



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

N°/SN

THÈSE

Présentée par

BENAMARA Nasria

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT 3^{ÈME} CYCLE

Filière : AGRONOMIE

Spécialité : PRODUCTION ANIMALE

THÈME

**Co-innovation pour la résilience de la filière lait bovin en région sèche
d'Algerie**

Soutenue publiquement le 03/02/ 2026

DEVANT LE JURY

Président	ALLOUCHE Hamadouche Lynda	Pr. Univ.Sétif 1
Directeur	MADANI Toufik	Pr. Univ.Sétif 1
Co-directeur	YEROU Houari	Pr. Univ. Mascara
Examineur	ZOGLAMI Mourad	Dr. Univ. Mascara
Examineur	KHADER M'hammed	Dr. Univ.Djelfa
Examineur	MOUFFOK Charefeddine	Dr. Univ.Sétif 1
Invité	GHAZLI Abdelkader	Dr. Univ.Béchar

Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques et Naturelles

Année universitaire 2025-2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la persévérance et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail dans les meilleures conditions.

*Je remercie chaleureusement mon professeur Mr **Madani Toufik** pour ses efforts constants, sa disponibilité, ses précieux conseils et l'aide qu'il m'a apportée tout au long de ce travail*

*J'adresse mes sincères remerciements à mon co-encadrant : **Pr. Yerou Houari** pour m'avoir fait l'honneur de m'accompagner dans ce travail. Sa compétence, sa bienveillance, son dévouement, sa patience et sa simplicité m'ont guidé et éclairé tout au long de cette recherche."*

*Je tiens également à remercier chaleureusement **Pr. Gazli Abdelkader** pour son soutien constant, ses conseils judicieux et sa disponibilité. Sa rigueur scientifique et son esprit bienveillant ont grandement contribué à l'enrichissement de ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance ainsi que tout mon respect à Madame la **Présidente du jury Pr. Allouche Hamadouche Lynda**, ainsi qu'aux membres du jury : **Dr zoghlami Mourade, Dr Khader M'hammed, Dr Mouffok Charefeddine**, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail et pour l'attention qu'ils lui accorderont.*

*Je remercie sincèrement le Dr. **Hamza Belkhdja** pour ses efforts, son aide précieuse, sa disponibilité et ses conseils.*

*Mes remerciements vont au Dr. **Benamara Rymet** Dr. **Smail Khalel** pour leurs aides précieuses, leurs efforts et leurs disponibilités.*

*Je remercie chaleureusement Dr. **Asmabelgharbi** et Dr. **Arbaoui Ahmed** pour leurs aides et soutiens profond.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes de l'**Université Farhat Abbas Sétif -1**, l'**Université Mascara**, l'**Université Béchar**, ainsi qu'à*

*L'**entreprise Giplait de Tizi Mascara** et la **Direction des services Agricoles de Mascara** pour leur précieux soutien.*

Mes sincères remerciements vont notamment à

A toutes et à tous, j'adresse ma reconnaissance et mon profond respect.

Merci

DEDICACES

*Je Je dédie ce modeste travail à la mémoire pure de mon père **BENAMARA KHELIFA**, dont l'amour et les sacrifices ont profondément marqué mon parcours. J'aurais tant souhaité qu'il soit présent à mes côtés pour partager ce succès, fruit de ses soins et de son dévouement. Que le Tout-Puissant lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.*

*À ma très chère Mère **SADOK FATMA**, en témoignage de ma profonde reconnaissance pour son dévouement sans faille, son soutien constant tout au long de ma vie et ses innombrables sacrifices. À celle qui a tant œuvré pour mon éducation et m'a accompagnée avec amour jusqu'à l'aboutissement de ce parcours, je dédie cette réussite avec une affection infinie, pour tout cela et pour tout ce qui dépasse les mots.*

*À mon cher époux **BELAID ABDERRAHMANE**, dont le soutien constant, les sacrifices généreux, et l'engagement indéfectible, tant sur le plan moral que matériel, ont grandement contribué à la réalisation de ce parcours académique.*

Je lui exprime ici toute ma reconnaissance et ma profonde estime.

*À mes chers petits anges **Yousra et Younes Radouane**, source de lumière et de motivation quotidienne. Que ce travail soit un exemple de persévérance et d'espoir que je leur transmets avec tout mon amour.*

*À mes chers frères et leurs femmes, À mes chères sœurs et leurs maris
À mes neveux et mes nièces.*

À ma grande mère et toute ma famille sans exception.

*À mon frère **Gazli Abdelkader**, pour son précieux soutien, son aide sincère
Et toute la famille **Ghazli**.*

À tous ceux qui j'aime et qui m'en connus de loin ou de près.

BENAMARA Nasria

Tables des matières

<i>Tables des matières</i>	I
Liste des Tableaux	II
Liste des figures	III
Liste des Abréviations	IV
المخلص.....	V
Résumé.....	VI
Abstract.....	VII
Introduction Générale	1

Partie Bibliographique

Chapitre 1 : La filière lait Algérienne	4
1 La filière lait en Algérie	5
1.1 La réalité de la filière lait en Algérie	5
1.2 L'importations de la poudre de lait et matière grasse anhydre en Algérie	8
1.3 La transformation de lait dans l'industrie laitière	9
1.4 Les failles dans la valorisation du lait cru : un défi systémique	10
1.4.1 Les circuits de distribution des produits laitiers	10
1.4.2 Canaux de commercialisation	11
1.4.3 Les acteurs et dynamiques de la chaîne laitière	11
1.5 Caractérisation des déterminants du lait cru de vache	12
1.5.1 Définition et caractéristiques du lait cru.....	12
1.5.2 Les déterminants organoleptiques	12
1.5.3 Les déterminants physiques du lait cru de vache	14
1.5.4 Les déterminants chimiques du lait	15
1.5.5 Les déterminants indésirables du lait	19
1.6 Les facteurs influençant la qualité du lait	20
1.6.1 L'influence des mammites subcliniques	21
1.6.2 L'impact génétique et stade de lactation	21
1.6.3 Les variations saisonnières et climatiques.....	22
1.6.4 La croissance microbienne post-traite	23
Chapitre 2: Elevage bovin laitier et changement climatique (CC)	24
2 L'élevage bovin laitier et changement climatique (CC)	25
2.1 Les mécanismes de régulation thermique chez le bovin laitier	26
2.2 La zone de neutralité thermique mécanismes et facteurs de variation.....	26
2.3 Les outils et indices de caractérisation du ST	28

2.4	L'impact du stress thermique sur les performances zootechniques des vaches laitières.....	29
2.5	L'effet du stress thermique sur la consommation alimentaire et hydrique des Bovins	30
2.6	Les effets du stress thermique sur la reproduction des bovins	31
2.7	Les effets aux niveaux moléculaire, cellulaire et métabolique	31
Chapitre 3 : La résilience de la filière lait : concepts de vulnérabilité, de résilience et d'innovation face aux changements climatiques		33
3	La résilience de la filière lait	34
3.1	Le concept de la vulnérabilité face au changement climatique	34
3.2	La Résilience en Science Animale : Définition, Enjeux et Distinctions.....	37
3.3	La résilience dans la filière lait	38
3.3.1	L'impact climatique sur la résilience	39
3.3.2	La résilience Financière d'une exploitation laitière	41
3.4	La Co-innovation dans l'agriculture	43
3.5	L'innovation dans le secteur laitier.....	43
3.5.1	Les multiples facettes de l'innovation	46
3.6	La révolution génomique et outils d'analyse.....	48
3.7	L'agriculture à l'ère du numérique	49
3.8	La modernisation des techniques d'élevage bovin	50
3.9	Etat d'art : résilience et innovation dans le secteur laitier	52
Partie Expérimentale		
Chapitre 1: Matériels et Méthodes		58
	Le but	59
1	Caractérisation de la région	59
1.1	Présentation de la région d'étude.....	59
1.1.1	Les contraintes climatiques dans la région d'étude.....	61
1.2	Caractéristiques socioéconomique.....	63
1.2.1	Le nombre et type d'exploitations agricoles	63
1.2.2	Situation de l'élevage bovin dans la zone d'étude	64
2	Protocole de collecte des données typologique et évaluation de l'impact du stress thermique en zone semi- aride	64
2.1	Objectifs.....	64
2.2	Le protocole de collecte des données.....	65
2.2.1	Le diagnostic typologique	65
2.3	L'étude de l'impact du climat sur les performances laitières	67
2.3.1	La méthodologie d'estimation de l'index Température – humidité	69

2.3.2	L'estimation des paramètres de conduite :	70
2.3.3	Les analyses statistiques des données d'enquête.....	71
2.4	La caractérisation qualitative du lait cru collecté dans la région d'étude	72
2.4.1	Les techniques de prélèvement et analyses effectuées	72
2.4.2	La détermination de la qualité physico-chimique	73
2.4.3	L'évaluation de la qualité microbiologique du lait crû	73
2.4.4	Le recueil et le traitement des échantillons	74
2.4.5	La préparation de la solution mère et des dilutions décimales.....	74
2.4.6	L'ensemencement.....	74
2.4.7	La recherche des Staphylocoques à coagulase positif.....	75
2.4.8	La recherche des Salmonelles	75
2.4.9	La detection des antibiotiques	76
2.4.10	Le Dénombrement :	76
Chapitre 2: Résultats et discussion.....		94
2	Résultats zootechnique	80
2.1	Caractérisation de la collecte du lait cru à l'unité GIPLAIT Mascara.....	80
2.1.1	Evolutions du nombre d'éleveurs laitiers et de la collecte du lait cru.....	80
2.1.2	Le taux de réalisation de la collecte par l'unité GIPLAIT El Amirde Mascara	82
2.2	La typologie des exploitations	83
2.2.1	L'analyse des données	83
2.2.2	La typologie des étables de la région d'étude	84
2.3	Le stress thermique et élevage bovin dans la région d'étude	88
2.3.1	Les variations du stress thermique	88
2.3.2	Les effet du THI sur quelques paramètres suivis et facteurs de variations ...	91
2.3.3	L'influence de THI sur la température de l'organisme	94
2.3.4	L'effet des rations alimentaires sur la production laitière	98
2.4	Les résultats d'analysedu lait de mélange reçu à l'unité de transformation.	100
2.4.1	La qualité du lait cru réceptionnées à l'unité de transformation GIPLAIT.	100
2.4.2	L'étude de la qualité physico-chimique du lait de collecte à la réception ..	104
2.5	La qualité microbiologique du lait cru.....	108
2.5.1	Le plan à deux classes (Conforme/non conforme).....	108
2.5.2	Le plan à 3 classes	110
2.5.3	La détection des traces d'antibiotiques	112
Chapitre 3: Partie Inovation.....		94
3	Proposition d'une innovation pour mieux maitriser la conduite d'élevage :	116

3.1	Introduction.....	116
3.2	Présentation d'une innovation pour le suivi de paramètres relatifs à l'animal et son environnement : Heliobiotrack (HBT)	116
3.3	Caractéristiques principales	117
3.3.1	La surveillance en temps réel :	117
3.3.2	Le capteur de température	118
3.3.3	Le capteur de fréquence cardiaque :	119
3.3.4	Le fonctionnement à l'énergie solaire.....	119
3.3.5	L'application Androïde conviviale : « La vache connectée » :	120
3.3.6	Le capteur de localisation GPS	122
3.4	L'estimation financière	122
3.5	L'analyse SWOT de l'HBT :	124
3.6	Les résultats du test de l'HBT :	126
3.6.1	Le suivie de la fréquence cardiaque	126
3.6.2	Le suivie de la température	129
3.7	Les tests de corrélation	131
	Conclusion_Générale	94
	Références_Bibliographiques	140
	Annexes	141
	Article Publier.....	171

Liste des Tableaux

Tableau 1: caractéristiques physico-chimiques du lait cru (Mathieu, 1998).....	14
Tableau 2: Les paramètres climatiques et de stress thermique à Mascara	62
Tableau 3: répartition des types exploitations agricoles de la zone d'étude.	63
Tableau 4: répartition du cheptel bovin par commune (Unité : tête)	64
Tableau 5: les variables retenues pour l'analyse typologique.....	67
Tableau 6: valeurs énergétiques et protéiques des aliments.....	70
Tableau 7: évolution de la collecte (2020 et 2021) au sein de la laiterie	82
Tableau 8: la Caractérisation des étables laitier suivi	84
Tableau 9: sources de variation, la contribution aux axes et corrélations des variables	85
Tableau 10: variation des conditions climatiques dans la plaine de Griss durant la période du suivi	89
Tableau 11: iInfluence du THI sur quelques paramètres mesurés	92
Tableau 12: résultats moyens des paramètres physico-chimiques du lait cru de vache...	104
Tableau 13: résultats des critères de qualité bactériologique	108
Tableau 14: estimation financière pour le HBT.	123
Tableau 15: analyse SWOT pour l'innovation HBT	125
Tableau 16: Résultat test HBT	126
Tableau 17: test de corrélation entre les paramètres retenus dans l'application	131

Liste des figures

Figure 1: interventions publiques dans la filière lait en Algérie (Mamine et al , 2021).....	6
Figure 2: évolution du soutien financier et de la production du fourrage artificiel (Mamine et al, 2021)	7
Figure 3: évolution de la production, de la collecte et de l'importation de lait (Mamine et al, 2021)	8
Figure 4: diagramme synthétique sur les canaux de distribution des produits laitiers industrialisés (hiérarchie multifonctionnelle) (Yerou et al.,2022)	11
Figure 5: relation entre la température corporelle centrale et la production de chaleur d'un animal ayant différentes zones environnementales par rapport au ST. (Silanikove, 2000).	27
Figure 6: relation entre THI, la température de l'air et de l'humidité relative	29
Figure 7: les différents concepts de la vulnérabilité (Zaatra, 2021).	35
Figure 8: les composantes de la vulnérabilité (Fritzsche et al. 2015 cité par Zaatra 2021)	35
Figure 9: représentation de la vulnérabilité selon Polsky et al. (2007)	36
Figure 10: les approches et méthodes d'étude de la vulnérabilité selon Zaatra (2021)	36
Figure 11: cadre d'analyse de la résilience (Tahiry et al., 2016)	38
Figure 12: illustration des différents types de défis environnementaux et des réponses animales associées (Saviotto et al., 2015).	40
Figure 13: la situation géographique de la wilaya de Mascara.	59
Figure 14: les ensembles naturels de la wilaya de Mascara (Semari et al.,2012)	60
Figure 15: localisation des barrages et principaux oueds de la région de Mascara(Semari et al.,2012).....	61
Figure 16: variation des températures et humidité pour l'année 2022 (Yerou, 2022)	62
Figure 20: schématisation du protocole mise en œuvre d'étude de l'impact du climat sur les performances laitières des étables suivis.....	68
Figure 21: Schéma récapitulatif des différentes étapes d'analyses microbiologiques des échantillons.....	77
Figure 17: évolution du nombre des éleveurs du réseau de collecte du lait cru à Mascara (GPLAIT, 2021)	81
Figure 18: évolution de la quantité mensuelle du lait cru à la réception dans la laiterie El-Amir (GPLAIT,2021).....	82
Figure 19: évolutionsaisonnière de la quantité du lait cru collectée (GPLAIT,2021).....	83

Figure 22: identification des groupes typologique	86
Figure 23: évolution des paramètres climatiques dans la plaine de ghriss.....	89
Figure 24: évolution des valeurs mensuelles du THI dans la région de Ghriss	90
Figure 25: évolution des paramètres suivis en fonction de la saison	93
Figure 26: variation mensuelle de la température rectale des vaches en fonction du THI..	95
Figure 27: relation entre THI et quelques paramètres physiologique.	95
Figure 28: Evolution moyenne des quantités d'aliments distribués par vache laitière en fonction de la saison	98
Figure 29: relevé de l'acidité moyenne du lait cru à la réception dans la laiterie El-Amir pour les années 2021, 2022 et 2023.....	101
Figure 30: teneur en matière grasse du lait cru réceptionnés à la laiterie El Amir pour les années 2021, 2022 et 2023	102
Figure 31: la densité du lait cru réceptionnés à la laiterie El Amir pour les années 2021, 2022 et 2023	103
Figure 32: la teneur en EST du lait cru réceptionnés à la laiterie El Amir pour les années 2021, 2022 et 2023	103
Figure 33: variation du pH pour les différents échantillons du lait cru analysés.	104
Figure 34: variation de l'acidité Dornic des différents échantillons du lait cru analysés.	105
Figure 35: variation de la teneur de l'extrait sec total des échantillons du lait cru analysés	106
Figure 36: variation de la matière grasse et protéique des différents échantillons analysés	107
Figure 37: plan à deux classes du germe Staphylocoques à coagulase positif.....	109
Figure 38: plan à 03 classes des germes aérobies à 30°C du lait crû	111
Figure 39: plan à 03 classes des coliformes totaux et fécaux du lait crû.....	112
Figure 40: croissance de <i>Bacillus spp.</i> dans milieu contenant de lait crû	113
Figure 41: illustration de fonctionnement de HBT.....	118
Figure 42: aperçu de l'application « la vache connecté »	121
Figure 43: la mise en place de l'HBT sur une vache.....	124
Figure 44: représentation graphique du test indiquant la fréquence cardiaque, la température et la température externe.....	127

Figure 45: représentation graphique des enregistrements du pouls en rappor avec l'âge des vaches	128
Figure 46: représentation montre la relation entre les fluctuations de la fréquence cardiaque et la température interne.....	128
Figure 47: représentation montre la relation entre les fluctuations de la fréquence cardiaque et la température externe	129
Figure 48: la relation entre les fluctuations de la température interne et externe.....	130

Liste des Abréviations

Abréviation	Signification
CRISPR	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
CWIF	Climate and Weather Information for Farmers
DBT	Dry Bulb Temperature
DL	Deep Learning
DMI	Dry Matter Intake
DSA	Direction des Services Agricoles
EAC	Exploitation Agricole Collective
EAI	Exploitation Agricole Individuelle
EVP	Effective Vache Productive
FAO	Food and Agriculture Organization
FC	Fréquence cardiaque
FMAT	Flore Mésophile Aérobie Totale
FR	Fréquence Respiratoire
GEBV	Genomic Estimated Breeding Value
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GPS	Global Positioning System (Système de Positionnement Global)
HBT	HelioBioTrack
HR	Humidité Relative
HSP	Heat Shock Protein
IA	Intelligence Artificielle
ICAR	International Committee for Animal Recording
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
ISO	International Organization for Standardization
JORADP	Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et populaire
ML	Machine Learning
MS	Matière Sèche
MSGI	Matière Sèche Ingérée
NBT	New Breeding Techniques
NRC	National Research Council
OACC	Organic Agriculture Centre of Canada
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
ORELAIT	Office Régional de Lait (Algérie)
ORLAC	Office Régional du Lait de Constantine
OROLAIT	Office Régional de l'Organisation du Lait
PCB	Polychlorobiphényles
PDI	Protéines Digestibles dans l'Intestin
PFV	Profil par vache
PLF	Projet de Loi de Finances
PLJ	Production Laitière Journalière
PLME	Moyenne économique (kg de lait / vache / an)
PLT	Production Laitière Totale
PME	Petite et Moyenne Entreprise
PMI	Petite et Moyenne Industrie
PNDA	Programme National de Développement Agricole

PPDM	Personal Privacy Data Management
QMSI	QualitéMicrobiologique du Système d'Information
RETAL	Réseau Technique de l'ÉlevageLaitierAlgérien
RFC	Rapport FourrageConcentré
SC	Score Corporel
SS	Salmonella Shigella
SDFS	Systèmes Durables de Production Fourragère et de l'Élevage
SEME	Système d'Élevageen Milieu Extensif
SLICK	Gène SLICK
SMS	Short Message Service
SNP	Single Nucleotide Polymorphism
SNV	Sciences de la Nature et de la Vie
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TB	Tauxbutyreaux
TCI	Température Critique Inferieure
TCS	Température Critique Superieure
THI	Temperature Humidity Index (IndiceTempérature-Humidité)
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
TNZ	ThermoNeutral Zone
TR	TempératureRectale
TRL	Technology Readiness Level
UFC	Unitéf ourragère des Concentrés
UFLC	Unités Fourragères Lait des Concentrés par kg de lait
UFLCV	Unitéf ourragère des Concentrés par Vache
VRBG	Violet Red Bile Glucose
VRBL	Violet Red Bile Lactose

الملخص

في مواجهة التحديات المتزايدة لتغير المناخ، يبدو أن الابتكار التعاوني هو حل واعد لتعزيز قدرة قطاع الألبان الجزائري على التكيف، لا سيما في المناطق شبه القاحلة. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الابتكار المشترك كوسيلة لتحسين قدرة مزارع الألبان التي تواجه الإجهاد الحراري على التكيف. واستنادًا إلى تصنيف تفصيلي للمزارع في منطقة غريس شبه جافة (ولاية معسكر)، تم تسجيل عدة ملاحظات نذكر هنا أن المزارع تعتمد بشكل رئيسي على تربية الحيوانات في حظائر مغلقة، كنتيجة مباشرة لانخفاض إنتاجية الأعلاف المرتبطة بنقص المياه، مما يؤدي إلى الاعتماد الكبير على المركزات والأعلاف منخفضة الجودة، مثل التبن والمخلفات الخشنة. وتؤدي استراتيجية التغذية هذه إلى الإفراط في التغذية بالطاقة واختلال في نسبة الطاقة إلى البروتين، مما يضر بصحة الحيوان والربحية الاقتصادية.

و يكشف التحليل المناخي المحلي عن نوبات كبيرة من الإجهاد الحراري، والتي تتميز بقيم لمؤشر الحرارة فوق العتبة الحرجة (مؤشر الحرارة $\leq 72^{\circ}\text{C}$). وقد أدت هذه الظروف إلى انخفاض كبير في إنتاج الحليب، وانخفاض في استهلاك العلف والماء، وزيادة في الخصائص الفسيولوجية للحيوانات (درجة حرارة الجسم، معدل التنفس، ومعدل ضربات القلب). أظهرت التحاليل الفيزيائية -الكيميائية القيم الآتية: متوسط درجة الحموضة 6.73 ± 0.02 ، والحموضة $17.2 \pm 0.17^{\circ}\text{D}$ ، ومحتوى الزبد $31.29 \pm 0.64\text{g.l}^{-1}$ ، والكثافة 1.029 kg.m^{-3} ومستخلص الجاف الإجمالي $114.6 \pm 1.07\text{ g.l}^{-1}$. أما من الناحية الميكروبيولوجية، فإن الأحمال التي تم العثور عليها قد تجاوزت بوضوح المعايير الوطنية، حيث بلغ إجمالي الفلورا الميكروبية $1.38 \times 10^6\text{ UFC ml}^{-1}$ ، مجموع القولونيات عند $8.23 \times 10^4\text{ UFC ml}^{-1}$ والقولونيات البرازية عند $2.18 \times 10^4\text{ UFC ml}^{-1}$.

من أجل الاستجابة في آن واحد للقيود الحرارية والصحية والاقتصادية التي تم تحديدها، أدى نهج الابتكار المشترك إلى تصميم واختبار حل *Heliobiotrack (HBT)*؛ وهو أداة لقياس ومراقبة العديد من المعلمات الفسيولوجية المدمجة مع تطبيق الهاتف المحمول *la vache connecté*. يوفر هذا الجهاز الذي يعمل بالطاقة الشمسية، والمزود بأجهزة استشعار ذكية، بيانات مستمرة ودقيقة. يبلغ متوسط درجة حرارة الجسم 37.82 درجة مئوية ($\sigma = 0.28$ درجة مئوية) ومتوسط معدل ضربات القلب 52.91 نبضة في الدقيقة ($\sigma = 3.66$ نبضة في الدقيقة)، مع معدل موثوقية تشغيلية بنسبة 95% في الاختبارات التجريبية. هذه النتائج تجعل من الممكن إجراء تعديلات فردية على ممارسات التربية، وتؤكد أن الابتكار المشترك هو رافعة قوية ليس فقط لتحسين إدارة أعلاف القطيع والقدرة التنافسية لمزارع الألبان الجزائرية، ولكن أيضًا لتحسين رعاية الحيوانات، وجودة الحليب المنتج، والاستدامة الاقتصادية للقطاع في مواجهة الآثار المتزايدة لتغير المناخ.

الكلمات المفتاحية: الابتكار المشترك؛ المرونة؛ الحليب؛ الإجهاد الحراري؛ شبه القاحلة؛ الرفاهية؛ هيليوبوتراك (*HBT*)؛ أجهزة الاستشعار المتصلة.

Résumé

Face aux défis croissants liés aux changements climatiques, l'innovation collaborative apparaît comme une solution prometteuse pour renforcer la résilience de la filière laitière en Algérie, particulièrement dans les régions semi-arides. L'objectif de cette étude est d'analyser la co-innovation comme levier pour améliorer la capacité d'adaptation des exploitations laitières confrontées au stress thermique. À partir d'une typologie détaillée des élevages dans la région semi-aride de Ghriss (wilaya de Mascara), plusieurs constats ont été dressés : les exploitations adoptent principalement un modèle hors-sol, conséquence directe d'une faible productivité fourragère liée au manque d'eau, entraînant une dépendance élevée aux concentrés et à des fourrages de faible qualité, tels que la paille et les résidus grossiers. Cette stratégie alimentaire engendre une suralimentation énergétique et un déséquilibre du ratio énergie-protéines, nuisibles à la santé animale et à la rentabilité économique.

L'analyse climatique locale révèle des épisodes significatifs de stress thermique, marqués par des indices THI supérieurs au seuil critique ($\text{THI} \geq 72$). Ces conditions provoquent chez la vache une baisse notable de la production laitière, une réduction des consommations alimentaires, ainsi qu'une élévation des paramètres physiologiques des animaux : températures corporelles, fréquences respiratoire et cardiaque. Les analyses physico-chimiques du lait montrent un pH moyen de $6,73 \pm 0,02$, une acidité de $17,23 \pm 0,17$ °D, un taux butyreux de $31,29 \pm 0,64$ g l⁻¹, une densité de 1 029 kg m⁻³ et un extrait sec total de $114,6 \pm 1,07$ g l⁻¹. Sur le plan microbiologique, les charges relevées dépassent nettement les normes nationales, avec une flore totale de $1,38 \times 10^6$ UFC ml⁻¹, des coliformes totaux de $8,23 \times 10^4$ UFC ml⁻¹ et des coliformes fécaux à $2,18 \times 10^4$ UFC ml⁻¹.

Afin de répondre simultanément aux contraintes thermiques, sanitaires et économiques identifiées, une démarche de co-innovation a permis de concevoir et tester la solution Heliobiotrack (HBT) ; c'est un outil de mesure et de suivi de plusieurs paramètres physiologiques, intégré à une application mobile « La vache connectée ». Ce dispositif, alimenté par énergie solaire et équipé de capteurs intelligents, fournit en continu des données précises ; les tests réalisés nous ont donné une température corporelle moyenne de 37,82 °C ($\sigma = 0,28$ °C) et une fréquence cardiaque moyenne de 52,91 bpm ($\sigma = 3,66$ bpm) ; le taux de fiabilité du fonctionnement est de 95 % lors des essais pilotes. Ces résultats permettent d'apporter des correctifs individualisés dans les pratiques d'élevage, et confirment que la co-innovation est un puissant levier permettant non seulement d'améliorer la gestion alimentaire du troupeau et la compétitivité des exploitations laitières algériennes, mais également d'optimiser le bien-être animal, la qualité du lait produit, et la durabilité économique de la filière face aux effets croissants du changement climatique.

Mot-clés : Co-innovation ; résilience ; lait ; stress thermique ; semi-arides ; bien-être ; Heliobiotrack (HBT) ; capteurs connectés.

Abstract

Faced with the growing challenges of climate change, collaborative innovation appears to be a promising solution for strengthening the resilience of the Algerian dairy industry, particularly in semi-arid regions. The aim of this study is to analyze co-innovation as a lever for improving the adaptive capacity of dairy farms faced with heat stress. Based on a detailed typology of farms in the semi-arid region of Ghriss (wilaya of Mascara), several observations were made: farms mainly adopt an off-farm model, as a direct consequence of low forage productivity linked to water scarcity, resulting in high dependence on concentrates and low-quality forages, such as straw and coarser residues. This feeding strategy results in energy overfeeding and an imbalance in the energy-protein ratio, detrimental to animal health and economic profitability.

Local climatic analysis reveals significant episodes of heat stress, marked by THI indices above the critical threshold ($\text{THI} \geq 72$). These conditions led to a significant drop in milk production, a reduction in feed consumption and an increase in physiological parameters such as body temperature, respiratory rate and heart rate. Physico-chemical analyses of the milk showed an average pH of 6.73 ± 0.02 , an acidity of 17.23 ± 0.17 °D, a butter content of 31.29 ± 0.64 g l⁻¹, a density of 1,029 kg m⁻³ and a total dry extract of 114.6 ± 1.07 g l⁻¹. Microbiologically, the loads recorded clearly exceed national standards, with total flora of 1.38×10^6 UFC ml⁻¹, total coliforms of 8.23×10^4 UFC ml⁻¹ and fecal coliforms at 2.18×10^4 UFC ml⁻¹.

In order to respond simultaneously to the thermal, sanitary and economic constraints identified, a co-innovation approach led to the design and testing of the Heliobiotrack (HBT) solution, a tool for measuring and monitoring several physiological parameters, integrated with a mobile application "The connected cow". This solar-powered device, equipped with intelligent sensors, provides continuous, accurate data. Tests carried out gave us an average body temperature of 37.82°C ($\sigma = 0.28^\circ\text{C}$) and an average heart rate of 52.91 bpm ($\sigma = 3.66$ bpm); the reliability rate of operation is 95% during pilot testing. These results enable individualized adjustments to be made to breeding practices, and confirm that co-innovation is a powerful lever not only for improving the feed management of the herd and the competitiveness of Algerian dairy farms, but also for optimizing animal welfare, the quality of the milk produced, and the economic sustainability of the sector in the face of the growing effects of climate change.

Key words : Co-innovation; resilience; milk; heat stress; semi-arid; well-being Heliobiotrack (HBT); connected sensors.

Introduction Générale

Introduction générale

Dans le contexte algérien, le lait joue un rôle central dans la sécurité alimentaire, constituant en moyenne 18,4 % des importations alimentaires, soit environ 868 millions de dollars par an (Makhlouf et *al.*, 2015). En tant que source importante de protéines d'origine animale, sa consommation par habitant a dépassé 155 litres en 2022 (Yerou et *al.*, 2023). Le secteur laitier continue aussi d'être fragile, en proie à des déficiences structurelles caractérisées par des avancées technologiques insuffisantes et souvent inadéquates, une désorganisation des filières lait, une disponibilité fourragère limitée et une dépendance excessive à l'égard des importations (Kaouche et Mati, 2017 ; Zoghلامي et *al.*, 2022).

Les conditions climatiques défavorables aggravent ces défis. Le changement climatique exerce une influence directe sur la production laitière en raison de la dégradation des pâturages, de l'escalade l'augmentation des coûts de production et de la détérioration des normes de santé animale (Hanslow et *al.*, 2014 ; safefood, 2017). Plus précisément, le stress thermique entraîne une diminution des rendements de production, une altération des capacités de reproduction, un affaiblissement des réponses immunitaires et une baisse de la qualité du lait (Babinszky et *al.*, 2011).

À la lumière de ces bouleversements, le concept de résilience apparaît comme un objectif essentiel. Il englobe la capacité à résister aux chocs défavorables, à s'y adapter et à s'en remettre (Scheffer et *al.*, 2018). Dans les zones semi-arides, il importe de renforcer avant tout les capacités de résilience des systèmes plutôt que de se limiter à leur robustesse (Berghof et *al.*, 2019 ; Friggens et *al.*, 2017). Cet objectif requiert une articulation étroite entre les innovations technologiques, sociales et organisationnelles (Lemke et *al.*, 2024).

La co-innovation, fondée sur un engagement collaboratif entre les parties prenantes, représente une stratégie pertinente pour accroître la durabilité du secteur (Kilelu et *al.*, 2023). La mise en œuvre de l'agriculture numérique, des capteurs, de l'intelligence artificielle et de la robotique sert de méthodologies instrumentales pour optimiser la production, améliorer le bien-être des animaux et renforcer la traçabilité (Bellon-Maurel et *al.*, 2016).

L'objectif global de cette thèse est d'examiner les mécanismes de résilience du secteur laitier en Algérie, en utilisant un cadre systémique intégrant les dimensions techniques, environnementales et organisationnelles. Pour atteindre cet objectif, quatre actions spécifiques ont été définis :

1. Caractériser les méthodologies utilisées dans le processus de collecte du lait cru depuis la création du secteur (au niveau de la ferme laitière) jusqu'au complexe industriel GIPLAIT à Tizi (Mascara), dans le but d'analyser la traçabilité du processus de collecte et d'identifier les principales contraintes auxquelles sont confrontés les agriculteurs intégrés au réseau.
2. Évaluer la qualité du lait cru en examinant ses paramètres physicochimiques et bactériologiques, dans le but d'identifier les facteurs susceptibles de compromettre sa conformité aux normes sanitaires et technologiques.
3. Analyser l'effet combiné des déterminants épigénétiques, des conditions abiotiques principalement la température et l'humidité relative et des pratiques d'élevage sur les performances zootechniques des vaches laitières, afin d'élucider les mécanismes du stress thermique dans un contexte de changement climatique et de formuler des recommandations opérationnelles pour en atténuer les incidences sur la productivité laitière et la stabilité du réseau de collecte dans la région étudiée.
4. Proposer une solution technologique innovante adaptée pour relever un des principaux défis identifiés, dans le but d'améliorer la résilience et la durabilité à long terme du secteur laitier national.

Afin d'atteindre les objectifs susmentionnés, la présente étude est systématiquement structurée en quatre parties principales. La partie initiale comprend un examen complet de la littérature existante concernant l'industrie laitière en Algérie, les ramifications du changement climatique, les cadres théoriques de la résilience et les implications prospectives de la co-innovation. La partie suivante décrit le cadre de la méthodologie utilisée, incorporant les instruments de collecte de données, les configurations expérimentales et les techniques analytiques utilisées dans la recherche. La troisième partie est consacrée à l'élucidation et à l'analyse des résultats issus de l'enquête. Enfin, la quatrième partie expose l'intervention innovante proposée : il englobe la conceptualisation de l'outil, ses spécifications techniques, ainsi que les évaluations menées pour vérifier son efficacité et son caractère pratique dans l'environnement local.

Partie

Bibliographique

Chapitre 1

La filière lait Algérienne

1 La filière lait en Algérie

1.1 La réalité de la filière lait en Algérie

L'implication de l'État dans la régulation de la filière laitière revêt une importance stratégique. Plusieurs programmes ont été mis en œuvre dans l'objectif de stimuler la production nationale et de limiter la dépendance aux importations alimentaires. Toutefois, comme le soulignent Bellil et Boukrif (2021), malgré les efforts considérables et les ressources budgétaires mobilisées, la filière peine à se défaire de sa dépendance au marché international. À titre illustratif, les données du CNIS indiquent qu'en 2019, la facture des importations de lait et des intrants nécessaires à la filière s'élevait à 1 245,91 millions de dollars américains.

De nombreuses études établissent un lien entre l'aggravation de la dépendance alimentaire de l'Algérie et l'inefficacité des politiques agricoles mises en place (Belhadia et *al.*, 2014 ; Bouzid et Bedrani, 2018 ; Mamine et *al.*, 2021). Sur le plan des échanges extérieurs, l'Algérie figure parmi les sept principaux importateurs mondiaux de produits laitiers en valeur, représentant à elle seule 24 % des importations laitières du continent africain (Chatellier, 2019). En matière de consommation, elle occupe la première place au sein des pays du Maghreb, avec une consommation moyenne annuelle par habitant estimée entre 145 et 150 litres.

Néanmoins, la production nationale, avoisinant les 3,5 milliards de litres, demeure insuffisante pour satisfaire une demande intérieure estimée à près de 5 milliards de litres (Demmad, 2021). Le diagnostic systémique de la filière met en évidence une production et une collecte de lait cru insuffisantes, lesquelles limitent fortement l'intégration du secteur de la transformation (Yerou et *al.*, 2019).

Depuis plusieurs années, la politique laitière s'oriente principalement vers le soutien à la consommation, notamment par le biais de la distribution de lait subventionné issu de la reconstitution de poudre de lait anhydre importée. Par ailleurs, les effectifs bovins ont connu une baisse significative : -3,2 % entre les campagnes 2015/2016 et 2016/2017, puis une nouvelle diminution de 2 % entre 2018 et 2019 (Messaoud et *al.*, 2024). Selon Mamine et *al.* (2021), les interventions publiques ont également pris la forme de dispositifs de subvention, incluant des primes destinées aux éleveurs, aux collecteurs et aux industriels de la filière (figure 1).

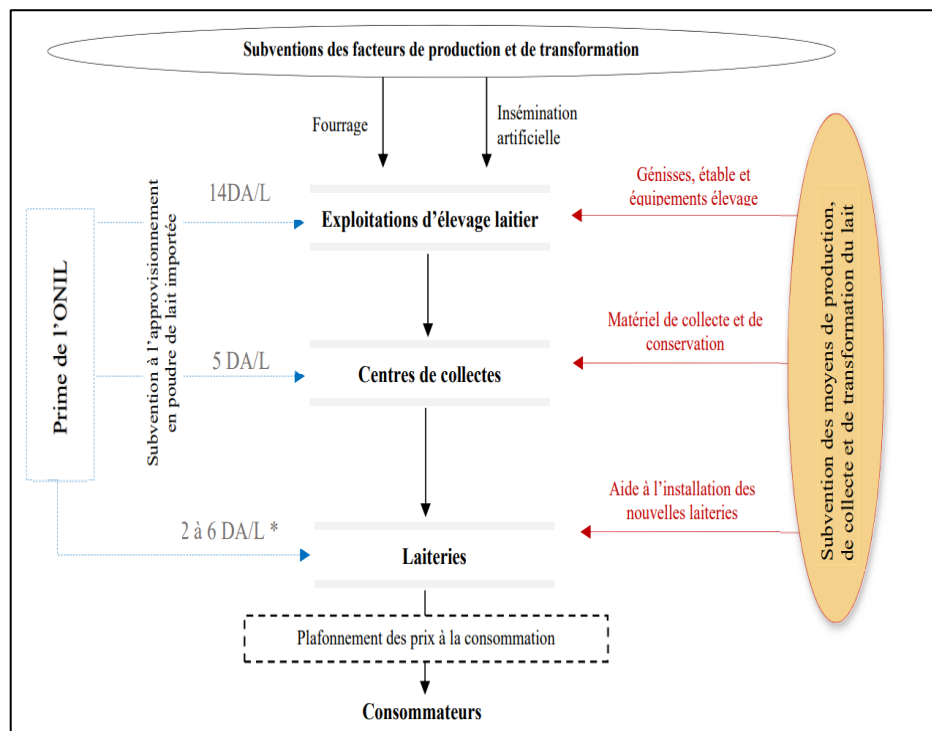


Figure 1: interventions publiques dans la filière lait en Algérie (Mamine et al , 2021)

Les objectifs poursuivis par les programmes de développement de la filière laitière demeurent limités en raison des performances zootechniques modestes, elles-mêmes imputables à l'hétérogénéité des systèmes d'élevage adoptés par les petites et moyennes exploitations laitières (Yerou et *al.*, 2019). Par ailleurs, l'adaptation des vaches importées aux conditions climatiques locales représente un défi majeur, notamment dans les zones arides de l'intérieur du pays, à l'exception de quelques bassins laitiers situés dans les régions littorales, où les conditions sont relativement plus favorables (Belhadia, 2014 ; Yerou et *al.*, 2021 ; Zoghlami et *al.*, 2022).

De nombreuses études réalisées dans les zones agro-climatiques maghrébines, notamment en Algérie, Tunisie et Maroc, mettent en évidence les performances zootechniques relativement limitées des races bovines importées sous nos conditions d'élevage (Madani et Far, 2002 ; Srairi, 2004 ; Madani et Mouffok, 2008 ; Yerou et *al.*, 2019 ; Mamine et *al.*, 2021). Cette stratégie de développement fondée sur l'importation de génisses améliorées semble donc susceptible d'être remise en question dans ces pays. Par ailleurs, la faible autonomie alimentaire des exploitations bovines laitières, incapables de produire elles-mêmes les intrants nécessaires à leur fonctionnement, les rend fortement

dépendantes des importations de matières premières, telles que le maïs et le tourteau de soja, indispensables à la fabrication des aliments composés. En outre, la superficie dédiée aux cultures fourragères demeure insuffisante, et les contraintes associées à l'intensification de la production pour pallier ce déficit persistent, malgré les dispositifs d'appui mis en place par l'État.(voir figure 2).

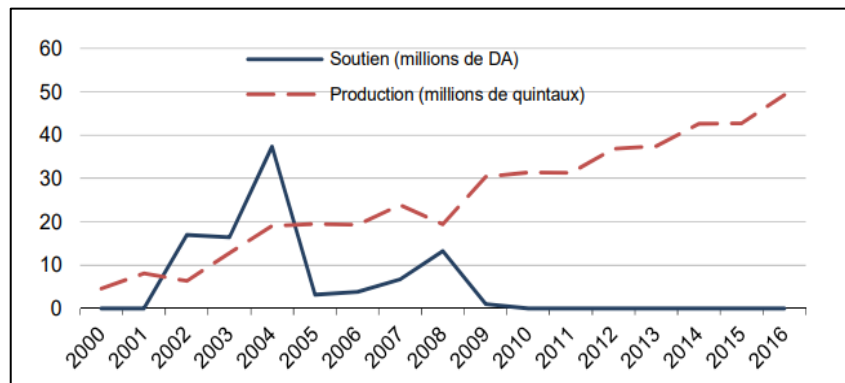


Figure 2: évolution du soutien financier et de la production du fourrage artificiel (Mamine et al, 2021)

Le secteur laitier en Algérie évolue dans un contexte socioéconomique caractérisé par une inadéquation persistante entre l'offre et une demande en constante augmentation, notamment sous l'effet de la dynamique démographique (Kaouch et *al.*, 2015 ; Yerou et *al.*, 2019). Les produits laitiers représentent une composante nutritionnelle essentielle, couvrant environ 16 % des apports quotidiens en protéines de la population (Daoudi et Bouzid, 2020). Malgré une production nationale estimée à 3,6 milliards de litres en 2019, principalement issue du lait cru de vache (MADR, 2020), le pays ne parvient à satisfaire qu'environ 61 % des besoins nationaux, laissant un déficit structurel de l'ordre de 2,3 milliards de litres (Abdelli et *al.*, 2021).

Ce déséquilibre est partiellement comblé par des importations en provenance notamment des Pays-Bas et de l'Uruguay, tandis que la politique publique continue de privilégier le soutien à la consommation à travers le maintien d'un prix administré bas (25 DZD/litre) pour le lait subventionné en sachet, ce qui contribue à stimuler la demande sans pour autant inciter à l'augmentation de la production locale.

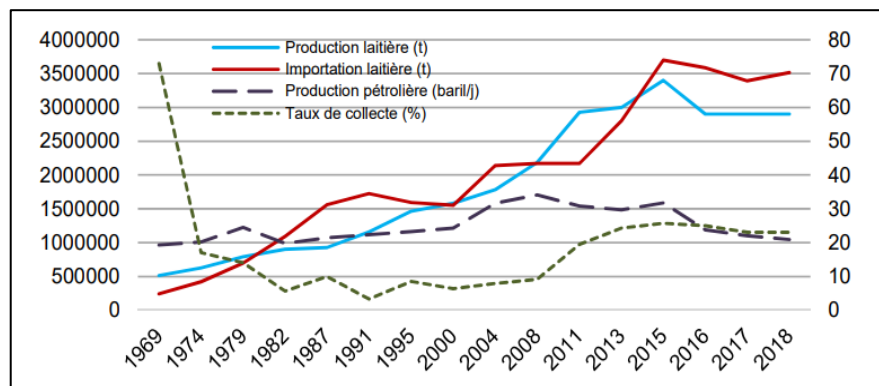


Figure 3: évolution de la production, de la collecte et de l'importation de lait (Mamine et al, 2021)

La figure 3 présente les priorités des politiques publiques en matière de filière lait, à savoir la sécurisation de l'approvisionnement et la satisfaction de la demande des consommateurs. L'importation de poudre de lait et le développement de la production laitière locale représentent des alternatives stratégiques entre lesquelles l'État doit régulièrement opérer des arbitrages (Mamine et al., 2021). En effet, la récurrence des crises d'approvisionnement nationales en lait soulève des interrogations sur l'efficacité du système de régulation de cette filière mis en place par les autorités publiques, ainsi que sur la fiabilité des données utilisées pour garantir la couverture des besoins du marché national en produits laitiers.

1.2 L'importations de la poudre de lait et matière grasse anhydre en Algérie

Pour combler le déficit de production locale, l'État prend en charge l'importation de poudre de lait, qu'il destine prioritairement aux laiteries pour la fabrication de lait conditionné en sachets. Selon Abdelli et al. (2021), la baisse des prix internationaux dès 2017 a engendré une forte progression des importations, qui ont atteint 425 678 tonnes cette année-là, puis augmenté de 4 % en 2018 par rapport à 2017.

Les matières premières subventionnées, distribuées par l'Office National Interprofessionnel du Lait (O.N.I.L.), sont strictement réservées à :

- La production de lait pasteurisé partiellement écrémé conditionné en sachets, vendu au prix subventionné de 25 DA/litre,
- La confection de lait reconstitué (mélange de poudre et de lait de vache partiellement écrémé), également pasteurisé et emballé en sachets polyéthylène.

Il est interdit d'utiliser ces produits pour élaborer des dérivés laitiers (yaourt, l'ben ou raib) ou de les commercialiser sans transformation préalable.

1.3 La transformation de lait dans l'industrie laitière

La filière de transformation du lait produit non seulement des laits pasteurisés et UHT, mais également toute une palette de dérivés : yaourts, laits fermentés, beurres, fromages et desserts lactés (Ait amer Meziane, 2008). Ces opérations sont portées par des entreprises laitières, publiques et privées, idéalement implantées à proximité des principaux bassins de consommation. Si le secteur privé domine aujourd'hui le marché national, la présence publique reste notable à travers le GIPLAIT (Groupe Industriel du Lait et des Produits Laitiers). Créé en 1998 pour succéder aux anciens Offices Régionaux du Lait (OROLAIT, ORLAC, ORELAIT), le GIPLAIT chapeaute actuellement 18 laiteries, réparties en quatre unités dans l'Est (Annaba, Constantine, Batna, Sétif), six dans la région centrale (dont Alger) et huit à l'Ouest (Oran) (Ait amer Meziane, 2008).

Entre 1993 et 2003, la production laitière industrielle du GIPLAIT a connu une fluctuation marquée, passant de 1,4 milliard de litres à 721 millions. Durant cette période, le marché du lait pasteurisé dans la région d'Alger reste dominé par COLAITAL, filiale clé du groupe détenant 38 % des parts, tout en contribuant à l'approvisionnement en produits laitiers diversifiés.

Le programme national de relance de la filière a favorisé l'émergence d'un secteur privé dynamique, composé de 220 PME/PMI. Ces entreprises, regroupant 3 760 unités aux capacités hétérogènes, transforment annuellement l'équivalent de 200 millions de litres de lait, principalement en fromages, yaourts et autres dérivés majoritairement élaborés à partir de matières premières importées.

En parallèle, des laiteries artisanales, soutenues par le PNDA (Plan National de Développement Agricole), valorisent environ 2 millions de litres de lait cru local chaque année, illustrant une complémentarité entre industrie et circuits de proximité (Ait amer Meziane, 2008).

Cette évolution reflète une dualité : modernisation des infrastructures et dépendance aux importations, mais aussi ancrage dans une production locale en quête de diversification.

1.4 Les failles dans la valorisation du lait cru : un défi systémique

L'étude de Yerou et *al.* (2019) révèle une intégration déficiente du lait cru dans les processus industriels, marquée par deux lacunes majeures :

- **En amont** : Une exploitation sous-optimale et une mobilisation mal maîtrisée des ressources naturelles (sols, eau, cheptel), limitant la productivité et la qualité de la matière première.
- **En aval** : Des infrastructures de transformation vieillissantes et des circuits de distribution peu adaptés et peu efficaces, entraînant des goulots d'étranglement logistiques.

1.4.1 Les circuits de distribution des produits laitiers

Yerou et *al.* (2022) , indique que la commercialisation du lait et de ses dérivés s'articule autour de trois axes distincts, reflétant la diversité des acteurs et des pratiques :

a) **Circuit direct et artisanal**

Centré sur la *vente en circuit court*, il inclut le lait cru et les préparations fermières (beurre, l'ben), consommés localement ou vendus directement. Une partie de cette production est ensuite acheminée vers des fromageries et laiteries privées pour transformation secondaire.

b) **Circuit industriel plus articulé sur l'importation**

Regroupant les produits issus d'unités de transformation publiques/privées ainsi que les importations (lait en poudre, farines lactées), ce circuit passe par des réseaux de grossistes et détaillants pour atteindre le consommateur final.

c) **Circuit spécialisé en longue conservation**

Porté par des entreprises privées récentes, il se concentre sur l'importation et la distribution en gros de produits à durée de vie étendue : fromages à pâte dure, lait infantile, ou beurre. Ces acteurs remplacent progressivement les anciennes structures étatiques.

1.4.2 Canaux de commercialisation

L'accès au marché varie selon le nombre d'intermédiaires :

- **Ultra-court** : Vente directe producteur-consommateur (marchés fermiers, points de vente à la ferme).
- **Court** : Un intermédiaire unique (ex. : épicerie locales, coopératives).
- **Long** : Chaîne complexe avec multiples intermédiaires (centrales d'achat, supermarchés, exportateurs).

1.4.3 Les acteurs et dynamiques de la chaîne laitière

Boubekeur(2010) décrit un écosystème commercial structuré autour de plusieurs acteurs interdépendants :

- **Grossistes dépositaires** : Réseau national approvisionnant quotidiennement les épicerie locales, souvent liés par contrat aux grandes centrales laitières pour assurer un flux régulier.
- **Détaillants** : Intermédiaires s'approvisionnant soit auprès des grossistes, soit directement aux centrales, assurant la distribution finale aux consommateurs.
- **Grande distribution** : Acteur hybride cumulant les rôles de grossiste et de détaillant, dominant le circuit grâce à son pouvoir d'achat et sa logistique intégrée.
- **Collectivités publiques** : Bénéficiant de livraisons directes, contournant les intermédiaires traditionnels pour des commandes volumineuses.

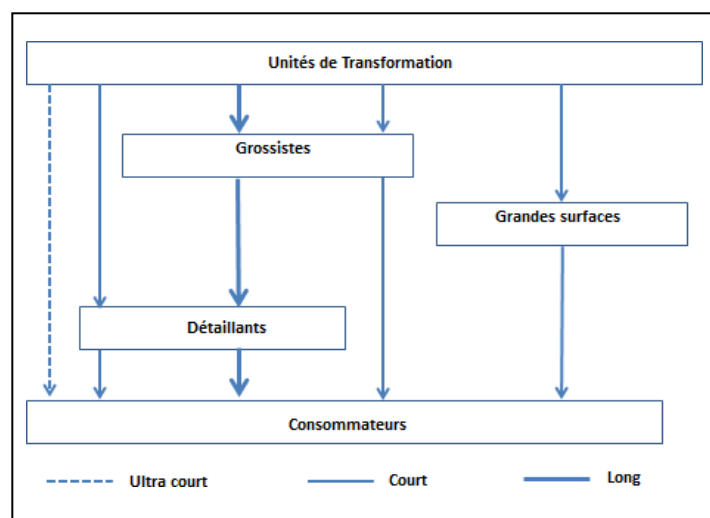


Figure 4: diagramme synthétique sur les canaux de distribution des produits laitiers industrialisés (hiérarchie multifonctionnelle) (Yerou et *al.*,2022)

La concurrence de la poudre de lait a rendu l'accès à la transformation industrielle plus difficile, ce qui a conduit à l'émergence de circuits informels, notamment sous la forme de vente directe de lait ou de produits laitiers transformés de manière artisanale (Mamine et *al.*, 2021).

