République Algérienne Démocratique et Populaire
**وزارة التعليم العالي والبحث العلمي**
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
**جامعة 8 ماي 1945 قالمة**
Université 8 Mai 1945 Guelma
**كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون**
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers

# Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**
**Spécialité/Option : Production et Transformation Laitières**
**Département : Ecologie et Génie de l'Environnement**
**Filière : Sciences Alimentaires**

---

# Impact du stress thermique sur la qualité physico-chimique du lait cru des vaches en fonction de la saison

---

**Présenté par :**

**CHAABNIA Fekhreddine**

**DALI Zahir**

**Devant le jury composé de :**

| | | |
|---|---|---|
| **Dr. BOUDALIA Sofiane (MCA)** | **Président** | **Université de Guelma** |
| **Dr. BOUSBIA Aissam (MCA)** | **Encadrant** | **Université de Guelma** |
| **Mme. MEFTAH Nouara (MAB)** | **Examinateur** | **Université de Guelma** |

**Juin 2024**

Il est primordial de remercier **« ALLAH »** le Tout-Puissant de tout ce qu'il nous apporte dans la vie et de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur, **Dr. BOUSBIA Aissam**, pour son savoir-faire, ses conseils, sa compétence, sa patience, son enthousiasme et l'attention particulière avec laquelle il a suivi et dirigé ce travail, nous le remercions vivement.

Nos respects et notre reconnaissance vont au **Dr. BOUDALIA Sofiane**, pour avoir accepté de présider ce jury.

Nous tenons à remercie **Mme MEFTAH Nouara** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous exprimons notre gratitude à tout le personnel de la laiterie SAFILAIT pour nous avoir accueillis pendant une période de trois mois, en particulier à **M. BALDI Raid.**

**Nous témoignons toute nos reconnaissance à :**

**Dr GUEROUI Yassine**, doyen de la faculté, pour son aide et ses facilités administratives permettant l'accès au laboratoire.

Melle **GUANAFI,** responsable des laboratoires pédagogiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Guelma.

Melle **MESSIOUD S.,** ingénieur de laboratoire pédagogique de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Guelma.

Un grand merci pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin à réalisation de ce mémoire, qu'ils trouvent ici l'expression de tous nos remerciements.

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail*

*À mes parents, qui m'ont soutenu, guidé et encouragé.*

*À notre encadreur, Dr. BOUSBIA Aissam, pour son savoir-faire, ses conseils, sa compétence, sa patience*

*J'espère ne jamais vous décevoir, je vous aime tant*

*À mes sœurs et mes frères*

*A ma famille*

*À tous mes oncles, tantes, cousins, cousines...*

*À tous mes amis*

*À toute ma promotion*

***ZAHIR***

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail*

*À mes parents, qui m'ont soutenu, guidé et encouragé.*

*À notre encadreur, Dr. BOUSBIA Aissam, pour son savoir-faire, ses conseils, sa compétence, sa patience.*

*J'espère ne jamais vous décevoir, je vous aime tant*

*À mes sœurs et mes frères*

*À ma famille*

*À tous mes amis dans ma vie, mes études et mon collègues de travail.*

*À toute ma promotion*

***Fekhreddine***

# SOMMAIRE

Liste des Figures

Liste des tableaux

Résumé

**Introduction** 1

**Partie I: Etude bibliographique:**

**Chapitre I : Système de production et qualité du lait**

1. Lait 3

2. Systèmes de production du lait 3

2.1. Système conventionnel 5

2.1.1. Système extensif ou traditionnel 5

2.1.2. Système intensif 6

2.1.3. Système biologique 6

3. Effet de système de production sur la qualité du lait 7

3.1. Rendement du lait 9

3.2. Santé de la mamelle et numération des cellules somatiques (CCS) 9

3.3. Teneur en protéine 9

3.4. Teneur en matière grasses 10

3.5. Teneur en lactose 10

**Chapitre II : Stress thermique**

1. Stress thermique 11

2. Les différents indices thermiques pour estimer le stress thermique 11

2.1. Indice de température et d'humidité (THI) 11

2.2. Quelques formules des calcules des THI 12

2.3. Les seuils de THI susceptibles de provoquer un stress thermique 14

3. Conséquences du stress thermique chez les vaches laitières 14

3.1. Le métabolisme est modifié pour faire face à la chaleur 14

3.2. Modification du comportement afin de limiter sa production de chaleur 15

3.3. La production laitière est réduite en cas de stress thermique 16

3.4. La composition du lait est altérée en cas de stress thermique 16

3.5. La reproduction des animaux est dégradée par la chaleur 17

3.6. Le bien-être et la santé des vaches laitières sont compromis lors d'un stress thermique 17

**Partie II: Etude expérimental**

**Chapitre III : Matériel et méthodes**

1. Région d'étude 19

2. Les données climatiques 19

3. Prélèvement et analyse des échantillons du lait 20

4. Analyse statistique 20

**Chapitre IV : Résultat et discussion**

1. Température ambiante moyenne, l'humidité relative (HR) et l'index Température-Humidité (THI) 22

2. Effet de la saison sur la qualité nutritionnelle du lait 26

2.1. Effets du THI sur la composition du lait 26

2.2. Effets saisonniers sur la composition du lait 28

**Conclusion** 31

**Référence biobibliographiques**

# Liste des figures

**Figure 1** : Relation entre la température rectale (°C) et l'indice de température-humidité (THI) 12

**Figure 2 :**Comparaison mensuelle du THI dans la région d'étude (Mars 2023 au Février 2024) 24

**Figure 3:** Effet de la saison sur la variation de THI 25

**Figure 4 :** Corrélogramme entre les propriétés physicochimiques du lait et le THI 27

# Liste des tableaux

**Tableau1:** Pratiques d'élevages des systèmes de production de lait biologique et conventionnel selon Średnicka-Tober et al. (2016) 4

**Tableau 2 :** Composition du lait en macro et en oligoéléments en fonction de système de production du lait (biologique, extensif et intensif) 8

**Tableau 3 :** Formules et origines des différentes équations utilisées pour calculer l'indice de température et d'humidité (THI) chez les vaches laitières. 13

**Tableau 4 :** Evolution mensuelle de la température ambiante moyenne (Tmoy en °C), l'humidité relative (HR en%) et l'index Humidité-température (THI) 23

**Tableau 5 :** Analyse des coefficients de corrélation entre les paramètres mesurés de la composition du lait et les facteurs environnementaux (THI) 27

**Tableau 6 :** L'effet saisonnier sur de la qualité physico-chimique du lait cru de vache 30

# Résumé

**تأثير الإجهاد الحراري على الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لحليب الأبقار الخام بحسب فصول السنة**

**السياق:** إن فعالية واستدامة إنتاج الألبان أصبحت موضع تساؤل اليوم بسبب عوامل متعددة، منها التغيرات المناخية التي تثير اهتمامًا خاصًا بسبب تأثيرها العميق على إنتاجية الأبقار الحلوب. **الهدف :** تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الإجهاد الحراري على مؤشرات جودة الحليب خلال الفترات الحارة والباردة من السنة في 12 مزرعة ألبان تقع في شمال شرق الجزائر. **المنهجية :** تم أخذ عينات شهرية من الحليب، مع عينتين من كل مزرعة تم تجميعها خلال الفترة الممتدة من مارس 2023 إلى فبراير 2024. قمنا بعمل تحاليل لهذه العينات لتحديد خصائصها الفيزيائية والكيميائية، بما في ذلك الكثافة، ونقطة التجميد، والمادة الصلبة الجافة، والمادة الصلبة الجافة الخالية من الدهون، وكذلك نسبة الدهون، والبروتينات، واللاكتوز والمعادن . تم دمج نتائج جودة الحليب الفيزيائية والكيميائية مع مؤشر الإجهاد الحراري ( THI ) محسوبة من بيانات الطقس المستخرجة من قاعدة البيانات ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis via Google Earth Engine. تم تطبيق تحليل التباين لاختبار متوسط تأثيرات THI المحسوبة حسب الموسم على تكوين الحليب. **النتائج :** المتوسط السنوي لمؤشر THI للفترة الممتدة من مارس 2023 إلى فبراير 2024 حوالي 63.42 ± 10.99، مع معامل تباين قدره 17.32٪. خلال الشهرين يوليو وأغسطس، تعرضت الأبقار لإجهاد حراري شديد (> 78). أظهرت النتائج خسائر بسبب الإجهاد الحراري. تم تسجيل انخفاض في تكوين الحليب حيث كانت هناك ارتباطات سلبية وهامة بين معايير الحليب الرئيسية و THI ( $p < 0.01$ ) ، أظهر الشتاء أعلى جودة فيزيائية وكيميائية ( $p < 0.01$ ).

