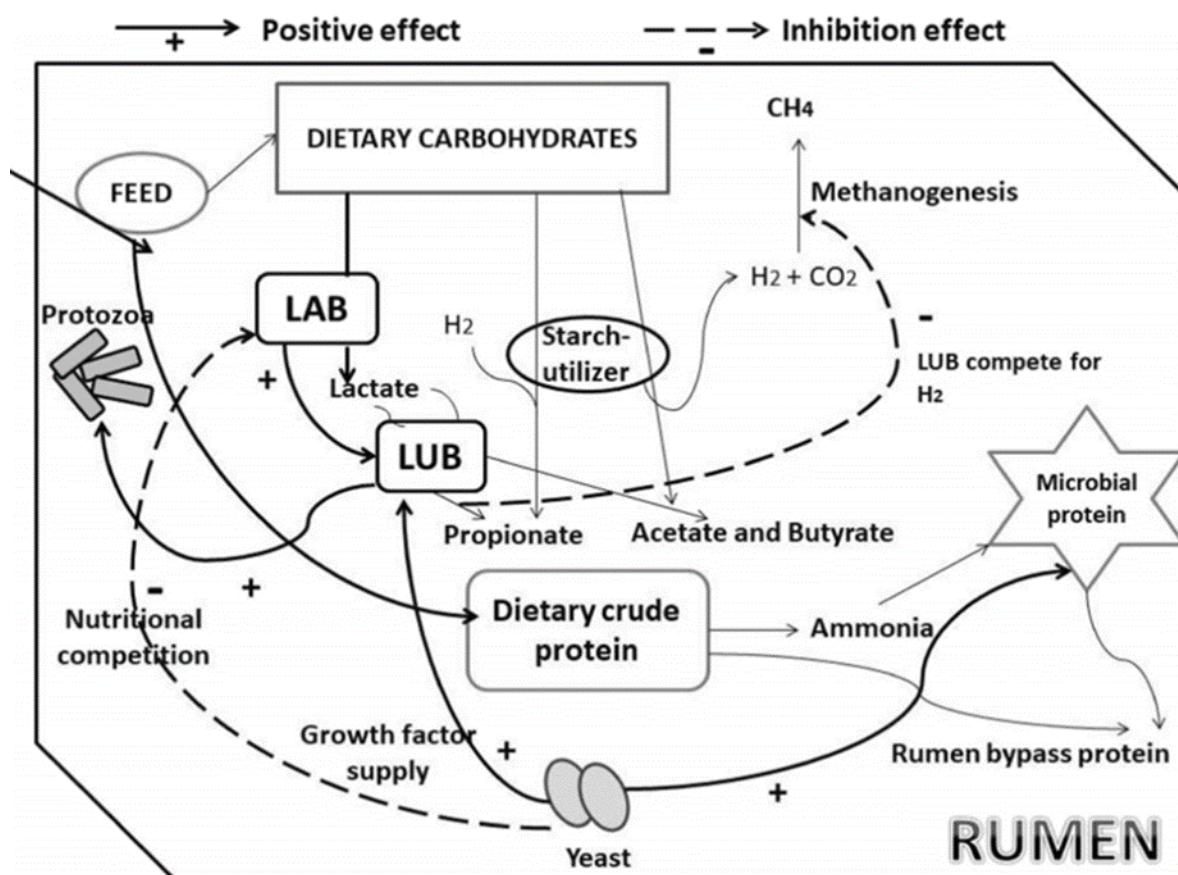


Figure 8: Mécanisme d'action des DFM (direct fed micro-organismes) dans le rumen. Les rôles des bactéries utilisatrices d'acide lactique (LUB), des bactéries productrices d'acide lactique (LAB), les bactéries utilisant l'amidon et les levures dans la fermentation du rumen sont décrites en relation avec la fermentation des glucides et la synthèse des protéines microbiennes (Kulkarni et al., 2022).

L'augmentation excessive de *S. bovis* est liée à l'acidose subaiguë légère du rumen, tandis qu'un excès d'*Escherichia coli* est associé à une acidose ruminale sévère et à une inflammation (Mazon et al., 2020);(Zapata et al., 2021). Par conséquent, ces LAB ont été recommandées comme microbes administrés directement en raison de leur capacité à augmenter les microbes du rumen s'adaptant à la présence de lactate et à renforcer les bactéries utilisant l'acide lactique (Elghandour et al., 2015 ;(Seo et al., 2010). Ces dernières, telles que *Megasphaera elsdenii* et *Selenomonas ruminantium*, convertissent le lactate en acides gras volatils (AGV), stabilisant ainsi le pH du rumen lors de l'alimentation avec des régimes hautement fermentescibles. Ainsi, les microbes administrés directement basés sur les (LUB) aident à prévenir l'acidose ruminale chez les vaches laitières ((Aikman et al., 2011) ; Mazon et al., 2020). *Megasphaera elsdenii* est

l'une des principales espèces de bactéries utilisant l'acide lactique chez les animaux recevant un régime facilement fermentescible, tandis que d'autres espèces de bactéries fermentant le lactate, comme *S. ruminantium*, subissent une suppression catabolique (Chaucheyras-Durand & Durand, 2010). De plus, il a été observé que *M. elsdenii* utilise le maltose, le lactate et le glucose comme source d'énergie, ce qui lui permet de concurrencer les LAB pour les substrats, réduisant ainsi les niveaux de lactate tout en augmentant la production d'AGV (Aikman et al., 2011 ; Mazon et al., 2020). Les propionibactéries, un autre groupe potentiel de LUB, fermentent le lactate en propionate, augmentant ainsi la production de propionate. Cela favorise la production de glucose, réduisant l'incidence de la cétose après le vêlage ou fournissant plus de substrat pour la synthèse du lactose, améliorant ainsi l'efficacité énergétique (Stein et al., 2006). De plus, l'augmentation du propionate pourrait réduire la quantité d'hydrogène disponible dans le rumen pour la synthèse du méthane entérique (Vyas et al., 2014).

Le mécanisme d'action des probiotiques dans le tractus intestinal des ruminants comprend leur capacité à améliorer l'équilibre microbien et à moduler la composition de la flore intestinale, à réduire la population bactérienne pathogène, et à influencer la réponse immunitaire ainsi que l'absorption des nutriments dans l'intestin (Figure 9). Certains probiotiques bactériens rivalisent avec les agents pathogènes pour les sites d'adhérence et de colonisation, ce qui contribue à modifier la population microbienne intestinale et à augmenter les bactéries bénéfiques (Pagnini et al., 2010). Les bactéries lactiques peuvent produire des substances antimicrobiennes telles que le H₂O₂, les bactériocines et les acides organiques (par exemple, l'acétate et le lactate) qui inhibent les pathogènes dans l'intestin inférieur (Chaucheyras-Durand et al., 2012). Plusieurs probiotiques bactériens peuvent réguler l'expression génique et les voies de signalisation dans les cellules immunitaires de l'hôte, induisant ainsi une immunomodulation (Raabis et al., 2019). Ils ont la capacité d'influencer les réponses des cellules T et B ainsi que la production de cytokines, ce qui dépend du dosage, des souches et des stratégies d'alimentation des microbes administrés directement (Adjei-Fremah et al., 2018).

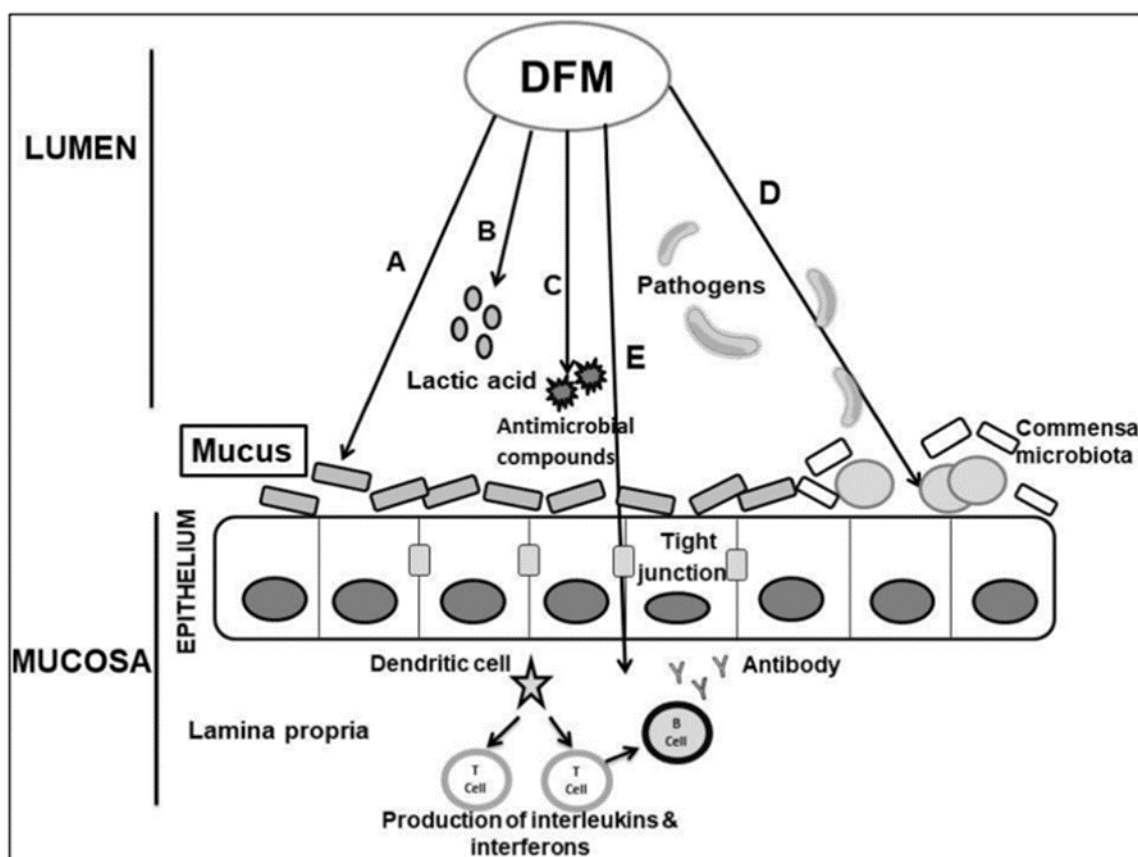


Figure 9 : Mécanisme d'action des DFM dans le tube digestif inférieur des ruminants. A amélioration de la fonction barrière intestinale. B descente du pH luminal en produisant du lactate. C synthèse d'antimicrobien composés (par exemple, acides organiques, peroxyde d'hydrogène, bactériocines). D adhésion et compétition pour les nutriments. E modulation de l'hôte réponse immunitaire (Kulkarni et al., 2022)

La supplémentation alimentaire en levure, en particulier avec *Saccharomyces cerevisiae*, a montré qu'elle améliorait l'environnement microbien dans le rumen en favorisant la croissance des bactéries bénéfiques. Cela se produit grâce à plusieurs mécanismes :

Élimination de l'oxygène : Les levures éliminent l'oxygène des aliments fraîchement ingérés dans le rumen, maintenant un environnement anaérobie essentiel à la croissance des bactéries cellulolytiques (qui digèrent les fibres), ce qui améliore leur capacité à s'attacher aux fourrages et favorise la dégradation des fibres (Seo et al., 2010).

Compétition avec les bactéries utilisant l'amidon : *Saccharomyces Cerevisiae* entre en compétition avec les bactéries impliquées dans la fermentation de l'amidon, aidant ainsi à prévenir l'accumulation de lactate dans le rumen, ce qui peut entraîner une acidose (Lynch & Martin, 2002).

Fourniture de facteurs de croissance : Les levures fournissent des facteurs de croissance, tels que des vitamines et des acides organiques, qui soutiennent la croissance des bactéries cellulolytiques et des populations bactériennes utilisant l'acide lactique.

Métabolisme de l'azote : La supplémentation en levure peut également améliorer le métabolisme de l'azote dans le rumen, renforçant la synthèse des protéines microbiennes et réduisant les pertes d'azote, ce qui améliore l'efficacité nutritionnelle globale du ruminant (Hassan et al., 2016).

Bien que les effets de la levure dans le rumen soient bien documentés, son rôle dans l'intestin inférieur des ruminants reste moins compris et nécessite davantage de recherches. En général, la supplémentation en levure améliore la digestibilité ruminale, augmente la production de produits finaux précieux tels que les protéines microbiennes et les acides gras volatils (AGV), et réduit le risque d'accumulation excessive de lactate dans le rumen.

2. Prébiotiques

2.1.Définition et historique

Le concept des Prébiotiques est plus récent que celui des Probiotique, Les Prébiotiques sont des produits bénéfiques pour la santé. On les trouve naturellement dans de nombreux aliments. Ils sont également isolés à partir de plantes ou synthétisés à partir de lactose ou de saccharose par des méthodes enzymatiques et favorisent la croissance sélective de certaines bactéries indigènes. Un prébiotique a été défini par (Gibson & Roberfroid, 1995) comme « un ingrédient alimentaire non digestif qui a un effet bénéfique sur l'hôte en stimulant sélectivement la croissance et/ou l'activité d'une ou d'un nombre limité de bactéries, et améliore ainsi la santé de l'hôte ». Ces auteurs ont révisé ce concept et proposé une nouvelle définition des prébiotiques

« Comme un ingrédient sélectivement fermenté qui permet des changements spécifiques, à la fois dans la composition et/ou l'activité du microbiote, qui confère des avantages pour le bien-être et la santé de l'hôte » .(Gibson et al., 2004; Roberfroid, 2007).

La FAO (2007) décrit les prébiotiques comme des « composants alimentaires non viables qui confèrent à l'hôte un avantage pour la santé, associé à la modulation du microbiote ». Cette définition est née de l'observation que des fibres alimentaires entraînent une modulation spécifique du microbiote intestinal, en particulier une augmentation du nombre de *Bifidobacterium* ou de *Lactobacillus spp.* (Francisco et al., 2017). Récemment, les probiotiques sont définis en tant que des substrats utilisés de manière sélective par les micro-organismes de

l'hôte, conférant un avantage pour la santé (Gibson et al., 2017). Tous les prébiotiques sont des fibres, mais toutes les fibres ne sont pas des prébiotiques. Les effets bénéfiques sur la santé animale doivent être documentés pour qu'une substance soit considérée comme un prébiotique. (Francisco et al., 2017)

2.2.Critères de sélection des prébiotiques

Pour déterminer et démontrer qu'une substance est un prébiotique potentiel, il est nécessaire d'indiquer son origine, sa pureté, sa composition chimique et sa structure. Les prébiotiques doivent respecter des réglementations de sécurité applicables à toutes les nations, telles que le statut de "Generally Recognized As Safe" (GRAS), une évaluation correcte de la dose et des effets secondaires, l'absence de contaminants et d'impuretés, et ne doivent pas altérer le microbiote intestinal de manière à entraîner des effets négatifs pour l'hôte. Il est important de noter que le terme "prébiotique" ne peut être utilisé que lorsque l'effet bénéfique sur la santé est lié à la modulation du microbiote dans un site spécifique. Selon (Wang et al., 2015), il existe cinq critères de base pour classer les composants alimentaires comme prébiotiques :

1. **Résistance à la digestion** : Les substances prébiotiques doivent être résistantes à la digestion dans les sections supérieures du tractus digestif.
2. **Fermentation sélective** : Une fois dans le rumen, les prébiotiques sont fermentés sélectivement par des bactéries intestinales bénéfiques potentielles.
3. **Effets bénéfiques sur la santé** : La fermentation des prébiotiques peut entraîner des changements dans les processus métaboliques et améliorer le fonctionnement du système immunitaire, ce qui a des effets bénéfiques sur la santé de l'hôte.
4. **Stimulation sélective des probiotiques** : Les prébiotiques doivent stimuler sélectivement la croissance des bactéries probiotiques.
5. **Caractéristiques technologiques** : Les prébiotiques doivent posséder des propriétés technologiques favorables à leur fabrication et être disponibles pour le métabolisme bactérien dans l'intestin.

Ces critères sont essentiels pour garantir que les prébiotiques ont des effets positifs sur la santé par la modulation du microbiote intestinale et peuvent être utilisés de manière sûre et efficace dans l'alimentation.

2.3. Prébiotiques pour les animaux

Les substances prébiotiques comprennent des glucides non absorbables (oligosaccharides et polysaccharides), des peptides, des protéines et des lipides. Les légumineuses, les fruits et les céréales sont des sources naturelles de prébiotiques. Cependant, de nombreuses substances similaires sont synthétisées par des méthodes chimiques et enzymatiques industrielles. Parmi les prébiotiques les plus couramment utilisés dans la nutrition du bétail se trouvent les FOS (fructooligosaccharides), les GOS (galactooligosaccharides), l'inuline, les MOS (mannooligosaccharides), les Béta-glucans, isomalto-oligosaccharides (IMO), les xylo-oligosaccharides (XOS), le lacticol, la lactulose, et les fibres de céréales. Lors de la conception de formules prébiotiques, il est essentiel de déterminer un dosage approprié. Un surdosage de prébiotiques peut provoquer des flatulences et des diarrhées. En revanche, un grand avantage de ces formules est qu'elles peuvent être utilisées sur le long terme de manière préventive, sans les effets indésirables souvent associés aux antibiotiques. Les prébiotiques peuvent être utilisés pour promouvoir la croissance des bactéries bénéfiques dans le gros intestin, tout en étant mal fermentés par les pathogènes potentiels. Cela en fait une alternative durable pour améliorer la santé intestinale des animaux d'élevage.

3. Rôles de l'incorporation des probiotiques de type levures chez les ruminants (la vache laitière)

3.1. Prévenir l'acidose

L'incorporation de probiotiques de type levure dans l'alimentation joue un rôle dans la diminution de la concentration de lactate dans le rumen en cas d'acidose (william et al., 1991 ; Lynch et Martin, 2002), cela peut être expliqué par une compétition avec les *S. bovis* pour la fermentation de l'amidon ou bien par la stimulation de la populations ruminales de bactéries utilisant le lactate. De plus, la levure fournit des nutriments essentiels tels que des vitamines, des acides organiques, des acides aminés et des vitamines du complexe B, indispensables à la croissance des bactéries cellulolytiques (Poppy et al., 2012) qui sont essentiels à la croissance des bactéries qui utilisent le lactate responsable de l'acidose. Lors de la supplémentation de la ration des ruminants par les levures, la fermentation favorise la multiplication des bactéries plutôt que la production des AGV, comme elles sont capables de stimuler les protozoaires tel que les entodiniomorphes qui englobent les grains d'amidon retardant par la suite leur fermentation (Bach et al., 2008). Une étude réalisée par Chiquette et al., 2009 rajoute qu'un traitement à base de *Saccharomyces Cerevisiae* à dose de (5×10^5) cellules/ml de liquide ruminal est efficace en cas d'acidose par rapport aux sujets témoins.

3.2. Amélioration de la digestibilité

L'amélioration de la dégradation des fibres dans le rumen est essentielle pour augmenter la disponibilité énergétique à partir de la cellulose et de l'hémicellulose, des composants clés de l'alimentation des ruminants. Il a été démontré que les probiotiques stimulent la digestion des fibres en favorisant l'activité des microbes spécifiques du rumen responsables de la dégradation des matières fibreuses, en particulier chez les ruminants adultes et non sevrés (Kassa, 2016).

Les ruminants ne produisent pas naturellement d'enzymes cellulolytiques et dépendent donc de la population microbienne du rumen pour la dégradation des fibres. Chaucheyras-Durand et al. (2012) ont observé que l'ajout de levure vivante, souche SC I-1077, active les champignons responsables de la dégradation de la lignine et améliore l'activité des bactéries cellulolytiques. Les suppléments de levure stimulent également la croissance des bactéries cellulolytiques dans le rumen et améliorent leur activité enzymatique (Chiquette, 2009). L'un des mécanismes par lesquels la levure favorise la dégradation des fibres est sa capacité à éliminer l'oxygène du rumen, créant ainsi un environnement plus propice aux bactéries cellulolytiques qui se développent en conditions anaérobies.

3.3. Augmentation de la consommation de la matière sèche

Le problème de la réduction de la consommation alimentaire due au stress est fréquemment observé tel que le stress thermique dans les régions tropicales. La supplémentation en probiotiques améliore la consommation alimentaire et aide à combattre partiellement le stress thermique (Cai et al., 2021). L'augmentation de l'activité des bactéries cellulolytiques chez les ruminants nourris avec des régimes enrichis est la principale raison de l'amélioration de la consommation alimentaire et des performances des ruminants (Sharma et al., 2018).

L'effet productif des probiotiques (principalement la levure) sur le pH du rumen stimule la digestibilité des nutriments et augmente le taux de dégradation des fibres dans le rumen (Chaucheyras-Durand et al., 2012). Chez les vaches laitières recevant de la levure vivante dans leur alimentation, la consommation de matière sèche (MS) et de matière organique (MO) a augmenté respectivement de 3,2 % (soit 21,4 kg/jour contre 20,7 kg/jour pour le groupe témoin) et de 4 % (20,2 % contre 19,4 % pour le groupe témoin). De plus, Gaafar et al., 2009) ont rapporté que l'alimentation des buffles avec de la levure de boulanger augmentait la consommation de MS et de MO de 2,7 % et 3,2 % par rapport au groupe témoin, et la consommation de fibres brutes (FB) et de protéines brutes (PB) s'est améliorée de 4,9 % et 2,8 %.

De même, Cai et al. (2021) ont observé que les chèvres croisées nourries avec *Saccharomyces Cerevisiae* et *Clostridium butyricum* amélioreraient la consommation de MS, favoriseraient les activités de fermentation du rumen en améliorant la digestibilité des nutriments, et amélioreraient ainsi les performances de croissance. En outre, ces probiotiques aident à atténuer les effets néfastes du stress thermique. Ainsi, l'amélioration de la productivité est souvent liée à une augmentation de la consommation de MS.

3.4. Amélioration de la qualité et la quantité de la production laitière

Il existe une demande mondiale accrue de lait liquide et de composants pour la fabrication de produits (fromage, beurre, yaourt, lait écrémé en poudre, etc.) afin de répondre aux besoins nutritionnels humains. Ainsi, dans les pays tropicaux, la supplémentation en probiotiques pourrait être utilisée pour augmenter la production de lait. Certaines études ont rapporté que les animaux supplémentés en probiotiques présentent un effet bénéfique sur le rendement laitier ainsi que sur les composants fonctionnels tels que la teneur en matière grasse et en protéines chez les vaches, buffles, chèvres et moutons (Elaref et al., 2020); Nasiri et al., 2019 ; Ayad et al., 2013).

La supplémentation de la souche de levure *Saccharomyces Cerevisiae* a amélioré les rendements en lait (1,18 kg/jour), en matière grasse laitière (0,06 kg/jour) et en protéines (0,03 kg/jour) chez les vaches laitières en début de lactation (<70 jours) (Poppy et al., 2012). Une autre étude menée par Elaref et al. (2020) a rapporté que la supplémentation en levure sèche (5–10 g/brebis/jour) chez des brebis Sohagi a augmenté le rendement laitier de 20,3 %, a modifié la courbe de lactation et a amélioré la composition du lait.

Ayad et al. (2013) ont observé que la supplémentation en probiotiques de levure (*S. cerevisiae*) a augmenté la production de lait des vaches de 23 % après 42 jours de lactation, et le pic de lactation a été prolongé d'une semaine par rapport aux vaches témoins (4 semaines contre 3 semaines, respectivement). La supplémentation de la souche de levure *Saccharomyces Cerevisiae* chez les vaches Holstein égyptiennes a amélioré la production de lait et le pourcentage de matière grasse laitière durant la période de transition et le début de la lactation (Bakret al., 2015). Cependant, le nombre de cellules somatiques et le pourcentage de protéines laitières ont diminué au cours de cette expérience. (Nocek et al., 2011) ont observé que les vaches Holstein supplémentées avec une combinaison de *Saccharomyces Cerevisiae* et *Enterococcus faecium* durant la période de transition (3 semaines avant le vêlage jusqu'à 21

jours après le vêlage) ont vu leur production de lait augmenter de 2,3 kg/jour et leur pourcentage de protéines laitières augmenter de 5 %.

Une augmentation de la production laitière chez des animaux laitiers supplémentés en probiotiques en Inde a été attribuée à un taux d'absorption plus élevé des acides aminés d'origine microbienne et à une réduction de l'incidence de la mammite (Alhussien & Dang, 2018b). Chez les vaches Holstein Friesian tunisiennes en milieu de lactation, la production laitière a augmenté d'environ 1,1 kg/jour, un rendement supérieur à celui du groupe témoin (Maamouri et al., 2014). Ces auteurs ont également enregistré des rendements plus élevés en matière grasse (53 g/vache/jour) et en protéines (41,7 g/vache/jour) chez les vaches supplémentées en levure, par rapport à 47 g/vache/jour et 38,7 g/vache/jour dans le groupe témoin, respectivement. Durant la période de transition, chez des bufflonnes Murrah en deuxième ou troisième lactation supplémentées avec une culture de levure fermentée (*Saccharomyces Cerevisiae*, 24 g/jour), la production laitière et la teneur en matière grasse ont augmenté de 13 % et 7,5 %, respectivement (Ahmad Para et al., 2019). La plupart des effets bénéfiques des probiotiques sur la production laitière et la composition sont attribués à leur impact sur le nombre de bactéries cellulolytiques et dégradant les fibres, ainsi qu'à des modifications des acides gras volatils dans le rumen (Adjei-Fremahet al., 2018)

3.5. Effet immunitaire

La supplémentation en probiotiques, notamment en levures telles que *Saccharomyces cerevisiae*, a montré des effets positifs sur le système immunitaire des ruminants. L'amélioration de la santé immunitaire est souvent attribuée à l'action des probiotiques sur le microbiote ruminal, qui influence la santé globale de l'animal. Les probiotiques à base de levures agissent en stimulant les réponses immunitaires innées et adaptatives. En effet, *Saccharomyces cerevisiae* stimule l'activité des macrophages et des cellules dendritiques, ce qui favorise la reconnaissance et l'élimination rapide des agents pathogènes (Yuan et al., 2015). Par ailleurs, les levures probiotiques modifient la composition des acides gras volatils dans le rumen, augmentant ainsi la production de composés bénéfiques pour l'immunité, tels que les acides gras à chaîne courte (Chaucheyras-Durand & Durand, 2010).

Une étude menée par Al-Saiady et al. (2010) a montré que la supplémentation en *S. cerevisiae* améliore la réponse immunitaire chez les moutons, avec une augmentation notable du nombre de globules blancs et une meilleure production d'anticorps après vaccination contre certains agents pathogènes. Ces résultats indiquent que les levures peuvent renforcer les défenses

immunitaires naturelles et améliorer la réponse aux infections. De plus, la supplémentation en probiotiques à base de levure réduit l'incidence de maladies inflammatoires comme la mammite et la métrite, en améliorant l'équilibre du microbiote et en réduisant l'inflammation systémique. L'étude de (Bakr et al., 2015) a observé que les vaches laitières supplémentées avec *S. cerevisiae* présentaient une réduction significative de l'incidence de la mammite, attribuée à une meilleure intégrité de la barrière intestinale et une modulation des cytokines pro-inflammatoires.

3.6. Amélioration du BCS

La supplémentation en levures probiotiques, en particulier *Saccharomyces cerevisiae*, a montré des effets positifs sur les performances zootechniques des ruminants, notamment l'amélioration du rendement laitier, du gain de poids et du score de condition corporelle (BCS). L'amélioration de la digestibilité des fibres et de l'efficacité alimentaire est un des mécanismes expliquant les effets positifs des probiotiques sur la performance des animaux. Par exemple, une étude de Desnoyers et al. (2009) a montré que la supplémentation en *Saccharomyces Cerevisiae* chez des vaches laitières augmentait la consommation de matière sèche et améliorait l'efficacité alimentaire, ce qui a conduit à une meilleure gestion de l'état corporel (BCS) pendant la lactation. Une amélioration du BCS est essentielle pour maintenir des performances optimales en termes de reproduction et de production de lait.

Chez les vaches laitières, un meilleur BCS est souvent observé lors de l'utilisation de probiotiques, en raison de l'amélioration du métabolisme énergétique et de la gestion des nutriments. Une étude menée par Moallem et al. (2009) a révélé que la supplémentation en *S. cerevisiae* augmentait le BCS des vaches en transition, en particulier en période de post-partum, réduisant ainsi les risques de cétose et d'autres troubles métaboliques. Les animaux avec un BCS mieux géré sont également plus susceptibles de retrouver leur performance reproductive plus rapidement après le vêlage.

Par ailleurs, la supplémentation en levure aide à stabiliser le microbiote ruminal et à prévenir les troubles digestifs, contribuant ainsi à l'amélioration du gain de poids corporel et du BCS chez les animaux en croissance. En effet, une étude menée par Piva et al. (1993) a montré que l'ajout de *Saccharomyces Cerevisiae* chez des taurillons en finition a amélioré le BCS et augmenté le gain moyen quotidien, ce qui a permis une meilleure qualité des carcasses.

3.7. Effet sur la reproduction

L'incorporation des levures probiotiques dans l'alimentation, notamment *Saccharomyces Cerevisiae*, a montré des effets positifs sur la reproduction, en améliorant la santé reproductive et les performances de reproduction. L'influence des levures sur la reproduction est principalement liée à l'amélioration de l'état nutritionnel, du métabolisme énergétique, et à une meilleure gestion du stress oxydatif et des troubles métaboliques. Les probiotiques, en optimisant la digestion des fibres et la fermentation ruminale, contribuent à une meilleure disponibilité des nutriments essentiels pour la reproduction, tels que les acides aminés, les acides gras volatils et les vitamines. Une étude de Ribeiro et al. (2015) a montré que les vaches laitières supplémentées avec *Saccharomyces Cerevisiae* avaient un taux de conception plus élevé, en particulier pendant la période de transition (autour du vêlage), une phase critique pour la reproduction. Cela est lié à l'amélioration du bilan énergétique et à une réduction des risques de troubles métaboliques tels que la cétose et les déséquilibres hormonaux, qui affectent souvent les performances reproductives.

Moallem et al. (2009) ont rapporté que la supplémentation en levures probiotiques améliorait le taux de reprise cyclique et réduisait l'intervalle vêlage-première ovulation, ce qui entraîne une meilleure efficacité reproductive globale. L'amélioration de la condition corporelle (BCS) chez les animaux supplémentés en levures est un facteur clé contribuant à cette amélioration de la reproduction, car un bon BCS favorise une reprise rapide des fonctions reproductives *post-partum*. De plus, la réduction de l'incidence des maladies métaboliques et inflammatoires, comme la mammite et la métrite, grâce à l'utilisation des probiotiques, a un impact indirect sur la reproduction. Une étude réalisée par Santos et al. (2017) a montré que les vaches laitières supplémentées avec des levures probiotiques avaient moins de complications *post-partum*, une meilleure santé utérine et des intervalles interpartum plus courts, contribuant ainsi à une meilleure fertilité. Enfin, il a été observé que les levures probiotiques peuvent améliorer la qualité des follicules ovariens et des ovocytes, augmentant ainsi la fertilité des femelles ruminantes. Une étude menée par Moriel et al. (2014) a montré que les génisses supplémentées avec *S. cerevisiae* avaient un meilleur développement folliculaire et une qualité améliorée des ovocytes, ce qui a conduit à des taux de conception plus élevés.

4. Effet de la supplémentation par des prébiotiques type MOS et Beta-glucane chez les ruminants

Les prébiotiques, notamment les mannoooligosaccharides (MOS) et les bêta-glucanes, ont suscité un intérêt croissant en tant que compléments alimentaires pour améliorer la santé et les

performances des ruminants. Ces composés, présents dans les parois cellulaires des levures, jouent un rôle clé dans la modulation du microbiote intestinal, la stimulation du système immunitaire, et l'amélioration de la digestibilité des nutriments.

4.1. Manno-oligosaccharides MOS

Les mannooligosaccharides (MOS) sont des prébiotiques largement étudiés pour leurs effets bénéfiques sur la santé intestinale et les performances animales. Les MOS agissent principalement en empêchant la colonisation intestinale par des pathogènes, en se liant aux bactéries indésirables comme *Escherichia coli* et *Salmonella spp.*, réduisant ainsi les risques d'infections et améliorant la santé globale des animaux.

- **Effets sur le microbiote** : Plusieurs études ont montré que l'ajout de MOS dans l'alimentation des ruminants améliore l'équilibre du microbiote ruminal en favorisant la prolifération de bactéries bénéfiques tout en réduisant les populations pathogènes (Heinrichs et al., 2003). Cette modulation du microbiote contribue à une meilleure absorption des nutriments et à une augmentation de la productivité des animaux.
- **Amélioration des performances** : En améliorant la santé intestinale, les MOS augmentent également l'efficacité alimentaire et le gain de poids chez les ruminants. Newbold et al. (1998) ont démontré que les vaches laitières nourries avec des régimes enrichis en MOS présentaient une augmentation significative de la production de lait et une meilleure conversion alimentaire.

4.2. Bêta-Glucanes

Les bêta-glucanes sont des polysaccharides naturels aux propriétés immunomodulatrices puissantes. Ils se trouvent principalement dans les parois cellulaires des champignons, des levures et de certaines céréales. Chez les ruminants, l'ajout de bêta-glucanes dans l'alimentation a montré des effets bénéfiques sur la santé immunitaire et digestive.

- **Effets sur le système immunitaire** : Les bêta-glucanes stimulent le système immunitaire en activant les macrophages et les neutrophiles, ce qui améliore la réponse immunitaire innée des ruminants (Volman et al., 2008). Cette stimulation permet une meilleure résistance aux infections et une diminution des maladies, ce qui améliore les performances de croissance et la productivité.
- **Amélioration de la digestibilité des nutriments** : Les bêta-glucanes ont également été associés à une amélioration de la digestibilité des nutriments, en particulier des fibres,

chez les ruminants. Djouvinov et al. (2005) ont constaté que l'ajout de bêta-glucanes dans l'alimentation des vaches laitières augmentait la digestibilité de la matière sèche et améliorait la production laitière.

4.3. Études Comparatives sur MOS et Bêta-Glucanes

Comparativement aux MOS, les bêta-glucanes semblent avoir un impact plus direct sur le système immunitaire, tandis que les MOS agissent principalement sur la santé intestinale et la modulation du microbiote. Cependant, plusieurs études ont montré que la combinaison de ces deux prébiotiques peut avoir un effet synergique, améliorant à la fois la santé digestive et immunitaire des ruminants. tel que, Ozkaya et al. (2019) ont observé que l'ajout de MOS et de bêta-glucanes dans l'alimentation des bovins entraînait une amélioration significative de la croissance, de la conversion alimentaire et de la santé intestinale. Les animaux recevant cette combinaison de prébiotiques présentaient également une réduction des pathologies gastro-intestinales et une meilleure réponse immunitaire.