1.5 Caractérisation des déterminants du lait cru de vache

1.5.1 Définition et caractéristiques du lait cru

Le Codex Alimentarius (2011) définit le lait cru comme la sécrétion naturelle des glandes mammaires d'animaux laitiers, recueillie lors d'une ou plusieurs traites, sans ajout ni retrait de composants. Destiné à la consommation directe ou à la transformation, il ne doit subir aucun chauffage excédant 40°C ni traitement non thermique visant à réduire sa charge microbienne (Deforges et *al.*, 1999).

Le lait de vache, conservé dans son état originel sans altération, reste la référence incontestée pour ses propriétés naturelles et sa composition (Alais, 2008). Cette définition souligne l'importance de préserver l'intégrité du produit, excluant toute modification susceptible d'en affecter la qualité microbiologique ou nutritionnelle.

En Algérie, selon les dispositions du Journal Officiel, le terme « Lait » est exclusivement réservé à la sécrétion mammaire naturelle obtenue par une ou plusieurs traites, sans aucune modification ni traitement thermique (Arrêté du 18/08/1993, Décret du 27/10/1993).

Par ailleurs, l'industrie laitière se fonde principalement sur des propriétés physico-chimiques telles que la densité, la masse volumique, les points de congélation et d'ébullition, ainsi que l'acidité.

1.5.2 Les déterminants organoleptiques

Le lait est considéré comme un aliment complet en raison de son équilibre en nutriments digestibles, essentiels à la croissance et au maintien de la santé. Il contient également des composés bioactifs, tels que les immunoglobulines, qui jouent un rôle protecteur chez les nouveau-nés en les aidant à lutter contre diverses infections. De nombreuses études ont démontré les effets bénéfiques de la consommation de lait et de produits laitiers sur le renforcement du système immunitaire, notamment en mettant en lumière le rôle du lait cru de vache dans la prévention de certaines infections respiratoires chez l'enfant.

Outre ses qualités nutritionnelles, le lait présente des propriétés technologiques qui facilitent sa transformation en une grande diversité de produits laitiers, grâce à un savoir-faire largement maîtrisé dans de nombreuses cultures. Comme le souligne Vierling (2003), les caractéristiques sensorielles du lait son aspect, son odeur, sa saveur et sa texture sont particulièrement marquées lorsqu'on les compare à celles du lait frais.

Couleur : Le lait se distingue par sa teinte blanc mat, qui résulte de la présence de matières grasses et de pigments caroténoïdes. Le bêta-carotène, transformé en vitamine A dans l'organisme de la vache, est ensuite excrété dans le lait. Les globules de graisse et les micelles de caséine diffusent la lumière sans l'absorber, ce qui confère au lait sa couleur caractéristique.

Odeur : Le profil olfactif du lait est assez spécifique, principalement en raison des matières grasses qui fixent facilement les arômes, notamment ceux d'origine animale. L'odeur du lait peut être influencée par divers facteurs : l'environnement de la traite, l'alimentation (par exemple, l'ensilage peut favoriser le développement d'une flore butyrique aux arômes marqués), ou encore les conditions de conservation, où une acidification due à l'acide lactique donne une note légèrement aigre. Bien que discrète, l'odeur du lait reste aisément reconnaissable (Vierling, 2003).

Saveur : La saveur du lait est douce et légèrement sucrée, grâce à sa teneur en lactose – un sucre naturel dont le pouvoir sucrant est toutefois inférieur à celui du saccharose. Certains fourrages, notamment ensilés, peuvent modifier ce goût et lui conférer des notes atypiques, parfois amères. Cette amertume peut également être le signe d'une contamination microbienne externe (Seydi, 2004).

Viscosité : La viscosité est un critère important de la qualité du lait, en lien avec ses propriétés rhéologiques, qui influencent directement la perception du produit par le consommateur. Elle dépend de nombreux facteurs, notamment la présence de particules colloïdales (émulsifiées ou dissoutes). La concentration en matières grasses et en caséine joue ici un rôle déterminant, de même que certaines conditions technologiques, comme le précise (Larpent, 1997).

1.5.3 Les déterminants physiques du lait cru de vache

Le lait est défini comme une émulsion de matières grasses dispersées dans une solution aqueuse, comportant divers éléments, certains sous forme dissoute et d'autres sous forme colloïdale. Selon Mathieu (1998), les caractéristiques physico-chimiques du lait cru sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1: caractéristiques physico-chimiques du lait cru (Mathieu, 1998).

Densité	Acidité Dornic	Point de congélation	Point d'ébullition	pH (20°C)
1,028-1,034	15 – 18	-0,5-0,55	100,5 °C	6,5-6,7

Densité : la densité du lait n'est pas une constante fixe, même au sein d'une même espèce. Elle est influencée par deux facteurs principaux, dont les effets sont opposés : la concentration en éléments dissous et en suspension, qui tend à l'augmenter, et la teneur en matière grasse, qui tend à la diminuer. Cette variabilité rend la densité dépendante de la composition biochimique du lait, elle-même influencée par des facteurs physiologiques, alimentaires et environnementaux.

Selon SEME et *al.* (2015), la densité moyenne du lait est de 1,032 à 20 °C, mesurée à l'aide d'un thermo-lactodensimètre. Lorsque la température diffère de cette valeur de référence, une correction est appliquée selon la formule :

$$\text{Densité corrigée} = \text{densité lue} + 0,0002 (\text{température du lait} - 20^{\circ}\text{C}).$$

Chez les individus d'une même espèce, les valeurs mesurées peuvent varier généralement entre 1,030 et 1,033 à 20 °C. Toutefois, la mesure de la densité ne permet pas, à elle seule, de détecter les pratiques frauduleuses telles que le mouillage après écrémage, car ces manipulations peuvent produire une densité apparente conforme à la norme.

Acidité : l'acidité du lait se mesure généralement en degrés Dornic ou °Dornic°D, où 1°Dornic correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait. Par convention, on peut également l'exprimer en grammes par litre. Deux méthodes d'évaluation sont donc couramment indiquées : le pH, qui mesure l'activité des ions hydrogène, et l'acidité titrable, exprimée en °Dornic.

En principe, on peut conclure qu'un lait est frais et sain s'il a un pH moyen de $6,7 \pm 0,1$, et son acidité titrable est d'environ 15 à 18 °Dornic (15 à 18 g d'acide lactique par litre)

(FAO, 1998). Toutefois, pendant le stockage à la température ambiante, il est de plus en plus acide, car les micro-organismes transforment le lactose en acide lactique, on distingue donc l'acidité naturelle ou du lait frais du lait, d'une part, et l'acidité ou l'acidité acquise, qui est une altération microbienne du lait, s'il est conservé (Mathieu, 1998).

Le pH : le pH constitue un indicateur sensible de l'état de fraîcheur du lait. En présence de bactéries lactiques, le lactose est partiellement transformé en acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de la concentration en ions hydronium (H_3O^+) et, par conséquent, une diminution du pH.

Les laits présentent généralement un pH proche de la neutralité, compris entre 6,4 et 6,8. Cette valeur résulte principalement de la présence de caséine ainsi que des anions phosphates et citrates. Toutefois, le pH n'est pas une donnée fixe : il peut légèrement varier au cours du cycle de lactation ou en fonction du régime alimentaire. Ces variations restent toutefois limitées au sein d'une même espèce. À titre d'exemple, le colostrum présente un pH plus acide en raison de sa richesse en protéines (Gaucher et *al.*, 2008).

Le point de congélation : constitue l'un des paramètres physico-chimiques les plus stables du lait, ce qui en fait un critère fiable pour la détection d'éventuelles fraudes. En effet, l'ajout d'eau (ou mouillage) élève ce point, le rapprochant de 0 °C, tandis que l'écémage n'a aucun effet significatif sur cette valeur. À l'inverse, une acidification due à la fermentation lactique ou l'ajout de sels solubles peut abaisser le point de congélation (Mathieu, 1998).

Chez la vache, les valeurs observées pour des laits individuels varient généralement entre -0,54 °C et -0,55 °C, avec une moyenne autour de -0,520 °C. Toute élévation anormale de cette température peut indiquer une dilution : ainsi, une augmentation de 0,005 °C correspond approximativement à l'ajout de 1 % d'eau.

1.5.4 Les déterminants chimiques du lait

La composition chimique du lait cru de vache est influencée par de nombreux facteurs, notamment la race de l'animal, son régime alimentaire, son état de santé, la période de lactation ainsi que le moment de la traite. En raison de cette variabilité, la composition précise d'un échantillon de lait ne peut être connue qu'à travers une analyse directe (Roudaut et Lefrancq, 2005 ; Kaouche, 2018).

L'eau : l'eau constitue le principal composant du lait en termes de proportion. Sa structure polaire, résultant de la présence d'un moment dipolaire et de doublets

d'électrons non liants, lui confère une capacité particulière à interagir avec d'autres molécules. Ainsi, elle permet la formation de solutions vraies avec les composés hydrophiles tels que les glucides et les minéraux, et de solutions colloïdales avec les protéines solubles du lactosérum.

En revanche, les matières grasses, de nature non polaire (hydrophobe), ne se dissolvent pas dans l'eau : elles forment une émulsion de type huile dans l'eau, stabilisée naturellement dans le lait. De même, les micelles de caséines, en raison de leur structure solide et de leur faible solubilité, sont dispersées sous forme de suspension colloïdale (Mathieu, 1998 ; Amiot *et al.*, 2002).

Les Glucides : le principal glucide du lait de vache est le lactose, un disaccharide formé d'une unité de glucose et d'une unité de galactose. Il est synthétisé dans les cellules lactogènes à partir du glucose sanguin, sous l'action conjointe de la galactosyl-transférase et de l' α -lactalbumine (Fernane, 2017). Le lactose est le seul sucre présent en quantités significatives dans le lait de vache, avec une teneur relativement constante, généralement comprise entre 48 et 50 g/L.

Matière grasse : la matière grasse, ou taux butyreux, constitue l'un des composants majeurs du lait, avec une concentration variant généralement entre 25 et 45 g/L. Elle est principalement composée de triglycérides (98,5 %), qui sont des esters formés par la condensation de trois acides gras avec une molécule de glycérol (Jeantet *et al.*, 2007). À cela s'ajoutent environ 1 % de phospholipides polaires, et 0,5 % de substances liposolubles telles que le cholestérol, les hydrocarbures, ainsi que les vitamines A, D, E et K.

Dans le lait, la matière grasse est majoritairement présente sous forme de globules gras dont le diamètre varie de 0,2 à 15 μm . Ces globules sont entourés d'une membrane biologique complexe, appelée membrane du globule gras du lait. Cette enveloppe joue un rôle fondamental dans la stabilité de l'émulsion lait/plasma, grâce à sa composition en protéines, phospholipides, glycoprotéines, lipides neutres, enzymes et autres composants mineurs. Elle agit comme un émulsifiant naturel, assurant la dispersion homogène des lipides dans le milieu aqueux.

Parmi les phospholipides, trois principales catégories sont identifiées dans le lait : les lécithines, les céphalines et les sphingomyélines, qui jouent également un rôle fonctionnel dans la structure et les propriétés nutritionnelles du lait.

Les Protéines : les protéines du lait, en particulier la caséine, sont organisées sous forme de micelles colloïdales, une structure complexe stabilisée par la présence de phosphate de

calcium, qui joue un rôle essentiel dans leur cohésion (Marchin, 2007). Sur le plan minéral, ces micelles sont constituées à environ 90 % de phosphate de calcium, tandis que les 10 % restants incluent des ions citrate et magnésium, contribuant à l'équilibre ionique de la phase colloïdale (Vignola, 2002). La précipitation des caséines intervient naturellement lorsque le pH atteint 4,6, point isoélectrique de la caséine ou de manière enzymatique par l'action de la présure, phénomène clé dans la fabrication des produits laitiers fermentés et des fromages (Kabir, 2015).

Les protéines solubles du lactosérum jouent des rôles biologiques et fonctionnels essentiels. La β -lactoglobuline représente environ 55 % des protéines du lactosérum ; elle se distingue par sa richesse en acides aminés soufrés, ce qui lui confère un intérêt nutritionnel notable (Thapon, 2005). L' α -lactalbumine, qui constitue 22 % de ces protéines, intervient quant à elle dans la biosynthèse du lactose, en association avec la galactosyl-transférase (Kabir, 2015). Enfin, les immunoglobulines, bien que présentes en moindre quantité dans le lait mature, sont particulièrement abondantes dans le colostrum et assurent une fonction immunitaire en protégeant le nouveau-né contre divers agents pathogènes (Thapon, 2005).

Les Enzymes : les enzymes présentes dans le lait jouent des rôles fonctionnels et technologiques importants. La lipase, par exemple, est responsable de l'hydrolyse des triglycérides en acides gras, un processus qui peut entraîner l'apparition d'un goût rancide, particulièrement en cas de lipolyse excessive (Pougheon, 2001). La lactoperoxydase, quant à elle, exerce une action antibactérienne naturelle en inhibant la croissance de certains pathogènes, contribuant ainsi à la préservation spontanée du lait cru (Pougheon, 2001). Enfin, la phosphatase est une enzyme thermosensible dont la dénaturation constitue un indicateur clé de l'efficacité de la pasteurisation, jouant ainsi un rôle central dans le contrôle qualité des produits laitiers (Thapon, 2005).

Les Vitamines : les vitamines sont des micronutriments essentiels au bon fonctionnement de l'organisme humain, intervenant notamment comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges au niveau des membranes cellulaires (Vignola, 2002). Ne pouvant être synthétisées par l'organisme humain, elles doivent être apportées par l'alimentation. Leur teneur dans le lait dépend principalement du régime alimentaire des animaux et du stade de lactation (Jeantet et *al.*, 2008). Bien que présentes en faibles quantités, les vitamines du lait sont néanmoins fonctionnelles et biologiquement actives.

Les vitamines sont classées en deux grandes catégories selon leur solubilité : hydrosolubles et liposolubles.

- **Vitamines hydrosolubles**

Les vitamines hydrosolubles, présentes dans la phase aqueuse du lait, sont principalement retrouvées dans le lactosérum (Debry, 2001) :

- **Vitamine B1 (Thiamine)** : partiellement libre ou liée aux protéines. Sensible aux longues expositions à la chaleur, mais relativement stable lors de traitements courts à haute température (UHT).
- **Acide folique** : lié aux protéines, sa concentration varie. Sensible à la lumière et à l'oxygène, mais stable à la chaleur et à un pH supérieur à 4. C'est un facteur de croissance pour divers micro-organismes.
- **Biotine** : présente sous forme libre, en faible quantité. Stable à la chaleur et à la lumière, mais sensible à l'air.
- **Vitamine B12 (Cyanocobalamine)** : majoritairement liée au lactosérum (95 %), elle est stable à l'air mais très sensible à la lumière et à la chaleur. La pasteurisation UHT n'en détruit que 10 %, contre 90 % pour une stérilisation classique.
- **Vitamine C (Acide ascorbique)** : présente uniquement sous forme libre, en quantité relativement faible comparée aux fruits et légumes. Très sensible à l'air, à la lumière et au chauffage (jusqu'à 50 % de perte en stérilisation classique). Le stockage prolongé en cuve réfrigérée (2–4 °C) entraîne aussi une dégradation importante.

- **Vitamines liposolubles**

Les vitamines liposolubles (A, D, E, K) sont associées à la matière grasse du lait, certaines localisées au cœur du globule gras, d'autres à sa périphérie. Leur teneur est donc réduite en cas d'écémage (Debry, 2001) :

- **Vitamine A (Rétinol et carotène)** : la teneur augmente lorsque les vaches sont nourries avec des fourrages riches en carotène, notamment en été. Le carotène donne sa couleur à la matière grasse du lait.
- **Vitamine D (Cholécalciférol)** : présente en très faibles quantités (entre 1 et 50 ng/L).
- **Vitamine K** : synthétisée dans le rumen des ruminants, elle est présente en quantités faibles mais suffisantes pour répondre aux besoins humains (de 0,1 à 0,5 mg pour 100 g de lipides)

Les minéraux : le lait est une source notable de minéraux essentiels, répartis entre cations et anions. Parmi les cations majoritaires figurent le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium, tandis que les anions les plus abondants sont le phosphate, le chlorure et le citrate (Gaucheron, 2004). Ces éléments jouent un rôle fondamental dans l'équilibre électrolytique, la stabilité colloïdale du lait, et la nutrition humaine, notamment en ce qui concerne la minéralisation osseuse.

En complément de ces macroéléments, le lait contient également des éléments mineurs tels que le soufre, présent principalement dans les acides aminés soufrés des protéines, ainsi qu'un ensemble d'oligo-éléments retrouvés à l'état de traces : manganèse, bore, fluor, silicium, brome, molybdène, cobalt, baryum, titane, lithium, entre autres (Brulé *et al.*, 2008). Bien que présents en très faibles quantités, ces éléments peuvent avoir une importance fonctionnelle et nutritionnelle.

1.5.5 Les déterminants indésirables du lait

Le lait peut être exposé à une diversité de contaminants provenant de l'environnement, de l'alimentation animale, des traitements vétérinaires ou encore des pratiques technologiques. Ces substances, souvent invisibles à l'œil nu, compromettent à la fois la qualité sanitaire, la sécurité alimentaire et la valeur technologique du produit (Bolnot & Quintard, 2004). Une gestion rigoureuse et préventive s'impose pour garantir un lait sain et conforme aux normes en vigueur.

Contamination chimiques et biologiques : Parmi les contaminants chimiques, les résidus d'antibiotiques sont particulièrement préoccupants. Fréquemment utilisés pour traiter des pathologies telles que les mammites, ils peuvent entraîner des réactions allergiques chez le consommateur, favoriser le développement de résistances bactériennes et interférer avec les ferments lactiques nécessaires à la transformation du lait (Michell, 2005 ; Althaus *et al.*, 2003).

Les pesticides, issus des traitements phytosanitaires ou de l'usage d'ectoparasitiques en élevage, présentent un risque de toxicité chronique par bioaccumulation dans les tissus adipeux (Luquet, 1972; Beroza & Bowman, 1996). De même, l'utilisation de nitrates dans certaines étapes de la transformation

fromagère peut entraîner la formation de nitrosamines, substances à potentiel cancérigène avéré (Kabir, 2015).

Les métaux lourds tels que le plomb et le mercure, généralement issus de la pollution industrielle ou d'engrais contaminés, présentent des effets neurotoxiques et peuvent altérer la fonction rénale (Vanier, 2005). Les polychlorobiphényles (PCB), quant à eux, sont des perturbateurs endocriniens puissants et possèdent un potentiel cancérigène élevé, souvent liés à des sources industrielles comme les transformateurs ou les déchets chimiques (Vanier, 2005).

Contamination physique : Les corps étrangers (poussières, insectes, résidus mécaniques issus de la traite ou du conditionnement) constituent une catégorie de contaminants physiques non négligeable. Leur présence compromet la qualité organoleptique du lait et représente un risque microbiologique non négligeable (Bolnot& Quintard, 2004).

Face à ces risques multiples, une approche préventive et intégrée est essentielle. Elle repose sur une surveillance analytique rigoureuse, associée à des pratiques d'élevage optimisées, incluant le respect des délais d'attente pour les traitements vétérinaires, la maîtrise des intrants agricoles et l'entretien des équipements de traite. Cette vigilance est indispensable pour assurer un lait de qualité, sans danger pour la santé du consommateur et compatible avec les exigences technologiques des filières de transformation (Bolnot& Quintard, 2004).

1.6 Les facteurs influençant la qualité du lait

La qualité et la composition du lait sont influencées par plusieurs facteurs, qui peuvent être classés en deux catégories principales : intrinsèques et extrinsèques. Les facteurs intrinsèques comprennent la race, l'âge, l'état de santé de l'animal ainsi que le stade de lactation, lesquels peuvent entraîner des variations significatives des teneurs en lipides et en protéines, et augmenter le risque de présence de contaminants dans le lait (Sraïri et *al.*, 2009 ; Kaouche-Adjlane, 2019). Quant aux facteurs extrinsèques, tels que l'alimentation, la saison ou encore la méthode de traite, ils affectent également la composition du lait, notamment son profil nutritionnel, et peuvent accroître le risque de contamination microbienne en raison de mauvaises pratiques d'hygiène (Zoghلامي et *al.*, 2022).

1.6.1 L'influence des mammites subcliniques

Les mammites causées par *Staphylococcus aureus* ont des répercussions significatives tant sur le plan zootechnique qu'économique et sanitaire. Sur le plan de la production, elles entraînent une diminution du rendement laitier pouvant aller de 10 à 25 %, ainsi qu'une altération notable de la qualité du lait due à des phénomènes de protéolyse et de lipolyse (Seegers et *al.*, 2003). Ces infections engendrent également des coûts économiques importants liés aux traitements vétérinaires, à la réforme prématurée des animaux atteints et aux pénalités financières imposées en cas de non-conformité du lait livré (Petrovski et *al.*, 2006). Enfin, ces mammites représentent un risque zoonotique non négligeable, car *S. aureus* peut être transmis à l'homme, provoquant des infections cutanées ou des intoxications alimentaires, en particulier lorsqu'il produit des entérotoxines thermostables (Yerou et *al.*, 2021).

Cette maladie a un impact majeur sur la qualité technologique et sanitaire du lait. Sur le plan physiopathologique, les bactéries pathogènes telles que *Staphylococcus aureus* dégradent les cellules épithéliales de la glande mammaire, ce qui entraîne une augmentation de la perméabilité des tissus. Cette altération favorise le passage de composants sanguins comme les ions sodium et chlorure dans le lait, tout en réduisant la synthèse de constituants essentiels tels que le lactose et les caséines (Bony et *al.*, 2005). Ces modifications se traduisent par des effets mesurables : une baisse du taux de lactose, qui chute de 4,8 % à 4,2 %, compromettant la fermentation fromagère ; une diminution des caséines, passant de 80 % à 60 % des protéines totales, réduisant ainsi le rendement en fromage ; et une élévation du nombre de cellules somatiques au-delà de 200 000 cellules/mL, indicateur principal d'une inflammation mammaire (Coulon et *al.*, 2002). D'un point de vue économique, les mammites représentent une charge considérable pour les éleveurs, avec des coûts directs liés aux traitements vétérinaires, et des pertes indirectes résultant de la réforme précoce des vaches ou du déclassement du lait. Elles sont à l'origine de près de 80 % des pertes enregistrées dans les élevages laitiers (Seegers et *al.*, 2003).

1.6.2 L'impact génétique et stade de lactation

Le choix de la race bovine joue un rôle déterminant dans la composition du lait. Les races à forte productivité, telles que la Holstein, produisent de plus grands volumes de lait, mais souvent au détriment de la concentration en matières grasses et

en protéines, en raison d'un effet de dilution. À l'inverse, des races dites rustiques comme la Montbéliarde présentent un meilleur profil nutritionnel, bien que leur rendement soit plus faible (Yerou et *al.*, 2021). Ce compromis entre quantité et qualité doit être pris en compte dans les stratégies d'élevage, en fonction des objectifs économiques et nutritionnels.

La composition du lait évolue également au cours du cycle de lactation. En début de lactation, bien que la production soit maximale, les concentrations en matières grasses et en protéines sont généralement plus faibles. À l'inverse, en fin de lactation, la baisse du volume sécrété s'accompagne d'une augmentation relative de ces composants, avec une élévation de la teneur en matières grasses pouvant atteindre 15 à 20 %, traduisant un phénomène de concentration physiologique (Sraïri et *al.*, 2009 ; Kaouche-Adjlane, 2019). Cette évolution nécessite un ajustement nutritionnel pour maintenir la qualité du lait tout au long du cycle.

1.6.3 Les variations saisonnières et climatiques

La composition chimique et la qualité microbiologique du lait sont soumises à d'importantes fluctuations saisonnières, indépendamment du stade de lactation ou du régime alimentaire. En hiver, les teneurs en protéines et en acides gras, notamment l'acide butyrique, sont plus élevées. Ce phénomène est attribué à une régulation hormonale influencée par la photopériode réduite, qui stimule favorablement la synthèse des composants du lait (Kaouche et *al.*, 2017).

À l'inverse, durant la saison estivale, la production de lait tend à augmenter, induisant un effet de dilution des constituants nobles. Bien que des températures modérées (0 à 25 °C) n'affectent pas directement la production laitière, la qualité microbiologique du lait s'en trouve impactée. La chaleur favorise en effet l'augmentation du nombre de cellules somatiques, indicateur de mammites subcliniques, et une élévation de la charge bactérienne totale (Zoghلامي et *al.*, 2022).

En revanche, les conditions froides et sèches de l'hiver sont associées à une réduction significative de la flore microbienne, en raison d'un environnement moins favorable à la prolifération bactérienne (Sraïri et *al.*, 2009 ; Kaouche et *al.*, 2014). Le stress thermique estival, combiné à une hygiène parfois compromise, peut donc altérer à la fois la composition et la sécurité sanitaire du lait (Coulon et *al.*, 1991 ; Bony et *al.*, 2005).

1.6.4 La croissance microbienne post-traite

Malgré une réfrigération immédiate à des températures optimales (entre 4 et 6 °C), la qualité microbiologique du lait cru peut se détériorer rapidement après la traite si les conditions de stockage et d'hygiène ne sont pas rigoureusement respectées. Cette altération est liée à la prolifération de microflore indésirables, naturellement présentes dans le lait.

Les coliformes fécaux sont des indicateurs classiques d'une contamination d'origine fécale, souvent liée à un manque d'hygiène lors de la traite (Zoghلامي et *al.*, 2022). Des pathogènes comme *Staphylococcus aureus* peuvent produire des entérotoxines thermostables, responsables d'intoxications alimentaires, tandis que *Listeria monocytogenes*, dangereuse pour les populations à risque (immunodéprimés, femmes enceintes, personnes âgées), peut se multiplier même à basse température.

Par ailleurs, les clostridies sulfite-réductrices sont particulièrement redoutées en transformation fromagère, car elles génèrent des défauts d'affinage tels que des gonflements indésirables dans les fromages à pâte pressée.

Une étude menée en Algérie orientale a mis en évidence une croissance rapide des flores mésophile, levures et moisissures dès les premières heures post-traite, y compris sous réfrigération (Kaouche-Adjlane, 2018). Ces constats soulignent la nécessité d'un contrôle hygiénique strict et d'une chaîne du froid ininterrompue tout au long du processus de production et de collecte (Kaouche et *al.*, 2017).

Chapitre 2

Elevage bovin laitier et changement climatique (CC)

2 L'élevage bovin laitier et changement climatique (CC)

Le changement climatique (CC) est désormais reconnu comme un facteur déterminant pour l'avenir de l'élevage bovin, en particulier dans les zones sèches. Parmi ses conséquences majeures, le stress thermique (ST) représente l'un des défis les plus critiques en zootechnie. Selon les projections du GIEC (2014), la température moyenne mondiale pourrait augmenter de 2 °C d'ici la fin du XXI^e siècle, accompagnée d'étés plus longs, plus chauds et plus secs. Ces transformations affecteront l'ensemble des systèmes d'élevage, depuis la disponibilité et la qualité des ressources fourragères jusqu'à la sélection génétique des animaux (Yerou et *al.*, 2022).

Un paradoxe émerge dans ce contexte : les progrès réalisés en matière de performances laitières se traduisent souvent par une plus grande sensibilité des animaux à la chaleur. En effet, les vaches à haut potentiel génétique, issues de sélections intensives, produisent non seulement plus de lait, mais également plus de chaleur métabolique, ce qui complique leur thermorégulation en période de forte chaleur (Hansen, 2007). Cette vulnérabilité est aggravée par le fait que la sélection axée exclusivement sur le rendement a souvent négligé les critères de robustesse, compromettant la fertilité, la santé locomotrice, le métabolisme et la longévité (Oltenacu & Broom, 2010), et réduisant par conséquent la capacité d'adaptation des animaux aux aléas climatiques.

Le stress thermique exerce des effets complexes et interdépendants qui affectent de manière significative le bien-être des bovins laitiers ainsi que la rentabilité des élevages. Sur le plan physiologique, il perturbe les mécanismes de thermorégulation, provoquant une hyperthermie, une réduction de l'ingestion alimentaire, une baisse de la production laitière et divers troubles métaboliques. D'un point de vue comportemental, les animaux soumis à ce stress réduisent leur temps de rumination, deviennent plus agités et manifestent des signes visibles de détresse thermique. Ces déséquilibres se répercutent également sur la reproduction, avec une diminution de la fertilité, un allongement de l'intervalle entre les vêlages et une altération des fonctions hormonales. L'immunité est également affaiblie, rendant les animaux plus sensibles aux infections opportunistes. Enfin, le stress thermique affecte la qualité technologique du lait : les concentrations en matières grasses et protéines diminuent, et les variations dans sa composition compromettent sa valorisation industrielle (Babinszky et *al.*, 2011).

2.1 Les mécanismes de régulation thermique chez le bovin laitier

En tant qu'animaux homéothermes, les bovins doivent maintenir leur température corporelle centrale relativement constante, même lorsque la température ambiante varie. Cette capacité de régulation thermique est essentielle pour leur bien-être et leur productivité, en particulier chez les vaches laitières, dont le métabolisme est intensément sollicité. Pour faire face à une élévation de la température externe, les bovins mettent en œuvre plusieurs mécanismes physiologiques et comportementaux pour limiter l'impact du stress thermique. Ils cherchent à maintenir un équilibre thermique entre la chaleur produite par leur métabolisme et celle dissipée vers l'environnement. Cette perte de chaleur se fait par conduction, convection, rayonnement, mais aussi par évaporation notamment via le halètement (respiration rapide et superficielle) et la transpiration (Yousef, 1985).

En situation de ST, les animaux ne se contentent pas de dissiper l'excédent de chaleur : ils cherchent aussi à réduire leur propre production de chaleur métabolique. Cela passe notamment par une diminution de l'ingestion alimentaire et une modification des processus digestifs, deux mécanismes régulés par les systèmes nerveux et endocrinien (Yousef, 1985). Ces ajustements biologiques peuvent également affecter l'activité enzymatique et la synthèse des protéines, avec des conséquences sur l'efficacité métabolique globale. Par ailleurs, Howard et *al.* (2013) soulignent que la baisse de performance observée chez les bovins en période de forte chaleur est largement liée à une réaffectation de l'énergie. Une part importante de cette énergie est détournée vers les processus de thermorégulation, au détriment de la production (notamment la production laitière) et de la croissance. Autrement dit, l'animal consomme de l'énergie non plus pour produire, mais pour survivre dans un environnement devenu inconfortable.

2.2 La zone de neutralité thermique mécanismes et facteurs de variation

LeST survient lorsque la chaleur totale absorbée par l'animal excède sa capacité à dissiper cette chaleur. Ce déséquilibre est provoqué par une combinaison de facteurs dont la température ambiante, l'humidité relative, le rayonnement solaire, la vitesse du vent et les précipitations. Selon West (2003). En effet, ces paramètres perturbent l'homéostasie thermique de l'animal, déplaçant ses variables physiologiques (la température corporelle, fréquence respiratoire) hors de leur plage d'équilibre.

La Zone de Neutralité Thermique (TNZ), définie par Silanikove (2000), est représentée la plage de température où le bovin régule sa température corporelle sans effort physiologique accru (Figure 5). Elle est encadrée par deux seuils critiques : température critique inférieure (TCI), température critique supérieure (TCS)

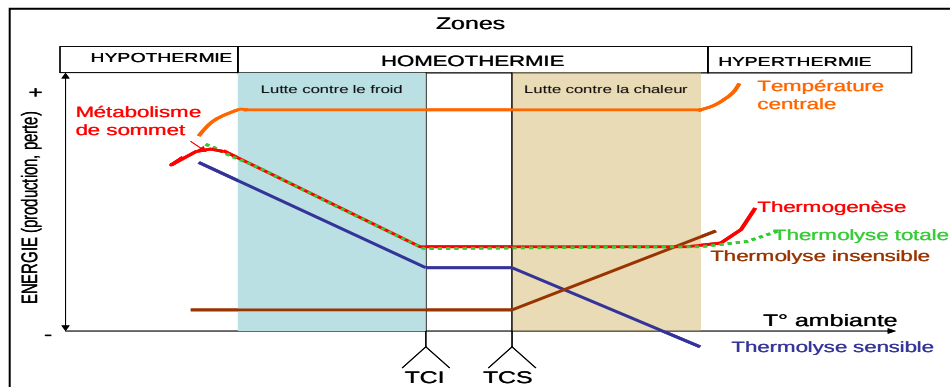


Figure 5: relation entre la température corporelle centrale et la production de chaleur d'un animal ayant différentes zones environnementales par rapport au ST. (Silanikove, 2000).

Les bovins laitiers réagissent aux températures ambiantes extrêmes par des mécanismes physiologiques visant à maintenir leur homéostasie thermique, en lien étroit avec les limites de leur zone de neutralité thermique (TNZ). Lorsque la température ambiante descend sous la température critique inférieure (TCI), les animaux augmentent leur métabolisme basal, notamment via l'oxydation des réserves lipidiques, et produisent de la chaleur interne par frissons musculaires (West, 2003 ; Silanikove, 2000). À l'inverse, lorsque la température dépasse la température critique supérieure (TCS), ils activent des mécanismes de thermolyse tels que le halètement et, dans une moindre mesure, la transpiration cutanée – cette dernière étant limitée chez les bovins en raison de leur faible densité de glandes sudoripares.

La TNZ n'est pas universelle et varie selon divers facteurs. La race est un déterminant majeur : les races tropicales, comme le Brahman, présentent une TNZ plus large que les races tempérées telles que la Holstein, grâce à des adaptations génétiques (peau fine, toison claire, métabolisme adapté). Le stade de lactation influence également la TCS : les vaches en lactation produisent davantage de chaleur métabolique, ce qui réduit leur capacité à tolérer des températures élevées et les rend plus sensibles au stress thermique,

souvent associé à une réduction de l'ingestion alimentaire et une baisse de production laitière.

Enfin, le climat d'origine joue un rôle crucial dans la capacité d'acclimatation thermique. Les bovins des zones arides présentent des adaptations morpho-physiologiques surface corporelle augmentée, masse corporelle réduite, cornes développées, poils courts qui leur permettent de tolérer des températures plus élevées (Silanikove, 2000). Ainsi, dans les climats tempérés, la TNZ des Holstein se situe généralement entre 5 °C et 25 °C, tandis que chez les zébus ou races sahéliennes, elle peut s'étendre jusqu'à 35 °C, témoignant d'une meilleure efficacité de dissipation thermique.

2.3 Les outils et indices de caractérisation du ST

Le stress thermique chez les animaux d'élevage, et particulièrement chez les bovins laitiers, est couramment évalué à l'aide du Thermal Humidity Index (THI), un indicateur bioclimatique combinant température ambiante et humidité relative, les deux facteurs environnementaux majeurs influençant la thermorégulation. Plusieurs formules de THI ont été proposées selon les unités utilisées et les contextes climatiques. Parmi les plus répandues, on retrouve celle de Johnson et *al.* (1989) :

$$THI = 0,8 \times DBT + RH \times (DBT - 14,4) + 46,4,$$

où DBT représente la température sèche (°C) et RH l'humidité relative exprimée en décimale. En unités impériales, la formule utilisée par la Clemson University (1990) est :

$$THI = db^{\circ}F - [(0,55 - 0,55 \times RH) \times (db^{\circ}F - 58)],$$

Où $db^{\circ}F$ est la température en degrés Fahrenheit et RH l'humidité relative divisée par 100. Marai et *al.* (2000) proposent une formule adaptée au système international :

$$THI = db^{\circ}C - [(0,31 - 0,31 \times RH) \times (db^{\circ}C - 14,4)],$$

Où $db^{\circ}C$ est la température en degrés Celsius. Enfin, la formule issue des recommandations du NRC (1971) est également largement utilisée :

$$THI = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times RH) \times (1,8 \times T - 26)],$$

où T est la température en °C et RH l'humidité relative en pourcentage.

Ces formules permettent d'interpréter l'intensité du stress thermique : un THI inférieur à 68 indique une zone de confort thermique, un THI égal ou supérieur à 75 signale une situation d'alerte, et un THI supérieur à 84 constitue une urgence, nécessitant des interventions

immédiates pour préserver la santé et la productivité des animaux (NRC, 1971 ; Wiersma, 1990).

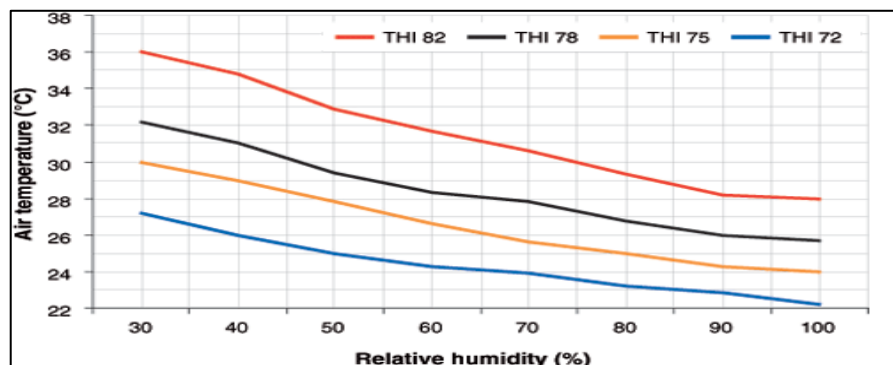


Figure 6: relation entre THI, la température de l'air et de l'humidité relative (DairyAustralia, 2016)

Il convient de souligner que les valeurs de l'indice de température-humidité (THI) ne sont pas universelles et doivent être interprétées avec discernement selon le contexte zootechnique. Par exemple, un THI de 72, souvent considéré comme seuil de stress thermique, peut sous-estimer la charge réelle chez les vaches Holstein Frisonnes à haut rendement, car une production laitière plus importante génère davantage de chaleur métabolique, augmentant ainsi leur vulnérabilité au stress thermique.

2.4 L'impact du stress thermique sur les performances zootechniques des vaches laitières

Le stress thermique (ST) induit chez les bovins laitiers des effets multifactoriels touchant leur santé, comportement et productivité, devenant un enjeu central en élevage dans les zones à climat chaud. Lorsqu'ils sont exposés à des températures dépassant leur zone de neutralité thermique, les bovins manifestent une série de réponses physiologiques telles qu'une élévation de la température corporelle au-delà de 38,6 °C, une fréquence respiratoire accélérée (jusqu'à 100 respirations/min), une augmentation de la consommation d'eau (+30 %) et une réduction de l'activité physique (West, 1993 ; Silanikove, 2000). Cette situation entraîne une diminution de l'ingestion alimentaire (de 10 à 15 %), une baisse de production laitière pouvant atteindre 40 % selon l'intensité du stress (OACC, 2014), et une altération du métabolisme énergétique, mobilisant l'énergie normalement dédiée à la production (Wise et al., 1988). Des études montrent qu'à partir d'un THI > 69, chaque point supplémentaire entraîne une réduction de 0,41 kg de lait par vache et par jour, et une baisse de 0,85 kg de

matière sèche ingérée par degré Celsius supplémentaire (Bouraoui et *al.*, 2002). Le stress thermique provoque également une dérégulation hormonale, notamment une augmentation du cortisol, des modifications du profil thyroïdien, et un déséquilibre énergétique négatif lié à la combinaison entre la baisse de l'ingestion et la hausse des dépenses d'entretien (NRC, 1981 ; Magdub et *al.*, 1982 ; Moore et *al.*, 2005). Sur le plan immunitaire, le ST fragilise l'organisme, augmentant l'incidence des infections, notamment des mammites, comme l'indiquent les élévations du taux de cellules somatiques dans le lait (Widowski, 1998 ; Brügemann et *al.*, 2012). La qualité du lait s'en trouve affectée, tant sur le plan hygiénique que technologique. À des températures entre 26,7 et 32,2 °C, les signes de stress restent modérés, mais au-delà de 32,2 °C, les animaux présentent halètement, sudation accrue et diminution de production >25 % ; au-dessus de 37,8 °C, les risques de mortalité augmentent en raison des défaillances physiologiques multiples (Pennington & Devender, 2011). Enfin, les vaches en lactation, particulièrement vulnérables en raison d'une production de chaleur métabolique accrue par les glandes mammaires, sont les plus affectées, car leur surface corporelle ne permet pas une dissipation thermique suffisante, aggravant leur inconfort thermique (West, 2003).

2.5 L'effet du stress thermique sur la consommation alimentaire et hydrique des Bovins

Le stress thermique modifie profondément les comportements alimentaires et d'abreuvement des bovins, compromettant leur équilibre énergétique et leur performance laitière (Demarquilly et *al.*, 1981). Dès que la température ambiante dépasse 25 °C, la consommation de matière sèche commence à décliner, puis chute de 20 % à 30 % au-delà de 30 °C, tandis que la prise d'eau s'accroît de 30 % à 100 % pour favoriser la thermolyse (Jindal, 1980 ; Silanikove, 1986 ; Muallem et *al.*, 1990). On estime que les seules variations de température expliquent 87 % des fluctuations de l'ingestion alimentaire (Ahmed & El Amin, 1997), et l'ajout de l'humidité relative dans les modèles prédictifs aggrave encore cette réduction (Terada et *al.*, 1997). En dessous de 25 °C, l'ingestion demeure stable (Jarrige, 1988), mais entre 25 et 30 °C, une baisse de 10 % à 20 % est déjà observée (Fuquay, 1981 ; Ahmed et *al.*, 1997). Ces adaptations comportementales traduisent la difficulté des bovins à maintenir leur homéostasie énergétique sous stress thermique prolongé.

2.6 Les effets du stress thermique sur la reproduction des bovins

Le stress thermique perturbe profondément la reproduction des vaches laitières, en altérant leurs comportements sexuels, la physiologie ovarienne et la qualité de l'environnement utérin. Sous l'effet de la chaleur, l'intervalle et la fréquence de l'œstrus se raccourcissent, compliquant la détection des chaleurs. Les ovulations dites « silencieuses », non accompagnées de signes comportementaux, deviennent plus fréquentes, réduisant l'efficacité des protocoles de synchronisation et d'insémination artificielle (Bouraoui et *al.*, 2002). Près de la moitié des chaleurs post-partum échappent ainsi à l'observation, prolongeant l'intervalle entre inséminations de 40 à 50 jours et diminuant la productivité reproductive du troupeau (Stevenson et *al.*, 1983). Sur le plan physiopathologique, le stress thermique ralentit le développement folliculaire et compromet la maturation ovocytaire, ce qui nuit à la qualité des ovules. De plus, une exposition à des températures élevées entre le 8^e et le 16^e jour post-insémination modifie l'endomètre, réduit la taille du corps jaune et augmente la sécrétion de prostaglandine F_{2α}, favorisant la résorption embryonnaire (Biggers et *al.*, 1987). En conséquence, l'intervalle vêlage–conception peut passer de 24 jours en hiver à 67 jours en été, même dans des conditions climatisées (King et *al.*, 1988), soulignant la nécessité d'ajuster les programmes de reproduction aux épisodes de chaleur.

2.7 Les effets aux niveaux moléculaire, cellulaire et métabolique

Au niveau moléculaire et cellulaire, le stress thermique déclenche un déséquilibre redox marqué par une surproduction de radicaux libres et des dysfonctionnements mitochondriaux, aboutissant à l'oxydation des lipides membranaires et à la dénaturation des protéines (Slimen et *al.*, 2016). Pour préserver la viabilité cellulaire, l'organisme mobilise massivement ses réserves lipidiques afin de satisfaire ses besoins énergétiques, au prix d'une accumulation de métabolites potentiellement toxiques, tandis que la synthèse protéique cède le pas à la protéolyse, libérant des acides aminés à usage énergétique. Cette réorientation du métabolisme, combinée à l'augmentation des dépenses liées à la thermorégulation, se traduit par un désinvestissement des fonctions de production (laitière, croissance) et de défense immunitaire, favorisant une perméabilité tissulaire accrue et une vulnérabilité aux infections opportunistes.

Sur le plan génétique, l'identification de polymorphismes mononucléotidiques liés à la thermotolérance et l'induction des protéines de choc thermique (HSP) ont ouvert de nouvelles voies pour améliorer la résistance à la chaleur chez les bovins

(Dikmen et *al.*, 2013 ; Deb et *al.*, 2015). En particulier, le gène SLICK, responsable d'un pelage plus court et d'une meilleure sudation chez la race tropicale Senepol, a été introduit chez la Holstein, conférant une tolérance accrue sans altérer significativement le potentiel laitier (Dikmen et *al.*, 2014). Enfin, les modèles de « zone de confort » décrits par Misztal (1999) et Ravagnolo & Misztal (2000) soulignent l'intérêt d'une sélection intra-race pour maintenir une production stable jusqu'à un seuil critique de THI, au-delà duquel le rendement décline linéairement.

Ces avancées biochimiques et génomiques offrent une base solide pour développer des stratégies de sélection ciblées, visant à préserver à la fois la performance et la résilience des bovins laitiers face à l'intensification des épisodes de stress thermique.

Chapitre 3

La résilience de la filière lait : concepts de vulnérabilité, de résilience et d'innovation face aux changements climatiques

3 La résilience de la filière lait

3.1 Le concept de la vulnérabilité face au changement climatique

Le changement climatique constitue aujourd'hui le principal facteur de vulnérabilité, un concept multidimensionnel dont l'évaluation ne peut reposer sur un jeu d'indicateurs uniques et exhaustifs. Dans ce contexte, la vulnérabilité est conçue comme l'articulation de la sensibilité d'un système exposé et de sa capacité d'adaptation. Pour tenir compte de cette complexité, l'approche par indices de vulnérabilité s'est imposée comme la méthode de référence (Adger, 1999 ; Polsky et *al.*, 2007). En combinant plusieurs indicateurs normalisés et en définissant pour chacun des seuils clairs, on obtient un cadre cohérent pour repérer les populations, les écosystèmes ou les secteurs économiques les plus à risque.

Un tableau de bord typique regroupe notamment :

- La dégradation environnementale et les retombées négatives du développement humain ;
- L'exposition aux aléas (catastrophes naturelles, conflits armés) ;
- La résilience des communautés et des espèces (infrastructures, réseaux de soutien) ;
- Le niveau de développement social, en particulier l'éducation et l'accès à l'information ;
- La structure démographique, qui influence la vulnérabilité collective ;
- La sécurité alimentaire, évaluée via la qualité nutritionnelle des régimes ;
- l'accès à l'énergie ou aux technologies indispensables aux activités économiques.

En agrégeant ces dimensions, l'approche par indices offre non seulement des critères standardisés, mais aussi une base opérationnelle pour guider les politiques d'adaptation et cibler les interventions en faveur des acteurs les plus vulnérables (Adger, 1999 ; Polsky et *al.*, 2007, Zaatra 2021).

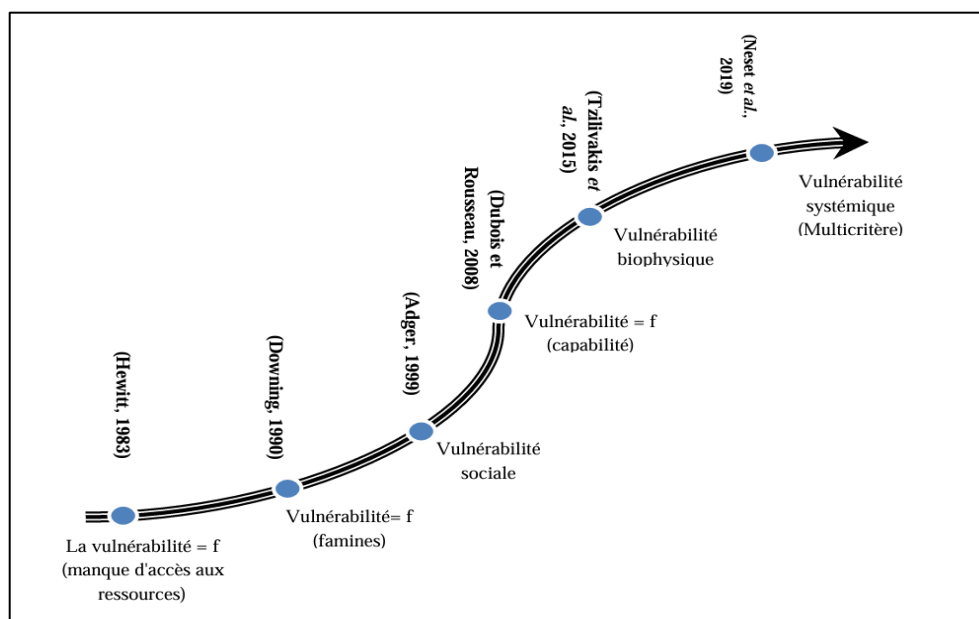


Figure 7: les différents concepts de la vulnérabilité (Zaatra, 2021).

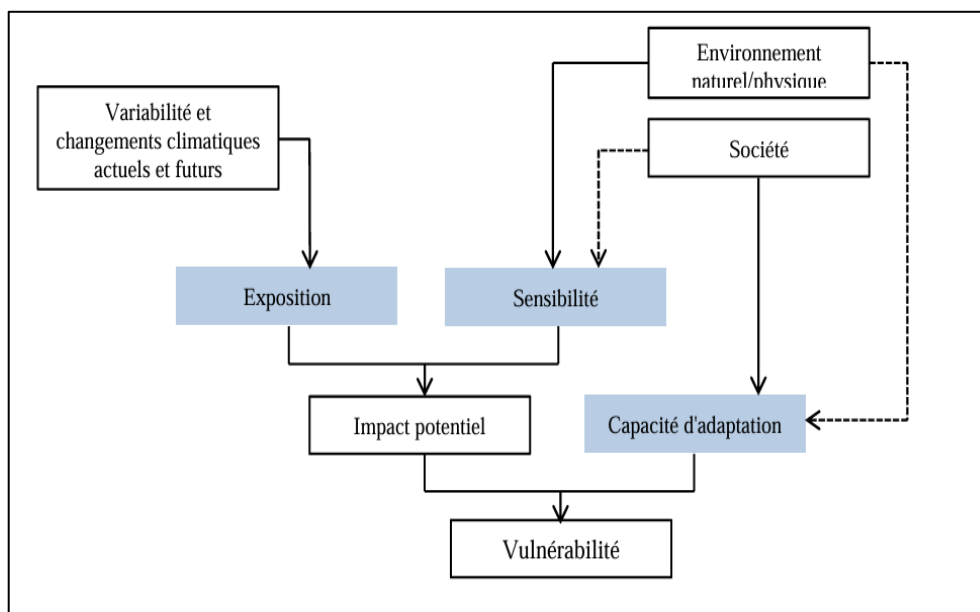


Figure 8: les composantes de la vulnérabilité (Fritzsche et al. 2015 cité par Zaatra 2021)

Par ailleurs, Polsky et al. (2007) a présenté les différentes composantes de vulnérabilité (Figure 9).