**في الختام:** نتائجنا تسلط الضوء على التأثير السلبي والكبير لـ THI على معظم مكونات الحليب، وبالتالي توفير معلومات قيمة لاستراتيجيات التربية. توفر هذه النتائج إرشادات حاسمة لتحسين كفاءة الإنتاج وتلبية معايير جودة الحليب.

**الكلمات المفتاحية:** الإجهاد الحراري؛حليب؛ بقرة؛ مؤشر درجة الحرارة والرطوبة (THI) ؛ موسم ؛ جودة ؛ فيزيائية و كيميائية.

**Impact du stress thermique sur la qualité physico-chimique du lait cru des vaches en fonction de la saison**

**Résumé :**

**Contexte :** l'efficacité et la durabilité de la production laitière sont aujourd'hui remises en question par divers facteurs, notamment les changements climatiques, qui suscitent une attention particulière en raison de leur impact profond sur la productivité des vaches laitières. **Objectif :** cette étude visait à évaluer l'impact du stress thermique sur des indicateurs de qualité du lait pendant les périodes chaudes et froides de l'année dans 12 exploitations laitières situées dans le nord-est de l'Algérie. **Méthodologie :** des prélèvements mensuels de lait, avec deux échantillons par exploitation, ont été réalisés de mars 2023 à février 2024. Ces échantillons ont été analysés pour déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques, incluant la densité, la cryoscopie, l'extrait sec total, l'extrait sec dégraissé, ainsi que les taux de matière grasse, de protéines, de lactose et de minéraux. Les résultats de la qualité physico-chimique du lait ont été ensuite combinés avec un indice de stress thermique (THI) calculé à partir des données météorologiques extraites de la base de données ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis via Google Earth Engine. L'analyse de la variance a été appliquée pour tester les effets moyens de THI calculés en fonction de la saison sur composition du lait. **Résultats :** la moyenne annuelle du THI pour la période de mars 2023 à février 2024 s'est établie à 63,42 ± 10,99, avec un coefficient de variation de 17,32 %. Pendant deux mois, en juillet et août, les vaches ont été soumises à un stress thermique sévère (>78). Les résultats ont montré des pertes dues au stress thermique. Une diminution de la composition du lait a été signalée où des corrélations négative et significative entre les paramètres clés du lait et le THI ($p < 0,01$). L'hiver a montré une qualité physicochimique la plus élevées ($p < 0,01$). **En conclusion :** Nos résultats mettent en évidence l'impact négatif et significatif du THI sur la plupart des composants du lait, fournissant ainsi des informations précieuses pour les stratégies d'élevage. Ces résultats offrent des orientations cruciales pour améliorer l'efficacité de la production et respecter les normes de qualité du lait.

**Mots-clés : stress thermique ; lait; vache; indice température-humidité (THI) ; saison ; qualité ; physicochimique**

**Impact of heat stress on the physicochemical quality of raw milk from cows according to season**

**Abstract:** context: The efficiency and sustainability of dairy production are currently being questioned due to various factors, notably climate change, which is receiving particular attention due to its profound impact on the productivity of dairy cows. **Objective:** this study aimed to evaluate the impact of heat stress on milk quality indicators during the hot and cold periods of the year in 12 dairy farms in northeastern Algeria. **Methodology:** monthly milk samples (two from each farm) were collected from March 2023 to February 2024. The samples were analyzed to determine their physicochemical characteristics, including density, cryoscopy, total solids, and defatted solids, as well as fat, protein, lactose, and mineral levels. The physicochemical quality results of the milk were then combined with a thermal stress index (THI) calculated from meteorological data extracted from the ERA5-Land Monthly Aggregated-ECMWF Climate Reanalysis database via Google Earth Engine. Analysis of variance was applied to test the average effects of THI calculated according to milk composition season. **Results:** the annual average THI for the period from March 2023 to February 2024 was 63.42 ± 10.99, with a coefficient of variation of 17.32%. For two months (July and August, cows experienced severe heat stress (>78). Results showed losses due to heat stress, with a decrease in milk composition and significant negative correlations between key milk parameters and THI ($p < 0.01$). Winter exhibited the highest physicochemical quality ($p < 0.01$). **Conclusion:** our findings highlight the significant negative impact of THI on most milk components, providing valuable insights for breeding strategies. These results offer crucial guidance for improving production efficiency and ensuring compliance with milk quality standards.

**Keywords: heat stress; milk; cow; temperature-humidity index (THI); season; quality; physicochemical**

# Introduction

## Introduction :

Le lait de vache constitue une source fondamentale de macro et micronutriments indispensable à l'alimentation humaine (Scholz-Ahrens et al., 2020). De nombreuses études antérieures ont démontré que divers facteurs, tels que le régime alimentaire, le génotype, le mode d'élevage et la saison affectent la qualité nutritionnelle du lait de vache (Celano et al., 2022; Kasapidou et al., 2023; Scholz-Ahrens et al., 2020). L'efficacité et la durabilité de la production laitière sont mises en cause par de nombreux facteurs, notamment le changement climatique, qui attire de plus en plus l'attention en raison de leur impact significatif sur la santé et la productivité du bétail (Guzmán-Luna et al., 2022). Le changement climatique qui affecte notre pays se manifeste par une augmentation de température, de la sécheresse et des précipitations hors saison, ce qui a des répercussions négatives sur la production laitière. Cependant, une température élevée ne doit pas être considérée comme le seul facteur responsable de la baisse de la production de lait de vache durant la saison chaude. L'humidité, la vitesse du vent et l'exposition au soleil peuvent également avoir un impact significatif sur la physiologie des animaux, influençant leur thermorégulation (Laporta et al., 2017). Parmi ces facteurs climatiques, la température et l'humidité jouent un rôle crucial en tant que déterminants de stress environnemental auquel les bovins laitiers sont exposés (Herbut et al., 2018). En effet, il est primordial de comprendre les implications de ces changements sur les bovins laitiers. Des indices spéciaux sont utilisés pour une évaluation complète des effets de ces facteurs environnementaux sur les animaux. Parmi ceux-ci, le plus courant est l'indice température-humidité (THI : Temperature Humidity Index), qui prend en compte les effets de la température de l'air et de l'humidité relative sur les animaux (Mylostyvyi and Sejian, 2019). D'autres indices, prenant en considération la mobilité de l'air, l'intensité de l'insolation et d'autres facteurs en plus de la température et de l'humidité, ont été proposés par d'autres auteurs (Herbut et al., 2018; Mader et al., 2006). En général, ces indices sont construits en tenant compte de la forte corrélation entre les facteurs environnementaux et les indicateurs individuels de l'état fonctionnel des vaches, qui agissent comme des variables prédictives spécifiques (Daltro et al., 2017; Kim et al., 2018). Avec l'augmentation des températures mondiales et la fréquence accrue des vagues de chaleur, le stress thermique chez les bovins laitiers devient de plus en plus courant. Cela nécessite une analyse approfondie de ses impacts sur la qualité du lait et la physiologie de lactation (Bokharaeian et al., 2023). La production laitière et les composants du lait peuvent également servir d'indicateurs du bien-être des animaux, car ils sont influencés par l'état physiologique de l'organisme exposé à des températures élevées (Bokharaeian et al., 2023). De nombreux chercheurs ont utilisé les