Partie Expérimentale

Objectifs

À la suite d'une recherche approfondit portant sur l'importance de la période de transition en élevage laitier, ainsi que sur les effets bénéfiques des probiotiques et des prébiotiques, une étude expérimentale a été menée sur des vaches laitières en phases de reproduction et de haute production. Cette étude vise à :

- **Évaluer les effets de la supplémentation alimentaire en probiotiques** (type levure : *Saccharomyces cerevisiae*) et en prébiotiques (paroi de levure riche en bêta-glucanes et mannanes) sur divers paramètres :
 - **Immunologique** : qualité immunologique du colostrum (concentration des IgG) ;
 - **Zootecniques** : note d'état corporel (BCS), qualité et quantité du lait ;
 - **Hématologiques** : nombre de globules blancs (GB), globules rouges (GR), hémoglobine (Hb), hématocrite (Ht), neutrophiles, basophiles, lymphocytes et éosinophiles ;
 - **Biochimiques** : glucose (Glu), triglycérides (TG), cholestérol (Cho), ASAT, ALAT, protéines totales (TP), albumine (Alb), urée et créatinine (Crea).
- **Comparer les effets de la supplémentation en probiotiques et en prébiotiques**, administrés séparément ou de manière combinée (probiotique + prébiotique), pour observer les interactions possibles et les bénéfices spécifiques de chaque type de supplémentation.

Cette étude permettra de mieux comprendre les impacts de ces suppléments sur les performances et la santé des vaches laitières en période critique de production et reproduction

1. Lieu de l'expérimentation

L'étude expérimentale a été menée au sein de la ferme Ahmed Dhaoui, une ferme laitière située dans la commune de Ouamri, dans la wilaya de Médéa, Algérie. Cette ferme pilote, spécialisée dans la production laitière, s'étend sur une surface totale de 913,98 hectares, dont 713 hectares de superficie agricole utile. Dédiée aux recherches appliquées en élevage bovin, la ferme dispose d'installations modernes idéales pour étudier les effets de la supplémentation nutritionnelle sur les performances des vaches laitières. La ferme abrite un total de 380 Bovins, incluant 170 vaches laitières, un personnel de 60 ouvriers. Ce troupeau a été sélectionné en raison de sa disposition à participer aux projets de recherche, ainsi que de sa forte fréquence de vêlages sur une courte période. Les vêlages concentrés sur la même saison, d'avril à juillet 2023, permettent de réduire les fluctuations entre les vaches, souvent influencées par les changements saisonniers.

Pour assurer une alimentation adéquate, 160 hectares de la superficie agricole sont réservés aux cultures fourragères : 65 hectares d'avoine, 20 hectares de trèfle, 25 hectares de sorgho et 50 hectares d'orge (Figure 10). Ces ressources fournissent un fourrage varié et de qualité, essentiel au maintien de la santé et de la productivité du troupeau. La ferme Ahmed Dhaoui, avec son personnel qualifié et des conditions de logement optimisées, est équipée pour le suivi rigoureux de divers paramètres zootechniques, hématologiques et biochimiques des animaux. Jouant un rôle central dans l'innovation des pratiques agricoles locales, cette exploitation constitue un environnement idéal pour l'amélioration continue de la productivité et de la santé des vaches laitières dans la région. La ferme se compose des éléments suivants (Figure 11) :

- **Chambre froide** : Utilisée pour le stockage du lait après la traite, afin de garantir sa fraîcheur avant son transport.
- **Abri de véhicules** : Un espace destiné au stationnement et à l'entretien des véhicules de la ferme.
- **Administration** : Les bureaux de gestion et administration de la ferme.
- **Nurserie** : Une zone réservée aux nouveau nées
- **Étable pour génisses** : Espace pour héberger les génisses.
- **Parc + Atelier** : Une zone en plein air et un atelier pour diverses activités agricoles et de maintenance.
- **Étables 01 & 02** : Bâtiments pour abriter le bétail.
- **Salles de traite 1/2/3** : Les salles dédiées à la traite des vaches laitières.

- **Hangar** : Un grand espace de stockage pour le matériel ou les fournitures agricoles.
- **Aire d'exercices** : Un espace destiné à l'exercice des animaux, pour leur bien-être.
- **Étables entravées** : Destinées aux animaux malades et comprenant également des chambres spécialement aménagées pour le vêlage, permettant un suivi de proximité pour les naissances.
- **Étables pour jeunes bovins** : Section réservée aux jeunes bovins (taurillons).
- **Aplatisseur** : Une machine ou une zone pour aplatir les grains ou autres matières agricoles.



Figure 10: La ferme pilote Ahmed Dhaoui, Ouamri, Médéa

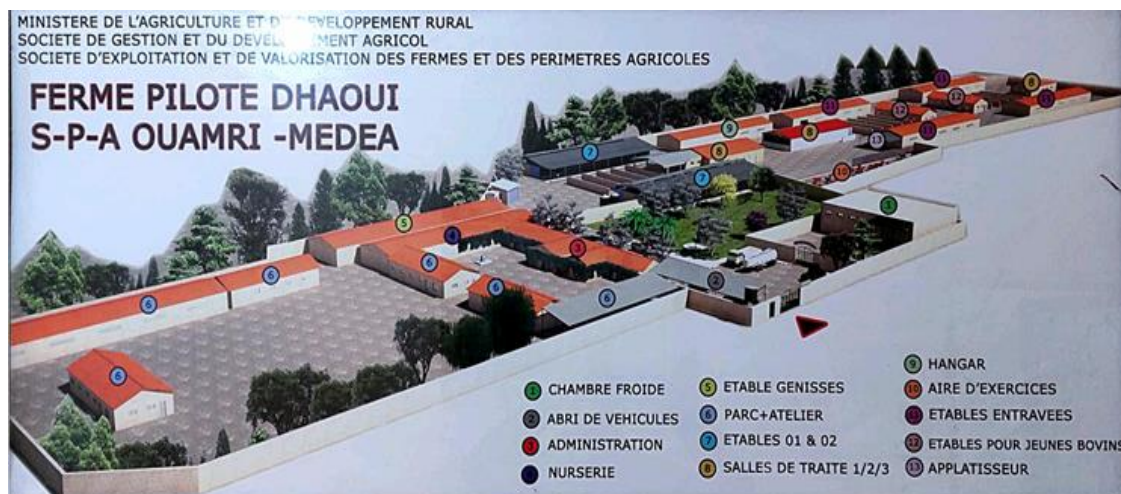


Figure 11: Un plan de la ferme Ahmed Dhaoui, Ouamri, Médéa

2. Les animaux de l'expérimentation

Un total de 40 vaches laitières Montbéliardes (8 primipares et 32 multipares) a été intégré à l'étude de manière continue entre avril et août 2023, suivies à partir de 30 jours avant leur date

présumée de vêlage jusqu'à 60 jours après le vêlage. Les animaux ont été répartis en quatre groupes de 10 vaches chacun :

- **Groupe témoin (CNT)** : sans supplémentation.
- **Premier groupe expérimental (SC)** : supplémenté avec 5 g/j de levure *Saccharomyces cerevisiae* (ActiSaf® Sc47 STD thermostable live yeast concentrate (lesaffre, phileo, France))
- **Deuxième groupe expérimental (PL)** : supplémenté avec 5 g/j de paroi de levure (SafMannan® Premium yeast fraction heat resistant concentrate of yeast fraction (Lesaffre, Phileo, France), fraction de levure contenant 20 % de mannane, 20 % de bêta-glucane, 6 % d'humidité et 10-25 % de protéines brutes).
- **Troisième groupe expérimental (Mixte)** : supplémenté avec une combinaison de 5 g/j de levure vivante (SC) et 5 g/j de paroi de levure (PL).

La répartition des vaches dans les groupes se fait selon l'âge et la parité, la race est la même pour toutes les vaches (race Montbeliarde). Le choix des vaches se fait selon la disponibilité des vaches gestantes en huitième mois de gestation (30 jours avant la date prévue de vêlage).

Les vaches ne présentaient aucun signe pathologique et signalées cliniquement saines. La mise à la reproduction se fait par insémination artificielle (AI) sans traitement hormonal. La supplémentation a été maintenue jusqu'à 60 jours après le vêlage. Pendant toute la durée de l'étude, des contrôles réguliers ont été effectués et des échantillons de sang, de colostrum et de lait ont été prélevés selon le calendrier précise.

3. Le schéma expérimental

L'expérimentation est structurée en volets principaux :

1.1. Premier volet : Ce volet consiste à des prélèvements de colostrum réalisés le jour du vêlage. L'objectif est de mesurer la concentration en immunoglobulines G (IgG) en utilisant deux méthodes distinctes :

- **Méthode de référence** : immunodiffusion radiale (IDR), considérée comme la norme de référence « gold standard » mais autorisée uniquement pour la recherche scientifique.
- **Méthode basique** : réfractomètre, plus simple et applicable en routine.

1.2. Second volet : Ce volet se focalise sur deux aspects :

1.2.1. Comparaison de la qualité immunologique du colostrum : analyse de la concentration en IgG dans le colostrum pour chacun des quatre groupes expérimentaux. Les groupes sont composés comme suit :

Cette comparaison permettra d'évaluer l'effet de chaque supplémentation sur la qualité immunitaire du colostrum en déterminant les niveaux d'IgG dans chaque groupe.

1.2.2. Validation des méthodes de dosage : comparaison entre les résultats obtenus par IDR et par réfractomètre pour chaque groupe, afin de vérifier l'efficacité du réfractomètre comme alternative pratique en élevage. Cette comparaison vise à confirmer l'utilité du réfractomètre comme outil fiable et accessible pour le suivi de la qualité du colostrum dans les fermes, facilitant ainsi une gestion rapide et informée des pratiques d'élevage.

1.3. Troisième volet :

Ce volet consiste en une comparaison entre les quatre lots de vaches laitières afin d'étudier l'effet de la supplémentation en levure probiotique, en paroi de levure (prébiotique), et de la combinaison des deux pendant la période de reproduction (peripartum). L'objectif est d'analyser l'impact de chaque supplémentation sur les paramètres suivants :

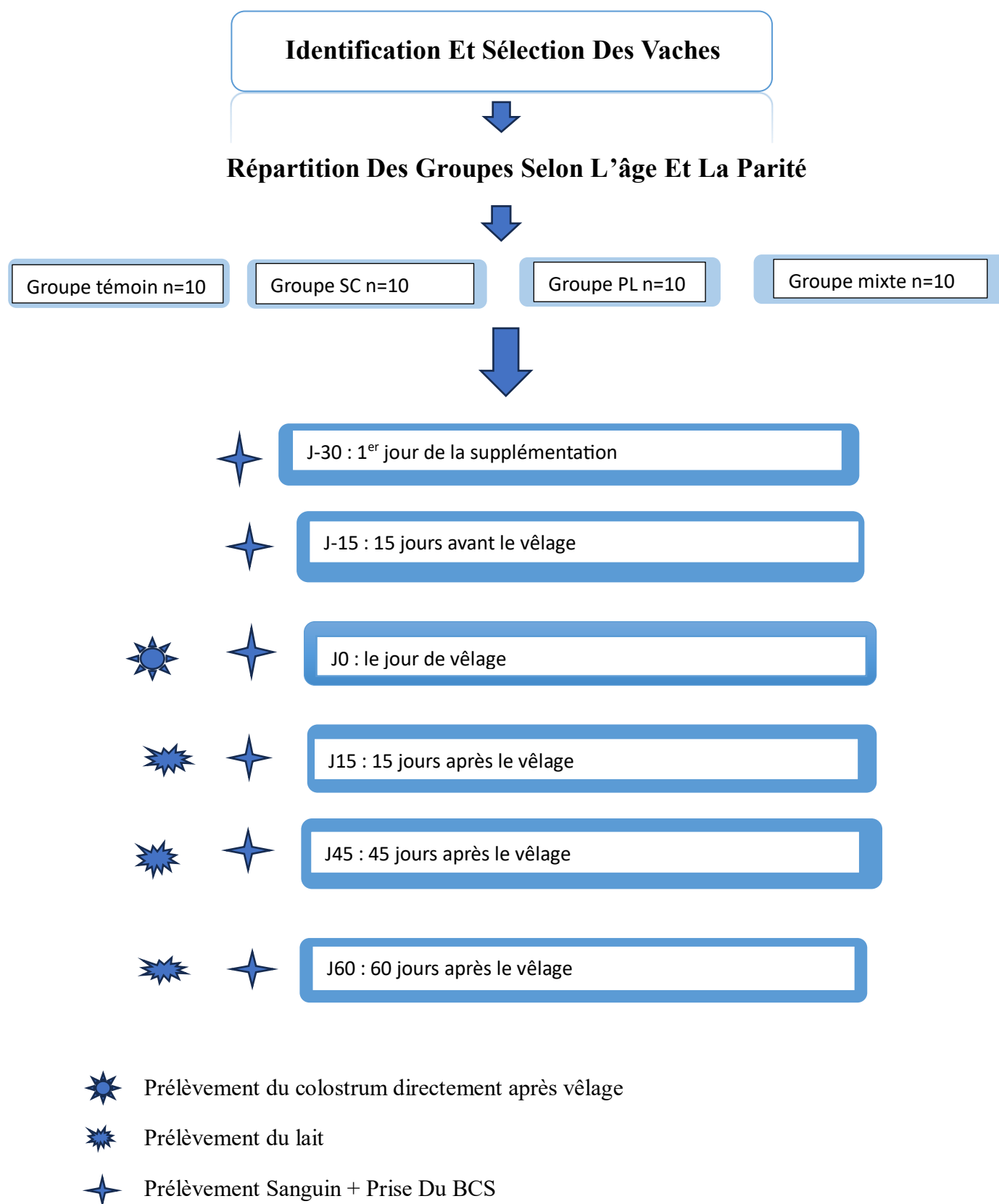
- **Zootechniques :** qualité du colostrum, qualité et quantité laitière et note d'état corporel (NEC ou BCS).
- **Hématologiques :** paramètres sanguins indicateurs de santé.
- **Biochimiques :** indicateurs de l'état métabolique et nutritionnel.

La supplémentation a duré 12 semaines, couvrant les quatre semaines précédant la date estimée du vêlage jusqu'à la huitième semaine après le vêlage, pendant cette période un suivi sanitaire est réalisé pour les mammites (test CMT), acétonémie (dosage du BHB dans le lait), boiteries....

Les effets des différentes supplémentations (levure *Saccharomyces cerevisiae* seule, paroi de levure seule, et combinaison des deux) ont été évalués à travers l'évolution des paramètres mesurés aux moments clés suivants :

- **J-30** : 30 jours avant la date estimée du vêlage,
- **J-15** : 15 jours avant le vêlage,
- **J0** : jour du vêlage,
- **J15PP** : 15 jours après le vêlage,
- **J45PP** : 45 jours après le vêlage.
- **J60PP** : 60 jours après le vêlage.

Le schéma expérimental et les mesures effectuées sont récapitulés dans le diagramme ci-dessous, permettant de visualiser les effets de chaque traitement sur les paramètres zootechniques, hématologiques et biochimiques durant la période *peripartum*.



4. L'alimentation

4.1. Période de tarissement

Durant cette période, les vaches étaient logées en stabulation entravée. Elles recevaient une ration équilibrée composée de 2,5 kg (au début de tarissement) et 3 kg de concentré d'orge par jour, vers la fin de tarissement, 6 kg de fourrage vert (incluant de l'avoine, du sorgho et du trèfle) et un accès libre à de la paille, disponible à volonté. Ce régime visait à maintenir l'état corporel des vaches sans surcharger leur système digestif en vue de la période de lactation à venir.

4.2. Période de lactation

Au cours de la lactation, la ration des vaches était augmentée pour répondre aux besoins énergétiques plus élevés. Elle comprenait 6,5 kg de concentré d'orge, 8 kg d'ensilage de maïs, ainsi que 2 kg de paille par jour. Cette ration enrichie en énergie et en fibres visait à soutenir la production de lait tout en maintenant la santé digestive des animaux.

Ces ajustements nutritionnels entre les périodes de tarissement et de lactation étaient conçus pour répondre aux exigences spécifiques de chaque phase de production.

5. La supplémentation

- **Groupe témoin (sans additifs) :** Le groupe témoin ne reçoit aucun additif alimentaire supplémentaire, permettant de comparer les effets des additifs sur les groupes expérimentaux.
- **Premier groupe expérimental (SC – Actisaf® SC 47) (Figure 12)**
Le premier groupe expérimental reçoit une dose quotidienne de 5 g de levure *Saccharomyces cerevisiae*, sous forme de complément commercialisé sous le nom d'Actisaf® SC 47 (*lesaffre, phileo, France*). Cette levure est conçue pour offrir une haute résistance, capable de supporter des conditions de stress physique telles que la compression, la friction, la chaleur et l'humidité, rencontrées lors de la granulation des aliments. Actisaf® SC 47 est compatible avec d'autres ingrédients, y compris les acides, et est distribué dans des sacs en polyéthylène de 25 kg pour une utilisation pratique en alimentation animale.



Figure 12 : Sac de 25 kg de levure *Saccharomyces Cerevisiae* (ActiSaf SC 47)



Figure 13 : Sac de 25 kg de paroi de levure SafMannan.

- Deuxième groupe expérimental (parois de levure – Safmannan®) (Figure 13)**
 Le deuxième groupe expérimental reçoit 5 g par jour de parois de levure *Saccharomyces cerevisiae*, sous forme de Safmannan® (lesaffre, phileo, France). Ce produit est une fraction de levure de haute qualité, riche en mannanes-oligosaccharides et en bêta-glucanes (1,3 et 1,6), obtenue par culture primaire et purification de souches spécifiques brevetées. Safmannan® est formulé pour assurer une concentration élevée en mannanes ($\geq 20\%$) et en bêta-glucanes ($\geq 20\%$), avec une teneur en protéines brutes entre 10 % et 25 %.
- Troisième groupe expérimental (mélange de levure et de parois de levure)**
 Ce groupe reçoit une combinaison de 5 g de levure Actisaf® SC 47 et de 5 g de parois de levure Safmannan® par vache et par jour.

5.1.Préparation et Administration des suppléments

Les doses journalières de chaque supplément sont préparées individuellement en sachets de 5 g (dose préconisée par le fabricant pour l'espèce bovine) (Figure 14) avec une balance de précision OHAUS^R, NAVIGATORTM, France. (Figure 15), puis mélangées avec l'aliment concentré (Figure 16) pour assurer une ingestion complète par chaque vache, garantissant la précision des doses administrées dans l'étude.



Figure 14 : Répartition des produits de supplémentation dans des sachets de 5g.



Figure 15 : Mesure de 5g de supplément par une balance de précision.



Figure 16: Administration du supplément de façon individuelle mélangé avec le concentré.

6. La réalisation des prélèvements et analyses des échantillons

6.1. Prélèvement et traitement des échantillons sanguins

Pour évaluer les paramètres biochimiques et hématologiques témoignant du statut métabolique et de santé des vaches laitières, des prélèvements sanguins ont été réalisés le matin, avant la distribution de l'alimentation, selon le calendrier défini dans le schéma expérimental. Les échantillons ont été prélevés à partir de la veine jugulaire à l'aide d'une seringue stérile de 10 ml (Figure17).



Figure 17: Réalisation des prélèvements sanguins à partir de la veine jugulaire.

6.1.1. Collecte des échantillons sanguins

Le sang a été prélevé et transféré dans deux types de tubes distincts :

- **Tube vacutainer hépariné (héparinate de lithium, 4ml)** : pour les analyses biochimiques (Figure 18).
- **Tube vacutainer EDTA (éthylènediaminetétraacétique, 4ml)** : pour les analyses hématologiques (Figure 19).



Figure 18 : Prélèvement sanguin sur tube hépariné de 4ml.



Figure 19 : Prélèvement sanguin sur tube EDTA 4ml.

Les échantillons ont été transportés immédiatement au laboratoire dans une glacière contenant des blocs de glace, afin de maintenir une température optimale et éviter toute altération des échantillons.

6.1.2. Préparation des échantillons pour les analyses

Une fois au laboratoire, les échantillons dans les tubes héparinés ont été centrifugés à 3500 tours/min pendant 5 minutes pour obtenir un plasma de bonne qualité (Figure 20). Ce plasma a ensuite été transféré dans des tubes Eppendorf de 1,5 ml, étiquetés (Figure 21), et conservés au congélateur à -20°C jusqu'au moment des analyses.

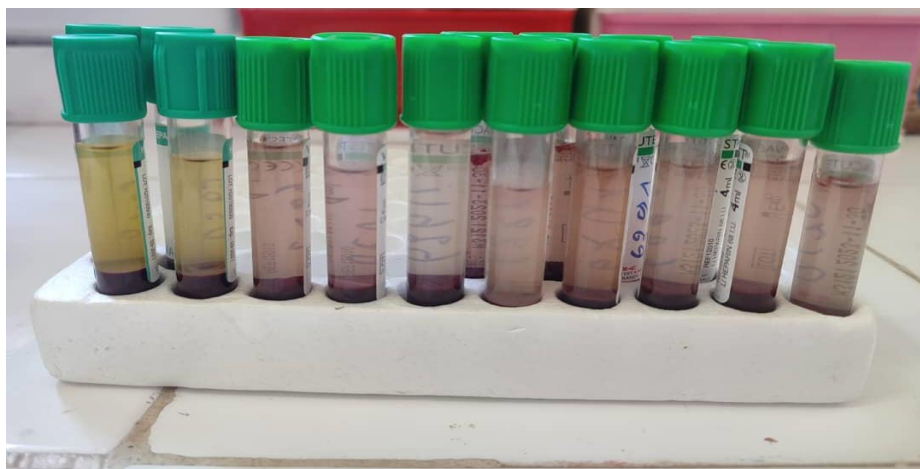


Figure 20 : Tubes de prélèvement sanguin après centrifugation.



Figure 21: Transférer le plasma dans des Eppendorf de 1,5 ml.

Les échantillons sanguins dans les tubes EDTA ont été directement utilisés pour une analyse hématologique complète (formule de numération sanguine, FNS), réalisée à l'aide d'un automate hématologique Sysmex XS 500i, France.

6.1.3. Analyses biochimiques

Les analyses biochimiques des échantillons sanguins ont été effectuées à l'aide de l'automate KENZA 240 TX (BIOLABO, France) (Figure 22), un appareil de haute précision pour les analyses de routine biochimique.

Les réactifs utilisés pour ces analyses sont des réactifs enzymatiques fournis par BIOLABO (Figure 23). Les paramètres biochimiques suivants ont été mesurés :

- Glycémie (g/l)
- Protéïnémie (g/l)
- Albuminémie (g/l)
- Cholestérolémie (g/l)
- Triglycéridémie
- Urémie (UI/l)
- Créatininémie (mg/l)
- ASAT (Aspartate Aminotransférase) (UI/l)
- ALAT (Alanine Aminotransférase) (UI/l)



Figure 22:Automate d'analyse biochimique KENZA 240 TX, BIOLABO.



Figure 23 : Les réactifs de dosage biochimique, BIOLABO.



Figure 24 : Préparation des échantillons de plasma dans des cuves pour être analysés.

Ces paramètres ont été choisis pour évaluer le statut métabolique des vaches laitières, permettant de détecter d'éventuelles anomalies métaboliques et de surveiller l'effet des conditions expérimentales sur la santé des animaux.

6.2. Prélèvement du colostrum

6.2.1. Collecte du colostrum

Après le vêlage, le colostrum a été collecté manuellement de manière routinière. Les trayons ont été nettoyés, et les échantillons ont été prélevés dans des récipients stériles universels (Figure 25). Les échantillons de colostrum ont été placés dans une glacière dans l'heure suivant la collecte, transportés au laboratoire, puis congelés à -20 °C jusqu'à l'analyse.



Figure 25 : Prélèvements du colostrum

6.2.2. Analyse des échantillons

6.2.2.1. Mesures par immunodiffusion radiale

La concentration en IgG a été mesurée dans le colostrum à l'aide du kit **IDRing Box - Bovine IgG Test** (code produit : I-B-IgG-10 ; numéro de lot : BIgG 1 221731, ID Biotech, Issoire, France) (Figure 26) pour l'analyse quantitative de l'immunoglobuline G (IgG) bovine par immunodiffusion radiale, reconnue comme la méthode de référence pour le dosage de l'IgG.

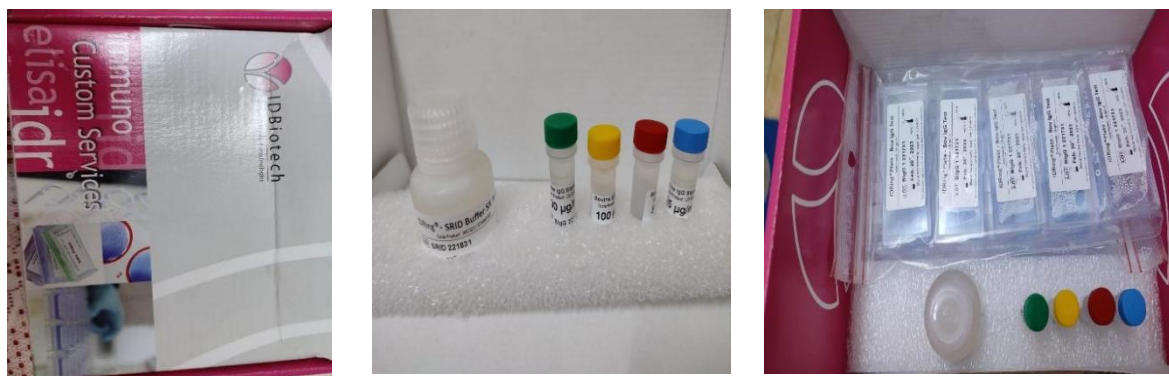


Figure 26 : Kit de dosage des IgG par IDR.

Le test repose sur la méthode de **l'immunodiffusion radiale simple** (Single Radial ImmunoDiffusion, SRID). Les plaques de test BOV IgG contiennent un gel d'agar avec des anticorps spécifiques à l'IgG bovine. Pendant la diffusion dans le gel d'agar, les anticorps réagissent spécifiquement avec l'IgG bovine, formant des anneaux de précipitation.

Tous les échantillons, qu'il s'agisse de colostrum, ont été décongelés et vortexés puis dilués dans un tampon (1 :750) (Figure 27).



Figure 27 : Réalisation des dilutions du colostrum

Chaque plaque a été identifiée avec des références internes, puis remplie avec 15 µl de standards dans les quatre premiers puits. Les autres puits ont été remplis avec les échantillons. Les plaques ont ensuite été placées dans une chambre humide et incubées à 35 °C ± 5 pendant 16 à 20 heures (Figure 28).



Figure 28 : Placer les plaques dans l'incubateur à 37 C° pendant 16 à 20 heures.

Les zones de diffusion (diamètre) ont été mesurées à l'aide d'un lecteur numérique IDRing (Figure 29), et une courbe standard a été automatiquement tracée via un tableur Excel :

$$Y=aX+b \quad Y = a\sqrt{X} + b \quad Y=aX+b$$

Où :

- Y est le diamètre mesuré,
- X est la concentration de chaque standard,
- a est la pente,
- b est l'ordonnée à l'origine.

La concentration de chaque échantillon a été automatiquement convertie en g/l.



Figure 29 : Lecture du diamètre de diffusion.

6.2.2.2. Mesures au réfractomètre Brix

Le même jour que l'incubation des plaques RID, la concentration en IgG des échantillons de test a été estimée indirectement à l'aide d'un réfractomètre Brix **Soplem C.T type 0 – 30% H50888** (Sopelem, France) (Figure 30).



Figure 30 : Réfractomètre C.T type 0-30%

Les échantillons ont été décongelés à température ambiante et vortexés avant l'analyse, et le réfractomètre a été calibré avec de l'eau distillée. Deux gouttes de colostrum ou de sérum ont été appliquées sur le prisme du réfractomètre à l'aide d'une pipette en plastique, et la concentration en IgG du colostrum a été mesurée en % Brix. Pour éliminer tout résidu gras, le prisme du réfractomètre a été nettoyé entre chaque échantillon, et la calibration a été effectuée de manière régulière après la mesure de 10 échantillons de colostrum.

6.3. Prélèvements et analyses du lait

Les prélèvements du lait sont réalisés selon le calendrier expliqué dans le schéma expérimental « j15 *post partum* PP, j45 PP et 60j PP ». Les vaches ont été traites mécaniquement deux fois par jour (matin et soir). Le lait a été prélevé pendant la traite, dans la salle de traite. Après lavage et essuyage des trayons, le prélèvement a été effectué à partir des quatre trayons dans des bouteilles stériles, étiquetées de 40 ml (Figure 31). Les échantillons ont ensuite été placés dans une glacière contenant des blocs de glace et transportés au laboratoire jusqu'au jour de l'analyse.



Figure 31 : Prélèvements du lait.

La quantité de lait produite par chaque vache a été mesurée à la fin de la traite à l'aide d'un compteur spécial lié à la machine à traire (Figure 32).



Figure 32 : La salle de traite dont les machine à traire sont liées à des compteurs pour la mesure de la quantité du lait.

Tous les échantillons ont été analysés dans le laboratoire de recherche Reproduction des animaux de la ferme, université de Tiaret à l'aide d'un analyseur de lait ultrasonique (**Lactoscan SP**) (Figure 33) pour évaluer la qualité du lait en termes de matière grasse (g/l), de protéines (g/l), et de lactose (g/l). Avant de commencer la procédure, le Lactoscan a été nettoyé avec de l'eau distillée et calibré pour assurer une précision optimale. Le lait des échantillons a été versé dans des coupelles en plastique pour l'analyse, et entre chaque échantillon, les coupelles ont été nettoyées et essuyées avec de l'eau distillée.



Figure 33 : Analyseur ultrasonique de lait (Lactoscan SP).

6.4. Notation de l'état corporel des vaches laitières

La notation de l'état corporel (Body Condition Scoring, BCS) a été réalisée pour évaluer les réserves énergétiques des vaches laitières aux différents stades de l'étude. Le BCS est une méthode simple et subjective permettant d'estimer rapidement la quantité de graisse corporelle. En suivant la méthode décrite par Ferguson et al. (1994), les scores ont été attribués sur une échelle de 0 à 5, par paliers de 0,5 point. Ce système est basé sur l'observation visuelle et l'évaluation tactile de certaines zones corporelles pour estimer les dépôts de graisse.

La notation de l'état corporel a été effectuée le même jour que les prélèvements sanguins, aux périodes suivantes : J-30, J-15, J0 (jour du vêlage), J15 PP (post-partum), J45 PP et J60 PP. Cette évaluation a permis d'estimer l'évolution des réserves énergétiques des vaches en fonction des périodes critiques entourant le vêlage et le début de lactation. C'est une estimation effectuée par la même personne pour toutes les notations pour éviter tout effet par l'intervention de plusieurs personnes et minimiser les erreurs et différences.

6.5. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel **SPSS** (IBM Corp. 2013, IBM SPSS Statistics pour Windows, Version 22.0, Armonk, NY : IBM Corp), avec un seuil de signification prédéfini de 0,05. Pour tester la normalité des distributions, le test de Shapiro-Wilk a été utilisé. Pour évaluer l'effet du type de supplémentation et du jour de collecte des échantillons sur les paramètres hématologiques et biochimiques, la notation de l'état corporel (BCS), ainsi que sur la qualité et la quantité de lait, un modèle linéaire généralisé à mesures répétées a été appliqué. Les données ont ensuite été soumises à une ANOVA à un facteur (One-way ANOVA) pour examiner l'effet du traitement de supplémentation sur la concentration en IgG du colostrum. Lorsque les variables n'étaient pas distribuées normalement (comme la concentration en IgG mesurée par immunodiffusion radiale, RID), les données ont été traitées à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis, avec le traitement comme facteur principal.

Un modèle de régression linéaire multiple a également été employé pour évaluer l'interaction entre les différents facteurs. Enfin, la corrélation entre les concentrations d'IgG mesurées par RID (standard de référence) et par réfractomètre digital Brix a été évaluée par le test de

corrélation de Spearman. Ce test non paramétrique permet de mesurer la relation monotone entre les variables en classant les données.

Résultats

1. Effet de la supplémentation sur la qualité immunologique du colostrum (concentration en IgG)

1.1. Analyse de la concentration des IgG dans le colostrum

- L'analyse de la concentration d'IgG à l'aide de la méthode RID et du réfractomètre Brix a révélé une concentration de $26,44 \pm 4,66$ g/L (RID) et $16,04 \pm 1,38$ % (% Brix) pour le groupe témoin, $67,85 \pm 13,71$ g/L (RID) et $22,27 \pm 1,50$ % (% Brix) pour le groupe supplémenté par *Saccharomyces Cerevisiae* SC, $59,24 \pm 15,78$ g/L (RID) et $21,80 \pm 2,52$ % (% Brix) pour le groupe supplémenté par la paroi de levure PL, et $130,53 \pm 14,16$ g/L (RID) et $23,90 \pm 1,85$ % (% Brix) pour le groupe mixte, ce qui est considéré comme une qualité excellente (voir Tableau 4).

Tableau 4 : Concentration d'IgG dans le colostrum et le Brix pourcentage % mesuré par réfractomètre dans les groupes expérimentaux.

Items	Groupes				Valeur de P
	Témoin (CNT)	Levure (SC)	Paroi de levure PL	Mixte	
Concentration d'IgG g/l	26,44±4,66a	67,85±13,71b	59,24±15,78 b	130,53±14,16 c	0,000
%Brix refractomètre	16,04±1,38a	22,27±1,50ab	21,80±2,52 ab	23,90±1,85 b	0,018

Les valeurs suivies de lettres différentes (a, b et c) sur la même ligne sont significativement différentes.

Tableau 5 : Catégorisation de la qualité du colostrum dans les groupes expérimentaux.

Groupes	CNT		SC		PL		MIXTE	
Concentration d'IgG dans le colostrum	Fréquence	%	Fréquence	%	Fréquence	%	Fréquence	
<50g/l	11	91,7	5	41,7	6	60	0	0
≥50g/l	1	8,3	7	58,3	4	40	10	100
Total	12	100	13	100	10	100	10	100

Le tableau 5 montre la catégorisation de la concentration en immunoglobulines G (IgG) du colostrum dans les différents groupes expérimentaux, y compris le contrôle, le groupe supplémenté par la levure SC, par la paroi de levure PL et le groupe Mixte. Les concentrations sont classées en deux groupes, selon (McGuirk & Collins, 2004): celles inférieures à 50g/l sont qualifiées de mauvaise qualité et celles égales ou supérieures à 50g/l sont qualifiées de bonne qualité de colostrum. Onze (11) échantillons du groupe contrôle (91,7%) sont inférieurs à 50 g/l, indiquant une fréquence prédominante de concentrations en IgG faibles, le groupe levure 7 échantillons (58,3%) ont un colostrum de bonne qualité avec des concentrations en IgG ≥ 50 g/l, 6 échantillons (60%) du groupe paroi de levure ont une mauvaise qualité avec des concentrations en IgG inférieures à 50g/l. le groupe Mixte montre un pourcentage de 100% de l'effectif qui a une qualité excellente du colostrum avec une concentration d'IgG supérieur à 50 g/l.

1.2. Effet de la supplémentation sur la concentration d'IgG colostral

Une différence très significative a été observée concernant l'effet de la supplémentation sur la concentration d'IgG dans le colostrum entre les groupes ($P < 0,01$) (Tableau 4). Le traitement combiné « levure et paroi de levure » a significativement influencé la concentration d'IgG ($P < 0,01$) par rapport aux autres traitements. De même, le groupe SC a montré une différence très significative ($P = 0,005$) par rapport au groupe CNT. En revanche, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée pour le groupe « PL ».

Le %Brix a été utilisé comme méthode indirecte pour estimer la concentration d'IgG dans le colostrum. Les résultats montrent un effet significatif du type de supplémentation sur le %Brix mesuré par réfractomètre ($P = 0,018$) (Tableau 4), avec un effet significatif pour le groupe Mixte ($P = 0,020$). En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour les autres groupes : SC ($P = 0,061$) et PL ($P = 0,130$) par rapport au groupe témoin.