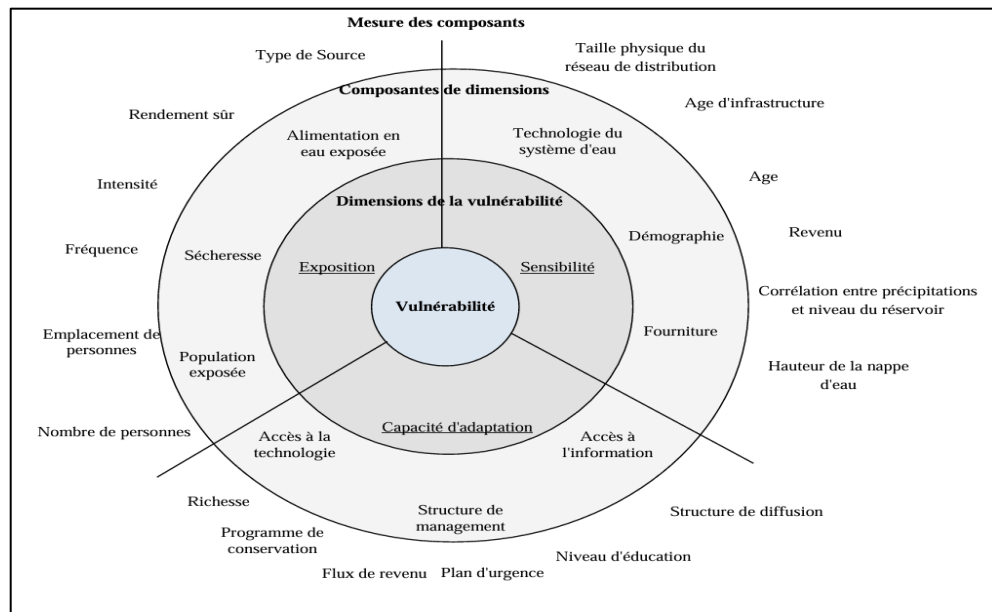


Figure 9: représentation de la vulnérabilité selon Polsky et *al.* (2007)

L'étude de Zaatra (2021) a fait un état de l'art sur le concept de vulnérabilité. Ce dernier a montré qu'il existe un grand nombre de termes associés à ce concept, dont les définitions ne divergent souvent que de manière minimale en termes de lexique par exemple ou de proximité par rapport à la vulnérabilité. Par ailleurs, il existe une variété de méthodes d'examen de la vulnérabilité développées pour une grande variété de systèmes, et à diverses échelles spatiales et temporelles. Par ailleurs, le même auteur a indiqué qu'il existe peu de consensus dans la littérature empirique, hormis le fait que la vulnérabilité peut être conceptualisée sous une grande variété de formes et que, de plus, elle est spécifique au contexte (Figure 10).

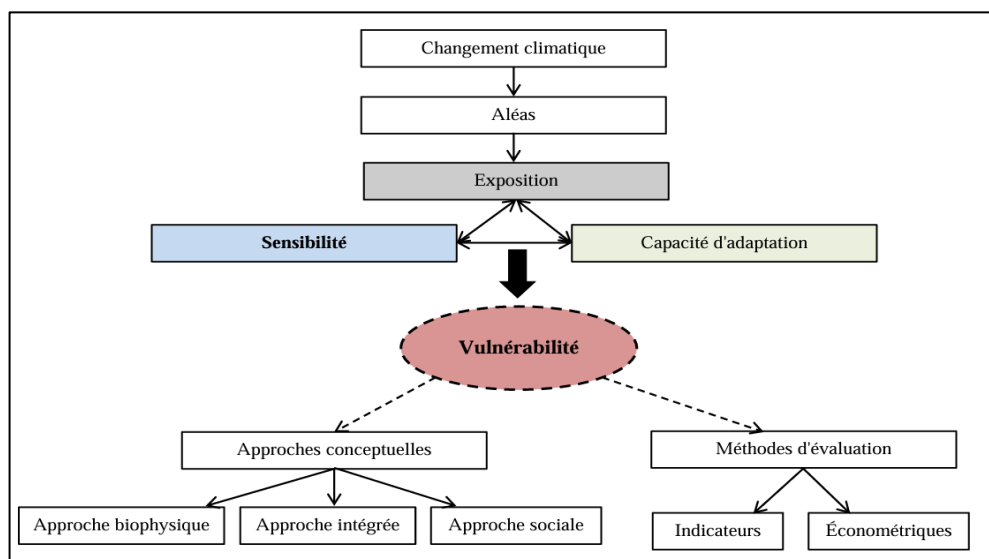


Figure 10: les approches et méthodes d'étude de la vulnérabilité selon Zaatra (2021)

L'évaluation de la vulnérabilité fournit une base fiable pour concevoir l'adaptation au CC et elle peut contribuer par la suite au développement durable.

3.2 La Résilience en Science Animale : Définition, Enjeux et Distinctions

La résilience est aujourd'hui considérée comme un concept central en sciences animales, bien qu'elle revête des significations nuancées selon les disciplines. De manière générale, elle désigne la capacité d'un animal à faire face à une perturbation environnementale qu'elle soit thermique, nutritionnelle ou sanitaire en activant des mécanismes tampons tels que des ajustements métaboliques ou comportementaux, et en réallouant temporairement ses ressources internes pour privilégier les fonctions vitales (Scheffer et *al.*, 2018). Cette réponse dynamique, souvent comparée à l'homéostasie, repose sur un équilibre évolutif entre les coûts énergétiques engendrés par l'adaptation et les bénéfices de survie ou de reproduction à long terme (Strandberg, 2009). Selon Colditz et Hine (2016), un animal résilient est capable soit de subir peu d'effets négatifs lors d'un stress, soit de retrouver rapidement son état initial physiologique, comportemental ou productif après un épisode perturbateur. Les mécanismes mis en œuvre comprennent notamment la modulation du métabolisme et l'adaptation du comportement, ce qui confère à la résilience une dimension hautement adaptative et dynamique.

En opposition, la robustesse correspond à la capacité d'un animal à maintenir une performance stable face à des variations de l'environnement, sans recourir à des ajustements majeurs de ses fonctions internes. Elle repose davantage sur des traits génétiques préétablis, tels qu'une faible sensibilité au stress ou une morphologie adaptée, représentant une forme de résistance passive aux contraintes.

Ainsi, les deux notions se distinguent selon plusieurs critères : la résilience implique une réponse adaptative et coûteuse sur le plan énergétique, mais permet une grande plasticité en milieux changeants ; la robustesse, en revanche, présente un coût réduit mais est plus adaptée aux environnements stables. Par exemple, un animal résilient reprendra rapidement sa production laitière après un stress, tandis qu'un animal robuste la maintiendra même pendant l'exposition au stress, sans modifications internes significatives.

Au croisement de la physiologie animale et des sciences de la résilience, se dessine un nouveau cadre d'analyse intégré de l'élevage, permettant d'allier performance, adaptabilité et durabilité.

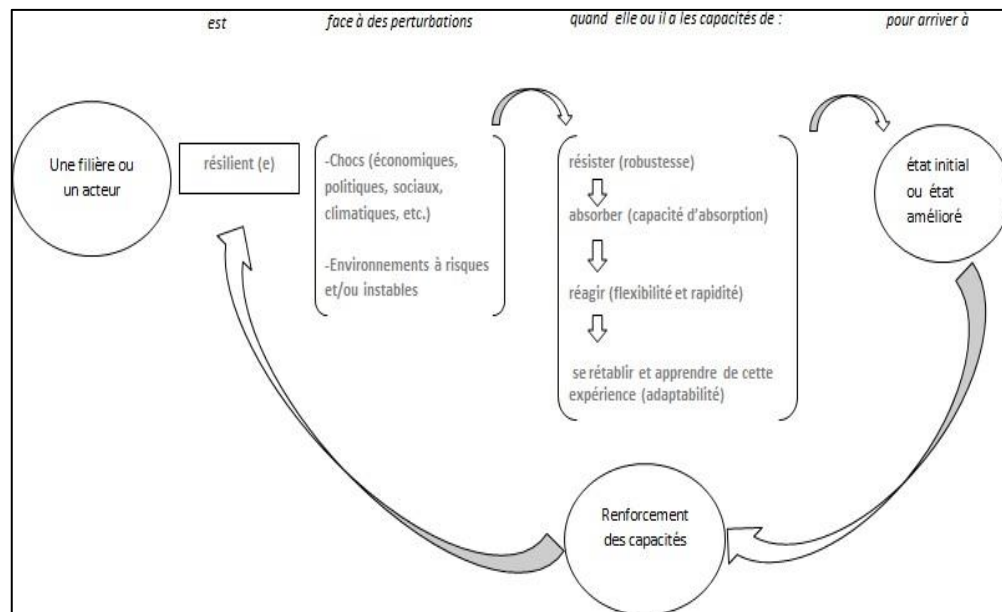


Figure 11: cadre d'analyse de la résilience (Tahiry et al., 2016)

3.3 La résilience dans la filière lait

La résilience du secteur laitier revêt une importance croissante face aux défis posés par les changements climatiques, les pressions économiques et l'évolution de la société. Plusieurs études soulignent l'intérêt d'adopter des pratiques et technologies innovantes pour améliorer la résilience sous ses aspects économiques, environnementaux et sociaux. (Lemke et al., 2024 et Kettele& Lechner, 2024).

- **Résilience économique et sociale**

Les agriculteurs notent le besoin de solutions améliorant les revenus et la flexibilité de production, vitales à la stabilité financière. Une communication efficace avec les communautés et un équilibre entre vie professionnelle et personnelle sont aussi jugés essentiels à la résilience sociale (Kettele& Lechner, 2024).

- **Innovations techniques**

L'intégration de technologies avancées comme les systèmes d'énergies renouvelables et les outils de surveillance sanitaire est cruciale pour accroître l'efficacité technique et la résilience globale des exploitations. Les programmes de sélection axés sur la résilience des vaches laitières peuvent atténuer les impacts de facteurs environnementaux stressants, améliorant ainsi le bien-être et la productivité animale. (Lemke et al., 2024).

- **Résilience de la chaîne d'approvisionnement**

La filière laitière doit adopter des stratégies à la fois proactives et réactives pour gérer efficacement les perturbations, comme l'a montré la pandémie de COVID-19. Une approche globale de la décision, intégrant des mesures stratégiques, tactiques et opérationnelles, est essentielle pour préserver la résilience de la chaîne d'approvisionnement (Lemke et *al.*, 2024).

Bien que l'accent sur la résilience soit primordial, certains estiment que l'attention portée aux solutions technologiques peut occulter le besoin de pratiques traditionnelles et savoirs locaux, qui peuvent eux aussi contribuer à la durabilité de l'élevage laitier dans divers contextes. (Kettele& Lechner, 2024).

3.3.1 L'impact climatique sur la résilience

La résilience animale ne peut être envisagée comme une réponse uniforme face à l'ensemble des agressions environnementales ; elle repose au contraire sur une capacité d'adaptation fine et différenciée selon la nature du stress subi. En effet, les bovins ne mobilisent pas un kit générique de défense, mais ajustent leurs mécanismes biologiques en fonction du type de perturbation qu'il s'agisse : d'une infection, d'une carence nutritionnelle ou d'un stress thermique (Savietto et *al.*, 2015).

D'un point de vue physiologique, il apparaît peu faisable qu'une même voie métabolique soit capable de gérer efficacement et simultanément ces diverses situations. Chaque catégorie de stress active ainsi des processus spécifiques : la réponse immunitaire (cytokines, fièvre, anticorps) en cas d'infection ; des ajustements du métabolisme lipidique et protéique en période de sous-nutrition ; ou encore la vasodilatation, le halètement et des comportements d'évitement lors de fortes chaleurs (Gross &Bruckmaier, 2019). Cette spécialisation des réponses a plusieurs implications majeures. D'une part, elle entraîne des compromis physiologiques : par exemple, les mécanismes destinés à améliorer la tolérance à la chaleur peuvent temporairement affaiblir la réponse immunitaire. D'autre part, elle impose une sélection génétique ciblée, visant à renforcer la résilience face à un stress donné (comme les canicules) sans compromettre d'autres fonctions vitales telles que la défense immunitaire ou l'efficacité alimentaire.

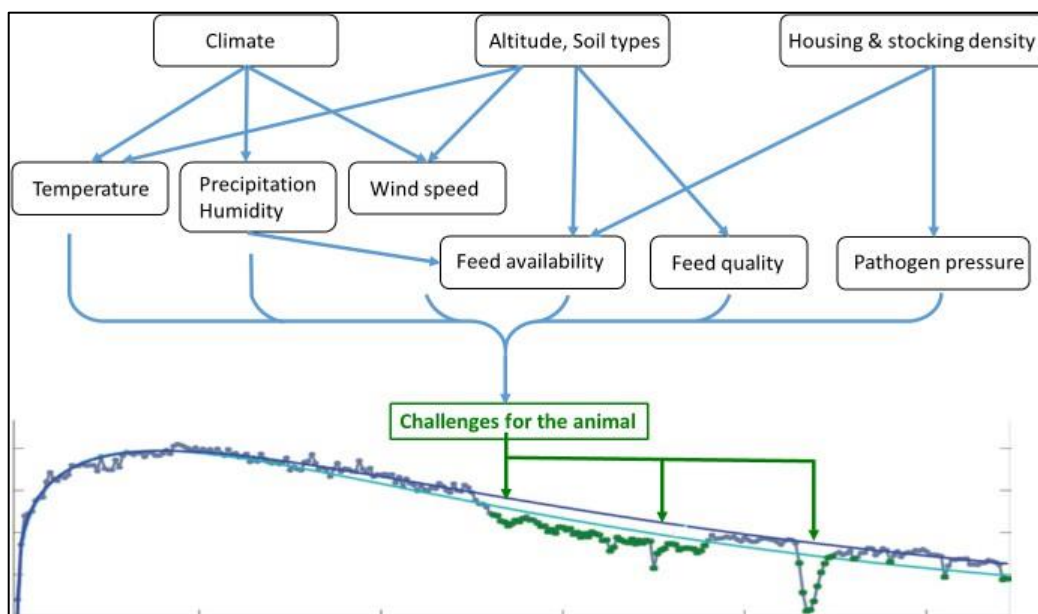


Figure 12: illustration des différents types de défis environnementaux et des réponses animales associées (Saviotto et *al.*, 2015).

Le réchauffement climatique mondial a des conséquences profondes sur les systèmes de production agricole. Il soulève des inquiétudes majeures concernant les disponibilités futures des denrées d'origine végétale et animale. Les effets directs et indirects de la dynamique climatique dont les températures croissantes, l'intensification des conditions climatiques extrêmes et la variabilité saisonnière et annuelle de l'élevage varient au cours des régions et des espèces animales et modalités de production (Winsten, J. et *al.*2022). Ainsi, le bassin méditerranéen constitue l'un des exemples réguliers de l'une des zones les plus vulnérables à l'impact du changement climatique. Les performances des animaux de rente de cette région sont gravement menacées par ce phénomène. En particulier, la zone d'étude présente une augmentation de la variabilité interannuelle des températures moyennes et une diminution majeure des précipitations estivales potentiellement plateau-climatique. Ces changements climatiques affectent négativement les performances et la productivité des espèces animales continentales. La saisonnalité se place sur de nombreuses mécaniques physiologiques des petits animaux ruminants moutons et chèvres qui est « modulée par la photopériode, la température et les précipitations ». Les variations de lait produites sont attribuables à ces éléments climatiques (Winsten, J. et *al.*2022).

Les systèmes d'élevage intensifs ont permis la sélection d'animaux productifs de haute performance, souvent au détriment de leur robustesse. Ces animaux sont

génétiquement plus sensibles à des événements stressants liés à leur environnement, comme des maladies ou changements climatiques. Le résultat est un potentiel génétique de santé animal et d'adaptabilité à l'environnement incessamment sollicité. L'élevage climatique de température s'accompagne d'une augmentation de l'humidité qui favorise l'émergence et l'expansion de nouvelles maladies infectieuses animales. La diminution de la fertilité et l'augmentation de la mortalité dans de nombreux animaux sélectionnés avec une pression génétique accrue, ici l'intensité du processus de production, en sont un exemple (Winsten, J. et *al.* 2022).

Les caractéristiques cellulaires de l'animal sont également modifiées. Cela est notamment lié au coût de l'énergie pour la production, qui réduira la disponibilité de celle-ci pour d'autres fonctions physiologiques telles que l'entretien, la croissance, la réponse immunitaire, ou la reproduction.

Bien que la résilience des performances animales ait récemment suscité de plus en plus d'intérêt dans la recherche et la littérature scientifique, l'influence des effets saisonniers sur ces caractéristiques n'a, selon nos connaissances, pas été étudiée. Cependant, un consensus théorique souligne les influences saisonnières majeures sur la production laitière chez les ruminants. Dans la présente étude, nous formulons également l'hypothèse que les effets saisonniers modulent la résilience des performances laitières, principalement en affectant la variabilité interindividuelle de la réponse des animaux à des conditions environnementales communes mais volatiles qui diffèrent considérablement tout au long de l'année (Winsten, J. et *al.* 2022).

3.3.2 La résilience Financière d'une exploitation laitière

Pour assurer la pérennité des fermes laitières, il est crucial de développer des systèmes de production rentables économiquement et respectueux de l'environnement. Sans une amélioration de leur résilience financière, le secteur restera dépendant de subventions publiques à long terme, limitant la capacité des agriculteurs à adopter des pratiques agroécologiques ou des technologies durables. (Darnhofer et *al.*, 2010 ; Cabell et Oelofse, 2012).

La résilience financière se définit ici comme l'aptitude d'une exploitation à s'adapter aux fluctuations économiques (ex. hausse des coûts des aliments, variations du prix du lait) tout en maintenant sa viabilité. Concrètement, cela passe par :

- **Réduction des coûts de production** : Optimiser l'efficacité alimentaire, limiter le gaspillage.
- **Flexibilité opérationnelle** : Ajuster les niveaux de production ou diversifier les sources de revenus.
- **Gestion proactive des risques** : Anticiper les crises via des contrats stabilisateurs ou des assurances récolte (Darnhofer et *al.*, 2010 ; Cabell et Oelofse, 2012).

Les exploitations capables de produire à moindre coût et de moduler leurs intrants (aliments, énergie) résistent mieux aux chocs de marché. Cette agilité économique renforce leur autonomie, réduisant la nécessité de soutiens externes tout en favorisant l'adoption de méthodes respectueuses des écosystèmes (rotation des cultures, pâturages régénératifs).

Une ferme financièrement résiliente n'est pas seulement plus compétitive elle devient un acteur clé de la transition écologique, alliant performance économique et préservation des ressources naturelles. (Darnhofer et *al.*, 2010 ; Cabell et Oelofse, 2012).

Réorganiser une exploitation laitière représente un véritable défi, tant en raison de l'investissement quotidien nécessaire pour assurer son bon fonctionnement que des coûts et des risques financiers engendrés par la transformation. Même si l'objectif est de rendre la ferme plus rentable et plus performante, l'agriculteur seul peut difficilement en assumer la charge. C'est ici que prend tout son sens la notion de « panier d'incitations » : en combinant différentes formes de financement (subventions, prêts à taux préférentiels, cofinancements publics-privés) et un accompagnement technique sur mesure, on réduit la barrière à l'entrée pour l'adoption de nouvelles pratiques ou l'acquisition d'équipements modernisés (Darnhofer et *al.*, 2010).

Lorsque la rénovation génère des services écosystémiques quantifiables par exemple, une amélioration de la santé des sols, une meilleure séquestration du carbone ou une plus grande qualité de l'eau, elle produit un bénéfice public susceptible de justifier un effort collectif plus important pour mettre en place et coordonner ces incitations.

Enfin, pour assurer leur résilience financière sur le long terme, les fermes laitières doivent rester à la fois efficaces et flexibles. L'un des leviers classiques consiste à profiter des économies d'échelle, en étendant la production pour répartir les coûts fixes (bâtiments, matériel, infrastructures) sur un plus grand volume de lait. Cela permet de réduire le coût unitaire de production et d'améliorer la compétitivité, tout en laissant la marge de manœuvre

nécessaire pour investir dans la durabilité et l'innovation (Darnhofer et *al.*, 2010 ; Cabell et Oelofse, 2012).

3.4 La Co-innovation dans l'agriculture

Ces dernières années, la Co-innovation s'est imposée comme une approche prometteuse pour répondre aux défis agricoles et environnementaux. Cette méthode collaborative implique une évolution significative des rôles traditionnels des chercheurs, qui doivent désormais accompagner activement les processus d'innovation tout en adaptant leurs pratiques institutionnelles (Botha et *al.*, 2014 ; Dogliotti et *al.*, 2014).

Le concept a gagné en visibilité scientifique grâce à sa capacité à fédérer chercheurs et acteurs de terrain autour d'innovations hybrides, combinant souvent des dimensions technologiques et organisationnelles (Klerkx et *al.*, 2017 ; Turner et *al.*, 2016). Contrairement aux approches participatives classiques, la co-innovation vise une transformation systémique des filières agricoles, des territoires et des chaînes de valeur, dépassant le cadre expérimental ponctuel.

Cette démarche exige des chercheurs qu'ils endossent des fonctions multiples : médiateurs entre parties prenantes, concepteurs de solutions adaptatives ou encore évaluateurs de processus (Sumberg et *al.*, 2013 ; Schut et *al.*, 2014). Ces rôles exigent des compétences variées – animation de collectif, ingénierie de projet qui bousculent parfois les identités professionnelles établies. Comme le soulignent Botha et *al.* (2014) et Klerkx et *al.* (2017), cette transition implique une transformation des institutions de recherche, nécessitant davantage de flexibilité dans la gestion de projets et l'évaluation des impacts.

La réussite de la co-innovation dépend finalement d'une évolution concertée à plusieurs niveaux : pratiques individuelles des chercheurs, cultures organisationnelles et attentes des financeurs (Roux et *al.*, 2010 ; Schut et *al.*, 2016). Plusieurs travaux montrent que l'adoption de ces approches novatrices dans les systèmes agricoles requiert un alignement entre les logiques techniques, politiques et socio-économiques (Klerkx et Nettle, 2013 ; Minh et *al.*, 2014).

3.5 L'innovation dans le secteur laitier

L'innovation dans le secteur laitier joue un rôle clé dans le renforcement de sa résilience face aux défis. L'adoption de technologies et méthodes innovantes peut apporter des gains

économiques substantiels aux producteurs, améliorer l'efficacité et la flexibilité de la production. Ces capacités d'adaptation sont indispensables pour surmonter les turbulences du marché et les impacts du changement climatique. Läpple&Thorne, (2019) ont examiné plus en détail comment l'innovation influe sur la pérennité économique et environnementale de la filière laitière.

Les agriculteurs les plus novateurs développent généralement une productivité supérieure grâce à un meilleur équipement et une gestion optimisée. Néanmoins, l'impact sur le rendement n'est pas systématique, certaines petites exploitations voyant parfois leur performance décroître (Iordanis et *al.*, 2024).

L'adoption récente de technologies issues de l'industrie, comme les robots et l'intelligence artificielle, transforme en profondeur la chaîne de production laitière. Elle permet d'automatiser et fluidifier les processus de la ferme à l'assiette. (Hassoun et *al.*, 2023).

L'innovation environnementale est tout aussi cruciale pour relever les défis écologiques. Les techniques préservant efficacement les ressources naturelles atténuent les effets du changement climatique et réduisent l'empreinte carbone de l'élevage. Par ailleurs, la valorisation innovante des sous-produits laitiers concilie protection de l'environnement et rentabilité économique (Salois, 2015).

La résilience sociale des agriculteurs peut être renforcée grâce à des innovations qui favorisent un meilleur équilibre entre leur vie professionnelle et personnelle, ainsi qu'une communication efficace avec leur communauté. Différentes stratégies d'innovation technologique peuvent contribuer au renforcement de la résilience de manières diverses.

L'innovation responsable prend en compte les impacts imprévus potentiels, tandis que la polyinnovation combine innovations sociales et commerciales afin de promouvoir des comportements résilients. La micro-innovation, qui implique des adaptations progressives des technologies existantes déjà utilisées, peut particulièrement bénéficier aux petits exploitants agricoles, bien qu'elle nécessite un soutien financier et technique adéquat (Kołoszycz et *al.*, 2024).

La perception du rôle de l'innovation dans le renforcement de la résilience varie selon les régions et les groupes concernés. Ainsi, les experts de différentes régions européennes n'ont pas les mêmes points de vue quant à la contribution des solutions à la résilience, l'efficacité technique étant considérée comme la principale stratégie dans certains cas. Les parties prenantes soulignent pour leur part l'importance des solutions qui augmentent les revenus et la flexibilité

de la production agricole, réduisent l'utilisation d'antibiotiques et améliorent l'efficacité dans l'utilisation des ressources (Charatsari et *al.*, 2022).

Bien que l'innovation soit souvent vue comme une solution pour relever les défis de la filière laitière, il ne faut pas ignorer ses limites potentielles. Par exemple, les effets non linéaires de l'innovation sur la productivité rappellent qu'une approche adaptée est nécessaire pour chaque exploitation, en fonction de ses spécificités (Iordanis et *al.*, 2024). De plus, implémenter avec succès de nouvelles solutions exige une collaboration entre les acteurs concernés et un soutien adéquat pour surmonter les obstacles techniques et financiers (Charatsari et *al.*, 2022). En surmontant ces défis, la filière laitière pourra tirer pleinement parti du potentiel de l'innovation afin de renforcer sa résilience sur le long terme et assurer une croissance durable (Iordanis et *al.*, 2024).

Le secteur laitier vit une véritable révolution grâce aux innovations technologiques, qui transforment non seulement la production du lait, mais également la gestion des exploitations par les éleveurs. L'adoption de capteurs IoT (Internet des objets) permet un suivi en temps réel des paramètres de santé des animaux, tels que leur température corporelle, leur activité et leur consommation d'eau, offrant ainsi une vision instantanée de leur bien-être. Cette surveillance continue facilite la détection précoce des maladies, permettant ainsi une intervention rapide et appropriée, ce qui améliore considérablement les conditions de vie des animaux (Joly et *al.*, 2013).

En parallèle, les équipements de traite automatisés révolutionnent le processus de collecte du lait. Ces systèmes sophistiqués non seulement améliorent l'efficacité de la traite en réduisant le temps nécessaire pour accomplir cette tâche, mais ils contribuent également à diminuer le stress des animaux. En leur permettant de se faire traire à leur propre rythme, ces technologies favorisent un environnement plus calme et moins intrusif pour les vaches, ce qui peut avoir un impact positif sur la qualité du lait produit. La combinaison de la technologie de traite automatique avec des capteurs IoT permet aux producteurs de mieux comprendre et améliorer les interactions entre les animaux et le processus de traite.

De plus, les logiciels de gestion de la production jouent un rôle crucial dans l'optimisation des rendements. Ces outils numériques aident les éleveurs à surveiller et analyser les données relatives à la production de lait, au coût de nourriture, ainsi qu'aux variables environnementales, leur permettant ainsi de prendre des décisions éclairées fondées sur des informations concrètes. En offrant des analyses prévisionnelles et des conseils personnalisés, ces logiciels facilitent la planification stratégique et l'allocation

optimale des ressources, tout en promouvant des pratiques durables qui respectent l'environnement.

Ainsi, le secteur laitier, grâce à ces avancées technologiques, ne se contente pas d'améliorer la productivité; il évolue vers un modèle plus responsable et respectueux du bien-être animal et de l'environnement. Les pratiques durables deviennent ainsi la norme, avec une attention accrue portée à la manière dont les produits laitiers sont cultivés, récoltés et distribués. Cette combinaison de technologie de pointe et de pratiques respectueuses de l'environnement positionne le secteur laitier à l'avant-garde de l'agriculture moderne, prêt à relever les défis du 21ème siècle tout en satisfaisant les exigences croissantes des consommateurs en matière de qualité et de durabilité (Joly, et *al.*, 2013).

Le secteur agricole et agroalimentaire s'efforce de maintenir un équilibre délicat entre performance économique, protection environnementale et adhésion sociale. Cette triple exigence nécessite une évaluation systématique de l'impact des innovations sur ces trois piliers interdépendants (OCDE, 2005).

L'innovation est ici définie comme un processus complet, allant de l'émergence d'une idée à son adoption effective, jouant un rôle clé dans la transformation des pratiques agricoles.

3.5.1 Les multiples facettes de l'innovation

La typologie de Joly et *al.* (2013), permet d'identifier quatre régimes d'innovation structurant différemment les dynamiques d'acteurs, les modalités de régulation ainsi que les circuits d'information.

Le régime centralisé : est basé sur une organisation verticale de l'innovation sous le contrôle d'institutions ou d'entreprises centrales.

Le régime sociotechnique : recourt massivement à des discours prospectivistes pour mobiliser et faire adhérer des visions futuribles, souvent très attractives en termes de visions du futur, et leviers pour le financement de l'innovation, de futurs développements.

Le régime distribué : repose sur une pluralité d'acteurs, publics et privés, scientifiques et usagers, organisés de manière horizontale sur des réseaux de distribution décentralisés.

Le régime expérimental collectif : se caractérise par des processus d'apprentissage collectif basé sur des expérimentations partagées et une co-construction continue de l'innovation.

Ainsi, chaque type de régime d'innovation se distingue par des types de partenariats privilégiés, des modes de gouvernances et des types de flux privilégiés.

Selon Bellon-Maurel et *al.*, (2016), l'innovation en agriculture demeure majoritairement structurée suivant un modèle centralisé, souvent qualifié de « réglé », dans lequel la progression des projets est évaluée à travers l'échelle TRL (TechnologyReadinessLevel), qui mesure leur maturité technologique depuis la phase de conception jusqu'à la commercialisation. Toutefois, ce cadre hérité des secteurs industriels se heurte à des défis spécifiques au contexte agricole, du fait de la complexité des systèmes vivants et des interactions multiples qu'ils impliquent. Contrairement aux technologies manufacturières, l'innovation agricole doit composer avec des variables biotiques (comme les pathogènes ou les pollinisateurs) et abiotiques (telles que les variations climatiques ou la qualité des sols), ce qui rend les trajectoires d'innovation plus incertaines (Bellon-Maurel et *al.*, 2016). Cet écosystème évolue sous l'influence de plusieurs facteurs :

De moteurs internes : des paradigmes structurants tels que l'agroécologie, inscrite dans la loi agricole de certains pays, et les politiques agricoles de chaque pays, redéfinissent les priorités réglementaires et financières.

D'innovations externes : Des ruptures technologiques exogènes, notamment dans les domaines du numérique et des biotechnologies, peuvent offrir des opportunités disruptives, réinventant ainsi les pratiques agricoles.

La robotique agricole : révolution technique et défis d'adoption émergée dans les années 1980 avec les premiers robots de traite et de cueillette, la robotique agricole visait initialement à réduire les coûts de production. La rentabilité des robots de traite est conditionnée par des critères stricts, tels que la taille du troupeau (60-65 vaches par robot), l'augmentation du nombre de traites par jour (de 2 à 3), et l'étalement des vêlages pour maximiser l'utilisation. Bien que la réduction de la main-d'œuvre, qu'elle soit salariée ou familiale, demeure le principal moteur d'achat, plusieurs obstacles subsistent :

- Coûts élevés (investissement initial et aménagements).
- Craintes techniques (pannes, apprentissage du système).
- Risques de qualité (variations du lait, en cours de résolution par les fabricants).

En résumé, les robots de traite représentent une innovation de rupture, équilibrant gains opérationnels et défis structurels. Leur succès dépend autant de facteurs technico-

économiques que de la capacité des éleveurs à s'adapter à ces nouvelles pratiques (Bellon-Maurel, et *al.* 2016).

3.6 La révolution génomique et outils d'analyse

Les progrès en biologie moléculaire, comme le séquençage ADN, permettent de cartographier le patrimoine génétique de nombreuses espèces. Ces données, avec le phénotypage (analyse de la morphologie, de la physiologie et de la résistance aux maladies), offrent une nouvelle vision des liens entre gènes et caractéristiques.

En croisant ces informations, les chercheurs créent des populations de référence pour prédire les traits d'intérêt (rendement, résilience) à partir de marqueurs génétiques. Cette méthode, efficace sur des groupes homogènes, raccourcit les cycles de sélection, un avantage pour les espèces à reproduction lente comme les bovins laitiers. Elle s'étend maintenant à d'autres animaux et plantes, promettant des gains de productivité ciblés.

Défis et horizons si ces technologies transforment l'amélioration des plantes et des animaux, leur déploiement optimal nécessite des investissements en infrastructures et en formation. De plus, les questions éthiques liées à la manipulation génétique rappellent la nécessité d'un dialogue entre science, agriculture et société. (Bellon-Maurel, et *al.* 2016):

En combinant génomique et phénotypage de précision, les biotechnologies ouvrent une ère de sélection sur mesure, capable de répondre aux besoins d'une agriculture durable, à condition de maîtriser les implications techniques et sociétales.

Parmi les évolutions récentes, des applications des New Breeding Technologies et des outils d'édition génomique, telles que les méganucléases, les TALENs et CRISPR-Cas9 ont particulièrement retenu l'attention. Ce dernier constitue un système novateur, simple, rapide et efficace, qui permet de couper l'ADN n'importe où dans le génome de n'importe quelle cellule. Il est basé sur un court « ARN guide » qui cible une séquence d'ADN donnée associée à une enzyme. Cette dernière, Cas9 pour CRISPR-associated protein 9 agit comme des ciseaux moléculaires pour couper l'ADN. Cette propriété de modifier l'ADN à un endroit donné à une précision sans précédent ou même à plusieurs endroits du génome en même temps est l'innovation de CRISPR-Cas9 et c'est ainsi qu'il offre de nouvelles possibilités pour améliorer les espèces.

La simplicité d'utilisation de CRISPR-Cas9, en particulier, pourrait démocratiser son accès auprès d'une diversité d'acteurs, des laboratoires aux startups agro-technologiques. Les NBT promettent une révolution ciblée en sélection génétique, leur avenir dépendra autant des percées scientifiques que des arbitrages réglementaires et de la capacité à instaurer un dialogue transparent entre science, industrie et citoyens (Bellon-Maurel *et al.* 2016).

3.7 L'agriculture à l'ère du numérique

L'agriculture actuelle connaît profondément ses mutations de la modernité. Si elle est portée par le développement croissant des technologies de l'information et de la communication (TIC), c'est en ce qu'elle repose sur la conception, le stockage et le traitement massifs de données en provenance de sources multiples du satellite d'observation de la terre aux capteurs connectés au champ en passant par l'apprentissage automatique. C'est en ce qu'elle articule à toutes les échelles du système agroalimentaire les facilitations de la modélisation fine des cultures (par modulation intraparcellaire des intrants), du pilotage des troupeaux (sanitaire, comportemental et reproductif), du conseil agronomique personnalisé, et de la gouvernance de l'eau à l'échelle territoriale (Bellon-Maurel *et al.*, 2016).

Cette révolution technologique est ancienne, puisqu'elle date des premières techniques de télédétection satellitaire des années 1970 avant de même des premiers débuts de modélisation agronomique des années 1980 et de la naissance de l'agriculture de précision. Elle n'a pourtant aujourd'hui d'égale que la généralisation dans les années 2010 des smartphones, du GPS, de l'Internet des objets (IoT) et du cloud dans et par l'agriculture, donnant aux données une accessibilité, un débit et une réactivité sans précédent pour la délibération.

Il est donc difficile de dégager de ce contexte favorable d'une part une logique de simple « technological push » d'innovation fondée par la recherche et d'autre part une logique de simple « market pull » aux attentes de demande de durabilité, de traçabilité ou encore de qualité par la société. Car le numérique ne se permet pas de seule annonce de capteur et de système d'information : il renvoie bien à la base de données, à l'application mobile, à l'automate, à la robotique ou autres technologies intelligentes connectées qui forment désormais notre monde agricole (Bellon-Maurel *et al.*, 2016). La même délimitation est possible pour la précision, souvent résumée

la bonne dose, au bon endroit. Une vision à touche-touche déjà plus réaliste qui ne doit cacher la dimension temporelle de toute agriculture de précision, au bon moment tout comme elle comprend l'ensemble des outils d'aide à la décision qui permet aux agriculteurs d'affiner leurs pratiques sur le terrain. Non pas en vue d'une simple modernisation de ces dernières, mais bien d'une réinvention de nos modèles agricoles autour de questions techniques, organisationnelles, sociales et éthiques. Car loin d'être une fin en soi, l'agriculture numérique est un levier stratégique à la durabilité, à la performance économique et à la résilience du secteur. Un tel vecteur change les problématiques non pas seulement par l'innovation, mais par une valorisation des ressources sociétales pour une meilleure prise en compte des défis qu'elle appelle d'une exploitation (Bordes P, 2017).

3.8 La modernisation des techniques d'élevage bovin

Elevage bovin et TIC : L'utilisation des technologies de l'information et de la communication TIC révolutionne l'élevage bovin en offrant des opportunités considérables pour une amélioration significative de la productivité, du bien-être animal, et pour une approche plus durable du métier. En effet, les équipements électroniques et les appareils de détection des données connectées peuvent être utilisés pour surveiller la santé d'un bovin, son comportement, ou son cycle de reproduction en temps réel. Ensuite, ces données peuvent être exploitées afin d'optimiser l'alimentation, la reproduction et la conduite des élevages tout en réduisant les coûts.

De l'autre part, des systèmes plus larges comme RETAL, qui est un système de télé-relève des compteurs d'électricité d'eau et de gaz et des clôtures intelligentes et stingtores de chocs électriques sur 11.000 hectares, utilisent la technologie IoT pour une gestion à distance et sans surveillance d'un troupeau connecté. En plus, ils contribuent à une vie pastorale sur de grandes surfaces sans changements pratiques, réduisant significativement la nécessité de surveillants et de travailleurs pour un suivi préventif du troupeau. À la fin, des technologies de détection à distance fondées sur l'intelligence artificielle IA assurent un suivi précis et en temps réel des paramètres environnementaux et physiologiques pour la mise en place d'une approche d'élevage plus durable.

Le développement de l'intelligence artificielle concerne également l'élevage bovin. On peut noter la surveillance continue avec les réseaux de capteurs sans fil, le phénotypage avancé par vision par ordinateur, la prédiction des comportements avec les jumeaux numériques, et l'amélioration de la traçabilité avec le transport. Ainsi, elle permet une

gestion de précision, améliore l'efficacité de la sélection génétique, et permet d'identifier des bovins plus résistants aux conditions environnementales. Les progrès dans les biotechnologies de la reproduction, l'insémination artificielle, le transfert d'embryons, la fécondation in vitro ont augmenté la capacité des éleveurs de guider les croisements et améliorer la qualité génétique des troupeaux. L'édition du génome avec CRISPR/Cas9 permet d'améliorer la production de lait, la qualité de la viande, les bovins eux-mêmes et de les rendre plus résistants en réduisant les émissions de méthane. Toutefois, ces innovations impliquent de grands défis. Du point de vue éthique et économique, il y a des problèmes de la propriété des données, de la sécurité de son utilisation, et de l'accessibilité des TIC pour les petites exploitations. De plus, la dépendance aux technologies étrangères de certains pays rend nécessaires le développement des capacités scientifiques et techniques détentrices locales pour assurer une véritable autonomie.

En somme, il est possible de dire que même si les avantages potentiels des technologies de l'IA, les biotechnologies et la génomique en matière de résilience et de rentabilité de l'élevage de bovins sont exceptionnels, il est essentiel que leur mise en œuvre soit réglementée par des normes éthiques, qu'elle s'accompagne de la participation des utilisateurs et qu'elle prenne en charge de l'inclusion sociale et territoriale permanente. En d'autres termes, le développement de l'élevage au cours des années à venir dépendra de l'équilibre que l'on pourra créer entre l'innovation technologique, la durabilité environnementale et l'équité sociale et économique.

3.9 Etat d'art : résilience et innovation dans le secteur laitier

Source	Objectif	Méthodologie	Résultat
Läpple Et al. 2019	Cette étude examine comment l'innovation influence la viabilité économique des fermes laitières irlandaises en se concentrant sur la rentabilité, la productivité des terres et l'adaptation au marché. À partir d'un échantillon de 342 exploitations analysées via un score de propension généralisé, elle démontre que même de petites initiatives innovantes peuvent générer des bénéfices économiques considérables.	Utilisation du score de propension généralisé sur un panel de 342 fermes irlandaises pour évaluer l'impact de l'innovation sur la rentabilité.	Selon cette étude, l'introduction de pratiques innovantes améliore significativement la rentabilité des fermes laitières irlandaises : même de petits investissements en innovation génèrent plus de 500 millions DA de gain par hectare, et des efforts plus soutenus entraînent des bénéfices encore plus élevés.
Bovo et al., 2020	L'objectif principal est d'améliorer les conditions environnementales et le bien-être des vaches laitières, dans le but d'optimiser la reproduction et la production.	Déploiement d'un système de surveillance intelligent (SMS) basé sur les TIC et réseaux de capteurs.	Les systèmes intelligents de surveillance environnementale permettent d'optimiser les conditions de vie des vaches, ce qui améliore reproduction et production.
Sitdikov, F et al.2020	Cet article étudie comment intégrer des technologies d'automatisation et de contrôle à distance pour optimiser la productivité des exploitations laitières.	Intégration de robots de traite et système de collecte de données pour améliorer le rendement et la santé des vaches.	L'automatisation de la traite accroît la productivité et assure une surveillance efficace de la santé animale via des capteurs intégrés et l'analyse en temps réel.
Tedeschi et al., 2021	Cet article explore les avancées de l'élevage de précision (PLF) grâce à l'intégration de capteurs et d'outils d'aide à la décision intelligents.	Caméras 3D + vision par ordinateur et hybridation IA/modèles mécanistes pour prédire la consommation alimentaire.	L'hybridation des modèles mécanistes et de l'intelligence artificielle améliore la prédiction des performances et la durabilité des pratiques d'élevage.

Partie bibliographique Chapitre 3 : La résilience de la filière lait

Hassoun et al., 2023	Cet article propose la notion de « produits laitiers 4.0 », calquée sur l'industrie 4.0, en détaillant les technologies clés qui rendent cette évolution possible et en illustrant, par des cas concrets, l'impact majeur de ces innovations sur la production de lait et de ses dérivés.	Exploration de la notion de « produits laitiers 4.0 » à travers l'analyse des technologies clés (IA, IoT, Big Data, robotique, blockchain) appliquées à la chaîne de production laitière.	L'article met en avant six leviers technologiques « robotique, impression 3D, intelligence artificielle, Internet des objets, Big Data et blockchain » dont l'intégration progressive dans les exploitations et les fromageries révolutionne la production de lait, de fromages et autres dérivés, ouvrant la voie à une plus grande automatisation et à une optimisation continue des processus.
Hu et al. 2023	Les objectifs sont de concevoir un système intelligent pour les fermes laitières (SDFS) et de prédire le risque de mammite chez les vaches.	Clustering via hclust (Rx64) et régression logistique pour prédire la mammite et réduire les émissions de GES.	Le modèle prédictif de mammite s'est montré précis à 89,91 %, contribuant à améliorer la gestion nutritionnelle et à réduire les émissions de gaz à effet de serre.
Coxanb et al., 2023	Explorez les tendances en matière de technologies de développement de l'élevage. Analyser l'impact de la numérisation et de la recherche génomique.	Analyse de l'impact de la numérisation et de la recherche génomique dans les systèmes d'élevage.	L'étude met en lumière les bénéfices de la numérisation, de la robotique et de la recherche génomique sur la performance, la rentabilité et la qualité des produits laitiers et bovins.
Parikoglou et al., 2024	Cette étude propose d'évaluer l'influence des innovations mises en œuvre par les exploitations agricoles sur la productivité et ses composantes « technologie de production, efficacité et économies d'échelle » en recourant à une méthodologie inédite.	Évaluation de l'effet non linéaire de l'innovation à l'aide d'un indice construit sur des pratiques agricoles, enrichi par avis d'experts.	La recherche montre l'intérêt des systèmes de vision par ordinateur pour estimer le poids des animaux, ainsi que l'utilisation d'algorithmes pour détecter précocement des troubles de santé et optimiser la gestion des ressources naturelles par drones.
Spangler M L .2024	Cet article examine comment l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle enrichissent les outils de prédiction génétique, notamment pour la sélection animale.	Renforcement du modèle mixte d'Henderson par le machinelearning pour prédire des phénotypes à partir de	Les approches en intelligence artificielle, bien qu'efficaces, ne surpassent pas systématiquement les modèles statistiques traditionnels dans le cas de caractères

Partie bibliographique Chapitre 3 : La résilience de la filière lait

		données de séquençage génomique.	génétiques additifs chez les bovins deboucherie
Tulpan, 2024	Cet article examine de quelle façon l'informatique avancée et les technologies de l'information révolutionnent la production animale en renforçant l'efficacité opérationnelle, la productivité et le bien-être des animaux.	Application de la data science (ML, DL) et des IoT pour collecter des indicateurs comportementaux et environnementaux.	Les TIC permettent une gestion fine et automatisée des élevages grâce à l'analyse de données massives, à la robotique et à l'IoT, favorisant ainsi la durabilité et le bien-être animal.
Nagahara et al., 2024	Cette étude vise à développer un outil de diagnostic intelligent (PPDM) capable d'optimiser les taux de conception et fiabiliser la détection de l'œstrus chez les vaches.	Développement d'un outil de diagnostic intelligent (PPDM) basé sur l'IA, avec enrichissement des données par augmentation d'images.	L'outil PPDM a prouvé sa fiabilité pour optimiser l'insémination artificielle, avec un taux de précision de 76,2 % et un taux de rappel de 100 % pour une probabilité de grossesse ≥ 70 %.
Mhapsekar, R. et al. 2024	La recherche propose une solution innovante visant à accroître la productivité et l'efficacité de la transformation des produits laitiers tout en garantissant leur qualité.	Utilisation de l'IIoT avec traitement en périphérie pour surveiller la qualité du lait et automatiser les processus.	Le traitement localisé des données via l'IIoT a démontré son efficacité dans l'amélioration de la qualité du lait, la réduction des interruptions et la maintenance prédictive.
Tangorra et al. 2024	Cette étude examine comment l'utilisation de capteurs IoT dans l'élevage laitier peut contribuer à améliorer la santé, le bien-être et la productivité des bovins.	Application de capteurs PLF, cloud et IA pour la surveillance en temps réel de la gestion de troupeaux.	Les capteurs et systèmes connectés facilitent une gestion individuelle et optimisée des bovins, améliorant bien-être, reproduction et productivité.
Manikandababu et al., 2024	Cette étude propose un système innovant de contrôle de la qualité du lait, combinant IoT et apprentissage automatique pour anticiper les problèmes de qualité.	Surveillance de la qualité du lait avec IoT et machine learning, capteurs intelligents et détection d'anomalies.	Le système IoT de contrôle de qualité du lait a atteint une précision de 95 %, assurant une surveillance continue et fiable des produits laitiers.

Partie bibliographique Chapitre 3 : La résilience de la filière lait

<i>Smart dairy farming,2025</i>	La recherche examine comment les défis liés à la pénurie de main-d'œuvre et aux pressions économiques peuvent être surmontés grâce aux technologies avancées.	Intégration de capteurs IoT et cloudcomputing pour optimiser l'analyse en temps réel et le bien-être animal.	Les technologies IoT et cloudcomputing permettent des économies importantes dans les opérations laitières et améliorent la santé animale via une surveillance en temps réel.
--	---	--	--

D'après cet état de l'art, la résilience du secteur laitier repose de plus en plus sur l'intégration d'innovations technologiques, à savoir l'intelligence artificielle, l'Internet des objets, la robotique, les capteurs intelligents, et les outils de science de données. Les mécanismes susmentionnés optimisent la production laitière, améliorent le bien-être animal, renforcent la qualité des produits laitiers, et stimulent la réactivité aux défis économiques, environnementaux, et sanitaires. Ils soulignent également que même les initiatives d'innovation à petite échelle peuvent avoir des impacts économiques importants. Par conséquent, ceci a un effet positif sur la compétitivité et la durabilité des exploitations, technologiquement adaptées aux exigences contemporaines du secteur laitier. En fin de compte, il convient de noter, que l'innovation technologique constitue l'un des mécanismes centraux pour accroître la résilience du secteur laitier et s'adapter aux évolutions rapides du contexte agricole.

Partie

Expérimentale

Chapitre 1

Matériels et Méthodes

Le but

Ce travail a pour objectif d'analyser la dynamique du secteur du lait bovin dans les zones semi-arides algériennes, en prenant la wilaya de Mascara comme un exemple pour notre étude. Il s'appuie sur une analyse approfondie de la filière lait bovin afin d'identifier les contraintes structurelles et fonctionnelles qui entravent son développement. Sur la base de ce diagnostic, une innovation est proposée, puis évaluée empiriquement afin d'apprécier sa contribution potentielle à l'amélioration de la résilience et de l'amélioration du secteur de l'élevage laitier.

L'espace physique, de la Wilaya recouvre quatre zones homogènes (Figure 14).

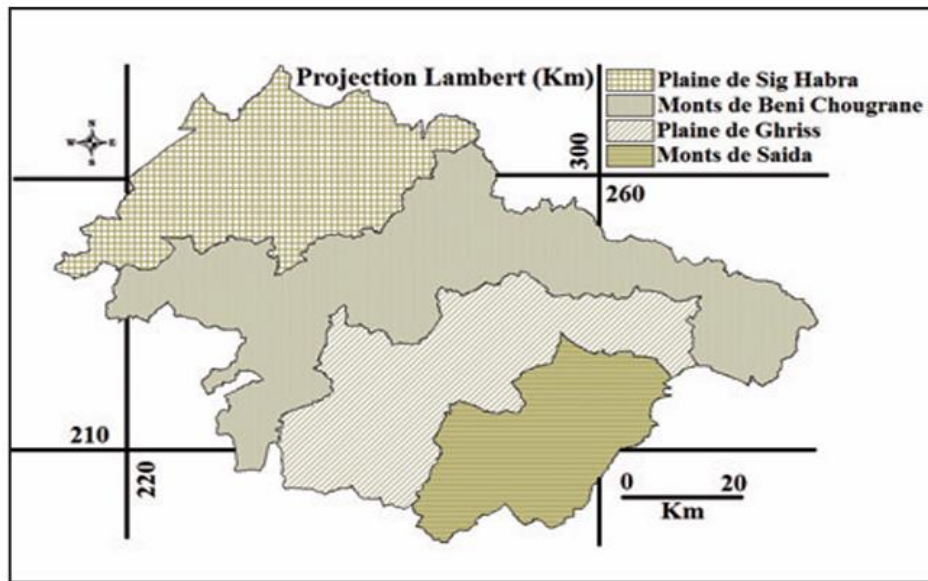


Figure 14: les ensembles naturels de la wilaya de Mascara (Semari et *al.*, 2012)

La plaine de Ghriss est une vaste dépression située entre Tighennif, Matmore et Sidi Kada, s'étendant jusqu'à Tizi et Aïn Fékan. Son relief est légèrement ondulé au pied des hauteurs qui la limitent, avec une dépression marquée au centre. Elle est délimitée au nord par les monts des Béni Chougrane, au sud par les monts de Saïda, à l'ouest par les monts de Bou Hanifia, et à l'est par le plateau de Tighennif.

Elle couvre une superficie de 1401 km², soit 27,28 % de la superficie totale de la Wilaya, et comprend 12 communes. Cette région se distingue par la richesse de son potentiel agricole. La haute plaine de Mascara - Ghriss présente des terrains à faible pente (0 à 3 %) ou moyenne (3 à 12,5 %), offrant ainsi les meilleures possibilités de mise en valeur intensive d'un point de vue topographique (Yerou et *al.*, 2019).