données des stations météorologiques situées à proximité des fermes ou à partir des données climatiques mensuelles extraites à partir des bases de données comme TerraClimate à l'aide des outils de la télédétection pour évaluer l'impact des conditions météorologiques sur la productivité animale (Beux et al., 2017; Bokharaeian et al., 2023; Boudalia et al., 2023; Kekana et al., 2018). Une telle approche est acceptable pour évaluer l'effet de la chaleur sur les animaux, non seulement pendant le pâturage mais également dans des étables non isolées dans lesquelles le microclimat est similaire à l'état de l'environnement (Lambertz et al., 2014). Dans ce contexte, l'objectif de ce travail de master était d'analyser la corrélation entre les paramètres environnementaux et les indicateurs de production laitière des vaches pendant les périodes chaudes et froides de l'année. Les résultats et les données présentés dans ce mémoire seront utilisés pour modéliser mathématiquement l'impact des conditions météorologiques sur la productivité laitière des vaches tout au long de l'année dans le cadre de nos futures études liées au projet PRFU intitulé : production et qualité du lait dans un contexte d'incertitude lié au changement climatique « D00L01UN240120230001 ». Cette étude se divise en deux parties : **(i)** la première partie présente une recherche bibliographique concise sur le lait et ses facteurs de variation ; **(ii)** la seconde partie détaille la méthodologie employée, expose les résultats obtenus ainsi que leur discussion, et se termine par une conclusion.

# Partie I:

# Etude bibliographique:

# Chapitre I :

### 1. Lait :

Le lait désigne la sécrétion lactée, pratiquement exempte de colostrum, obtenue par la traite complète d'une ou plusieurs vaches saines, qui peut être clarifiée et peut être ajustée en séparant une partie de la matière grasse ; lait concentré, lait reconstitué et lait entier en poudre. De l'eau, en quantité suffisante pour reconstituer les formes concentrées et sèches, peut être ajoutée.

Le lait est l'un des aliments les plus polyvalents et précieux de l'industrie alimentaire. En 2018, la production mondiale de lait a atteint 843 milliards de litres, avec une valeur estimée à 307 milliards de dollars américains et devrait croître de 22 % d'ici 2027 (OECD-FAO., 2024). Environ 80 % de la production annuelle de lait provient des vaches, le reste provenant d'autres animaux laitiers comme les buffles, les chèvres, les chameaux et les moutons, selon l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (FAO, 2019).

Le lait est également un composant essentiel du régime alimentaire humain, consommé par 80 % de la population mondiale (Fusco et al., 2020). Le lait et les produits laitiers sont d'importantes sources de macro et micronutriments, notamment des protéines de haute qualité, des graisses, du calcium, du potassium, du phosphore, de la vitamine D, de la riboflavine et de la vitamine B12 (Cimmino et al., 2023; Lin et al., 2021). La majorité de la production mondiale de lait est assurée par de systèmes traditionnels et intensifs, collectivement appelés système de production laitière conventionnel (Lin et al., 2021).

### 2. Systèmes de production du lait :

Les systèmes de production laitière traditionnels et intensifs sont collectivement appelés système de production laitière conventionnel. Le système conventionnel domine les pratiques de production laitière dans le monde entier par rapport au système biologique, se concentrant principalement sur une productivité élevée (Grodkowski et al., 2023). Le système intensif est principalement utilisé dans les pays développés, tandis que la production laitière dans les pays en développement se fait de manière extensive (traditionnelle) (Adesogan and Dahl, 2020). Le secteur de la production de lait biologique connaît une croissance rapide, dépassant le taux d'expansion des autres secteurs laitiers à travers le monde (Clay et al., 2020; Grodkowski et al., 2023). Une synthèse succincte des principales distinctions entre les systèmes de production laitière biologique et conventionnelle est fournie dans le **tableau 1**.

**Tableau 1. Pratiques d'élevages des systèmes de production de lait biologique et conventionnel selon** Średnicka-Tober et al. (2016)

| Pratique d'élevage | Système de production | |
|---|---|---|
| | **Biologique** | **Conventionnel** |
| Accès au pâturage | Requis | Non requis |
| Nutrition | Les aliments doivent être certifiés biologiques | Aliments concentrés |
| Utilisation d'antibiotiques | En cas d'urgence, pour indication vétérinaire | Autorisée, pour indication vétérinaire |
| Usage de pesticide | En cas d'urgence, pour indication vétérinaire | Autorisée, pour indication vétérinaire |
| Usage des hormones de croissance (GH) | Interdit | Autorisée, pour indication vétérinaire |
| Gestion des mauvaises herbes | Rotation des cultures, désherbage manuel | Herbicides chimiques |
| Lutte antiparasitaire | Rotation des cultures, plantations d'accompagnement, cultures pièges, promotion des insectes utiles et des prédateurs naturels | Pesticides chimiques |
| Émissions de gaz à effet de serre | Plus faibles par unité de superficie | Plus élevées par unité de superficie |
| Usage des engrais | Engrais organiques uniquement | Forte dépendance aux engrais synthétiques comme NPK |
| Organismes génétiquement modifiés (OGM) | Interdit | Autorisé |
| Les additifs alimentaires | Interdit | Autorisé |
| Rendement laitier | Faible | Elevé |
| Durée de conservation | Plus élevée | Plus faible |
| Prix de revient | Moyennement élevé | Moyennement faible |
| Impact sur le sol | Réduction de la perte de sol, augmentation de la matière organique, de la capacité de rétention d'eau et de la diversité microbienne | Augmentation de la perte et de l'érosion des sols, diminution de la capacité de rétention d'eau, diminution du stockage du carbone et de la diversité microbienne |
| Consommation de l'eau | Faible | Elevé |
| Consommation d'énergie | Faible intensité de consommation d'énergie (efficacité énergétique plus | Forte intensité de consommation d'énergie non renouvelable |

| | | |
|---|---|---|
| | élevée) | (produits agrochimiques, machines, pompage d'eau, etc.) |
| Impact sur le paysage | Plus grande biodiversité florale et faunique. Paysages agricoles diversifiés | Perte de biodiversité dans les paysages agricoles, paysages agricoles unifiés (monocultures) |

### 2.1. Système conventionnel

#### 2.1.1. Système extensif ou traditionnel

Le système extensif ou traditionnel repose sur le pâturage comme principale source alimentaire à faible coût (Cele et al., 2021). Les pratiques agricoles sont principalement déterminées par le climat et les ressources disponibles dans une région donnée. Par conséquent, le système traditionnel est principalement utilisé dans les climats tempérés, comme en Irlande et en Nouvelle-Zélande, ce qui entraîne une offre de lait saisonnière. Les vaches sont gardées à l'extérieur, pâturant pendant les mois les plus chauds de l'année. Pendant les mois d'hiver, les vaches sont taries et logées à l'intérieur, et elles sont nourries principalement de ensilage et de foin à base de pâturages, qui sont coupés et ensilés à partir d'un excédent de pâturages plus tôt dans l'année. Leur alimentation est généralement administrée à volonté (sans équipement spécialisé et calcul de rations alimentaires). Lorsque les aliments à base de pâturage ne suffisent pas à répondre aux besoins énergétiques de l'animal, des suppléments concentrés sont également fournis. La ration n'est pas cohérente dans ce système d'alimentation, ce qui rend difficile l'obtention d'une alimentation équilibrée et peut potentiellement entraver des rendements laitiers élevés (McAuliffe et al., 2016).

Le système extensif offre aux vaches un environnement plus naturel que le système intensif, permettant l'expression de comportements normaux (Smid et al., 2020). Les systèmes d'alimentation à base de pâturages ont également démontré leur effet bénéfique sur la qualité nutritionnelle du lait et des produits laitiers (Joubran et al., 2021). Le lait et les produits laitiers obtenus à partir de régimes à base de pâturages contiennent des proportions plus importantes de nutriments bénéfiques pour la consommation humaine, tels que les acides gras polyinsaturés (AGPI), l'acide linoléique conjugué (CLA) et les acides gras n-3, que les vaches nourries avec des régimes concentrés (Magan et al., 2021). Malgré la suprématie croissante du système intensif de production laitière, il est prévu que le système traditionnel reste dominant dans les pays en développement à l'avenir (Adesogan and Dahl, 2020).