1.3. Effet du BCS, l'âge, la parité et le sexe du nouveau-né sur la concentration colostral d'IgG

Les résultats du modèle de régression linéaire ont montré une corrélation faible entre les prédictors (note d'état corporel - BCS, parité, âge et sexe des nouveau-nés) et la variable dépendante « concentration d'IgG dans le colostrum », avec des coefficients $R = 0,206$ (RID) et $R = 0,323$ (%Brix). Les coefficients de détermination R^2 étaient respectivement de 0,043 (IDR) et 0,104 (%Brix), indiquant que seulement 4,3 % (IDR) et 10,4 % (%Brix) de la variance de la concentration d'IgG dans le colostrum étaient expliqués par ces facteurs (BCS, parité, âge

et sexe des nouveau-nés). Aucun de ces facteurs n'a montré d'effet significatif en interaction avec le type de supplémentation sur la concentration d'IgG colostrale ($P = 0,776$), avec des valeurs de $P = 0,348$ pour le BCS, $P = 0,472$ pour la parité, $P = 0,792$ pour l'âge et $P = 0,615$ pour le sexe des veaux (Tableau 6 et Tableau 7).

Tableau 6 : Effet du BCS, Age et la parité sur la concentration du colostrum en IgG.

		Control (CNT)		Levure (SC)		Paroi de levure (PL)		Mixte		Valeur de P	
		IDR	Brix%	IDR	Brix%	IDR	Brix%	IDR	Brix%	IDR	Brix%
BCS	[1- 3[	33,1 ± 9,79	17,6 ± 1,84	69,4±26,04	22,3 ± 2,36	72,2±27,06	25,0±3,38	119,2 ± 20,03	22,0 ± 2,38	0,348	0,455
	[3]	23,3 ± 6,54	15,4 ± 2,69	40,4 ± 6,22	19,0 ± 1,82	32,3±6,19	17,0±3,21	166,0 ± 0,00	29,3 ± 0,66		
	]3 - 5]	23,8 ± 9,98	15,0 ± 2,89	93,4±28,36	30,0 ± 3,07	67,3±46,90	21,0±9,00	92,2 ± 0,00	19,0±0,00		
Age	2-4 ans	38,5 ± 2,70	20,0 ± 0,00	75,7±23,72	24,0 ± 2,12	39,1±15,72	21,0±5,21	142,7 ± 0,00	18,0 ± 0,00	0,792	0,082
	4 -6 ans	33,2 ± 6,06	16,9 ± 2,25	71,2±21,35	22,6 ± 2,37	83,1± 25,96	24,4± 2,40	199,0 ± 0,00	29,0± 1,00		
	6 -8 ans	10,3 ± 3,37	12,8 ± 1,31	29,9 ± 0,00	17,5 ± 0,50	20,4±0,00	12,0± 0,00	118,7 ± 18,52	23,3 ± 2,26		
Parité	Primipares	-	-	52,0± 3,97	22,0 ± 1,73	39,1±31,44	21,0 ± 10,42	142,7 ± 0,00	18,0 ± 0,00	0,472	0,153
	L2	31,1±11,80	16,7 ± 6,12	146,7 ± 0,00	30,0 ± 0,00	20,4± 0,00	12,0 ± 0,00	166,0 ± 0,00	29,0 ± 1,41		

	L3	21,1 ±20,08	14,5 ±0,71	76 ,7±65,07	22,8 ±6,20	82,3±76,41	23,3 ±6,11	121,2 ±0,00	25,0 ±0,00		
	L4	22,1±22,37	15,9 ±4,33	60,8±50,50	21,1 ±6,91	84,3±42,36	26,0 ±5,66	108,7 ±53,99	22,4 ±7,09		
	L5	-	-	29,9 ±0,00	18,0 ±0,00	-	-	166,0 ±0,00	26,0 ±0,00		

Tableau 7 : Effet du sexe du nouveau-né sur la concentration d'IgG du colostrum

	CNT		SC		PL		MIXTE		Valeur de P	
Sexe -NN	IDR	%Brix	IDR	%Brix	IDR	%Brix	IDR	%Brix	IDR* sexe	%Brix* sexe
Femelle	33,59 ±5,85	17,36 ± 1,44	64,98 ±15,42	22,81 ± 1,28	66,85 ±34,83	20,25 ± 3,97	133,58 ±25,26	22,25 ±3,47	0,615	0,391
Mâle	18,83 ±6,15	14,00 ± 3,34	72,46 ±28,11	21,40 ± 3,53	54,17 ±15,78	22,83 ± 3,51	128,50 ±18,56	25,00 ±2,19		

1.4. Corrélation entre la méthode d'immunodiffusion radial IDR et le Brix % de réfractomètre pour la mesure des IgG colostral

Concernant l'étude de la corrélation entre la méthode IDR et la méthode du réfractomètre numérique %Brix, une corrélation positive forte et significative a été observée ($P < 0,01$). Le coefficient de corrélation de Spearman (r) entre les deux méthodes utilisées pour mesurer la concentration d'IgG dans le colostrum était $r = 0,785$ (Figure 34). Ces résultats suggèrent une relation linéaire entre les deux méthodes : lorsque l'une augmente, l'autre a également tendance à augmenter, et inversement.

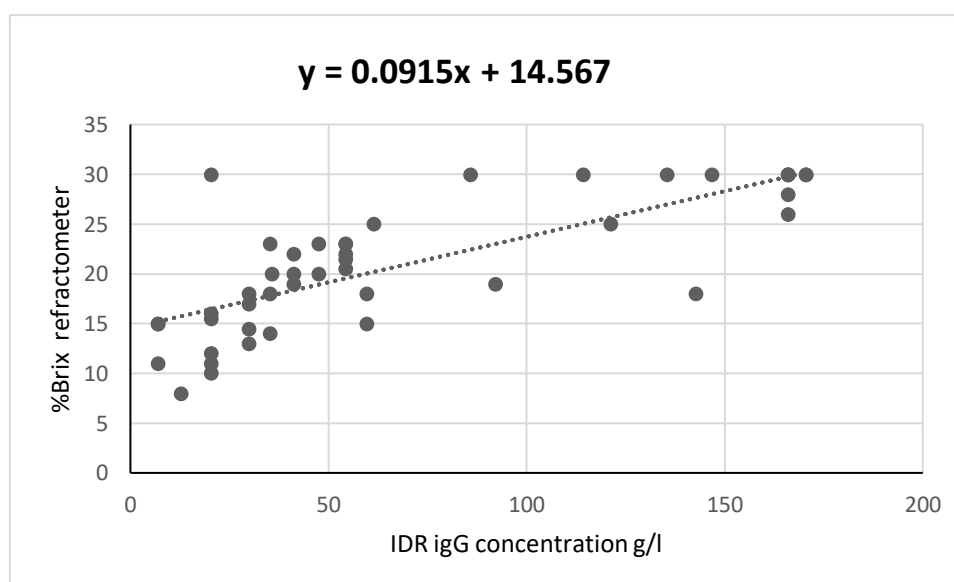


Figure 34 : Corrélation entre la méthode IDR et le réfractomètre utiliser pour la mesure des IgG colostral

2. Effet de la supplémentation sur les paramètres zootechniques

2.1. Effet de la supplémentation sur la note d'état corporelle

Les scores de condition corporels (BCS) diminuent de manière générale dans tous les groupes (CONTROL, SC, PL, MIXTE) à mesure que les jours de prélèvement avancent, indiquant une dégradation progressive de l'état corporel au cours de l'expérience ce qui reflète la mobilisation des réserves graisseuses en parallèle avec l'évolution de la production laitière au fil du temps. La valeur p associée au facteur "temps de prélèvement" est significative ($P = 0,000$) (Tableau 8), ce qui confirme que le jour de prélèvement a un effet notable sur le BCS.

Tableau 8: Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur la note d'état corporelle

Paramètres	Traitements	Jour de prélèvement						P value	
		J-30	J-15	J0	J15	J45	J 60	Jour	Jour*traitements
BCS	CONTROL	3,18±0,25	3,33±0,20	3,00±0,167	2,50±0,13	2,45±0,14	2,25±0,17	0,00	0,097
	SC	3,20±0,17	3,25±0,15	2,80±0,11	2,70±0,11	2,75±0,13	2,70±0,11		
	PL	3,40±0,10	3,35±0,11	2,58±0,29	2,75±0,08	2,4±0,067	2,30±0,08		
	MIXTE	3,15±0,18	3,15±0,18	2,60±0,18	2,60±0,18	2,30±0,17	2,45±0,09		
Valeur de P		0,795	0,897	0,348	0,559	0,185	0,0516		

- Évolution globale du BCS au fil du suivi de l'expérimentation
- Effet des traitements (supplémentation)

À chaque jour de prélèvement, les différences de BCS entre les groupes (CONTROL, SC, PL, MIXTE) ne sont pas significatives ($P > 0,05$ pour chaque jour) (Tableau 8), suggérant que les traitements n'ont pas eu d'effet majeur sur le BCS. Cependant, des variations légères peuvent être observées :

Le groupe CONTROL montre une diminution marquée du BCS, passant de $3,18 \pm 0,25$ (J-30) à $2,25 \pm 0,17$ (J60), soulignant l'impact de l'absence de supplémentation.

Le groupe SC (supplémentation avec SC) conserve un BCS plus élevé que les autres groupes au jour J60 ($2,70 \pm 0,11$), ce qui pourrait indiquer une meilleure efficacité de cette supplémentation dans le maintien de la condition corporelle.

Le groupe PL (supplémenté par la paroi de levure) affiche un BCS légèrement supérieur au jour J-30 et J-15 par rapport aux autres groupes, mais perd cet avantage au fil du temps.

Le groupe MIXTE (supplémenté au mélange entre levure et paroi de levure) a un BCS globalement plus stable que les autres groupes.

Interaction entre la période et le traitement

La valeur P pour l'interaction "jour de prélèvement*traitement" est de 0,097 (tableau 8), ce qui n'est pas significatif. Cela indique que l'évolution du BCS au fil du temps est similaire entre les différents traitements.

En résumé, le jour de prélèvement a un effet significatif sur le BCS, avec une diminution progressive observée dans tous les groupes. Cependant, les traitements de supplémentation n'ont pas montré de différence statistiquement significative entre les groupes. Cependant, les tendances indiqueraient une meilleure stabilité du BCS dans le groupe SC et MIXTE à long terme.

2.2. Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur la quantité et la qualité (concentration de la matière grasse, protéines et lactose) du lait

Le tableau 9 illustre l'effet de la supplémentation des vaches laitières et du jour de prélèvement sur la quantité de lait produite, ainsi que sur la composition en matière grasse (MG), protéines et lactose au fil du temps. Les résultats mettent en évidence des variations significatives en fonction des traitements appliqués et de la période de prélèvement.

Tableau 9 : Effet de la supplémentation des vaches laitières et du jour de prélèvement sur la quantité et qualité de lait produit

Paramètres	Traitem ent	Jour de prélèvement			Valeur de P	
		J 15 PP	J 45 PP	J 60 PP	Jour de prélèvement	Jour*traite ment
Quantité du lait (litre)	CNT	7,64 ± 0,50	9,10 ± 0,55	9,69 ± 0,53	0,001	0,146
	SC	8,00 ± 0,20	8,22 ± 0,62	10,15 ± 0,68		
	PL	8,30 ± 0,87	9,13 ± 0,82	8,39 ± 0,53		
	MIXTE	10,83 ± 0,82	10,88 ± 0,74	12,21 ± 0,48		
Valeur de P		0,02	0,057	0,001		
MG	CNT	3,23 ± 0,35	3,20 ± 0,15	3,39 ± 0,31	0,501	0,251
	SC	4,20 ± 0,37	4,41 ± 0,36	4,38 ± 0,50		
	PL	2,91 ± 0,32	4,22 ± 0,21	3,32 ± 0,27		
	MIXTE	4,27 ± 0,46	3,84 ± 0,20	3,85 ± 0,16		
Valeur de P		0,031	0,005	0,095		
Protéine	CNT	2,68 ± 0,16	2,72 ± 0,09	2,79 ± 0,08	0,051	0,071
	SC	3,32 ± 0,15	2,92 ± 0,09	2,92 ± 0,18		

	PL	3,09 ± 0,16	2,83 ± 0,10	3,36 ± 0,16		
	MIXTE	3,43 ± 0,11	3,28 ± 0,07	3,41 ± 0,07		
Valeur de P		0,009	0,001	0,003		
Lactose	CNT	4,82 ± 0,13	4,22 ± 0,10	4,27 ± 0,11	0,003	0,001
	SC	5,12 ± 0,19	4,40 ± 0,13	4,07 ± 0,20		
	PL	4,45 ± 0,15	4,16 ± 0,09	4,32 ± 0,05		
	MIXTE	4,41 ± 0,14	4,62 ± 0,19	4,88 ± 0,12		
Valeur de P		0,03	0,028	0,003		

2.2.1. Quantité de lait

- Variation selon le jour de prélèvement**

La production laitière montre une augmentation significativement au fil du temps pour tous les groupes ($P = 0,001$, Tableau 9). Cette tendance reflète une amélioration progressive de la quantité produite du lait au cours de la lactation.

- Effet de la supplémentation (traitements)**

Le groupe MIXTE se distingue par une production laitière significativement plus élevée pendant tous les jours de prélèvement, atteignant les $12,21 \pm 0,48$ L à J60 *post partum* (Tableau 9), surpassant les productions observées dans les autres groupes expérimentaux (CNT, SC, et PL ; $P = 0,001$).

En revanche, les groupes CNT, SC, et PL affichent des productions similaires, bien que CNT reste le moins performant, notamment au début de la lactation à j15 *post partum*.

- Interaction entre le jour et les traitements**

L'analyse statistique indique que l'interaction entre le facteur temps et les traitements (la supplémentation) n'est pas significative ($P_{\text{jour de prélèvement} \times \text{traitement}} = 0,146$, Tableau 9), indiquant que la tendance à l'augmentation de la production est similaire entre les traitements, bien que les groupes supplémentés atteignent des niveaux supérieurs.

La supplémentation MIXTE (SC + PL) s'avère la plus efficace pour optimiser la production laitière. En comparaison, les traitements SC et PL offrent des performances intermédiaires, avec des valeurs supérieures à celles du groupe témoin (CNT).

2.2.2. Qualité du lait

2.2.2.1. Matière grasse (MG)

Les teneurs en matière grasse observées sont globalement conformes aux normes de 3,2 % à 4,0 %, sauf pour le groupe PL au jour J15 ($2,91 \pm 0,32\%$) (Tableau 8) qui est en dessous de la norme minimale.

- **Variation selon le jour de prélèvement**

La matière grasse ne montre pas de variation significative avec le temps ($P = 0,501$) (Tableau 9), ce qui indique une stabilité relative.

- **Effet des traitements**

Les groupes supplémentés (SC et MIXTE) montrent des valeurs de MG généralement supérieures, atteignant jusqu'à $4,27 \pm 0,46\%$ à J15 (Tableau 8), pour le traitement MIXTE, dépassant même la norme supérieure (4,0 %).

Le groupe PL supplémenté par la paroi de levure montre des fluctuations avec une amélioration à J45 ($4,22 \pm 0,21\%$) (Tableau 8), avant de diminuer légèrement à J60.

Les différences entre les traitements sont significatives au jour J15 ($P = 0,031$) et J45 ($P = 0,005$), indiquant un effet marqué de la supplémentation sur la teneur du lait en matière grasse (Tableau 9).

2.2.2.2. Protéines

Les teneurs en protéines observées sont majoritairement conformes aux normes (3,0 % à 3,5 %). Le groupe témoin CNT reste en dessous de cette plage à J15 ($2,68 \pm 0,16\%$) et J45 ($2,72 \pm 0,09\%$) (Tableau 9), ce qui reflète une qualité inférieure du lait dans ce groupe.

- **Variation selon le jour de prélèvement**

Une légère augmentation des teneurs en protéines est observée au fil du temps, bien que cette variation ne soit pas significative ($P = 0,051$) (tableau 9).

- **Effet des traitements**

Le groupe MIXTE atteint des teneurs maximales de protéines ($3,43 \pm 0,11\%$ au J15 et $3,41 \pm 0,07\%$ au J60) (Tableau 9), qui reste toujours dans la norme.

Les groupes SC supplémenté par la levure *Saccharomyces Cerevisiae* et PL supplémenté par la paroi de levure affichent des valeurs intermédiaires, tandis que le groupe CNT reste systématiquement en dessous des seuils recommandés.

Les différences entre les traitements sont significatives à tous les jours de prélèvement ($P = 0,009$ au J15 ; $0,001$ au J45 ; $0,003$ au J60) (Tableau 9).

Le traitement MIXTE est le plus efficace pour maintenir des teneurs en protéines conformes aux normes. Les traitements SC et PL ont des effets modérés, tandis que le groupe témoin (CNT) produit un lait de qualité inférieure en protéines.

2.2.2.3. Lactose

Les teneurs en lactose observées varient autour des normes de 4,5 % à 5,0 %. Les groupes CNT, SC, et PL montrent des valeurs légèrement inférieures à la norme à J60 ($4,27 \pm 0,11\%$, $4,07 \pm 0,20\%$, et $4,32 \pm 0,05\%$, respectivement) (Tableau 9).

- **Variation selon le jour de prélèvement**

Une diminution générale du lactose est observée au fil du temps dans les groupes CNT et SC, tandis que le groupe MIXTE montre une augmentation progressive, atteignant $4,88 \pm 0,12\%$ au J60 (Tableau 9) avec un effet très significatif ($P = 0,003$; Tableau 9).

- **Effet des traitements**

Le groupe MIXTE maintient des teneurs en lactose élevées et conformes aux normes tout au long de l'étude.

Les groupes CNT, SC, et PL présentent une diminution progressive au fil du temps, avec des valeurs marginalement inférieures aux normes à J60.

Le traitement MIXTE permet de préserver des teneurs en lactose conformes aux normes, tandis que les autres traitements, en particulier le groupe témoin (CNT), montrent une qualité inférieure en fin de lactation.

En tenant compte des normes de qualité du lait de vache, les résultats montrent que la supplémentation en probiotique ou prébiotique a un impact certain dans l'amélioration de la quantité et de la qualité du lait. Le groupe MIXTE est le plus performant, permettant une augmentation significative de la production laitière tout en maintenant des teneurs optimales en matière grasse MG, protéines, et lactose indiquant un lait de bonne qualité. Les groupes SC et PL montrent des effets modérés, notamment sur les teneurs en MG et protéines. En revanche, le groupe témoin CNT reste le moins performant, avec une production et une qualité du lait inférieures aux normes, particulièrement en termes de protéines et de lactose.

Ces résultats confirment que le groupe MIXTE supplémenté par un mélange de levure *Saccharomyces Cerevisiae* et de paroi de levure est le plus adapté pour optimiser à la fois la productivité et la qualité du lait.

3. Effet de la supplémentation sur les paramètres Hémato-Biochimiques

3.1. Effet sur les paramètres hématologiques

3.1.1. Les paramètres érythrocytaires

Le tableau 10 représente les résultats statistiques de l'étude de l'effet de la supplémentation et du jour de prélèvement sur les différents paramètres hématologiques. Toutes les valeurs retrouvées répondent aux normes physiologiques citées par Kaneko et al., (2008).

Tableau 10 : Effets de la supplémentation et le jour de prélèvement sur les paramètres hématologiques

Paramètres	Traitement	Jour de prélèvement						Valeur de P	
		J -30	J -15	J0	J 15 PP	J 45 PP	J 60 PP	Jour de prélèvement	Jour*traitement
GR $\times 10^6/\mu\text{L}$	CNT	5,80 $\pm$ 0,27	5,53 $\pm$ 0,18	5,75 $\pm$ 0,22	5,34 $\pm$ 0,10	5,08 $\pm$ 0,11	5,25 $\pm$ 0,146	0,003	0,692
	SC	5,46 $\pm$ 0,19	5,63 $\pm$ 0,22	5,96 $\pm$ 0,30	5,48 $\pm$ 0,41	5,39 $\pm$ 0,31	5,53 $\pm$ 0,18		
	PL	6,13 $\pm$ 0,26	5,89 $\pm$ 0,26	6,69 $\pm$ 0,26	5,90 $\pm$ 0,25	5,90 $\pm$ 0,25	5,76 $\pm$ 0,20		
	MIXTE	6,45 $\pm$ 0,25	5,89 $\pm$ 0,26	6,19 $\pm$ 0,26	5,52 $\pm$ 0,25	5,23 $\pm$ 0,20	5,04 $\pm$ 0,19		
Valeur de P		0,083	0,565	0,118	0,454	0,03	0,126		
HB g/dl	CNT	9,64 $\pm$ 0,43	9,58 $\pm$ 0,32	10,10 $\pm$ 0,25	8,99 $\pm$ 0,15	8,45 $\pm$ 0,27	9,82 $\pm$ 1,28	0,007	0,61
	SC	9,02 $\pm$ 0,36	9,30 $\pm$ 0,38	10,11 $\pm$ 0,51	9,31 $\pm$ 0,65	9,00 $\pm$ 0,46	9,16 $\pm$ 0,19		
	PL	10,30 $\pm$ 0,32	9,50 $\pm$ 0,42	11,00 $\pm$ 0,36	9,67 $\pm$ 0,31	9,24 $\pm$ 0,19	10,10 $\pm$ 0,24		
	MIXTE	8,73 $\pm$ 1,49	10,16 $\pm$ 0,45	10,43 $\pm$ 0,34	9,07 $\pm$ 0,35	8,48 $\pm$ 0,27	8,18 $\pm$ 0,31		
Valeur de P		0,183	0,448	0,523	0,48	0,07	0,041		
HT %	CNT	30,37 $\pm$ 2,02	29,76 $\pm$ 2,33	29,04 $\pm$ 1,15	26,07 $\pm$ 0,58	24,36 $\pm$ 0,92	26,07 $\pm$ 2,15	0,000	0,729
	SC	32,66 $\pm$ 2,75	33,45 $\pm$ 2,80	33,47 $\pm$ 2,26	31,32 $\pm$ 2,60	25,54 $\pm$ 1,33	25,77 $\pm$ 0,56		
	PL	33,23 $\pm$ 1,85	34,02 $\pm$ 2,29	33,65 $\pm$ 1,84	30,48 $\pm$ 1,59	26,85 $\pm$ 0,82	26,36 $\pm$ 0,51		
	MIXTE	29,47 $\pm$ 1,15	28,08 $\pm$ 1,16	28,83 $\pm$ 1,02	24,70 $\pm$ 0,94	23,76 $\pm$ 0,74	22,59 $\pm$ 0,79		
Valeur de P		0,508	0,211	0,109	0,017	0,096	0,003		
VGM fl	CNT	53,58 $\pm$ 4,89	54,35 $\pm$ 4,86	48,11 $\pm$ 2,18	49,04 $\pm$ 1,63	47,95 $\pm$ 1,44	38,69 $\pm$ 4,87	0,000	0,174

	SC	60,11±5,17	59,90±5,22	56,94±4,25	56,87±4,64	47,52±1,00	46,75±0,94		
	PL	55,85±5,11	59,26±5,62	51,29±4,18	52,90±4,56	45,96±1,39	46,27±1,68		
	MIXTE	45,73±0,94	47,12±0,63	45,97±0,92	44,91±0,92	45,58±1,03	44,73±1,03		
Valeur de P		0,328	0,64	0,164	0,074	0,654	0,423		
CCMH g/dl	CNT	32,69±1,98	33,62±2,35 4	35,01±0,72	34,54±0,34	34,75±0,26	35,27±0,60	0,002	0,131
	SC	29,38±2,51 0	29,63±2,66	31,06±1,88	31,14±2,34	35,22±0,26	35,49±0,20		
	PL	30,80±2,40	29,42±2,65	33,26±1,34	32,52±1,89	35,27±0,39	35,09±0,45		
	MIXTE	36,61±0,42 9	36,14±0,27 3	36,22±0,26	36,73±0,30	35,68±0,36	36,35±0,30 8		
Valeur de P		0,032	0,176	0,012	0,015	0,422	0,125		
TCMH pg	CNT	16,63±0,30	17,37±0,51	16,75±0,48	16,89±0,43	16,61±0,37	18,09±1,96	0,693	0,729
	SC	16,49±0,28	16,53±0,31	16,97±0,29	16,74±0,24	5,39±0,31	16,60±0,29		
	PL	16,14±0,42 1	16,13±0,40	16,54±0,42	16,47±0,34	16,15±0,37	16,01±0,40 6		
	MIXTE	16,72±0,22	17,03±0,19	16,62±0,26	16,48±0,26	16,23±0,28	16,25±0,30		
Valeur de P		0,519	0,098	0,743	0,527	0,586	0,546		
PLA x 10 ³ /μL	CNT	161,40±32, 71	263,90±49, 71	184,10±46, 38	240,80±51, 12	254,10±48, 81	279,80±60, 05	0,013	0,729

	SC	395,80±27, 30	397,40±33, 51	290,80±45, 93	439,00±51, 32	340,30±33, 66	348,20±26, 18		
	PL	327,90±27, 52	336,20±26, 84	256,10±51, 28	384,20±84, 60	341,90±50, 46	331,10±40, 35		
	MIXTE	166,40±20, 22	253,20±35, 67	220,10±32, 37	299,00±34, 27	246,80±45, 86	261,30±42, 43		
Valeur de P		0.000	0,052	0,322	0,09	0,32	0,379		

Globules Rouges (GR)

Les valeurs des globules rouges (GR) montrent une variation significative en fonction du temps ($P = 0,003$), avec des changements observés dans les groupes supplémentés et non supplémentés. Cependant, l'effet de la supplémentation n'est significatif qu'à J45 pour le groupe mixte (MIXTE) par rapport au groupe témoin ($P = 0,03$). Il n'y a pas d'interaction significative entre le temps et les groupes ($P = 0,692$), indiquant que la réponse des GR est similaire (Tableau 10).

Le groupe CNT montre une tendance à la diminution progressive des GR, passant de $5,80 \pm 0,27$ à $5,25 \pm 0,146 \times 10^6/\mu\text{L}$ (J-30 à J60, $P < 0,05$; Tableau 10). Dans le groupe SC, une fluctuation est observée, avec un pic à $5,96 \pm 0,30 \times 10^6/\mu\text{L}$ à J0 (le jour de vêlage), $P < 0,05$. Le groupe PL présente des valeurs généralement supérieures aux autres groupes, avec un maximum de $6,69 \pm 0,26 \times 10^6/\mu\text{L}$ à jour J0 (le jour de vêlage). Quant au groupe MIXTE, les valeurs sont initialement élevées ($6,45 \pm 0,25 \times 10^6/\mu\text{L}$ à J-30), mais diminuent progressivement pour atteindre $5,04 \pm 0,19 \times 10^6/\mu\text{L}$ à J60 *post-partum* ($P < 0,05$; Tableau 10).

Une différence significative entre les groupes est notée à J45 PP ($P = 0,03$) (Tableau 10), où les groupes supplémentés surpassent légèrement le groupe témoin.

Hémoglobine (HB)

Les niveaux d'hémoglobine (HB) varient de manière très significative selon les jours de prélèvement ($P = 0,007$) (Tableau 10). Les effets de la supplémentation deviennent significatifs à J60 *post-partum*, avec des différences entre les groupes ($P = 0,041$) suggérant une influence des traitements. L'absence d'interaction significative entre le temps et les groupes ($P = 0,61$) indique que les tendances dans le temps sont homogènes pour tous les traitements (Tableau 10).

Le groupe CNT montre des variations avec une légère baisse à J45 PP ($8,45 \pm 0,27$ g/dl) suivie d'une remontée à J60 PP ($9,82 \pm 1,28$ g/dl, Tableau 10). Les groupes SC et PL maintiennent des valeurs relativement stables, avec des pics à J0 (le jour de vêlage) ($10,11 \pm 0,51$ g/dl et $11,00 \pm 0,36$ g/dl respectivement, Tableau 10). Pour le groupe MIXTE, bien qu'ayant une

augmentation initiale à J-15 qui atteint les $10,16 \pm 0,45$ g/dl, affiche des valeurs décroissantes à partir de J-15, atteignant une moyenne de $8,18 \pm 0,31$ g/dl à J60 PP.

Hématocrite (HT)

Le pourcentage de globules rouges dans le sang diminue significativement au cours du temps ($P < 0,001$). Les effets de la supplémentation apparaissent significatifs à J15 PP ($P = 0,017$) et J60 PP ($P = 0,003$), suggérant un impact de certains traitements à ces moments précis. Cependant, il n'y a pas d'interaction significative entre le temps et les groupes ($P = 0,729$), ce qui signifie que la diminution de l'hématocrite au fil de temps est similaire entre les groupes.

Les groupes supplémentés (SC et PL) maintiennent des taux d'hématocrite plus élevés au début de l'expérimentation, mais une baisse progressive est observée après J15 PP. Le groupe CNT et MIXTE, bien que proches des normes initiales, montrent des diminutions marquées à J60 PP ($26,07 \pm 2,15$ % pour le groupe témoin et $22,59 \pm 0,79$ % pour le groupe MIXTE, (Tableau 10).

Volume Globulaire Moyen (VGM)

Le volume globulaire moyen (VGM) présente une variation significative en fonction du temps ($P < 0,001$). Toutefois, les différences entre les groupes de supplémentation ne sont pas significatives à chaque jour de prélèvement ($P > 0,05$). L'absence d'interaction significative ($P = 0,174$) indique une évolution similaire du VGM dans le temps pour tous les groupes (Tableau 10).

Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (CCMH)

La concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH) varie de manière significative au fil de temps ($P = 0,002$). Des différences entre les groupes sont observées à J0 (jour de vêlage) ($P = 0,012$) et J15 PP ($P = 0,015$), mais sans interaction significative entre le temps et les groupes ($P = 0,131$), suggérant que les effets du temps sont constants pour tous les traitements. Le groupe MIXTE conserve les valeurs les plus élevées tout au long de l'expérimentation, atteignant $36,73 \pm 0,30$ à J15 PP, Tableau 10.

Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (TCMH)

Les valeurs de teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine (TCMH) ne montrent pas de variation significative avec le temps ($P = 0,693$). Les différences entre les groupes de supplémentation ne sont pas significatives à chaque jour de prélèvement ($P > 0,05$), et il n'y a pas d'interaction temps-groupe ($P = 0,729$), indiquant une stabilité de la TCMH dans tous les groupes.

Plaquettes (PLA)

Les valeurs de plaquettes (PLA) montrent une variation significative selon le temps ($P = 0,013$). Une différence hautement significative entre les groupes est observée à J-30 ($P < 0,001$), mais cette différence devient non significative lors des autres jours de prélèvement. Les groupes supplémentés (SC et PL) affichent des valeurs globalement supérieures tout au long de l'étude, mais sans interaction significative ($P = 0,729$) indiquant que les tendances de variation des plaquettes dans le temps sont similaires entre les groupes, Tableau 10.

Tableau 11 : Impact de la supplémentation des vaches laitières sur les paramètres leucocytaires au fil de temps

Paramètres	Traitements	Jour de prélèvement						Valeur de P	
		J -30	J -15	J0	J 15 PP	J 45 PP	J 60 PP	Jour de prélèvement	Jour*traitement
GB x 10 ³ /μL	CNT	6,61±0,69	6,63±0,50	8,53±1,25	6,08±0,58	6,06±0,38	7,57±0,48	0,006	0,062
	SC	8,72±0,76	8,50±0,78	10,12±0,95	12,78±1,88	7,60±0,91	7,88±0,66		
	PL	8,05±0,87	7,68±0,64	10,90±1,82	10,38±0,97	9,29±1,01	7,37±0,54		
	MIXTE	6,67±0,39	6,78±0,53	6,01±0,78	7,27±0,66	6,36±0,37	5,72±0,44		
Valeur de P		0,101	0,23	0,067	0,000	0,005	0,042		
Neu x 10 ³ /μL	CNT	0,39±0,080	0,77±0,31	2,67±1,13	0,92±0,39	0,91±0,31	0,30±0,14	0,000	0,011
	SC	0,73±0,29	0,20±0,09	2,08±0,87	1,94±0,53	1,04±0,31	1,58±0,43		
	PL	0,19±0,047	1,12±0,57	5,54±1,51	1,77±0,75	2,04±0,63	1,03±0,36		
	MIXTE	0,49±0,21	0,19±0,042	0,21±0,11	0,92±0,58	0,77±0,48	0,04±0,016		
Valeur de P		0,272	0,434	0,011	0,094	0,065	0,000		
Eo x 10 ³ /μL	CNT	0,00±0,00	0,10±0,044	0,03±0,014	0,032±0,021	0,058±0,016	0,001±0,001	0,648	0,011
	SC	0,02±0,01	0,04±0,02	0,09±0,039	0,093±0,039	0,045±0,03	0,052±0,02		

Partie expérimentale

Résultats

	PL	0.00±0.00	0,003±0,00 3	0,027±0,00 8	0,024±0,00 8	0,051±0,01 9	0,031±0,01 3		
	MIXTE	0,04±0,041	0,003±0,00 3	0,009±0,00 6	0,005±0,00 2	0,007±0,00 5	0,081±0,05 6		
Valeur de P		0,077	0,01	0,057	0,062	0,033	0,062		
Bas x 10 ³ /μL	CNT	1,34±0,273	0,90±0,22	1,09±0,45	0,89±0,46	0,73±0,25	2,02±0,39		
	SC	1,2240±0,4 1	0,76±0,219	2,21±1,21	0,34±0,17	0,78±0,40	0,69±0,32	0,249	0,042
	PL	1,88±0,298	1,66±0,34	0,28±0,15	0,68±0,34	0,53±0,33	0,57±0,23		
	MIXTE	1,53±0,31	2,14±0,30	1,89±0,55	2,21±0,64	1,41±0,33	1,54±0,23		
Valeur de P		0,338	0,005	0,054	0,054	0,419	0,006		
Mon x 10 ³ /μL	CNT	0,58±0,059	0,51±0,061	0,78±0,11	0,56±0,073	0,54±0,068	0,67±0,082		
	SC	0,62±0,054	0,66±0,086	0,72±0,19	0,58±0,098	0,51±0,11	0,63±0,11	0,007	0,000
	PL	0,67±0,036	0,79±0,064	1,60±0,92	0,69±0,096	0,57±0,091	0,53±0,082		
	MIXTE	0,59±0,045	0,58±0,046	0,67±0,09	0,66±0,085	3,54±0,38	0,51±0,060		
Valeur de P		0,539	0,056	0,696	0,69	0.000	0,473		
Lym x 10 ³ /μL	CNT	4,32±0,46	3,90±0,34	4,02±0,29	3,68±0,48	3,58±0,48	4,70±0,33		
	SC	6,13±0,48	6,25±0,72	6,20±1,37	9,84±2,15	5,23±0,74	5,03±0,54	0,007	0,011
	PL	5,62±0,55	5,00±0,48	4,28±0,78	7,21±1,07	6,07±1,08	4,92±0,58		
	MIXTE	4,21±0,27	3,84±0,28	3,21±0,25	3,43±0,23	0,59±0,05	3,55±0,32		
Valeur de P		0,016	0,017	0,323	0,001	0.000	0,115		

3.1.2. Les paramètres leucocytaires

Le tableau 11 présente l'impact de la supplémentation des vaches laitières sur les paramètres leucocytaires : globules blancs (GB), neutrophiles (Neu), basophiles (Bas), éosinophiles (EO), monocytes (Mon) et lymphocytes (Lym) tout au long de la période expérimentale

Globules blancs totaux (GB)

Les valeurs des GB se situent majoritairement dans les normes ($4-12 \times 10^3/\mu\text{L}$) pour tous les groupes, sauf pour le groupe SC à J15 PP ($12,78 \pm 1,88 \times 10^3/\mu\text{L}$), qui se démarque avec une valeur légèrement à la limite supérieure. Les groupes SC et PL montrent des valeurs plus élevées aux jours J0 qui est le jour de vêlage et J15 PP, suggérant une stimulation immunitaire liée au stade physiologique « le vêlage », tandis que le groupe MIXTE reste en bas de la plage normale, en particulier à J60 ($5,72 \pm 0,44 \times 10^3/\mu\text{L}$, Tableau 11).