En ce qui concerne les ressources hydriques, les nappes souterraines sont largement exploitées, par rapport aux ressources superficielles, ce qui est manifeste à travers la baisse significative des niveaux piézométriques observée au cours des dernières décennies. Les irrégularités des précipitations affectent directement l'alimentation des nappes souterraines et des cours d'eau, ce qui a un impact sur la gestion des ressources hydriques de la région. Selon plusieurs études (Bekkoussa et *al.*, 2008 ; Benfetta et *al.*, 2011 ; Ouis, 2012), la plaine souffre d'une surexploitation liée à la pratique agricole intensive et à la croissance démographique. Cette situation est principalement causée par la surexploitation des eaux

souterraines, exacerbée par de longs épisodes de sécheresse dans la région. La région dispose toutefois de trois barrages : Fergoug, Bouhanifia et Ouizert.

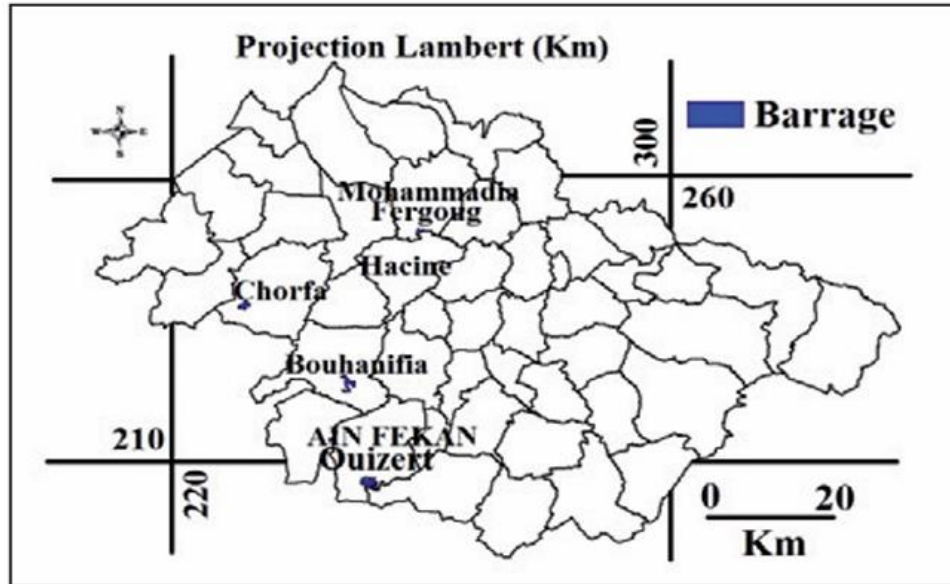


Figure 15: localisation des barrages et principaux oueds de la région de Mascara(Semari et *al.*,2012)

1.1.1 Les contraintes climatiques dans la région d'étude

La limite nord de la région de Mascara se trouve à moins de 30 kilomètres de la mer Méditerranée, tandis que sa limite sud-est est située à moins de 100 kilomètres de l'Atlas tellien. En conséquence, cette région est soumise à des influences climatiques à la fois méditerranéennes, avec des irrégularités marquées des précipitations et des températures. Le climat y est semi-aride, avec des précipitations annuelles moyennes de 313 mm et des températures élevées en été, les valeurs maximales dépassant parfois les 40°C pendant la journée (Yerou et *al.*, 2019, 2021 ; Zoghlami et *al.*, 2022). Les figures 16 et 17 résument certains paramètres climatiques de la région d'étude.

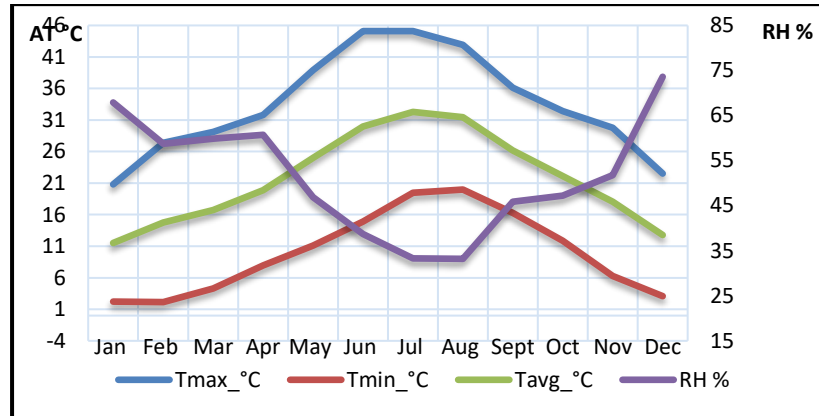


Figure 16: variation des températures et humidité pour l'année 2022 (Yerou, 2022)

Afin de caractériser l'effet du climat sur l'élevage bovin laitier dans la région semi-aride de Mascara les mêmes auteurs ont utilisé l'indice de température et d'humidité (THI) estimé selon les formules de Johnson et al, (1962), Mader et al (2006) et Vitali et al (2009):

Formule de Johnson et al, (1962) :

$$THI = 1.8 \times T_a - (1 - HR) \times (T_a - 14.3) + 32$$

Avec T_a : température ambiante et HR : humidité relative

Formule de Mader et al (2006) :

$$THI = (0.8 \times T_{max}) + [(RH/100) \times (T_{max} - 14.4)] + 46.4$$

Avec RH = l'humidité relative et T la température en degré Celsius.

Formule de Vitali et al (2009):

$$THI = (1.8 \times T + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26)$$

Avec RH = l'humidité relative en % et T = la température en degré Celsius.

Le tableau 2 présente l'évolution mensuelle moyenne de la température ambiante, de l'indice de température et d'humidité (THI) ainsi que le seuil du stress thermique. La région se distingue par une période de cinq mois et demi de stress thermique, durant laquelle le THI dépasse le seuil de 72. Ce phénomène impacte négativement les performances des vaches laitières, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, ainsi que les paramètres de reproduction des animaux (Yerou et al., 2021 ; Zoghlami et al., 2022).

Tableau 2: Les paramètres climatiques et de stress thermique à Mascara

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T °C	20,8	27,4	29,1	31,8	38,9	45,1	45,1	42,9	36,1	32,4	29,8	22,5
Hd %	67,9	58,7	59,9	60,7	46,9	38,7	33,3	33,2	45,9	47,2	51,8	73,6
THI	63,2	68,6	69,9	72,2	77,9	82,9	82,9	81,1	75,6	72,6	70,5	64,6

Source : Yerou et al (2021) ; Zoghlami et al (2022)

1.2 Caractéristiques socioéconomique

1.2.1 Le nombre et type d'exploitations agricoles

Le nombre total des exploitations est de l'ordre de 11624 réparties en 3 catégories de statut (tableau 7).

Tableau 3: répartition des types exploitations agricoles de la zone d'étude.

Types	EAC		EAI		Privés	
Commune	Nombre	Superficie (ha)	Nombre	Superficie (ha)	Nombre	Superficie (ha)
Tighennif	274	4289	372	786	1100	4951
O/El Abtal	43	516	10	41	918	12465
Ghriss	225	4007	221	541	581	3198
Maoussa	138	2605	67	240	665	4060
Matemore	167	1845	61	250	289	1805
O/Taria	167	5751	198	756	836	7107
AinFeken	90	3965	143	680	701	7260
Mamounia	53	1727	46	182	343	1585
Tizi	232	3945	140	534	580	3227
Froha	120	1846	81	249	428	2223
Hachem	201	5454	119	565	1110	3466
Sidikada	180	2196	111	393	600	5437

Source : direction des services Agricoles de la wilaya de Mascara 2021-2022.

1.2.2 Situation de l'élevage bovin dans la zone d'étude

La situation de la filière bovine dans la région d'étude est indiquée dans le tableau 8.

Tableau 4: répartition du cheptel bovin par commune (Unité : tête)

commune	Nombre d'éleveurs	Effectifs bovins laitier
Mascara	234	3776
Tighenif	53	550
Hachem	27	485
Ghriss	196	3315
Oued taghia	284	4060
Matmoure	103	1450
Aouf	26	456
Oued abtal	9	153
Froha	46	641
Bouhanifia	7	87
Bouhenni	9	229
Mohammadia	10	419
Sig	68	1271
Zahana	28	1083
Total	1100	18000

Source : direction des services Agricoles 2021-2022.

2 Protocole de collecte des données typologique et évaluation de l'impact du stress thermique en zone semi- aride

2.1 Objectifs

La filière production laitière bovine dans la région de Mascara est caractérisée par des résultats techniques faibles et une irrégularité de la production des étables. Les performances laitières réalisées sont fortement affectées par les différentes actions de développement de ce secteur engagées par l'état depuis l'indépendance ; les performances de la production laitière enregistrée sont peu satisfaisantes comparativement aux investissements réalisés, particulièrement durant ces deux dernières décennies (Yerou et al, 2019). Vue la complexité et la dynamique des systèmes d'élevages laitiers rencontrés dans la région d'étude le choix de l'approche systémique est fortement préconisé. Les enquêtés sont considérés comme des acteurs- décideurs dans leur entreprises, et les résultats technico-économique réalisés dans

leurs étables reflètent les pratiques et les stratégies mises en œuvres dans leurs élevages et l'impact de leur environnement externe. L'objectif des éleveurs est de valoriser au mieux les possibilités offertes et d'éviter les contraintes et aléa affectant les performances zootechniques des élevages.

La situation de la filière lait cru au sein de la région de Mascara est fortement affectée par les contraintes technico-économique et climatiques. Par conséquent, le taux de collecte du lait est faible par rapport aux objectifs programmés. Afin de comprendre le fonctionnement et la dynamique des systèmes d'élevages une caractérisation typologique de la filière lait à l'échelle des exploitations laitières a été réalisée, en se basant sur des variables de structures et de fonctionnement. Il s'agit, dans un premier temps, de collecter des informations relatives à l'élevage laitier à partir de questionnaires structurés, portant à la fois sur les aspects technico-sociaux et économiques. Ces questionnaires ont été administrés dans le cadre d'une enquête menée auprès de 30 exploitations laitières, constituant un échantillon restreint mais exploratoire, destiné à fournir une première appréciation de la typologie des systèmes d'exploitation dans la région d'étude.

Les questions posées en relation avec la typologie sont:

- Quels sont les systèmes d'élevage bovins existants dans la région d'étude ?
- Comment fonctionnent ces exploitations ?
- Quelles sont les performances technico-économiques réalisées?
- Quelle est le seuil et type de la vulnérabilité de l'élevage bovin laitier ?

2.2 Le protocole de collecte des données

2.2.1 Le diagnostic typologique

L'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation a été faite sur la base de différentes sources de données combinant des données secondaires et génériques à grande échelle à des données spécifiques sur les exploitations laitières. De prime abord, nous avons mené des enquêtes préliminaires dans les communes de la plaine de Ghriss avec les acteurs clés tels que l'encadrement technique, les ingénieurs agronomes de la DSA et le service vétérinaire de Mascara entre autres.

Pour cette enquête nous avons retenu les objectifs suivants :

- connaître les principales caractéristiques de la région d'étude (démographie, emploi, agriculture, ressources) et dégager les principaux enjeux et opportunités du lait cru;

- analyser dans quelle mesure l'élevage bovin laitier est affecté par le changement climatique et déterminer l'impact des paramètres climatiques sur le lait cru;
- cerner les priorités des différents acteurs du lait cru pour l'adaptation de l'élevage bovin laitier aux contraintes climatiques et au stress thermique;
- évaluer la prise en compte de l'enjeu climatique dans la formulation des stratégies et des innovations possibles pour le lait cru.

Le montage de la démarche de terrain a fait appel à une collecte croisée des informations bibliographiques, des bases de données disponibles pour cette zone d'étude et des enquêtes menées dans les élevages bovins laitiers par un échantillonnage judicieux.

Nous avons initié une enquête initiale chez quelques éleveurs pour qu'ils aient les informations nécessaires pour identifier l'échelle des risques de vulnérabilité locaux, dégager les principaux enjeux de territoire, cerner la place de l'élevage bovin laitier dans le développement territorial de la plaine de Ghriss, analyser la variation des indicateurs climatiques, vérifier dans quelle mesure l'élevage bovin est affecté par le stress thermique.

Les enquêtes réalisées reposent sur un questionnaire (Annexe 03) conçu de manière suffisamment large pour permettre la collecte d'un maximum d'informations sur l'élevage bovin dans la région d'étude. Ce questionnaire se compose de deux volets :

- Le premier volet, social et technique, concerne l'éleveur et sa famille : La structure de l'exploitation agricole (foncier, équipement agricole, force de travail, ressources hydriques). La structure des bâtiments d'élevage, les effectifs, la conduite du troupeau, les principales cultures, ainsi que les pratiques d'hygiène.
- Le deuxième volet traite des aspects économiques : les ventes et les achats effectués par l'éleveur, en mettant l'accent sur les flux commerciaux et les stratégies économiques liées à l'exploitation.

Ce format de questionnaire permet d'obtenir une vue d'ensemble complète sur les dimensions sociales, techniques et économiques de l'élevage bovin dans la région de Ghriss. Les variables retenues pour l'analyse typologique sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 5: les variables retenues pour l'analyse typologique

Variables	Symbole
Surface Agricole Utile	SAU
Effectifs des vaches présentes	EVP
Moyenne économique (kg de lait par vache par an)	PLME
Unités Fourragères Lait des Concentrés par kg de lait	UFLC/kg lait
Unités Fourragères Lait des Concentrés par vache	UFLCV
Rapport Fourrages /concentrés dans le bilan énergétique (%)	RFC

Les variables utilisées servent à caractériser certains paramètres techniques des exploitations d'élevages :

- L'alimentation et l'affouragement des troupeaux et valorisation de l'énergie des concentrés, traduits par les variables UFLC et UFLCV.
- Les performances laitières sont illustrées par la variable PLME.

La détermination de l'ensemble des variables se caractérise comme suit :

- Effectif vaches Présentes, $EVP = \sum EVP_{contrôle, i} / 3$ (i variant de 1 à 3: passages/exploitation).
- Moyenne Economique, $PLME = (Production\ laitière\ Totale, PLT) / EVP$.
- $UFLC = \sum apports\ énergétiques\ des\ concentrés / VP$.
- $UFLCV = \sum apports\ énergétiques\ des\ concentrés / PLT$.

2.3 L'étude de l'impact du climat sur les performances laitières

L'objectif tracé consiste à la contribution d'évaluation de l'influence de certains facteurs particulièrement les conditions d'ambiance (température et humidité relative) et des pratiques de conduite des troupeaux de vaches laitières sur les performances de lactation dans une région semi-aride (la plaine de Ghriss –Wilaya de Mascara).

Le protocole mené consiste à l'évaluation de l'impact du changement climatique par le biais de l'index THI d'évaluation du stress thermique sur les performances réalisées au sein des étables suivis, La démarche méthodologique est représentée dans la figure 20.

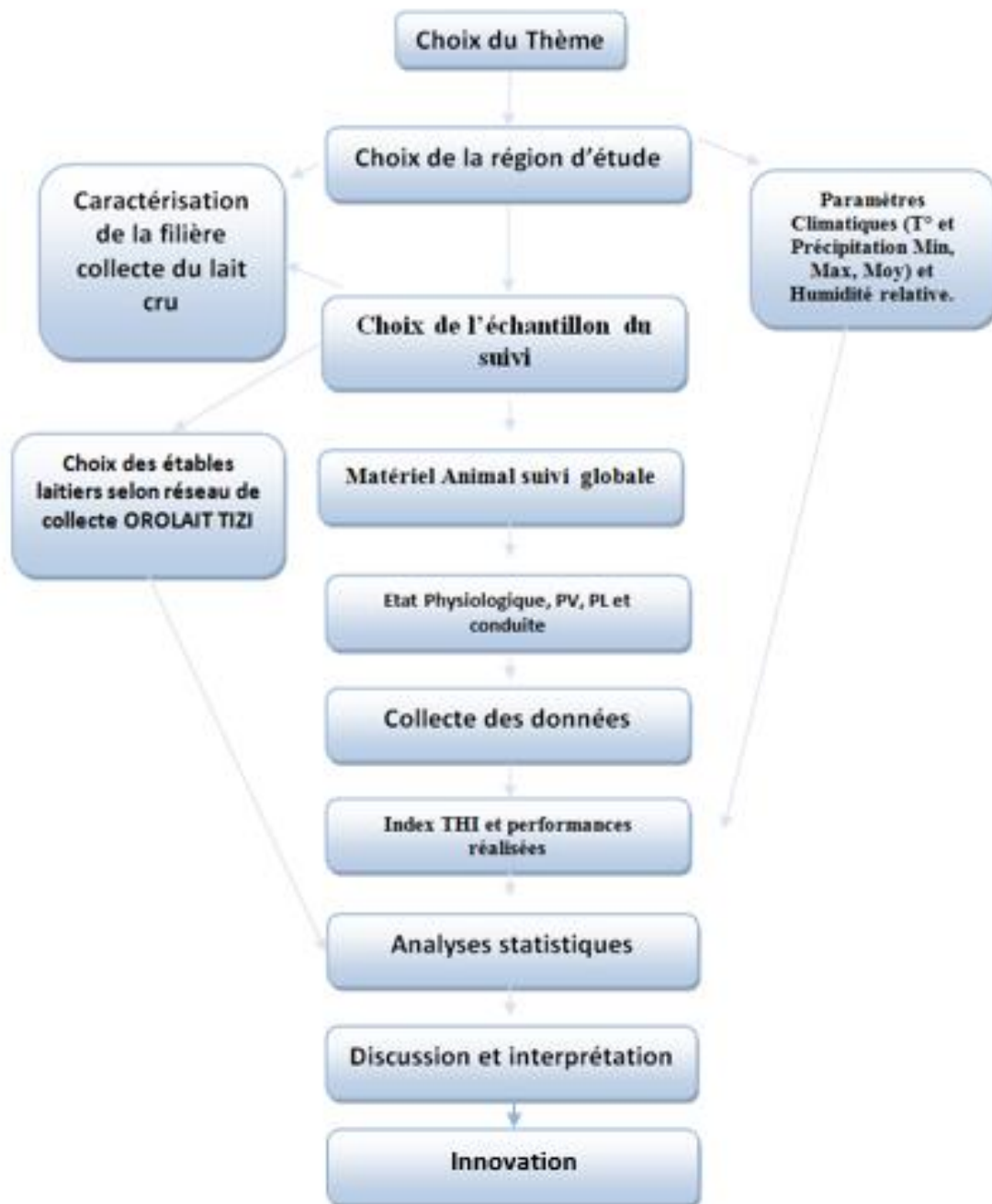


Figure 17: schématisation du protocole mise en œuvre d'étude de l'impact du climat sur les performances laitières des étables suivis

Nous avons cherché à répondre à la question suivante :

Le seuil de stress thermique, donc avec un THI supérieur à 68, peut-il faire diminuer de façon significative la production laitière ? Qu'en est-il de son impact sur la qualité du lait ?

Le matériel utilisé pour le suivi des vaches est représenté par un thermomètre électronique pour la prise de la température rectale des animaux ; un thermomètre à mercure et un hygromètre permettant de mesurer respectivement la température ambiante et l'humidité relative au sein des étables et une balance servant de peser les aliments distribués.

2.3.1 La méthodologie d'estimation de l'index Température – humidité

L'évaluation de l'influence du stress thermique comme paramètre épigénétique sur les performances zootechniques et particulièrement la production laitière est basée sur le calcul de l'Index de Température-Humidité « THI » selon l'équation développée par Johnson et al, (1962):

$$\text{THI} = 1.8 \times T_a - (1 - HR) \times (T_a - 14.3) + 32$$

Avec T_a : température ambiante et HR : humidité relative

En d'autres termes, étant donné que le stress thermique nuit fortement au bien-être des vaches et à leur production de lait, s'il est possible de déterminer rapidement les températures rectales des vaches, il sera possible de prendre des mesures pour réduire le stress thermique et améliorer bien-être des vaches. Cependant, ce qui reste un problème, c'est la définition de la température rectale requise pour chaque vache dans l'après-midi. En d'autres termes, il n'est pas possible de définir le niveau de température exact et requis pour chaque vache n'importe où et n'importe quand. Les dernières recherches ont montré que malgré les techniques utilisées, il est difficile de traiter exactement 70 % des cas. Afin que la gravité du stress thermique observé à l'issue de la mesure ne le soit pas. Heureusement, l'utilisation de la méthode de mesure de la tension des vaches n'est pas limitée par les vétérinaires et d'autres médecins qualifiés. N'importe qui peut mesurer la température rectale d'une vache, à condition qu'il suive exactement les instructions fournies (West, 2003; Willmer et al, 2004).

L'enregistrement des paramètres physiologiques a été effectué lorsque la vache était en position debout, pendant l'opération de la traite à 16h30.

La température rectale (TR) a été mesurée en insérant un thermomètre numérique vétérinaire d'environ 6 cm dans le rectum pendant 60 secondes.

La fréquence cardiaque (FC) a été déterminée à l'aide d'un stéthoscope médical, placé au niveau de la zone de projection du cœur, pendant une minute, en comptant les battements par minute.

La fréquence respiratoire (FR) a été mesurée en comptant les mouvements de flanc des vaches individuelles pendant une minute, et exprimée en nombre d'inspirations par minute.

2.3.2 L'estimation des paramètres de conduite :

Afin de calculer le taux de couverture des besoins nutritionnels des vaches ainsi que la production laitière théoriquement permise par la ration, la valeur nutritive des aliments a été déterminée à partir des données de référence de l'INRA (2007) et des travaux de Yerou et al. (2019), appliquées au contexte de la région de Grhiss (Tableau 6).

Tableau 6: valeurs énergétiques et protéiques des aliments

Aliment	MS (g/kg)	UFL	PDI (g)	P (g)	Ca (g)	UEL
Foin d'avoine	880	0,5	20	3	6,5	1,27
Paille	880	0,42	22	1	3,5	1,6
Foin de luzerne	850	0.67	94	2.5	13	1.03
Grains de maïs	860	1,27	82	3,5	0,3	-
Son de blé	868	0,9	96	12,8	1,5	-

MS : matière sèche

UFL : Unité Fourragère Lait

PDI : protéines digestibles dans l'intestin

P : phosphore

Ca : calcium

UEL : Unité d'Encombrement Lait

Les quantités de matière sèche ingérées (kg) ainsi que les volumes moyens d'eau consommés (L) ont été estimés par vache et par jour. Les quantités de matière sèche ingérée ont ensuite été converties en Unités Fourragères Lait (UFL), Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI), calcium (Ca) et phosphore (P), sur la base des valeurs nutritionnelles spécifiques des aliments distribués.

L'ingestion quotidienne par vache a été calculée en rapportant la quantité totale d'aliments distribués au nombre de vaches concernées.

Par ailleurs, l'estimation du poids vif des vaches a été réalisée à l'aide de l'équation validée par l'International Committee for Animal Recording (ICAR), selon la méthode

proposée par Jonker et *al.* (2002), basée sur la mesure du périmètre thoracique. Le poids vif a ensuite été calculé à l'aide de la formule de Crevât (Marmet, 1983) :

$$PV = 80 \times (TP)^3$$

Avec PV= Poids Vif (kg) et TP = Tour de Poitrine (m).

Les quantités d'eau consommées durant la période de suivi ont été estimées par la différence entre la quantité d'eau distribuée dans le bassin d'abreuvement et la quantité d'eau restante après 24 heures. L'évaluation de la production laitière journalière après la traite mécanique pour les deux traites (6 h et 16 h).

2.3.3 Les analyses statistiques des données d'enquête

L'analyse des données a débuté par la création d'une base de données sous Microsoft Excel (version 2007), dans laquelle les réponses issues des questionnaires ont été préalablement codées afin de faciliter leur traitement statistique. L'ensemble des informations collectées lors de l'enquête a ensuite été saisi et organisé dans cette base.

À l'aide des outils statistiques disponibles dans Excel, notamment les tableaux croisés dynamiques, des statistiques descriptives élémentaires ont été produites. Cette première étape a permis de dégager une vue d'ensemble des systèmes d'élevage observés et d'établir une première typologie exploratoire des exploitations de la région d'étude. Dans un second temps, les données issues des enquêtes ont été soumises à une analyse multivariée à l'aide du logiciel XLSTAT, afin d'approfondir la typologie des systèmes d'élevage rencontrés et de mettre en évidence les relations entre les différentes variables étudiées.

Les outils statistiques mobilisés se caractérisent comme suit :

- L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive, dont l'objectif est de représenter graphiquement le maximum d'information contenue dans un tableau de données constitué d'individus décrits par des variables quantitatives, à travers un nombre réduit d'axes factoriels.
- L'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) vise à représenter graphiquement un tableau de données en réduisant le nombre de dimensions initiales, égal au nombre de variables, à quelques axes construits à partir de combinaisons linéaires des variables de base. Cette méthode s'applique principalement aux données qualitatives, ou à des variables quantitatives et ordinales préalablement transformées en modalités, et permet de valoriser les enquêtes en mettant en évidence les relations entre les modalités des variables analysées.

L'identification de groupes d'unités d'élevage relevant d'un même mode de fonctionnement et confrontées à des problématiques de développement similaires constitue ainsi une production classique des recherches consacrées à l'étude des milieux ruraux (Jouve, 1986).

La construction d'une typologie permet, d'une part, de lier et comparer les paramètres caractéristiques des élevages selon des dimensions communes, et, d'autre part, de positionner les unités d'élevage les unes par rapport aux autres.

L'identification de groupes présentant des caractéristiques de fonctionnement similaires conduit à l'élaboration d'une typologie permettant de comparer des unités d'élevage effectivement comparables, d'évaluer leur fonctionnement, de diagnostiquer les contraintes rencontrées, et de formuler des recommandations adaptées. Elle constitue également un outil pertinent pour la mise en place de dispositifs d'extrapolation de ces recommandations à des situations similaires (Capillon, 1985).

2.4 La caractérisation qualitative du lait cru collecté dans la région d'étude

Pour mener cette enquête, nous avons obtenu des échantillons de lait non transformé provenant de vaches Holstein en pleine lactation d'âge et de régime nutritionnel comparables. Les échantillons de lait cru collectés sont représentatifs du lait provenant des réservoirs de dix fermes laitières situées dans la région de Ghriss à Mascara. Les échantillons ont été transportés vers les laboratoires dans des conditions de froid contrôlées, en utilisant un refroidisseur isotherme pour empêcher toute modification des caractéristiques inhérentes. Les évaluations de divers paramètres physicochimiques et microbiologiques ont été réalisées dans le laboratoire pédagogique de la faculté de la SNV à l'Université de Mascara.

2.4.1 Les techniques de prélèvement et analyses effectuées

Le lait est extrait manuellement le matin. Les échantillons de lait prélevés reflètent fidèlement la composition du lait non transformé provenant du réservoir de stockage. Ces échantillons sont méticuleusement collectés dans des récipients en verre stériles et conservés à une température de 4 °C. Ils sont rapidement envoyés au laboratoire dans une glacière équipée d'un sac de glace.

Avant et tout au long des processus de manipulation en laboratoire, les protocoles suivants ont été strictement respectés afin de prévenir l'hétérogénéité des échantillons lors

des évaluations physicochimiques et d'atténuer la transmission de contaminants d'un récipient à l'autre.

Pour les évaluations physicochimiques : homogénéiser en agitant légèrement pour garantir une composition homogène.

Pour les évaluations microbiologiques :

- Se laver les mains avant et après toute manipulation ;
- Désinfectez et assainissez les surfaces de travail avant et après toute manipulation ;
- Réaliser des travaux à proximité du bec Bunsen à l'aide d'instruments stériles ;
- Maintenir un environnement de travail totalement aseptique ;
- Toutes les boîtes de Pétri, les cultures de bouillon, ainsi que tous les instruments contaminés (tels que les pipettes, les tubes, etc.) doivent être décontaminés par autoclavage.

2.4.2 La détermination de la qualité physico-chimique

Les paramètres physico-chimiques du lait cru de mélange effectués sont le pH, Acidité Dornic; le taux butyreux ; le taux protéique et l'extrait sec total en utilisant un Lactoscan.

2.4.3 L'évaluation de la qualité microbiologique du lait crû

La maîtrise de la qualité microbiologique constitue un paramètre déterminant pour assurer l'innocuité et la salubrité des denrées alimentaires. Elle implique l'évaluation quantitative des populations microbiennes susceptibles de dégrader le produit ou de mettre en péril la santé du consommateur.

Dans cette étude, l'analyse microbiologique du lait crûde mélange a été réalisée conformément aux recommandations de la réglementation algérienne en vigueur (JORADP N°39 : 2017), en s'appuyant sur des méthodes normalisées. Plusieurs germes ont été recherchés, notamment la flore mésophile aérobie totale (FMAT), indicatrice de la charge microbienne globale, ainsi que les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF), témoins de l'hygiène de traite et de la contamination fécale potentielle. La recherche de *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., et la présence des traces d'antibiotique ont été aussi effectués. L'objectif global de ces analyses est d'évaluer la qualité bactériologique du lait cru étudier en tenant compte des capacités analytiques disponibles au sein du laboratoire de la Faculté.

Il convient de procéder à toute manipulation d'échantillons dans des conditions d'asepsie strictes et au moyen d'un matériel stérile, conformément aux exigences de la norme ISO 7218 : 2007.

2.4.4 Le recueil et le traitement des échantillons

Dès leur réception, les échantillons destinés à l'analyse doivent être transportés dans une glacière régulée à 4 °C, en conditions d'hygiène strictes. À leur arrivée au laboratoire, ils sont immédiatement conservés à 6 °C et traités sans délai. Toute congélation est rigoureusement proscrite.

2.4.5 La préparation de la solution mère et des dilutions décimales

Avant toute prise d'essai ; notre échantillon de lait est homogénéisé par agitation afin de garantir une répartition uniforme des micro-organismes (JORADP N°38: 2014, ISO 6887-5:2020).

La solution mère

Conformément à l'arrêté JORADP N°38 (2014), une suspension mère est notre échantillon analysé (il s'agit d'un produit liquide).

Dilutions décimales

Une série de tubes stériles étiquetés de dilutions allant de 10^{-1} à 10^{-4} est préparée, chacun contenant 9mL de diluant (Tryptone Sel). La dilution s'effectue prélevant aseptiquement 1mL de la suspension mère et l'introduire dans le premier tube (dilution 10^{-1}). L'opération est ensuite répétée en transférant 1mL de chaque dilution dans un nouveau tube contenant 9mL de diluant, jusqu'à atteindre la dilution 10^{-4} .

2.4.6 L'ensemencement

L'ensemencement est réalisé sur des milieux adaptés, favorisant la croissance des germes ciblés en conditions aérobies ou anaérobies, selon leur nature.

➤ Flore mésophile aérobie totale à 30°C

Pour chaque dilution décimale, 1 mL de suspension est prélevé dans des conditions d'asepsie et déposé dans une boîte de Pétri stérile préalablement étiquetée. On y verse ensuite environ 15 mL de gélose Plate Count Agar (PCA), fondue et maintenue à 45 °C, puis l'ensemble est homogénéisé par un mouvement circulaire délicat sur la paillasse avant solidification. Conformément à la norme NF EN ISO 4833-1:2013, les boîtes sont incubées à 30 °C pendant 24 à 48 h ; les colonies développées sur le milieu sont alors dénombrées pour établir la charge microbienne totale.

➤ Les coliformes totaux et fécaux

Les coliformes scientifiquement appelées *Enterobacteriaceae* sont des bactéries bacilles à Gram négatifs qui hébergent naturellement le tractus digestif des mammifères, d'où vient leur intérêt comme indicateurs de la qualité microbiologique des produits

alimentaires, notamment le lait. Leur présence est souvent associée à un défaut d'hygiène, ce qui reflète une dégradation de la qualité du produit (Larpen, 1997).

L'objectif principal de cette analyse est de détecter une éventuelle contamination fécale du lait et d'en évaluer l'ampleur. Les coliformes thermo-tolérants, ou coliformes fécaux, sont particulièrement utiles, car leur survie en dehors du tractus intestinal est limitée, ce qui en fait des marqueurs sensibles d'une contamination fécale récente (Joffin, 1999). Durant notre travail, le dénombrement des coliformes est réalisé en utilisant un milieu sélectif, VRBL (Violet Red Bile Lactose), qui permet la culture et la différenciation des coliformes selon leur capacité à fermenter le lactose.

En effet, 1 mL de chaque dilution est transféré aseptiquement dans une boîte de Pétri stérile contenant le milieu VRBG (Violet Red Bile Glucose Agar) fondu et préalablement refroidi à 45 °C. L'incubation est effectuée à 37 °C pendant 24 heures pour la recherche des coliformes totaux, et à 44 °C pendant 24 heures pour celle des coliformes thermotolérants. Après incubation, les résultats sont interprétés par comptage des colonies caractéristiques, généralement identifiables par leur coloration rouge foncé (ISO 21528-2:2017).

2.4.7 La recherche des Staphylocoques à coagulase positif

La recherche de *Staphylococcus aureus* débute par une phase d'enrichissement dans le bouillon sélectif Giolitti-Cantoni, dont la teneur en glycérol, tellurite et pyruvate stimule spécifiquement la croissance de l'espèce cible tout en limitant celle des flores concurrentes. À cette fin, 1 mL de chaque dilution décimale est inoculé dans 10 mL de bouillon, puis incubé à 37 °C durant 24 à 48 h. Les tubes présentant un noircissement caractéristique sont ensuite repiqués : 0,1 mL de culture est étalé en surface d'une gélose Chapman (mannitol-sel) et incubé à 37 °C pour la même durée. Les colonies présomptives de *S. aureus* se manifestent par un aspect lisse, convexe et jaune doré, accompagné d'un halo jaune issu de la fermentation du mannitol, conformément aux prescriptions de la norme ISO 6888-1:2021.

2.4.8 La recherche des Salmonelles

La recherche de *Salmonella* spp. repose principalement sur un pré-enrichissement non sélectif dans de l'eau peptonée tamponnée (EPT), visant à favoriser la récupération de bactéries ayant subi un stress subléthal. Pour cela, 1 mL de chaque dilution est ensemencé dans l'EPT, puis incubé à 37 °C pendant 18 à 24 heures. Par la suite, 0,1 mL de cette culture est transféré dans 10 mL de bouillon Rappaport-Vassiliadis, un milieu sélectif qui favorise la croissance de *Salmonella* tout en inhibant les autres entérobactéries. Cet enrichissement

est ensuite incubé à 42 °C pendant 24 heures. L'isolement est réalisé sur gélose SS (*Salmonella-Shigella*) en ensementant une boucle de culture par stries. Après une incubation à 37 °C pendant 24 heures, les colonies présomptives de *Salmonella* se manifestent par un aspect transparent avec un centre noir, caractéristique de la production de H₂S (ISO 6579-1:2017).

2.4.9 La détection des antibiotiques

La détection des résidus d'antibiotiques dans le lait peut être réalisée par une méthode microbiologique de type test d'inhibition microbien. Cette technique repose sur l'inhibition de la croissance d'une souche bactérienne sensible (*Bacillus spp.*) en présence d'échantillons de lait à tester. Un 1mL de lait est déposé sur une gélose Mueller Hinton ensemencée uniformément avec la souche indicatrice. Après incubation à 37 °C pendant 18 heures, la présence d'une zone d'inhibition autour de l'échantillon indique la présence de résidus antimicrobiens (Commission européenne, 2002).

2.4.10 Le Dénombrement :

Le dénombrement des colonies est exprimé en Unité Formant Colonie selon la formule suivante (Béraud, 2001).

$$N = \frac{\sum c}{V(n_1 + 0.1n_2)d}$$

Avec :

N:Nombre d'UFC/g de fromage

ΣC: Somme des colonies comptées sur les boîtes retenues de deux dilutions successives et contenant entre 30 et 300 colonies;

V:Volume de l'inoculum appliqué à chaque boîte en mL;

n₁:Nombre des boîtes retenues à la première dilution;

n₂:Nombre de boîtes retenues à la deuxième dilution;

d:Taux de dilution correspondant à la première dilution retenue

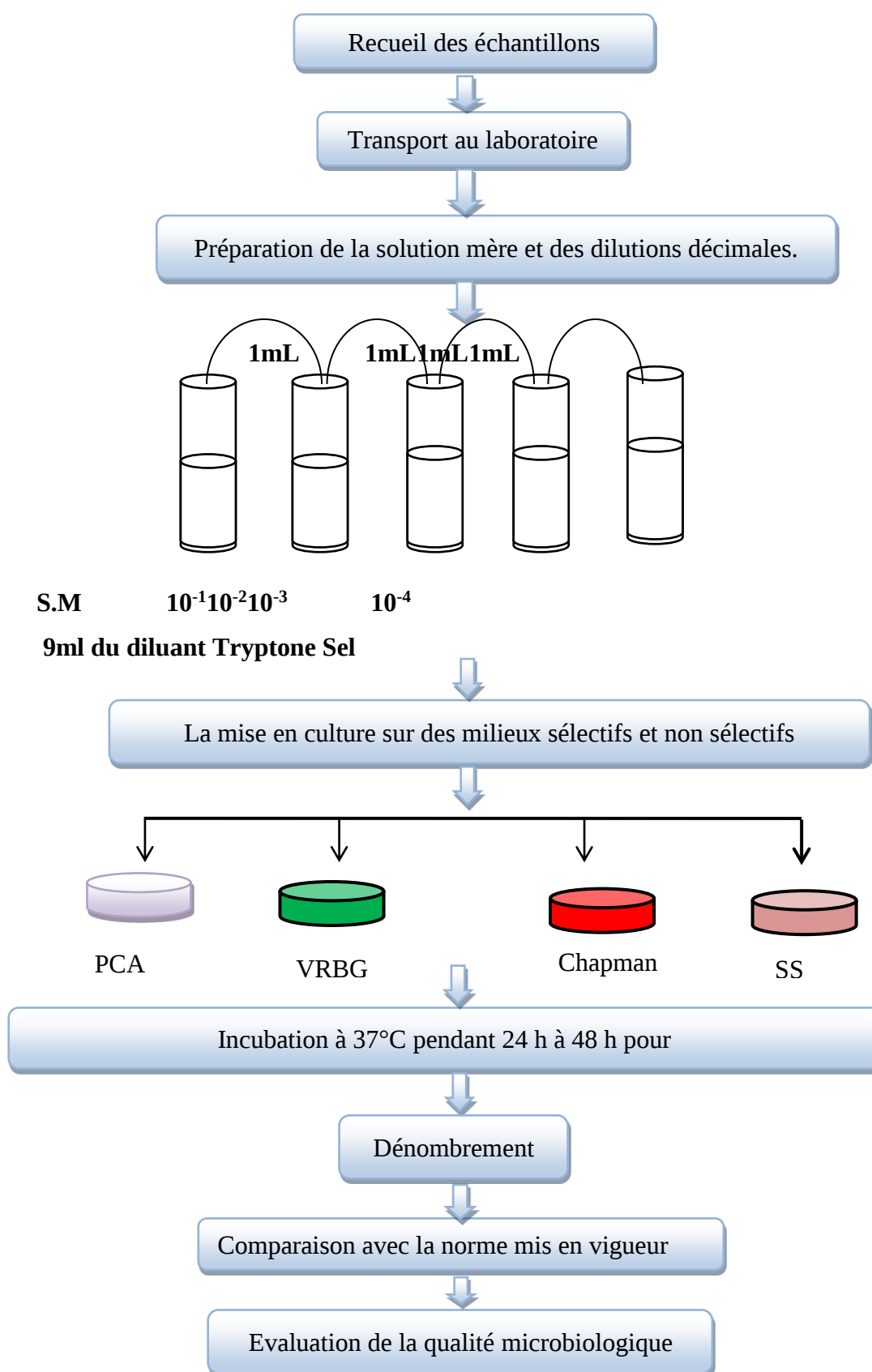


Figure 18: Schéma récapitulatif des différentes étapes d'analyses microbiologiques des échantillons

Chapitre 2

Résultats et discussion

2 Résultats zootechnique

2.1 Caractérisation de la collecte du lait cru à l'unité GIPLAIT Mascara

2.1.1 Evolutions du nombre d'éleveurs laitiers et de la collecte du lait cru

Selon la Direction des Services Agricoles (DSA, 2022), la chambre d'agriculture et l'enquête typologique menée par Yerou et *al.* (2019), la filière lait cru regroupe entre 1000 et 1200 éleveurs. Le cheptel bovin de la wilaya est estimé à 36 000 têtes, dont 18 000 vaches laitières. En 2020, la production de lait cru a dépassé les 44 millions de litres. Selon les mêmes sources, seulement la moitié de cette production (soit 22 millions de litres) a été écoulée par 60 collecteurs auprès des laiteries de Mascara et de celles des wilayas limitrophes. En effet, 30 % de la production locale est commercialisée au-delà des wilayas limitrophes, notamment à Oran, Relizane, Sidi Bel Abbès et Mostaganem. Il en ressort qu'environ 40 % de la production locale est vendue en dehors de la wilaya de Mascara, bien que cette pratique soit interdite pour des raisons de santé publique. Selon les responsables du dossier lait de la Chambre Agricole, l'État doit mettre en place des mesures spécifiques pour gérer le surplus de production et réduire les pertes. Sans une organisation appropriée de la filière lait, la révision du mode de fonctionnement de toute la chaîne, l'accompagnement technique des éleveurs de vaches laitières, et l'élargissement du dispositif de soutien aux professionnels, l'objectif d'autosuffisance en lait en Algérie ne pourra être atteint, d'après le responsable du Conseil de Wilaya Interprofessionnel de la Filière Lait de Mascara (CWIF Lait-Mascara, 2019). De plus, la faiblesse de la production fourragère, tant en quantité qu'en qualité, ainsi que les coûts élevés des aliments pour bétail, constituent des menaces importantes pour le développement de la filière lait.

L'évolution du nombre d'éleveurs selon les données de GIPLAIT est indiquée dans la figure 17.

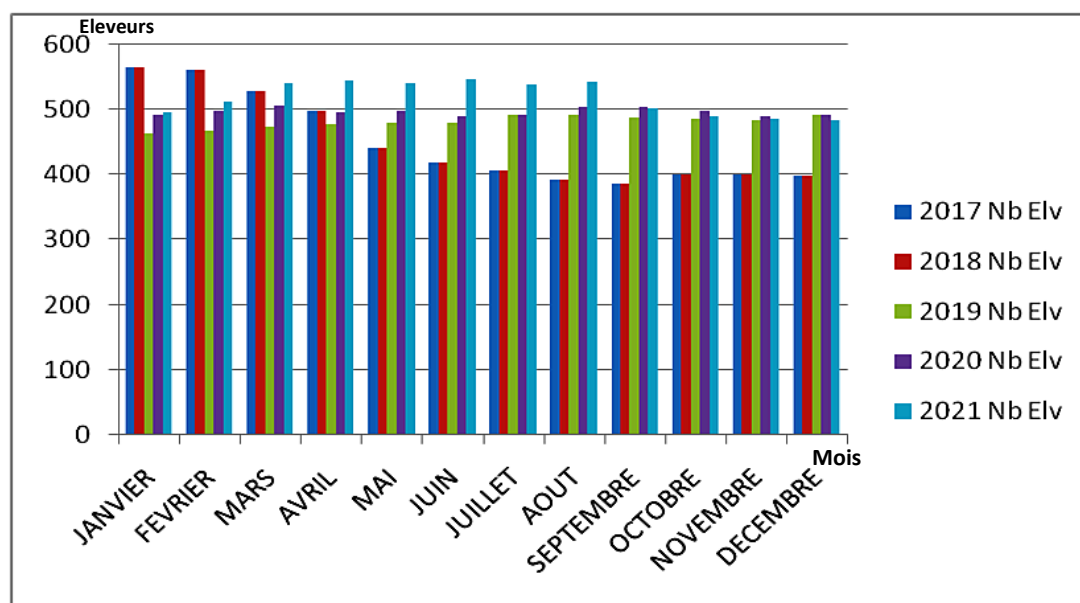


Figure 19: évolution du nombre des éleveurs du réseau de collecte du lait cru à Mascara (GPLAIT, 2021)

L'évolution du nombre d'éleveurs peut s'expliquer par l'orientation des éleveurs vers le secteur privé, qui connaît une concurrence accrue pour la collecte du lait cru, ou bien par l'abandon de l'activité par certains éleveurs, principalement en raison de la rentabilité limitée de celle-ci.

L'évolution de la collecte du lait cru, présentée dans la figure 18, montre des fluctuations importantes dans les quantités de lait cru réceptionnées par la laiterie El-Amir. Les quantités fournies suivent une tendance similaire à celle de la diminution du nombre d'éleveurs livrant leur lait à cette laiterie, ce qui expliquerait en grande partie la réduction des quantités livrées.

Les volumes fournis révèlent une trajectoire congruente correspondant à la diminution du nombre d'agriculteurs fournissant leur lait à cette laiterie. Ce phénomène permet d'expliquer la réduction des quantités fournies au cours des années 2017 à 2021 (GIPLAIT, 2022). Des résultats comparables ont été documentés par Khaber et Haouach (2017).

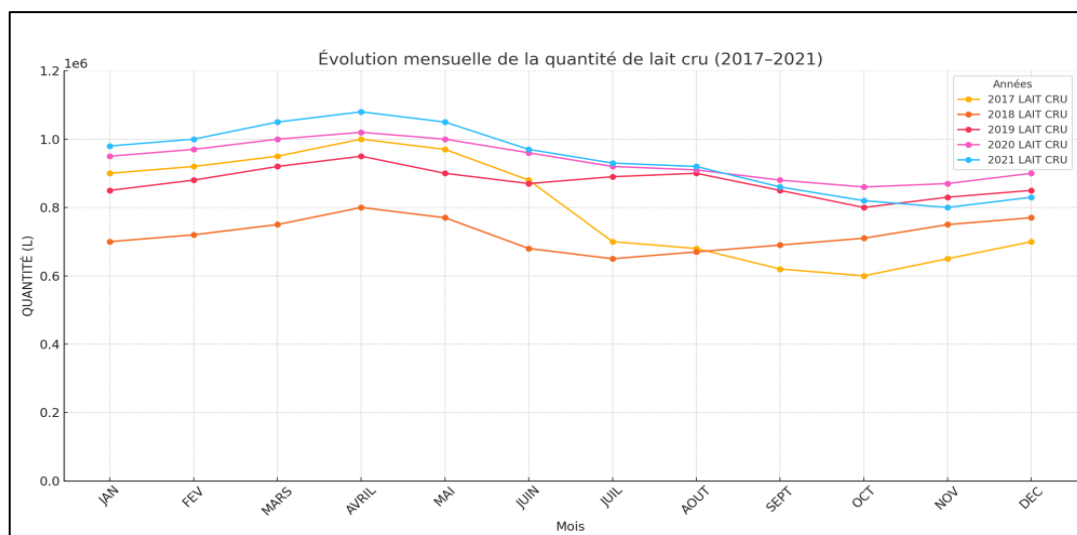


Figure 20: évolution de la quantité mensuelle du lait cru à la réception dans la laiterie El-Amir (GPLAIT,2021)

2.1.2 Le taux de réalisation de la collecte par l'unité GIPLAIT El Amir de Mascara

La collecte a enregistré une régression de 1,68%, qui représente une faible fluctuation, expliquée selon les éleveurs au faible rendement laitier des vaches à cause de la sécheresse et l'insuffisance d'affouragement et le coût élevé de l'aliment grossier et de complémentation.

Tableau 7: évolution de la collecte (2020 et 2021) au sein de la laiterie

Années	1 ^{er} trimestre quantité (L)	2 ^{ème} trimestre quantité (L)	Total
2020	2 983 978	2 954 410	5 938 388
2021	2 955 213	2 883 535	5 838 748
Evolution (%)	-0,96	-2,40	-1,68

Sources GIPLAIT El Amir de Mascara 2022

La figure 19 indique la tendance du profil de collecte en fonction des saisons.

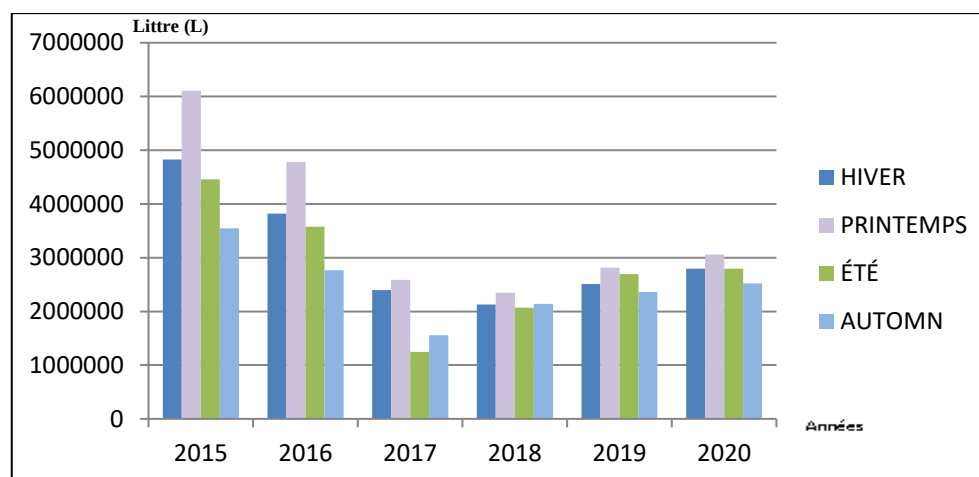


Figure 21: évolutionsaisonnnière de la quantité du lait cru collectée (GPLAIT,2021)

Les quantités mensuelles collectées du lait cru sont fluctuantes en fonction des années. La collecte mensuelle présente une évolution irrégulière; avec un accroissement du mois de janvier jusqu'au mois de mai, selon Yerou et al (2021) et zoghlami et al (2022) cette période coïncide avec la disponibilité des fourrages verts et condition climatique favorable avec un seuil $THI < 72$.

La collecte de lait par saison est en faveur du printemps avec un pic des livraisons durant le mois d'avril, à l'inverse un décroissement est enregistré durant la période estivale et automnale.

2.2 La typologie des exploitations

2.2.1 L'analyse des données

L'analyse des paramètres de structures, indique une variation importante par rapport à la moyenne. Ainsi, la superficie agricole utile (SAU) moyenne est de 8,6 ha, variant de 0 ha à 13,5 ha. La superficie réservée aux fourrages est faible pour l'ensemble des étables enquêtées, cette superficie est cultivée principalement par l'avoine et l'orge.

Les résultats moyens retraçant les caractéristiques des étables sont représentés dans le tableau 8.

Tableau 8: la Caractérisation des étables laitier suivi

Paramètres	Minimum	Moyenne	Maximum
SAU (ha)	0	8,6	13,5
EVP	2	5	13
PLME (kg)	1360	2430	4120
UFLC	570	1458	2370
UFLCV	0,45	0,88	1,98

SAU : surface agricole utile

EVP : effectifs vache présentes

PLME : Moyenne économique (kg de lait par vache par an)

UFLC : Unités Fourragères Lait des Concentrés par kg de lait

UFLCV : Unités Fourragères Lait des Concentrés par vache

L'effectif moyen de vaches par exploitation était de $5 \pm 0,42$ têtes, avec une représentation génétique dominée par le rameau Pie Noir, suivie par des animaux de type Pie Rouge. Le rendement laitier moyen par vache, estimé à $2\,430 \pm 1\,470$ kg, met en évidence une forte variabilité inter-exploitations, traduisant une hétérogénéité des pratiques alimentaires ainsi que des différences d'ordre génétique entre les troupeaux.

L'analyse quantitative du bilan fourrager révèle que les aliments grossiers ne couvrent que 41,4 % de la valeur énergétique totale, le reste étant principalement assuré par les concentrés. Cette répartition souligne une forte dépendance aux aliments concentrés dans la ration des vaches laitières. Les dépenses relatives à l'alimentation du cheptel bovin constituent en moyenne 87 % des dépenses totales.

L'usage important du concentré est la caractéristique principale des bilans alimentaires des étables en raison des manques en fourrages, combiné à l'absence totale du rationnement des vaches laitières selon les règles techniques.