### 2.1.2. Système intensif

Le système intensif repose sur l'utilisation d'un régime alimentaire composé de rations complètement mélangées (RCM) administré à l'aide d'un camion d'alimentation. Le système intensif est principalement utilisé dans les pays où le climat rend la culture des pâturages difficile, notamment aux États-Unis, en Chine et dans de vastes régions d'Europe (van den Pol-van Dasselaar et al., 2020). Ce mélange de fourrages (ensilage d'herbe, de maïs ou de maïs) ainsi que de concentrés enrichis en vitamines et minéraux (O'Callaghan et al., 2016). L'alimentation par ce mélange offre de meilleures opportunités pour augmenter les taux d'ingestion et répondre plus efficacement aux besoins nutritionnels (Charlton et al., 2011). En outre, ce système protège les animaux des conditions météorologiques extrêmes (Legrand et al., 2009). Le nombre de fermes laitières employant le système de production laitière intensive a considérablement augmenté au cours des 20 dernières années (Legrand et al., 2009). Les préoccupations concernant le bien-être animal continuent de croître en ce qui concerne les systèmes d'alimentation en (RCM) en intérieur. Celles-ci incluent une augmentation des cas de boiterie (Armbrecht et al., 2018), de mammite (Firth et al., 2019), de mortalité (Mee and Boyle, 2020) et de comportements agressifs dus à un espace réduit (Smid et al., 2020). Les systèmes d'alimentation en (RMC) en intérieur limitent également la capacité des animaux à exprimer leur comportement naturel de recherche de nourriture (Smid et al., 2020). Le développement du système d'alimentation par ration partiellement mélangée (RPM) peut atténuer certaines de ces préoccupations. Le système RPM combine l'alimentation en RMC en intérieur avec le pâturage en extérieur de prairies fraîches en alternant les approches d'alimentation. Il a été démontré que l'alimentation en RPM augmente significativement les niveaux de CLA, d'acide α-linolénique (ALA), d'acide vaccénique (C18:1 n-7 trans), et d'acides gras polyinsaturés (AGPI) par rapport à l'alimentation en RMC (Morales-Almaráz et al., 2010), en plus des différences non significatives dans le rendement en lait et la teneur en protéines (Morales-Almaráz et al., 2010).

### 2.1.3. Système biologique

La production de lait biologique repose sur la maximisation de la production laitière de manière durable sur le plan environnemental, tout en donnant la priorité à la santé et au bien-être des animaux. Il existe des différences marquées entre les systèmes de production de lait biologique et conventionnel, chacun présentant ses propres avantages et inconvénients. Aucun système de production ne peut être considéré comme idéal, car la production laitière est un

processus continu. Les mérites de chaque système dépendent d'une évaluation complète englobant la durabilité à long terme, l'impact environnemental, les facteurs économiques et les considérations sociales. Il y a plusieurs différences fondamentales entre les systèmes de production de lait biologique et conventionnel (Brodziak et al., 2021; Grodkowski et al., 2023). Contrairement aux systèmes conventionnels, le système biologique donne la priorité à l'utilisation de races bovines autochtone (locales) (Rodríguez-Bermúdez et al., 2019). Les cultures doivent être fertilisées de manière organique et l'utilisation d'engrais synthétiques et chimiques, d'herbicides et de pesticides est interdite, ce qui s'est avéré avoir des effets bénéfiques sur la composition et la fonctionnalité du sol par rapport aux systèmes conventionnels (Gamage et al., 2023; Santoni et al., 2023).

Les animaux doivent recevoir une alimentation biologique contenant des ingrédients provenant de la production agricole biologique, tandis que l'incorporation de substances naturelles non agricoles est également permise. Par exemple, les vitamines et les minéraux proviennent de substances naturelles telles que les grains germés, l'huile de foie de morue et la levure de bière. En général, un minimum de 60 % de l'alimentation doit provenir de la ferme correspondante. De plus, un minimum de 60 % de la matière sèche dans la ration alimentaire doit se composer de fourrage grossier, de fourrage vert, de fourrage séché ou d'ensilage. Pendant la saison estivale, les vaches ont un accès illimité à la végétation des pâturages, comprenant principalement des herbes basses (50 %), des herbes hautes (30 %) et des légumineuses (10 à 20 %). Dans les fermes biologiques, la durée de l'alimentation au pâturage dépasse souvent 180 jours, tandis que dans les fermes traditionnelles, elle ne dépasse généralement pas 140 jours (Schwendel et al., 2015) .Les pâturages biologiques se distinguent par leur riche biodiversité du fourrage, comprenant diverses espèces de graminées, et légumineuses. Cette diversité contribue directement à la valeur nutritionnelle et à la qualité du fourrage et du lait produit (Gamage et al., 2023). Pendant l'automne et l'hiver, les bovins doivent recevoir du fourrage grossier, comprenant de l'ensilage fabriqué à partir de combinaisons de céréales et de légumineuses ou du foin ensilé. L'incorporation de betteraves ou de pommes de terre dans l'alimentation des bovins est réservée à la saison hivernale (Orjales et al., 2019)

### 3. Effet de système de production sur la qualité du lait

La composition et les caractéristiques physiques du lait présentent une variabilité considérable, influencée par des facteurs tels que l'environnement, l'âge, la race,

l'alimentation, la parité ou rang de lactation, le stade de lactation et la santé de l'animal (Kilcawley et al., 2018). De nombreuses études ont comparé la quantité et la qualité du lait cru produit à partir de systèmes de production de lait biologique ou conventionnel (Brodziak et al., 2021). La composition physicochimique du lait cru produit à partir de systèmes de production de lait biologique et conventionnel est présentée dans le tableau 2.

**Tableau 2 composition du lait en macro et en oligoéléments en fonction de système de production du lait (biologique, extensif et intensif)**

| | **Système biologique** | **Système traditionnel (extensif)** | **Système intensif** |
|---|---|---|---|
| **Protéines** | | | |
| Protéines totales (%) | 3.1 à 3.26 | 3.1 à 3.24 | 3.48 |
| Caséine (%) | 2.54 | 2.52 | 2.78 |
| Protéine de lactosérum (%) | 0.72 à 0.84 | 0.72 à 0.84 | 0.70 à 0.82 |
| β-Lactoglobuline (g/L) | 3.32 à 3.35 | 3.26 à 3.58 | 3.01 à 3.28 |
| α-Lactalbumine (g/L) | 1.07 à 1.19 | 1.05 à 1.21 | 0.98 à 1.14 |
| **Graisse** | | | |
| Graisse (%) | 3.7 à 4 | 3.8 à 4 | 3.8 à 4 |
| AGS (g/100 g) | 66.28 | 59.03 à 64.74 | 67.69 à 71.41 |
| AGMI (g/100 g) | 26.11 à 34.07 | 30.33 à 32.16 | 21.87 à 28.15 |
| AGPI (g/100 g) | 3.85 à 5.36 | 3.69 à 5.32 | 1.65 à 3.77 |
| **Glucides** | | | |
| Lactose (%) | 4.80 à 5 | 4.7 à 5 | - |
| **Vitamines** | | | |
| Vitamine A (mg/L) | 0.468 à 0.800 | 0.410 à 0.556 | 0.347 à 0.465 |
| β-carotène (mg/L) | 0.195 à 0.580 | 0.231 à 0.252 | 0.175 à 0.190 |
| Vitamine E (mg/L) | 1.358 à 2.655 | 1.656 à 1.953 | 1.075 à 1.302 |
| Vitamine D3 (µg/L) | 0.461 à 0.768 | 0.610 à 1.212 | 0.589 à 0.700 |
| **Minéraux et métaux lourds** | | | |
| | **Lait biologique** | **Lait conventionnel** | |
| Calcium (mg/L) | 971.33 à 1161 | 1170 à 1417.76 | |
| Fer (mg/L) | 0.26 à 0.67 | 0.26 à 0.47 | |
| Manganèse (mg/L) | 0.023 à 0.047 | 0.022 à 0.139 | |
| Cuivre (mg/L) | 0.023 à 0.084 | 0.038 à 0.161 | |
| Iode (mg/L) | 0.013 à.283 | 0.071 à 6.540 | |
| Aluminium (mg/L) | 0.76 | 0.63 | |
| Potassium (mg/L) | 1509 à 1896.92 | 1514 à 1844.37 | |
| Sodium (mg/L) | 366.59 | 476.35 | |
| Magnésium (mg/L) | 86.21 | 113.87 à 118.50 | |
| Zinc (mg/L) | 2.86 à 3.96 | 2.96 à 4.39 | |
| Cobalt (mg/L) | 0.001 | 0.001 | |