Les différences temporelles sont significatives ($P = 0,006$) et l'interaction traitement*jour de prélèvement n'est pas significative ($P = 0,062$) (Tableau 11).

Neutrophiles (Neu)

Les neutrophiles restent principalement dans la plage normale ($0,6-5,4 \times 10^3/\mu\text{L}$) pour tous les groupes, sauf pour le groupe PL supplémenté avec la paroi de levure à J0 le jour de vêlage, où la valeur atteint $5,54 \pm 1,51 \times 10^3/\mu\text{L}$, atteignant la limite supérieure. Le groupe MIXTE montre des valeurs très faibles tout au long de l'expérience, notamment au jour J60 PP ($0,04 \pm 0,016 \times 10^3/\mu\text{L}$), ce qui peut indiquer une réduction des défenses inflammatoires.

L'effet du jour de prélèvement est significatif ($P < 0,001$) ainsi que l'interaction jour de prélèvement*traitement ($p = 0,011$, Tableau 11).

Éosinophiles (Eo)

Les éosinophiles sont généralement faibles dans tous les groupes et restent bien en dessous des normes ($0,08$ à $2,4 \times 10^3/\mu\text{L}$). Une légère augmentation est observée à J0 dans le groupe SC ($0,09 \pm 0,039 \times 10^3/\mu\text{L}$). Aucun effet significatif du temps n'est observé ($P = 0,648$), mais l'interaction temps*traitement est significative ($P = 0,011$), suggérant une influence spécifique des traitements sur la valeur des éosinophiles dans certains jours de prélèvement, (Tableau 11).

Basophiles (Bas)

Les basophiles restent légèrement supérieurs à la norme physiologique ($< 0,24 \times 10^3/\mu\text{L}$) pour tous les groupes, avec des valeurs atteignant un maximum à J60 PP dans le groupe Témoin ($2,02 \pm 0,39 \times 10^3/\mu\text{L}$). Une variation au fil de temps non significative est observée ($P = 0,249$) avec une interaction temps*traitement notable ($P = 0,042$) (Tableau 10). Le groupe MIXTE montre une augmentation notable à J15 post-partum ($2,21 \pm 0,64 \times 10^3/\mu\text{L}$, Tableau 11).

Monocytes (Mon)

Les monocytes restent dans les normes ($0,08-0,84 \times 10^3/\mu\text{L}$) pour la majorité des traitements et périodes, à l'exception du groupe MIXTE à J45 en post-partum, où une valeur très élevée est notée ($3,54 \pm 0,38 \times 10^3/\mu\text{L}$), bien au-delà des valeurs physiologiques normales (Tableau 11).

Le jour de prélèvement et l'interaction jour de prélèvement*traitement montrent une différence significative ($P = 0,007$, $P < 0,001$) respectivement (Tableau 11).

Lymphocytes (Lym)

Les lymphocytes se situent globalement dans les normes physiologiques ($1,8-9 \times 10^3/\mu\text{L}$), sauf pour le groupe MIXTE à J45 PP ($0,59 \pm 0,05 \times 10^3/\mu\text{L}$), qui est très en dessous des valeurs attendues, indiquant une immunosuppression potentielle. Les groupes supplémentés SC et PL montrent des valeurs élevées à J0 et J15 PP, suggérant une stimulation immunitaire liée aux traitements ($P < 0,05$), comme elle pourrait être suite à la parturition (Tableau 11).

L'effet temporel ($p = 0,007$) et l'interaction jour de prélèvement*traitement ($p = 0,011$) sont significatifs, (Tableau 11).

Les groupes supplémentés (SC et PL) affichent des niveaux plus élevés de GB et de lymphocytes, suggérant une meilleure stimulation immunitaire. Cependant, le groupe MIXTE montre des signes de faiblesse immunitaire (réduction de GB, lymphocytes et neutrophiles), ce qui pourrait être lié à la nature de la supplémentation mixte entre levure et paroi de levure. Les variations des paramètres leucocytaires en fonction des jours de prélèvement sont attendues, car les périodes peuvent refléter des variations physiologiques normales tel que le jour de vêlage ou des réponses aux stress environnementaux et métaboliques.

Les interactions significatives pour plusieurs paramètres (notamment Neu et Lym) indiquent que les traitements influencent différemment les réponses leucocytaires selon le jour de prélèvement qui reflète l'état physiologique de la vache le jour de prélèvement

3.2. Effet de la supplémentation sur les paramètres biochimiques

Tableau 12 : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur la glycémie, la cholestérolémie et le taux des triglycérides sanguins

Paramètres	Traitements	Jour de prélèvement						Valeur de P	
		J -30	J -15	J0	J 15 PP	J 45 PP	J 60 PP	Jour de prélèvement	Jour**groupe
GLU (g/l)	CNT	0,56 ±0,02	0,52 ±0,02	0,53 ±0,05	0,40 ± 0,07	0,47 ±0,02	0,53 ±0,02	0,069	0,073
	SC	0,65 ±0,06	0,61 ±0,06	0,73 ±0,08	0,60 ±0,04	0,65 ±0,06	0,54 ±0,04		
	PL	0,49 ±0,02	0,51 ±0,04	0,58 ±0,04	0,48 ±0,02	0,46 ±0,03	0,49 ±0,02		
	MIXTE	0,48 ±0,01	0,55 ±0,01	0,52 ± 0,03	0,55 ±0,02	0,56 ±0,03	0,55 ±0,02		
Valeur de P		0,00	0,547	0,074	0,022	0,006	0,215		
TG (g/l)	CNT	0,14 ±0,02	0,13 ±0,01	0,15 ±0,10	0,11 ±0,04	0,2 ±0,09	0,13 ±0,02	0,000	0,015
	SC	0,22 ±0,05	0,30 ±0,08	0,17 ±0,03	0,21 ±0,04	0,24 ±0,07	0,25 ±0,09		
	PL	0,09 ±0,01	0,37 ±0,15	0,03 ±0,01	0,01 ±0,003	0,04 ±0,02	0,04 ±0,01		
	MIXTE	0,12 ±0,02	0,06 ±0,02	0,04 ±0,02	0,05 ±0,02	0,05 ±0,03	0,04 ±0,01		
Valeur de P		0,1	0,018	0,00	0,00	0,00	0,00		
CHO (g/l)	CNT	1,02 ±0,10	0,93 ±0,10	0,47 ±0,05	0,83 ±0,17	1,16 ±0,11	1,30 ±0,06	0,028	0,058
	SC	0,99 ±0,07	1,05 ±0,11	0,93 ±0,12	0,86 ±0,10	1,01 ±0,14	1,08 ±0,04		
	PL	0,91 ±0,06	0,58 ±0,04	0,59 ±0,05	0,71 ±0,03	1,10 ±0,15	1,40 ±0,09		
	MIXTE	0,95 ±0,06	0,86 ±0,11	0,62 ±0,11	0,71 ±0,03	1,01 ±0,10	1,20 ± 0,16		
Valeur de P		0,818	0,003	0,006	0,496	0,73	0,026		

La glycémie Glu

Le tableau 9 montre que les niveaux de la glycémie observés dans les différents groupes varient de 0,40 g/l à J 15 PP pour le groupe témoin, à 0,73 g/l le jour du vêlage pour le groupe SC. Ces valeurs sont en faveur des normes physiologiques de la glycémie chez la vache laitière (0,40 à 0,80 g/l) (Brugere-Picoux., 1995) ce qui peut refléter des fluctuations du taux du glucose, fréquentes en période de *peripartum*, particulièrement autour du vêlage.

Statistiquement, l'effet du jour de prélèvement n'est pas significatif ($P = 0,069$), ce qui suggère une tendance des niveaux de glucose à varier au cours du temps. L'effet de la supplémentation est significatif à J -30, J 15, et J 45 postpartum ($P < 0,05$) (indiquant une influence importante des suppléments à ces moments avec des moyennes supérieures enregistrées pour le groupe SC. Enfin, l'interaction entre le jour du prélèvement et le groupe a une tendance à la signification ($P = 0,073$, Tableau 12).

Triglycérides TG

Les résultats montrent que les concentrations de triglycérides dans les différents groupes varient entre 0,01 g/L (J 15 PP, PL) et 0,37 g/L (J -15, PL). Ces valeurs se situent dans la norme physiologique des vaches laitières, qui est généralement inférieure à 0,30 g/l (Kaneko et al., 2008), bien que le groupe MIXTE se démarque par une stabilité de la teneur sanguine en TG. L'effet du jour de prélèvement est hautement significatif ($P < 0,01$), déterminant une variation importante au fil du temps. L'effet de la supplémentation est majoritairement significatif, notamment à J0, J 15 PP, et J 60 PP ($P = 0,00$), ce qui suggère une influence marquée de la supplémentation sur le métabolisme lipidique. L'interaction jour de prélèvement * groupe est également significative ($P = 0,015$), indiquant que l'évolution des triglycérides dans le temps diffère selon le type de supplémentation, (Tableau 12).

La cholestérolémie CHO

Les concentrations du cholestérol observées (Tableau 11) varient entre 0,47 g/L (le jour de vêlage pour le groupe témoin) et 1,40 g/L (J 60 PP, PL), des valeurs sont proches de la norme physiologique chez la vache laitière (0,78 à 1,5 g/l) (Kaneko et al., 2008). Les faibles valeurs observées autour du vêlage pourraient refléter un déficit énergétique physiologique en cette période de transition. L'effet du jour de prélèvement est statistiquement significatif ($P = 0,028$)

ce qui reflète une variation importante du niveau de cholestérolémie au fil du temps, avec une tendance à l'augmentation progressive après le vêlage.

Selon la supplémentation, la variation des niveaux du cholestérol est statistiquement significative à J -15, J0, et J 60 PP ($P < 0,05$), ce qui montre une influence notable des traitements lors de ces périodes. Cependant, l'interaction entre le jour de prélèvement et le groupe n'est pas significative ($P = 0,058$), indiquant que les variations temporelles du cholestérol sont globalement similaires entre les groupes expérimentaux. Ces résultats soulignent l'effet bénéfique potentiel de la supplémentation sur le métabolisme lipidique *post-partum*.

Tableau 13 : : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur le taux des protéines totales et l'albuminémie.

Paramètres	Traitements	Jourde prélèvement						Valeur de P	
		J -30	J -15	J0	J 15 PP	J 45 PP	J 60 PP	Jour de prélèvement	Jour*traitement
PT (g/l)	CNT	63,83 ±3,99	57,93 ±5,50	51,31 ±3,71	65,97 ±3,96	61,11 ±4,44	55,87 ±4,66	0,187	0,13
	SC	65,01 ±7,34	74,02 ±12,73	90,11 ±15,63	83,33 ±3,85	79,30 ±9,08	94,22 ±6,84		
	PL	83,22 ±4,34	76,78 ±4,27	81,22 ±3,29	80,24 ±5,90	91,03 ±3,86	95,35 ±2,50		
	MIXTE	85,77 ±4,89	81,63 ±6,38	76,95 ±4,66	80,55 ±3,38	80,63 ±3,62	86,06 ±3,63		
Valeur de P		0,005	0,062	0,001	0,046	0,003	0,000		
ALB (g/l)	CNT	31,13 ±2,51	27,78 ±2,97	29,39 ±2,35	30,13 ±3,28	29,18 ±2,60	29,81 ±1,63	0,08	0,092
	SC	35,08 ±1,63	34,40 ±1,62	35,05 ±2,34	36,94 ±2,61	33,86 ±3,61	35,19 ±3,01		
	PL	42,96 ±7,76	27,65 ±1,32	35,02 ±1,23	27,61 ±1,30	28,18 ±1,17	28,92 ±1,42		
	MIXTE	32,98 ±1,08	31,95 ±1,43	32,49 ±1,12	33,33 ±0,75	33,42 ±1,26	33,97 ±1,03		
Valeur de P		0,516	0,013	0,303	0,019	0,142	0,081		

Protéines totales PT

Le tableau 13 montre que les concentrations des protéines totales observées varient de 51,31 g/l à 95,35 g/l. Les valeurs se situent dans la plage normale pour les vaches du groupe témoin, cependant, les groupes supplémentés enregistrent une augmentation marquée dans les valeurs des PT. En plus, certaines variations sont notées en fonction des traitements et des jours de prélèvement. L'effet du jour de prélèvement n'est pas statistiquement significatif ($P = 0,187$). Les groupes CNT et SC montrent une diminution notable des protéines totales au vêlage (J0). L'effet de la supplémentation est significatif à plusieurs jours ($p \leq 0,005$) à J -30, J0, J 15 PP, J 45 PP et J 60 PP). Ces résultats indiquent que la supplémentation influence positivement la concentration en protéines totales notamment de type paroi de levure PL et le mélange entre levure et paroi de levure MIXTE, où les valeurs sont globalement plus élevées par rapport au groupe témoin (CNT). Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'interaction significative ($P = 0,13$), ce qui suggère que l'effet des traitements reste globalement constant sur toute la période de l'étude expérimentale.

Albumine ALB

Les niveaux d'albumine mesurés varient de 27,61 g/l à $36,94 \pm 2,61$ g/l. Ces valeurs sont cohérentes avec les normes physiologiques des vaches laitières (Kaneko et al., 2008). Cependant, à j-30 le groupe PL marque une valeur supérieure à la norme 42,96 g/l. Le tableau 12, montre que l'effet du jour de prélèvement n'est pas significatif ($p = 0,08$), avec une tendance à des fluctuations autour du vêlage. Une diminution est observée chez les groupes CNT et PL à J0 et J 15 PP. En ce qui concerne l'effet de la supplémentation est significatif à J -15 et J 15 PP ($P < 0,05$). Les groupes SC et M montrent des niveaux d'albumine relativement stables et élevés par rapport au groupe témoin, tandis que le groupe PL présente des variations plus importantes, particulièrement à J 15 PP. L'interaction n'est pas significative ($P = 0,092$), suggérant que l'effet des traitements sur l'albumine est indépendant du jour de prélèvement, Tableau 13.

Tableau 14 : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur l'urémie et la créatinémie.

Paramètres	Traitements	Jour de prélèvement						Valeur de P	
		J -30	J -15	J0	J 15 PP	J 45 PP	J 60 PP	Jour de prélèvement	Jour*traitement
Urée (g/l)	CNT	0,43 ±0,09	0,16 ±0,03	0,39 ±0,05	0,39 ±0,10	0,78 ±0,14	1,46 ±0,97	0,177	0,323
	SC	0,23 ±0,04	0,31 ±0,06	0,30 ±0,06	0,37 ±0,09	0,63 ±0,30	0,48 ±0,04		
	PL	0,31 ±0,04	0,28 ±0,05	0,46 ±0,14	0,11 ±0,03	0,44 ±0,08	0,23 ±0,05		
	MIXTE	0,16 ±0,06	0,25 ±0,10	0,41 ±0,19	0,72 ±0,17	0,34 ±0,13	0,48 ±0,22		
Valeur de P		0,018	0,178	0,421	0,005	0,027	0,029		
Crea (mg/l)	CNT	12,93 ±0,79	18,25 ±3,37	17,13 ±1,69	10,49 ±0,28	9,97 ±0,25	9,59 ±0,95	0,000	0,003
	SC	17,23 ±0,83	16,82 ±0,77	12,99 ±1,18	9,83 ±0,19	9,73 ±0,50	12,07 ±1,94		
	PL	14,76 ±1,07	14,42 ±0,97	15,57 ±1,02	8,62 ±0,41	9,05 ±0,35	8,93 ±0,41		
	MIXTE	14,15 ±0,66	13,39 ±0,61	14,82 ±0,83	11,18 ±1,21	10,78 ±0,72	12,32 ±0,83		
Valeur de P		0,014	0,157	0,129	0,027	0,127	0,003		

L'urée

Les résultats du tableau 14 montrent que les valeurs de l'urémie restent généralement dans les normes physiologiques pour les bovins (0,1 et 0,5 g/l) (Kaneko et al., 2008) bien que certaines fluctuations soient notées, par exemple, pour le groupe témoin à J 60 PP avec une valeur supérieure à la normale. L'étude de l'effet du jour de prélèvement ne montre aucune signification ($p = 0,177$).

L'effet de la supplémentation est significatif à plusieurs jours ($p \leq 0,029$), principalement à J - 30, J 15 PP, J 45 PP et J 60 PP. Les groupes supplémentés (SC, PL, M) montrent des concentrations d'urée généralement plus faibles que le groupe témoin (CNT), indiquant une meilleure utilisation de l'azote alimentaire. Pas d'interaction significative entre le temps et le type de supplément ($P > 0,05$).

Créatinine Crea

Les concentrations de créatinine varient entre 8,62 mg/l et 18,25 mg/l, les valeurs se situent dans les normes physiologiques pour la vache, qui bascule entre 5 et 20 mg/L (kaneko et al., 2008). L'étude de l'effet du temps de prélèvement est hautement significative ($p < 0,001$), indiquant des variations marquées en fonction du jour de prélèvement. Une diminution marquée de la créatinémie est observée après le vêlage (J 15 PP et au-delà), en particulier dans le groupe CNT.

L'effet de la supplémentation est significatif à différentes moments ($p \leq 0,05$). Les groupes supplémentés (SC, PL, M) présentent des niveaux plus stables de créatinine par rapport au groupe témoin CNT, suggérant une meilleure préservation de la masse musculaire et une gestion métabolique optimisée grâce aux additifs alimentaires. L'interaction est significative ($p = 0,003$), indiquant que l'effet des traitements varie selon les périodes (Tableau 14).

Tableau 15 : Effet de la supplémentation et le jour de prélèvement sur les enzymes hépatique ASAT, ALAT

Paramètres	Traitements	Jour de prélèvement						Valeur de P	
		J -30	J -15	J0	J 15 PP	J 45 PP	J 60 PP	Jour de prélèvement	Jour*traitement
ASAT (UI/l)	CNT	51,36 ±3,21	50,19 ±5,86	55,46 ±2,94	71,55 ±5,74	70,31 ± 5,74	69,06 ±1,93	0,000	0,001
	SC	57,79 ±3,36	63,90 ±4,75	69,53 ±6,09	74,64 ±6,96	55,71 ±3,10	64,36 ±4,32		
	PL	48,92 ±3,68	49,16 ±3,04	72,88 ±6,24	70,99 ±6,26	68,09 ±6,16	69,26 ±6,26		
	MIXTE	47,04 ±3,95	55,46 ±3,56	64,92 ±4,10	62,12 ±4,41	64,65 ±2,94	70,02 ±3,16		
Valeur de P		0,198	0,096	0,1	0,577	0,096	0,761		
ALAT (UI/l)	CNT	14,69 ±0,86	13,83 ±0,74	14,24 ±0,84	18,83 ± 1,86	26,33 ±2,45	25,65 ±1,98	0,000	0,327
	SC	17,27 ±1,70	16,50 ±1,26	17,28 ±1,21	17,91 ±2,37	21,98 ±1,45	24,92 ±1,32		
	PL	16,37 ±1,63	16,52 ±1,29	18,12 ±0,88	15,73 ±1,42	23,06 ±2,45	24,18 ±3,20		
	MIXTE	13,94 ±1,78	15,29 ±1,22	15,27 ±1,16	18,01 ±1,52	22,56 ±1,50	24,48 ±2,15		
Valeur de P		0,403	0,215	0,026	0,545	0,551	0,908		

Aspartate Aminotransférase ASAT

Les concentrations d'ASAT enregistrées dans le tableau 14, varient entre 47,04 UI/l et 74,64 UI/l. Parmi ces valeurs il y a des valeurs qui sont inférieures par rapport aux limites physiologiques des bovins entre 58 à 125 UI/l, avec une tendance à une augmentation au cours du postpartum est observée. L'étude de l'effet du temps montre une forte signification ($P < 0,001$), mettant en évidence des variations importantes de l'activité enzymatique au fil du temps. Une augmentation notable des niveaux d'ASAT est observée entre J0 et J15 PP dans la plupart des groupes, reflétant les défis métaboliques et les besoins accrus en énergie immédiatement après le vêlage. Après elles diminuent légèrement à J45 PP dans certains groupes (SC). La supplémentation est non significative ($P > 0,05$), mais certaines tendances émergent. Les groupes SC et PL montrent des augmentations plus marquées au début du postpartum, tandis que les groupes CNT et M affichent des profils plus stables. L'interaction jour de prélèvement*traitement est significative ($P < 0,05$), indiquant que l'effet des traitements varie selon les périodes.

Alanine Aminotransférase ALAT

Les concentrations d'ALAT varient entre 13,83 UI/l et 26,33 UI/l. Ces valeurs se situent dans les normes physiologiques pour les bovins qui varient entre 13 à 27 UI/l (Kaneko et al., 2008). L'analyse statistique de l'effet du jour de prélèvement (tableau 15) montre une forte signification ($P < 0,001$). Une augmentation progressive des niveaux d'ALAT est observée à partir du 15^{ème} jour *de post-partum* dans tous les groupes, culminant autour de J45 PP, avant une légère stabilisation. La supplémentation montre une signification unique le jour de vêlage ($p = 0,026$). À ce moment, les groupes supplémentés (SC, PL, M) présentent des niveaux d'ALAT légèrement plus élevés que le groupe témoin CNT (Tableau 15).

Interaction jour $\times$ groupe n'est pas significative ($p > 0,05$), ce qui suggère que les variations dans les niveaux d'ALAT sont principalement liées au temps, avec un impact plus limité des traitements.

Les résultats obtenus mettent en évidence des variations significatives des paramètres biochimiques mesurés (glucose, triglycérides, cholestérol, protéines totales, albumine, urée, créatinine, ASAT, ALAT) en fonction des jours de prélèvement et des types de supplémentation, avec des interactions variables. Ces variations reflètent les ajustements métaboliques typiques de la période de transition, notamment autour du vêlage, une phase critique pour la santé et la productivité des vaches laitières. Les concentrations mesurées restent globalement dans des marges proches des normes physiologiques, mais des fluctuations marquées sont observées. La supplémentation par la levure *Saccharomyces cerevisiae* et ou la paroi de levure a majoritairement un effet significatif. Elle contribue à une meilleure gestion métabolique, en stabilisant les niveaux de glucose, en améliorant l'efficacité protéique (réduction de l'urée), en préservant la masse musculaire (stabilisation de la créatinine) et en maintenant des niveaux optimaux de protéines totales et d'albumine. Les enzymes hépatiques (ASAT et ALAT) montrent également une augmentation transitoire autour du vêlage. La supplémentation alimentaire apparaît bénéfique pour limiter l'impact de ce stress, bien que les effets varient selon la période et le type d'additif utilisé.

Discussion

1. Effet de la supplémentation sur la qualité immunologique du colostrum (concentration en IgG)

Les réponses du système immunitaire montrent une variabilité lorsqu'on administre des levures et leurs dérivés comme suppléments aux animaux, en particulier aux bovins et aux porcs. Burdick Sanchez et al. (2021) ont rapporté que les deux types de réponses immunitaires, "réponse innée" et "réponse adaptative", étaient modulés par la supplémentation en probiotiques. Plusieurs chercheurs ont consacré leurs travaux à ce domaine (Burdick Sanchez et al., 2021 ; Benedetti et al., 2024).

Dans ce contexte, la présente étude s'est intéressée à l'effet de la supplémentation en levure, en paroi de levure (paroi cellulaire de levure et composants cellulaires purifiés), ainsi qu'à leur combinaison, sur le système immunitaire, et plus précisément sur la qualité immunologique du colostrum, évaluée par la concentration en IgG, qui joue un rôle clé dans le transfert de l'immunité passive.

Les concentrations en immunoglobulines dans observées le colostrum au cours de cette étude sont conformes aux plages normales rapportées précédemment (Godden et al., 2019 ; Uyama et al., 2021 ; Lotito et al., 2023). Le tableau 4 montre qu'en supplémentant les vaches laitières avec de la levure *Saccharomyces Cerevisiae* (SC), la concentration en IgG du colostrum a significativement augmenté, atteignant une moyenne de $67,85 \pm 13,71$ g/L, avec 58,3 % des échantillons classés comme colostrum de haute qualité (> 50 g/L) ($p = 0,007$). Pour les vaches supplémentées avec une fraction de levure (**β -glucanes et MOS**), la concentration moyenne était de $59,24 \pm 15,78$ g/L, avec 40 % des échantillons classés comme colostrum de haute qualité (Tableau 5), bien que la différence ne soit pas significative ($p = 0,90$). Ces résultats peuvent probablement être attribués au fait que dans ce groupe, 30 % des vaches produisant un colostrum de faible qualité étaient des primipares, qui présentent généralement un système immunitaire moins développé que les multipares (Morrill et al., 2012). De plus, 20 % des vaches de ce groupe avaient une concentration en IgG proche de 50 g/L, avec des valeurs avoisinant les 44,1 %. Enfin, dans le groupe ayant reçu une combinaison de levure (SC) et de fractions de levure, une augmentation significative ($p < 0,001$) a été observée, avec une concentration moyenne de $130,53 \pm 14,15$ g/L, et 100 % des échantillons classés comme colostrum de haute qualité.

Ces résultats sont cohérents avec des travaux antérieurs, notamment ceux de Ayad et al. (2017), qui ont observé une augmentation de la concentration en IgG chez les juments supplémentées avec de la levure (**SC**) pendant la gestation, atteignant $122,25 \pm 145,59$ g/L, comparée au groupe témoin ($104,51 \pm 157$ g/L, $p = 0,02$). Jang (2013) a rapporté des observations similaires chez les truies supplémentées avec de la levure vivante, où la concentration en IgG avait tendance à être plus élevée ($p = 0,10$) par rapport au groupe témoin. De même, une supplémentation en cultures de levure chez des vaches laitières à 90 jours avant et après le vêlage a entraîné une augmentation des concentrations sériques d'IgG, IgM et IgA (Wafa et al., 2020 ; Fröhdeová et al., 2014). Ces derniers ont également rapporté qu'une supplémentation en cultures de levure chez des vaches gestantes a entraîné une augmentation des concentrations sériques d'IgG deux jours après le vêlage. Les IgG contenues dans le colostrum proviennent du sang maternel et sont concentrées dans la glande mammaire grâce à des mécanismes de transport spécifiques. Ainsi, une plus grande concentration d'IgG sériques dans le sang des vaches se traduit par une concentration accrue dans leur colostrum (Weaver et al., 2000).

Cependant, des études comme celle de (Nasiri et al., 2019) n'ont pas trouvé d'effet significatif de la supplémentation sur la concentration en immunoglobulines en réponse à une stimulation à l'ovalbumine. En outre, bien que les résultats observés dans le groupe supplémenté avec des fractions de levure aient été bénéfiques, la différence n'était pas significative, probablement en raison de la faible teneur en levure vivante, qui n'a pas pu assez stimuler la réponse immunitaire adaptative de manière comparable à celle des vaches du groupe SC.

Ces observations sont néanmoins cohérentes avec les travaux de (Yuan et al., 2015), qui ont étudié les niveaux plasmatiques d'IgG anti-ovalbumine après un défi à l'ovalbumine, confirmant que les produits de paroi de levure (**PL**) modifient la fonction immunitaire chez les animaux. Cet effet pourrait s'expliquer par le fait que les principaux composants des produits de paroi de levure (**β -glucanes et Mannanes**) interagissent directement avec les cellules immunitaires (Broadway et al., 2015). Chez l'espèce porcine, les animaux supplémentés en β -glucanes ont montré une augmentation de la réponse anticorps après stimulation. Che (2011) a également confirmé l'effet immunitaire des β -glucanes chez les porcelets sevrés. Les meilleurs résultats observés dans la présente étude proviennent du groupe combiné (MIXTE), avec une différence hautement significative comparée au groupe témoin et une moyenne très élevée de 130,53 g/L ($p = 0,00$). Ces résultats suggèrent que la supplémentation combinée en levure (**SC**)

et en fractions de levure (β -glucanes et Mannanes) a un effet synergique sur l'amélioration de l'immunité augmentant la concentration des IgG dans le colostrum. Ainsi, ce domaine mérite des recherches supplémentaires en testant différentes doses et combinaisons de différents types de suppléments.

1.1. Effet du BCS, l'âge, la parité et le sexe du nouveau-né sur la concentration colostral en IgG

Concernant les paramètres étudiés (score d'état corporel [BCS], âge, parité et sexe du nouveau-né), aucune différence significative n'a été observée concernant l'effet de la note d'état corporel sur la concentration en IgG du colostrum ($P = 0,776$). Cela pourrait être dû au fait que les trois types de traitements de supplémentation n'ont eu aucun effet sur la note du BCS des vaches suivies. Cette hypothèse est soutenue par Allbrahim (2010), qui a rapporté que la supplémentation en levure vivante *Saccharomyces Cerevisiae* (SC) n'a eu aucun effet sur le BCS ($P > 0,10$), ainsi que par une autre étude effectuée par Mostafa et al., (2014) qui ont montré que la supplémentation des vaches avec deux doses différentes de levure vivante SC n'a pas eu d'effet sur le BCS. Selon Allbrahim (2010), l'absence d'effet de la supplémentation en levure vivante sur la note du BCS pourrait refléter une absence d'effet sur la consommation de matière sèche (DMI), un facteur qui n'a pas été abordé dans la présente étude (tous les groupes reçoivent la même quantité) et la durée du suivi n'était pas aussi longue pour observer une différence aussi rapidement. Cela contraste avec les observations de Finck (2014), qui a rapporté une augmentation de la DMI et du gain de poids chez les bovins de boucherie supplémentés avec SC. Des résultats similaires ont été rapportés par Olagaray et al., (2019) pour des produits de fermentation de SC administrés aux vaches.

Une corrélation positive a été observée entre l'âge et la parité des vaches expérimentales ($P < 0,01$; $r = 0,70$), c'est pourquoi les effets de ces facteurs sur la concentration en IgG du colostrum sont discutés ensemble. Les résultats étaient un peu singuliers, malgré le fait que ni l'âge ni la parité (rang de lactation) n'aient montré d'effet ou d'interaction avec les traitements sur la concentration en IgG ($P > 0,05$). Godden (2019) a expliqué que les vaches les plus âgées produisent un meilleur colostrum. En effet, plusieurs études rapportent que la concentration en IgG dans le colostrum tend à augmenter avec la parité, en particulier à partir du troisième vêlage (Chigerwe et al., 2008; Gulliksen et al., 2008) ont suggéré que les vaches plus âgées sont davantage exposées aux antigènes et produisent donc plus d'anticorps. Weaver (2000) a fortement déconseillé l'omission du colostrum provenant de vaches primipares. (Avendaño-

Reyes et al., 2024) ont trouvé que la concentration des IgG du colostrum était influencée par la parité ($p < 0,01$) et a confirmé que les vaches multipares produisaient un colostrum de meilleure qualité, avec une concentration en IgG plus élevée, par rapport aux vaches primipares. Par conséquent, Godden (2019) recommande que le colostrum des vaches primipares ne soit pas jeté, mais plutôt testé en premier lieu.

Cependant, l'influence de la parité sur la concentration en IgG du colostrum n'a pas toujours été confirmée. Une étude menée sur 120 vaches prim'Holstein n'a montré aucune différence significative en fonction de la lactation (Chigerwe et al., 2008). Dans cette étude, la majorité des vaches étaient multipares (82,22 %) et 57,77 % avaient trois vêlages ou plus, ce qui pourrait expliquer pourquoi ces deux facteurs n'ont pas montré d'effet sur la concentration en IgG. En outre, les autres facteurs susceptibles d'améliorer la qualité du colostrum étaient presque homogènes : ferme, facteur génétique (même race de vaches), nutrition pendant la période péripartum, saison de vêlage, durée de la période sèche (deux mois avant la date prévue du vêlage) et délai de collecte du colostrum (première traite pour tous les échantillons de cette étude). Aucun effet significatif du sexe du NN n'a été observé sur la concentration en IgG ($P > 0,05$). De plus, aucune étude n'a investigué l'effet du sexe du nouveau-né sur la qualité du colostrum, en particulier sur la concentration en IgG.

1.2. Evaluation de la méthode de réfractomètre pour l'estimation de la qualité et la concentration des IgG dans le colostrum

Dans la présente étude, la concentration en IgG du colostrum a été mesurée par immunodiffusion radiale (IDR), qui reste la méthode de référence pour cette analyse. Cependant, les limites du IDR, notamment son coût élevé, sa durée et son faible champ d'application, constituent des inconvénients qui le rendent peu adapté à la gestion et au suivi de la santé des veaux (Uyama et al., 2022). Il existe plusieurs tests réalisables à la ferme pour évaluer la qualité du colostrum. Ces tests doivent être simples et précis. L'un de ces outils, le réfractomètre à %Brix, utilise la réfraction d'un faisceau lumineux pour déterminer le degré de solides dissous dans un liquide, permettant ainsi de calculer le pourcentage de Brix (Chigerwe et al., 2008 ; Morrill 2012) a démontré que cet outil est fiable pour déterminer la concentration d'IgG dans le colostrum.

Une corrélation positive a été observée entre l'IDR et le réfractomètre à %Brix ($r = 0,785$; $P < 0,01$) pour la mesure des IgG dans le colostrum, similaire à celle rapportée par Coleman

(2015), qui a indiqué que le colostrum de meilleure qualité chez les vaches était caractérisé par un seuil de Brix correspondant à une concentration d'IgG supérieure à 22 %. Odde (1988) a obtenu des résultats comparables avec un coefficient de corrélation de Pearson ($r = 0,71$). Cependant, Sockett (2023) a souligné que le réfractomètre à %Brix n'est pas précis pour estimer la concentration d'IgG du colostrum de première traite. Néanmoins, il peut être utilisé pour déterminer une concentration minimale d'IgG en utilisant des seuils de %Brix préétablis, correspondant à des concentrations de colostrum de première traite de 25, 50, 75 et 100 g/l.

Une autre observation faite par (Schalich & Selvara, 2022) indique que les performances du réfractomètre diminuent lorsque les valeurs de %Brix augmentent, en particulier lorsque celles-ci atteignent 30 % ou plus. Buranakarl (2021), a rapporté que le réfractomètre à %Brix peut être un outil acceptable pour évaluer uniquement le colostrum de faible qualité, c'est-à-dire lorsque la concentration en IgG est inférieure à 18,5 %.

2. Effet de la supplémentation sur les paramètres zootechniques

2.1. Effet de la supplémentation sur la note d'état corporel

Le jour de prélèvement a un effet significatif sur le BCS, avec une diminution progressive observée dans tous les groupes ($P < 0,05$, Tableau 7), cette diminution suit l'évolution de la production laitière. Cela a déjà été mentionné par (Ingvarsen & Andersen, 2000) qui ont rapporté qu'une vache en début de lactation peut perdre entre 30 et 60 kg pour soutenir la production laitière.