En ce qui concerne les critères de reproduction des troupeaux : vu que la totalité des étables ne disposent pas de registre de gestion de l'étable, l'estimation de ce paramètre est basée sur les déclarations des éleveurs afin de reconstituer les différents événements de reproduction.

L'intervalle vêlage- vêlage (IVV) moyen est de 428 jours soit une perte moyenne de trois cycles sexuels.

2.2.2 La typologie des étables de la région d'étude

L'analyse statistique a permis de décrire et de caractériser les systèmes d'élevage de la région d'étude, ainsi que de mettre en évidence les relations de corrélation entre les variables descriptives susceptibles d'expliquer les caractéristiques technico-économiques

des exploitations laitières. Elle a également contribué à identifier des types d'élevages homogènes.

Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP), réalisée dans le cadre d'une analyse multivariée à l'aide du logiciel XLSTAT, indiquent que les trois premiers axes factoriels expliquent 70 % de la variabilité totale. Ces axes sont principalement corrélés aux variables traduisant les pratiques alimentaires des troupeaux et à leurs impacts sur les performances laitières des exploitations (Tableau 9).

Tableau 9: sources de variation, la contribution aux axes et corrélations des variables

Variables	Axe 01	Axes 02	Axes 03
Sources de variation en %	46,3	17,3	6,4
UFLC	0.89	_____	_____
RFC	-0.64	_____	_____
PFV	_____	0.78	0.61
PLME	_____	_____	-0.76
UFLCV	_____	_____	-0.73

UFLC : Unités Fourragères Lait des Concentrés par kg de lait

RFC : Rapport Fourrages /concentrés dans le bilan énergétique (%)

PFV : Profit par vache

PLME : Moyenne économique (kg de lait par vache par an)

UFLCV : Unités Fourragères Lait des Concentrés par vache

Le premier axe explique 46,3 % de la variation totale et il est corrélé positivement aux variables UFLC et négativement à RFC. Cet axe indique les éventualités de valorisation de l'aspect énergétique de la ration concentré pour la production laitière, ainsi que le pourcentage de la charge alimentaire sur le coût de la production. Ainsi cet axe reflète le ratio d'utilisation de l'énergie des fourrages par rapport aux concentrés.

Le deuxième axe explique 17,3 % de la variation totale, il est corrélé positivement à la variable PFV, et qui permet la comparaison de la rentabilité des étables.

Le Troisième axe, représente 6,4 % dans la variation totale et caractérise la dynamique d'orientation de la valorisation du troupeau : les élevages à vocation laitière par rapport aux élevages à vocation plus production viande bovine. La projection des individus

sur le plan principale défini par l'analyse en composante principale est indiquée dans la figure 22.

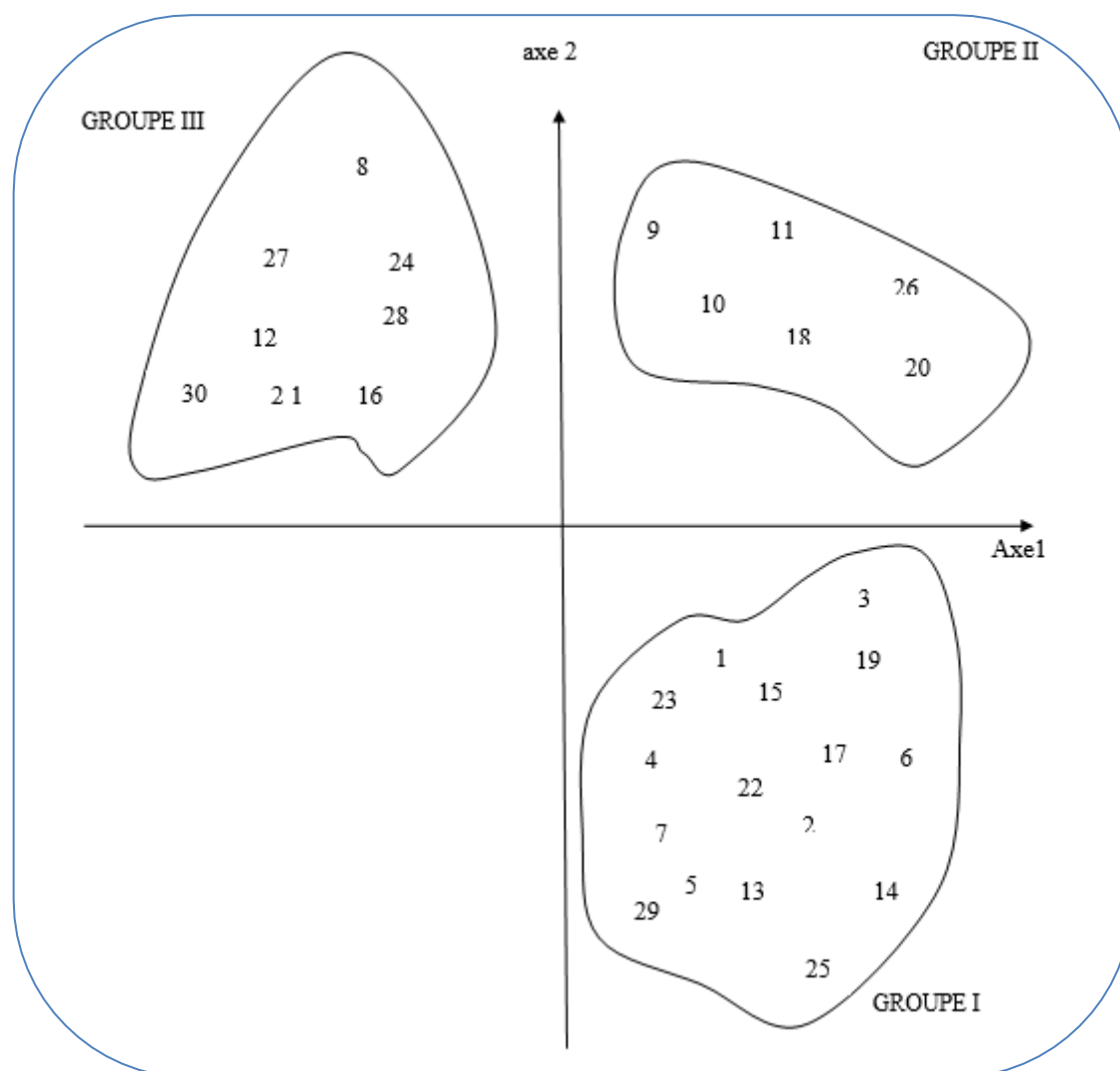


Figure 22: identification des groupes typologique

- Le groupe I: correspond à 16 étables soit 53,3 % de l'échantillon enquêté représenté par les élevages déficitaire en ressources alimentaires, caractérisés par une conduite alimentaire médiocre ainsi que par des paramètres techniques moyens. Ce groupe est caractérisé par un faible taux d'utilisation du concentrés, et a des performances laitière moyennes inférieures à la moyenne générale. Ce système d'élevage présente un manque en moyens financiers ; pour pallier à l'aléa alimentaire par manque d'aliments grossiers sur l'étable les éleveurs recourent à l'achat des concentrés. Ce constat justifie les faibles résultats technico-économique ; sur le plan économique ils ne réalisent pas de compensation des charges fixes d'entretien du troupeau.

- Le groupe II : correspond à 8 étables, soit 26,7 % de l'échantillon enquêté, et réalise une production laitière supérieure à la moyenne de l'ensemble des étables. Ce groupe est spécialisé dans la production laitière. En effet, dans ce groupe, les résultats techniques reflètent une meilleure valorisation des aliments concentrés utilisés, ainsi qu'une bonne substitution concentré/fourrage. Cette tendance indique la possibilité de spécialisation de ces étables par le biais d'une bonne maîtrise technique du rationnement et d'ajuster les cycles des besoins du cheptel et l'offre disponible.
- Le groupe III:représenté par 6 fermes, soit 20 % de l'échantillon global. Il est caractérisé par l'utilisation non rationnelle des concentrés, sans en tirer profit au niveau de la production laitière. La rentabilité qui est observée est due à la pratique de valorisation sous forme de décapitation. Ce groupe pratique un élevage hors – sol, dont l'activité économique est basée sur la vente d'animaux après engraissement (groupe à vocation viande). Ce groupe réalise des performances économiques meilleures que le groupe I, ceci ne reflète pas du tout un savoir-faire sur le plan de l'élevage laitier, puisque l'apport en concentré est supérieur à la moyenne de l'ensemble des étables. Cette caractéristique est vérifiée par les faibles rendements laitiers enregistrés. Ce groupe d'étable présente un gaspillage d'énergie

La formulation des rations n'est que la première étape de la gestion nutritionnelle du troupeau. Il est essentiel d'en évaluer régulièrement l'efficacité en s'appuyant sur des indicateurs de performance des vaches, afin d'ajuster les rations si nécessaire. Une gestion technique rigoureuse repose notamment sur le suivi mensuel de la consommation de fourrages et de concentrés, de la production laitière avec ses taux de matières grasses et de protéines, ainsi que de l'état corporel des vaches.

La méthodologie traditionnelle comprend les étapes suivantes :

- Concevoir un régime alimentaire de base composé principalement de fourrage grossier provenant de sources agricoles ; l'association de diverses espèces fourragères aux profils nutritionnels distincts (y compris les légumineuses et les plantes herbacées) peut favoriser un équilibre au sein de la formulation alimentaire, évitant ainsi la nécessité d'additifs supplémentaires ; ce régime alimentaire est capable de satisfaire les demandes de production (en plus des exigences d'entretien), qui présentent une variabilité considérable, oscillant de quelques kilogrammes à près de 15 kilogrammes de lait.

- Corriger toute anomalie dans le régime alimentaire de base, en administrant un concentré d'équilibre destiné à toutes les vaches ; le concentré équilibrant, ou composant correctif, comprend soit des céréales en cas de manque d'énergie, soit des farines ou des graines de légumineuses (telles que les féveroles, les pois, la vesce, etc.) lorsque le régime alimentaire est inadéquat en azote.
- Distribution d'un concentré de production, proportionnel au volume de lait produit.

2.3 Le stress thermique et élevage bovin dans la région d'étude

Le stress thermique ressenti par les vaches laitières a des effets négatifs directs sur la santé et le bien-être. En plus des conséquences à long terme qui entraînent des problèmes de santé et à des dégâts économiques au sein des fermes laitières. Ce sont autant de raisons de reconnaître rapidement les symptômes du stress thermique et d'agir immédiatement. En situation de stress thermique croissant en zone semi-aride, les troupeaux laitiers expriment des signes à court terme tels que rythme respiratoire accéléré, appétit réduit, moindre activité et production de lait plus faible.

2.3.1 Les variations du stress thermique

L'examen des données climatiques suggère que les bovins laitiers de la région de Ghriss subissent un stress thermique de mai à août, un phénomène mis en évidence par les valeurs de l'indice température-humidité (THI) qui dépassent le seuil critique de 72, tel que défini par Johnson (1985). À l'inverse, l'intervalle allant de la mi-septembre à décembre ne présente pas de caractéristiques de stress thermique, puisque les valeurs du THI restent inférieures au seuil critique de 72 (Figure 23).

Sur la base des données THI présentées dans le tableau ci-joint et conformément au système de classification d'Armstrong (1994), on peut observer que les vaches laitières subissent un stress thermique moyen à modéré pendant les mois d'avril, mai et juin, avec des valeurs THI correspondantes de 72,55, 77,32 et 81,74. En outre, ces mêmes mois reflètent également l'impact du stress thermique sévère en juillet, août et Mi septembre, où les valeurs THI enregistrées sont respectivement de 81,74, 85,49 et 82,02.

Par contre, la période qui n'a pas enregistré de stress thermique caractérise les mois de ; novembre, décembre, janvier, février et mars avec des valeurs de THI de 68.19, 62.38, 61.37, 64.1 et 69.56, respectivement.

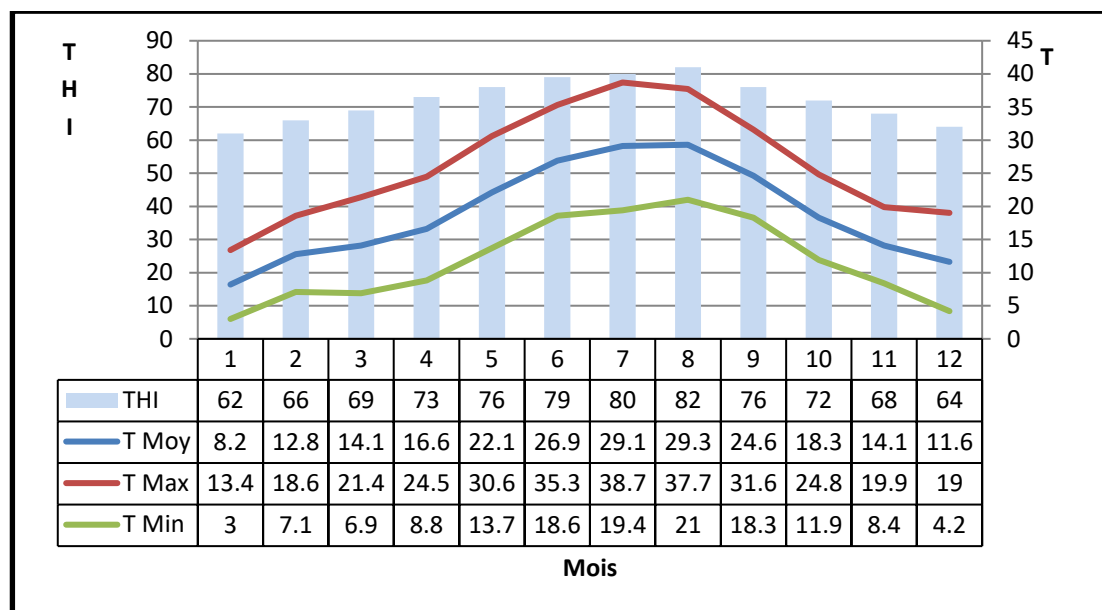


Figure 23: évolution des paramètres climatiques dans la plaine de ghriss

Les températures moyennes relevées au cours des différents mois sont présentées dans le tableau 10 ci-dessous. Cette variabilité saisonnière reflète l'intensité du stress thermique, généralement classé de modéré à sévère, qui influence négativement les performances de production et de reproduction des vaches laitières. Selon Bensalem et Bouraoui (2009), les fluctuations observées dans les performances animales restent néanmoins comparables aux variations saisonnières fréquemment rapportées dans les élevages laitiers à l'échelle internationale. Les conditions climatiques moyennes durant la période expérimentale incluant la température ambiante, l'humidité relative de l'air, ainsi que les valeurs de l'indice température-humidité (THI) sont également synthétisées dans le tableau 10.

Tableau 10: variation des conditions climatiques dans la plaine de Griss durant la période du suivi

Paramètres	Printemps	Eté	Automne	Hiver
T° MIN	9.8	19	12.8	4.76
T° Moy	17.6	28	19	10.8
T° Max	25.5	37	25.4	17
THI Moy	72.66	79.5	72	64

Selon Bonmanova et *al.* (2007), la température critique supérieure pour les vaches laitières se situe entre 25 et 26 °C. De plus, une baisse de la production laitière est observée lorsque l'indice de température-humidité (THI) dépasse le seuil critique de confort fixé à 72.

Au printemps, les conditions climatiques observées n'ont pas généré de stress thermique notable pour les animaux. Les températures minimales, moyennes et maximales enregistrées étaient respectivement de 9,8 °C, 17,6 °C et 25,5 °C. Le THI moyen s'élevait à $72,66 \pm 9,45$. Durant cette saison, les températures moyennes journalières et les valeurs de THI ont approché ou dépassé les seuils critiques respectivement dans seulement 8 % et 10 % des journées de suivi.

En revanche, la période estivale a été marquée par des conditions de stress thermique plus prononcées. Les températures minimale, moyenne et maximale ont atteint respectivement 19 °C, 28 °C et 37 °C, tandis que le THI moyen s'établissait à $79,5 \pm 10,47$. Ces conditions dépassent largement les seuils critiques, indiquant un risque accru de stress thermique pour les vaches durant l'été (Figure 24).

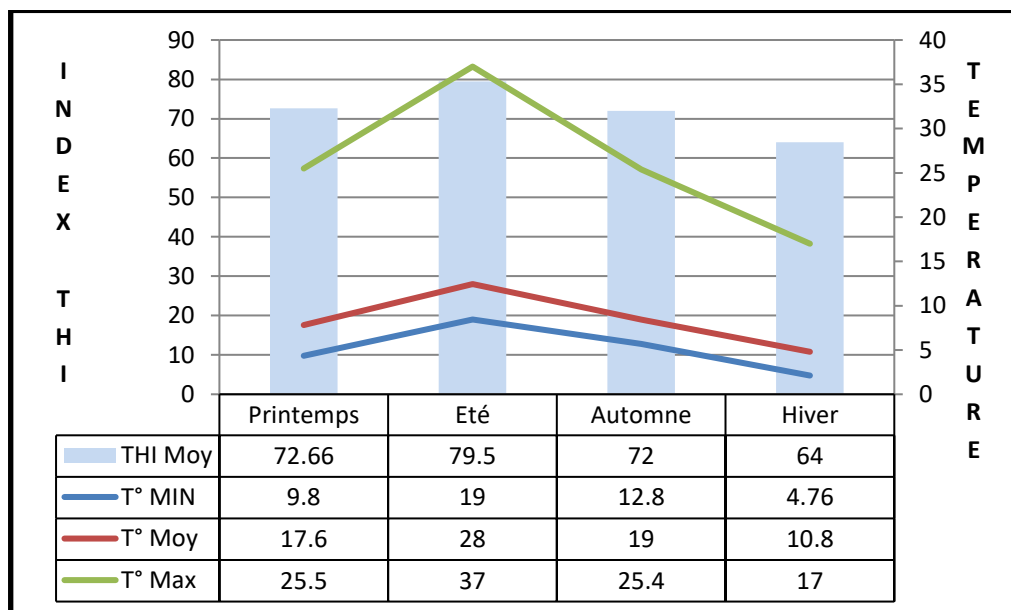


Figure 24: évolution des valeurs mensuelles du THI dans la région de Ghriss

Selon les résultats de cette analyse, les vaches sont effectivement exposées à un stress thermique ($\text{THI} \geq 72.5$), ce qui concorde avec les données relatives à la collecte du lait cru fournies par le GIPLAIT de Tizi. Les températures ambiantes maximales ainsi que les valeurs les plus élevées de l'indice température-humidité (THI) ont été enregistrées durant la saison estivale dans la région méditerranéenne, notamment dans les étables où sont

conduites les vaches. À l'inverse, les températures minimales ont été observées pendant la saison hivernale (Yerou et *al.*, 2021).

Des résultats similaires ont été rapportés par Goran et *al.* (2019) dans la région méditerranéenne. De leur côté, Preez et *al.* (1990) ainsi que Johnson (1985) ont montré que le stress thermique n'a pas d'effet significatif sur la production laitière lorsque les valeurs moyennes de l'indice température-humidité (THI) se situent entre 35 et 72. En revanche, dès que le THI atteint ou dépasse 72, une diminution de la production de lait et de la consommation alimentaire est observée, cette baisse devenant particulièrement marquée à partir de seuils supérieurs ou égaux à 76.

Molee et *al.* (2011) ont également souligné que des valeurs moyennes de THI supérieures à 80 représentent des conditions particulièrement défavorables pour le bétail laitier, le stress thermique devenant fréquent à ces niveaux, avec des conséquences négatives sur les performances de production.

Dans une étude approfondie, Bouraoui et *al.* (2002) ont analysé l'impact du THI sur la production laitière et la consommation de matière sèche (DMI). Leurs résultats indiquent qu'une élévation du THI de 68 à 78 induit une réduction de 21 % de la production de lait et une diminution de 9,6 % du DMI. Ils ont en outre observé une baisse moyenne de 0,41 kg de lait par vache et par jour pour chaque unité de THI au-delà du seuil critique de 69.

2.3.2 Les effet du THI sur quelques paramètres suivis et facteurs de variations

Les résultats des paramètres de la région de Ghriss montrent que la production quotidienne moyenne de lait par vache et par exploitation présente une variabilité au cours des mois d'observation en fonction des fluctuations saisonnières, caractérisées par un coefficient de variation supérieur à 15 %. La baisse de la production laitière est nettement plus importante pendant les mois d'été. Les résultats moyens de l'influence du THI sur les paramètres mesurés sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau 11: Influence du THI sur quelques paramètres mesurés

Paramètres	Printemps	Été	Automne	Hiver
THI Moy	72.66	79.5	72	64
QMSI (kg/j)	15.2	13.3	14.4	16.5
PLJ (kg/J)	16.6	11.7	12.3	13.6
T.R (°C)	38.6	38.9	38.6	38.1
HR (Bat /min)	62	69	61	63
RR (Insp. /min)	35	39	35	39

THI Moy : indice température-humidité moyen

QMSI : quantité de matière sèche ingérée

PLJ : production laitière journalière

TR : température rectale

HR : rythme cardiaque

RR : fréquence respiratoire

Plus précisément, dans les troupeaux suivis, la production moyenne par vache est passée de 16,6, 11,7, 12,3 et 13,6 kg respectivement au printemps, en été, en automne et en hiver. Dans ce contexte, on note une baisse de la production de 4,9, 4,3 et 3 kg de lait par rapport à la saison printanière, période du pic de production ; cette variabilité est accompagnée d'un taux de régression de la moyenne de production d'environ 25,8% sur l'ensemble de la période d'observation. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Rodriguez-Venegas et *al.* (2023), qui indiquent que la production laitière atteint son maximum durant les saisons les plus fraîches (hiver et printemps), et son minimum en été. Cette variation saisonnière est étroitement liée aux fluctuations de l'indice température-humidité (THI).

Les variations saisonnières de l'indice température-humidité (THI) montrent une augmentation de 7,28 unités entre le printemps et l'été, traduisant une intensification du stress thermique durant la saison chaude. Cette élévation du THI a été associée à une baisse moyenne de 0,64 kg de lait par unité THI dans les étables suivies. Ces observations sont corroborées par plusieurs études ayant évalué l'impact du stress thermique sur la performance laitière.

Morales-Piñeyrúa et *al.* (2022) ont ainsi démontré une diminution progressive de la production laitière avec l'augmentation du THI, estimant une perte d'environ 0,18 kg/jour chez les vaches primipares et de 0,40 kg/jour chez les vaches multipares par unité d'élévation du THI. Les auteurs soulignent également que le stress thermique modifie le comportement des animaux : il accroît le temps passé debout tout en réduisant les activités de pâturage, de

couchage et de rumination, ce qui affecte négativement les performances de production.

De manière similaire, Attia et *al.* (2022), dans une étude sur des vaches Holstein, ont observé une chute significative de la production de lait dès que le THI dépassait 72, accompagnée d'une réduction des teneurs en matières grasses et en protéines.

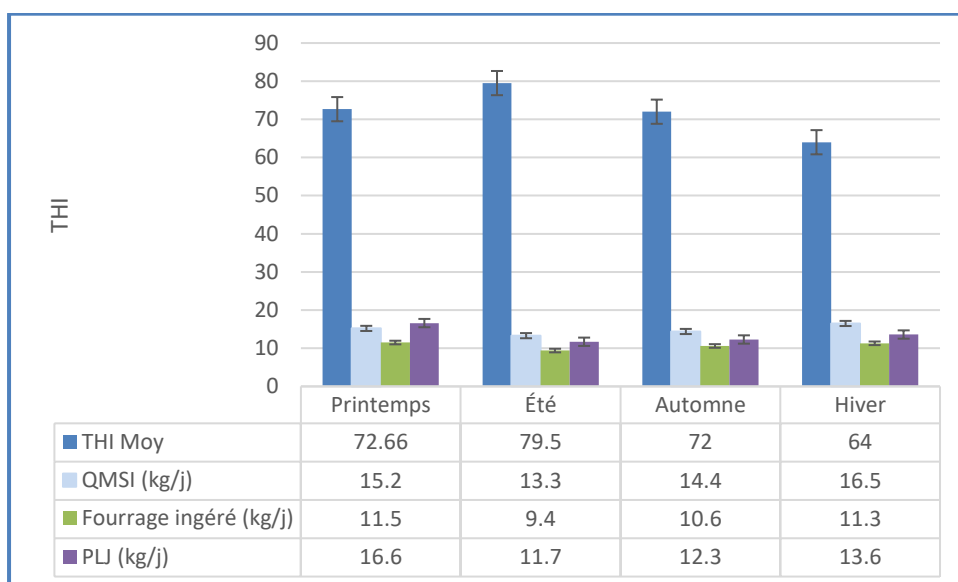


Figure 25: évolution des paramètres suivis en fonction de la saison

La fluctuation des volumes moyens d'eau ingérés par bovin laitier dans les étables pendant la durée de l'observation dépend de plusieurs facteurs, notamment la production de lait, la composition du régime alimentaire, la quantité de nourriture consommée, la température de l'eau potable, la température ambiante ambiante, l'humidité relative dominante, la hiérarchie sociale établie au sein du troupeau et la qualité de l'eau (Bedde, 1994). Nos résultats révèlent que les volumes d'eau consommés varient d'une ferme à l'autre, allant d'un minimum de 68,5 litres par jour à un maximum de 89,5 litres par jour. Selon Gonzalez Pereyra et *al.* (2010), les vaches augmentent leur consommation d'eau en réponse à des niveaux modérés à élevés de l'indice température-humidité (THI). Leur étude a montré que la quantité d'eau ingérée est passée de 18 L à 35,9 L par jour lorsque le THI est passé de faibles à modérés, soulignant ainsi l'adaptation physiologique des animaux pour faire face au stress thermique.

L'analyse des facteurs influençant la consommation d'eau chez les vaches laitières, notamment l'indice température-humidité (THI) et la quantité de matière sèche ingérée (QMSI), révèle une corrélation positive significative entre la quantité d'eau consommée et le THI ($r = 0,79$), alors qu'une corrélation plus modérée a été enregistré avec la QMSI ($r =$

0,362). Ces résultats indiquent que plusieurs facteurs tels que la composition des aliments, la prise alimentaire, la production laitière et la température ambiante, influencent de manière déterminante la quantité d'eau ingérée.

En particulier, les variations mensuelles de la consommation d'eau en fonction de la matière sèche ingérée sont étroitement liées aux fluctuations du THI. De manière générale, la consommation d'eau tend à augmenter proportionnellement à l'élévation des températures, reflétant une réponse physiologique des animaux au stress thermique.

Toutes ces études ont indiqué que sous les tropiques et les régions subtropicales, ce n'est pas seulement la production qui est négativement affecté, mais la survie et l'adaptabilité de la race Holstein est également en danger. Selon West et al, (2003) ont mentionné qu'en l'absence de mesures de protection, le réchauffement pourrait créer des conditions qui non seulement nuisent à la productivité du bétail, mais peut également augmenter la mortalité de bétail. De leur part, Molee et al, (2011) ont signalé qu'en raison du réchauffement climatique, dans dix ans à venir, il serait difficile d'élever la race pure Holstein dans les régions tropicales et subtropicales.

2.3.3 L'influence de THI sur la température de l'organisme

Les températures rectales moyennes mesurées au cours des différentes saisons de suivi étaient de 38,6 °C au printemps, 38,9 °C en été, 38,6 °C en automne et 38,1 °C en hiver. Ces variations s'expliquent en grande partie par la forte corrélation existant entre l'indice température-humidité (THI) et la température rectale. En effet, une élévation de la température ambiante induit une augmentation correspondante de la température corporelle chez les vaches laitières.

Johnson et al. (1963) ont montré qu'une augmentation, même inférieure à 1 °C, de la température rectale peut suffire à réduire à la fois l'ingestion alimentaire et la production laitière. Par ailleurs, West (1999) a rapporté que la production de lait diminue dès que la température rectale dépasse 38,9 °C. Il a également estimé qu'une élévation de 0,55 °C de la température rectale entraîne une baisse de la production laitière de 1,8 kg/jour et une diminution de la consommation de matière sèche de 1,4 kg/jour.

La variation des valeurs moyennes des températures rectales des vaches laitières est représentée dans la figure 26.

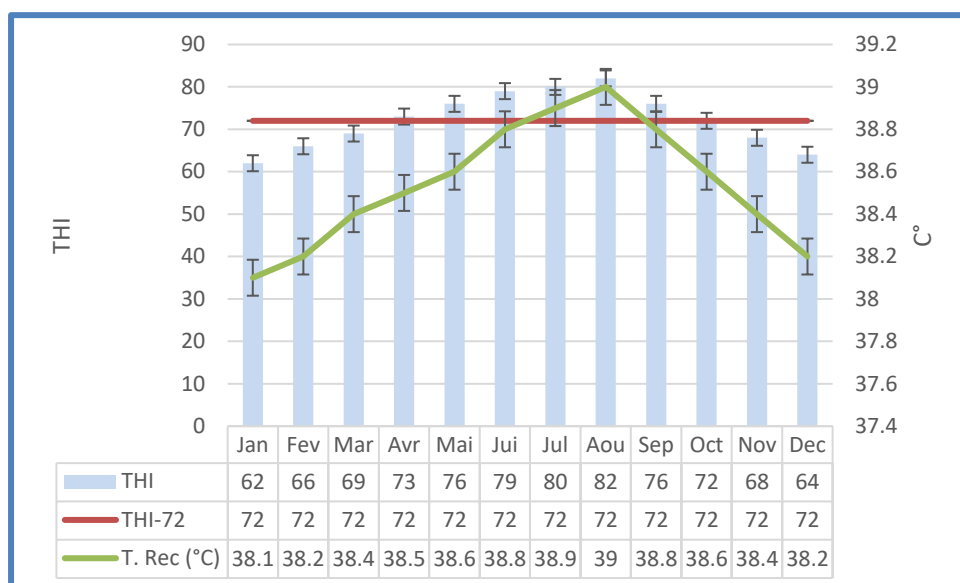


Figure 26: variation mensuelle de la température rectale des vaches en fonction du THI

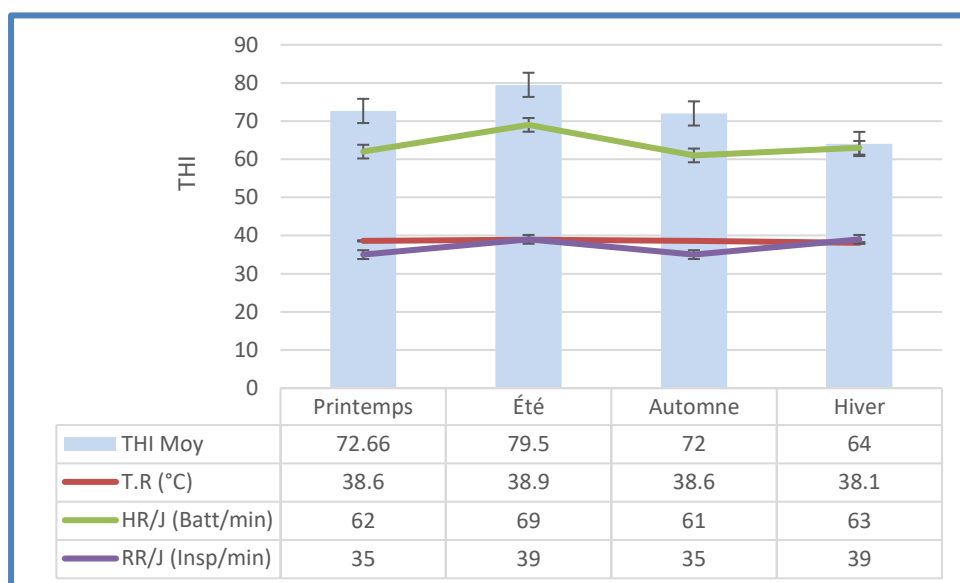


Figure 27: relation entre THI et quelques paramètres physiologiques.

Les bovins maintiennent leur température corporelle dans une plage étroite grâce à des mécanismes physiologiques intégrés, incluant le métabolisme basal, la digestion et l'activité physique. Lorsque la température ambiante s'élève, ces animaux intensifient les processus de dissipation thermique, principalement par évaporation, via la transpiration et l'augmentation de la fréquence respiratoire, afin d'éliminer l'excès de chaleur corporelle (Shephard & Maloney, 2023).

Le stress thermique, induit par des conditions environnementales caractérisées par des températures élevées, entraîne une augmentation de la température corporelle centrale, susceptible de provoquer des déséquilibres physiologiques affectant négativement la reproduction, l'état sanitaire et la consommation alimentaire des bovins (Santos *et al.*, 2021). Plusieurs études ont mis en évidence une élévation significative de la température rectale, de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire lorsque les valeurs de l'indice température-humidité (TemperatureHumidity Index, THI) augmentent, confirmant ainsi la présence d'un état de stress thermique chez les animaux exposés (Utami & Widiarso, 2022).

Par ailleurs, les bovins développent des stratégies comportementales adaptatives pour limiter les effets du stress thermique, telles que la recherche d'ombre, la réduction de l'activité motrice et la modification de la posture corporelle. Ces comportements contribuent à diminuer l'absorption de chaleur par rayonnement solaire et à optimiser la dissipation thermique par convection et conduction (Shephard & Maloney, 2023).

Selon McLean *et al.*, 1983, les bovins dans des environnements caractérisés par des fluctuations thermiques, ils ajustent leur bilan de stockage de chaleur en modulant leur température corporelle profonde et leur température de surface. Toutefois, ces mécanismes d'adaptation présentent des limites lorsqu'ils sont sollicités sur de longues périodes, révélant une interaction complexe entre les contraintes environnementales et la capacité physiologique de thermorégulation des animaux.

Selon Karl & Raboisson, (2021) et Hanzen *et al.*, (2024), l'influence des variations de la température corporelle sur la production laitière s'inscrit dans un processus d'adaptation physiologique multifactoriel face aux conditions environnementales défavorables. Une élévation de la température corporelle constitue un indicateur majeur de stress thermique et déclenche une série de réponses thermorégulatrices visant à réduire la production endogène de chaleur. Ces réponses comprennent notamment la vasodilatation périphérique, l'augmentation de la fréquence respiratoire et la diminution de l'ingestion de matière sèche. Ces mécanismes, bien que nécessaires au maintien de l'homéostasie thermique, détournent une part significative de l'énergie métabolique normalement allouée à la synthèse du lait vers les processus de dissipation thermique.

Cette réallocation énergétique se traduit par une diminution notable de la production laitière. La réduction de l'ingestion alimentaire, associée à l'activation de réponses métaboliques de compensation, induit un déficit énergétique qui affecte directement la capacité de synthèse lactée. En outre, les altérations du métabolisme cellulaire, en particulier

au niveau des cellules épithéliales mammaires, peuvent modifier la composition du lait, se traduisant par une baisse des teneurs en protéines et en matières grasses (Hanzen et *al.*, 2024). Ainsi, une élévation chronique de la température corporelle, reflet d'un stress thermique prolongé, entraîne à la fois une diminution du rendement laitier et une dégradation de la qualité du lait.

Ces effets physiologiques revêtent une importance accrue dans le contexte actuel des changements climatiques, marqué par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de chaleur. La surveillance continue de la température corporelle, notamment à l'aide de capteurs biologiques et d'outils numériques intégrés dans des systèmes de gestion en temps réel, permet une détection précoce des signes de stress thermique. Cette approche offre la possibilité de mettre en œuvre rapidement des stratégies de mitigation, telles que l'optimisation des systèmes de refroidissement et l'ajustement des rations alimentaires, afin de préserver la santé des animaux et de maintenir leurs performances productives (Hanzen et *al.*, 2024).

Donc les études montre que l'augmentation de la température corporelle chez les vaches, en tant que marqueur fiable du stress thermique, joue un rôle déterminant dans la diminution de la production laitière. La compréhension approfondie et la surveillance de ce paramètre constituent des leviers essentiels pour l'adaptation des pratiques d'élevage et la réduction de l'impact négatif des contraintes environnementales sur la performance laitière.

2.3.4 L'effet des rations alimentaires sur la production laitière

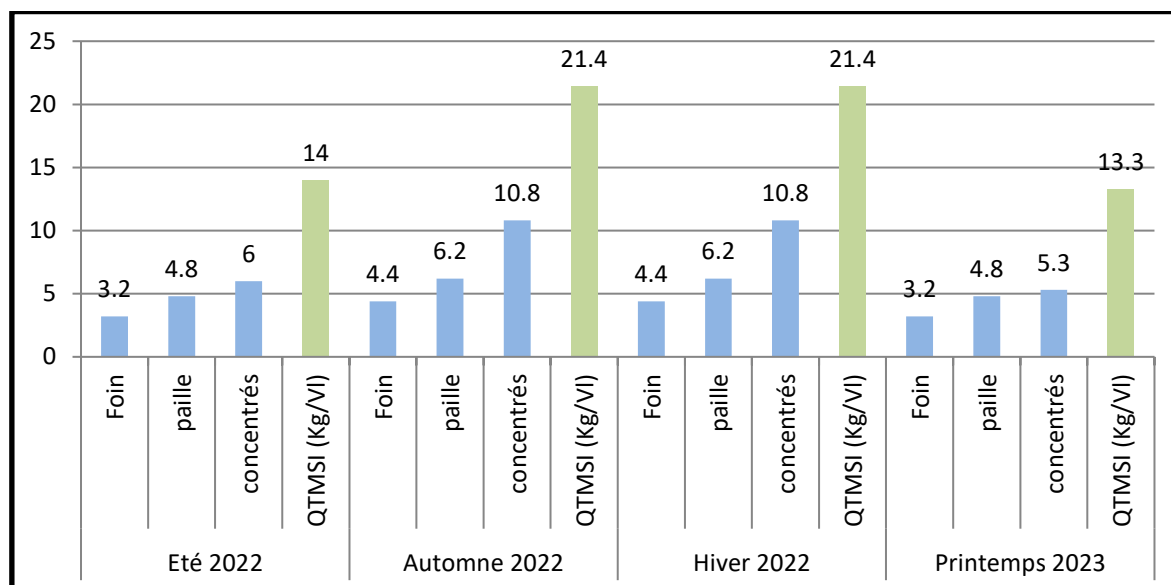


Figure 28: Evolution moyenne des quantités d'aliments distribués par vache laitière en fonction de la saison

L'analyse du profil alimentaire moyen des rations suivies sur l'exploitation a montré que la quantité de matière sèche totale ingérée varie en fonction de la saison et du THI, de 11,5 à 21,4 kg de MSGI (matière sèche ingérée) par vache (figure 28). Cette ration de base est composée de fourrages verts, de foin d'avoine et de paille. La méthode de distribution des concentrés est la même dans toutes les petites exploitations (deux fois par jour au moment de la traite). Cette variabilité des quantités ingérées est fonction des fourrages disponibles dans les petites exploitations laitières, caractérisés par des fourrages grossiers peu ingestibles. Dans de telles pratiques d'alimentation, dans une zone semi-aride connue pour ses valeurs de THI supérieures au seuil de neutralité thermique, la régulation de l'ingestion est comportementale. Des résultats similaires rapportés par Hut et al, (2022) indiquent que les vaches modifient leur comportement en diminuant le temps passé couché et en augmentant le temps passé debout sans activité pour atténuer l'effet de l'augmentation du THI au-delà de 72. Gao et al. (2017) ont rapporté une baisse de la production laitière d'environ 17 % malgré l'augmentation de la digestibilité apparente de la matière sèche pour un THI atteignant une valeur de 84,3. En revanche, Hut et al. (2022) indiquent que les vaches peuvent modifier leur comportement pour atténuer l'effet de l'augmentation du THI lorsqu'il est supérieur à 72, en réduisant le temps passé en position couchée et en augmentant le temps passé en position debout sans activité.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'effet amplificateur du changement climatique sur le stress thermique chez les bovins, se traduisant par une altération significative des performances zootechniques, notamment de la croissance, de la production laitière et de la productivité globale. Ces effets apparaissent particulièrement marqués dans les contextes caractérisés par des températures élevées combinées à une forte humidité, confirmant que ces conditions environnementales constituent un facteur limitant majeur pour l'expression du potentiel productif des animaux (Hashem et *al.*, 2023).

Bien que les bovins disposent de mécanismes physiologiques de thermorégulation leur permettant de s'adapter aux variations thermiques, les résultats suggèrent que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de stress thermique dépasse progressivement leurs capacités d'adaptation. Cette vulnérabilité persistante, observée malgré une relative stabilité des réponses thermorégulatrices, souligne les limites des mécanismes physiologiques face aux conditions thermiques extrêmes et met en évidence la nécessité de stratégies de gestion du bétail adaptées aux nouvelles contraintes climatiques (Koga et *al.*, 2004)

Par ailleurs, les observations confirment que les événements climatiques extrêmes influencent indirectement les performances productives à travers leurs effets sur les ressources alimentaires. Les sécheresses prolongées, en particulier, sont associées à une diminution de la productivité des prairies, à une modification de la composition botanique et à une réduction de la disponibilité fourragère. Ces perturbations compromettent la capacité des éleveurs à assurer une alimentation répondant aux besoins nutritionnels des troupeaux, ce qui constitue un facteur explicatif majeur des baisses de performance observées (Prasad et *al.*, 2022).

La dégradation de la qualité nutritionnelle des fourrages, caractérisée par une baisse de la digestibilité et des apports en nutriments essentiels, apparaît étroitement liée à la diminution de la production laitière. Les résultats confirment que les vaches laitières, en raison de leurs exigences métaboliques élevées durant la lactation, sont particulièrement sensibles aux déséquilibres alimentaires, lesquels se traduisent par une réduction du rendement laitier (Li et *al.*, 2013).

Face à ces contraintes, le recours accru à des aliments de substitution, mis en évidence dans les systèmes étudiés, constitue une réponse adaptative visant à compenser le déficit fourrager. Toutefois, cette stratégie s'accompagne d'une augmentation significative des

coûts de production, ce qui limite son efficacité à long terme et accentue la vulnérabilité économique des exploitations.

Ainsi, les résultats confirment que le changement climatique exerce une pression économique croissante sur les systèmes de production laitière. L'augmentation des charges liées à l'adaptation des pratiques alimentaires, de la gestion des troupeaux et des infrastructures d'élevage affecte directement la rentabilité des exploitations. Bien que ces ajustements soient indispensables pour maintenir la santé et les performances des animaux, ils constituent un facteur de risque pour la durabilité économique des systèmes laitiers (Auma & Badr, 2022 ; Hashem *et al.*, 2023).

Dans l'ensemble, ces résultats soulignent le caractère multidimensionnel de l'impact du changement climatique sur la production laitière, affectant simultanément les performances productives, la nutrition, la santé animale et la viabilité économique des exploitations. Ils mettent en évidence la nécessité d'approches intégrées combinant gestion thermique, stratégies nutritionnelles adaptées et pratiques d'élevage résilientes afin de limiter les effets négatifs du changement climatique et d'assurer la durabilité des systèmes de production laitière.

2.4 Les résultats d'analyse du lait de mélange reçu à l'unité de transformation.

2.4.1 La qualité du lait cru réceptionné à l'unité de transformation GIPLAIT

2.4.1.1 La teneur en acidité titrable

L'évolution de l'acidité titrable du lait cru collecté par la laiterie El-Amir est représentée dans la figure 29. D'après cette figure les valeurs moyennes d'acidité, exprimées en degrés Dornic (°D), varient principalement entre 17 et 18°D durant les années 2021, 2022 et 2023. Toutefois, des pics atteignant 19°D ont été enregistrés en 2021. L'analyse de ces données indique que le lait fourni par les collecteurs de la région de Ghriss respecte les normes et réglementaires en vigueur, ce qui témoigne d'un bon niveau de qualité hygiénique. Néanmoins, les valeurs élevées observées pourraient traduire une légère contamination microbienne, notamment à 19 °D (Khabber et Haouach, 2017; Elysée *et al.*, 2023).

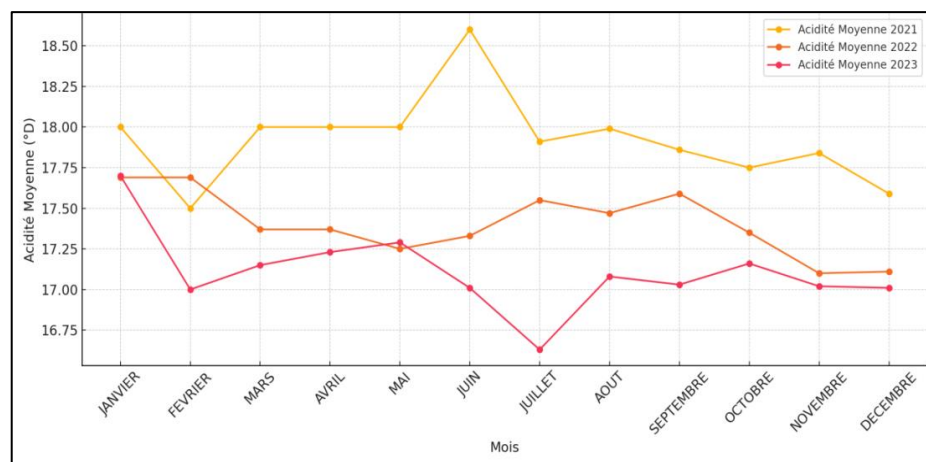


Figure 29: relevé de l'acidité moyenne du lait cru à la réception dans la laiterie El-Amir pour les années 2021, 2022 et 2023

2.4.1.2 La teneur en matières grasses

Les données analytiques fournies par le laboratoire de la laiterie El Amir de Tizi (Figure 30) mettent en évidence une variabilité significative de la teneur en matière grasse (MG) du lait cru. Cette variabilité est fortement influencée par les effets saisonniers, avec des concentrations maximales observées durant l'automne et l'hiver, et des valeurs minimales enregistrées au printemps et en été. Par ailleurs, un facteur additionnel lié à la gestion de l'élevage pourrait contribuer à cette fluctuation. Comme le rapportent Yerouet *al.* (2019), les pratiques alimentaires ainsi que la qualité des rations distribuées aux exploitations de la région de Ghriss varient considérablement, ce qui peut affecter à la fois la quantité et la qualité du lait produit.

Khaber et Haouach (2017) soulignent que les variations de la teneur en matière grasse du lait sont principalement liées aux régimes alimentaires et aux races bovines élevées. Une baisse notable du taux de matière grasse est observée au printemps, période qui coïncide avec l'introduction du pâturage, notamment lors de la croissance de l'herbe (Mohanet *al.*, 2021).

D'après Coulon et Hoden (1991), la mise à l'herbe s'accompagne d'une chute du taux butyreux jusqu'à 30 g/l. La concentration en matière grasse représente également un paramètre déterminant pour la qualité sensorielle des produits laitiers, en particulier des fromages (Cauté et Perreau, 2009). Des teneurs faibles, avoisinant les 28 g/L, peuvent également être indicatives de pratiques telles que l'écémage illicite ou une traite incomplète.

En complément, Zoghلامي et *al.* (2022) ont mis en évidence des fluctuations notables des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques du lait dans la région de Mascara.

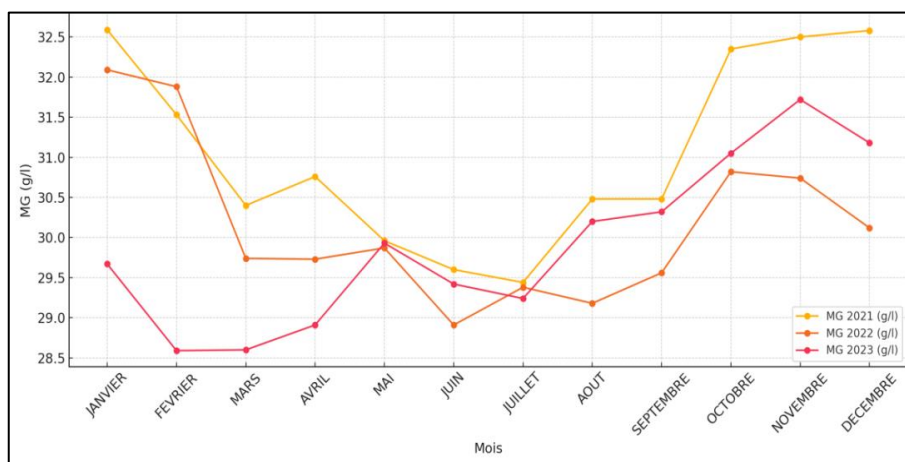


Figure 30: teneur en matière grasse du lait cru réceptionnés à la laiterie El Amir pour les années 2021, 2022 et 2023

2.4.1.3 La densité du lait cru

La figure 31 illustre l'évolution de la densité du lait cru collecté par la laiterie El Amir sur une période de trois ans (2021–2023). Les données mettent en évidence une relative stabilité de la densité, maintenue autour de 1029, ce qui est conforme aux valeurs attendues pour un lait cru non altéré. Toute diminution significative de cette densité peut être attribuée à un mouillage, c'est-à-dire l'ajout d'eau, qui entraîne une dilution des composants solides du lait. À l'inverse, une augmentation anormale de la densité peut résulter d'un écrémage, soit le retrait partiel de la matière grasse. Ces deux types d'altérations, qualifiés de frauduleux, sont mentionnés par Khaber et Haouach (2017) comme indicateurs de non-conformité potentielle du lait. Ils justifient la nécessité d'un contrôle strict à la réception du produit.

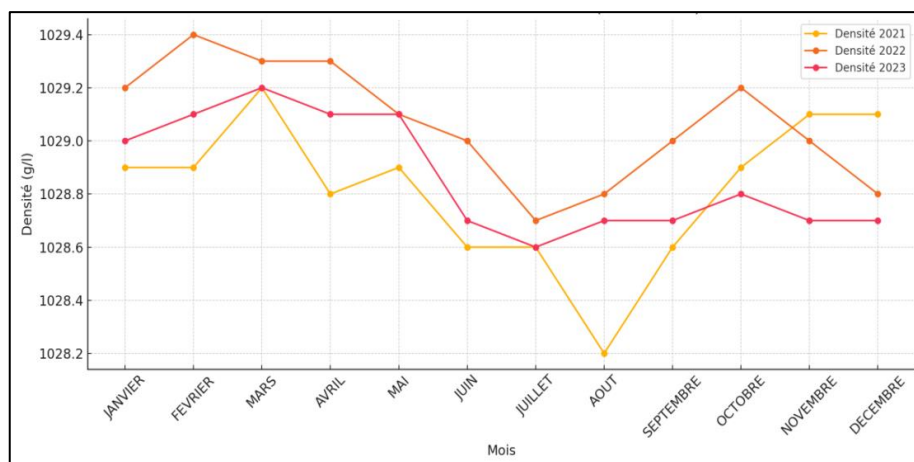


Figure 31: la densité du lait cru réceptionnés à la laiterie El Amir pour les années 2021,2022 et 2023

2.4.1.4 Les extrait sec total

La Figure 32 met en évidence les variations quantitatives de l'extrait sec total (EST) du lait cru produit dans la région d'étude .Les résultats révèlent des variations saisonnières marquées, avec un pic de concentration observé durant la saison hivernale et une diminution significative durant la saison estivale. Cette dynamique saisonnière pourrait être attribuée à des facteurs environnementaux et nutritionnels, tels que les variations de température, de disponibilité fourragère ou de pratiques d'élevage, influençant directement la composition biochimique du lait. La surveillance de l'EST s'avère donc un paramètre clé pour évaluer la qualité intrinsèque du lait et optimiser les procédés de transformation laitière.