### 3.1. Rendement du lait

Le principal déterminant de la rentabilité des exploitations laitières est leur niveau de productivité. Il a été régulièrement rapporté que la production laitière biologique avait des rendements laitiers réduits par rapport aux systèmes de production laitière conventionnels (Brito and Silva, 2020). Les troupeaux biologiques obtiennent généralement des rendements laitiers inférieurs, allant de 15 % à 28 % de moins par rapport aux rendements d'une vache conventionnelle (Brodziak et al., 2021) . De telles différences marquées dans la production de lait sont généralement attribuées à un apport énergétique plus faible, soit en raison d'une alimentation pauvre en complémentation, soit d'une teneur énergétique plus faible dans les fourrages issus de systèmes biologiques (Król et al., 2016).

### 3.2. Santé de la mamelle et numération des cellules somatiques (CCS)

La numération des cellules somatiques (SCC) constitue un paramètre diagnostique crucial pour évaluer le bien-être de la glande mammaire (Poudel et al., 2021). Une CCS dépassant 400 000 cellules par millilitre de lait signifie une inflammation des glandes. L'inflammation a des conséquences néfastes sur la productivité globale des vaches, impactant à la fois la qualité nutritionnelle du lait et son aptitude à la transformation (Stocco et al., 2020). Des facteurs liés à la conduite, comme l'hygiène de la traite et la propreté des vaches, jouent un rôle dans la survenue d'infections du pis. Ces infections peuvent avoir un impact à la fois sur la production et la composition du lait (Stocco et al., 2020). Une CCS élevée peut présenter une corrélation négative avec les rendements et les pourcentages de protéines et de matières grasses du lait (Moradi et al., 2021). Par conséquent, toutes les conclusions concernant les différences de composition entre le lait biologique et le lait produit de manière conventionnelle doit considérer la santé de la mamelle et plus précisément le pis comme un facteur contributif (Brodziak et al., 2021).

### 3.3. Teneur en protéine

La teneur totale en protéines et en caséine du lait biologique et du lait produit de manière conventionnelle ne diffère généralement pas de manière significative (Brodziak et al., 2018). Les protéines de lactosérum, bien qu'elles ne représentent que 20 à 25 % des protéines totales, constituent un groupe crucial de protéines du lait (les 75 à 80 % restants sont de la caséine). Les albumines, c'est-à-dire l'α-lactalbumine (α-LA), la β-lactoglobuline (β-LG) et l'albumine sérique bovine (BSA), représentent environ 75 % des protéines de lactosérum. Les autres protéines mineures du lactosérum comprennent les substances bactériostatiques, c'est-à-dire les immunoglobulines, la lactoferrine, la lactoperoxydase et le lysozyme, qui constituent 1 à 2 % des protéines totales du lait. Ces protéines présentent divers effets positifs

sur le corps humain, notamment des propriétés antimicrobiennes (antivirales et antibactériennes), anticancéreuses, immunomodulatrices et antioxydantes (Singh et al., 2023).

La concentration de protéines de lactosérum et d'albumines dans le lait biologique et le lait produit de manière conventionnelle est largement similaire dans les études réalisées ces dernières années (Brodziak et al., 2018). Des études récentes ont indiqué que les concentrations de lactoferrine et de lysozyme sont significativement plus élevées dans le lait des fermes biologiques que dans les fermes conventionnelles (Brodziak et al., 2018).

### 3.4. Teneur en matière grasses

La teneur totale en matières grasses du lait biologique et du lait produit de manière conventionnelle ne diffère généralement pas de manière significative. La matière grasse du lait est composée de plus de 400 acides gras différents. Les acides gras prédominants dans le lait sont les acides gras saturés (AGS), suivis par les acides gras insaturés, notamment les acides gras mono insaturés (AGMI) et les acides gras polyinsaturés (AGPI). Néanmoins, des progrès scientifiques récents suggèrent que les acides gras trans et certains acides gras saturés présents dans le lait pourraient avoir des effets bénéfiques (Hanuš et al., 2018). Les concentrations d'acides gras individuels dans les matières grasses du lait sont affectées par des facteurs tels que la race de la vache, le stade de lactation, la génétique et le régime alimentaire. La composition et la quantité d'acides gras dans le lait sont principalement dictées par le système alimentaire (Manuelian et al., 2022).

Les fourrages verts et les graminées présentes dans l'alimentation de la vache apportent une quantité significativement plus élevée d'acides gras insaturés, tandis que l'ensilage de maïs contient une plus grande concentration d'acide linoléique (AGPI) (Alothman et al., 2019).

### 3.5. Teneur en lactose

Le lactose est le principal glucide du lait et ne diffère généralement pas de manière significative selon les pratiques d'alimentation (Brodziak et al., 2021). Les oligosaccharides sont le troisième composant solide le plus abondant dans le lait, après le lactose et les lipides (Fong et al., 2011). Ces molécules structurellement et biologiquement diverses, bien que résistantes aux enzymes digestives humaines, sont liées à de nombreuses fonctions bénéfiques (Fong et al., 2011). Il a été démontré que les systèmes agricoles biologiques et conventionnels basés sur les pâturages n'influencent pas de manière significative l'abondance des oligosaccharides (Schwendel et al., 2017).

# Chapitre II :

## 1. Stress thermique

Les changements environnementaux peuvent avoir des impacts importants sur l'industrie laitière, car il s'agit d'un secteur vaste et important de l'industrie agricole. Par conséquent, les températures élevées peuvent provoquer un stress thermique chez les bovins, réduisant leur appétit, leur production du lait, leurs performances de reproduction, augmentant ainsi le risque de problèmes de santé et réduisant leur bien-être (Toghdory et al., 2022). Le stress thermique provoque la libération systémique d'une hormone de stress appelée cortisol dans la circulation sanguine des bovins. Cette libération systémique de cortisol est une réponse physiologique qui aide l'organisme du bétail à faire face au stress thermique (Kim et al., 2021).

La valeur nutritionnelle du lait et ses propriétés physico-chimiques, peuvent être fluctuer considérablement au cours de l'année (Chen et al., 2014). Hanuš et al. (2018) ont considéré que les animaux en lactation sont extrêmement sensibles aux températures et à l'humidité élevée, car il est largement reconnu que les facteurs environnementaux jouent un rôle essentiel dans la santé, la croissance, le développement et les performances de lactation.

## 2. Les différents indices thermiques pour estimer le stress thermique

Les conditions externes susceptibles de provoquer un stress thermique chez la vache laitière sont souvent représentées par des indices regroupés sous le terme d'indices thermiques (formule de prédiction). Ces indices bioclimatiques, sans unité, sont largement utilisés dans la communauté scientifique car ils permettent d'évaluer rapidement si les conditions environnementales peuvent induire un stress thermique chez la vache laitière, et de déterminer la gravité du stress subi (Ouellet, 2019).