La supplémentation n'a pas montré un effet significatif sur le BCS ($P > 0,05$, Tableau 7). En revanche, le groupe supplémenté par la levure et un mélange entre levure et paroi de levure ont montré une certaine stabilité par rapport au groupe témoin qui a enregistré une diminution marquée du BCS passant de $3,18 \pm 0,25$ le premier jour de l'expérimentation à $2,25 \pm 0,17$, 60 jours après le vêlage. Ces dernières sont cohérentes avec les résultats de (Temim et al., 2009) et (Dann et al., 2000) qui ont constaté que les vaches supplémentées par la levure ont présenté une meilleure condition corporelle en *postpartum*, associé à une moindre perte de poids après vêlage. Cependant, dans notre étude, cette différence reste statistiquement non significative, cela est cohérent avec les résultats observés par Robinson (1997) et Nocek et Kautz (2006) qui n'ont trouvé aucune amélioration significative de l'état corporel après l'addition de levure à la ration de la vache en *peripartum*. En revanche, ces derniers ont enregistré une diminution de la perte de poids en *postpartum*. Pour le groupe supplémenté par la paroi de levure, aucune

différence significative n'est enregistrée en comparaison avec les autres groupes. Ces résultats sont similaires à ceux observés par Olagaray (2019), qui a trouvé que la supplémentation alimentaire des vaches laitières en produits de levure par 16 g/j en prépartum et 18 g/j en postpartum n'influence pas le score de l'état corporel.

Ces résultats montrent une mobilisation réduite des réserves corporelles endogènes, remarquée pour le groupe supplémenté par la levure SC et le groupe MIXTE qui reçoit un mélange entre levure et paroi de levure PL. Cette diminution pourrait indiquer une meilleure biodisponibilité énergétique qui ne peut être attribuée à une consommation accrue de matière sèche MS vu que les rations alimentaires étaient identiques pour tous les groupes dans nos conditions expérimentales. Elle semble plutôt être liée à la supplémentation de levure *Saccharomyces cerevisiae* dans l'alimentation.

2.2. Effet de la supplémentation sur la quantité et la qualité du lait

2.2.1. La quantité du lait

Les résultats représentés dans le tableau 8 illustrent l'effet de la supplémentation sur la quantité et la qualité du lait produites du début de lactation (J15) jusqu'au pic de lactation à J60. Une évolution de la quantité du lait produite par les vaches a été marquée pour les quatre groupes ($P=0,001$, Tableau 8) ce qui a déjà été confirmé dans la littérature, notamment par (Baptiste B Coulon & Pérochon, 2000) qui ont réalisé une analyse détaillée de la courbe de lactation, mettant en évidence une augmentation initiale de la production laitière jusqu'à atteindre un pic au 60^{ème} Jour PP. la supplémentation a influencé significativement la quantité du lait produite à J15 ($P= 0,02$) et J60 ($P= 0,001$). En revanche, dans la présente étude, bien qu'une augmentation de la production laitière ait été observée chez le groupe de vaches supplémentées avec *Saccharomyces Cerevisiae* (SC), cette différence n'était pas statistiquement significative. Ces résultats contrastent avec les travaux de (Kumprechtová et al., 2019) ; (Nasiri et al., 2019), (Enculescu, 2021) et (Sehati et al., 2022) (Du et al., 2022a), qui ont rapporté une augmentation de la production laitière chez les vaches supplémentées en levure vivante.

D'un autre côté, les résultats de (Sallam et al., 2020) et (Shi et al., 2019) soulignent que la supplémentation en *S. cerevisiae* n'améliore pas systématiquement la production laitière. Ces études suggèrent que l'efficacité de la levure pourrait dépendre de facteurs tels que la composition de la ration (notamment la teneur en amidon), le type de levure utilisée (culture

vivante ou inactive) et le stade physiologique des vaches. Ces éléments pourraient également expliquer l'absence de significativité dans nos résultats.

En outre, la synthèse de (Desnoyers et al., 2009 et de (Ahmed et al., 2024) ont montré que les effets bénéfiques de la levure sur la production laitière sont souvent liés à une meilleure efficacité de la fermentation ruminale. Cependant, comme l'ont souligné Erasmus et al. (2005), ces effets sont généralement plus prononcés chez les vaches à haut potentiel de production (plus de 30 kg/jour), tandis que les vaches à plus faible rendement peuvent ne pas bénéficier de manière significative de cette supplémentation.

Le groupe supplémenté en paroi de levure n'a également montré aucun effet significatif, ce qui concorde avec les résultats rapportés par Olagaray, (2019) dont la production laitière n'a pas été influencée par le traitement de type produit de levure ($P \geq 0,32$). Certaines études n'ont pas révélé d'effet des produits de levure sur la production laitière ((Dann et al., 2000); (Yuan et al., 2015)), tandis que d'autres ont mis en évidence des effets positifs ((Ramsing et al., 2009); Zaworski et al., 2014;(Acharya et al., 2017 ;Dias et al., 2018).

Enfin, il n'y a que le groupe qui a reçu une supplémentation mixte qui a apporté une amélioration significative ($P=0,004$) avec une augmentation d'une moyenne de 2,5 litres/ traite par jour par rapport au groupe témoin. Cela peut être expliqué par le fait que l'administration de levure en combinaison avec la paroi de levure fonctionne en synergie en attribuant à une augmentation des concentrations ruminales d'acides gras volatils (AGV), contribuant potentiellement à une meilleure fermentation ruminale et à une disponibilité accrue d'énergie pour la lactation(Kumprechtová et al., 2019)

2.2.2. La qualité du lait : matière grasse MG, protéines et lactose du lait

Nos résultats montrent un effet significatif de la supplémentation en levures et en paroi de levure sur la composition du lait, en particulier la teneur en matière grasse (MG), protéines et lactose, bien que l'effet varie en fonction du groupe de traitement et du jour de prélèvement. Ces résultats sont cohérents avec ceux de (Sehati et al., 2022) qui ont rapporté une augmentation de la teneur de lait en matière grasse suite à une supplémentation alimentaire en levure *Saccharomyces cerevisiae*. Contrairement aux observations de(Yalçin et al., 2011), ainsi que (Robinson, 1997);(Dann et al., 2000), (Kumprechtová et al., 2019), (Enculescu, 2021) et (Du et al., 2022b), qui n'ont pas trouvé d'effet significatif de la supplémentation en levures sur

la qualité du lait. Nos résultats révèlent une augmentation significative de la teneur en MG dans les groupes Mixte et SC à J15 et J45, comparativement au groupe témoin (Tableau 9). Ces résultats suggèrent que la combinaison de levures et de produits associés (groupe Mixte) pourrait amplifier les effets bénéfiques sur la MG par rapport à une supplémentation simple.

Concernant la teneur en protéines, l'effet de la supplémentation est également significatif, particulièrement dans le groupe Mixte, où des augmentations notables ont été observées à J15 ($P = 0,002$) et J60 ($P = 0,000$), de même (Enculescu, 2021) rapporte que la supplémentation des vaches pendant un an par 80g/tête/jour de levure SC apporte une augmentation de la teneur des protéines de lait produit. Ces résultats contrastent avec les études de (Dehghan-Banadaky et al., 2013) et (Kumprechtová et al., 2019), qui n'ont pas trouvé de modifications significatives de la teneur en protéines suite à une supplémentation en levures. Cette divergence pourrait être attribuée à la synergie entre les levures et les produits associés, favorisant une meilleure utilisation des nutriments pour la synthèse protéique.

En ce qui concerne le lactose, une diminution progressive a été observée dans les groupes CNT et SC au fil du temps, tandis que le groupe Mixte a montré une augmentation significative, atteignant $4,88 \pm 0,12 \%$ à J60 ($P = 0,003$). Cette tendance est en accord avec les résultats de (Dehghan-Banadaky et al., 2013), et (Enculescu, 2021) qui ont noté une augmentation du lactose dans certains groupes supplémentés. L'effet significatif du jour de prélèvement sur le lactose, observé dans notre étude, met également en évidence l'influence temporelle, un facteur également mentionné par (Olagaray et al., 2019), bien que leurs mécanismes soient encore peu clairs.

Le groupe supplémenté par la paroi de levure PL (produits de levure) ne montre aucune influence significative de la supplémentation sur la qualité du lait ; MG, protéines et lactose du lait, cela est cohérent avec les résultats rapportés par Olagaray, (2019); Nasiri, (2019) ; (Du et al., 2022) ; (Thomas et al., 2023).

Enfin, l'absence d'influence du jour de prélèvement sur la MG ($P > 0,05$) dans notre étude diffère des observations de (Nasiri et al., 2019), qui ont souligné une interaction complexe entre la supplémentation et le jour du prélèvement. Cela suggère que l'effet des levures sur la MG pourrait être stabilisé dans des conditions spécifiques, en particulier lorsque des produits combinés sont utilisés, comme dans notre groupe Mixte.

Ces résultats soulignent l'importance de la stratégie de supplémentation et du choix des produits pour maximiser l'impact sur la qualité du lait. Nos résultats confirment que l'utilisation d'une combinaison de levures et de produits fermentés peut améliorer les paramètres clés du lait, en particulier la MG, les protéines et le lactose, tout en minimisant les variations liées à la période de prélèvement.

3. Effet de la supplémentation sur les paramètres hématologiques

3.1. Les paramètres érythrocytaires

Les paramètres hématologiques mesurés (GR, HB, HT, VGM, CCMH, TCMH et PLA) révèlent des variations significatives principalement dues au jour du prélèvement ($P < 0,05$; tableau 10), reflétant les adaptations physiologiques des vaches laitières au cours de la période peripartum. Globalement, pendant la gestation, le sang des vaches montre une augmentation du contenu en érythrocytes et des paramètres liés aux globules rouges, ce qui résulte de l'adaptation de la mère à la croissance du fœtus et au début de la lactation (Wrzecińska et al., 2023) suivi d'une diminution progressive des GR, de l'HB et de l'HT. Ces résultats concordent avec ceux de (Ahmed Mohammed et al., 2021) indiquant une tendance à l'hémodilution post-partum, en lien avec les besoins métaboliques accrus et les ajustements liés au vêlage, rajoutant que dans notre étude, les vêlages ont été déroulés pendant la saison chaude de l'année, donc cette diminution pourraient être associées à un effet d'hémodilution dû à une augmentation de la consommation d'eau pour le refroidissement par évaporation pendant les périodes les plus chaudes (Mekroud et al., 2021). Cela a déjà été rapporté dans la littérature par (Belic et al., 2010 ; Morar & Hutu, 2018).

Paiano, (2019) rapporte que la diminution des GR, HB et HT pourrait être due au fait que les vaches en transition souffrent d'une période de bilan énergétique négatif, ce qui peut contribuer au déclenchement de processus inflammatoires pendant cette phase (Contreras & Sordillo, 2011). Pendant le processus inflammatoire, la production de cytokines pro-inflammatoires peut être augmentée ; ces cytokines jouent un rôle dans la modulation de la réponse inflammatoire en inhibant l'érythropoïèse via l'action sur les précurseurs érythroïdes (Chikazawa & Dunning, 2016).

Un état pro-inflammatoire exacerbé peut entraîner une suppression de l'érythropoïèse en raison des effets directs des cytokines sur la moelle osseuse ; ce processus limite la réponse érythropoïétique à l'érythropoïétine, qui devient insuffisante pour compenser la destruction des

érythrocytes. Cela conduit à une diminution des valeurs hématologiques (Nemeth & Ganz, 2014).

Les groupes supplémentés ont montré des tendances positives par rapport au groupe témoin, avec des valeurs généralement plus élevées pour les GR, l'HB et l'HT autour du vêlage, notamment pour les groupes PL et MIXTE. Ces résultats suggèrent un effet bénéfique des suppléments sur le maintien de l'intégrité des paramètres érythrocytaires, particulièrement durant les périodes critiques comme le jour de vêlage (J0) et à J45 *post-partum*. Par exemple, le groupe PL affiche les valeurs les plus élevées de GR et d'HB au moment du vêlage, tandis que le groupe MIXTE montre une supériorité à J15 et J45 *post-partum*. Contrairement à (Enculescu, 2021) qui n'a pas trouvé d'effet notable de la supplémentation des vaches par la levure pendant un an sur les paramètres hématologiques. Le VGM et la CCMH, bien qu'affichant des variations temporelles significatives, n'ont pas montré de différences notables entre les groupes, suggérant une évolution homogène de ces paramètres. Selon (D. Anni Jain Askwith Mary & Azhagu Raj, 2023), l'étude comparative de l'effet de probiotiques et prébiotiques, a montré une amélioration de manière significative ($P < 0,05$) des paramètres hématologiques avec une supplémentation de 12 % en probiotique par rapport à 12 % en prébiotique. Ces résultats suggèrent que la supplémentation alimentaire avec des probiotiques était plus efficace que celle avec prébiotiques pour améliorer le profil hématologique. Cependant, le groupe MIXTE se distingue par des valeurs élevées de CCMH, reflétant une meilleure concentration d'hémoglobine par globule rouge. La stabilité de la TCMH dans tous les groupes traduit une constance dans la teneur en hémoglobine par érythrocyte, indépendamment des traitements. Cela a été déjà observé par (Al-Ali et al., 2023) qui ont rapporté une augmentation significative des paramètres hématologiques chez la volaille suite à une supplémentation alimentaire combinée entre *Saccharomyces Cerevisiae* et un autre probiotique, bien que cette espèce réponde à un autre type de système digestif.

Les plaquettes (PLA) présentent une variation temporelle marquée avec des différences initiales entre les groupes à J-30, mais ces écarts s'atténuent au fil du temps. Les groupes supplémentés maintiennent globalement des valeurs supérieures, suggérant un impact potentiel des suppléments sur le soutien de la fonction hématopoïétique.

3.2. Les paramètres leucocytaires

Le système immunitaire subit des modifications dynamiques tout au long de la gestation afin de s'adapter au développement du fœtus. Le système immunitaire maternel doit trouver un

équilibre délicat entre la protection contre les agents pathogènes et la tolérance vis-à-vis du fœtus, qui est semi-allogénique. Une suppression immunitaire pendant certaines phases de la gestation, notamment autour de la parturition, peut augmenter le risque de maladies.

L'analyse des paramètres leucocytaires montrent une modulation immunitaire liée aux traitements et aux stades physiologiques, la teneur des globules blancs (GB), neutrophiles, monocytes et lymphocytes ont été variés significativement avec le jour de prélèvement, ce qui indique que ces derniers varient selon le déroulement des phénomènes inflammatoires physiologiques, tel que le vêlage et l'involution utérine en postpartum qui causent une augmentation du nombre des cellules immunitaires ou bien une diminution suite au stress et une réponse à une sécrétions de corticoïdes (Claire, 2009).

Les valeurs des globules blancs totaux (GB), ont été majoritairement dans les normes, sauf une valeur élevée dans le groupe SC à J15 PP ($12,78 \pm 1,88 \times 10^3/\mu\text{L}$) avec une valeur légèrement supérieure. Les groupes SC et PL affichent des pics aux jours J0 et J15 PP, suggérant une stimulation immunitaire liée au vêlage et au type de supplémentation. Le groupe MIXTE présente des valeurs basses, particulièrement à J60 PP, mais restent dans les normes, indiquant une absence de stimulation pathologique.

Les neutrophiles (Neu) ont été globalement dans la plage normale, mais des valeurs élevées sont remarquées dans le groupe PL à J0 et des niveaux très bas dans le groupe MIXTE à J60 PP, indiquant une réduction potentielle des défenses inflammatoires. Les valeurs des monocytes ont été dans les normes physiologiques sauf dans le groupe MIXTE à J45 PP ($3,54 \pm 0,38 \times 10^3/\mu\text{L}$), où une forte augmentation est observée, suggérant une réponse inflammatoire chronique. Les cellules lymphocytaires (Lym) étaient dans les normes, sauf dans le groupe MIXTE à J45 PP ($0,59 \pm 0,05 \times 10^3/\mu\text{L}$), traduisant une immunosuppression. Les groupes SC et PL montrent des pics à J0 et J15 PP, reflétant une stimulation liée au vêlage et aux traitements ($P < 0,05$).

Les produits à base de levure sont souvent donnés au bétail sous forme de levure vivante (SC), de parois cellulaires de levure PL, ou d'une combinaison des deux (MIXTE). L'un des principaux composants des levures et de leurs parois cellulaires est constitué de polysaccharides tels que l' α -D-glucane et le β -D-glucane (Kogan & Kocher, 2007). Ces polysaccharides interagissent non seulement directement avec les cellules immunitaires, mais ils sont également capables de lier les bactéries pour empêcher l'attachement et la colonisation des pathogènes dans le tractus gastro-intestinal (Ruiz-Herrera, 2016). En plus de leur rôle dans

la lutte contre les pathogènes (Broadway et al., 2015a), les composants de la paroi cellulaire des levures peuvent posséder des propriétés antioxydantes (Babincová et al., 1999 ; Kogan et al., 2005) et antitumorales (Khalikova et al., 2005). Du point de vue de la santé et de l'immunité animale, les composants de la paroi cellulaire des levures provenant de *Saccharomyces cerevisiae* ont été rapportés comme favorisant la libération de cytokines par les macrophages (Majtán et al., 2005), et pourraient être impliqués dans la modulation des cellules immunitaires chez de nombreuses espèces (Medzhitov & Janeway, 2000) .

Bien que l'effet immuno- modulateur de la levure chez les vaches laitières ne soit pas encore clairement compris, des recherches antérieures ont rapporté que les levures et les produits dérivés de la paroi cellulaire de *Saccharomyces Cerevisiae* sont des composés immunomodulateurs qui interagissent directement et indirectement avec les agents pathogènes ainsi qu'avec les composants du système immunitaire (Kogan & Kocher, 2007 ; Medzhitov & Janeway, 2000). D'autres chercheurs ont suggéré que l'interaction des composés antigéniques de la levure, tels que le β -glucane ou les mannan-oligosaccharides, avec les cellules immunitaires gastro-intestinales, contribue à la synthèse et à la libération de cytokines pro-inflammatoires par les macrophages (Broadway et al., 2015b). En plus, le **β -glucane qui est un composant dans le groupe SC et PL**, un polysaccharide classé comme modificateur de la réponse biologique (Bohn & BeMiller, 1995) et a été rapporté comme améliorant la fonctionnalité des macrophages et des neutrophiles (Williams et al., 1996)

Les éosinophiles étaient faibles pour tous les groupes, avec une légère augmentation dans le groupe SC à J0. Les traitements antiparasitaires influencent ces valeurs à certains moments précis. Et les basophiles étaient légèrement supérieurs aux normes, atteignant des pics dans le groupe Témoin à J60 PP et dans le groupe MIXTE à J15 PP, qui pourrait être d'origine allergique.

Les composés immuno- modulateurs couramment présents dans les levures et les produits dérivés des levures possèdent également la capacité d'inhiber l'apparition de maladies causées par des protozoaires et des virus (Goldman & Jaffe, 1991 ; Rouhier et al., 1995). Certaines recherches ont spécifiquement étudié les effets des composants de la paroi cellulaire des levures sur les leucocytes, notant une augmentation des cytokines pro-inflammatoires, des bouffées oxydatives (stress oxydatif) et de la chimiotaxie (B. W. LeBlanc et al., 2006). Bien que l'amélioration de l'expression des biomarqueurs immunitaires soit utile en cas d'agression

immunologique, la production de ces composés augmente les besoins énergétiques et pourrait ne pas être bénéfique aux performances d'un animal en bonne santé (Broadway et al., 2015a).

Les levures et les produits dérivés des levures ont démontré leur capacité à modifier la fonction immunitaire, notamment en influençant les concentrations de globules blancs (GB) et de cytokines. Selon (Kim et al., 2011), l'utilisation de levure hydrolysée chez les bovins a permis de prévenir une diminution des globules blancs (GB), un indicateur clé de la santé immunitaire. Par ailleurs, l'étude de (Burdick Sanchez et al., 2020) rapporte qu'un produit de fermentation de *Saccharomyces Cerevisiae* a conduit à une augmentation des globules blancs et des plaquettes, tout en réduisant les cytokines pro-inflammatoires et les niveaux de fibrinogène, ce qui souligne son potentiel anti-inflammatoire. De plus, la supplémentation en paroi cellulaire de levure (PL) a montré une réduction significative des concentrations d'IL-6 produite par les cellules immunitaires, comme indiqué par (Sanchez et al., 2013), et une diminution des protéines de phase aiguë (Burdick Sanchez et al., 2020). Enfin, chez les veaux laitiers, la supplémentation en levure a amélioré la fonction des neutrophiles, contribuant ainsi à une meilleure réponse immunitaire globale, comme le démontrent les travaux de (Fomenky et al., 2018). Ces résultats soulignent le rôle immuno- modulateur des produits à base de levure et leur capacité à soutenir la santé et la performance des bovins dans diverses conditions.

Les données de notre étude montrent que le vêlage et la supplémentation influencent différemment les réponses immunitaires, avec une stimulation notable dans les groupes SC et PL, et une immunosuppression potentielle dans le groupe MIXTE à long terme. Cependant, ces réponses semblent dépendre du type de produit utilisé, du stade de production animale, ainsi que de l'état de santé général de l'animal.

4. Effet de la supplémentation sur les paramètres biochimiques

Le métabolisme des vaches laitières est complexe et fonctionne différemment selon le stade de croissance, de lactation ou de gestation. Pendant la lactation, les besoins et les apports changent à des rythmes différents. Ces changements sont plus prononcés au moment du vêlage et des maladies métaboliques surviennent. Nous concentrons donc notre attention sur cette période allant du tarissement J-30 au pic de lactation J60 PP. Cette étape de vie d'une vache est illustrée par des modifications des « signatures biochimiques » qu'il nous semble intéressant d'étudier, (bilan énergétique : glycémie, les triglycérides et cholestérol. Bilan protéique : protéines totales, albumine, urée et créatinine et les enzymes hépatiques ASAT et ALAT). Ces

paramètres sont souvent utilisés pour évaluer l'état nutritionnel de la vache en phase de transition (Mohebfi-Fani et al., 2005 ; Temim et al., 2009)

Pendant la gestation, les vaches subissent des changements physiologiques significatifs pour soutenir le développement du fœtus et se préparer à la lactation. La surveillance des indicateurs biochimiques dans le sang des vaches à différents stades de la gestation peut fournir des informations précieuses sur leur état de santé et leurs performances reproductives. Parmi ces indicateurs essentiels, certains sont couramment évalués au cours des différentes périodes de la gestation (Alhussien & Dang, 2018 ; Rutigliano et al., 2022).

Le dosage de la glycémie, des triglycérides et du cholestérol chez la vache laitière présente des limites en tant qu'indicateur du bilan énergétique. Ainsi, pour une évaluation plus précise du bilan énergétique, il est recommandé de combiner plusieurs indicateurs métaboliques, tels que les acides gras non estérifiés (AGNE) et le BHB, plutôt que de se fier uniquement à la glycémie (Lenogue & Lescure, 2022b) . Les dosages de la glycémie des TG et du cholestérol restent un bon choix pour avoir une estimation sur le bilan énergétique car la glycémie reflète indirectement la disponibilité énergétique issue de la néoglucogenèse. Une hypoglycémie indique une insuffisance d'apport énergétique. Tandis que les triglycérides et le cholestérol fournissent des informations sur le métabolisme lipidique. Ensemble, ils permettraient une vue d'ensemble du bilan énergétique (Lenogue & Lescure, 2022).

Les résultats de notre étude montrent que le jour de prélèvement influence significativement les taux de TG et du cholestérol contrairement à la glycémie. L'effet de la supplémentation est devenu statistiquement significatif généralement à partir du vêlage, cet effet était plus remarquable sur le taux de triglycérides J-15, J0, J15, J45 et J60 pour les groupes supplémentés par rapport au groupe témoin et surtout pour le groupe Mixte. Ces résultats contrastent avec ceux de (Enculescu, 2021) qui a observé que le profil énergétique (glucose et cholestérol) a montré des variations fluctuantes, pour le glucose sans être influencé par l'ajout de levure ($P > 0,05$). En ce qui concerne le cholestérol total, les valeurs moyennes obtenues étaient plus faibles dans le groupe expérimental par rapport au groupe témoin, ce qui pourrait indiquer une stimulation des dépôts/accumulations d'acides gras libres ou non estérifiés. Les résultats de Wafa, (2020) montrent que les vaches traitées avec de la culture de levures et leurs veaux dans le groupe supplémenté présentaient des concentrations sériques significativement ($P < 0,05$) plus élevées en lipides totaux, en cholestérol total et en glucose. Temim, (2009) partage des résultats généralement contradictoires à nos résultats concernant la glycémie ou il est rapporté

que la glycémie du groupe supplémenté est toujours plus élevée que celle du groupe témoin, alors que dans nos résultats, tous les groupes présentent des valeurs quasi-comparables, alors que ces résultats sont similaires à nos résultats concernant les teneurs sériques du cholestérol mesurées à J0 chez les vaches témoins et complémentées en levure. Avec la complémentation, l'analyse statistique ne révèle aucune modification significative des valeurs sériques du cholestérol entre les deux lots. Toutefois, la cholestérolémie mesurée à J35 et J49 PP semble plus faible chez les vaches du lot « Levure » par rapport au témoin, et les concentrations plasmatiques initiales en triglycérides (TG) ne sont pas statistiquement différentes entre les 2 lots. En revanche, les valeurs mesurées à la mise bas et à J 35 PP sont nettement plus faibles chez les vaches complémentées en *Saccharomyces cerevisiae* comparées aux vaches témoins. (Goetz et al., 2021) rapportent que la concentration de triglycérides, de cholestérol a été significativement réduite dans le groupe supplémenté ($P < 0,05$).

Il est intéressant de relever que même si la glycémie des vaches complémentées en *Saccharomyces Cerevisiae* soit diminuée à l'approche du part (baisse physiologique), l'apport de levure probiotique semble maintenir une teneur plasmatique en glucose dans la plage de valeurs normales surtout pour le groupe MIXTE (0,52 g/l à la mise bas et 0,55 g/l à 60 jours PP). Cet effet positif de la levure sur la glycémie est aussi rapporté par d'autres auteurs, (Piva et al., 1993 ; Nocek et Kautz 2006). Dans nos conditions d'essai, les glycémies légèrement plus élevées dans les groupes supplémentés, induites par l'apport de levure et paroi de levure, traduiraient un bilan énergétique moins altéré en peripartum. Les résultats concernant l'effet du traitement de levure ont indiqué des modifications marquées des métabolites énergétiques sanguins sous l'effet de la supplémentation en levure (Sanchez et al., 2014).

Les résultats montrent que la supplémentation alimentaire influence significativement les indicateurs du métabolisme protéique. Les protéines totales (PT) sont significativement plus élevées dans les groupes supplémentés (PL et MIXTE) par rapport au groupe témoin, sans interaction significative avec le jour de prélèvement. Cette augmentation ne pourrait pas être d'origine alimentaire car tous les groupes se nourrissent de la même ration, mais par contre elle peut être expliquée par la supplémentation de type paroi de levure qui contient une concentration importante en protéine et la levure *Saccharomyces. C* favorise la microflore ruminale productrice de protéines. Les niveaux d'albumine restent globalement stables et dans la norme, avec des fluctuations autour du vêlage et des effets significatifs de la supplémentation à certains moments J-15 et J15 PP. Les concentrations d'urée sont généralement plus faibles

dans les groupes supplémentés, suggérant une meilleure utilisation de l'azote alimentaire par rapport au groupe témoin. La créatinine présente des variations importantes en fonction des jours avec une interaction significative entre le jour de prélèvement et la supplémentation, avec des niveaux plus stables dans les groupes supplémentés, traduisant une gestion métabolique améliorée et une meilleure préservation de la masse musculaire.

Wafa, (2020) trouve que les vaches supplémentées avec d'une culture de levures présentaient des concentrations plasmatiques significativement plus élevées en protéines totales, albumine ($P < 0,05$). Cependant, la concentration de créatinine était la plus basse chez les vaches traitées cependant, aucune différence significative n'est enregistrée.

De manière générale, les effets positifs du traitement à base de levure *Saccharomyces. C* sur l'amélioration des paramètres biochimiques sanguins sont conformes aux résultats de (Ghoneem & Mahmoud, 2014) et (Fröhdeová et al., 2014b).

Par contre (Enculescu, 2021) trouve que l'alimentation à base de levure n'a pas affecté la concentration d'albumine dans le sérum pendant la période expérimentale, aucune différence significative n'a été détectée entre les groupes pendant la période expérimentale, mais le jour du prélèvement a eu un effet significatif.

Mostafa, (2014) a rapporté dans son étude sur l'effet de l'incorporation des probiotiques dans l'alimentation des vaches laitière que pendant la période prépartum, les concentrations des paramètres biochimiques sanguins, notamment les protéines totales (TP), l'albumine (ALB), la créatinine et l'urée dans le sérum des vaches, n'ont pas été significativement affectées par la supplémentation en probiotiques alimentaires. Cependant, pendant la période de lactation (post-partum), la concentration en albumine a augmenté de manière significative ($P < 0,05$). Chez les ruminants, la concentration de TP plasmatique peut être un indice pour évaluer les nutriments lorsqu'ils sont nourris avec des niveaux adéquats ou faibles de protéines brutes (Kumar et al., 1980). Une corrélation positive entre les protéines alimentaires et la concentration de TP plasmatique a été rapportée par Bush (1989). En accord avec les présents résultats, Ibrahim (2004) a constaté que la supplémentation en culture de levure avait un effet insignifiant sur la concentration de TP dans le plasma des bufflonnes en lactation. Fayed (2001) a observé une augmentation insignifiante de la TP sérique avec la supplémentation en Yea-Sacc chez les moutons et les chèvres.

Farag (2004) a trouvé que la supplémentation en levure que la concentration moyenne d'AL augmentait légèrement. Par ailleurs, la supplémentation en culture de levure a augmenté la concentration de TP chez les bufflonnes en lactation (Ibrahim, 2004 ; Salem et al., 2002) et les agneaux (El-Shaer, 2003), tandis que les niveaux d'AL dans le sang n'étaient pas affectés chez les bufflonnes (Ibrahim, 2004) et les moutons (El-Shaer, 2003). Cependant, la supplémentation en culture de levure a significativement diminué la concentration plasmatique d'AL chez les veaux buffles en croissance (El-Ashry et al., 2001).

Nasiri, (2019) Rapporte une absence de différence significative dans les niveaux sanguins de créatinine entre le groupe témoin et supplémenté par la levure *Saccharomyces Cerevisiae*. Les niveaux sanguins de créatinine et d'urée sont des indicateurs de l'activité rénale, et leur augmentation est généralement un signe de catabolisme musculaire squelettique (Osorio et al., 2014). Lorsque le catabolisme musculaire se produit, la créatinine est formée comme produit de la dégradation de la créatine (Russell et Roussel, 2007).

Les enzymes hépatiques ASAT et ALAT ont montré une influence significative du jour de prélèvement ($p < 0,05$), cela veut dire que leurs concentrations variaient en fonction du jour de prélèvement, suggérant une modification de l'activité enzymatique hépatique autour du vêlage. Tandis que l'effet de la supplémentation n'était pas significatif sur l'activité des transaminases chez les vaches laitières en transition ($p > 0,05$). L'ASAT est une enzyme induite, retrouvée en concentration élevée au niveau hépatique et dans les muscles (cardiaques et squelettiques) de toutes les espèces, c'est une enzyme non spécifique qui nécessite d'être analysée en association avec d'autres variables (Lassen E.D al, 2004). Chez les bovins, l'ALAT n'est pas spécifique pour le foie pour avoir une signification diagnostique (Kramer & Hoffman, 1997).

Nos résultats sont contradictoires avec ceux de Wafa, (2020), qui montrent que l'activité des enzymes ALAT et ASAT était plus faible chez les vaches traitées avec une culture de levure. Nasiri, (2019) a rapporté une absence d'effet du traitement sur les niveaux sanguins de L'ASAT et ASAT et a indiqué que la supplémentation en levures n'a eu aucun impact sur la fonction hépatique. Toutefois, Battacone et al. (2009) ont rapporté que l'ajout de levures sèches dans l'alimentation des brebis laitières en fin de lactation n'avait aucun effet sur l'activité des enzymes hépatiques (ASAT et ALAT). Dans le même sens de nos résultats, Mostafa, (2014) a montré que les activités des transaminases (ASAT et ALAT) n'ont pas été significativement affectées par la supplémentation en probiotiques pendant les périodes pré- et post-partum.

Selon Pechová et al. (2002), l'activité de l'ASAT augmente chez les vaches laitières souffrant de stéatose hépatique ou présentant des troubles métaboliques énergétiques, ce qui rend cette activité très variable d'un individu à l'autre. En accord avec les résultats, Sretenović et al. (2008) ont rapporté une activité non affectée de l'ASAT et de l'ALAT dans le sang des vaches laitières. Malgré des différences significatives dans certains indicateurs sanguins individuels, leurs concentrations ne semblent pas liées à la supplémentation en levure mais plutôt à l'alimentation et aux caractéristiques individuelles des vaches.

Étude économique : Impact de l'incorporation d'un mélange entre probiotique et prébiotique sur la rentabilité des élevages laitiers

Pour évaluer la rentabilité de l'utilisation d'un mélange de levures probiotiques et de paroi de levure dans l'alimentation des vaches laitières pendant une période de 90 ± 5 jours, il est essentiel d'analyser deux aspects fondamentaux : l'augmentation de la production laitière et la réduction des dépenses associées à cette pratique. L'objectif principal est de déterminer si l'amélioration de la quantité du lait se traduit par une augmentation de la rentabilité des exploitations laitières.

Démarche

1. Calculer les coûts supplémentaires liés à l'utilisation d'un mélange de 5g/Jour/vache de probiotique (levure *Saccharomyces Cerevisiae*) et 5g/jour/vache de Paroi de levure ;
2. Calculer la moyenne de l'augmentation de la quantité du lait par vache et par jour ;
3. Analyser le retour sur investissement de l'utilisation des probiotiques.

Collecte de données

- **Intrants :**

- Prix des probiotiques : 40000 DZD un sac de 25kg (1Kg est à 1600 DZD)

5g/ jour / vache est à : **8 DZD**

- Prix des prébiotiques : 34500 DZD un sac de 25 kg (1kg est à 1380 DZD)

5g/jour/vache est à : **6,9 DZD**

- Le cout d'un mélange de 5g de levure et 5g de paroi de levure par jour

$(8+6,9) = \mathbf{14,9 \text{ DZD}}$ par jour par vache

- La supplémentation dure 95 jours donc :

$14,9 \times 95 = \mathbf{1387 \text{ DZD}}$

Donc le cout de la supplémentation pendant la période expérimentale pour une vache est de **1387 DZD**

- La moyenne de l'augmentation la quantité du lait est de 2,5 litres par traite par vache donc 5 litres par jour.

$$5 \text{ litres} \times 60 \text{ Jours de lactation} = \mathbf{300 \text{ litres/vache}}$$

- Le prix d'un litre de lait selon le Ministère de l'agriculture est de **65 DZD**, sans prendre en considération la subvention :

$$300 \text{ litres} \times 65 \text{ DZD} = \mathbf{19500 \text{ DZD}}$$
 pour une vache supplémentée.

Retour sur investissement

- Coût supplémentaire : **1387 DZD/vache**.
- Revenus supplémentaires : **19500 DZD/vache**.

On soustraire le coût de la supplémentation du revenu supplémentaire

$$19500 - 1387 = 18\,113 \text{ DZD}$$

Cela signifie que la supplémentation est extrêmement rentable, avec un retour financier très élevé par rapport au coût engagé.