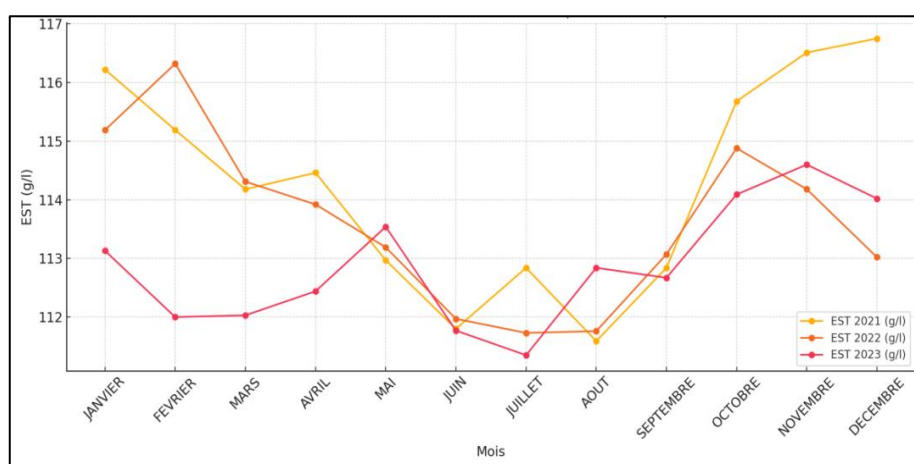


Figure 32: la teneur en EST du lait cru réceptionnés à la laiterie El Amir pour les années 2021, 2022 et 2023

2.4.2 L'étude de la qualité physico-chimique du lait de collecte à la réception

Les résultats d'analyses de la qualité physico-chimique, dans la période estivale, des échantillons du lait cru de mélange sont indiqués dans le tableau 12.

Tableau 12: résultats moyens des paramètres physico-chimiques du lait cru de vache.

Echantillons	pH	Acidité-Dornic	TB (g/l)	TP(g/l)	EST (g/l)
1	6.64	16.85	33.84	30.12	110.91
2	6.67	17.25	29.84	27.02	113.21
3	6.56	17.85	30.84	27.82	114.31
4	6.84	17.35	29.84	26.92	112.21
5	6.83	17.35	32.34	28.92	119.21
6	6.9	17.25	32.84	28.91	114.11
7	6.74	17.35	30.34	28.12	112.31
8	6.67	17.75	29.84	27.32	116.91
9	6.75	16.95	32.84	29.82	118.71
10	6.71	16.35	30.34	28.02	114.11
Moyenne	6.73	17.23	31.29	28.3	114.6

Les résultats des analyses révèlent une certaine variabilité entre les échantillons de lait cru de mélange. En moyenne, les échantillons présentent une teneur en extrait sec total (EST) de 114.6g/L, un taux butyreux (TB) de 31.29g/L, ainsi qu'un taux protéique de 28.3g/L. L'acidité titrée se situe entre 16 et 18 °D.

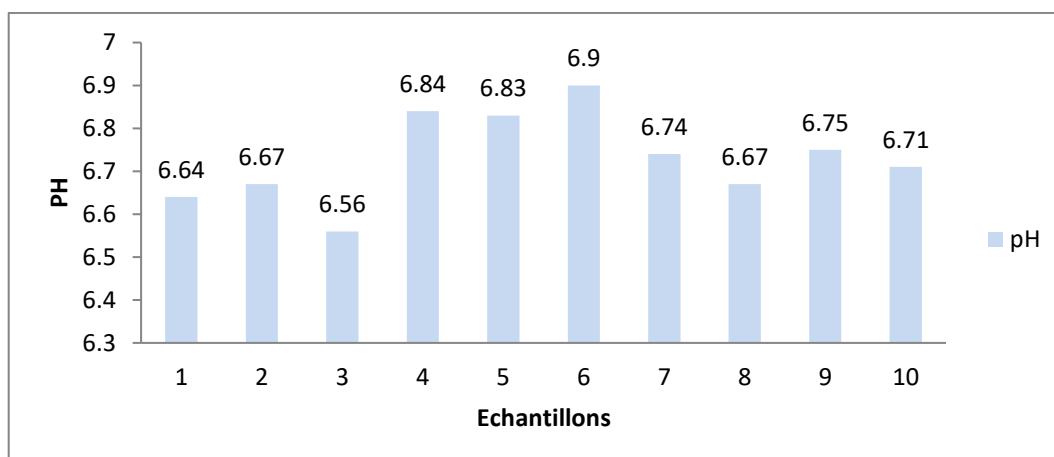


Figure 33: variation du pH pour les différents échantillons du lait cru analysés.

2.4.2.1 L'évolution de l'acidité Dornic

Les résultats relatifs à la mesure de l'acidité des différents échantillons de lait cru analysés sont présentés dans la figure 34. Les valeurs d'acidité Dornic enregistrées varient entre 16 et 18 °D, ce qui correspond à la plage attendue pour le lait issu de la région étudiée. Ces valeurs respectent les exigences des normes algériennes ainsi que celles de la norme AFNOR (1985), qui fixent l'acidité acceptable du lait cru entre 16 et 18 °D.

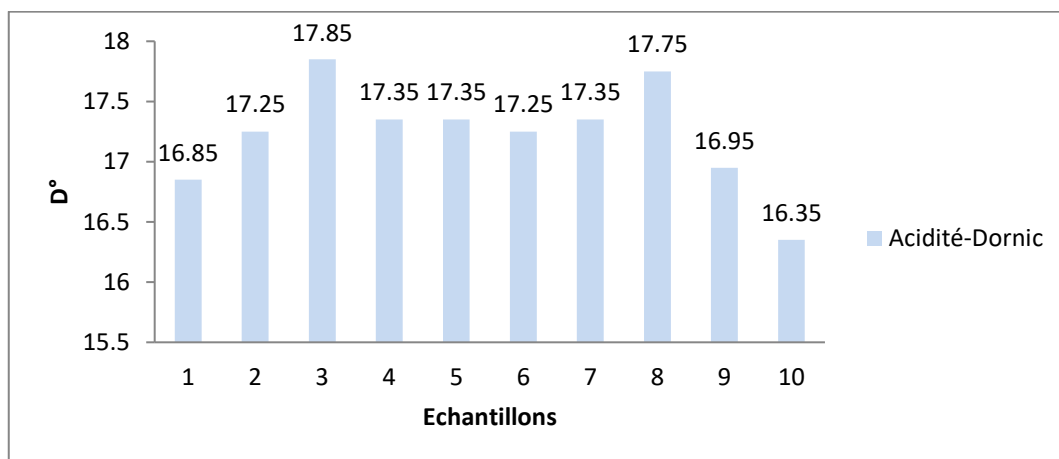


Figure 34: variation de l'acidité Dornic des différents échantillons du lait cru analysés

D'après Mathieu (1998), le lait de vache produit en début de lactation présente une acidité titrable comprise entre 19 et 20 °D. Cette acidité est influencée par divers facteurs environnementaux et physiologiques, tels que le climat, la phase de lactation, la saison, ainsi que les pratiques d'élevage, notamment la nature de l'alimentation et l'accès à l'eau (Aggad *et al.*, 2009). L'acidité du lait constitue un indicateur pertinent de sa qualité lors de la collecte, car elle reflète non seulement l'activité bactérienne mais permet également de détecter d'éventuelles altérations ou fraudes (Joffin et Joffin, 1999).

De manière générale, le pH et l'acidité représentent deux paramètres essentiels pour évaluer la fraîcheur du lait (Guiraud, 2003). Dans le cadre de notre étude, les valeurs moyennes du pH observées se situent dans les limites recommandées, à savoir entre 6,7 et 6,8 (Vignola, 2002). En revanche, l'acidité mesurée dépasse les normes habituelles, qui se situent généralement entre 14 et 17 °D (Guiraud, 2003). Ces écarts peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, le stade de lactation, l'alimentation, l'hydratation, l'état sanitaire des animaux et les conditions de traite (Labioui *et al.*, 2009 ; Zoghلامي *et al.*, 2022). Par ailleurs, Alais *et al.* (1984) soulignent que le pH et

l'acidité du lait dépendent également de sa composition, en particulier de la concentration en caséine, en sels minéraux et en ions.

2.4.2.2 L'évolution de la teneur en extrait sec total

Les résultats de la détermination de la teneur en extrait sec total des différents échantillons de lait cru analysés sont donnés dans la figure 35.

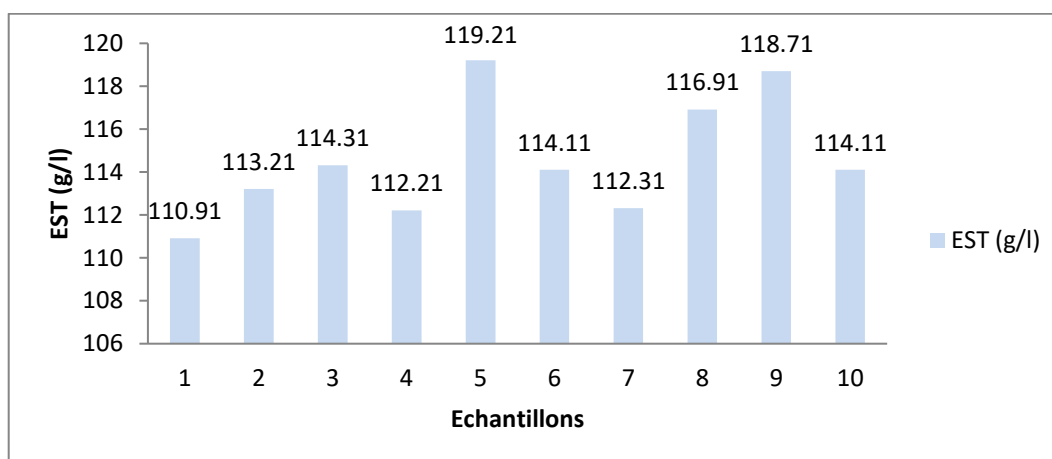


Figure 35: variation de la teneur de l'extrait sec total des échantillons du lait cru analysés

Les concentrations mesurées varient entre 110.91 et 119.21 g/L, parmi lesquelles seuls trois échantillons sur dix respectent la norme minimale de 113 g/L, ainsi que les valeurs de référence proposées par Luquet (1985), qui oscillent entre 127 et 130 g/L. Ce déficit peut être attribué à un déséquilibre nutritionnel chez les animaux, dans la mesure où les constituants du lait sont étroitement liés à la qualité de leur alimentation. Par ailleurs, une éventuelle dilution du lait par ajout d'eau pourrait également expliquer la diminution observée de l'extrait sec total.

2.4.2.3 L'évolution du taux de la matière grasse et de protéique

Les résultats de la détermination de la matière grasse et protéique des différents échantillons de lait cru analysés sont représentés dans la figure 36.

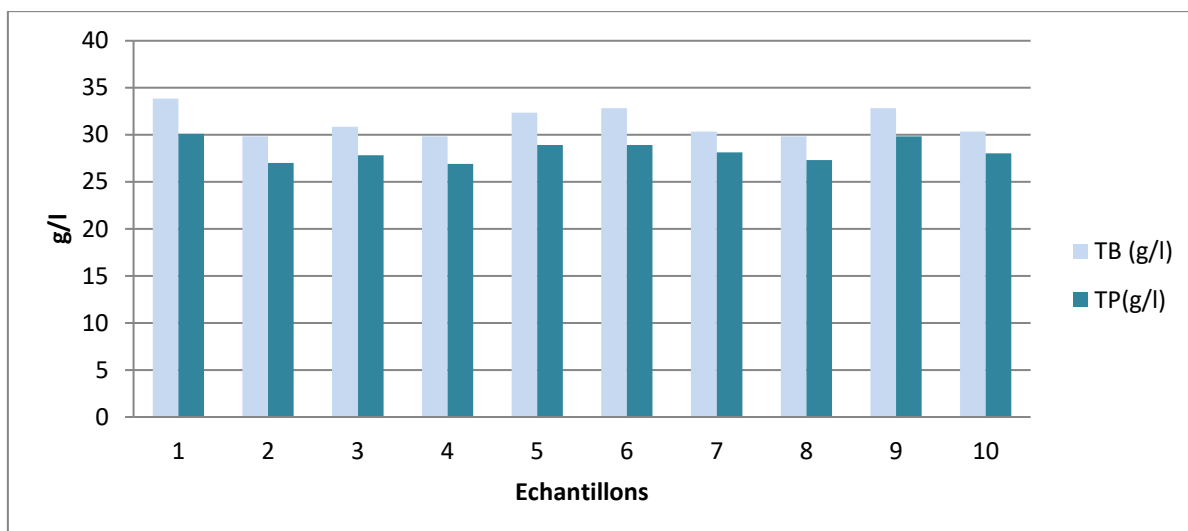


Figure 36: variation de la matière grasse et protéique des différents échantillons analysés

La teneur en matière grasse des échantillons analysés se situe entre 29 et 34 g/L, la valeur obtenue est inférieure à la norme Algérienne qui préconise un taux de matière grasse égale à 34 grammes par litre au minimum (JORADP N° 16, 1993).

Selon Coulon et Hoden (1991) ainsi que Yennek (2010), la teneur en matières grasses (ou taux butyreux) peut augmenter de 1 à 10 g/L entre le début et la fin de la traite. Par ailleurs, des travaux de Srairi et *al.* (2006) et de Zoghlami et *al.* (2022) soulignent que ce paramètre est l'un des plus instables parmi les caractéristiques physico-chimiques du lait, du fait de sa forte sensibilité à la composition de la ration alimentaire, notamment à la teneur en fourrages et à la nature des fibres des concentrés. Une alimentation riche en cellulose, qui stimule la production d'acide acétique, favorise l'élévation du taux butyreux (Stoll, 2002 ; Kaouche, 2018).

De nombreuses études, dont celle de Coulon (2005), indiquent que le taux butyreux varie significativement d'un jour à l'autre, principalement en raison de sa forte dépendance aux modalités de la traite, et parce qu'il s'agit de l'un des constituants du lait les plus rapidement influencés par les modifications alimentaires. En outre, plusieurs facteurs, tant intrinsèques (tels que la race, le niveau de production ou le stade de lactation) qu'extrinsèques (comme la saison, les températures ambiantes ou les techniques d'alimentation), peuvent induire des variations notables du taux butyreux (Wolter, 1994 ; FAO, 1998).

Les résultats présentés dans la figure 36 révèlent une teneur moyenne en protéines totales de 28.3 g/L, inférieure à la norme généralement admise, comprise entre 33 et 36 g/L.

Ces données sont également en deçà des valeurs rapportées par Courtet (2010) et Jeantet et *al.* (2007). Cette faiblesse protéique peut s'expliquer par un apport énergétique insuffisant, comme le suggère Alais (1984). D'après Vierling (1999), la teneur en protéines du lait de vache se situe habituellement entre 31,8 et 38,2 g/L. Fredot (2006) estime cette valeur moyenne à 34,4 g/L, tandis que Vignola (2002) la situe à environ 32 g/L. En effet, la composition protéique du lait est influencée par trois grandes catégories de facteurs : génétiques, physiologiques et alimentaires (Agabriel et *al.*, 1990).

2.5 La qualité microbiologique du lait cru

Les résultats d'analyse des paramètres bactériologique du lait crû sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13: résultats des critères de qualité bactériologique

Critères bactériologiques	Résultats	Normes JORADP N°39, 2017	
		m	M
Germes aérobies à 30°C	$4,65 \times 10^6 \pm 0,03$	3×10^5	3×10^6
Coliformes totaux	$8,23 \times 10^4 \pm 0,14$	5×10^2	5×10^3
Coliformes thermo tolérants	$2,18 \times 10^4 \pm 0,9$		
Staphylocoques à coagulase positif	$20 \pm 0,01$	10^2	10^3
Salmonelle	00	Abs	
Antibiotiques	Abs.	Abs/1ml	

Cette analyse bactériologique du lait crû a permis de caractériser la charge microbienne à travers plusieurs indicateurs. Les résultats sont interprétés selon deux approches :

2.5.1 Le plan à deux classes (Conforme/non conforme)

Ce plan est utilisé pour interpréter les germes pathogènes « *Salmonella sp.* Et Staphylocoques à coagulase positif ».

2.5.1.1 Les Staphylocoques à coagulase positif

Les analyses microbiologiques ont mis en évidence une concentration de *Staphylococcus aureus* (coagulase-positif) de $20 \text{ UFC} \cdot \text{mL}^{-1}$, valeur significativement

inférieure au seuil réglementaire de 10^3 UFC·mL⁻¹ défini pour ce pathogène dans l'Annexe II de l'Arrêté interministériel du 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires. (Figure 37). (JORADP 39, 2017).

L'interprétation des résultats via la grille d'évaluation prévue par ledit arrêté (Art. 3) confirme la conformité des échantillons analysés, attestant d'un statut hygiénique satisfaisant vis-à-vis de *S. aureus*. Cette conformité implique que le produit ne présente pas de risque sanitaire lié à la production d'entérotoxines staphylococciques, celles-ci étant généralement associées à des charges bactériennes $\geq 10^3$ UFC·mL⁻¹ (JORADP 39, 2017).

Ces données s'inscrivent en cohérence avec les critères de sécurité des denrées alimentaires fixés par la réglementation nationale, renforçant la validité des procédures d'hygiène appliquées lors de la production et de la transformation.

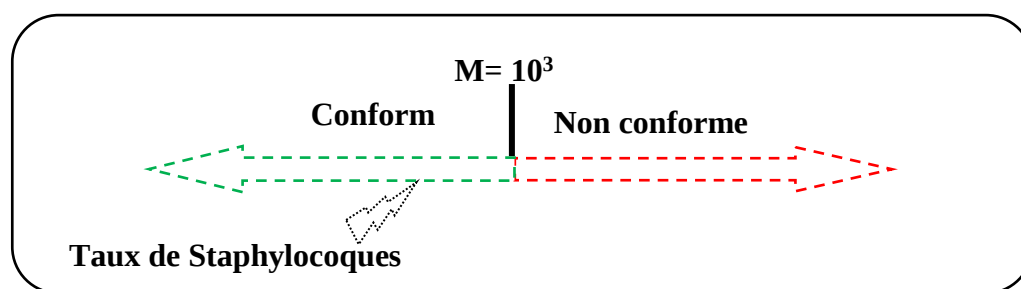


Figure 37: plan à deux classes du germe Staphylocoques à coagulase positif.

La présence de *Staphylococcus aureus* dans le lait est principalement associée à deux sources : des infections mammaires bovines (mammites subcliniques ou cliniques) ou une contamination anthropique lors de la traite, liée à un portage cutané ou nasal chez les opérateurs (Perdomo, 2019; EFSA, 2023). Les faibles concentrations observées ($<10^3$ UFC/mL) dans les échantillons analysés suggèrent une faible prévalence de mammites staphylococciques au sein du cheptel, ainsi que l'application de protocoles d'hygiène adéquats lors des manipulations (incluant la désinfection des trayons et l'hygiène des mains).

D'un point de vue sanitaire, ces résultats sont conformes aux seuils de sécurité établis, car le risque de production de toxines thermo-stables (ex. entérotoxines) par *S. aureus* devient significatif à partir de 10^5 UFC/mL, seuil au-delà duquel le lait est considéré comme non conforme (Kouamé, 2010; Organji, 2018). Cette dynamique est confirmée par des études récentes soulignant que des contrôles sanitaires réguliers et des pratiques d'élevage

optimales réduisent efficacement la charge bactérienne et les risques de zoonoses (Woudstraet *al.*,2023).

2.5.1.2 La Salmonella

L'analyse microbiologique des échantillons de lait cru n'a mis en évidence aucune présence de Salmonella spp., conformément aux exigences de la réglementation algérienne en vigueur (JORADP n°39, 2017), qui stipule une absence totale de ces agents pathogènes dans ce type de produit. Cette absence constitue un indicateur clé de la sécurité sanitaire, dans la mesure où les Salmonella spp. sont responsables d'infections d'origine alimentaire graves chez l'homme, notamment de gastro-entérites aiguës (Bedassaet *al.*, 2023).

La détection de ces bactéries dans le lait serait révélatrice d'une contamination d'origine fécale, pouvant résulter soit d'animaux infectés, soit de pratiques d'hygiène déficientes lors de la traite ou du transport. Ainsi, l'absence de Salmonella dans l'ensemble des échantillons analysés témoigne d'un bon niveau de maîtrise sanitaire, ainsi que de l'application minimale de bonnes pratiques d'hygiène au cours de la chaîne de collecte (Guy, 2006).

2.5.2 Le plan à 3 classes

Le plan d'échantillonnage à trois classes, tel que défini à l'Article 3 de l'Arrêté interministériel du 4 octobre 2016, repose sur l'établissement de deux seuils microbiologiques réglementaires :

Le seuil m (limite d'acceptabilité), correspondant à la concentration microbienne maximale autorisée pour un produit conforme aux exigences hygiéniques ;

Le seuil M (limite de rejet), au-delà duquel le lot est déclaré non conforme aux critères de sécurité alimentaire.

Conformément à l'Annexe II du même arrêté, les résultats analytiques permettent une classification tripartite des denrées alimentaires :

Conforme : Toutes les unités $\leq m$ (satisfaisant aux critères microbiologiques) ;

Acceptable sous réserve : Valeurs comprises entre m et M pour un nombre limité d'unités (c), imposant une surveillance corrective ;

Non conforme : Présence d'unités $> M$ ou dépassement du nombre maximal toléré (c), entraînant le retrait du marché (JORADP n°39, 2017).

2.5.2.1 Les germes aérobies à 30°C

Les germes aérobies mésophiles constituent un indicateur microbiologique global de la qualité hygiénique du lait, reflétant principalement les conditions sanitaires lors de la production, de la collecte et de la conservation.

Les résultats analytiques obtenus révèlent une concentration moyenne de $4,65 \times 10^6$ UFC/mL, nettement supérieure à la limite maximale autorisée fixée à $M = 3 \times 10^3$ UFC/mL selon la réglementation Algérienne (JORADP n°39, 2017) (Figure 38).

Une telle charge microbienne témoigne d'une contamination environnementale significative, souvent attribuable à un nettoyage insuffisant des équipements de traite, à une hygiène déficiente au niveau des trayons, des mains des trayeurs, ou à une gestion inadéquate de la chaîne de collecte. Cela est confirmé par les travaux de Kathiriya (2024).

Par ailleurs, cette contamination élevée reflète également des conditions de conservation inappropriées, notamment une température de stockage excessive ou un retard dans le refroidissement du lait, favorisant ainsi la prolifération des microorganismes (Baazize, 2006).

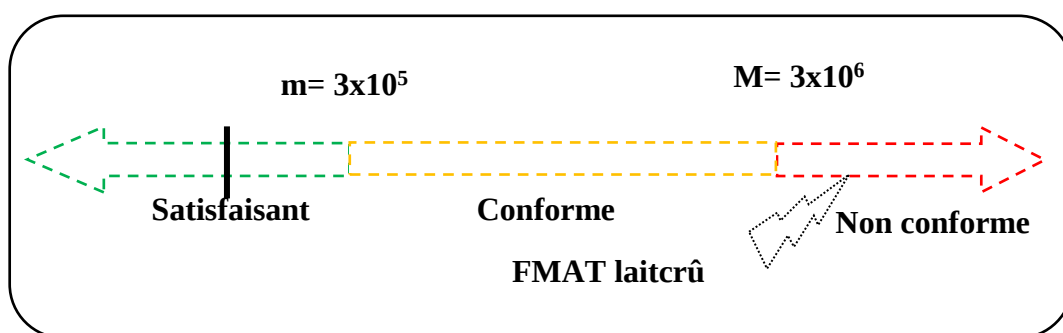


Figure 38: plan à 03 classes des germes aérobies à 30°C du laitcrû

2.5.2.2 Les coliformes totaux et fécaux :

Les coliformes totaux ont été quantifiés à une concentration moyenne de $8,23 \times 10^4$ UFC/mL, excédant largement la limite maximale autorisée de $M = 5 \times 10^3$ UFC/mL définie par la réglementation Algérienne (JORADP n°39, 2017). Ce dépassement traduit une contamination fécale ou environnementale récente, généralement imputable à une hygiène insuffisante du matériel de traite, des contenants de transport ou à une désinfection inadéquate des mains du personnel de manipulation.

Parallèlement, la concentration moyenne des coliformes thermotolérants (ou coliformes fécaux) s'élève à $2,18 \times 10^4$ UFC/mL, dépassant également les seuils réglementaires. Ce paramètre constitue un indicateur spécifique de contamination fécale directe, souvent liée à la présence de déjections bovines ou à des pratiques d'hygiène personnelle déficientes (Figure 39).

La détection de ces bactéries dans les échantillons de lait met en évidence des lacunes importantes dans l'application des bonnes pratiques d'hygiène, tant au niveau du matériel que de la manipulation humaine, augmentant ainsi le risque de transmission d'agents pathogènes (Mengstuet *al.*, 2023).

Ces résultats soulignent l'importance de renforcer les mesures de contrôle sanitaire à chaque étape de la chaîne de production laitière, afin d'assurer la conformité aux normes de sécurité alimentaire et de garantir la salubrité du lait destiné à la consommation (Guiraud, 1988 ; Ghazi et *al.*, 2011).

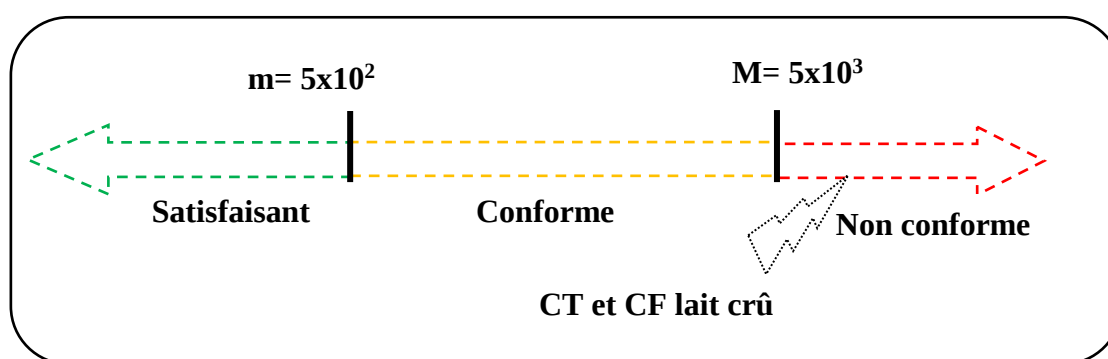


Figure 39: plan à 03 classes des coliformes totaux et fécaux du lait crû.

2.5.3 La détection des traces d'antibiotiques

L'analyse des échantillons de lait a révélé l'absence totale de résidus d'antibiotiques, conformément aux exigences des normes sanitaires en vigueur, qui stipulent que le lait destiné à la consommation humaine doit être exempt de toute trace de ces substances. Ce résultat a été corroboré par la croissance normale de *Bacillus* spp. sur un milieu Mueller-Hinton enrichi avec 1 mL de lait analysé (Figure 40), indiquant l'absence d'activité antimicrobienne inhibitrice.

Cette absence est primordiale pour garantir la sécurité alimentaire, dans la mesure où la présence de résidus antibiotiques dans le lait peut provoquer des réactions allergiques chez les consommateurs sensibles, ainsi que perturber l'équilibre du microbiote intestinal (Aning,

2007). De plus, une exposition chronique, même à de faibles concentrations, peut favoriser l'émergence de souches bactériennes résistantes, rendant les traitements antimicrobiens moins efficaces et constituant ainsi une menace sérieuse pour la santé publique (EFSA, 2018).



Figure 40: croissance de *Bacillus spp.* dans milieu contenant de lait crû

La surveillance des résidus d'antibiotiques constitue un élément essentiel du contrôle qualité, tant pour prévenir les contaminations croisées que pour s'assurer du respect des pratiques vétérinaires conformes aux normes de sécurité alimentaire. L'absence de résidus d'antibiotiques dans les échantillons de lait analysés témoigne de l'adhésion aux bonnes pratiques vétérinaires et à la réglementation en vigueur, contribuant ainsi à la réduction des risques sanitaires pour les consommateurs (Vercelliet *al.*, 2023).

Toutefois, l'évaluation microbiologique du lait cru examiné dans cette étude révèle une non-conformité significative par rapport aux standards établis. En effet, les teneurs en germes aérobies mésophiles, coliformes totaux et coliformes thermotolérants dépassent largement les seuils réglementaires fixés par la norme Algérienne (JORADP n°39, 2017). Ces dépassements traduisent des défaillances majeures en matière d'hygiène, intervenant aux différentes étapes de la chaîne de production, de la traite jusqu'à la conservation.

Ces résultats confirment ceux de Bachtarziet *al.* (2015), qui ont mis en évidence des charges élevées en coliformes fécaux dans le lait cru en Algérie, imputables à des conditions d'hygiène insuffisantes au sein des exploitations. En contraire, notre étude met en lumière un point positif: l'absence de résidus d'antibiotiques, en conformité avec la législation en vigueur. Cette observation ne concorde pas avec les résultats de Hamama et *al.* (2014), qui avaient relevé des taux préoccupants de résidus dans des échantillons de lait cru.

Comparativement à d'autres travaux, tels que ceux de Farougouet *al.* (2011), ayant détecté la présence d'entérobactéries dans certains échantillons, nos résultats confirment

que, bien que le lait soit contaminé par des coliformes, il ne présente pas de risques liés aux résidus d'antibiotiques. Ce constat représente une avancée encourageante sur le plan de la sécurité chimique du lait cru.

Cependant, il est essentiel de renforcer les mesures d'hygiène et de contrôles vétérinaires pour réduire les contaminations bactériennes et garantir que le lait crû respecte les critères microbiologiques stricts en vigueur.

En définitive, bien que certains paramètres microbiologiques révèlent des non-conformités préoccupantes, l'absence de résidus d'antibiotiques constitue un indicateur rassurant et ouvre la voie à une amélioration progressive de la qualité sanitaire du lait cru en Algérie.

Dans la section suivante, nous aborderons le rôle stratégique de l'intégration des capteurs intelligents dans l'industrie laitière bovine. Nous y présenterons également l'innovation technologique développée dans le cadre de cette étude, conçue pour renforcer la résilience de la filière laitière nationale

Au cours de notre enquête sur le terrain, nous avons été confrontés à plusieurs difficultés, notamment lors de la prise des mesures physiologiques telles que la fréquence cardiaque et la température corporelle des vaches. Ces relevés étaient souvent limités aux moments de traite, en raison d'un manque flagrant d'outils de suivi en continu et en temps réel dans les exploitations. Ce déficit technologique entraîne des pertes importantes, tant sur le plan de la production que sur celui du bien-être animal. Face à cette réalité, nous avons choisi de mettre en lumière trois paramètres essentiels : la fréquence cardiaque, la température corporelle et la localisation des animaux. Notre objectif a alors été de concevoir un dispositif simple, facile à utiliser et capable de suivre ces données en continu, en restant fixé sur la vache en toutes circonstances, quel que soit sa position, son état ou son activité.

Chapitre 3

Partie Inovation

3 Proposition d'une innovation pour mieux maîtriser la conduite d'élevage :

3.1 Introduction

L'intégration des technologies numériques dans l'élevage bovin laitier, telles que l'IoT, l'IA et les systèmes automatisés, permet une gestion en temps réel plus efficace, améliorant la productivité, la qualité du lait et le bien-être animal (Elsayed et *al.*, 2024; Oliveira et *al.*, 2024). Ces outils facilitent le suivi quotidien du troupeau, optimisent la traçabilité et renforcent la gestion des risques (Bonora et *al.*, 2018). La centralisation des données offre une vision stratégique globale, permettant aux éleveurs d'ajuster leurs pratiques aux exigences du marché et aux conditions environnementales (Elsayed et *al.*, 2024 ; Oliveira et *al.*, 2024).

L'usage combiné de smartphones et de capteurs mesurant la température corporelle et la fréquence cardiaque permet une gestion en temps réel du bien-être des vaches laitières. Ces technologies facilitent la détection rapide du stress thermique et des anomalies physiologiques, améliorant ainsi la réactivité des éleveurs (Karl & Raboisson, 2021 ; Hanzen et *al.*, 2024). La centralisation des données via des plateformes numériques optimise les interventions et renforce la résilience face aux aléas climatiques (Bouchon et *al.*, 2025 ; Sissao et *al.*, 2017). Des suivis intensifs peuvent même conduire à une augmentation de 10 à 20 % de la production laitière (Neya et *al.*, 2023).

Dans cet optique, nous avons créé le HBT(**Heliobiotrack**), une technologie durable intégrée à l'application que nous avons désigné '*La vache connectée*' ; celle-ci permet un suivi en temps réel de la santé et du comportement des vaches, grâce à des capteurs alimentés par énergie solaire. Notre stratégie de conception repose sur une démarche de co-innovation ; ainsi l' HBT renforce la résilience des élevages face aux enjeux climatiques et sanitaires, tout en améliorant la productivité et le bien-être animal.

3.2 Présentation d'une innovation pour le suivi de paramètres relatifs à l'animal et son environnement : Heliobiotrack (HBT)

Heliobiotrack (HBT) est un système/outil de suivi (tracking) et de gestion basé sur l'intégration de données biologiques, environnementales et parfois spatiales (SIG/GPS), afin d'analyser l'évolution d'un organisme, d'une culture ou d'un milieu naturel en fonction des conditions climatiques, notamment l'ensoleillement (hélios), la température et l'humidité.

Heliobiotrack(HBT) est une solution technologique de pointe conçue pour améliorer l'industrie laitière en fournissant un suivi en temps réel de la santé et du bien-être des vaches. Cet outil innovant s'intègre parfaitement à une application Android appelée « la vache connecté » et est alimenté par l'énergie solaire via un powerbank solaire, ce qui le rend à la fois écologique et efficace. Le **HBT** est un excellent exemple de co-innovation, visant à renforcer la résilience du secteur laitier en réponse aux défis modernes tels que le changement climatique, la gestion des maladies et l'optimisation de la productivité. Cette technologie permet aux éleveurs de prendre des décisions éclairées basées sur des données précises, améliorant ainsi la santé globale du troupeau et augmentant les rendements laitiers.

En intégrant des capteurs avancés et des analyses en temps réel, cette solution offre également la possibilité de surveiller les comportements des vaches, ce qui contribue à une meilleure gestion du bien-être animal.

Le HBT représente les principes de la co-innovation en réunissant des développeurs de technologies, des producteurs laitiers, des vétérinaires et des chercheurs agricoles afin de créer une solution qui répond aux défis auxquels le secteur laitier est confronté .

En favorisant la collaboration et le partage des connaissances, HBT améliore la résilience des exploitations laitières, en veillant à ce qu'elles puissent s'adapter à l'évolution des conditions environnementales et aux demandes du marché.

3.3 Caractéristiques principales

3.3.1 La surveillance en temps réel :

Le HBT est équipé de capteurs avancés qui localisent et surveillent automatiquement la température et le rythme cardiaque de chaque vache. Cette collecte de données en temps réel permet aux éleveurs de suivre de près la santé de leur troupeau, ce qui permet de détecter rapidement les maladies ou les états de stress susceptibles d'affecter la production de lait et le bien-être général des animaux.

Cette approche proactive contribue à améliorer la productivité, et aussi à renforcer le lien entre les éleveurs et leurs animaux, favorisant une gestion plus durable de l'élevage. Cette gestion éclairée peut également conduire à une réduction des coûts opérationnels, car

les éleveurs peuvent intervenir rapidement pour traiter les problèmes de santé avant qu'ils ne deviennent graves.

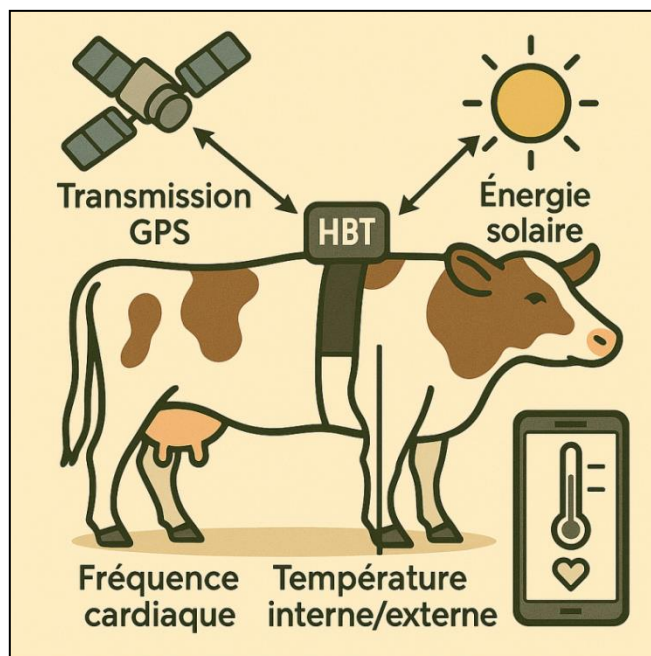


Figure 41: illustration de fonctionnement de HBT

3.3.2 Le capteur de température

Le capteur de température est essentiel pour identifier la fièvre ou d'autres problèmes de santé chez les vaches. En surveillant en permanence la température corporelle, les éleveurs peuvent recevoir des alertes via l'application « **la vache connecté** » si un animal présente des valeurs anormales, ce qui permet d'intervenir rapidement.

Cette technologie permet d'améliorer le bien-être animal et d'optimiser les performances de production en garantissant que chaque vache est maintenue dans des conditions idéales pour sa santé et sa productivité.

L'intégration de ces capteurs dans les exploitations agricoles représente une avancée significative vers une gestion plus proactive et efficace des troupeaux.

3.3.3 Le capteur de fréquence cardiaque :

Le capteur de fréquence cardiaque suit la santé cardiovasculaire des vaches, fournissant des informations sur leur niveau de stress et leur condition physique générale. Les fluctuations du rythme cardiaque peuvent indiquer une détresse, une maladie ou un inconfort, ce qui permet aux éleveurs de prendre des mesures dynamiques pour assurer le bien-être des animaux.

3.3.4 Le fonctionnement à l'énergie solaire

La dépendance de HBT à l'énergie solaire par le biais d'une banque d'énergie solaire réduit les coûts d'exploitation de l'élevage laitier. Cette source d'énergie durable et gratuite garantit que l'appareil reste fonctionnel même dans les zones reculées où l'électricité n'est pas facilement disponible à coût réduit, ce qui favorise une adoption plus large dans divers environnements agricoles.

Les principaux avantages d'alimentation solaire dans le HBT sont :

- ✓ **Autonomie énergétique continue**
 - ✓ L'appareil peut fonctionner indéfiniment tant qu'il reçoit suffisamment de lumière, sans dépendre de cycles de recharge manuelle.
- ✓ **Réduction des coûts de maintenance**
 - ✓ Pas besoin de remplacer ou recharger régulièrement les batteries (moins d'interventions, donc moins de coûts pour l'éleveur).
- ✓ **Solution écologique**
 - ✓ Utiliser l'énergie solaire réduit l'usage de batteries chimiques polluantes, et donc diminue l'impact environnemental de l'exploitation.
- ✓ **Idéal pour les zones isolées**
 - ✓ Dans les grandes exploitations ou pâturages éloignés, l'énergie solaire permet un fonctionnement autonome, sans infrastructure électrique.
- ✓ **Amélioration de la fiabilité du suivi**
 - ✓ Pas de risques de coupures liés à une batterie déchargée, ce qui garantit un suivi en temps réel plus constant et fiable.
- ✓ **Durée de vie prolongée des équipements**

- ✓ Moins de stress électrique sur les circuits internes par rapport aux cycles de charge/décharge des batteries, ce qui peut prolonger la durée de vie de notre outil HBT.

3.3.5 L'application Androïde conviviale : « La vache connectée » :

L'application Androïde qui accompagne le HBT fournit une interface intuitive permettant aux agriculteurs d'accéder à des données en temps réel, à des tendances historiques et à des alertes relatives à la santé de leurs vaches (tachycardie, bradycardie, changement de température, ...)

L'application inclut des fonctionnalités telles que :

- Les informations précises pour chaque sujet tels que : le sexe, le stade physiologique, l'âge, la dernière visite, date d'accouplement, la production laitière, nombre de vêlage.
- Tableau de bord pour le suivi de chaque vache contient :
 - ✓ valeur de température corporelle et externe (valeur ajoutée automatiquement)
 - ✓ rythme cardiaque en temps réel
 - ✓ Des notifications en cas de mesures anormales de température ou de fréquence cardiaque.

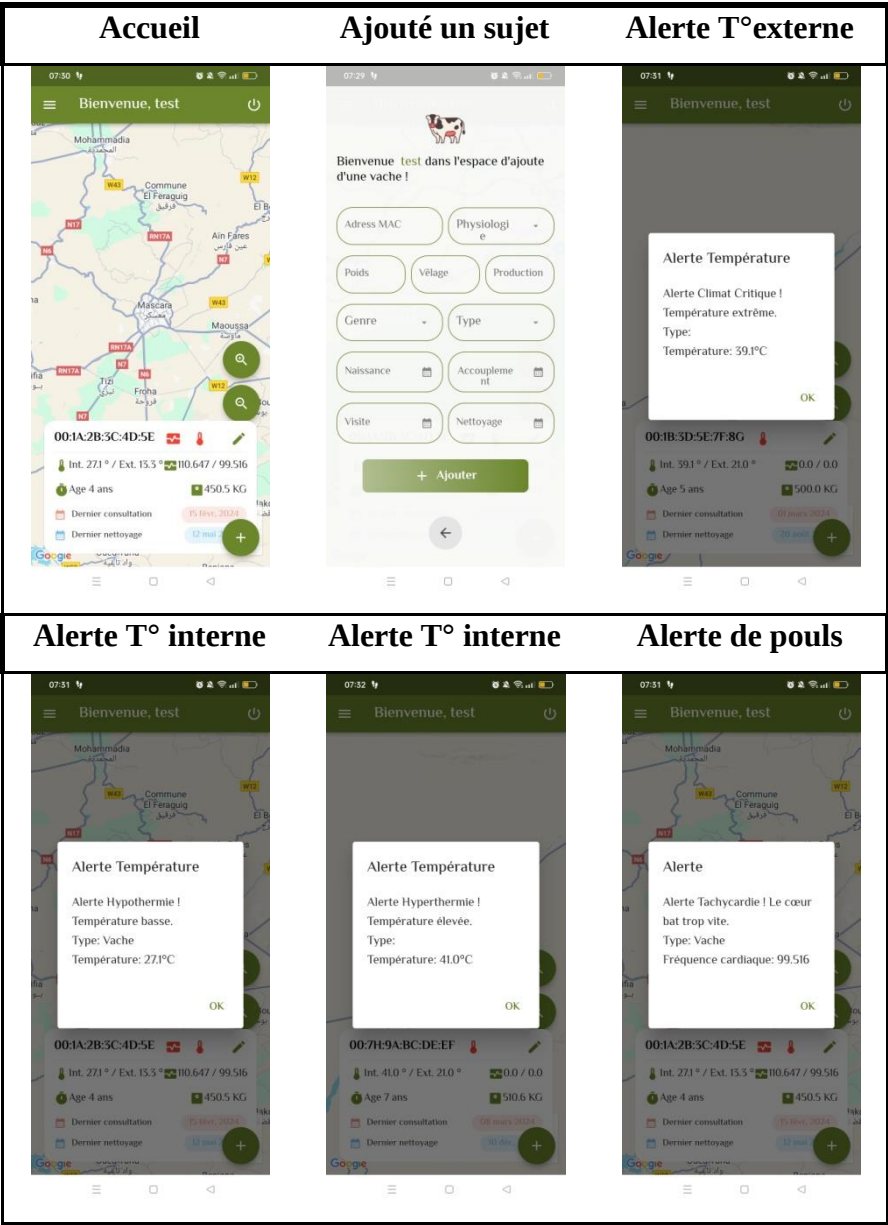


Figure 42: aperçu de l’application « la vache connecté »

3.3.6 Le capteur de localisation GPS

Le Heliobiotrack est équipé d'un capteur de localisation GPS qui permet de connaître la position géographique de chaque vache en temps réel à l'échelle du troupeau. Cette fonctionnalité est cruciale pour plusieurs raisons.

- ✓ Suivi de la localisation

Grâce à la technologie GPS, les éleveurs sont en mesure de connaître la position de chaque vache. Cela facilite la gestion du troupeau, particulièrement dans les grands espaces ou les vastes pâturages. Cela limite également les pertes et optimise les déplacements du troupeau.

- ✓ Suivi des pâturages

En plus des positions des animaux, ce capteur permet de suivre le comportement des vaches par rapport aux pâturages. En effet, en analysant les données recueillies, les éleveurs sont en mesure de connaître les zones de pâturage les plus fréquentées par leurs animaux. Cela permet de mieux gérer les rotations afin d'éviter le surpâturage et permet de veiller à la santé des terres.

- ✓ Sécurité des animaux

En cas de perte ou de fuite d'un animal, le capteur de localisation GPS permet de retrouver rapidement la vache en question, limitant les efforts à fournir et le temps perdu à la retrouver. Cela permet donc d'améliorer le bien-être des bêtes et de sécuriser davantage le troupeau.

3.4 L'estimation financière

Le tableau suivant représente l'estimation financière de HBT

Tableau 14: estimation financière pour le HBT.

Composant	Outils	Quantité	Coût unitaire (DZD)	Coût total (DZD)
Carte Arduino		01	2500	2500
Fils de connexion 6awg ul2464 câble isolé en cuivre 7 fils 1m		01	300	300
Capteur de température : dht11 numérique capteur d'humidité température		01	500	500
Capteur de fréquence cardiaque : mh-et live max30102 module de capteur de fréquence cardiaque		01	850	850
Capteur GPS arduino		01	2800	2800
Support/ Ceinture		01	700	700
Powerbank solaire (10000 mAh)		01	3000	3000
Main d'œuvre et modification	-	-	500	500
Total	11200 da			

En tenant compte de l'achat en gros des composants, le coût de l'appareil est estimé entre 8 000 et 10 000 DA, un investissement abordable au regard des fonctionnalités avancées qu'il offre à l'éleveur.



Figure 43: la mise en place de l'HBT sur une vache

3.5 L'analyse SWOT de l'HBT :

L'analyse SWOT met en évidence la position stratégique d'Heliobiotrack sur le marché des technologies agricoles, en soulignant ses forces et ses opportunités tout en reconnaissant ses faiblesses et menaces potentielles.

Tableau 15: analyse SWOT pour l'innovation HBT

Forces	Faiblesses
« Surveillance de la santé en temps réel » : permet des interventions rapides et une meilleure gestion du troupeau. « Durabilité » L'utilisation de l'énergie solaire est conforme aux objectifs de durabilité environnementale. « Applications smartphone »: accessible et facile à utiliser pour les éleveurs, ce qui peut améliorer les taux d'adoption. « Résilience à long terme » : HBT contribue à la durabilité et à l'efficacité à long terme des activités laitières, en relevant les défis actuels de l'industrie. « Suivi géolocalisé » : L'intégration de capteurs de localisation permet un suivi précis des animaux, aidant à la gestion des pâturages et à la prévention des pertes.	« Investissement initial élevé » : Le coût de mise en œuvre de la technologie HBT peut constituer un obstacle pour les petits éleveurs « Dépendance à l'égard de la technologie » : Les éleveurs peuvent avoir des difficultés à s'adapter aux nouvelles technologies, ce qui peut entraîner une résistance ou une mauvaise utilisation.
Opportunités	Menaces
« Expansion du marché » : Il est possible que HBT s'étende à d'autres secteurs d'élevage, favorisant ainsi une adoption plus large de pratiques durables. « Partenariats et collaborations » La collaboration avec les unités de production, les organisations agricole et des universités pourrait améliorer la recherche et le développement, conduisant à de meilleures solutions. « Soutien réglementaire »: L'attention croissante du gouvernement Algérien sur l'agriculture durable pourrait créer des conditions favorables à la croissance de HBT. « Innovation en agriculture » : Alors que le secteur agricole recherche des solutions innovantes, HBT peut se positionner en tant que leader des technologies agricoles intelligentes dans le secteur d'élevage. « Le suivi géolocalisé » permet d'identifier la durée et les zones de pâturage	« Concurrence » : Les technologies émergentes et les concurrents dans le domaine des technologies agricoles pourraient remettre en question la position de HBT sur le marché. « Facteurs économiques » : Les fluctuations de l'économie agricole pourraient avoir une incidence sur la volonté des agriculteurs d'investir dans les nouvelles technologies. « Progrès technologiques » : L'évolution rapide de la technologie pourrait mener à l'obsolescence si HBT n'innove pas en permanence.

3.6 Les résultats du test de l'GBT :

Les tests de l'appareil GBT ont été réalisés dans plusieurs fermes sur un échantillon de quarante et un sujets. Les vingt-six premiers incluent des vaches allaitantes et des vaches gestantes entre le 1er et le 7e mois de gestation, tandis que les quinze derniers correspondent à des vaches en gestation avancée, du 7e au 9e mois.

Les résultats du test sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 16: Résultat test GBT

Fréquence cardiaque	Ecartypefréquence cardiaque	Température	Ecartype température
59,10	0,28	37,82	2,21

3.6.1 Le suivi de la fréquence cardiaque

Le suivi du pouls constitue un indicateur physiologique pertinent pour évaluer le bien-être et l'état métabolique des bovins laitiers. Des variations anormales du rythme cardiaque, telles que la tachycardie ou la bradycardie, traduisent souvent une réponse au stress ou un dysfonctionnement cardiovasculaire, avec un impact indirect mais notable sur la production laitière (Olsson et *al.*, 2001 ; Rhoads et *al.*, 2009 ; Bernabucci et *al.*, 2014).

Selon Corazzin et *al.*, (2020) ; Tao et *al.*, (2018), la tachycardie, fréquemment associée à un stress thermique ou nutritionnel, entraîne une redistribution des ressources énergétiques vers les fonctions vitales, au détriment de la lactation. Bien que la bradycardie soit moins documentée, elle pourrait également affecter la perfusion tissulaire et compromettre les fonctions métaboliques nécessaires à la synthèse du lait (Olsson et *al.*, 2001).

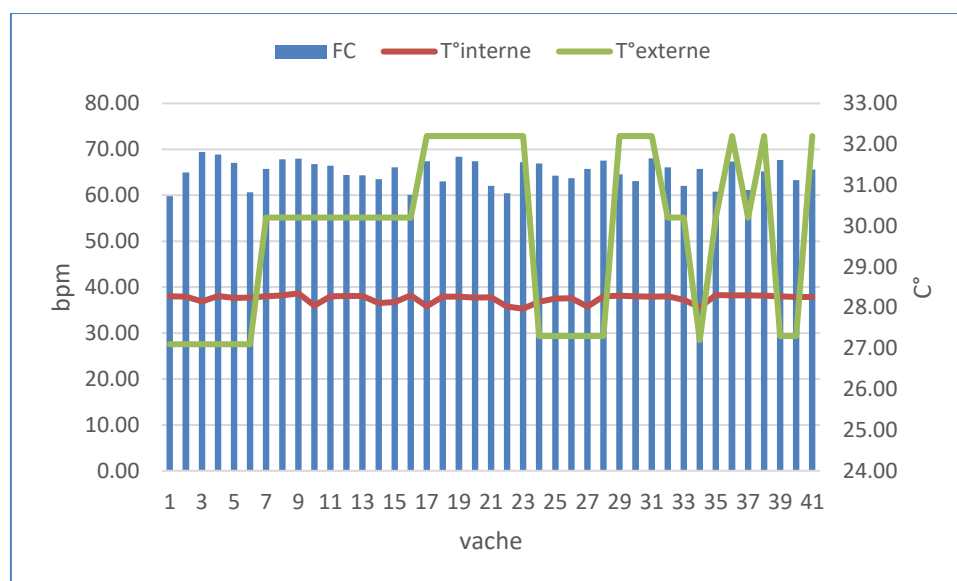


Figure 44: représentation graphique du test indiquant la fréquence cardiaque, la température et a température externe

La fréquence cardiaque présente des fluctuations généralement corrélées aux variations de la température ambiante. Selon Maillard et *al.* (2005), un état de nervosité chez l'animal peut se manifester par une tachycardie transitoire, ce qui explique certaines irrégularités observées sur les courbes de fréquence cardiaque.