Ces dernières années, de nombreux indices thermiques ont été développés. Parmi les principaux indices, on trouve l'indice de température-humidité : ITH ou THI (Thom, 1959), l'indice de température-humidité ajusté : ITHaj (Mader et al., 2006), l'indice température de globe noir-humidité : IGNH (Buffington et al., 1981), l'indice de température équivalente : ITE (Baeta et al., 1987), ainsi que l'indice d'accumulation de chaleur : IAC (Gaughan et al., 2008). Parmi ces indexes l'indicateur le plus largement utilisé est le THI, l'index température-humidité établi à la fin des années 50 (Ouellet, 2019).

### 2.1. Indice de température et d'humidité (THI)

L'indice de température et d'humidité combine l'effet de la température ambiante et de l'humidité sur les animaux. C'est l'indice thermique le plus couramment utilisé en recherche pour évaluer le niveau de stress thermique chez les vaches laitières (Galán et al., 2018; Herbut

and Angrecka, 2018; Ouellet, 2019). Wang et al. (2018) expliquent cela principalement pour trois raisons. Premièrement, cet indice est facile et rapide à calculer, nécessitant uniquement des données de température et d'humidité. Deuxièmement, il décrit avec précision les conditions environnementales auxquelles les vaches sont exposées lorsqu'elles sont confinées dans une étable, où le mouvement de l'air est lent et les radiations solaires sont bloquées (Li et al., 2009). Troisièmement, de nombreux auteurs ont montré que l'ITH est lié à diverses réponses physiologiques chez la vache, telles que la température rectale comme montre la figure 1 (Dikmen and Hansen, 2009).

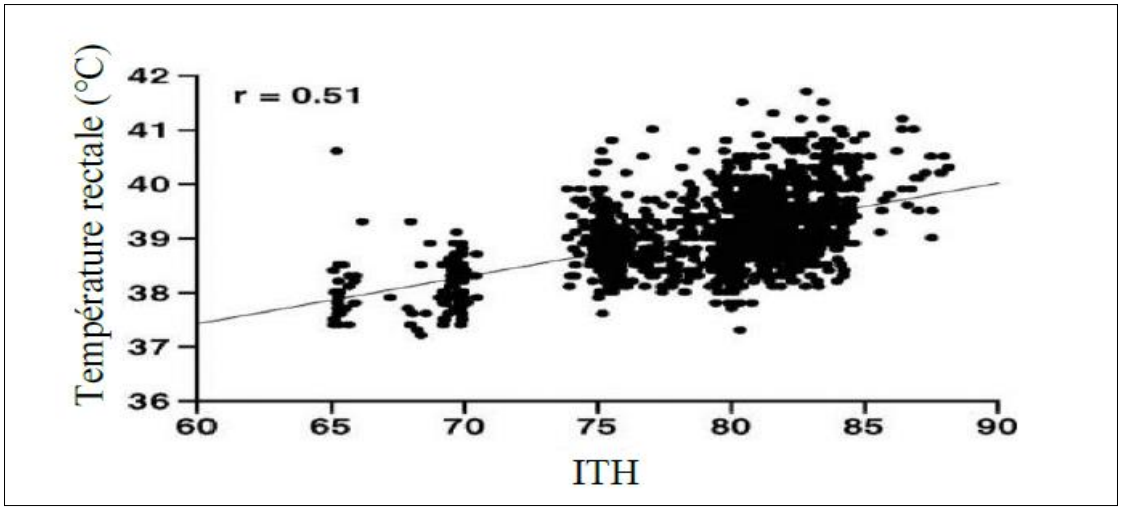


**Figure 1 : Relation entre la température rectale (°C) et l'indice de température-humidité (THI)** (Dikmen and Hansen, 2009)

Chez la vache laitière, la température rectale est étroitement liée ou corrélée à la température corporelle (Burfeind et al., 2011). Elle constitue donc un excellent indicateur de l'équilibre thermique de l'animal. Lorsque l'THI dépasse un certain seuil, une augmentation correspondante de la température rectale peut être observée.

### 2.2. Quelques formules des calcules des THIs

Au fil des années, de nombreuses équations ont été élaborées pour calculer les THIs comme montre le tableau 3.

**Tableau 3 : Formules et origines des différentes équations utilisées pour calculer l'indice de température et d'humidité (THI) chez les vaches laitières.**

| N° | Equation | Référence |
|---|---|---|
| **$THI_1$** | $THI = (0{,}4 \times (Ta \times Th) + 0{,}85)1{,}8 + 32 + 15$ | (Thom, 1959) |
| **$THI_2$** | $THI = (0.15 \times Tdb + 0.85 \times Twb) \times 1.8 + 32$ | (Bianca, 1962) |
| **$THI_3$** | $THI = 1.8Ta - (1 - RH)(Ta - 14.3) + 32$ | (Kibler, 1964) |
| **$THI_4$** | $THI = Tdb + 0.36 \times Tdp) + 41.2$ | (Yousef, 1985a) |
| **$THI_5$** | $THI = (0.55 \times Tdb + 0.2 \times Tdp) \times 1.8 + 32 + 17.5$ | (Council, 1971) |
| **$THI_6$** | $THI = (1{,}8 \times Ta + 32) - [(0{,}55 - 0{,}0055 \times HR) \times (1{,}8 \times Ta - 26)]$ | (Council, 1971) |
| **$THI_7$** | $THI = (1{,}8 \times Ta + 32) - (0{,}55 - 0{,}55 \times HR) \times (1{,}8 \times Ta + 32) - 58$ | (Kelly and Bond, 1971) |
| **$THI_8$** | $THI = (Tdb + Twb) \times 0.72 + 40.6$ | (Rowsell, 1972) |
| **$THI_9$** | $THI = Tdb + (0.36 \times Tdp) + 41.2$ | (Yousef, 1985b) |
| **$THI_{10}$** | $THI = (0.8 \times T) + [(RH / 100) \times (T - 14.4)] + 46.4$ | (Mader et al., 2006) |
| **$THI_{11}$** | $THI = 0.81 \times ET + (ET - 14.4) \times RH \div 100 + 46.4$ | (García-Ispierto et al., 2007) |
| **$THI_{12}$** | $THI = 1{,}8 \text{ x } T - \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \text{x } (T - 14{,}3) + 32$ | (Das et al., 2016) |
| **$THI_{13}$** | $THI = (0{,}8 \times \mathbf{T}) + \left[\left(\frac{RH}{100}\right) \times (\mathbf{T} - 14.4)\right] + 46.4$ | (Ermetin et al., 2023) |
| **$THI_{14}$** | $THI = Tdb + (0{,}36 \times Tdp) + 41.2$ | (Garner et al., 2022) |

Ta : température ambiante, Th : température humide, HR : humidité relative

(Bohmanova et al., 2007) ont révélé que l'$THI_6$ a d'abord été développé chez des bovins élevés à l'extérieur. Toutefois, Hahn et al. (2003) mentionnent que cette équation est largement utilisée avec succès dans la littérature, et ce, sans égard à l'environnement dans lequel la vache est élevée. D'ailleurs, une revue de littérature systématique des études portant sur le stress de chaleur chez la vache laitière effectuées pendant les vingt dernières années a indiqué que les équations ITH 3, 6 et 9 (tableau 3) sont les plus fréquemment utilisées pour juger le niveau de stress de chaleur subi par les vaches laitières (Galán et al., 2018).

### 2.3. Les seuils de THI susceptibles de provoquer un stress thermique

Le seuil d'THI 72 était historiquement considéré comme le point de départ de la diminution de la production laitière en cas de stress thermique. Cependant, de nombreux auteurs ont récemment abaissé ce seuil. Cette variation s'explique par le fait que la tolérance des vaches aux conditions environnementales dépend de facteurs intrinsèques à l'animal (âge, masse corporelle, stade de lactation, statut physiologique, production laitière, génétique) ainsi que de facteurs extrinsèques (climat dans lequel elles sont élevées) (Ouellet, 2019).