L'utilisation des probiotiques génère un bénéfice économique à court terme par rapport à la quantité du lait sans prendre en considération la qualité du lait. Cependant, d'autres bénéfices indirects (meilleure santé des veaux, réduction des coûts vétérinaires) pourraient donner d'autres bénéfices.

Conclusion

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'impact positif de la supplémentation en probiotiques (*Saccharomyces Cerevisiae*), en prébiotiques (fractions de paroi de levure) et en synbiotiques (combinaison de levures et de parois de levure) sur la santé et les performances des vaches laitières durant la période de transition. Cette période critique, qui s'étend du dernier mois de gestation jusqu'aux premiers mois de lactation, représente une phase physiologiquement complexe, marquée par des adaptations métaboliques, immunitaires et productives importantes.

L'étude a démontré que l'incorporation de suppléments nutritionnels à base de levures influence favorablement la qualité du colostrum, notamment par une augmentation de la concentration en immunoglobulines G (IgG). Ces résultats soulignent le rôle potentiel des levures et de leurs dérivés dans le renforcement de l'immunité passive des veaux par un transfert colostrale optimisé. Toutefois, les variations observées dans les résultats de différentes études soulignent l'influence de facteurs tels que la dose, la saison, la race des animaux et leur régime alimentaire, des éléments qu'il serait pertinent de standardiser dans des recherches futures.

Par ailleurs, nos travaux ont confirmé l'utilité du réfractomètre à % Brix comme méthode rapide et pratique pour estimer la concentration en IgG du colostrum, bien que cette technique présente une précision inférieure à celle de la méthode RID. En dépit de ses limites diagnostiques, cet outil constitue une solution accessible pour la gestion des échecs de transfert de l'immunité passive en élevage.

Concernant les performances de production, la supplémentation en levures, en parois de levures ou synbiotiques a montré des effets différenciés. L'apport en levure seule a particulièrement stimulé la production laitière, avec une augmentation notable des volumes produits et une amélioration de la composition du lait en matière grasse, protéines et lactose. Le groupe recevant une combinaison de levure et de paroi de levure (synbiotique) a également montré des performances accrues, suggérant une synergie bénéfique entre les deux types de suppléments. Toutefois, le score corporel des vaches (BCS) n'a pas été significativement affecté, ce qui peut s'expliquer par des effets compensatoires liés à la mobilisation des réserves énergétiques pour soutenir une production laitière élevée.

L'analyse des profils hématologiques a révélé une meilleure stabilité des paramètres chez les vaches supplémentées, particulièrement dans le groupe recevant *Saccharomyces Cerevisiae*. Les paramètres tels que l'hématocrite (Ht), la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH) et les plaquettes se sont montrés plus résistants aux variations temporelles, comparativement au groupe témoin. Ces résultats indiquent une influence positive des levures sur les performances hématologiques et, par extension, sur la capacité des animaux à faire face aux défis physiologiques et immunitaires de la période de transition.

D'un point de vue biochimique, les suppléments n'ont pas induit de changements majeurs, à l'exception d'une diminution des triglycérides plasmatiques, suggérant une mobilisation accrue des réserves lipidiques sous forme d'acides gras libres pour répondre aux besoins énergétiques. Par ailleurs, une augmentation des protéines totales a été observée, notamment dans les groupes recevant la paroi de levure ou le mélange synbiotique, ce qui pourrait être lié à la richesse de la paroi de levure en acides aminés.

Ces résultats appuient l'idée que les suppléments à base de levures jouent un rôle clé dans la modulation des réponses immunitaires et métaboliques, probablement en améliorant la disponibilité énergétique lors d'un défi immunitaire. Cependant, les mécanismes sous-jacents à ces effets restent encore à élucider. Les données récentes suggèrent une interaction complexe entre les produits à base de levures et le métabolisme énergétique, ce qui ouvre des perspectives prometteuses pour de futures recherches sur les besoins énergétiques du système immunitaire.

En conclusion, cette étude met en lumière l'intérêt d'une supplémentation stratégique en *Saccharomyces Cerevisiae* et en paroi de levure durant la période de transition des vaches laitières. Tandis que la levure seule améliore significativement la production laitière, les parois de levure favorisent une augmentation des protéines plasmatiques. L'approche synergique, combinant ces deux types de suppléments, semble être la stratégie la plus efficace pour optimiser simultanément les performances de production et les paramètres immunitaires. Ces résultats offrent des perspectives concrètes pour améliorer la gestion nutritionnelle et sanitaire des bovins laitiers, contribuant ainsi à une meilleure durabilité et rentabilité des systèmes d'élevage.

Recommendations

Recommandations

- Sensibilisations des éleveurs en rédigeant des guides pratiques sur l'utilisation des probiotiques et prébiotiques, avec des exemples chiffrés montrant le revenu élevé.
- Organiser des séminaires, publier des articles scientifiques ou vulgariser pour montrer la rentabilité de la méthode et insister sur les avantages pour la santé des veaux et la durabilité des élevages.
- Les décideurs publics pourraient intervenir en proposant des subventions pour réduire le coût initial de ces suppléments.
- Une étude à plus grande échelle est recommandée pour évaluer les impacts économiques globaux sur la filière lait.
- Réaliser des suivis à plus long terme pour évaluer l'effet des probiotiques sur la santé des vaches, la production laitière et la qualité des produits.
- Étudier d'autres facteurs qui peuvent être influencés par la supplémentation.
- Étudier l'effet de la supplémentation sur d'autres races laitières, mais aussi pour les races à viande qui sont prédisposées aux problèmes d'acidose suite à leur régime alimentaire riche en concentré.
- Tester différents probiotiques : Comparer plusieurs types ou souches pour identifier celles qui offrent le meilleur rapport coût-efficacité.
- Combiner les approches : Étudier l'effet combiné des probiotiques avec d'autres pratiques d'alimentation ou de gestion.
- Étudier l'impact sur les produits transformés : Analyser si la qualité du lait enrichi en probiotiques ou prébiotiques améliore celle des produits dérivés (yaourts, fromages, etc.).
- Former les éleveurs : Offrir des formations sur l'intégration efficace des probiotiques et prébiotiques dans les rations alimentaires.
- Planifier les périodes critiques : Prioriser l'utilisation des probiotiques et prébiotiques pendant le péripartum, période où les bénéfices sont maximaux.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

1. **Acharya, S., Pretz, J. P., Yoon, I., Scott, M. F., & Casper, D. P. (2017).** Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* fermentation products on the lactational performance of mid-lactation dairy cows. *Translational Animal Science*, 1(2), 221–228. <https://doi.org/10.2527/TAS2017.0028>
2. **Adjei-Fremah, S., Ekwemalor, K., Asiamah, E. K., Ismail, H., Ibrahim, S., & Worku, M. (2018).** 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>
3. **Ahmad Para, I., Singh, M., Punetha, M., Hussain Dar, A., Ahmad Naik, M., Salam Teli, A., & Gupta, D. (2019).** Milk production and feed efficiencies as affected by dietary yeast (*Saccharomyces Cerevisiae*) supplementation during the transition period in Murrah buffaloes. *Biological Rhythm Research*, 50(5), 718–725. <https://doi.org/10.1080/09291016.2018.1490869>
4. **Ahmed Mohammed, W., Mossa Ali, H., Razzak Abbas Aljanabi -, H., Saran Abdullah Aljumaily, A., Khalaf Hasan Aljumaily -, T., Karim, A. M., Al-Waith, H. K., Mohammed Al-Jubori -, S., Saeed, O. A., Jaber, B. T., Mohammed, M., Sani, U. M., Ziara, K. S., & Saad, H. M. (2021).** Impacts of heat stress on blood metabolic in different periods of lactation and pregnancy in Holstein cows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012013>
5. **Ahmed, B., Setiaji, A., Praharani, L., Khan, F. ahmed, Pandupuspitasari, nuruliariz K. shinta, sholiKin, mohammad mi F. K., Negara, W., Ali, A., Yousaf, muhammad riz W., zulFiqar, H., & munaWar, A. (2024).** Unlocking Insights into *Saccharomyces Cerevisiae* and Milk Yields: A Meta-Analysis. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(8), 1517–1524. <https://doi.org/10.17582/JOURNAL.AAVS/2024/12.8.1517.1524>
6. **Aikman, P. C., Henning, P. H., Humphries, D. J., & Horn, C. H. (2011).** Rumen pH and fermentation characteristics in dairy cows supplemented with *Megasphaera elsdenii* NCIMB 41125 in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 94(6), 2840–2849. <https://doi.org/10.3168/JDS.2010-3783>

7. **Al-Ali, S. A., Ebrahim, S. K., & Al-Sabaawy, H. B. (2023).** Effect of antibiotic substitution with *Saccharomyces Cerevisiae* and probiotic on hematic parameters and growth performance of broilers. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 37(3), 667–673. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2023.137187.2648>
8. **Alhussien, M. N., & Dang, A. K. (2018).** Impact of different seasons on the milk somatic and differential cell counts, milk cortisol and neutrophils functionality of three Indian native breeds of cattle. *Journal of Thermal Biology*, 78, 27–35. <https://doi.org/10.1016/J.JTHERBIO.2018.08.020>
9. **Allbrahim, R. M., Crowe, M. A., Duffy, P., O'Grady, L., Beltman, M. E., Mulligan, F. J. (2010).** The effect of body condition at calving and supplementation with *Saccharomyces Cerevisiae* on energy status and some reproductive parameters in early lactation dairy cows. *Animal reproduction science*, 121(1-2), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.04.183>.
10. **Al-Saiady, M. Y. (2010).** Effect of probiotic bacteria on immunoglobulin G concentration and other blood components of Newborn calves.
11. **Anadón, A., Rosa Martínez-Larrañaga, M., & Aranzazu Martínez, M. (2006).** Probiotics for animal nutrition in the European Union. Regulation and safety assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 45(1), 91–95. <https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2006.02.004>
12. **Andres Contreras G, & Sordillo LM. (2011).** Lipid mobilization and inflammatory responses during the transition period of dairy cows. *Elsevier*, 34, 281–289. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147957111000178>
13. **Anee, I. J., Alam, S., Begum, R. A., Shahjahan, R. M., & Khandaker, A. M. (2021).** The role of probiotics on animal health and nutrition. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 82(1). <https://doi.org/10.1186/s41936-021-00250-x>
14. **Aubadie-Ladrix M. (2011).** La cétose de la vache laitière. *Bulletin des GTV*, 59, pp 79-88.
15. **Auberval, N. (2010).** Prévention du stress oxydant dans le diabète et ces complications par des antioxydants d'origine naturelle.

16. **Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Sánchez-Castro, M. A., Anzures-Olvera, F., Vicente-Pérez, R., Mellado, M., ... & López-Baca, A., (2023).** Effects of parity, seasonal heat stress, and colostrum collection time postpartum on colostrum quality of Holstein cattle in an arid region. *International Journal of Biometeorology*, 68(3), 427-434. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02601-5>.
17. **Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Sánchez-Castro, M. A., Anzures-Olvera, F., Vicente-Pérez, R., Mellado, M., Zamorano-Algándar, R., Robinson, P. H., Castañeda-Bustos, V. J., & López-Baca, A. (2024).** Effects of parity, seasonal heat stress, and colostrum collection time postpartum on colostrum quality of Holstein cattle in an arid region. *International Journal of Biometeorology*, 68(3), 427–434. <https://doi.org/10.1007/S00484-023-02601-5>
18. **Ayad, M. A., Benallou, B., Saim, M. S., Derrar, S., Benzineb, F. Z., Haddouch, Z., & Abdelhadi, S. A. (2017).** effect of supplementing arabian and barbe pregnant mares with *Saccharomyces Cerevisiae* on Colostrum IgG1 Concentration in Algerian Breed. *J. Applied and Environmental. Biological Sciences*, 7(4), 1-6
19. **Ayad, M. A., Benallou, B., Saim, M. S., Smadi, M. A., & Meziane, T. (2013).** Impact of feeding yeast culture on milk yield, milk components, and blood components in Algerian dairy herds. *Journal of Veterinary Science and Technology*, 4(2). <https://doi.org/10.4172/2157-7579.1000135>
20. **Babincová, M., Machová, E., & Kogan, G. (1999).** Carboxymethylated glucan inhibits lipid peroxidation in liposomes. *Zeitschrift Fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences*, 54(12), 1084–1088. <https://doi.org/10.1515/ZNC-19991213>.
21. **Bach, A., Valls, N., Solans, A., & Torrent, T. (2008).** Associations between nondietary factors and dairy herd performance. *Journal of Dairy Science*, 91(8), 3259–3267. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1030>
22. **Bakr, H. A., Hassan, M. S., Giadinis, N. D., Panousis, N., Ostojic-Andric, D., El-Tawab, A., & Bojkovski, J. (2015).** Effect of *Saccharomyces Cerevisiae* supplementation on health and performance of dairy cows during transition and early lactation period. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 31(3), 349–364. <https://doi.org/10.2298/BAH1503349B>

23. **Baptiste B Coulon, J. J., & Pérochon, L. (2000).** Evolution de la production laitière au cours de la lactation : modèle de prédiction chez la vache laitière. *Productions Animales*, 13(5). <https://hal.inrae.fr/hal-02698785v1>
24. **Battacone, G., Nudda, A., Palomba, M., Mazzette, A., Pulina, G. (2009).** The transfer of aflatoxin M1 in milk of ewes fed diet naturally contaminated by aflatoxins and effect of inclusion of dried yeast culture in the diet. *J. Dairy Sci.* 92, 4997–5004.
25. **Beckman, K. B., & Ames, B. N. (1998).** The free radical theory of aging matures. *Physiological Reviews*, 78(2), 547–581. <https://doi.org/10.1152/PHYSREV.1998.78.2.547>
26. **Belic, B., Cincovic, M.R., Stojanovic, D. et al, (2010).** Hematology parameters and physical response to heat stress in dairy cows, *Contemporary Agriculture*, 59(1-2), 161-166.
27. **Bell A W. (1995).** Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*, 73, 2804–2819. <https://doi.org/10.2527/1995.7392804x>.
28. **Benedetti, L., Cattaneo, L., Vercesi, A., Trevisi, E., PiccioliCappelli, F., (2024).** Effects of Live *Saccharomyces Cerevisiae* Yeast Administration in Periparturient Dairy Cows. *Animals*. 14(3), 472. <https://doi.org/10.3390/ani14030472>.
29. **Bernardeau, M., & Vernoux, J.-P. (2009).** Utilisation des probiotiques en alimentation porcine et avicole. 9ème Journée Productions porcines et avicoles.
30. **Biswas, S., & E Lopez-Collazo. (2009).** Endotoxin tolerance: new mechanisms, molecules and clinical significance. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1471490609001549>
31. **BJ Gerloff. (2000).** Dry cow management for the prevention of ketosis and fatty liver in dairy cows. Elsevier, 16, 283–292. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749072015301067>
32. **Bohn, J. A., & BeMiller, J. N. (1995).** (1→3)-β-d-Glucans as biological response modifiers: a review of structure-functional activity relationships. *Carbohydrate Polymers*, 28(1), 3–14. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(95\)00076-3](https://doi.org/10.1016/0144-8617(95)00076-3)

33. **Broadway, P. R., Carroll, J. A., & Sanchez, N. C. B. (2015).** Live yeast and yeast cell wall supplements enhance immune function and performance in food-producing livestock: A review. In *Microorganisms* (Vol. 3, Issue 3, pp. 417–427). MDPI. <https://doi.org/10.3390/microorganisms3030417>
34. **Brugere-Picoux J., (1995).** Maladies métaboliques et biochimie clinique de la vache laitière. *La Dépêche Technique*, 46, 30 p.
35. **Buranakarl, C., Thammacharoen, S., Nuntapaitoon, M., Semsirmboon, S., & Katoh, K., (2021).** Validation of Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in goat colostrum. *Veterinary World*, 14(12), 3194. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.3194-3199>.
36. **Burdick Sanchez, N. C., Carroll, J. A., Rand Broadway, P., Edrington, T. S., Yoon, I., & Belknap, C. R. (2020).** Some aspects of the acute phase immune response to a lipopolysaccharide (LPS) challenge are mitigated by supplementation with a *Saccharomyces Cerevisiae* fermentation product in weaned beef calves. *Translational Animal Science*, 4(3), 1–13. <https://doi.org/10.1093/TAS/TXAA156>
37. **Burdick Sanchez, N.C.; Broadway, P.R.; Carroll, J.A. (2021).** Influence of Yeast Products on Modulating Metabolism and Immunity in Cattle and Swine. *Animals*. 11(2), 371. <https://doi.org/10.3390/ani11020371>
38. **Burdick Sanchez, N.C.; Young, T.R.; Carroll, J.A.; Corley, J.R.; Rathmann, R.J.; Johnson, B.J.(2013).** Yeast cell wall supplementation alters aspects of the physiological and acute phase responses of crossbred heifers to an endotoxin challenge. *Innate Immun.* 2013, 19,
39. **Bush, R. 1989.** Performance among different grains expressed by young Holstein calves. *Can. Journal of Animal Science*, 69: 1099.
40. **Cadet, J., T. Douki, D. Gasparutto and J.-L. Ravanat, 2003:** Oxidative damage to DNA: formation, measurement and biochemical features. *Mutat Res.* 2003 Oct 29;531(1-2):5-23. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2003.09.001. PMID: 14637244.
41. **Cai TQ, Weston PG, Lund LA, Brodie B, McKenna DJ, Wagner WC.(1994).** Association between neutrophil functions and periparturient disorders in cows. *Am J Vet Res.* 1994 Jul;55(7):934-43. PMID: 7526753.

42. **Chaucheyras-Durand, F., & Durand, H. (2010).** Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial Microbes*, 1(1), 3-9.
43. **Chaucheyras-Durand, F., & Ossa, F. (2014).** REVIEW: The rumen microbiome: Composition, abundance, diversity, and new investigative tools. *The Professional Animal Scientist*, 30(1), 1–12. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30076-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30076-0)
44. **Chaucheyras-Durand, F., & Ossa, F. (2016).** The rumen microbiome: Composition, abundance, diversity, and new investigative tools. *Professional Animal Scientist*, 32(1), 3–9. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01491>
45. **Che, T.M., Johnson, R.W., Kelley, K.W., Van Alstine, W.G., Dawson, K.A., Moran, C.A., Pettigrew, J.E., (2011).** Mannan oligosaccharide improves immune responses and growth efficiency of nursery pigs experimentally infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *J. Animal Science* 89(8), 2592–2602. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3208>
46. **Chigerwe, M., Tyler, J. W., Middleton, J. R., Spain, J. N., Dill, J. S., & Steevens, B. J. (2008).** Comparison of four methods to assess colostral IgG concentration in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 233(5), 761–766. <https://doi.org/10.2460/JAVMA.233.5.761>
47. **Chikazawa, S., & Dunning, M. D. (2016).** A review of anaemia of inflammatory disease in dogs and cats. *The Journal of Small Animal Practice*, 57(7), 348–353. <https://doi.org/10.1111/JSAP.12498>
48. **Chiquette, J. (2010).** Le rôle des probiotiques en production laitière.
49. **Claire, D. (2009).** Hématologie En Médecine Bovine Et Application A La Réalisation D'une Transfusion [faculté de médecine de Créteil]. https://theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=1072&utm_source=chatgpt.com
50. **Coleman, L. W., Hickson, R. E., Amooore, J., Laven, R. A., & Back, P. J. (2015).** Colostral immunoglobulin G as a predictor for serum immunoglobulin G concentration in dairy calves. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 75, 3-8. Auckland, New Zealand: New Zealand Society of Animal Production.
51. **Contreras, G. A., & Sordillo, L. M. (2011).** Lipid mobilization and inflammatory responses during the transition period of dairy cows. *Comparative Immunology*,

- Microbiology and Infectious Diseases, 34(3), 281–289.
<https://doi.org/10.1016/J.CIMID.2011.01.004>
52. **Corpet, D. E. (1999).** Antibiotiques en élevage et résistances bactériennes : vers une interdiction ? *Revue de Médecine Vétérinaire*, 50(2), 165–170. <https://hal.inrae.fr/hal-02688612>
 53. **Creutzinger, K. C., Dann, H. M., Moraes, L. E., Dkarawczel, P., & Prowdfoot, K. L. (2021).** Effects of prepartum stocking density and a blind on physiological biomarkers, health, and hygiene of transition Holstein dairy cows. *Elsevier*, 104, 886–898. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203022030905X>
 54. **Cuvelier, C., Cabaraux jean-François, & Dufranse isabelle. (2005).** Transport sanguin et métabolisme hépatique des acides gras chez le ruminant. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 149, 117–131. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/8397>
 55. **D. Anni Jain Askwith Mary, & Azhagu Raj. (2023).** Effects of dietary probiotic *Lactobacillus acidophilus* and prebiotic *Spirulina platensis* on haematological profile of *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) fingerlings. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 13(5), 334–340. [https://doi.org/10.38150/sajeb.13\(5\).p334-340](https://doi.org/10.38150/sajeb.13(5).p334-340)
 56. **Dann, H. M., Drackley, J. K., McCoy, G. C., Hutjens, M. F., & Garrett, J. E. (2000).** Effects of yeast culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) on prepartum intake and postpartum intake and milk production of Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, 83(1), 123–127. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(00\)74863-6](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(00)74863-6)
 57. **De Vries M J, Van Der Beek S, Kaal-Lansbergen LM, Ouweltjes W, Wilmink J B (1999)** Modelling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected oestrus postpartum in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82, 1927-1934.
 58. **Dehghan-Banadaky, M., Ebrahimi, M., Motameny, R., & Heidari, S. R. (2013).** Effects of live yeast supplementation on mid-lactation dairy cows performances, milk composition, rumen digestion and plasma metabolites during hot season. *Journal of Applied Animal Research*, 41(2), 137–142. <https://doi.org/10.1080/09712119.2012.739085>

59. 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. <https://doi.org/10.3168/JDS.2008-1414>
60. Dias, A. L. G., Freitas, J. A., Micai, B., Azevedo, R. A., Greco, L. F., & Santos, J. E. P. (2018). Effect of supplemental yeast culture and dietary starch content on rumen fermentation and digestion in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 201–221. <https://doi.org/10.3168/JDS.2017-13241>
61. Dieho, K., Bannink, A., Geurts, I. A. L., Schonewille, J. T., Gort, G., & Dijkstra, J. (2016). Morphological adaptation of rumen papillae during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 2339–2352. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-9837>
62. Dingwell, R., Kelton, D., & Leslie, K. (2001). Deciding to dry-off: does level of production matter. *Researchgate.Net*, 69–79. https://www.researchgate.net/profile/David-Kelton-2/publication/267818096_Deciding_to_dry-of_Does_level_of_production_matter
63. Djouvinov, D. S., Todorov, N. A., & Nikolic, J. A. (2005). Influence of yeast culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) and beta-glucans on rumen fermentation and milk production in dairy cows. *Czech Journal of Animal Science*, 50(2), 29-36.
64. Douglas, G. N., Overton, T. R., Bateman, H. G., Dann, H. M., & Drackley, J. K. (2006). Prepartal Plane of Nutrition, Regardless of Dietary Energy Source, Affects Periparturient Metabolism and Dry Matter Intake in Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 2141–2157. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(06\)72285-8](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(06)72285-8)
65. Drackley, J. K. (1999). ADSA foundation scholar award: Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2259–2273. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(99)75474-3)
66. Drackley, J. K., Dann, H. M., Douglas, G. N., Janovick Guretzky, N. A., Litherland, N. B., Underwood, J. P., & Looor, J. J. (2016). Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. [Http://Dx.Doi.Org/10.4081/Ijas.2005.323,4\(4\),323–344](http://Dx.Doi.Org/10.4081/Ijas.2005.323,4(4),323–344).

67. **Dragoul Carole, Gadoud Raymond, & Marie Madeleine Joseph. (2004).** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage (Vol. 2).
68. **Du, D., Feng, L., Chen, P., Jiang, W., Zhang, Y., Liu, W., Zhai, R., & Hu, Z. (2022).** Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* Cultures on Performance and Immune Performance of Dairy Cows During Heat Stress. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.851184>
69. **Duffield Todd. (2000).** Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. *Elsevier*, 16, 231–253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749072015301031>
70. **Duffield, T. F., Lissemore, K. D., McBride, B. W., & Leslie, K. E. (2009).** Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*, 92(2), 571–580. <https://doi.org/10.3168/JDS.2008-1507>
71. **Elaref, M. Y., Hamdon, H. A. M., Nayel, U. A., Salem, A. Z. M., & Anele, U. Y. (2020).** Influence of dietary supplementation of yeast on milk composition and lactation curve behavior of Sohagi ewes, and the growth performance of their newborn lambs. *Small Ruminant Research*, 191, 106176. <https://doi.org/10.1016/J.SMALLRUMRES.2020.106176>
72. **El-Ashry, M.A.; A. Motagally, Zeba, and Y.A. Maareck. (2001).** Effect of live dried yeast and yeast culture on performance of growing buffalo calves. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 4(Special Issue): 607.
73. **Elghandour, M. M. Y., Salem, A. Z. M., Buendía, G. R., & Kholif, A. E. (2017).** Direct-fed microbes and their impact on ruminant nutrition and performance. *Livestock Science*, 195, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.004>
74. **Elghandour, M. M. Y., Salem, A. Z. M., Castañeda, J. S. M., Camacho, L. M., Kholif, A. E., & Chagoyán, J. C. V. (2015).** Direct-fed microbes: A tool for improving the utilization of low quality roughages in ruminants. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(3), 526–533. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60834-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60834-0)
75. **El-Shaer, E. 2003.** Effect of yeast culture supplementation and concentrate: roughage ratio performance of growing lambs. Ph. D. Thesis, Fac. Agric., Mansoura Univ., Egypt.
76. **Enculescu, M. (2021).** Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* Addition in Dairy Cows Diets. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-*

- Napoca. *Animal Science and Biotechnologies*, 78(1), 18–26.
<https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:2020.0022>
77. **Enjalbert F. (1996).** Les constituants des aliments et leur digestion chez les bovins : bases physiologiques. *Proceeding SNGTV*, 13–20.
[https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Enjalbert%2C+F.+1996.+Les+constituants+des+aliments+et+leur+digestion+chez+les+bovins+%3A+bases++physiologiques.+Proceeding+SNGTV.+1996%2C+pp.+13-20&btnG=.](https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Enjalbert%2C+F.+1996.+Les+constituants+des+aliments+et+leur+digestion+chez+les+bovins+%3A+bases++physiologiques.+Proceeding+SNGTV.+1996%2C+pp.+13-20&btnG=)
78. **Enjalbert F. (1998).** Contraintes nutritionnelles et métaboliques pour le rationnement en peripartum. 59–68.
79. **Esterbauer, H., Waeg, G., Puhl, H., Dieber-Rotheneder, M., & Tatzber, F. (1992).** Inhibition of LDL oxidation by antioxidants. *EXS*, 62, 145–157.
https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7460-1_15
80. **Farag, Mona, A. 2004.** Effect of some growth enhances on animal performance. M. Sc. Thesis, Fac. Agric., Tanta Univ., Egypt.
81. **Fayed, Afaf M., 2001.** Effect of using yea-sacc on performance of sheep and goats in Sinai. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 4: 67.
82. **Ferran A. (2012).** Digestion microbienne chez les ruminants.
http://physiologie.envt.fr/wp-content/uploads/2007/11/Digestion_microbienne_chez_les_ruminants.pdf
83. **Finck, D. N., Ribeiro, F. R. B., Burdick, N. C., Parr, S. L., Carroll, J. A., Young, T. R., Bernhard, B. C., Corley, J. R., Estefan, A. G., Rathmann, R. J., & Johnson, B. J. (2014).** Yeast supplementation alters the performance and health status of receiving cattle. *Professional Animal Scientist*, 30(3), 333–341. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30125-X](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30125-X)
84. **Fomenky, B. E., Chiquette, J., Lessard, M., Bissonnette, N., Talbot, G., Chouinard, Y. P., & Ibeagha-Awemu, E. M. (2018).** *Saccharomyces Cerevisiae* var. Boulardii CNCM I-1079 and lactobacillus acidophilus BT1386 influence innate immune response and serum levels of acute-phase proteins during weaning in holstein calves. *Canadian Journal of Animal Science*, 98(3), 576–588. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2017-0120/ASSET/IMAGES/LARGE/CJAS-2017-0120F3.JPEG>

85. **Forgeat Guillaume. (2013).** Deficit energetique avant et apres velage chez la vache laitiere : Les liens entre les indicateurs.
86. **Fröhdeová, M., Mlejnková, V., Lukešová, K., & Doležal, P. (2014).** Effect of Prepartum Supplementation of Yeast Culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) on Biochemical Parameters of Dairy Cows and Their Newborn Calves. [Http://Acta.Mendelu.Cz/Doi/10.11118/Actaun201462050897.Html](http://Acta.Mendelu.Cz/Doi/10.11118/Actaun201462050897.Html), 62(5), 897–904. <https://doi.org/10.11118/ACTAUN201462050897>
87. **Gaafar, H., ... A. E.-D.-S. J. of, undefined. (2009).** Effect of concentrate to roughage ratio and baker's yeast supplementation during hot season on performance of lactating buffaloes. Office.Sjas-Journal.OrgHMA Gaafar, AMAM El-Din, MI Basiuoni, KFA El-RiedySlovak Journal of Animal Science, 2009•office. Sjas-Journal.Org, 42(4), 188–195. <https://office.sjas-journal.org/index.php/sjas/article/view/413>
88. **Gaggia, F., Mattarelli, P., and Biavati, B. (2010).** Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. Int. J. Food Microbiol. 141, S15–S28. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031.
89. **Ghoneem, W. M. A., & Mahmoud, A. E. M. (2014).** Effect of In-activated and Dried Yeast on Productive Performance of Barki Lambs. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 9(10).
90. **Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995).** Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. The Journal of Nutrition, 125(6), 1401–1412. <https://doi.org/10.1093/JN/125.6.1401>
91. **Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017).** Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology, 14(8), 491–502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
92. **Gibson, G. R., Probert, H. M., Loo, J. Van, Rastall, R. A., & Roberfroid, M. B. (2004).** Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. Nutrition Research Reviews, 17(2), 259–275. <https://doi.org/10.1079/NRR200479>

93. **Godden, S.M., Lombard, J.E., Woolums, A.R., 2019.** Colostrum Management for Dairy Calves. *Veterinary Clinics North American Food Animal Practice*. 35(3), 535–556. [https://doi.org/ 10.1016/j.cvfa.2019.07.005](https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005)
94. **Goetz, B. M., Lefler, J., Abeyta, M. A., Horst, E. A., Mayorga, E. J., Al-Qaisi, M., Rodriguez-Jimenez, S., Martino, C., Izzo, A., La, R., Green, H. B., Moore, C. E., Embree, M., & Baumgard, L. H. (2021).** Effects of dietary microbial feed supplement on production efficacy in lactating dairy cows. *JDS Communications*, 2(3), 118–122. <https://doi.org/10.3168/JDSC.2020-0002>
95. **Goff, J. P., & Horst, R. L. (1997).** Physiology And Management Physiological Changes at Parturition and Their Relationship to Metabolic Disorders 1,2. *J Dairy Sci*, 80, 1260–1268. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76055-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76055-7)
96. **Goldman, R., & JAFFE, C. L. (1991).** Administration of beta-glucan following Leishmania major infection suppresses disease progression in mice. *Parasite Immunology*, 13(2), 137–145. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3024.1991.TB00270.X>
97. **Griffin, J. F. T. (1989).** Stress and immunity: a unifying concept. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 20(3), 263–312. [https://doi.org/10.1016/0165-2427\(89\)90005-6](https://doi.org/10.1016/0165-2427(89)90005-6)
98. **Gros Louise. (2015).** Impact du bilan énergétique sur l’inflammation génitale chez la vache laitière [institut national vétérinaire Toulouse]. <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
99. **Guarini, A. R., Lourenco, D. A. L., Brito, L. F., Sargolzaei, M., Baes, C. F., Miglior, F., Misztal, I., & Schenkel, F. S. (2019).** Genetics and genomics of reproductive disorders in Canadian Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(2), 1341–1353. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-15038>
100. **Guillot, jean-françois. (1998).** Les probiotique en alimentation animal. *Cahiers Agricultures*, 7, 49–54.
101. **Gulliksen, S. M., Lie, K. I., Sølverød, L., & Østerås, O. (2008).** Risk factors associated with colostrum quality in Norwegian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91(2), 704–712. <https://doi.org/10.3168/JDS.2007-0450>
102. **Hassan, S. A., Zhu, W. Y., & Xie, M. Y. (2016).** Influence of probiotics on digestive enzyme activity, intestinal morphology, and gut microbiota composition in ruminants.