Pour garantir des mesures fiables sur le HBT, celui-ci doit être placé correctement, au niveau du thorax juste derrière la patte antérieure gauche (la zone de projection du cœur). Un positionnement inadéquat peut entraîner l'enregistrement de pulsations erronées.

La moyenne des pulsations enregistrées est de **52,10** battements par minute (bpm), avec un écart-type moyen de **0.28bpm**. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Indarjulianto et *al.* (2022), qui indiquent que la fréquence cardiaque normale chez les bovins se situe généralement entre 40 et 80 bpm. Cette plage de référence est également confirmée par plusieurs études physiologiques menées sur des bovins en bonne santé.

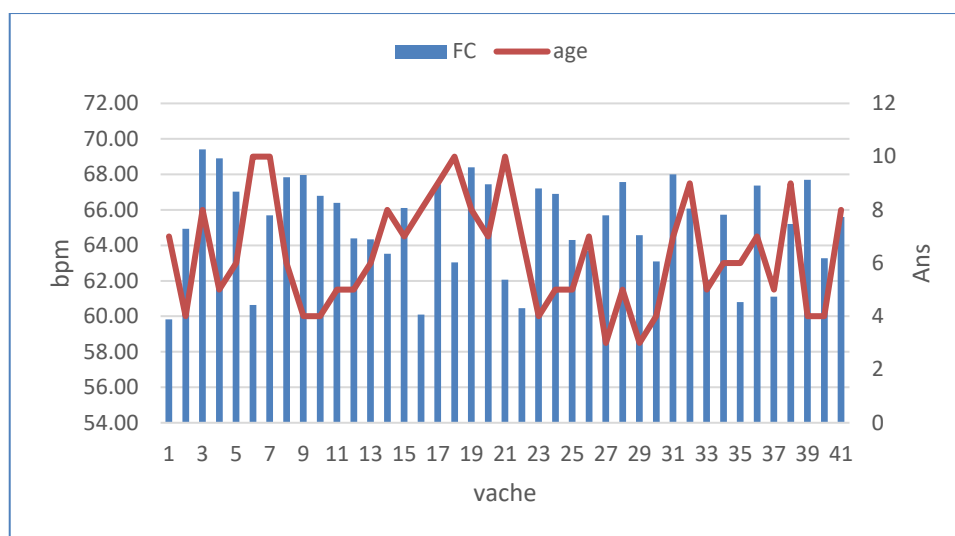


Figure 45: représentation graphique des enregistrements du pouls en rapport avec l'âge des vaches

Selon l'étude *Base-apex electrocardiographic examination in healthy cows of Chianina breed* (2022), la variabilité de la fréquence cardiaque peut être influencée par des facteurs tels que l'âge, la gestation ou encore la condition physique. Les résultats obtenus dans notre test, (Figure 41), sont en concordance avec ces observations, montrant des fluctuations de la fréquence cardiaque étroitement liées à l'âge des vaches.

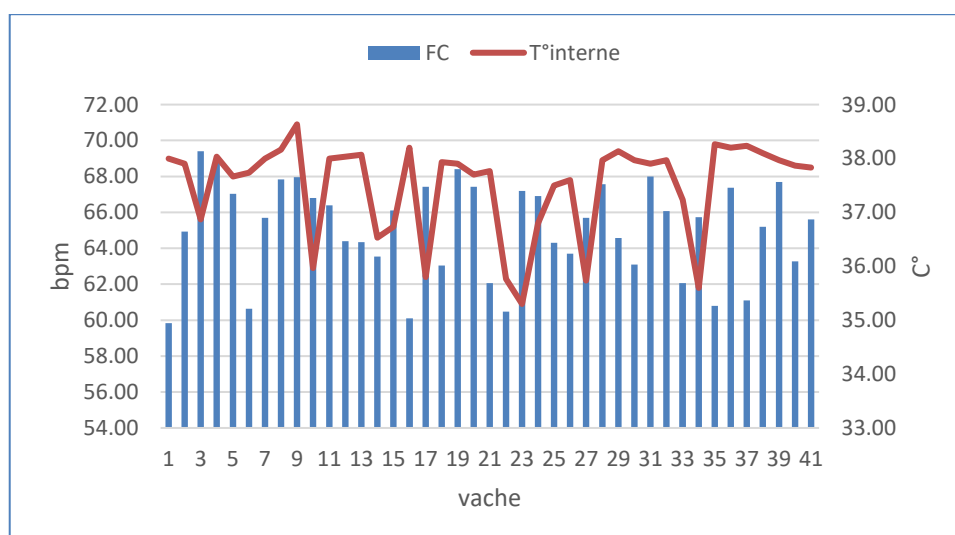


Figure 46: représentation montre la relation entre les fluctuations de la fréquence cardiaque et la température interne

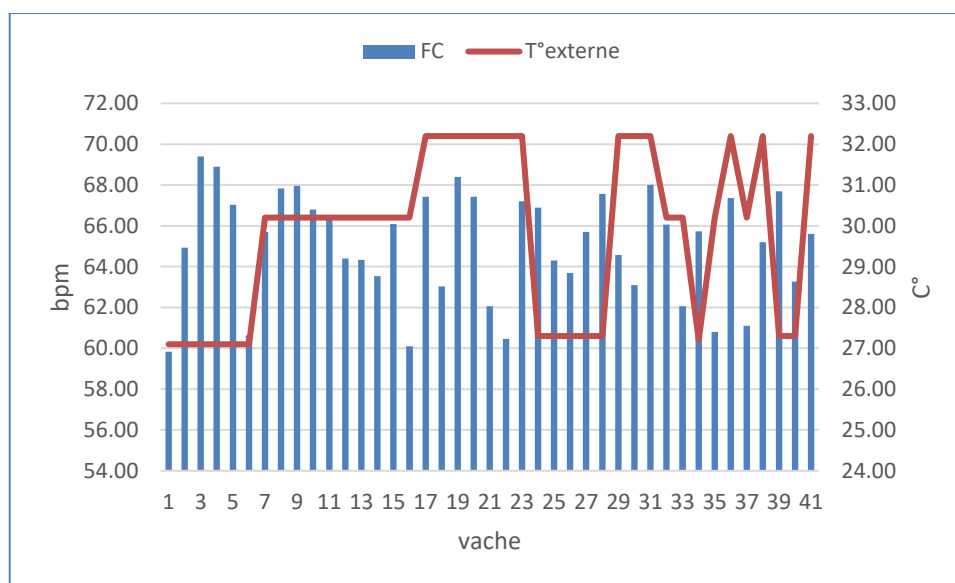


Figure 47: représentation montre la relation entre les fluctuations de la fréquence cardiaque et la température externe

On observe une corrélation entre les fluctuations de la fréquence cardiaque et celles des températures, qu'elles soient internes ou externes (Figure 42 et 43). Ces résultats sont confirmés par les travaux de Bun et *al.* (2017) et Kim et *al.* (2017), qui ont montré que les bovins exposés à des températures élevées présentent une augmentation du rythme cardiaque. Il s'agit d'une réponse physiologique au stress thermique, visant à dissiper l'excès de chaleur par une augmentation du débit sanguin périphérique.

3.6.2 Le suivi de la température

La surveillance de la température corporelle chez les vaches laitières constitue un levier essentiel dans la gestion du stress thermique, un facteur largement reconnu pour son impact négatif sur la production. Une élévation de la température corporelle traduit souvent une réponse physiologique à des conditions environnementales défavorables. Ce stress active des mécanismes de thermorégulation (vasodilatation, hausse de la fréquence respiratoire, réduction de l'ingestion), entraînant une redistribution de l'énergie au détriment de la synthèse laitière (Tao et *al.*, 2018 ; Corazzin et *al.*, 2020).

Dans cet étude, nous avons observés augmentation du rythme cardiaque lorsque la temperature des animaux est élevé, ce qui indique une corrélation directe entre la

température et la fréquence cardiaque, c'est résultat sont confirmé par l'étude de Bun et *al.*, (2017) confirmant ainsi le lien entre le stress thermique et une fréquence cardiaque

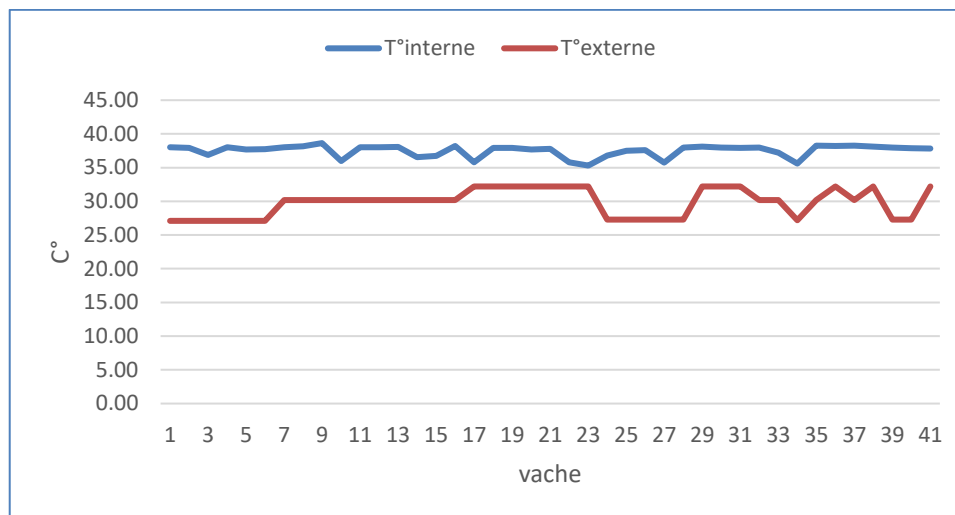


Figure 48: la relation entre les fluctuations de la température interne et externe

Wang (2022) ainsi qu'Irmawanti et *al.* (2022) confirment que les bovins manifestent plusieurs réponses physiologiques face au stress thermique, parmi lesquelles figurent l'augmentation de la fréquence respiratoire, de la température rectale et du rythme cardiaque. Ces réactions constituent des mécanismes adaptatifs mis en œuvre par l'organisme afin de réguler la température corporelle et préserver l'homéostasie.

Selon Indarjulianto et *al.* (2022), la température corporelle moyenne des bovins en bonne santé varie entre 37,7 °C et 39,4 °C. Dans le cadre de notre étude, la température corporelle enregistrée présente une moyenne de **37,82 °C** avec un écart-type de **0,21 °C**. Il convient de souligner que ces mesures ont été réalisées à l'aide de capteurs cutanés, dont les valeurs sont généralement inférieures d'environ 0,9 °C ± 0,1 °C par rapport aux mesures rectales ou vaginales, souvent considérées comme plus précises pour évaluer la température interne.

Le capteur utilisé n'est pas une simple sonde thermique, mais un dispositif combiné mesurant à la fois la température et l'humidité, ce qui améliore la précision des relevés cutanés. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Hillman (2009), qui rapporte que les

bovins maintiennent généralement leur température corporelle centrale autour de 38 °C, un paramètre essentiel pour préserver l'homéostasie face aux variations climatiques.

Selon Kim et *al.* (2021), la température corporelle des bovins peut varier en fonction de divers facteurs physiologiques, notamment l'état de gestation ; les vaches gravides présentent des profils thermiques distincts de ceux des vaches non gestantes. Ce constat est en accord avec nos résultats, où la vache n°39 (une vache en 9^{ème} moi de gestation) affiche une température corporelle élevée malgré une température ambiante relativement basse, suggérant l'influence de la gestation sur la thermorégulation. Par ailleurs, une mesure précise de la température corporelle demeure essentielle pour diagnostiquer les troubles de santé, gérer efficacement le stress thermique et orienter les décisions vétérinaires. En effet, comme le soulignent Fischer-Tenhagen et Arlt (2020) ainsi que Dong et *al.* (2016), même de légères déviations par rapport aux valeurs normales peuvent révéler des déséquilibres physiologiques ou des pathologies latentes.

3.7 Les tests de corrélation

Le résultat du test de corrélation est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 17: test de corrélation entre les paramètres retenus dans l'application

	<i>T° externe</i>	<i>FrequenceCardiaque(FC)</i>	<i>T°(température corporelle)</i>	<i>Âge</i>
T° externe	1			
FC	0,50	1		
T°	0,55	0,73	1	
Age	-0,15	-0,20	-0,09	1

Les données mettent en évidence une corrélation modérée entre la température ambiante et, la fréquence cardiaque moyenne ($r \approx 0,50$) et, d'autre part, avec la température corporelle moyenne ($r \approx 0,55$). Elles indiquent qu'une élévation de la température extérieure s'accompagne d'une accélération relative du rythme cardiaque ainsi que d'une hausse concomitante de la thermie interne. Ces observations rejoignent celles de Rejeb et *al.* (2016), dont l'étude menée en Tunisie a montré une corrélation marquée entre fréquence cardiaque et température interne, suggérant que l'augmentation de la température ambiante provoque

une élévation du rythme cardiaque lorsque les vaches mobilisent leurs mécanismes de thermorégulation.

La relation étroite observée entre la fréquence cardiaque moyenne et la température corporelle moyenne ($r \approx 0,74$) atteste du couplage physiologique direct qui unit l'activité cardiaque à la régulation thermique : toute élévation de la thermie interne s'accompagne systématiquement d'une intensification du rythme cardiaque. Les résultats obtenus grâce au test HBT s'inscrivent dans la continuité des travaux de Kim *et al.* (2023) et de Santos *et al.* (2021), lesquels démontrent que le stress thermique exerce une influence marquée sur la fréquence cardiaque comme sur la température interne des bovins. Ainsi, des bouvillons soumis à un indice température-humidité (THI) sévère présentent simultanément une augmentation de la fréquence cardiaque et de la température rectale, confirmant l'existence d'une corrélation directe entre hyperthermie interne et accélération cardiaque en conditions de stress thermique.

L'âge apparaît faiblement mais systématiquement corrélé de façon négative à l'ensemble des variables étudiées ($-0,15 \leq r \leq -0,21$). Cette tendance suggère qu'à mesure que les individus avancent en âge, ils présentent, quoique modestement, une température corporelle légèrement plus basse, un rythme cardiaque modérément réduit et une réactivité atténuée aux fluctuations thermiques extérieures. Nos résultats corroborent ceux d'Utami et Widiarso (2022), qui, dans leur évaluation du stress thermique chez les bovins laitiers, ont observé des fréquences cardiaques plus élevées chez les veaux (66,5 à 69,2 bpm) que chez les vaches allaitantes (51,7 bpm) sous des conditions de chaleur. Cette disparité confirme que les animaux plus jeunes, dont les systèmes physiologiques sont encore en développement, se révèlent plus sensibles aux contraintes environnementales, tandis que la maturité physiologique confère une légère tolérance thermique accrue.

L'âge montre une très faible corrélation négative avec la température interne ($r \approx -0,09$), mais un peu plus marquée, avec la température ambiante ($r \approx -0,15$). Les sujets plus âgés ont donc une thermie légèrement plus basse et évoluent dans des environnements à peine moins chauds, des effets négligeables au plan physiologique.

Conclusion:

Heliobiotrack (HBT) est une innovation majeure en agriculture intelligente, particulièrement dans la filière laitière. En combinant capteurs physiologiques, alimentation solaire et application mobile (La vache connectée), il permet un suivi en temps réel de la santé des bovins (température, fréquence cardiaque, humidité). Ce dispositif aide les éleveurs à anticiper le stress, à ajuster leur gestion et à améliorer le bien-être animal.

Au-delà de l'innovation technique, HBT s'inscrit dans une logique de durabilité et de résilience face aux défis climatiques et sanitaires. Son autonomie énergétique et la centralisation des données renforcent l'efficacité des décisions. Il incarne une nouvelle génération d'outils pour un élevage de précision, capable de répondre aux besoins du secteur tout en favorisant la co-innovation entre acteurs.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Le présent travail confirme que la co-innovation représente un levier décisif pour doter la filière laitière algérienne d'une autonomie accrue, d'une compétitivité renforcée et d'une capacité réelle d'adaptation face aux changements climatiques. En mobilisant simultanément les éleveurs, les industriels, les chercheurs et les fournisseurs de technologies, elle démontre qu'il est possible de moderniser la collecte et la traçabilité du lait, d'élever les standards de qualité et de productivité tout en préservant le bien-être animal, et d'instaurer une gouvernance collaborative apte à absorber les chocs économiques ou climatiques.

À partir des résultats issus de la typologie des exploitations en matière de conduite et de fonctionnement, plusieurs constats significatifs peuvent être dégagés :

- **La prédominance d'un élevage de type « hors-sol »** est observée dans une proportion élevée des exploitations enquêtées. Cette tendance s'explique notamment par la faible productivité fourragère et le manque d'autonomie alimentaire, directement liés à la disponibilité limitée en ressources hydriques dans la zone d'étude.
- **Un recours excessif aux concentrés et à des fourrages de faible qualité** (paille, résidus grossiers) est largement répandu, conséquence directe de la rareté des ressources alimentaires et des conditions climatiques marquées par une sécheresse persistante.
- **Des pratiques de rationnement inadéquates**, non adaptées au profil de production laitière, ont été relevées. Ces pratiques se traduisent par une suralimentation énergétique, un déséquilibre entre les apports en énergie et en protéines, et des effets physiologiques délétères sur les vaches. Cela compromet à la fois la rentabilité des exploitations et la santé animale, d'autant plus dans un contexte de stress thermique important caractéristique des zones semi-arides.

L'analyse climatique conduite dans la région semi-aride de Ghriss révèle des épisodes de stress thermique significatifs : les indices THI atteignent 72,55 en avril, 77,32 en mai et 81,74 en juin, avant de franchir les seuils de stress sévère avec 84,21 en juillet, 85,49 en août et 82,02 en septembre. Ces conditions extrêmes se traduisent par une baisse de la production laitière journalière, une diminution des ingestions de matière sèche et d'eau, ainsi qu'une élévation de la température rectale des vaches. Les régressions établies confirment

l'influence directe du THI sur la performance de lactation, soulignant la vulnérabilité des troupeaux aux aléas climatiques.

L'évaluation de la réponse physiologique des vaches suivies dans la région de Ghriss révèle une variabilité de leur niveau de vulnérabilité face au stress thermique, mise en évidence par une augmentation notable des fréquences respiratoire et cardiaque lors des épisodes de forte chaleur. Ces indicateurs physiologiques traduisent les mécanismes de régulation mis en œuvre par les animaux pour faire face aux contraintes thermiques.

Parallèlement, l'évaluation des pratiques alimentaires met en évidence un rationnement déséquilibré : forte proportion de concentrés, suralimentation énergétique et déficit protéique, sans prise en compte des stades physiologiques ni des conditions d'ambiance. Cette inadéquation se répercute sur la qualité du lait. Les analyses physico-chimiques montrent un pH moyen de $6,73 \pm 0,02$, une acidité de $17,23 \pm 0,17$ °D, un taux butyreux de $31,29 \pm 0,64$ g l⁻¹, une densité de 1 029 kg m⁻³ et un extrait sec total de $114,6 \pm 1,07$ g l⁻¹. Concernant l'aspect microbiologie, les charges dépassent nettement les normes nationales : flore totale $1,38 \times 10^6$ UFC ml⁻¹, coliformes totaux $8,23 \times 10^4$ UFC ml⁻¹ et coliformes fécaux $2,18 \times 10^4$ UFC ml⁻¹. Ces écarts confirment la nécessité d'améliorer l'hygiène de traite, le stockage et la formation des acteurs tout au long de la chaîne.

Au regard du diagnostic établi, la vulnérabilité et la résilience des systèmes d'élevage bovin laitier en zone sèche, notamment dans la région de Mascara à l'ouest de l'Algérie, nécessitent la mise en œuvre de mesures adaptées visant à améliorer la capacité de thermorégulation des vaches laitières. Il est impératif de repenser l'aménagement des bâtiments d'élevage en tenant compte des exigences du confort thermique animal, notamment par le contrôle et l'optimisation des facteurs d'ambiance (ventilation, humidité, isolation, etc.) afin de favoriser une acclimatation progressive aux conditions climatiques semi-arides.

Par ailleurs, l'adaptation des rations alimentaires en période de stress thermique constitue un levier essentiel. Cela implique l'ajustement de la densité énergétique et protéique des aliments, l'incorporation de tampons et d'additifs nutritionnels, ainsi qu'une réduction de la proportion de fibres dans la ration, dans le but de limiter la production de chaleur métabolique issue des fermentations microbiennes digestives.

Enfin, dans une perspective de durabilité, le renouvellement du cheptel reproducteur devrait intégrer des critères de sélection axés sur la thermorésistance et l'adaptabilité des génisses aux conditions environnementales locales, afin de renforcer la résilience des troupeaux face aux aléas climatiques.

Pour répondre simultanément aux défis thermiques, sanitaires et économiques, la solution Heliobiotrack (HBT) a été conçue puis intégrée à l'application mobile « La vache connectée ». Alimenté par énergie solaire et muni de capteurs intelligents, le dispositif fournit en continu des données précises : température corporelle moyenne $37,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sigma = 0,28\text{ }^{\circ}\text{C}$) et fréquence cardiaque moyenne $52,91\text{ bpm}$ ($\sigma = 3,66\text{ bpm}$), avec un taux de fonctionnement de 95 % lors des essais pilotes. Fruit d'une démarche de co-innovation, le HBT constitue un outil décisionnel robuste pour anticiper le stress thermique, optimiser le bien-être animal et réduire les pertes de production.

En définitive, la combinaison d'un contrôle précis des conditions d'ambiance, d'une réforme du rationnement, du renforcement des protocoles d'hygiène et de l'adoption de technologies connectées telles que le HBT ouvre une voie tangible pour accroître la résilience, la productivité et la durabilité de la filière lait bovin dans les zones semi-arides d'Algérie. Les recherches à venir devront élargir les tests à un plus grand nombre d'étables et intégrer une évaluation techno-économique afin de mesurer l'impact global de ces innovations sur la compétitivité nationale et la sécurité alimentaire.

Références

Bibliographiques

Les Références Bibliographiques

- **Abdelli, A., Boudalia, S., & Benidir, M. (2021).** Characterization of dairy cattle feeding systems in Algeria: Impact on milk yield and reproductive performance. *Livestock Research for Rural Development*, 33(1).
<https://www.lrrd.org/lrrd33/1/abde33004.html>
- **Abdelli, R., Sadia, Y., Kaouche, S., & Benhacine, R. (2021).** État des lieux de la filière laitière en Algérie et perspectives de développement. *Algerian Journal of AridEnvironment*, 11(1), 4–14.
- **Abdoul-Latif, F. M., Somda, M. K., Fourreh, A. E., Okieh, A. A., Said, C. N., Mérito, A., & Yagi, S. (2017).** Evaluation of microbiological quality of raw milk from farmers and dairy producers in six districts of Djibouti. *Journal of Food Microbiology, Safety and Hygiene*, 2(124), 2–7.
- **Aggad, H., Mahouz, F., Ammar, Y. A., & Kihal, M. (2009).** Évaluation de la qualité hygiénique du lait dans l'Ouest algérien. *Revue Médicale Vétérinaire*, 160, 600 p.
- **Ahmed, M. M. M., & El Amin, A. I. (1997).** Effect of hot dry summer tropical climate on forage intake and milk yield in Holstein–Friesian and indigenous zebu cows in Sudan. *Journal of AridEnvironments*, 35(4), 737-746.
- **Aït Amer Meziane, L. (2008).** Aptitude des laits de chèvre et de brebis à la coagulation par des protéases d'origine avicole [Mémoire de magistère, École Nationale Supérieure Agronomique – Alger].
- **Alias, A. (1984).** Étude physico-chimique et microbiologique du lait cru de vache dans la région de Tizi-Ouzou [Mémoire de fin d'études, Institut National Agronomique, El Harrach].
- **Althaus, R. L., Torres, A., Montero, A., Balasch, S., & Molina, M. P. (2003).** Detection limits of antimicrobials in ewe milk by Delvotest photometric measurements. *Journal of Dairy Science*, 86(2), 457–463.
- **Angorra, F. M., Buioio, E., Calcante, A., Bassi, A., & Costa, A. (2024).** Internet of Things (IoT): Sensors application in dairy cattle farming. *Animals*, 14(21), 3071.
<https://doi.org/10.3390/ani14213071>

- **Aning, E. K. (2007).** Unintended consequences of peace operations for troop-contributing countries from West Africa: The case of Ghana. In C. Aoi, C. de Coning, & R. Thakur (Eds.), *Unintended consequences of peacekeeping operations* (pp. 133–155). Tokyo, New York, Paris: United Nations University Press.
- **Araba, A. (2006).** Étude de la qualité hygiénique et physico-chimique du lait cru de vache produit dans la région de Sétif [Mémoire de Magistère, Université Ferhat Abbas Sétif].
- **Araba, A. (2006).** L'alimentation de la vache laitière pour une meilleure qualité du lait : Comment augmenter les taux butyreux et protéique du lait (Bulletin mensuel d'information et de la liaison du PNTTA, n° 142). Transfert de technologie en agriculture. Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Pêches maritimes, Maroc.
- **Armstrong, D. V. (1994).** Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, 77(7), 2044–2050.
- **Attia, K., ben Souf, I., Darej, C., M'hamdi, N., Khattab, R., El-Akram Znaïdi, I., Khemiri, H., Kthiri, M., & Bouraoui, R. (2022).** Heat stress in the Tunisian Holstein dairy cow: effects on production performance. *JOURNAL OF OASIS AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, 4(Special), 174–184. <https://doi.org/10.56027/joasd.spiss232022>
- Auteur inconnu. (2025). *Smart dairy farming: Enhanced efficiency, productivity and animal welfare through the Internet of Things and cloud integration*. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 1. <https://doi.org/10.36899/japs.2025.1.0002>
- **Auma, S. and Badr, N. (2022).** Assessment of the impacts of climate change on livestock water sources and livestock production: case study, karamoja region of uganda. *World Water Policy*, 8(2), 180-200. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12086>
- **Baazize, D. (2006).** Évaluation de la qualité microbiologique du lait cru de vache de la région de Mitidja [Mémoire de magistère, Université de Blida].
- **Babinszky, L., Halas, V., & Verstegen, M. W. A. (2011).** Impacts of climate change on animal production and quality of animal food products. In J. Blanco & H. Kheradmand (Eds.), *Climate change – Socioeconomic effects* (pp. 165–190). InTech.
- **Barboucha, N., & Benaouda, A. (2021).** Évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique du lait cru de vache dans la région de Constantine [Mémoire de Master, Université Frères Mentouri – Constantine 1].

- **Baslimane, D. E. (2018).** L'effet épigénétique sur la production et reproduction des vaches laitières dans la région de Ghardaïa [Mémoire de Master, Université de Mostaganem]. Faculté SNV.
- **Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Rhoads, M. L., Gabler, N. K., Ross, J. W., et al. (2007).** Impact of climate change on livestock production. In V. Sejian, S. M. K. Naqvi, T. Ezeji, & J. Lakritz (Eds.), *Environmental stress and amelioration in livestock production* (pp. 413–468). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_15
- **Bedassa, A., Nahusenay, H., Asefa, Z., Sisay, T., Girmay, G., Kovac, J., ...& Zewdu, A. (2023).** Prevalence and associated risk factors for *Salmonella enterica* contamination of cow milk and cottage cheese in Ethiopia. *Food Safety and Risk*, 10(1), 2.
- **Bedde, M. (1994).** La qualité de l'eau d'abreuvement des animaux d'élevage et ses effets sur la santé et la production. Paris : Institut de l'Élevage.
- **Belhadia, M., Yakhlef, H., Bourbouze, A., & Djermoun, A. (2014).** Production et mise sur le marché du lait en Algérie, entre formel et informel : stratégies des éleveurs du périmètre irrigué du Haut-Cheliff. *New Medit*, 13(1), 41–49.
- **Bellil, K., & Boukrif, M. (2021).** Les réformes de la filière lait en Algérie : bilan et perspectives. *Les Cahiers du CREAD*, 37(2), 129–157.
- **Bellon-Maurel, V., & Huyghe, C. (2016).** L'innovation technologique dans l'agriculture. *Géoéconomie*, (80), 159–180.
- **Béraud, J. (2001).** *Le technicien d'analyses biologiques : guide théorique et pratique*. Tec & Doc Lavoisier.
- **Berghof, T. V. L., Poppe, M., & Mulder, H. A. (2019).** Opportunities to improve resilience in animal breeding programs. *Frontiers in Genetics*, 9, 692. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00692>
- **Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., & Rhoads, R. P. (2010).** Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167–1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>.
- **Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010).** Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167–1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>

- **Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010).** Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167–1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
- **Beroza, M., & Bowman, M. C. (1966).** Correlation of pesticide polarities with efficiencies of milk extraction procedures. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 49(5), 1007–1010.
- **Biggers, B. G., Geisert, R. D., Wettemann, R. P., & Buchanan, D. S. (1987).** Effect of heat stress on early embryonic development in the bovine. *Journal of Animal Science*, 65(6), 1512–1518. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6561512x>
- **Bolnot, D., & Quintard, P. (2004).** *Lait et produits laitiers : Filières, marchés et qualité*. Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier.
- **Bonmanova, J., Misztal, I., & Cole, J. B. (2007).** Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1947–1956. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>
- **Bonora, F., Benni, S., Barbaresi, A., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2018).** A cluster-graph model for herd characterisation in dairy farms equipped with an automatic milking system. *Biosystems Engineering*, 167, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.007>
- **Bony, J., Contamin, V., Gousseff, M., Metais, J., Tillard, E., Juanes, X., Decruyenaere, V., & Coulon, J.-B. (2005).** Facteurs de variation de la composition du lait à la Réunion. *INRA Productions Animales*, 18, 255–263.
- **Bony, S., Contamin, V., Gousseff, M., Metais, J., Tillard, E., Juanes, X., Decruyenaere, V., & Coulon, J.-B. (2005).** Impact du stress thermique sur la production laitière. *INRA Productions Animales*, 18(2), 123–130.
- **Boonkum, W., Misztal, I., Duangjinda, M., Pattarajinda, V., Tumwasorn, S., & Sanpote, J. (2011).** Genetic effects of heat stress on milk yield of Thai Holstein crossbreds. *Journal of Dairy Science*, 94(1), 487–492. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3225>
- **Botha, N., Klerkx, L., Small, B., & Turner, J. A. (2014).** Lessons on transdisciplinary research in co-innovation programmes in the New Zealand

- agricultural sector. *Outlook on Agriculture*, 43(3), 219–223.
<https://doi.org/10.5367/oa.2014.0175>
- **Boubekeur, A. (2010).** *Les dynamiques de l'écosystème commercial en Algérie : Acteurs, enjeux et perspectives*. Alger : Éditions de l'Université d'Alger.
 - **Bouchon, M., Thollon, N., Ledoux, D., & Sepchat, B. (2025).** Utilisation de capteurs commerciaux non invasifs pour le suivi quotidien des bovins laitiers en ferme expérimentale. *NOV'AE*, (Spécial 03), Article 9273.
<https://doi.org/10.20870/revue-novae.2025.9273>
 - **Bouraoui, R., Ben Salem, M., Rekik, B., & Jbira, H. (2002).** Impact du stress thermique sur les performances des vaches laitières de race Holstein au centre de la Tunisie. *Livestock Research for Rural Development*, 14(6).
<http://www.lrrd.org/lrrd14/6/bour146.htm>
 - **Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, M., & Belyea, R. (2002).** The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*, 51(6), 479–491.
<https://doi.org/10.1051/animres:2002036>
 - **Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, M., & Belyea, R. (2002).** The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*, 51(6), 479–491.
<https://doi.org/10.1051/animres:2002036>
 - **Bouزيد, A., & Bedrani, S. (2018, June).** Dépendance alimentaire et politiques agricoles : Le cas de l'Algérie. In *Colloque International sur les Politiques Agricoles et Alimentaires : Trajectoires et Réformes* (pp. 20–22).
 - **Bouزيد, A., Lazereg, M., & Bedrani, S. (2022).** Assessing technical efficiency and its determinants for dairy cattle farms in northern Algeria: The two-step DEA-Tobit approach. *Agriculture & Food Security*, 11(1), Article 9.
<https://doi.org/10.1186/s40066-022-00371-3>
 - **Bovo, M., Benni, S., Barbaresi, A., Santolini, E., Agrusti, M., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2020).** A smart monitoring system for a future smarter dairy farming. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)* (pp. 165–169). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/METROAGRIFOR50201.2020.9277547>

- **Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., Nienaber, J. A., Mader, T. L., Spiers, D. E., & Parkhurst, A. M. (2005).** Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *International Journal of Biometeorology*, 49(4), 285–296. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0240-5>
- **Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., & Hahn, G. L. (2005).** Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle—Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, 90(4), 451–462. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.003>
- **Brügemann, K., Gernand, E., von Borstel, U. U., & König, S. (2011).** Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature × humidity-dependent covariates. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 129(2), 138–148. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2011.00946.x>
- **Brügemann, K., Gernand, E., von Borstel, U. U., & König, S. (2012).** Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. *ArchivTierzucht*, 55(1), 13–24. <https://doi.org/10.5194/aab-55-13-2012>
- **Brulé, G., Jeantet, R., & Croguennec, T. (2008).** *Fondements physico-chimiques de la technologie laitière*. Rennes : Lavoisier.
- **Bun, C., Watanabe, Y., Uenoyama, Y., Inoue, N., Ieda, N., Matsuda, F., Tsukamura, H., Kuwahara, M., Maeda, K., Ohkura, S., & Pheng, V. (2018).** Evaluation of heat stress response in crossbred dairy cows under tropical climate by analysis of heart rate variability. *Journal of Veterinary Medical Science*, 80(1), 181–185. <https://doi.org/10.1292/jvms.17-0368>
- **Cabell, J. F., & Oelofse, M. (2012).** An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1), Article 18. <https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- **CAPILLON, A. (1985).** Connaitre la diversité des exploitations : un préalable à la recherche des références techniques régionales Agriscope. 6. 31-40-93p.
- **Charatsari, C., Lioutas, E. D., & De Rosa, M. (2022).** Do agricultural knowledge and innovation systems have the capacity to support digitalization? A new framework. *Agricultural Systems*, 195, 103283. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103283>

- **Chatellier, V., & Dupraz, P. (2019).** Les performances économiques de l'élevage européen : de la « compétitivité coût » à la « compétitivité hors coût ». *INRAE Productions Animales*, 32(2), 171–188. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2479>
- **Chye, F., Abdullah, A., & Ayob, M. (2004).** Bacteriological quality and safety of raw milk in Malaysia. *Food Microbiology*, 21, 535–541.
- **Cicogna, M., Boni, P., Frigo, T., & Caivano, D. (2022).** Base-apex electrocardiographic examination in healthy cows of Chianina breed. *Open Veterinary Journal*, 12(6), 951–955. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2022.v12.i6.22>
- **Cincovid, M. R., & Belid, B. (2009).** Uticaj termalnog stresakravanakoličinuikvalitetproizvedenog mleka. *Veterinarski žurnal Republike Srpske*, 9(1), 53–56.
- **Colditz, I. G., & Hine, B. C. (2016).** Resilience in farm animals: biology, management, breeding and implications for animal welfare. *Animal Production Science*, 56(12), 1961–1983. <https://doi.org/10.1071/AN15297>
- **Conseil de l'Union européenne. (1996).** Directive 96/23/CE concernant la performance des méthodes analytiques et l'interprétation des résultats. *Journal officiel des Communautés européennes*, L221, 8–36.
- **Corazzin, M., Saccà, E., Lippe, G., Romanzin, A., Foletto, V., Borso, F., & Piasentier, E. (2020).** Effect of heat stress on dairy cow performance and on expression of protein metabolism genes in mammary cells. *Animals*, 10(11), 2124. <https://doi.org/10.3390/ani10112124>
- **Coulon, J.-B. (2005).** L'alimentation des vaches laitières et ses effets sur la composition du lait. *INRA Productions Animales*, 18(2), 99–108.
- **Coulon, J.-B., Chilliard, Y., & Rémond, B. (1991).** Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques. *INRAE Productions Animales*, 4(3), 219–228. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1991.4.3.4336>
- **Coulon, J.-B., Rémond, B., & Vérité, R. (1991).** Effect of heat stress on milk yield and composition. *Annales de Zootechnie*, 40(1), 47–63.
- **Dairy Australia. (2016).** Heat load in dairy cows. Dairy Australia.
- **Dairy Australia. (2016).** The Australian dairy industry: At a glance 2016. Melbourne, Australie : Dairy Australia Ltd.

- **Daoudi, A., & Bouzid, A. (2020).** La sécurité alimentaire de l'Algérie à l'épreuve de la pandémie de la COVID-19. *Les Cahiers du CREAD*, 36(3), 185–207.
- **Daoudi, F., & Bouzid, A. (2020).** Analyse de la consommation des produits laitiers en Algérie : enjeux nutritionnels et perspectives de développement. *Revue Économie et Développement Durable*, 12(1), 45–60.
- **Darnhofer, I., Fairweather, J., & Moller, H. (2010).** Assessing a farm's sustainability: Insights from resilience thinking. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(3), 186–198.
- **Deb, R., Sajjanar, B., Singh, U., Kumar, S., Singh, R., Sengar, G., & Sharma, A. (2015).** Effect of heat stress on the expression profile of HSP genes in cattle and buffalo: A review. *Veterinary World*, 8(6), 738–744. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.738-744>
- **Debry, G. (2001).** *Le lait : Composition et valeur nutritionnelle*. Paris : Éditions Tec & Doc.
- **Demarquilly, C. (1981).** *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants : Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages*. Versailles : INRA.
- **Demmad, A. (2021).** Développement de la filière lait : Contraintes et perspectives. *El Moudjahid, Économie*, (17293).
- **Demmad, A. (2021).** Diversité des systèmes d'élevage bovin laitier et performances animales en région semi-aride : cas de la région de Sétif [Mémoire de fin d'études, Université Ferhat Abbas Sétif 1].
- **Dikmen, S., Wang, X. Z., Ortega, M. S., Cole, J. B., Null, D. J., & Hansen, P. J. (2013).** Single nucleotide polymorphisms associated with thermoregulation in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 2194–2202. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5944>
- **Dogliotti, S., García, M., Peluffo, S., Dieste, J. P., Pedemonte, A. J., Bacigalupe, G., ...& Rossing, W. A. H. (2014).** o-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems*, 126, 76–86.
- **Dong, Y., Zhang, Y., & Li, X. (2016).** Impact of heat stress on milk production and cow comfort in dairy farms. *Animal Science Journal*, 87(6), 755–760. <https://doi.org/10.1111/asj.12480>
- **Elsayed, A., Mohamed, M., Smarandache, F., & Voskoglou, M. (2024).** Automated livestock practices: Incorporation of emerging contemporary

- technologies toward sustainable livestock in the era of smart cities. *PrecisionLivestock*, 1, 27–40. <https://doi.org/10.61356/j.pl.2024.1207>
- **Elysée, G. G., N'Djamena, C., Doutoum, A. A., Ousmane, A. H., Doungous, D. M., Mbaigolmem, V. B., & Tidjani, A. (2023).** Microbiological and Physicochemical Quality of Raw Milk Marketed in the City of Pala in Chad.
 - **European Food Safety Authority (EFSA), & European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). (2023).** The European Union Summary Report on Antimicrobial Resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2020/2021. *EFSA Journal*, 21(3), e07867.
 - **European Food Safety Authority (EFSA). (2018).** Antimicrobial resistance: A review of the impact of antimicrobial resistance on food safety and public health. *EFSA Journal*, 16(4), 10–22.
 - **Falta, D., Ježková, A., & Vacek, M. (2008).** Evaluation of thermal comfort of dairy cows using temperature-humidity index under Central European conditions. *Research in Agricultural Engineering*, 54(2), 66–72.
 - **Falta, D., Knížková, I., Kunc, P., & Kovařík, V. (2008).** Monitoring of microclimate in livestock housing. *Research in Agricultural Engineering*, 54(2), 70–78.
 - **Fayer, B., & Loiseau, G. (2002).** Sources de contamination dans les filières laitières et exemples de démarches qualité. In *Actes de l'Atelier international de la gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement* (pp. 11–13). Montpellier, France.
 - **Fernane, H. (2017).** Étude des bactéries thermorésistantes dans le lait [Thèse de doctorat, Université Mustapha Stambouli de Mascara].
 - **Fredot, E. (2006).** Connaissance des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique (Vol. 25). Tec & Doc, Lavoisier.
 - **Fuquay, J. W. (1981).** Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science*, 52(1), 164–174.
 - **JOUE; PH, (1986).** Approche systémique et recherché développement en agriculture. Quelques définitions et commentaires. Séminaire national sur la liaison-Recherche-développement Vulgarisation-Bamako-du 27 au 31-oct-1986.
 -

- **Gantner, V., Mičić, P., Kuterovac, K., Šolić, D., & Gantner, R. (2011).** Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. *Mljekarstvo*, 61(1), 56–63.
- **Gaucher, D., Therrien, R., Kettaf, N., Angermann, B. R., Boucher, G., Filali-Mouhim, A., ...&Sekaly, R. P. (2008).** Yellow fever vaccine induces integrated multilineage and polyfunctional immune responses. *The Journal of Experimental Medicine*, 205(13), 3119–3131.
- **Ghazi, K., &Niar, A. (2010).** Qualité hygiénique du lait cru de vache dans les différents élevages de la wilaya de Tiaret (Algérie). Institut des Sciences Vétérinaires, Université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- **Ghazi, K., &Niar, A. (2011).** Qualité hygiénique du lait cru de vache dans les différents élevages de la Wilaya de Tiaret (Algérie). *Revue Méd. Vét.*, 29, 193–196.
- **Gonzalez Pereyra, A. V., Maldonado May, V., Catracchia, C. G., Herrero, M. A., Flores, M., & Mazzini, M. (2010).** Influence of water temperature and heat stress on drinking water intake in dairy cows. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(2), 328–336. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000200017>
- **Goran, M., Popović, S., Radivojević, M., Jovanović, R., &Ikonić, P. (2019).** Impact of heat stress on dairy cattle in the Mediterranean region: A review. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 35(3), 293–305. <https://doi.org/10.2298/BAH1903293G>
- **Gross, J. J., &Bruckmaier, R. M. (2019).** Metabolic challenges in lactating dairy cows and their assessment via established and novel indicators in milk. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 2828–2835. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15326>
- **Gross, J. J., &Bruckmaier, R. M. (2019).** Metabolic challenges in lactating dairy cows and their assessment via established and novel indicators in milk. *Animal*, 13(S1), S65–S74. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003474>
- **Guiraud, J. P. (1988).** Analyse du lait : Microbiologie alimentaire. Paris : Dunod.
- **Guiraud, J. P. (2003).** Microbiologie alimentaire (2^e éd.). Paris : Dunod.
- **Hanslow, K., Gunasekera, D., Cullen, B., & Newth, D. (2014).** Economic impacts of climate change on the Australian dairy sector. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 58(1), 60–77. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12021>
- **Hanzen, C., Delhez, P., Hornick, J., Lessire, F., &Gherissi, D. (2024).** Le stress thermique environnemental dans l'espèce bovine : 2. Effets physiologiques,

- pathologiques, comportementaux, alimentaires, immunitaires et sur la production laitière. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 77, 1–13. <https://doi.org/10.19182/remvt.37380>
- **Hashem, N., Martínez-Ros, P., González-Bulnes, A., & El-Raghi, A. (2023).** Case studies on impacts of climate change on smallholder livestock production in Egypt and Spain. *Sustainability*, 15(18), 13975. <https://doi.org/10.3390/su151813975>
 - **Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., & Boubellouta, T. (2023).** From Food Industry 4.0 to Food Industry 5.0: Identifying research trends and future directions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70040>
 - **Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009).** The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>
 - **Hoden, A., & Coulon, J.-B. (1991).** Maîtrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques. *INRAE Productions Animales*, 4(5), 361–367. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1991.4.5.4349>
 - **Holter, J. B., West, J. W., & McDowell, R. E. (1997).** Thermal balance in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science*, 48(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(96\)01491-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(96)01491-1)
 - **Holter, J. B., West, J. W., & McGilliard, M. L. (1997).** Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 80(9), 2188–2199. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76167-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76167-8)
 - **Hosseini-Zadeh, N. G., & Ardalan, M. (2013).** Estimation of genetic parameters for lactation curve traits in Iranian Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4477–4487. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6112>
 - **Hosseini-Zadeh, N. G., Mohit, A., & Azad, N. (2013).** Effect of temperature-humidity index on productive and reproductive performances of Iranian Holstein cows. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 14(2), 106–112.
 - **Hu, T., Zhang, J., Zhang, X., Chen, Y., Zhang, R., & Guo, K. (2023).** The development of smart dairy farm system and its application in nutritional grouping and mastitis prediction. *Animals*, 13(5), 804. <https://doi.org/10.3390/ani13050804>

- **Hut, P. R., Scheurwater, J., Nielen, M., van den Broek, J., & Hostens, M. M. (2022).** Heat stress in a temperate climate led to adapted sensor-based behavioral patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 6909–6922. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21377>
- **Indarjulianto, S., Nururrozi, A., Datrianto, D. S., Fen, T. Y., Priyo Jr, T. W., & Setyawan, E. M. N. (2022).** Physiology value of breath, pulse and body temperature of cattle. *BIO Web of Conferences*, 49, 01007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224901007>
- **International Organization for Standardization. (2007).** *ISO 7218:2007. Microbiology of food and animal feeding stuffs — General requirements and guidance for microbiological examinations.*
- **International Organization for Standardization. (2017).** *ISO 21528-2:2017. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae — Part 2: Colony-count technique.*
- **International Organization for Standardization. (2017).** *ISO 6579-1:2017. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella — Part 1: Detection of Salmonella spp.*
- **International Organization for Standardization. (2020).** *ISO 6887-5:2020. Microbiology of the food chain — Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination — Part 5: Specific rules for the preparation of milk and milk products.*
- **International Organization for Standardization. (2021).** *ISO 6888-1:2021. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (Staphylococcus aureus and other species) — Part 1: Technique using Baird-Parker agar medium.*
- **Iordanis, P., Smith, J., & O'Connor, L. (2024).** The contribution of innovation to farm-level productivity. *Journal of Productivity Analysis*, 62(2), 123–145. <https://doi.org/10.1007/s11123-024-00728-0>
- **Irmawanti, S., Luthfi, M., & Prihandini, P. W. (2022).** Physiological responses of several beef cattle breeds based on environmental conditions in Beef Cattle Research Station. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1114(1), 012079. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1114/1/012079>
- **Jarrige, R. (Éd.). (1988).** *Alimentation des bovins, ovins et caprins.* Paris : INRA.

- **Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2007).***Sciences des aliments. Tome 2 : Technologie des produits alimentaires.* Paris : Lavoisier.
- **Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2007).***Sciences des aliments : Biochimie, microbiologie, procédés, produits* (457 p.). Paris : Lavoisier.
- **Jeantet, R., et al. (2008).***Technologie du lait : Transformation du lait.* Paris : Lavoisier.
- **Joffin, C., & Joffin, J. N. (1999).** Microbiologie alimentaire (5^e éd.). Centre régional de documentation pédagogique (CRDP) d'Aquitaine.
- **Johnson, H. D. (1985).** Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. *International Journal of Biometeorology*, 29(1), 65–75. <https://doi.org/10.1007/BF02188953>
- **Johnson, H. D., Ragsdale, A. C., Berry, I. L., & Shanklin, M. D. (1963).** Effects of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle (Research Bulletin No. 826). University of Missouri.
- **Johnson, H. D., Shanklin, M. D., & Hahn, L. (1989).** Productive adaptability indices of Holstein cattle to environmental heat. *Proceedings of Agriculture and Forest and Meteorology Conference*, 291–297.
- **Joly, P.-B., Gaunand, A., Lemarié, S., Matt, M., & Nefedova, T. (2013).***Les régimes d'innovation : Une grille d'analyse des dynamiques d'innovation.* Grenoble : Éditions de l'INRA.
- **Jonker, J. S., Cherney, D. J. R., Fox, D. G., Chase, L. E., & Cherney, J. H. (2002).** Orchardgrass versus alfalfa for lactating dairy cattle: Production, digestibility and nitrogen balance. *Journal of Applied Animal Research*, 21(1), 81–92. <https://doi.org/10.1080/09712119.2002.9706499>
- **JORADP N° 16 (1993)** Arrête interministériel du 18 août 1993 relatif aux spécifications et à la présentation de certains laits de consommation (JORADP N° 16, 1993).
- **JORADP. (2014).** Arrêté du 28 Rajab 1435 correspondant au 28 mai 2014 rendant obligatoire la méthode de préparation des échantillons, de la suspension mère et des dilutions décimales en vue de l'examen microbiologique (N°38).
- **JORADP. (2017).** Arrêté interministériel du 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires (N°39).