## 3. Conséquences du stress thermique chez les vaches laitières

### 3.1. Le métabolisme est modifié pour faire face à la chaleur

Aux alentours de 20°C, environ un tiers de l'énergie ingérée par une vache est alloué à la production de chaleur métabolique (Coppock, 1985). Ces besoins d'entretiens augmentent de 20% lorsque la température passe à 35°C. En effet, certaines fonctions métaboliques vont être altérées (Bernabucci et al., 2010b) pour réguler la température corporelle et la maintenir autour de 38,5°C.

Les vaches vont présenter deux phases d'acclimatation en réponse à un stress thermique, impliquant des modifications du fonctionnement du système nerveux : une phase de stress aigué, qui survient dans un laps de temps de quelques minutes à quelques jours après l'événement, puis une phase de stress chronique en cas de stress prolongé, qui peut prendre plusieurs jours à plusieurs semaines à se mettre en place. Ces deux phases font appel à des notions différentes, la première visant une régulation à court terme de la température interne (notion d'homéostasie) et la seconde entraînant des régulations des flux du métabolisme afin de maintenir cette régulation sur le long terme. En pratique, cela se traduit par une dégradation des performances des animaux lors de la phase aigue, puis un rétablissement par acclimatation aux conditions persistantes. Dans les deux cas, une levée du stress entraîné un retour à l'état normal, à ne pas confondre avec la notion d'adaptation qui suggère une évolution génétique sur plusieurs générations en réponse à des conditions environnementales persistantes (Collier et al., 2019). Pour accroître la dispersion de la chaleur produite, le corps

répond immédiatement par l'augmentation de la fréquence respiratoire (Gaughan et al., 2000) et une transpiration plus abondante (Finch et al., 1982).

Quant au rythme cardiaque, il a tendance à accélérer, réponse classique en cas de stress, afin de faciliter la dissipation de la chaleur en améliorant la circulation dans les tissus périphériques. Si la période d'exposition à la chaleur se prolonge il aura ensuite tendance à être plus lent (Kadzere et al., 2002). Si ces mécanismes de régulation ne sont pas suffisamment efficaces, les températures rectale et vaginale vont augmenter (de Andrade Ferrazza et al., 2017). En cas de vague de chaleur intense et prolongée, les signes cliniques de stress thermique sont accentués, avec un halètement marqué et une salive abondante.

### 3.2. Modification du comportement afin de limiter sa production de chaleur

Les vaches manifestent leur inconfort en cas de stress thermique par des changements visibles dans leur comportement. Elles réduisent le temps passé allongées d'environ 30% (Cook et al., 2007) pour rester plus longtemps debout afin d'augmenter la surface disponible pour dissiper la chaleur (Smith et al., 2016) et recherchent activement les points d'abreuvement et d'ombre (Schütz et al., 2010). Elles modifient également leur comportement alimentaire en buvant plus, en se nourrissant moins, moins fréquemment et en ruminant moins, limitant ainsi la production de chaleur liée à la fermentation ruminale et au métabolisme des nutriments. L'ingestion peut ainsi diminuer de 10 à 35% (Wheelock et al., 2010) influencée par la possibilité ou non de s'abriter du soleil, l'ombre pouvant alléger d'un tiers au moins la charge thermique ressentie (Blackshaw and Blackshaw, 1994). Les animaux qui ne disposent pas d'ombre vont jusqu'à réduire leur ingestion de moitié pendant la journée (8h-16h) puis accroissent leur consommation pendant la période plus fraîche (16h-8h). Toutefois, cette compensation reste limitée puisqu'ils mangent finalement moins que ceux qui bénéficient d'ombre (Mallonee et al., 1985).

La quantité d'eau ingérée, fortement liée au niveau de production des vaches et à la ration ingérée, à tendance à augmenter en cas de stress thermique: une vache accroît sa consommation d'eau d'en moyenne 20% en condition de stress thermique (THI de 72 contre THI de 57, conditions thermo neutres) (Collier et al., 2019).

La rumination stimulant la production de salive, celle-ci est également moins abondante et moins concentrée en substances tampon, perturbant ainsi le bon fonctionnement du rumen et impactant la consommation, la digestion et donc la capacité de production de la vache.

### 3.3. La production laitière est réduite en cas de stress thermique

La baisse de production laitière, fortement pénalisante pour le revenu d'une exploitation, est une conséquence directe de l'altération du métabolisme et du comportement des vaches en cas de forte chaleur. Seul 35% de cette baisse de production est attribuable directement à la baisse d'ingestion constatée chez une vache en stress thermique (Rhoads et al., 2009). L'augmentation des besoins d'entretien, la baisse d'absorption des nutriments et l'altération du fonctionnement du rumen, les changements métaboliques et hormonaux, etc., sont autant d'éléments qui limitent l'énergie allouable à la production laitière en cas de stress thermique (Bernabucci et al., 2010a), ce qui ne leur permet pas de disposer d'assez d'énergie pour maintenir leur production laitière. De plus les altérations du métabolisme entraînant une baisse de fourniture de glucose à la glande mammaire, la synthèse de lactose, et donc la production laitière, se retrouvent perturbées.

La plupart des revues scientifiques expriment la baisse de production laitière en fonction du THI est néanmoins difficile de chiffrer précisément la baisse de production laitière qui résulte d'un stress thermique (Ouellet, 2019).

### 3.4. La composition du lait est altérée en cas de stress thermique

La quantité de lait n'est pas la seule impactée par le stress thermique. La composition du lait est également altérée, ce qui va jouer à la fois sur le paiement du lait et sur ses propriétés de coagulation et organoleptiques.

La teneur en lactose du lait ne semble pas affectée en cas de stress thermique, concernant les quantités de matière grasse sont nuancées, tantôt non impactées (Cowley et al., 2015).

Quant à la matière protéique, sa teneur a tendance à baisser en cas de stress thermique (Summer et al., 2019). Cette baisse s'accompagne d'un changement de ratio des différentes caséines du lait (Cowley et al., 2015) (Bernabucci et al., 2015). De par le rôle de ces protéines dans la coagulation du lait, ces modifications peuvent entraîner des perturbations dans les processus de transformation du lait

En fin il n'est pas rare de constater une dégradation du point de congélation (cryoscopie) des laits en période de fortes températures. Cette situation se retrouve notamment au pâturage si la disponibilité en eau est insuffisante. Les vaches vont alors boire une quantité d'eau très importante en arrivant au bâtiment, juste avant la traite, abaissant ainsi le point de congélation du lait.

### 3.5. La reproduction des animaux est dégradée par la chaleur

Les performances de reproduction sont durement impactées lors d'un stress thermique. La sécrétion des hormones qui régissent le fonctionnement du système reproducteur se voit modifiée, compromettant ainsi la fertilité et la fécondité des animaux : chez les femelles, baisse de la qualité des follicules et des ovules qu'ils contiennent, baisse de l'intensité et de la durée des chaleurs (De Rensis and Scaramuzzi, 2003). taux de conception plus faible, mortalité embryonnaire accrue, etc.. Un stress thermique a pour conséquences directes d'accroître le taux d'avortements embryonnaires et de vêlages avant terme (Al-Katanani et al., 1999).

Chez les mâles semence de moins bonne qualité. le jour de l'insémination et jusqu'à 10 jours après suivant les études), entraînant des allongements de l'intervalle vêlage-vêlage (Schüller et al., 2014). De plus les spermatozoïdes ne retrouvent leur mobilité normale qu'après un délai de 8 semaines suivant le stress (Skinner and Louw, 1966).