- Animal Feed Science and Technology, 218, 57–67.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.011>
- 103.Hayirli, A., Grummer, R. R., Nordheim, E. v., & Crump, P. M. (2002).** Animal and Dietary Factors Affecting Feed Intake During the Prefresh Transition Period in Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 85(12), 3430–3443. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(02\)74431-7](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(02)74431-7)
- 104.Heinrichs, A. J., Jones, C. M., & Heinrichs, B. S. (2003).** Effects of mannan oligosaccharide or antibiotics in neonatal diets on health and growth of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 86(12), 4064-4069.
- 105.Herd Thomas. (2000).** Ruminant adaptation to negative energy balance: Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. Elsevier, 16, 215–230.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074907201530102X>
- 106.Huang, H., Cao, J., Hanif, Q., Wang, Y., ... Y. Y.-A., & 2019, undefined. (2021).** Genome-wide association study identifies energy metabolism genes for resistance to ketosis in Chinese Holstein cattle. *Wiley Online Library*, 50(4), 376–380.
<https://doi.org/10.1111/age.12802>
- 107.Ibrahim, S.E.A., (2004).** Physio-nutritional studies on Egyptian buffaloes. Ph. D. Thesis, Fac., Agric.,Mansoura University.
- 108.Ingvartsen, K. L., & Andersen, J. B. (2000).** Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science*, 83(7), 1573–1597. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(00\)75029-6](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(00)75029-6)
- 109.Jang, Y. D., Kang, K. W., Piao, L. G., Jeong, T. S., Auclair, E., Jonvel, S., D’Inca. (2013).** Effects of live yeast supplementation to gestation and lactation diets on reproductive performance, immunological parameters and milk composition in sows. *Livestock Science*. 152(2-3), 167 – 173. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.022>
- 110.Janovick, N. A., & Drackley, J. K. (2010).** Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(7), 3086–3102.
<https://doi.org/10.3168/JDS.2009-2656>

111. **Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. L. (2008).** Clinical Biochemistry of Domestic Animals (6th Edition). Academic Press, Pages 885-894.
112. **Kassa, S. R. (2016).** Role of probiotics in rumen fermentation and animal performance: A review. International Journal of Livestock Production, 7(5), 24–32. <https://doi.org/10.5897/IJLP2016.0285>
113. **Khalikova, T. A., Zhanaeva, S. Y., Korolenko, T. A., Kaledin, V. I., & Kogan, G. (2005).** Regulation of activity of cathepsins B, L, and D in murine lymphosarcoma model at a combined treatment with cyclophosphamide and yeast polysaccharide. Cancer Letters, 223(1), 77–83. <https://doi.org/10.1016/J.CANLET.2004.10.028>
114. **Kim, M. H., Seo, J. K., Yun, C. H., Kang, S. J., Ko, J. Y., & Ha, J. K. (2011).** Effects of hydrolyzed yeast supplementation in calf starter on immune responses to vaccine challenge in neonatal calves. Animal, 5(6), 953–960. <https://doi.org/10.1017/S1751731110002673>
115. **Kimura, K., Goff, J. P., & Kehrli, M. E. (1999).** Effects of the Presence of the Mammary Gland on Expression of Neutrophil Adhesion Molecules and Myeloperoxidase Activity in Periparturient Dairy Cows 1. Dairy Sci, 82, 2385–2392. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75489-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75489-5)
116. **Kimura, K., Goff, J. P., Kehrli, M. E., & Reinhardt, T. A. (2002).** Decreased Neutrophil Function as a Cause of Retained Placenta in Dairy Cattle 1. Journal of Dairy Science, 85, 544–550. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74107-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74107-6)
117. **Kimura, K., Goff, J. P., Kehrli, M. E., Harp, J. A., & Nonnecke, B. J. (2002).** Effects of Mastectomy on Composition of Peripheral Blood Mononuclear Cell Populations in Periparturient Dairy Cows 1. Journal of Dairy Science, 85, 1437–1444. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74211-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74211-2)
118. **KL Ingvarlsen. (2006).** Feeding-and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. Elsevier, 126, 175–213. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.003>
119. **Kogan, G., & Kocher, A. (2007).** Role of yeast cell wall polysaccharides in pig nutrition and health protection. Livestock Science, 109(1–3), 161–165. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2007.01.134>

120. Kogan, G., Staško, A., Bauerová, K., Polovka, M., Šoltés, L., Brezová, V., Navarová, J., & Mihalová, D. (2005). Antioxidant properties of yeast (1→3)-β-d-glucan studied by electron paramagnetic resonance spectroscopy and its activity in the adjuvant arthritis. *Carbohydrate Polymers*, 61(1), 18–28. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2005.02.010>
121. Kramer, J. W., Hoffman, W. E. (1997). Clinical Enzymology. In: *Clinical Biochemistry of Domestic*
122. 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(E. Suppl. 2), E120-E132.
123. 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). <https://doi.org/10.1007/S11250-022-03112-Y>
124. Kumar, N., U.B. Singh and D.N. Verma, (1980). Effect of different levels of dietary protein and energy on growth of male buffalo calves. *the Indian journal of animal sciences*, 51:513.
125. Kumprechtová, D., Illek, J., Julien, C., Homolka, P., Jančík, F., & Auclair, E. (2019). Effect of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on rumen fermentation and metabolic profile of dairy cows in early lactation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(2), 447–455. <https://doi.org/10.1111/jpn.13048>
126. LAMER, J.C., (2014). Non délivrance de la vache laitière- De l'importance du stress oxydatif. *La lettre Synthèse élevage bovins*. N° 5, pp.1-4.
127. Lassen, E.D. (2012). Laboratory Evaluation of Plasma and Serum Proteins. In: Thrall M.A., Baker D.C., *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 401-415.
128. Le Bars H. (1991). Interrelations entre glycogenese et lipogenese chez les ruminants. *Persee.Fr*, 64, 193–206. https://www.persee.fr/doc/bavf_0001-4192_1991_num_144_2_11075

129. **Lean, I., Bruss, M., Baldwin, R., & Troutt HF. (1991).** Bovine ketosis: a review. I. Epidemiology and pathogenesis. *Agris.Fao.Org Veterinary Bulletin*, 61, 1209–1218. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB9121598>
130. **LeBlanc, B. W., Albina, J. E., & Reichner, J. S. (2006).** The effect of PGG-beta-glucan on neutrophil chemotaxis in vivo. *Journal of Leukocyte Biology*, 79(4), 667–675. <https://doi.org/10.1189/JLB.0305150>
131. **Leblanc, S. J. (2012).** Interactions of metabolism, inflammation, and reproductive tract health in the postpartum period in dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals = Zuchthygiene*, 47 Suppl 5(SUPPL. 5), 18–30. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0531.2012.02109.X>
132. **LeBlanc, S. J., Leslie, K. E., & Duffield, T. F. (2005).** Metabolic Predictors of Displaced Abomasum in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 88(1), 159–170. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(05\)72674-6](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(05)72674-6)
133. **Lenogue, L., & Lescure, S. (2022).** Évaluation péri-partum d'indicateurs du déficit énergétique comme marqueurs prédictifs de troubles de la reproduction chez la vache laitière. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03828185v1>
134. **Lenogue, L., & Lescure, S. (2022).** Évaluation péri-partum d'indicateurs du déficit énergétique comme marqueurs prédictifs de troubles de la reproduction chez la vache laitière. 89. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03828185>
135. **Lettat, A. (2011).** efficacité et mode d'action des bactéries probiotiques et/ou lactiques pour prévenir l'acidose latente chez les ruminants. <https://theses.hal.science/tel-00746197v2>
136. **Lilly, D. M., & Stillwell, R. H. (1965).** Probiotics: Growth-promoting factors produced by microorganisms. *Science*, 147(3659), 747–748. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.147.3659.747>
137. **Lotito, D., Pacifico, E., Matuozzo, S., Musco, N., Iommelli, P., Zicarelli, F., Tudisco, R., Infascelli, F., Lombardi, P. (2023).** Colostrum Composition, Characteristics and Management for Buffalo Calves: A Review. *Veterinary Science*. 10(5), 358. <https://doi.org/10.3390/vetsci10050358>.

138. **Lw, C., Re, H., J, A., Ra, L., & Pj, B. (2015).** Colostral immunoglobulin G as a predictor for serum immunoglobulin G concentration in dairy calves. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 75, 3–8. <http://www.nzsap.org/proceedings/2015/colostral-immunoglobulin-g-predictor-serum-immunoglobulin-g-concentration-dairy>
139. **Lynch, H. A. and S. A. Martin. (2002).** Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* Culture and *Saccharomyces Cerevisiae* Live Cells on In Vitro Mixed Ruminal Microorganism Fermentation. *J. Dairy Sci.* 85(10):2603-2608.
140. **Maamouri, O., Selmi, H., Bohem, N. M.-S. A. (2014),** undefined. (n.d.). Effects of yeast (*Saccharomyces Cerevisiae*) feed supplement on milk production and its composition in Tunisian Holstein Friesian cows. *Academia.Edu*. Retrieved January 10, 2025, from https://www.academia.edu/download/42030968/Effects_of_Yeast_Saccharomyces_Cerevisi_20160204-32010-v6rb1w.pdf
141. **Majtán, J., Kogan, G., Kováčová, E., Bíliková, K., & Šimúth, J. (2005).** Stimulation of TNF-alpha release by fungal cell wall polysaccharides. *Zeitschrift Fur Naturforschung. C, Journal of Biosciences*, 60(11–12), 921–926. <https://doi.org/10.1515/ZNC-2005-11-1216>
142. **Mazon, G., Campler, M. R., Holcomb, C., Bewley, J. M., & Costa, J. H. C. (2020).** Effects of a *Megasphaera elsdenii* oral drench on reticulorumen pH dynamics in lactating dairy cows under subacute ruminal acidosis challenge. *Animal Feed Science and Technology*, 261, 114404. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2020.114404>
143. **McGuirk, S. M., and M. Collins. (2004).** Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 20:593–603. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.005>.
144. **Medzhitov, R., & Janeway, C. (2000).** Innate immunity. *The New England Journal of Medicine*, 343(5), 338–344. <https://doi.org/10.1056/NEJM200008033430506>
145. **Mekroud, M., Arzour-Lakehal, N., Ouchene-Khelifi, N. A., Ouchene, N., Titi, A., & Mekroud, A. (2021).** Seasonal variations in hematological profile of Holstein dairy cows as an indicator for physiological status assessment. *Agricultural Science and Technology*, Volume 13, Issue 1, 28–33. <https://doi.org/10.15547/AST.2021.01.005>

146. **Metchnikoff Elie. (1910).** Metchnikoff E. In: Mitchell PC editor. The Prolongation of Life. Optimistic Studies. New York: G P Putnam's Sons (1910). 96 p - Recherche Google. [https://www.google.com/search?q=Metchnikoff+E.+In%3A+Mitchell+PC+editor.+The+Prolongation+of+Life.+Optimistic+Studies.+New+York%3A+G+P+Putnam%E2%80%99s+Sons+\(1910\).+96+p&rlz=1C1FHFK_enDZ1094DZ1094&oq=Metchnikoff+E.+In%3A+Mitchell+PC+editor.+The+Prolongation+of+Life.+Optimistic+Studies.+New+York%3A+G+P+Putnam%E2%80%99s+Sons+\(1910\).+96+p&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCTQ4NjVqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Metchnikoff+E.+In%3A+Mitchell+PC+editor.+The+Prolongation+of+Life.+Optimistic+Studies.+New+York%3A+G+P+Putnam%E2%80%99s+Sons+(1910).+96+p&rlz=1C1FHFK_enDZ1094DZ1094&oq=Metchnikoff+E.+In%3A+Mitchell+PC+editor.+The+Prolongation+of+Life.+Optimistic+Studies.+New+York%3A+G+P+Putnam%E2%80%99s+Sons+(1910).+96+p&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCTQ4NjVqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8).
147. **Mezzetti, M., Cattaneo, L., Passamonti, M. M., Lopreiato, V., Minuti, A., & Trevisi, E. (2021).** The Transition Period Updated: A Review of the New Insights into the Adaptation of Dairy Cows to the New Lactation. *Dairy*, 2(4), 617–636. <https://doi.org/10.3390/dairy2040048>
148. **Mezzetti, M., Minti, A., Piccioli-cappelli, F., Amadori, M., & Biomaz, M. (2019).** The role of altered immune function during the dry period in promoting the development of subclinical ketosis in early lactation. *Elsevier*, 102, 9241–9258. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219306691>
149. **Moallem, U., Katz, M., Arieli, A., & Lehrer, H. (2009).** Effects of live yeast supplementation to dairy cows on the BCS and reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, 92(2), 343-352.
150. **Mohebbi-Fani M , Nazif S , Shekakforush SS and Fathi S. (2005) .**Changes of proteins fractions, lipoproteins, ceruloplasmin and urea nitrogen in serum of periparturient cow, receiving dietary monensin. *Revue de Médecine Vétérinaire* 156(3):170-174.
151. **Morar, D., & Hutu, I. (2018).** Effect of heat stress on haematological parameters in dairy cows. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36806.22081>
152. **Moriel, P., Artioli, L. F. A., Poindexter, M., & Piccolo, M. B. (2014).** Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* supplementation on ovarian follicular growth and oocyte quality in beef heifers. *Theriogenology*, 81(7), 847-854.
153. **Morrill, K. M., Conrad, E., Lago, A., Campbell, J., Quigley, J., & Tyler, H. (2012).** Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 3997–4005. <https://doi.org/10.3168/JDS.2011-5174>

154. Mostafa, T. H., Elsayed, F. A., Ahmed, M. A., & Elkholy, M. A. (2014). Effect of using some feed additives (tw-probiotics) in dairy cow rations on production and reproductive performance. *Egyptian Journal of Animal Production*, 51(1), 1-11.
155. Nagpal, R., Kumar, A., & Kumar, M. (2012). Probiotics, their health benefits and applications for developing healthier foods: A review. **FEMS Microbiology Letters**, 334(1), 1-15.
156. Nasiri, A. H., Towhidi, A., Shakeri, M., Zhandi, M., Dehghan-Banadaky, M., Pooyan, H. R., ... & Ahmadi, F. (2019). Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* supplementation on milk production, insulin sensitivity and immune response in transition dairy cows during hot season. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.007>
157. Nemeth, E., & Ganz, T. (2014). Anemia of inflammation. *Hematology/Oncology Clinics of North America*, 28(4), 671–681. <https://doi.org/10.1016/J.HOC.2014.04.005>
158. Newbold, C. J., Wallace, R. J., & McIntosh, F. M. (1998). Mode of action of the yeast *Saccharomyces Cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *British Journal of Nutrition*, 80(3), 239-241.
159. Nocek J E and Kautz W P. (2006). Direct-Fed Microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre-and postpartum dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89: 260-266 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/89/1/260>
160. Nocek, J. E., Holt, M. G., & Oppy, J. (2011). Effects of supplementation with yeast culture and enzymatically hydrolyzed yeast on performance of early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 4046–4056. <https://doi.org/10.3168/JDS.2011-4277>
161. Nonnecke, B. J., Kimura, K., Goff, J. P., & Kehrli, M. E. (2003). Effects of the mammary gland on functional capacities of blood mononuclear leukocyte populations from periparturient cows. *Journal of Dairy Science*, 86(7), 2359–2368. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(03\)73829-6](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(03)73829-6)
162. Odde, K. G. (1988). Survival of the neonatal calf. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 4(3), 501–508. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)31027-6](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)31027-6)

163. Oetzel G, R. (1998). Nutritional management of dry dairy cows. The Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US1997085284>
164. Olagaray, K. E., Sivinski, S. E., Saylor, B. A., Mamedova, L. K., Sauls-Hiesterman, J. A., Yoon, I., & Bradford, B. J., (2019). Effect of *Saccharomyces Cerevisiae* fermentation product on feed intake parameters, lactation performance, and metabolism of transition dairy cattle. Journal of dairy science, 102(9), 8092-8107. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16315>
165. Osorio, J.S., Trevisi, E., Ji, P., Drackley, J.K., Luchini, D., Bertoni, G., Loor, J.J., (2014). Biomarkers of inflammation, metabolism, and oxidative stress in blood, liver, and milk reveal a better immunometabolic status in periparturient cows supplemented with Smartamine M or MetaSmart. J. Dairy Sci. 97, 7437–7450.
166. Ovinge, L. A., Hall, M. B., & Miller-Cushon, E. K. (2018). Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* on feed intake and carcass characteristics in beef cattle. Journal of Animal Science, 96(2), 745–753. <https://doi.org/10.1093/jas/skx064>
167. Ozkaya, S., Toprak, N. N., & Yilmaz, O. (2019). Effects of mannan oligosaccharides and beta-glucans on growth performance, digestibility and health in ruminants. Journal of Animal and Feed Sciences, 28(3), 211-219.
168. Pagnini, C., Saeed, R., Bamias, G., Arseneau, K. O., Pizarro, T. T., & Cominelli, F. (2010). Probiotics promote gut health through stimulation of epithelial innate immunity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(1), 454–459. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0910307107>
169. Paiano, R. B., Lahr, F. C., Silva, L. S. B., Marques, D. S., Ferreira, C. A., Birgel, D. B., Bisinotto, R. S., & Birgel Junior, E. H. (2019). Haematological and biochemical profiles during the puerperium in dairy cows – Short communication. Acta Veterinaria Hungarica, 67(3), 377–384. <https://doi.org/10.1556/004.2019.038>
170. Park, K. S., Choi, S. H., & Chung, S. S. (2018). Re-highlighting the action of PPAR γ in treating metabolic diseases. F1000Research, 7. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.14136.1>

171. **Pechová, A., J. Illek, and L. Pavlata, (2002).** Einwirkungen der Lebersteatose auf den Stoffwechsel bei Milchkühen. *Wien Tierärztl Mschr*, 89: 325–332.
172. **Piva, G., Belladonna, S., Fusconi, G., & Sicbaldi, F. (1993).** Effects of yeast on dairy cow performance, ruminal fermentation, blood components, and milk manufacturing properties. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2717–2722. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(93\)77608-0](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(93)77608-0)
173. **Playford, R.J., Weiser, M.J. (2021).** Bovine Colostrum: Its Constituents and Uses. *Nutrients*. 13(1), 265. <https://doi.org/10.3390/nu13010265>
174. **Poppy, G. D., Rabiee, A. R., Lean, I. J., Sanchez, W. K., Dorton, K. L., & Morley, P. S. (2012).** A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces Cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 6027–6041. <https://doi.org/10.3168/JDS.2012-5577>
175. **Qamar, M. N., et al. (2015).** Effect of yeast supplementation on the incidence of mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3406-3412.
176. **Raabis, S., Li, W., & Cersosimo, L. (2019).** Effects and immune responses of probiotic treatment in ruminants. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 208, 58–66. <https://doi.org/10.1016/J.VETIMM.2018.12.006>
177. **Ramsing, E. M., Davidson, J. A., French, P. D., Yoon, I., Keller, M., & Peters-Fleckenstein, H. (2009).** Effects of Yeast Culture on Peripartum Intake and Milk Production of Primiparous and Multiparous Holstein Cows. *Professional Animal Scientist*, 25(4), 487–495. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30739-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30739-7)
178. **Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., & Bisinotto, R. S. (2015).** Prepartum supplementation of dairy cows with live yeast reduces postpartum disorders and improves reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 2641-2654.
179. **Roberfroid, M. (2007).** Prebiotics: the concept revisited. *The Journal of Nutrition*, 137(3 Suppl 2). <https://doi.org/10.1093/JN/137.3.830S>
180. **Robinson, P. H. (1997).** Effect of Yeast Culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) on Adaptation of Cows to Diets Postpartum. *Journal of Dairy Science*, 80(6), 1119–1125. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(97\)76038-7](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(97)76038-7)

181. **Rossow, H. A., & Pitta, D. W. (2018).** Influence of direct-fed microbials on the rumen microbiome and lactation performance in dairy cattle. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(8), 3779–3786. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8845-7>
182. **Rouhier, P., Kopp, M., Begot, V., Bruneteau, M., & Fritig, B. (1995).** Structural features of fungal beta-D-glucans for the efficient inhibition of the initiation of virus infection on *Nicotiana tabacum*. *Phytochemistry*, 39(1), 57–62. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00852-K](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00852-K)
183. **Ruiz-Herrera, J. (2016).** Fungal cell wall : structure, synthesis, and assembly. CRC Press. <https://www.routledge.com/Fungal-Cell-Wall-Structure-Synthesis-and-Assembly-Second-Edition/Ruiz-Herrera/p/book/9781138198609>
184. **Russell, K.E., Roussel, A.J. (2007).** Evaluation of the ruminant serum chemistry profile. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 23, 403–426.
185. **Rutigliano, H. M., Leppo, K. A., & Morgado, K. P. (2022).** Changes in mononuclear immune cells during bovine pregnancy. *Reproduction, Fertility and Development*, 34(8), 608–618. <https://doi.org/10.1071/RD21161>
186. **Salat, O. (2005).** Les troubles du péripartum de la vache laitière : risques associés et moyens de contrôle. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 158(2), 153–160. <https://doi.org/10.4267/2042/47763>
187. **Salem, F.A., S.H. Hassanin and A.A. El-Shewy. (2002).** Effect of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on milk yield and composition, digestibility and some blood constituents in lactating buffaloes. *Prod. 1st Ann. Sc. Conf. Anim. and Fish Prod.*, Mansoura 24 & 25 Sep., 2002.
188. **Sallam, S. M. A., Abdelmalek, M. L. R., Kholif, A. E., Zahran, S. M., Ahmed, M. H., Zeweil, H. S., Attia, M. F. A., Matloup, O. H., & Olafadehan, O. A. (2020).** The effect of *Saccharomyces Cerevisiae* live cells and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the lactational performance of dairy cows. *Animal Biotechnology*, 31(6), 491–497. <https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1625783>
189. **Sanchez, N. C. B., Young, T. R., Carroll, J. A., Corley, J. R., Rathmann, R. J., & Johnson, B. J. (2013).** Yeast cell wall supplementation alters aspects of the physiological

- and acute phase responses of crossbred heifers to an endotoxin challenge. *Innate Immunity*, 19(4), 411–419. <https://doi.org/10.1177/1753425912469673>
- 190.Sanchez, N. C. B., Young, T. R., Carroll, J. A., Corley, J. R., Rathmann, R. J., & Johnson, B. J. (2014).** Yeast cell wall supplementation alters the metabolic responses of crossbred heifers to an endotoxin challenge. *Innate Immunity*, 20(1), 104–112. <https://doi.org/10.1177/1753425913482152>
- 191.Santos, J. E. P., Rutigliano, H. M., & Sa Filho, O. G. (2017).** Risk factors for resumption of postpartum cyclicity and embryonic loss in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 104(3-4), 207-221.
- 192.Schalich, K. M., & Selvara, V. (2022).** Contradictions on colostrum IgG levels and Brix values are real and can be explained. Response to letter by Lombard et al. (2022). *Journal of Animal Science*, 100(4), skac120. <https://doi.org/10.1093/JAS/SKAC120>
- 193.Schalich, K. M., Selvaraj, V. (2022).** Contradictions on colostrum IgG levels and Brix values are real and can be explained. Response to letter by Lombard et al. *J Animal Science*. 100(4): skac120. <https://doi.org/10.1093/jas/skac120>.
- 194.Sehati, F., Towhidi, A., Zhandi, M., & Hosein Nasiri, A. (2022).** Effects of Dietary Supplementation of *Saccharomyces Cerevisiae* on Milk Production, Oxidative Stress, and Blood Metabolites of Holstein Dairy Cows during Summer Season. In *Iranian Journal of Applied Animal Science* (Vol. 12, Issue 3). www.ijas.ir
- 195.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. <https://doi.org/10.5713/AJAS.2010.R.08>
- 196.Sharma, A., Behrens, S. H., Chernoff, Y. O., & Bommarius, A. S. (2018).** Modulation of the Formation of A β - and Sup35NM-Based Amyloids by Complex Interplay of Specific and Nonspecific Ion Effects. *Journal of Physical Chemistry B*, 122(19), 4972–4981. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcb.7b12836>
- 197.Shi, W., Knoblock, C. E., Murphy, K. V., Bruinje, T. C., Yoon, I., Ambrose, D. J., & Oba, M. (2019).** Effects of supplementing a *Saccharomyces Cerevisiae* fermentation product during the periparturient period on performance of dairy cows fed fresh diets differing in

- starch content. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3082–3096.
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15307>
- 198.Shurson G.C. (2028).** Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2018;235:60–76. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010.
- 199.Sockett, D., Breuer, R. M., Smith, L. W., Keuler, N. S., & Earleywine, T. (2023).** Investigation of brix refractometry for estimating bovine colostrum immunoglobulin G concentration. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1240227.
<https://doi.org/10.3389/FVETS.2023.1240227/BIBTEX>
- 200.Sordillo, L. M., & Aitken, S. L. (2009).** Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 128(1–3), 104–109. <https://doi.org/10.1016/J.VETIMM.2008.10.305>
- 201.Sordillo, L. M., & Raphael, W. (2013).** Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 29(2), 267–278.
<https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.03.002>
- 202.SPSS Statistics for Windows (2013):** IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp
- 203.Sretenović, L. j., M.P. Petrović¹, S. Aleksić¹, V. Pantelić¹, V. Katić, V. Bogdanović and R. Beskorovajni, (2008).** Influence of yeast, probiotics and enzymes in rations on dairy cows performances during transition. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 24 (5-6): 33-43.
- 204.Stein, D. R., Allen, D. T., Perry, E. B., Bruner, J. C., Gates, K. W., Rehberger, T. G., Mertz, K., Jones, D., & Spicer, L. J. (2006).** Effects of Feeding Propionibacteria to Dairy Cows on Milk Yield, Milk Components, and Reproduction. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 111–125. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(06\)72074-4](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(06)72074-4)
- 205.Temim, S., Boudjenah, A., Djellout, B., Bouzerd, S., Atif, M. E., Hafsi, F., Ghoulane, F., & Ain Baziz, H. (2009).** Effect of *Saccharomyces Cerevisiae* dietary supplementation on the zootechnical performance and blood components of dairy cows during peripartum.

- Livestock Research for Rural Development, 21.
https://www.lrrd.org/lrrd21/11/temi21187.htm?utm_source=chatgpt.com
- 206. Thomas, M., Serrenho, R. C., Puga, S. O., Torres, J. M., Puga, S. O., & Stangaferro, M. (2023).** Effect of feeding a *Saccharomyces Cerevisiae* fermentation product to Holstein cows exposed to high temperature and humidity conditions on milk production performance and efficiency—A pen-level trial. *Journal of Dairy Science*, 106(7), 4650–4665. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22516>
- 207. Uyama, T., Kelton, D. F., Winder, C. B., Dunn, J., Goetz, H. M., LeBlanc, S. J., McClure, J. T., & Renaud, D. L. (2022).** Colostrum management practices that improve the transfer of passive immunity in neonatal dairy calves: A scoping review. *PloS One*, 17(6). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0269824>
- 208. Van Dorland, H., Richter, S., Morel, I., & Doherr, M. (2009).** Variation in hepatic regulation of metabolism during the dry period and in early lactation in dairy cows. *Elsevier*, 92(5), 1924–1940. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030209705077>
- 209. Van, T.D., Hue, D.T., Bottema, C.D.K., Weird, G.M., Skirving, R., Petrovski, K.R. (2023).** Meta-Analysis on the Prevalence of Failed Transfer of Passive Immunity in Calves from Pasture-Based Dairy Farms in Australasia. *Animals*, 13(11), 1792. <https://doi.org/10.3390/ani13111792>
- 210. Volman, J. J., Ramakers, J. D., & Plat, J. (2008).** Dietary modulation of immune function by beta-glucans. *Physiology & Behavior*, 94(2), 276-284. Al-Saiady, M. Y., Al-Shaikh, M. A., Al-Mufarrej, S. I., Al-Showeimi, T. A., Mogawer, H. H., & Dirrar, A. (2010). Effect of yeast culture on the growth performance and immune response of weanling lambs. *Journal of Animal Science*, 88(8), 2797-2803.
- 211. Vyas, D., Uwizye, A., Mohammed, R., Yang, W. Z., Walker, N. D., & Beauchemin, K. A. (2014).** The effects of active dried and killed dried yeast on subacute ruminal acidosis, ruminal fermentation, and nutrient digestibility in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 92(2), 724–732. <https://doi.org/10.2527/JAS.2013-7072>
- 212. Wafa, W. M., Farag, M. A., & El-Kishk, M. A. (2020).** Productive and Reproductive Performances of Primi-parous Friesian Cows Treated with Yeast Culture. *Journal of*

- Animal and Poultry Production, 11(9), 331–337.
<https://doi.org/10.21608/JAPPMU.2020.118216>
- 213. Wang, J., Tang, H., Zhang, C., Zhao, Y., Derrien, M., Rocher, E., Van-Hyleckama Vlieg, J. E., Strissel, K., Zhao, L., Obin, M., & Shen, J. (2015).** Modulation of gut microbiota during probiotic-mediated attenuation of metabolic syndrome in high fat diet-fed mice. *The ISME Journal*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/ISMEJ.2014.99>
- 214. Weaver, D. M., Tyler, J. W., VanMetre, D. C., Hostetler, D. E., & Barrington, G. M. (2000).** Passive Transfer of Colostral Immunoglobulins in Calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 14(6), 569–577. <https://doi.org/10.1111/J.1939-1676.2000.TB02278.X>
- 215. Weill, B., & Batteux, F. (2003).** Immunopathologie et réactions inflammatoires. 312. https://books.google.com/books/about/Immunopathologie_et_r%C3%A9actions_inflammat.html?hl=fr&id=W6PXmDcywP0C
- 216. Williams, D., Mueller, A., & Erowder, W. (1996).** Glucan-based macrophage stimulators a review of their anti-infective potential. *Clinical Immunotherapeutics*, 5(5), 392–399. <https://doi.org/10.1007/BF03259335/METRICS>
- 217. Williams, P. E. V., Tait, C. A. G., Innes, G. M., & Newbold, C. J. (1991).** Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) plus growth factors in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation. *Animal Production*, 53(3), 593–600. <https://doi.org/10.1017/S0003356100020564>
- 218. Wrzecińska, M., Kowalczyk, A., Czerniawska-Piątkowska, E., Kordan, W., & Araujo, J. P. (2023).** Examination of the haematological profile of pregnant Polish Holstein-Friesian black-and-white cattle in the early stage. *Helminthologia (Poland)*, 67(3), 415–425. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2023-0043>
- 219. Yalçın, S., Yalçın, S., Can, P., Gürdal, A. O., Bağcı, C., & Eltan, Ö. (2011).** The Nutritive Value of Live Yeast Culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) and Its Effect on Milk Yield, Milk Composition and Some Blood Parameters of Dairy Cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(10), 1377–1385. <https://doi.org/10.5713/AJAS.2011.11060>
- 220. Young, T.R.; Ribeiro, F.R.B.; Sanchez, N.C.B.; Carroll, J.A.; Jennings, M.A.; Cribbs, J.T.; Rathmann, R.J.; Corley, J.R.; Johnson, B.J. (2017).** Yeast cell wall

supplementation alters the performance and health of beef heifers during the receiving period. *Prof. Anim. Sci.* 2017, 33, 166–175.

221. Yuan, K., Mendonça, L. G. D., Hulbert, L. E., Mamedova, L. K., Muckey, M. B., Shen, Y., Elrod, C. C., & Bradford, B. J. (2015). Yeast product supplementation modulated humoral and mucosal immunity and uterine inflammatory signals in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3236–3246. <https://doi.org/10.3168/JDS.2014-8469>
222. Zapata, O., Cervantes, A., Barreras, A., Monge-Navarro, F., González-Vizcarra, V. M., Estrada-Angulo, A., Urías-Estrada, J. D., Corona, L., Zinn, R. A., Martínez-Alvarez, I. G., & Plascencia, A. (2021). Effects of single or combined supplementation of probiotics and prebiotics on ruminal fermentation, ruminal bacteria and total tract digestion in lambs. *Small Ruminant Research*, 204. <https://doi.org/10.1016/J.SMALLRUMRES.2021.106538>
223. Zaworski, E. M., Shriver-Munsch, C. M., Fadden, N. A., Sanchez, W. K., Yoon, I., & Bobe, G. (2014). Effects of feeding various dosages of *Saccharomyces Cerevisiae* fermentation product in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(5), 3081–3098. <https://doi.org/10.3168/JDS.2013-769>.

Annexes

Effect of probiotic and prebiotic supplementations in dietary dairy cows on colostrum IgG concentration



NADJIBA BELDJOUHAR^{1*}, MOHAMED AMINE AYAD², MOHAMED SAID SAIM², DAHIA SAIDJ³

^{1*} Laboratory of Improvement and Valorization of Local Animal Productions. Veterinary Sciences Institute; University of Tiaret, opposite the national liberation Army square, Alger's Road Pb: 78, 14000 Tiaret, Algeria.

² Laboratory of Animal Hygiene and Pathologies. Veterinary Sciences Institute; University of Tiaret, opposite the national liberation Army square, Alger's Road Pb: 78, 14000, Tiaret, Algeria.

³ Veterinary Sciences Institute, Saad Dahleb University, 1, B.P. 270, Route de Soumâa, 09000. Blida, Algeria.

SUMMARY

The aim of this study was to determine the effect of supplementing dairy cows with probiotics, prebiotics and synbiotics to improve the immunological quality of the cow's colostrum and the transfer of passive immunity in their calves, and at the same time to evaluate the Brix refractometer as an effective tool to measure the immunoglobulin (IgG) concentration in colostrum in comparison with the golden test Radial Immunodiffusion (RID). Thirty days before the expected calving date, forty five Montbeliarde cows (8 primiparous, and 37 multiparous) were divided into four groups, Control group (CNT; n=13) received dry period diet (DPD) with no supplementation, yeast group (SC; n=13) received dry period diet supplemented with 5g/day/cow of live yeast *Saccharomyces Cerevisiae* (probiotic), yeast wall fraction group (YWF; n=10) supplemented with 5g/day/cow of yeast wall fraction (mannans and β -glucans; prebiotic) and the Mixture group (MIX; n=10) received dry period diet with a combination of 5g of yeast *Saccharomyces Cerevisiae* and 5 g of yeast wall fraction (mannans and β -glucans) (synbiotic). Colostrum samples were collected in sterile universal containers immediately after calving and frozen at - 20°C until analysis. Statistical analysis was performed using SPSS "IBM SPSS V. 22.0". Significant differences in colostrum IgG concentration (IgG 50g/l) were shown for the yeast group and mixture compared to control group (P 0.01) compared to the control group. There was no effect of body condition score (BCS), age, parity and the sex of neonates (P 0.05) on colostrum IgG concentration. The correlation between Radial immunodiffusion (RID) and refractometer was high and positive (r=0.785) for colostrum. In conclusion, supplementation of dairy cows with probiotics and synbiotics positively improved the immunological quality of colostrum. The Brix refractometer stands as an accessible and cost-effective tool for on-farm use, assisting producers and veterinarians in improving their calf health management programs. Therefore, avoid fatal neonatal diseases in newborns.

KEY WORDS

Dairy cows; Probiotic; Prebiotic; Colostrum; Immunoglobulin.

INTRODUCTION

The transfer of immunoglobulins from colostrum into the blood of newborn calves has various technical terms, including «passive transfer of immunity» and more recently, «transfer of passive immunity» which is more precise because immunity is provided passively by ingestion of colostrum rather than by passive transfer of immunoglobulins (1). A part of the successful delivery of passive immunity is the provision of adequate amounts of high quality colostrum to dairy calves as soon as possible after birth and before the onset of “gut closure” (2), which results in poor absorption of macro-molecules including immunoglobulins, and can limit the immune capacity of

Corresponding Author:

Nadjiba Beldjouhar (nadjiba.beldjouhar@univ-tiaret.dz)

(nadjiba.beldjouhar@gmail.com)

dairy calves. Closure of the calf's intestine occurs approximately 24 hours after birth, but this timing can vary (3). If the calf receives insufficient quality or quantity of colostrum before gut closure, failure of passive transfer of immunity (FTPI) may occur, and FTPI is associated with increased calf morbidity and mortality.

During pregnancy, nutrients are transferred to the fetus through the placenta, which consists of the cotyledons (part of the placenta) and the caruncle (part of the uterine horns). The placenta does not allow the passage of antibodies: therefore, the intake of colostrum plays a crucial role for the newborn, which contains 30-200 g/L of protein, mainly in the form of antibodies. IgG, IgA, and IgM account for approximately 85% to 90%, 5%, and 7%, respectively, of the total Ig in colostrum (4).

Furthermore, the absorption efficiency of immunoglobulins decreases with time, especially when administered 6 hours after birth, with approximately 66% recovered in plasma, approximately 50% after 12 hours, etc. (5). The immunological quality of colostrum can therefore be defined by measuring the amount of IgG. The latter can be measured by different methods. Among these methods, radial immunodiffusion is considered the gold standard for IgG measurement. Although refractometer is practical for rapid estimation IgG

levels, compared with RID which is only used for scientific research (2). In recent years, a growing body of literature has investigated the effects of yeast and yeast product supplements on the immunity of the pregnant females and their newborns by measuring IgG serum concentrations in sows and piglets (6), cows and their calves (7,8,9). Despite the large amount of work that has been carried out on this subject, there has been no in-depth study of the effect of this type of supplementation on the quality of colostrum, and consequently on the transfer of passive immunity to the newborn calf. However, such study has been conducted in mares and their foals (10) and in sows and piglets (6).

The aim of this study was to determine the effect of yeast, yeast products and their combination on colostrum concentration on IgG in cows using two methods: the “Gold standard” radial Immunodiffusion and the % Brix measured with a digital refractometer.

MATERIALS AND METHODS

Farm and studies animals

The Protocol on the Use of Animals respects animal welfare law as set out in Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes (Official Journal of the European Union, 2010). The study was conducted on a commercial dairy farm located in Ouamri region in the province of Medea, Algeria, with a total of 380 animals, including 170 dairy cows. The herd was selected because of its willingness to participate in the research project and its high frequency of calving over a short period of time, thus reducing fluctuations between calves and cows that may occur during different seasons (calving in the same season “April to July 2023”).