- **Kabir, A. (2015).** *Contraintes de la production laitière en Algérie et évaluation de la qualité du lait dans l'industrie laitière (constat et perspective)* (Thèse de doctorat). Université Ahmed Ben Bella, Oran.
- **Kaouch, R., Boudalia, S., & Benidir, M. (2015).** Impact du stress thermique sur les critères de qualité du lait cru de vaches Holsteins en zone semi-aride de l'Ouest algérien. *Livestock Research for Rural Development*, 27(5).
- **Kaouche-Adjlane, S. (2018).** Étude des paramètres de reproduction et de lactation dans les élevages laitiers en Algérie. *Revue des Sciences Agricoles*, 5(1), 45–52.
- **Kaouche-Adjlane, S. (2018).** Evaluation of the hygienic quality of raw milk at different levels of the dairy chain. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 2(4), 349–358. <https://doi.org/10.29329/ijiaar.2018.174.8>
- **Kaouche-Adjlane, S. (2019).** Étude de la filière laitière en Algérie : État des lieux et perspectives. *Revue des Sciences Agricoles*, 6(2), 100–110.
- **Kaouche-Adjlane, S. (2019).** Facteurs de variation qualitative et quantitative de la production laitière. *Revue Agriculture*, 10(1), 43–54. <http://revue-agro.univ-setif.dz/>
- **Kaouche-Adjlane, S., & Mati, A. (2017).** Effets des pratiques d'élevage sur la variation de la qualité hygiénique et nutritionnelle du lait cru dans la région médio-septentrionale d'Algérie. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 168(7–9), 151–163.
- **Kaouche-Adjlane, S., & Mati, A. (2017).** Effets des pratiques d'élevage sur la qualité du lait cru en Algérie. *Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 2(4), 349–358.
- **Kaouche-Adjlane, S., Benhacine, R., Ghozlane, F., & Mati, A. (2014).** Nutritional and hygienic quality of raw milk in the mid-northern region of Algeria: Correlations and risk factors. *The Scientific World Journal*, Article ID 131593, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/131593>
- **Kaouche-Adjlane, S., Ghozlane, F., & Mati, A. (2015).** Typology of dairy farming systems in the Mediterranean basin (case of Algeria). *Biotechnology in Animal Husbandry*, 31(3), 385–396. <https://doi.org/10.2298/BAH1503385K>
- **Karl, F., & Raboisson, D. (2021).** Stress thermique chez les bovins : bases physiopathologiques. *Le Nouveau Praticien Vétérinaire Élevages & Santé*, 13(50), 13–21. <https://doi.org/10.1051/npvelsa/50013>

- **Kathiriya, J. B. (2024).** Good hygienic practices of dairy equipment during milk production and processing in the milk plant. In *The Microbiology, Pathogenesis and Zoonosis of Milk Borne Diseases* (pp. 29-49). Academic Press.
- **Kettele, R., & Lechner, M. (2024).** Fostering sustainable transition in dairy systems: The role of co-innovation platforms. *Agricultural Systems*, 213, 103604. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103604>
- **Khaber, F. Z. N., & Haouach, M. (2017).** Suivi de la qualité du lait cru à la réception dans trois grandes laiteries de l'Ouest algérien [Mémoire de Master, Université de Mostaganem]. Département de Biologie.
- **Kilelu, C., Klerkx, L., & Leeuwis, C. (2013).** Unravelling the role of innovation platforms in supporting co-evolution of innovation: Contributions and tensions in a smallholder dairy development programme. *Agricultural Systems*, 118, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.03.003>
- **Kim, D., Lee, H., & Park, J. (2021).** Effects of different housing systems on the welfare of dairy cows: A review. *Journal of Dairy Science*, 104(5), 5643–5655. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19000>
- **Kim, E., Joo, S., Kim, D., Gu, B., Park, D., Atikur, R., ...& Kim, M. (2020).** Common and differential dynamics of the function of peripheral blood mononuclear cells between Holstein and Jersey cows in heat-stress environment. *Animals*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.3390/ani11010019>
- **Kim, W.-S., Lee, J.-S., Jeon, S. W., Peng, D. Q., Kim, Y.-S., Bae, M. H., Jo, Y. H., & Lee, H.-G. (2017).** Correlation between blood, physiological and behavioral parameters in beef calves under heat stress. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(6), 919–925. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0545>
- **King, V. L., Denise, S. K., Armstrong, D. V., Torabi, M., & Wiersma, F. (1988).** Effects of a hot climate on the performance of first lactation Holstein cows grouped by coat color. *Journal of Dairy Science*, 71, 1093–1096. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79657-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79657-5)
- **Klerkx, L., & Nettle, R. (2013).** Achievements and challenges of innovation co-production support initiatives in the Australian and Dutch dairy sectors: A comparative study. *Food Policy*, 40, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.02.004>

- **Klerkx, L., van Mierlo, B., & Leeuwis, C. (2017).** Evolution of systems approaches to agricultural innovation: Concepts, analysis and interventions. In G. Lemaire, P. A. Tittonell, U. E. Schlecht, & A. F. Groot (Eds.), *Agroecological transitions: From theory to practice in local participatory design* (pp. 45–58). Springer.
- **Koga, A., Sugiyama, M., Del Barrio, A. N., Lapitan, R. M., Arenda, B. R., Robles, A. Y., Cruz, L. C., & Kanai, Y. (2004).** *Comparison of the thermoregulatory response of buffaloes and tropical cattle, using fluctuations in rectal temperature, skin temperature and haematocrit as an index.* **The Journal of Agricultural Science**, 142(3), 351–355. <https://doi.org/10.1017/S0021859604004216>
- **Koloszycz, E. (2020).** The impact of climate change on farm production. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 64(6), 115–126. <https://doi.org/10.15611/pn.2020.6.09>
- **Kouamé-Sina, S. M., Bassa, A., Dadié, A., Makita, K., Grace, D., Dje, M., & Bonfoh, B. (2010).** Analyse des risques microbiens du lait cru local à Abidjan (Côte d’Ivoire). *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales*, 8(Supplément 4).
- **Labioui, H., Laarousi, E., Benzakour, A., El Yachoui, M., Berny, E., & Ouhssine, M. (2009).** Étude physico-chimique et microbiologique de laits crus. *Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux*, 148, 1–10.
- **Läpple, D., & Thorne, F. (2019).** The role of innovation in farm economic sustainability: Generalised propensity score evidence from Irish dairy farms. *Journal of Agricultural Economics*, 70(1), 178–197. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12282>
- **Larpent, I. P. (1997).** *Microbiologie alimentaire : Techniques de laboratoire* (296 p.). Paris : Tec & Doc Lavoisier.
- **Lemke, M. D., Abate, A. N., & Woodson, J. D. (2024).** Investigating the mechanism of chloroplast singlet oxygen signaling in the *Arabidopsis thaliana* accelerated cell death 2 mutant. *Plant Cell*, 36(3), 456–470. <https://doi.org/10.1093/plantcell/koac123>
- **Li, M., Cheng, J., Shi, B., Yang, H., Zheng, N., & Wang, J. (2015).** Effects of heat stress on serum insulin, adipokines, AMP-activated protein kinase, and heat shock

- signal molecules in dairycows. *Journal of Zhejiang University Science B*, 16(6), 541-548. <https://doi.org/10.1631/jzus.b1400341>
- **Luquet, F. M. (1972).** Résidus de pesticides organochlorés dans le lait et les produits laitiers : bilan 1969–70–71. *Revue Laitière Française*, 90 p.
 - **Luquet, F. M. (1985).** Laites et produits laitiers : Vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits de la mamelle à la laiterie. Société Scientifique d'Hygiène Alimentaire. Éditions : Technologie et Documentation – Lavoisier.
 - **Madani, T., & Far, Z. (2002).** Performances des races bovines importées en milieux semi-arides. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 55(3), 185–190.
 - **Madani, T., & Mouffok, C. (2008).** Évaluation des performances de reproduction et de production laitière chez les vaches Frisonnes en Algérie. *LivestockResearch for Rural Development*, 20(6).
 - **Mader, T. L., Davis, M. S., & Gaughan, J. B. (2006).** Effect of mean and fluctuating temperature on feed intake and performance of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84(4), 934–944. <https://doi.org/10.2527/2006.844934x>
 - **Mader, T. L., Davis, M. S., & Gaughan, J. B. (2006).** Effect of mean and fluctuating temperature on feed intake and performance of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84(4), 934–944. <https://doi.org/10.2527/2006.844934x>
 - **Magdub, A., Johnson, H. D., & Belyea, R. L. (1982).** Effect of environmental heat and dietary fibre on thyroid physiology of lactating cows. *International Journal of Biometeorology*, 25, 2323–2329.
 - **Magdub, A., Johnson, H. D., & Belyea, R. L. (1982).** Effect of environmental heat stress on performance of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 65(1), 92–97. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82164-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82164-2)
 - **Magdub, A., Johnson, H. D., & Belyea, R. L. (1982).** Effect of environmental heat stress on thyroid hormone and aldosterone levels in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*.
 - **Mahieu, M., et al. (1977).** Influence de la température ambiante sur la production laitière des vaches en climat tropical. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 30(4), 423–430.
 - **Maillard, M.-N., Berset, C., & Cuvelier, M.-E. (2005).** Antioxidant activity of Maillard reaction products: A review. *Food Reviews International*, 21(4), 379–397.

- **Makhlouf, M. (2015).** *Performance de la filière laitière locale par le renforcement de la coordination contractuelle entre les acteurs : Cas de la Wilaya de Tizi-Ouzou – Algérie* (Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 345 p.).
- **Makhlouf, M., & Montaigne, E. (2016).** L'impact de la nouvelle politique laitière sur la performance globale de la filière lait en Algérie. *Colloque SFER – Libéralisation des marchés laitiers*, Clermont-Ferrand, France, 9–10.
- **Makhlouf, M., Montaigne, E., & Tessa, A. (2015).** La politique laitière algérienne : Entre sécurité alimentaire et soutien différentiel de la consommation. *New Medit*, 14(1), 25–33.
- **Mamine, F., Fares, M. H., Duteurtre, G., & Madani, T. (2021).** Régulation du secteur laitier en Algérie entre sécurité alimentaire et développement d'une production locale : Synthèse. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 74(2), 73–81.
- **Mamine, F., Mouffok, C., & Madani, T. (2021).** Analyse comparative des performances des races locales et importées en élevage laitier dans les zones arides d'Algérie. *Cahiers Agricultures*, 30(1), 12.
- **Manikandababu, C. S., Prakash, P. S., Vaishnavi, V. K., & Siddharth, S. (2024).** Empowering dairy farmers: IoT milk quality monitoring devices. *Proceedings of the 2024 International Conference on Advances in Computing, Communication and Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1109/accai61061.2024.10602406>
- **Mannani, M., Ariri, N., & Bitar, A. (2023).** Microbiological and physicochemical quality of raw milk of Beni Mellal-Khenifra. *RocznikiPaństwowegoZakładu Higieny*, 74(3).
- **Mansour, L. M. (2015).** Étude de l'influence des pratiques d'élevage sur la qualité du lait : Effet de l'alimentation [Thèse de doctorat en sciences, Université Ferhat Abbas Sétif 1].
- **Marai, I. F. M., Bahgat, L. B., Shalaby, T. H., & Abdel-Hafez, M. A. (2000).** Fattening performance, some behavioral traits and physiological reactions of male lambs fed concentrates mixture alone with or without natural clay under hot summer of Egypt. *Annals of Arid Zone*, 39, 449–460.
- **Marchin, S. (2007).** *Dynamique de la micelle de caséines : caractérisation structurale* [Thèse de doctorat, INRA/Agrocampus]. Rennes.

- **Marmet, R. (1983).** Méthodes d'évaluation des performances laitières : correction des rendements laitiers. INRA, Jouy-en-Josas.
- **Mathieu, J. (1998).** *Initiation à la physicochimie du lait*. Paris : Lavoisier, Tec & Doc.
- **Mengstu, B., Tola, A., Nahusenay, H., Sisay, T., Kovac, J., Vipham, J., & Zewdu, A. (2023).** Evaluation of microbial hygiene indicators in raw milk, pasteurised milk and cottage cheese collected across the dairy value chain in Ethiopia. *International Dairy Journal*, 136, 105487
- **Messaoud, A., Benali, H., & Toumi, L. (2024).** *Analyse de l'évolution des effectifs bovins en Algérie : Tendances et perspectives*. Institut National de la Statistique Agricole.
- **Meyer, C. (2009).** Les variations saisonnières de la reproduction des bovins domestiques en zones tropicales : Synthèse. Montpellier : CIRAD, 26 p.
- **Mhapsekar, R. U., et al. (2024).** Hybrid blended deep learning approach for milk quality analysis. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/378810838_Hybrid_Blended_Deep_Learning_Approach_for_Milk_Quality_Analysis
- **Michell, M. (2005).** Détection des résidus d'antibiotiques dans le lait de chèvre. *Laboratoire des résidus médicamenteux, Université de Guelph / Programme de salubrité des produits laitiers, MAAARO*.
- **Minh, T. T., Bregt, A. K., van Horne, P., & van Paassen, A. (2014).** Interactive design of agro-innovation: A case study in Vietnam. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 70, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2014.05.004>
- **Misztal, I. (1999).** Genetic components of heat stress in dairy cattle: Parameter estimation. *Proceedings of the Interbull Meeting*, 5–8.
- **Mohamed, M. E., & Johnson, H. D. (1985).** Effect of growth hormone on milk yields and related physiological functions of Holstein cows exposed to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 68(5), 1123–1133.
- **Mohamed, R. A., & Johnson, H. D. (1985).** Effect of heat stress on dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 68(1), 78–85.

- **Mohan, M. S., O’Callaghan, T. F., Kelly, P., & Hogan, S. A. (2021).** Milk fat: opportunities, challenges and innovation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2411-2443.
- **Molee, A., Bundasak, B., Petladda, K., & Plern, M. (2011).** Suitable percentage of Holstein in crossbred dairy cattle in climate change situation. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(7), 828–831.
- **Moore, C. E., Kay, J. K., Collier, R. J., VanBaale, M. J., & Baumgard, L. H. (2005).** Effect of supplemental conjugated linoleic acids on heat-stressed Brown Swiss and Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 88(5), 1732–1740.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72845-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72845-3)
- **Morales-Piñeyrúa, J. T., Damián, J. P., Banchemo, G., & Sant Anna, A. C. (2022).** Short Communication: The effects of heat stress on milk production and the grazing behavior of dairy Holstein cows milked by an automatic milking system. *Journal of Animal Science*, 100(9). <https://doi.org/10.1093/jas/skac225>
- **Muller, C. J. C., Botha, J. A., & Smith, W. A. (1994).** Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa: I. Feed and water intake, milk production and milk composition. *South African Journal of Animal Science*, 24(1), 49–55.
- **Muller, C. J. C., Botha, J. A., & Smith, W. A. (1994).** Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. *South African Journal of Animal Science*, 24(2), 57–60.
- **Nagahara, M., Tatemoto, S., Ito, T., Fujimoto, O., Ono, T., Taniguchi, M., Takagi, M., & Otoi, T. (2024).** Designing a diagnostic method to predict the optimal artificial insemination timing in cows using artificial intelligence. *Frontiers in Animal Science*. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1399434>
- **Neya, B., Sanon, O., Konfe, S., & Bougouma, M. (2023).** Effet du fourrage de cultures de variétés améliorées à double objectif sur la production et la qualité du lait de bovin en zone sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(3), 806–821. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i3.5>
- **NF EN ISO 4833-1. (2013).** Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes – Technique de comptage des colonies à 30 °C par la technique d’ensemencement en profondeur.

- **NRC (National Research Council). (1971).***A guide to environmental research on animals*. Washington, DC : National Academy of Sciences.
- **OACC (Organic Agriculture Centre of Canada). (2014).***Animal welfare on organic farms fact sheet series: Heat stress in ruminants*. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (OMAFRA).
- **Oliveira, F., Ferraz, G., André, A., Santana, L., Norton, T., & Ferraz, P. (2024).**Digital and precision technologies in dairy cattle farming: A bibliometric analysis. *Animals*, 14(12), 1832. <https://doi.org/10.3390/ani14121832>
- **Olsson, K., Hansson, K., Hydbring, E., Walter, L., & Häggström, J. (2001).** A serial study of heart function during pregnancy, lactation and the dry period in dairy goats using echocardiography. *Experimental Physiology*, 86(1), 93–99. <https://doi.org/10.1113/eph8602078>
- **Oltenacu, P. A., & Broom, D. M. (2010).** The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Animal Welfare*, 19(S), 39–49.
- **Ominski, K. H., Kennedy, A. D., Wittenberg, K. M., & Moshtaghi Nia, S. A. (2002).** Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*, 85(4), 730–737. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74130-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74130-1)
- **Organic Agriculture Centre of Canada (OACC). (2014).***Animal welfare on organic farms: Heat stress in ruminants* (Fact sheet). Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (OMAFRA), Agriculture and Agri-Food Canada.
- **Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2005).***Agricultural policies in OECD countries 2005: Monitoring and evaluation*. Paris : OCDE Publishing. https://doi.org/10.1787/agr_pol-2005-en
- **Organji, S. R., Abulreesh, H. H., Elbanna, K., Osman, G. E., & Almalki, M. H. (2018).** Diversity and characterization of *Staphylococcus* spp. in food and dairy products: a foodstuff safety assessment. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(6), 586.
- **Prasad, R., Dean, M., & Alungo, B. (2022).** Climate change impacts on livestock production and possible adaptation and mitigation strategies in developing countries: a review. *Journal of Agricultural Science*, 14(3), 240. <https://doi.org/10.5539/jas.v14n3p240>

- **Parikoglou, I., Emvalomatis, G., Läßle, D., Thorne, F., & Wallace, M. (2024).** The contribution of innovation to farm-level productivity. *Journal of Productivity Analysis*. <https://doi.org/10.1007/s11123-024-00728-0>
- **Pennington, J. A., & Devender, K. V. (2011).** *Heat stress in dairy cattle* (FSA3040-PD-1-06RV). University of Arkansas Cooperative Extension Service. <http://www.uaex.edu/>
- **Perdomo Reyes, A. M. (2023).** Microbial Exploration in a Dairy Operation; Staphylococcus aureus and other Microbial Communities Through a One Health Lens.
- **Petrovski, K., Trajcev, M., & Buneski, G. (2006).** A review of the factors affecting the costs of bovine mastitis. *Journal of the South African Veterinary Association*, 77(2), 52–60.
- **Pougheon, S. I. A. (2001).** *Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et leurs conséquences en technologies laitières* [Thèse de doctorat, établissement non précisé].
- **Preez, J. H., Giesecke, W. H., Hattingh, P. J., & Eisenberg, B. E. (1990).** Heat stress in dairy cattle under southern African conditions. II. Observed true and predicted temperature-humidity index values. *Journal of Dairy Science*.
- **Ravagnolo, O., & Misztal, I. (2000).** Genetic component of heat stress in dairy cattle: Parameter estimation. *Journal of Dairy Science*, 83(9), 2126–2130. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75095-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75095-8)
- **Rejeb, M., Sadraoui, R., Najar, T., & Ben Mrad, M. (2016).** A complex interrelationship between rectal temperature and dairy cows' performance under heat stress conditions. *Open Journal of Animal Sciences*, 6(1), 24–30. <https://doi.org/10.4236/ojas.2016.61004>
- **Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Collier, R. J., Sanders, S. R., Weber, W. J., ... & Baumgard, L. H. (2009).** Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 1986–1997. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1641>
- **Rosen, J. E. (2003).** The effects of heat stress on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144.

- **Roux, D. J., Rogers, K. H., Biggs, H. C., Ashton, P. J., & Sergeant, A. (2010).** Bridging the science–management divide: Moving from unidirectional knowledge transfer to knowledge interfacing and sharing. *Ecology and Society*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.5751/ES-03116-150404>
- **Rushen, J., de Passillé, A. M., von Keyserlingk, M. A. G., & Weary, D. M. (2008).** *The welfare of cattle*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- **Salois, M. J. (2015).** Mitigating climate change and the role of innovation and productivity: An American perspective. *EuroChoices*, 14(2), 41–47. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12090>
- **Santos, M. M. dos, Souza-Junior, J. B. F., Dantas, M. R. T., & Costa, L. L. de M. (2021).** An updated review on cattle thermoregulation: Physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 30471–30485. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14077-0>
- **Saviotto, D., Friggens, N. C., & Blanc, F. (2015).** Towards an improved description of the consequences of selection for litter size on the ability of ewes to reallocate resources: From a conceptual to an operational definition of robustness. *Animal*, 9(3), 343–357. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002855>
- **Saviotto, D., Friggens, N. C., & Pascual, J. J. (2015).** Reproductive robustness differs between generalist and specialist maternal rabbit lines: The role of acquisition and allocation of resources. *GeneticsSelection Evolution*, 47, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s12711-014-0073-5>
- **Scheffer, M., Bolhuis, J. E., Borsboom, D., Buchman, T. G., Gijzel, S. M. W., Goulson, D., ...& van de Leemput, I. A. (2018).** Quantifying resilience of humans and other animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), 11883–11890. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810630115>
- **Schut, M., Kamanda, J., Gramzow, A., Dubois, T., & Stoian, D. (2016).** Multi-stakeholder platforms in agricultural research for development: Towards a typology of institutional arrangements. *Agricultural Systems*, 165, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.11.002>
- **Schut, M., Klerkx, L., Rodenburg, J., Kayeke, J., Hinnou, L. C., Raboanarielina, C. M., ...& Bastiaans, L. (2014).** RAAIS: A tool for rapid appraisal of agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*, 132, 1–11.

- <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.004>
- **Schütz, K. E., Cox, N. R., & Matthews, L. R. (2014).** How important is shade to dairy cattle? Choice between shade provision and lying following different levels of lying deprivation. *Applied Animal Behaviour Science*, 155, 20–27.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.03.005>
 - **Seegers, H., Fourichon, C., & Beaudeau, F. (2003).** Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Veterinary Research*, 34(5), 475–491. <https://doi.org/10.1051/vetres:2003027>
 - **Seme, K., Pitala, W., & Osseyi, G. E. (2015).** Qualité nutritionnelle et hygiénique de laits crus de vaches allaitantes dans la région maritime au Sud-Togo. *European Scientific Journal*, 11(36), 360–376.
 - **Seydi, M. (2004).** *Caractéristiques du lait cru*. EISMV, Laboratoire HIDAOA.
 - **Silanikove, N. (2000).** Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67(1–2), 1–18.
[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)
 - **Silanikove, N. (2000).** The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*, 35(3), 181–193.
[https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00096-6)
 - **Sissao, M., Millogo, V., & Ouédraogo, G. (2017).** Effet de la fréquence de traite sur la production laitière de la vache zébu Peulh. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(6), 2555–2566. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.12>
 - **Sitdikov, F., Ziganshin, B., Shaydullin, R., & Moskvicheva, A. (2020).** The necessity for the introduction of innovative technologies in dairy animal production. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 14(4), 69–74.
<https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-69-74>
 - **Slimen, I. B., Najar, T., Ghram, A., Dabbebi, H., Mrad, M. B., & Abdrabbah, M. (2016).** Reactive oxygen species, heat stress and oxidative-induced mitochondrial damage: A review. *International Journal of Hyperthermia*, 32(4), 374–393.
<https://doi.org/10.3109/02656736.2016.1144146>
 - **Spangler, M. L. (2024).** Machine learning and AI to improve genetic prediction in beef cattle: Potential uses and misuses. *Journal of Animal Science*, 102(Suppl. 3), 296.
<https://doi.org/10.1093/jas/skad189.461>

- **Sraïri, M. T. (2004).** Contraintes de l'élevage laitier en zones irriguées au Maroc. *Options Méditerranéennes, Série A*, 70, 235–240.
- **Sraïri, M. T., & Abed, M. (2006).** Évolution journalière des taux butyreux et protéique du lait de vache en fonction des pratiques d'élevage au Maroc. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 59(3–4), 189–195. <https://doi.org/10.19182/remvt.9931>
- **Sraïri, M. T., & Hamama, A. (2006).** Qualité globale du lait cru de vache au Maroc : Concepts, état des lieux et perspectives d'amélioration. *Transfert de Technologie en Agriculture*, 137, 1–4.
- **Sraïri, M. T., & Kessab, B. (1998).** Performances et modalités de production laitière dans six étables spécialisées au Maroc. *INRA Productions Animales*, 11, 321–326.
- **Stevenson, J. S., Schmidt, M. K., & Call, E. P. (1983).** Estrous intensity and conception rates in Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 66, 275–280. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)81787-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81787-1)
- **Stoll, A. (2002).** Qualité du lait : Facteurs influents et indicateurs. *Revue Suisse d'Agriculture*, 34(3), 147–153.
- **Strandberg, E. (2009).** The role of environmental sensitivity and plasticity in breeding for robustness: Lessons from evolutionary genetics. *Animal Production Science*, 49(6), 423–430. <https://doi.org/10.1071/EA08314>
- **Sumberg, J., Thompson, J., & Woodhouse, P. (2013).** Why agronomy in the developing world has become contentious. *Agriculture and Human Values*, 30(1), 71–83.
- **Tančin, V., Mikláš, Š., Čobirka, M., Uhrinčat', M., & Mačuhová, L. (2020).** Factors affecting raw milk quality of dairy cows under practical conditions. *Slovak Journal of Food Sciences*, 14.
- **Tedeschi, L. O., Greenwood, P. L., & Halachmi, I. (2021).** Advancements in sensor technology and decision support intelligent tools to assist smart livestock farming. *Journal of Animal Science*, 99(2), skab038. <https://doi.org/10.1093/jas/skab038>
- **Tendall, D. M., Joerin, J., Kopainsky, B., Edwards, P., Shreck, A., Le, Q. B., Kruetli, P., Grant, M., & Six, J. (2015).** Food system resilience: Defining the concept. *Global Food Security*, 6, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2015.08.001>
- **Tenhagen, C., & Arlt, S. (2020).** Messung der Körpertemperatur beim Rind – eine altbewährte Methode kritisch hinterfragt. *Tierärztliche Praxis*

- AusgabeG:Großtiere/Nutztiere*, 48(4), 262–270. <https://doi.org/10.1055/a-1211-3120>
- **Thapon, J.-L. (2005).** *Science et technologie du lait*. Agrocampus Rennes, France, 77 p.
 - **Thatcher, W. W., & Collier, R. J. (1986).** Effects of climate on bovine reproduction. In D. A. Morrow (Ed.), *Current therapy in theriogenology 2* (pp. 301–309). W. B. Saunders.
 - **Thatcher, W. W., Flamenbaum, I., Block, J., & Bilby, T. R. (2010).** Interrelationships of heat stress and reproduction in lactating dairy cows. *High Plains Dairy Conference*.
 - **Tir, E., Bounoua, S., Heddar, M. A., & Bouklila, N. (2015).** Étude de la qualité physico-chimique et microbiologique de laits crus de vache dans deux fermes de la wilaya de Tissemsilt (Algérie). *El-Wahat pour les Recherches et les Études*, 8(2), 26–33.
 - **Tulpan, D. (2024).** Advanced computing and information technology to address challenges in livestock production. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/458_Advanced_computing_and_information_technology_to_address_challenges_in_livestock_production
 - **Turner, J. A., Klerkx, L., Rijswijk, K., Williams, T., & Barnard, T. (2016).** Systemic problems affecting co-innovation in the New Zealand agricultural innovation system: Identification of blocking mechanisms and underlying institutional logics. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 76, 99–112.
 - **Umphrey, J. E., Moss, B. R., Lin, J. C., & Thompson, D. L. (2001).** Effect of feeding time on milk yield, milk composition, and body temperature of lactating dairy cows subjected to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 84(2), 244–248.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74472-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74472-0)
 - **Utami, K. B., & Widiarso, B. P. (2022).** Assessment of heat stress in dairy cows related to physiological responses. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan (Indonesian Journal of Animal Science)*, 32(2), 283–293. <https://doi.org/10.21776/ub.jiip.2022.032.02.14>
 - **Valtorta, S. E., Gallardo, M. R., Castro, H. C., Castilli, M. E. (1996).** Artificial shade and supplementation effects on grazing dairy cows in Argentina. *Transactions of the ASAE*, 39(1), 233–236. <https://doi.org/10.13031/2013.27503>.

- Vanier, P. (2005). *Le lait au fil du temps : usage culinaire, conservation, écologie et environnement* (65 p.).
- Vercelli, C., Amadori, M., Gambino, G., & Re, G. (2023). A review on the most frequently used methods to detect antibiotic residues in bovine raw milk. *International Dairy Journal*, 144, 105695.
- Verdier-Metz, I., Michel, V., Delbès, C., & Montel, M.-C. (2009). Do milking practices influence the bacterial diversity of raw milk? *Food Microbiology*, 26(3), 305–310.
- Vierling, E. (1999). *Aliments et boissons : Filières et produits* (2^e éd.). Paris : Biosciences et Techniques.
- Vierling, E. (2003). *Aliments et boissons : Filières et produits* (3^e éd., 100 p.). Paris : Biosciences et Techniques.
- Vierling, W., Brand, N., Gaedcke, F., Sensch, K. H., Schneider, E., & Scholz, M. (2003). Investigation of the pharmaceutical and pharmacological equivalence of different Hawthorn extracts. *Phytomedicine*, 10(1), 8–16.
- Vignola, C. (2002). *Science et technologie du lait : Transformation du lait*. Presses Internationales Polytechnique.
- Vitali, A., Segnalini, M., Bertocchi, L., Bernabucci, U., Nardone, A., & Lacetera, N. (2009). Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3781–3790. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2127>
- Vitali, A., Segnalini, M., Bertocchi, L., Bernabucci, U., Nardone, A., & Lacetera, N. (2009). Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature–humidity index in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3781–3790. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2127>.
- Wang, Y. (2022). Physiological response of cattle to climatic stress (pp. 61–68). *CRC Press eBooks*. <https://doi.org/10.1201/9781003364689-7>
- West, J. W. (1999). Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science*, 77(Suppl. 2), 21–35.

- **West, J. W. (2003).** Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- **West, J. W., Mullinix, B. G., & Bernard, J. K. (2003).** Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 232–242. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73595-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73595-4)
- **Widowski, T. (1998).** *Beat the heat: A guide to hot weather and shade for Ontario cattle producers*. University of Guelph, Colonel K.L. Campbell Centre for the Study of Animal Welfare.
- **Wiersma, F. (1990).** [Cité dans Armstrong, D. V. (1994). Department of Agricultural Engineering, University of Arizona].
- **Winsten, J. R., Gorman, E., & Gravitz, A. (2020).** Coordinating a “basket of incentives” to facilitate resilience in the dairy sector. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(6), 144A–149A.
- **Winsten, J. R., Parsons, R. L., & Hanson, G. D. (2022).** Economic sustainability of grazing-based dairy systems in the United States. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 2445–2456.
- **Wise, M. E., Armstrong, D. V., Huber, J. T., Hunter, R., & Wiersma, F. (1988).** Hormonal alterations in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *Journal of Dairy Science*, 71(9), 2480–2485. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79838-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79838-0)
- **Wolter, R. (1994).** *Alimentation de la vache laitière* (2^e éd.). 255 p.
- **Woudstra, S., Wenthe, N., Zhang, Y., Leimbach, S., Gussmann, M. K., Kirkeby, C., & Krömker, V. (2023).** Strain diversity and infection durations of *Staphylococcus* spp. and *Streptococcus* spp. causing intramammary infections in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(6), 4214–4231.
- **Yabir, A., Mouffok, C., & Madani, T. (2013).** Effet des conditions climatiques sur les performances zootechniques des vaches laitières en zone semi-aride d’Algérie. *Revue Agriculture*, 32(2), 45–52.
- **Yerou, H., Homrani, A., Benhanassali, A., & Boussedra, D. (2019).** Typological assessment of dairy farms systems in semi-arid Mediterranean region of Western Algeria. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 35(4), 335–346.

<https://doi.org/10.2298/BAH1903209K>

- **Yerou, H., Zoghlami, M., Madani, T., Benamara, N., & Rehal, M. (2021).** Impact de l'indice température-humidité sur les paramètres de reproduction de vaches Holsteins en zone semi-aride de l'Ouest algérien. *Livestock Research for Rural Development*, 33, Article #123. <http://www.lrrd.org/lrrd33/10/33123houa.html>
- **Yerou, W. (2022).** *Caractérisation de quelques déterminants de la qualité du lait cru de vache relevant du réseau de collecte GIPLAIT El Emir Tizi-Mascara* [Mémoire de Master, Université de Mascara].
- **Yousef, M. K. (1985).** *Stress physiology in livestock: Volume I – Basic principles*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- **Zebbar, N. (2017).** Impact du stress thermique sur la production et la reproduction des vaches laitières en milieu semi-aride [Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem].
- **Zimbelman, R. B., Collier, R. J., Rhoads, R. P., Rhoads, M. L., & Baumgard, L. H. (2009).** A reevaluation of the impact of temperature-humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. Proceedings of the 24th Southwest Nutrition & Management Conference.
- **Zoghlami, M., Yerou, H., Yerou, W., & Homrani, A. (2022).** Impact du stress thermique sur les critères de qualité du lait cru de vaches Holsteins en zone semi-aride de l'Ouest algérien. *Livestock Research for Rural Development*, 34, Article #11. <http://www.lrrd.org/lrrd34/2/3411mourd.html>
- **Сохань, I., Лукаш, С., Maslak, N., & Brychko, A. (2023).** Digitalization, robotics, and genomic research in livestock development. In *Advances in Agricultural and Food Biotechnology* (pp. 584–593). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3026-5.ch027>

Annexes

Annexe 02 : Test de corrélation

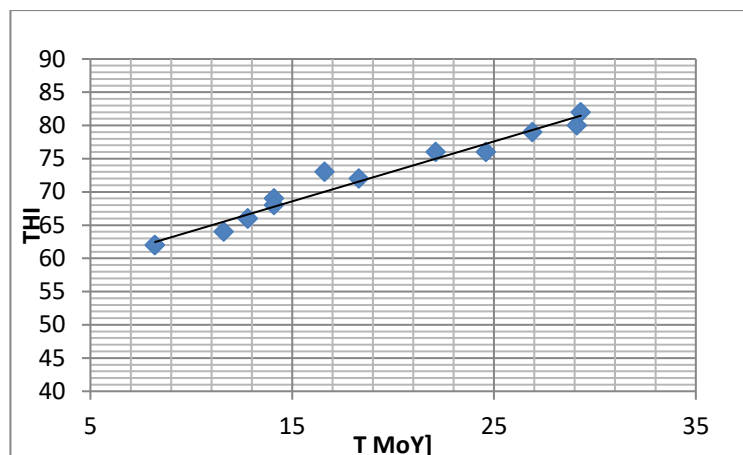


Figure 01 : Corrélation et régression entre THI et Tmoy dans la région de Ghriss(l'équation de régression $y = 0.901x + 55.05$)

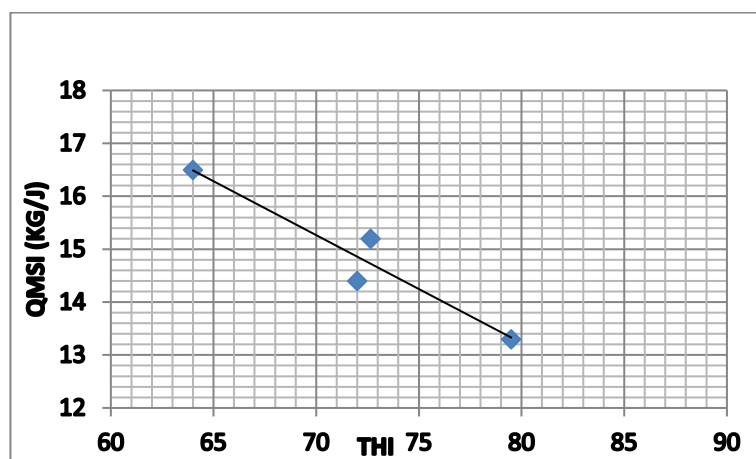


Figure 02 :Corrélation et régression entre QMSI et THI dans la région de Ghriss (l'équation de

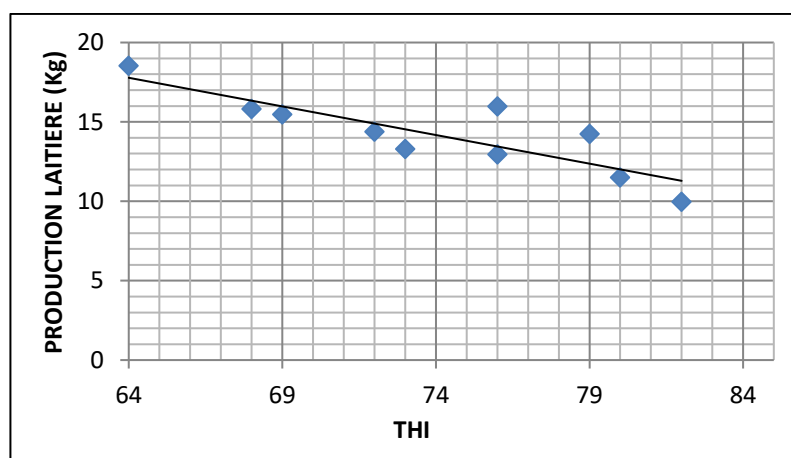
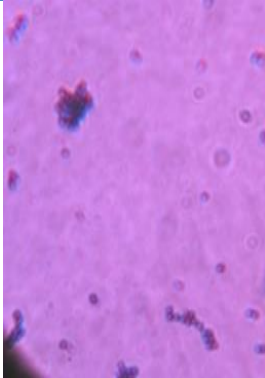
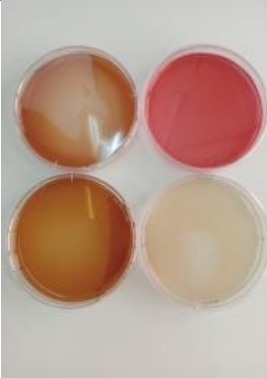


Figure 03 : Corrélation et régression entre PL_{Moy} et THI dans la région de Ghriss (l'équation de régression $y = -0.36x + 40.86$)

Annex 01 : Résultat microbiologie

PCA	VRBG	Chapman	SS
			
Coloration de Gram	Test catalase	Préparation 1 ⁻¹	Milieux de cultures
			

Exploitation N°

I- DESCRIPTION DE L'EXPLOITATION

- Age

Marié Célibataire

Savez vous écrire oui non

Nombre total des membres de la famille.....

Nombre des actifs :

Actifs occupés sur l'exploitation :.....

Actifs occupés hors de l'exploitation ;.....

Nature de l'activité	Lieu de l'activité	Nombre de mois /an

Nombre d'enfants

Mode de faire valoir :

- L'agriculteur est – il

Exploitant	Oui	non
Locataire	Oui	non
Autres	Oui	non

localisation (préciser le nom exact du lieu)

L'exploitation est située : à

L'intérieur de l'agglomération L'extérieur de l'agglomération Eloignée de l'agglomération

Accessibilité de l'exploitation

Route nationale Route secondaire Piste gravillonnée

Piste praticable en partie de l'année Sentier ou chemin carrossable

Exploitations avec terre

1/ Répartition des terres

- L'exploitant procède- t- il à la location des terres ? (est-il locataire) pour augmenter ses superficies agricoles
- Est-ce que l'exploitant loue ses terres à d'autres ? Si oui :
 - Pour quelles raisons ?
 - Quelles superficies (ha)

- Superficie totale de l'exploitation (ST) :

ST	SAU	Terres incultes	Terres louées	Superficiesirriguées

Les terres cultivées

Les principales cultures de l'exploitation

Cultures	superficie
----------	------------

	Sec	Irriguée	total
Céréales Fourrages Maraîchères Légumes secs			
Arboriculture Pairies naturelles			
Jachères			
fauchée			
pâturée Autres (préciser)			
Total			

Les productions Les principales cultures de l'exploitation

Cultures	Production en Qx			
	Sec	Irriguée	total	Rendement (Qx/ha)
Céréales Fourrages Maraîchères				
Légumes secs Arboriculture				
Pairies naturelles Jachères				
fauchée				
pâturée Autres (préciser)				
Total				

1. Caractéristiques générales du troupeau :

A- Situation du troupeau :

Nombre de vache laitière Nombre de génisses Mâles (reproducteurs) Veaux et velles

B- Caractéristiques raciales :

Nombre de VL Présentes

Nombre de VL en lactation

VI	Date de la dernière M B	Date de saillie	Type de saillie	Mois de gestation	Date de Mise bas prévue

Production Laitière

Production laitière TOTALE Nombre de V L en lactation

b) Durant le mois

c) Au passage

Qtt produite/mois	Qtt produite /j	Qtt vendue	lieu de vente	Qtt autoconsommée

Production laitière / VL

VI	Qtt produite/mois	Qtt produite /j	Observation complémentaire

QUESTIONNAIRE FONCTIONNEMENT DES EXPLOITATIONS LAITIÈRES DU SUIVI

Questionnaire Enquête Global

Date Enquête n° WILAYA

Commune Code

Exploitation N°Exploitant

Nom prénom

2. DESCRIPTION DE L'EXPLOITATION

- Situation familiale

Marié Célibataire

- Age

- Instruction

Savez-vous lire oui non

Savez-vous écrire oui non

Nombre total des membres de la famille.....

Nombre des actifs :.....

Actifs occupés sur l'exploitation :.....

Actifs occupés hors de l'exploitation ;.....

Nature de l'activité	Lieu de l'activité	Nombre de mois /an

Mode de faire valoir :

- L'agriculteur est – il

Exploitant Oui non

Locataire Oui non

Autres Oui non

Ancienneté et expérience dans la pratique de l'activité agricole Nombre d'années

Temps de travail et revenu

L'activité agricole (horsélevage) vous occupe

- à plein temps Oui non

- à temps partiel Oui non

L'essentiel de vos revenu (plus de 60%) provient – t-il de l'activité de l'exploitation ?

Oui non

Quelle est la part du revenu de la production Animale dans le revenu de l'exploitation ?

Indiquez en %

o la part du revenu de la production Animale dans le revenu de l'exploitation Indiquez en %

Ressources financières Indiquez en %

De l'exploitation Travail hors exploitation Autres

- Habitat et environnement de l'exploitation

type d'habitat :

Moderne (en Betton R+0 / R+1) Traditionnel en dur (maison simple en tuiles)

Traditionnel en terre battue (en toubs ,torchis , etc...) Autres (à préciser)

localisation (préciser le nom exact du lieu)

L'exploitation est située : à

L'intérieur de l'agglomération L'extérieur de l'agglomération Eloignée de l'agglomération

Accessibilité de l'exploitation

Route nationale Route secondaire Piste gravillonnée

Piste praticable en partie de l'année Sentier ou chemin carrossable

- Exploitations avec terre

1/ Répartition des terres

- L'exploitant procède- t- il à la location des terres ? (est-il locataire) pour augmenter ses superficies agricoles
- Est-ce que l'exploitant loue ses terres à d'autres ? Si oui :
 - o Pour quelles raisons ?
 - o Quelles superficies (ha)

- Superficie totale de l'exploitation (ST) :

ST	SAU	Terres incultes	Terres louées	Superficies irriguées

Les terres cultivées

Les principales cultures de l'exploitation

Cultures	superficie		
	Sec	Irriguée	total
Céréales Fourrages Maraîchères Légumes secs Arboriculture Pairies naturelles Jachères fauchée pâturée Autres (préciser)			
Total			

Les productions

Les principales cultures de l'exploitation

Cultures	Production en Qx			
	Sec	Irriguée	total	Rendement (Qx/ha)
Céréales Fourrages Maraîchères Légumes secs				

Arboriculture Pairies naturelles Jachères - fauchée - pâturée Autres (préciser)				
Total				

2. DESCRIPTION DES BATIMENTS D'ELEVAGE

1-L'ETABLE

L'éleveur dispose d'une étable pour les Bovins seuls ?

- Etat du bâtiment

- Moderne
- traditionnel

- les bâtiments sont –ils en dur ? Oui ☐ Non ☐ Si non , indiquez la
matière de construction ?

-Les bâtiments sont-ils conçus pour l'élevage bovin laitier ? Oui ☐ Non ☐

- Période et année de construction ?

- capacité du bâtiment

- Dimension du bâtiment

- surface réservée à chaque animal

- Les animaux sont ils en stabulation

- Y a t-il Présence des mâles dans l'étable

- Y a t-il présences des jeunes

-2- Equipement.

- L'éleveur dispose t-il d'une machine pour la traite mécanique

▪ Chariot trayeur

- Existe-t-il d'autres bâtiments annexes pour le stockage des

Aliments	Oui	☐	Non	☐
Fourrages secs	Oui	☐	Non	☐
Fourrages verts	(silos)	☐	Non	☐

Ou

i

Autres annexes (hangar mécanique) Oui ☐ Non ☐

-Existe-t-il une nursery pour les jeunes ? Oui ☐ Non ☐

-Existe –t-il un atelier vache laitière ? Oui ☐ Non ☐

-Existe –t-il une salle de traite ? Oui ☐ Non ☐

Hygiène et prophylaxie.

- Existe-t-il un programme d'hygiène des :

Animaux Oui ☐ Non ☐

De la traite Oui ☐ Non ☐

Bâtiments d'élevage Oui ☐ Non ☐

Ustensiles de traite Oui ☐ Non ☐

- Bénéficie t-il d'un programme de prophylaxie ?

• Préciser le nombre de postes

▪ Machine à traire mobile

- Préciser la capacité de traite

- L'éleveur dispose t-il d'une cuve de réfrigération ? Oui ☐ Non ☐

- Capacité de stockage

- Equipement de fabrication d'aliments ? Oui ☐ Non ☐

3- Les autres batiments

Vaccination	Oui	☐	Non	☐
Dépistage des maladies	Oui	☐	Non	☐

3. TROUPEAU ET ALIMENTATION

I- Identification

- Caractéristiques générales du troupeau : Situation du troupeau :

Nombre de vache laitière Nombre de génisses Mâles (reproducteurs) Veaux et velles

C- Caractéristiques raciales : La race dominante

II- l'alimentation :

Les aliments distribués Durant la saison :

Hiver :

	aliment	Qtt/j
Vl		
Genisses		
Males		
Jeunes		

Printemps :

	Aliment	Qtt/j
Vl		
Genisses		
Males		
Jeunes		

Eté :

	Aliment	Qtt/j
Vl		
Genisses		
Males		

Jeunes		
--------	--	--

Automne :

	Aliment	Qtt/j
VL		
Genisses		
Males		
Jeunes		

Suivi alimentaire

Nombre de VL Présentes Nombre de VL en lactation

Quantités distribuées aux VL 1- les fourrages grossiers :

N° de la VL	Aliment	Qtt distribuée

Qtt distribuée aux genisses :

N° de la genisse	Aliment	Qtt distribuée

Qtt distribuée aux mâles :

N° du male	Aliment	Qtt distribuée

2- Aliment concentré :

	VL	Genisse	Mâle
N° d'identification			
Type d'aliment			

3. Pâturage :

1^{ere} passage :

*les terres pâturées de l'exploitation

*description superficie (ha) :

type de culture :

4 . Suivi de la reproduction

Nombre de vaches en lactation Nombre de VL Taries Nomre de vaches en gestation

Nombre de veaux nés au moment du passage

L'allaitement des veaux

- Lait reconstitué
- Allaitement sous la mère

VI	Date de la dernière M B	Date de saillie	Type de saillie	Mois de gestation	Date de Mise bas prévue

5 Production Laitière

Production laitière TOTALE Nombre de V L en lactation

- Durant le mois
- Au passage

Qtt produite/mois	Qtt produite /j	Qtt vendue	lieu de vente	Qtt autoconsommée

Production laitière / VL

VI	Qtt produite/mois	Qtt produite /j	

QUESTIONNAIRE SUIVI DES PERFORMENCES LAITIÈRES

Exploitation N°

NOM PRENOM LOCALISATION

N° de l'exploitation

Nombre total de vaches laitières de l'exploitation Identification des vaches de l'exploitation

N°	RACE	Poids vif (kg)	AGE	Nombre lactation	Mois de lactation	Date vêlage	Date de l'IA

Mois de ;

N° de passage

Nombre de vaches présentes Nombres de vaches en lactation Nombre de vaches traites

Nombre de vaches taries Quantité totale de lait produite

Quantité moyenne par vache présente Quantité moyenne par vache traitée

Quantités produites par vache :

N°	Quantité produite par traite	Quantité produite par jour	Etat physiologique	Durée de la lactation

Alimentation :

Rationnement

- Quantité d'aliments distribués par jour

- Fourrages grossiers
 - Pailles
 - Foins
 - autres
- Fourrages verts
 - ORGE
 - AUTRES
- Autres (à préciser) Quantités distribuées aux VL

1- Aliment concentré :

	VL	Genisse	Mâle
N° d'identification			
Type d'aliment			

Pâturages

- Type de pâturage
- Temps de pâturage Hygiène
- les conditions de traites
- Le stockage du lait Destination de la production laitière
- Quantité vendue
 - Quantité totale vendue par jour
 - Quantité totale vendue par mois
 - Comment est collecté le lait

- Qui est destinataire

- Quantité non vendue

QUESTIONNAIRE LAITERIE

1. Dénomination et Localisation Historique

- date de création
- organisme

Les dates les plus importantes 2/ statut actuel de la laiterie Statut juridique

Statut administratif et économique Dénomination commerciale Champs d'intérêt

/ Fonction technique

1/ Les approvisionnements (Par années) A/ La matière première

- Les Approvisionnements en poudres de lait

Poudres de lait	Année 2019	Année 2020	Année 2021
☐			
☐			
☐			
Total			

- Lait crû

Lait crû	Année 2019	Année 2020	Année 2021

- La matière grasse (MGLA)

MGLA	Année 2019	Année 2020	Année 2021
☐			
☐			
☐			

Total			
-------	--	--	--

Autres à Préciser

	Année 2019	Année 2020	Année 2021
☐			
Total			

B/ Les approvisionnements secondaires

- Polyéthylène Lait
- Différents emballages
- Autres

C/ Les équipements

Type d'équipement par gamme de produits

- Date ou période d'acquisition

D/ Collecte et Approvisionnement en Lait crû 1/ Le système de collecte

- Système propre à la laiterie

o Qui procède à la collecte

- La laiterie
- Centre de collecte de la laiterie
 - Wilaya de Mascara
 - Wilaya de
- Collecteurs intermédiaires
- L'éleveur lui-même
- Autres (à préciser)

Cas où la laiterie effectue la collecte

Année	2019	2020	2021	total
Nbr d'éleveurs concernés				
Quantités collectées				
Moyens de collecte				
Quantité moyenne/jour				

Collecte effectuée par le centre de collecte

wilaya de	Année 2019	Année 2020	Année 2021	total
Nbr d'éleveurs concernés				
Quantités collectées				
Moyens de collecte				
Année	2019	2020	2021	total
Nbr d'éleveurs concernés				
Quantités collectées				
Moyens de collecte				
Quantité moyenne/jour				

Cas où les éleveurs eux mêmes effectuent la collecte

Année	2019	2020	2021	total
Nbr d'éleveurs concernés				
Quantités collectées				
Moyens de collecte				
Quantité moyenne/jour				

- Collecteurs indépendants
 - Nombre de collecteurs

Année	2019	2020	2021	total
Nbr d'éleveurs concernés				
Quantités collectées				
Moyens de collecte				
Quantité moyenne/jour				

- Identification de chaque collecteur (questionnaire collecteur)

2. le circuit de collecte

(Décrire exactement comment se fait la collecte chaque jour)

3. Le paiement du lait

(Décrire comment l'éleveur est payé) 4/ Les producteurs de lait (éleveurs):

- Le nombre de producteurs fournisseurs de la laiterie
- La prise en charge des producteurs

- L'agrément sanitaire de la DSA
- Le cahier des charges
- Disponibilité en moyens de stockages
 - Cuves réfrigérées
 - Autres
- Le suivi vétérinaire

Eleveurs	Quantités collectées Année					
	Janvier	février	Mars	Avril	Mai	Juin

- Les Prix d'achats
 - 1^{er} semestre
 - 2eme trimestre
- Le contrôle du lait collecté existe-t-il
 - Non
 - Oui
 - Si oui
 - A quel niveau
 - Quels types de contrôle
 - Où sont ils effectués

	1 ^{er} semestre année	2eme semestre année
Température		

Acidité		
PH		
Matières grasses		
Densité		

Contrôles biologiques

Type de contrôle	1 ^{er} semestre année	2eme semestre année

- Les refus après contrôles
 - Quantités refusées
 - 1^{er} semestre
 - 2eme semestre
 - 1^{er} semestre
 - Causes du refus o 1er semestre
 - 2eme semestre

3. La fonction Production 1/ Gammes de produits

/ Laits de consommation

- Lait reconstitué
- Lait crû pasteurisé
- Autres laits de consommation (à préciser)

/ Les Produits laitiers

0

- Yoghourts

0

- Crèmes desserts

- Autres produits

/ Les fromages

2/ Capacité de production Laits de consommation

Produits laitiers Les fromages

3/ Les quantités produites

Gammes de Produits	Production		
	année	année	année
Laits • Lait reconstitué • Lait crû Pasteurisé • Autres			
Produits laitiers • Yoghourts ☐ ☐			

Fromages ☐ ☐ ☐			

IV/ CARECTERISTIQUES ECONOMIQUES

- Effectif global
- Effectif par catégories socioprofessionnelles
- Effectif par tranches d'âge et par sexe 2/ Evolution des ventes de produits

Produits	année	année	année
- Lait reconstitué - Lait crû Past - Autres			

[illegible]

Fromages

Produits	année	année	année
☐			
☐			
☐			

les ventes vers la wilaya

Laits de consommation	année	année	année
• Reconstitué • Crû pasteurisé • Autres ☐			
Total			

Evolution des prix d'achat

	année	année	année
Poudres de lait			
Lait crû			
MGLA			
Autres (à Préciser)			

4/ Evolution des prix de vente

Produits	année	année	année
Laits de consommation • Lait reconstitué • Crû pasteurisé • Autres			

Produits laitiers ☐ ☐ ☐			
Fromages ☐ ☐			

Le réseau commercial

- Les points de vente

	Nombre	Localisation	Produits distribués	quantités
Propre laiterie				
Grossistes				
Epiceries				
Autres (à préciser)				

- Les distributeurs

	Nombre	Localisation	Produits distribués	quantités
Propre laiterie				
Grossistes				
Autres (à préciser)				

- Conclusion

- Les problèmes de la laiterie

- Les perspectives

Article Publier