The Animals

Cows were housed in free stalls barns with free access to water. They received 3,5 kg of concentrate, 6 kg of hay and free access to straw. The cows received preventive internal and external anti-parasitic treatment (Eprinomectine), at the beginning of the experiment the cows did not show

any sign of diseases. Cows didn't receive any hormonal treatment, bred by artificial insemination AI. At the beginning of the experiment, age, BCS and parity were recorded for each cow in the trial. Forty-five Montbeliarde dairy cows; including 8 primiparous and 37 multiparous dry-cow pen and moved to a maternity pen approximately 30 days before expected calving date to be supplemented daily by 5 g of probiotic and/ or prebiotic, the feed additive is mixed manually at a rate of 5g per day with the concentrate. Cows were regrouped into 4 groups according to the type of supplement feed. The cows within each group were assigned randomly to one of four groups, the first group (SC; n=13) 29% supplemented with 5g/day/cow of probiotic which was yeast *Saccharomyces Cerevisiae* ActiSaf® Sc47 STD thermostable live yeast concentrate (lesaffre, phileo, France) the second group (YWF; n=10) 22% supplemented with 5g/day/cow of prebiotic which was yeast products-feed materials SafMannan® Premium yeast fraction heat resistant concentrate of yeast fraction (Lesaffre, Phileo, France) which contain Mannans 20%, β -glucans 20%, Moisture 6% and crude protein 10-25% . The third group was supplemented with a mixture of probiotic (*Saccharomyces Cerevisiae*; SC) and prebiotic (yeast wall fraction) (MIX; n= 10) 22% and the last group was a control group (CNT; n=12) 27%.

2.3. Colostrum collection

After calving, the colostrum was routinely collected (by hand). Teats were cleaned, and samples were collected in sterile universal containers. Colostrum samples were placed on ice within one hour of collection, transported to the laboratory and frozen at - 20°C until analysis.

Samples analysis

Radial ImmunoDiffusion measurements

IgG was measured in colostrum and calf serum using the IDRing Box- Bovine IgG Test (code product: I-B-IgG-10; the batch number: BIgG 1 221731, ID Biotech, Issoire, France) kit for the quantitative analysis of bovine immunoglobulin G IgG by radial Immunodiffusion, which is recognized as the gold standard for IgG measurement (2).

The test is based on the Single Radial Immuno-Diffusion (SRID) laboratory method. The BOV IgG test

plates consist of an agar gel containing specific antibodies to bovine IgG. During the diffusion in the agar gel, the antibodies react specifically with the bovine IgG and form precipitation rings s. All samples were thawed and vortexed, including colostrum or serum, colostrum samples were diluted in buffer (1:750) and (1:200) for serum. Each plate was then identified with internal references and filled it with 15 μ l of standards for the first four wells, the remaining wells were filled with samples. The plates were placed in a humidity chamber and incubated at 35 °C $\pm$ 5 for 16 to 20 hours. The diffusion zones were measured (diameter) using the IDRing viewer digital reader, and a standard curve was automatically plotted using an Excel spreadsheet:

$$Y = a\sqrt{X} + b$$

Y is the measured diameter

X is the concentration of each standard
a is the slope

b is the intercept

The concentration of each sample was automatically converted on g/l.

Brix refractometer measurements

On the same day as incubation of the RID plates, the IgG concentration of the test sample was estimated indirectly using a Soplem Brix refractometer C.T type 0 - 30% H50888 (Sopelem, France). (11)

Samples were thawed at room temperature and vortexed before testing and the refractometer was calibrated with distilled water. Two drops of colostrum/serum were applied to the prism of the refractometer using plastic pipette and the colostrum/serum IgG were measured in % brix. To remove any fatty residues, the refractometer well was cleaned between samples and calibration was performed routinely after measurement of 10 colostrum samples.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SPSS "IBM SPSS V. 22.0"

(12). All statistical analyses were performed at a pre-set significance level of 0.05, which indicates statistically significant difference. Prior to the analysis, all variables were tested for normality using the Shapiro-Wilk test if they were normally distributed, were then subjected to One-way ANOVA to study the effect of the supplement treatment on IgG concentration of colostrum. Alternatively, when the

variables were not normally distributed (IgG concentration measured by RID), data were processed using the Kruskal-Wallis non-parametric test, with treatment as the main effect. Added to that, a post-hoc test “Mann-Whitney” was used to estimate the minimal differences between groups to determine the effect of type of supplement treatment on colostrum quality specifically on the IgG concentration. A categorization of the quality of colostrum was elaborated according to the mean of IgG concentration in each group, two categories; poor quality IgG 50g/l and excellent quality IgG $\geq$ 50g/l, described with frequencies and percentages. A multiple linear regression model was used to evaluate the impact of several factors: BCS ([1- 3[, [3],]3 - 5]) age (2-4 years, 4-6 years and 6-8 years), parity (primiparous, L1, L2, L3, L4 and L5) and newborn’s sex (male and female) on the IgG concentration of colostrum, applied to multiple independent variables (BCS, age,...) to allow the assessment of the effect of each factor on the dependent variable (IgG concentration). The correlation between IgG concentrations measured by RID (golden standard) and Digital Brix Refractometer was assessed using the Spearman rank correlation test. This non-parametric test evaluates the monotonic relationship between variables by ranking the data.

RESULTS

RID and % Brix colostrum analysis

Analysis of the IgG concentration using RID and Brix refractometer revealed 26.44 ± 4.66 g/l (RID) and $16.04 \pm 1.38\%$ (% Brix) for the control group CNT and 67.85 ± 13.71 (RID), $22.27 \pm 1.50\%$ (Brix) for the yeast group SC, the YWF group was 59.24 ± 15.78 g/l, $21.80 \pm 2.52\%$, the mixture group “Mix”, 130.53 ± 14.16 g/L, $23.90 \pm 1.85\%$ which is conceded as excellent quality, Table 1.

Table 2 shows the categorization of colostrum Immunoglobulin G (IgG) concentration in different experimental groups, including control, yeast, yeast fraction, and mixture. The concentrations are categorized into two groups: those less than 50g/l were qualified as poor quality and those equal to or greater than 50g/l as good quality of colostrum. Eleven (11) samples of the control group (91.7%) fall below 50 g/l, indicating a predominant frequency of lower IgG concentrations, yeast group 7 samples

(58.3%) showed good quality with IgG concentrations $\geq$ 50g/l, 6 samples (60%) of the yeast fraction group had poor quality with IgG concentrations less than 50g/l.

Effect of supplement treatment on colostrum IgG concentration

A significant difference was shown on the effect of supplement treatment on the concentration of colostrum IgG between groups (P 0.01) (Table 1), the mixture treatment “yeast and yeast fraction” significantly affected the IgG concentration (P 0.01) compared with the other treatments. Also, for the SC group (P=0.005) compared to the CNT group. No significant difference (P 0.05) was shown for the group “YWF”.

Digital % Brix refractometer measurements

The %Brix was used for indirect measurement of colostrum IgG concentration, the results show a significant effect of the type of supplementation on the %Brix refractometer (P=0.018) (Table 1), (P=0.020) for the group MIX. Therefore, no significant difference reported for the other groups; SC (P=0.061), YWF (P=0.130) compared to control group.

The effect of BCS, parity, age and the new-born gender

The result of the linear regression model yielded an $R=0.206$ (RID) and $R=0.323$ (the %Brix) indicates a low correlation between the predictors (BCS, parity, Age and the sex of newborns) and the dependent variable «the colostrum IgG concentration». and $R^2=0.043$ (RID) and $R^2=0.104$ for the %Brix. which mean, only 4.3% (RID) and 10.4% (%Brix) of the variance of the dependent variable «colostrum IgG

linear relationship between these two methods when one increases, the other tends to increase, and vice versa.

DISCUSSION

Effect of supplementation on colostrum IgG concentration The immune system responses have shown variability when yeast and yeast products are administered as supplements to animals specifically,

Table 1 - Colostrum's IgG concentration and the %Brix Refractometer in Different Experimental Groups.

Items	Gr up				P value
	Control (CNT)	Yeast (SC)	Yeast Wall Fraction (YWF)	Mixture (MIX)	
RID concentration g/l	26.44±4.66 a	67.85±13.71 b	59.24±15.78 b	130.53±14.16 c	0.000
%Brix refractometer	16.04±1.38 a	22.27±1.50 ab	21.80±2.52ab	23.90±1.85 b	0.018

Values followed by different letters a, b and c on the same line are significantly different.

Table 2 - Categorization of Colostrum quality in different experimental groups.

Groups	Control		Yeast (SC)		Yeast Fraction		Mixture	
	Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%
colostrum's IgG concentration								
< 50g/l	11	91.7	5	41.7	6	60	0	0
≥ 50g/l	1	8.3	7	58.3	4	40	10	100
Total	12.00	100	13	100	10	100	10	100

con-

centration» was explained by these factors (BCS, parity, Age and the sex of newborns). None of these factors was showed a significant effect with the type of supplementation on colostrum IgG concentration ($P=0.776$). With ($P=0.348$) for BCS, ($P=0.472$) for parity, ($p=0.792$) for age and ($P=0.615$)(Table 3), for calf sex (Table 4).

Correlation between RID and Digital % Brix Refractometer

Regarding the study of correlation between RID method and Digital % Brix Refractometer method, there is a strong and significant positive correlation ($P < 0.01$), the Spearman correlation coefficient (r) between **RID** and **Digital % Brix Refractometer** used to measure the IgG concentration of colostrum was $r = 0.785$ (Figure 1). Suggesting that there is a

particularly cattle and pigs. Burdick Sanchez et al (9) reported in a meta-analysis paper that both of immune responses, “innate response and adaptive response”, were modulated by probiotics supplementation. Several researchers have jointly dedicated their studies to this area (9, 13). In the same field, the present research was dedicated to the study of the effect of supplementation with yeast, yeast fraction “yeast cell wall; purified cell components” and the combination between them on the immunity system more precisely on the immunological quality of colostrum “IgG concentration” which has an important role in the transfer of passive immunity. All colostrum immunoglobulin's concentration values in this study were consistent with normal ranges reported previously (2, 3, 5). Table 1 shows that by supplementing dairy cows with yeast “*Saccharomyces Cerevisiae*, SC” the concentration

of IgG in colostrum was significantly increased with an average of 67.85 ± 13.71 g/l (Table 2) and 58.3% qualified as High quality 50 g/l ($p=0.007$), for the cows supplemented with yeast fraction “ β -glucan and MOS” was 59.24 ± 15.78 g/l with 40% qualified as colostrum of high quality (Table 2) but the difference wasn’t significant $p=0.90$, These results can be probably be linked to the fact that among the cows with poor colostrum quality in this group, 30% were primiparous cows. Primiparous cows generally have a less developed immune system then multiparous cows (25). In addition, 20% of the cows had an IgG concentration in their colostrum close to 50 g/L, with values around of 44.1%, the last group that received a combination between yeast “SC” and yeast fraction a significant increase ($p=0.001$) with 130.53 ± 14.15 g/l, 100% of the colostrum samples were qualified as colostrum of high-quality (Table 2).

These results are in agreement with previous researchers, Ayad (10) who found that the concentration of IgG in mares supplemented with yeast “SC” during pregnancy was increased 122.25 ± 145.59 g/l compared to control group 104.51 ± 157 ($P=0.02$) and Jang (6) who support the same observations in sows receiving live yeast supplementation the IgG concentration tended to be higher ($P=0.10$) compared with control group, and agree with those observed on serum IgG concentration of cows supplemented with yeast culture 90 days before and after parturition resulted in greater serum concentration of IgG, IgM and IgA (8). Similarly, Fröhdeová (7) reported that supplementation of pregnant cows with yeast culture resulted in higher serum IgG concentration (2 days after calving). The IgG contained in colostrum comes from the mother’s blood and are selectively concentrated in the udder by specific transport

Table 3 - Effect of BCS, Age and parity on colostrum IgG concentration.

Groups		Control (CNT)		Yeast (SC)		(Yeast fraction) YWF		Mixture		P value	
		IDR	Brix%	IDR	Brix%	IDR	Brix%	IDR	Brix%	IDR	Brix%
BCS	[1- 3]	33.1 ± 9.79	17.6 ± 1.84	69.4 ± 26.04	22.3 ± 2.36	72.2 ± 27.06	25.0 ± 3.38	119.2 ± 20.03	22.0 ± 2.38	0.348	0.455
	[3]	23.3 ± 6.54	15.4 ± 2.69	40.4 ± 6.22	19.0 ± 1.82	32.3 ± 6.19	17.0 ± 3.21	166.0 ± 0.00	29.3 ± 0.66		
	[3 - 5]	23.8 ± 9.98	15.0 ± 2.89	93.4 ± 28.36	30.0 ± 3.07	67.3 ± 46.90	21.0 ± 9.00	92.2 ± 0.00	19.0 ± 0.00		
Age	2-4 years	38.5 ± 2.70	20.0 ± 0	75.7 ± 23.72	24.0 ± 2.12	39.1 ± 15.72	21.0 ± 5.21	142.7 ± 0.00	18.0 ± 0.00	0.792	0.082
	4 -6 years	33.2 ± 6.06	16.9 ± 2.25	71.2 ± 21.35	22.6 ± 2.37	83.1 ± 25.96	24.4 ± 2.40	199.0 ± 0.00	29.0 ± 1.00		
	6 -8 years	10.3 ± 3.37	12.8 ± 1.31	29.9 ± 0.00	17.5 ± 0.50	20.4 ± 0.00	12.0 ± 0.00	118.7 ± 18.52	23.3 ± 2.26		
Parity	Primiparous	-	-	52.0 ± 3.97	22.0 ± 1.73	39.1 ± 31.44	21.0 ± 10.42	142.7 ± 0.00	18.0 ± 0.00	0.472	0.153
	L2	31.1 ± 11.80	16.7 ± 6.12	146.7 ± 0.00	30.0 ± 0.00	20.4 ± 0.00	12.0 ± 0.00	166.0 ± 0.00	29.0 ± 1.41		
	L3	21.1 ± 20.08	14.5 ± 0.71	76.675 ± 65.07	22.8 ± 6.20	82.3 ± 76.41	23.3 ± 6.11	121.2 ± 0.00	25.0 ± 0.00		
	L4	22.1 ± 22.37	15.9 ± 4.33	60.675 ± 50.50	21.1 ± 6.91	84.3 ± 42.36	26.0 ± 5.66	108.7 ± 53.99	22.4 ± 7.09		
	L5	-	-	29.9 ± 0.00	18.0 ± 0.00	-	-	166.0 ± 0.00	26.0 ± 0.00		

Table 4 - Effect of the calves' sex on colostrum IgG concentration.

groups sex-NB		CNT		SC		YWF		MIX		P value	
		RID	%Brix	RID	%Brix	RID	%Brix	RID	%Brix	RID*SEX	%Brix*sex
Female		33.59 ± 5.85	17.36 ± 1.44	64.98 ± 15.42	22.81 ± 1.28	66.85 ± 34.83	20.25 ± 3.97	133.58 ± 25.26	22.25 ± 3.47	0.615	0.391
Male		18.83 ± 6.15	14.00 ± 3.34	72.46 ± 28.11	21.40 ± 3.53	54.17 ± 15.78	22.83 ± 3.51	128.50 ± 18.56	25.00 ± 2.19		

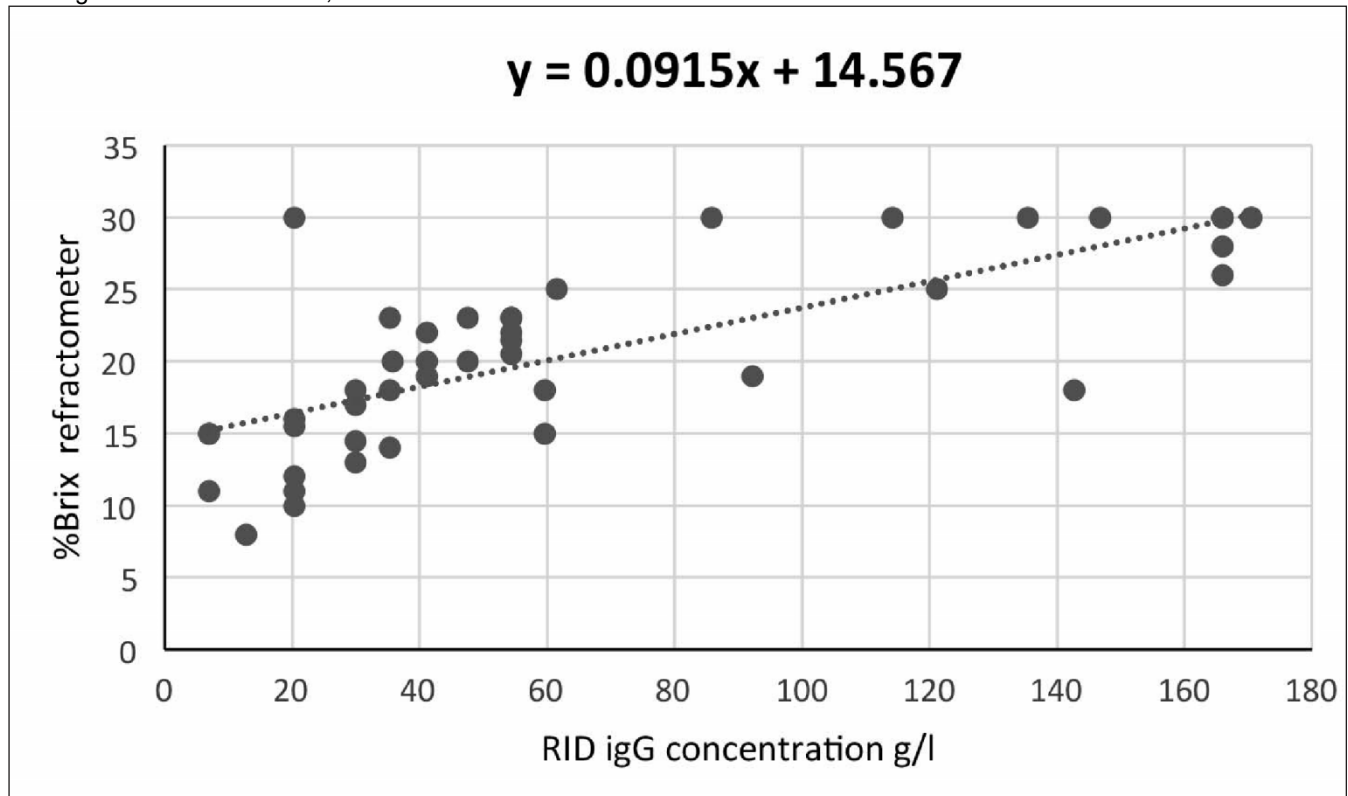


Figure 1 - Correlation between RID IgG concentration and the % Brix of colostrum.

mechanism. So, a greater amount of serum IgG is concentrated in the udder of dairy cows subsequently, colostrum (14). In contrast, (15) found no supplementation effect on immunoglobulin concentration against ovalbumin challenge. Furthermore, the results observed in the treatment supplementation with yeast fraction was beneficial, but the difference was not significant because of the limited content of live yeast that wasn't able to stimulate the adaptive immune response in a similar way compared to "SC".

These findings were consistent with those observed by Yuan et al. (16) in plasma anti-ovalbumin IgG levels against ovalbumin challenge, confirmed that yeast wall products (YWF) alter immune function in animals. This effect could be explained by the fact that the main components of yeast cell wall products YWF are the polysaccharides " β -glucans and Mannans", which interact directly with immune cells (17). Pigs supplemented with β -glucans showed an increased antibody response after stimulation also, Che (18), confirmed the immune effect of β -glucans in weaned pigs. The best results observed in the present study was in the MIX group with highly significant difference compared to CNT group and a very high mean

130.53 g/l ($P=0.00$). Based on these results, we suspect that the combined supplementation of yeast "SC" and YWF " β -glucans and Mannans" has a synergistic effect on immunity improving the IgG concentration of colostrum. Therefore, this area needs further study with different supplemented doses and different combinations.

The effect of BCS, age, parity and neonatal sex on colostrum quality

For the other factors «BCS, age, parity and the newborn sex», no significant difference was shown ($P=0.776$) in the effect of BCS on the concentration of colostrum IgG, possibly because the three types of supplementation treatments had no effect on BCS. This hypothesis was supported by Allbrahim (19); who reported that supplementation with live yeast SC had no effect on BCS ($P 0.10$). and that supplementation of cows with two different doses of live yeast SC had no effect on BCS (20). According to Allbrahim (19), the lack of effect of live yeast supplementation on BCS could reflect a lack of effect on dry matter intake (DMI), a factor that wasn't addressed in the present study. This is in contrast to Finck (21) who observed an increase in DMI and weight gain in beef cattle supplemented with SC. The same result was reported

by (22) with fermentation products of SC supplemented cows.

A positive correlation was showed between age and parity of the experiment cows ($P 0.01$; $r=0.70$), that why the effects of this factors on IgG concentration in colostrum are discussing together, the results were somewhat surprising despite the fact that the age and parity (rank of lactation) had no effect or interaction with treatments on the IgG concentration ($P 0.05$), Godden et al. (3) explained that most studies say that older cows produce better colostrum. In fact, several studies report that the IgG concentration of colostrum tends to increase with parity, especially from the third calving onwards (11). (23) suggested that the older cows are more exposed to antigens and therefore produce more antibodies. Weaver (14) strongly advised against the omission of colostrum from primiparous cows. Avendaño-Reyes et al. (24) found that the IgG concentration of colostrum was affected by parity ($p < 0.01$) and confirmed that multiparous cows produced high-quality colostrum with higher IgG concentration compared to primiparous cows. Therefore, Godden et al. (3) recommend that primiparous colostrum should not be discarded, but should be tested first. However, the influence of parity on colostrum IgG concentration has not always been found. A study of 120 prim' Holstein cows showed no significant differences between lactation

(11). In this study, the majority of cows were multiparous 82.22% and 57.77% had 3 and greater calvings, it is possible why these two factors did not show any effect on IgG concentration. Also, the other factors that could improve colostrum quality were almost homogeneous; farm, genetic factor which was the same bred cows, nutrition in the periparturient period, calving season, length of dry period it was 2 months before the private calving date, delayed colostrum collection which was the first milking for all samples in this study (3). No significant effect of neonatal sex was observed on the IgG concentration ($P 0.05$). In addition, no study has investigated the effect of neonatal sex on colostrum quality, particularly on IgG concentration.

Evaluation of %Brix refractometer tool for estimating IgG concentration in colostrum

In the current study, the IgG concentration of colostrum was measured by radial immunodiffusion RID which is still the reference method for measuring IgG concentration. Although the limited test range, time and cost are the disadvantages of RID. It's not feasible for calf health management and monitoring (2). There are several on-farm tests that can be used to assess colostrum quality. However, measuring colostrum quality using on farm tests should be simple and accurate. One of these methods, the %Brix refractometer, used the refraction of a beam of light to determine the degree of dissolved solids are present in the liquid, and the percentage of Brix is then determined (11). Morill (25) showed that it's a reliable tool for the determination of cholesterol IgG.

A positive correlation was observed between RID and % Brix refractometer ($r=0.785$; $P < 0.01$) in the measurement of colostral IgG, similar to that observed by Coleman (26) who reported that the highest quality colostrum in cows was characterized by a Brix threshold of IgG greater than 22%. Odde (27) shared the same results with Pearson correlation coefficient ($r=0.71$). However, (28) pointed out that the Brix refractometer is not accurate in estimating the IgG concentration of first-milk colostrum. Nevertheless, it can be used to approximate the minimum amount of IgG by using predefined %Brix cut-offs corresponding to first-milk colostrum concentrations of 25, 50, 75, and 100 g/l. Another observation by (29) that the %Brix the performance of the refractometer decreased as the %Brix values increase, especially when the Brix values reach 30% or more. Buranakarl (30) reported that the %Brix refractometer can be an acceptable tool for evaluating only poor quality colostrum; $\text{IgG} < 18.5\%$.

In general, the addition of probiotics (yeast: *Saccharomyces Cerevisiae*), prebiotics (yeast wall fraction) and a mixture of probiotics and prebiotics qualified as synbiotics in cattle feed was reported in several studies and was recommended by many authors for its effect on health and immunity (9,16). This study was investigated to study the effect of this supplementation treatment on colostrum quality

(IgG concentration) and it reported positive results, especially with the yeast and mixture treatment. (9) This study suggests that supplementation with yeast products could improve energy availability during an immune challenge. This potential improvement could be advantageous, facilitating a quicker resolution. In 2021, the same author Burdick Sanchez (9) added that it seems that yeast supplementation could offer significant advantages to an animal during an immune challenge by enhancing available energy, primarily through increased glucose levels. In vitro studies showed that yeast can produce amino-acids, organic acids and vitamins (22). This makes the IgG concentration in serum calves increase and brings a successful transfer of passive immunity as reported by (10). All other factors (age, parity, BCS and the sex of the newborn) showed no significant effect on the IgG concentration in colostrum. The results showed in this area were not stable possibly, due to the dose used, season of the experiment, breed of cows, nutrient.

Finally, the use of %Brix refractometer to evaluate the IgG concentration in colostrum was positively correlated with the RID tool except that the use of %Brix refractometer was associated with the lowest diagnostic accuracy. However, it remains a quick and easy technique to use in farms for passive immune transfer failure management.

CONCLUSION

In conclusion, there appears to be convincing evidence that supplementation with probiotics (yeast: SC), prebiotics (yeast wall fraction: β -glucan and mannans), and synbiotics (a mixture of SC and YWF) at a dose of 5g per cow per day, starting 30 days before the expected calving date, can improve colostrum quality. However, yeast SC and synbiotic (SC and YWF) showed better results. The BCS, age, parity, and sex of the newborns had no effect on the IgG concentration, indicating that this type of supplementation can be used at all ages and parities in both lean and overweight cows, which is very important for the prevention of neonatal calf diseases. To assess colostrum quality, the Brix refractometer can be a cost-effective tool for on-farm use, helping producers and

veterinarians improve their calf health management programs.

Statements and Declarations Ethical statement

Formal consent or ethics approval was not required for this study.

Acknowledges

The authors thank the veterinary practitioners of the farmer of ouamri, Medea, Algeria and their indispensable collaboration, for reproduction of farm animals laboratory, Tiaret, Algeria as well as The Directorate-General for Scientific Research and Technological Development (DGRSDT)

Contributions

Beldjouhar Nadjiba, Ayad Mohamed Amine and Saim Mohamed Said contributed to the study conception and design. Beldjouhar Nadjiba collected and analyzed data and prepared initial draft of manuscript. Saidj Dahia reviewed the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Conflict of interest

The authors declare no competing interests.

Funding

The authors did not receive support from any organization for the submitted work.

References

1. Van, T.D., Hue, D.T., Bottema, C.D.K., Weird, G.M., Skirving, R., Petrovski, K.R. 2023. Meta-Analysis on the Prevalence of Failed Transfer of Passive Immunity in Calves from Pasture-Based Dairy Farms in Australasia. *Animals*, 13(11), 1792. <https://doi.org/10.3390/ani13111792>.
2. Uyama, T., Kelton, D.F., Winder, C.B., Dunn, J., Goetz, H.M., LeBlanc, S.J., et al. 2022 Colostrum management practices that improve the transfer of passive immunity in neonatal dairy calves: A scoping review. *PLOS ONE* 17(6), e0269824. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269824>.
3. Godden, S.M., Lombard, J.E., Woolums, A.R., 2019. Colostrum Management for Dairy Calves. *Veterinary Clinics North American Food Animal Practice*. 35(3), 535-556. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005>
4. Playford, R.J., Weiser, M.J. 2021. Bovine Colostrum: Its Constituents and Uses. *Nutrients*. 13(1), 265. <https://doi.org/10.3390/nu13010265>
5. Lotito, D., Pacifico, E., Matuozzo, S., Musco, N., Iommelli, P., Zicarelli, F., Tudisco, R., Infascelli, F., Lombardi, P. 2023. Colostrum Composition, Characteristics and Management for Buffalo Calves: A Review.

- Veterinary Science. 10(5), 358. <https://doi.org/10.3390/vetsci10050358>.
6. Jang, Y. D., Kang, K. W., Piao, L. G., Jeong, T. S., Auclair, E., Jonvel, S., D'Inca., 2013. Effects of live yeast supplementation to gestation and lactation diets on reproductive performance, immunological parameters and milk composition in sows. *Livestock Science*. 152(2-3), 167 - 173. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.022>
7. Fröhdeová, M., Mlejnková, V., Lukešová, K., Doležal, P. 2014. Effect of Prepartum Supplementation of Yeast Culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) on Biochemical Parameters of Dairy Cows and Their Newborn Calves. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun*. 62(5), 897-904. <https://doi.org/10.11118/actaun201462050897>
8. Wafa, W.M., Farag, M., El-Kishk, M.A. 2020 Productive and Reproductive Performances of Primi-parous Friesian Cows Treated with Yeast Culture. *J. Animal and Poultry Production*. 11(9), 331-337. DOI: 10.21608/JAPPMU.2020.118216
9. Burdick Sanchez, N.C.; Broadway, P.R.; Carroll, J.A., 2021. Influence of Yeast Products on Modulating Metabolism and Immunity in Cattle and Swine. *Animals*. 11(2), 371. <https://doi.org/10.3390/ani11020371>
10. Ayad, M. A., Benallou, B., Saim, M. S., Derrar, S., Benzineb, F. Z., Haddouch, Z., & Abdelhadi, S. A. (2017). effect of supplementing arabian and barbe pregnant mares with *Saccharomyces Cerevisiae* on Colostrum IgG1 Concentration in Algerian Breed. *J. Applied and Environmental. Biological Sciences*, 7(4), 1-6
11. Chigerwe, M., Tyler, J., Middleton, J., Spain, J. N., Dill, J. S., Steevens, B. J., 2008. Comparison of four methods to assess colostral IgG concentration in dairy cows. *J. American Veterinary Medical Association*. 233(5):761766. <https://doi.org/10.2460/javma.233.5.761>.
12. SPSS Statistics for Windows (2013): IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp
13. Benedetti, L., Cattaneo, L., Vercesi, A., Trevisi, E., Piccioli Cappelli, F., 2024. Effects of Live *Saccharomyces cerevisiae* Yeast Administration in Periparturient Dairy Cows. *Animals*. 14(3), 472. <https://doi.org/10.3390/ani14030472>.
14. Weaver, D. M., Tyler, J. W., VanMetre, D. C., Hostetler, D. E., Barrington, G. M., 2000. Passive Transfer of Colostral Immunoglobulins in Calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 14 (6): 569-577. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2000.tb02278.x>
15. Nasiri, A. H., Towhidi, A., Shakeri, M., Zhandi, M., Dehghan-Banadaky, M., Pooyan, H. R., ... & Ahmadi, F. (2019). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on milk production, insulin sensitivity and immune response in transition dairy cows during hot season. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.007>
16. Yuan, K., Mendonça, L.G.D., Hulbert, L.E., Mamedova, L.K., Muckey, M.B., Shen, Y., Elrod, C.C., Bradford, B.J., 2015. Yeast product supplementation modulated humoral and mucosal immunity and uterine inflammatory signals in transition dairy cows. *J. Dairy Science*. 98(5), 3236-3246. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8469>.
17. Broadway, P. R., Carroll, J. A., Sanchez N. C., 2015 Live Yeast and Yeast Cell Wall Supplements Enhance Immune Function and Performance in Food-Producing Livestock: A Review *Microorganisms*.3(3), 417-427. <https://doi.org/10.3390/microorganisms3030417>.
18. Che, T.M., Johnson, R.W., Kelley, K.W., Van Alstine, W.G., Dawson, K.A., Moran, C.A., Pettigrew, J.E., 2011. Mannan oligosaccharide improves immune responses and growth efficiency of nursery pigs experimentally infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *J. Animal Science* 89(8), 2592-2602. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3208>
19. AlIbrahim, R. M., Crowe, M. A., Duffy, P., O'Grady, L., Beltman, M. E., Mulligan, F. J., 2010. The effect of body condition at calving and supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* on energy status and some reproductive parameters in early lactation dairy cows. *Animal reproduction science*, 121(1-2), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.04.183>.
20. Mostafa, T. H., Elsayed, F. A., Ahmed, M. A., & Elkholy, M. A. 2014. Effect of using some feed additives (tw-probiotics) in dairy cow rations on production and reproductive performance. *Egyptian Journal of Animal Production*, 51(1), 1-11.
21. Finck, D.; Ribeiro, F.; Burdick, N.; Parr, S.; Carroll, J.; Young, T.; Bernhard, B.; Corley, J.; Estefan, A.; Rathmann, R., 2014. Yeast supplementation alters the performance and health status of receiving cattle. *Applied Animal Science*. 30(3), 333-341. [https://doi.org/10.15232/S10807446\(15\)30125-X](https://doi.org/10.15232/S10807446(15)30125-X)
22. Olagaray, K. E., Sivinski, S. E., Saylor, B. A., Mamedova, L. K., Sauls-Hiesterman, J. A., Yoon, I., & Bradford, B. J., 2019. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on feed intake parameters, lactation performance, and metabolism of transition dairy cattle. *Journal of dairy science*, 102(9), 8092-8107. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16315>
23. Gulliksen, S. M., K. I. Lie, L. Sølverød, et O. Østerås. 2008. Risk Factors Associated with Colostrum Quality in Norwegian Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 91(2), 704-12. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0450>
24. Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Sánchez-Castro, M. A., AnzuresOlvera, F., Vicente-Pérez, R., Mellado, M., ... & López-Baca, A., 2023. Effects of parity, seasonal heat stress, and colostrum collection time postpartum on colostrum quality of Holstein cattle in an arid region. *International Journal of Biometeorology*, 68(3), 427-434. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02601-5>.
25. Morrill, K. M., E. Conrad, A. Lago, J. Campbell, J. Quigley, Tyler, H. 2012. Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States. *J. Dairy Science*. 95(7), 3997-4005. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5174>
26. Coleman, L. W., Hickson, R. E., Amoores, J., Laven, R. A., & Back, P. J., 2015. Colostral immunoglobulin G as a predictor for serum immunoglobulin G concentration in dairy calves. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 75, 3-8. Auckland, New Zealand: New Zealand Society of Animal Production.
27. Odde, K. J., 1988. Survival of the neonatal calf. *Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice* 4(3), 501-508. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)31027-6](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)31027-6)
28. Sockett, D., Breuer, R.M., Smith, L.W., Keuler, N.S., Earleywine, T., 2023. Investigation of brix refractometry for estimating bovine colostrum immunoglobulin G concentration. *Frontiers Veterinary Science*. 10:1240227. doi: 10.3389/fvets.2023.1240227.
29. Schalich, K. M., Selvaraj, V., 2022. Contradictions on colostrum IgG levels and Brix values are real and can be explained. Response to letter by Lombard et al. *J Animal Science*. 100(4): skac120. <https://doi:10.1093/jas/skac120>.
30. Buranakarl, C., Thammacharoen, S., Nuntapaitoon, M., Semsirboon, S., & Katoh, K., 2021. Validation of Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in goat colostrum. *Veterinary World*, 14(12), 3194. <https://doi:10.14202/vetworld.2021.3194-3199>.

RC PROFESSIONALE

LA TUA POLIZZA

Più che un obbligo una tutela

La migliore
copertura per la
Responsabilità
Civile Professionale
del Medico
Veterinario e
della sua Struttura

SOTTOSCRIVILA ORA

Deducibile dal reddito

Operatività non subordinata ai crediti formativi



Da ANMVI con
MARSH SpA
HDI Assicurazioni
AIG

 **ANMVI**
ASSOCIAZIONE NAZIONALE MEDICI VETERINARI ITALIANI