### 3.6. Le bien-être et la santé des vaches laitières sont compromis lors d'un stress thermique

Le fait que le comportement des vaches soit altéré en cas de vague de chaleur reflète leur inconfort. Des comportements de compétition entre vaches sont observés lorsque l'ombre disponible au pâturage est limitée (Schütz et al., 2010) et au niveau des points d'eau, plus fréquentés en cas de forte chaleur car permettant de limiter la chaleur ressentie (McDonald et al., 2020). De plus le temps (et l'énergie) consacré à tenter d'évacuer le surplus de chaleur empiète sur le temps de repos et de rumination et dérègle leur équilibre. Ces handicaps se répercutent sur leur état de santé, souvent dégradé en cas de stress thermique, avec une hausse d'occurrence de certaines maladies en cas de forte chaleur. Un des principaux problèmes rencontrés est un risque accru de perturbation du fonctionnement du rumen, avec notamment une baisse du pH. En effet, l'hyperventilation visant à améliorer l'évacuation de la chaleur augmente le taux de dioxyde de carbone ($CO_2$) expiré, diminuant sa concentration dans le sang et entraînant une hausse du pH sanguin.

La concentration en $CO_2$ est rééquilibrée et le pH abaissé grâce à une sécrétion de bicarbonate ($HCO_3$) par les reins. Or le bicarbonate est le principal agent tampon de la salive. Celle-ci est donc moins concentrée en bicarbonate, et étant également moins abondante suite à la baisse de la rumination, moins d'agent tampons arrivent jusqu'au rumen, qui voit son pH décroître (Schneider et al., 1984). Couplée avec la baisse d'ingestion et de motilité du rumen constatées lors d'un stress thermique, cette acidification s'ajoute aux perturbations du bon fonctionnement du rumen, diminuant sa capacité de digestion en perturbant le fonctionnement

de la flore ruminal. En effet, le déficit en glucose lié aux adaptations du métabolisme face à la chaleur ne permet plus au foie de dégrader correctement les graisses mobilisées, entraînant la présence de corps cétoniques dans le sang. Ces deux dérèglements entraînent une dégradation rapide de l'état de santé des vaches atteintes. Les vaches passant plus de temps debout qu'à la normale afin de dissiper la chaleur, leur repos et leur alimentation sont perturbés(Lacetera, 2019). Les cas de mammites cliniques sont également plus fréquents en cas de stress thermique, avec un risque accru pour les niveaux de production élevés, en milieu et en fin de lactation et pour les multipares (Vitali et al., 2020).

# Partie II:

# Etude expérimental

# Chapitre III :

## 1. Région d'étude :

Une étude rétrospective, incluant un modèle saisonnier et l'analyse des relations avec la composition du lait selon l'indice de température et d'humidité (THI), a été réalisée dans le cadre du projet PRFU intitulé "Production et Qualité du Lait dans un Contexte d'Incertitude lié au Changement Climatique" (référence : D00L01UN240120230001). Cette étude, portant sur la qualité physico-chimique du lait des vaches, s'est déroulée sur une période d'un an, de mars 2023 à février 2024, dans douze exploitations laitières localisées dans le Nord-Est Algérien : Guelma (2), Annaba (2), Skikda (2), El Tarf (2), Constantine (1), Mila (1) et Souk Ahras (2).

La sélection des élevages a été effectuée selon plusieurs critères : la fiabilité et la disponibilité des données, l'étage bioclimatique, la régularité de l'activité laitière, le volume de lait produit, la taille du cheptel et le mode de livraison du lait. Cette approche visait à constituer un échantillon diversifié, englobant plusieurs étage bioclimatique (humide, sub humide, aride et semi aride). En d'autres termes, nous avons cherché à créer un panel représentatif de l'ensemble du secteur laitier, en incluant des exploitations de différentes tailles et capacités de production. Les critères de sélection ont permis d'assurer la qualité et la pertinence des données recueillies, tout en reflétant la variété des pratiques d'élevage et ses conditions climatiques. Cette région est l'une des plus importantes en Algérie pour la production de lait. Toutes les vaches ont été élevées dans des conditions environnementales hétérogène, résidant dans des étables ouvertes sans système de ventilation. Durant l'été, les éleveurs se basent sur la circulation de l'air ambiant à l'intérieur des étables.

## 2. Les données climatiques

Les données météorologiques ont été obtenues à partir de la base de données AgERA5 (Agrometeorological indicators dataset) via Google Earth Engine. Il s'agit d'un ensemble de données climatiques mensuelles et du bilan hydrique mondial disponible depuis l'année 1958, extrait sous format CSV à l'aide du package 'raster'. Cet outil fournit des données cruciales pour les études écologiques et hydrologiques à l'échelle mondiale, nécessitant une résolution spatiale élevée. L'humidité relative mesurée à 6 h du matin exprimée en pourcentage, la vitesse du vent exprimée en mètres/seconde, et la température moyenne ('Temperature Air_2m_Mean_24h') exprimée en °C. Ces paramètres sont extraits à partir de la base de données ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis via Google Earth Engine. Le THI a été calculé en utilisant la formule développée par Council (1971)

$$\mathbf{THI} = (\mathbf{1,8} \times \mathbf{Ta} + \mathbf{32}) - [(\mathbf{0,55} - \mathbf{0,0055} \times \mathbf{HR}) \times (\mathbf{1,8} \times \mathbf{Ta} - \mathbf{26})]$$

### 3. Prélèvement et analyse des échantillons du lait

L'étude porte sur un lait de mélange issu de plusieurs vaches en lactation au sein d'une même exploitation. Les prélèvements, effectués une à deux fois par mois, ont été réalisés directement à la ferme soit un total de 372 échantillons collectés durant une année. Chaque échantillon, d'un volume compris entre 0,5 et 1 litre, a été recueilli après homogénéisation dans des bouteilles en plastique propres et sèches. Les échantillons ont été immédiatement placés dans une glacière contenant des blocs réfrigérants pour le transport vers le laboratoire. La durée d'acheminement variait de 4 à 24 heures selon la distance du lieu de prélèvement. Pour refléter les conditions réelles sur le terrain, aucun conservateur n'a été ajouté aux échantillons. Cette méthode de collecte et de transport visait à obtenir des échantillons représentatifs de la production laitière de chaque exploitation, tout en préservant au mieux l'intégrité du lait dans des conditions proches de la réalité du terrain. En parallèle de chaque prélèvement, une enquête a été réalisée pour chaque exploitation, les données collectées portent sur le capital foncier, l'utilisation des terres agricoles, la main-d'œuvre et les compétences techniques de l'éleveur. Elles incluent également les caractéristiques du troupeau laitier, telles que le nombre et la structure du cheptel, les races, l'équipement d'élevage, le type d'étable et les méthodes de traite et de ventilation. De plus, la gestion de l'alimentation et de l'hygiène du troupeau.

L'analyse des paramètres physico-chimiques du lait a été réalisée à l'aide de l'appareil "Lactoscan", conformément aux directives du fabricant. Cet analyseur utilise la technique de spectroscopie infrarouge à transformation de Fourier, combinant l'acquisition de spectres infrarouges et le traitement des données pour une précision et une stabilité optimales. La densité, quant à elle, a été mesurée à l'aide d'un lactodensimètre. Les résultats ont été ajustés à une température de référence de 20°C selon la formule suivante : Densité corrigée = densité lue ± 0,2 × (température du lait - 20°C). Cette méthode d'analyse permet d'obtenir une évaluation précise et fiable des caractéristiques physico-chimiques du lait, en tenant compte des variations de température qui peuvent affecter la mesure de la densité.

### 4. Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du progiciel R version 4.1.3. Les effets des saisons, des mois et du THI sur la composition du lait ont été évalués à l'aide d'une analyse de variance. Le test de Tukey a été utilisé pour la séparation moyenne post-hoc lorsqu'une signification statistique était détectée. Des corrélations de Spearman ont été calculées entre les divers paramètres mesurés de composition du lait et des facteurs environnementaux. Les

résultats sont présentés sous forme de moyennes avec écarts types. La signification statistique a été déterminée à un niveau de probabilité ($p$) < 0,05.

# Chapitre IV :

## 1. Température ambiante moyenne, l'humidité relative (HR) et l'index Température-Humidité (THI)

Les données relatives à la température ambiante moyenne (°C), à l'humidité relative (%) et à l'indice (THI) sont présentées dans le tableau 4. La température moyenne fluctue entre 10,40 °C en Décembre, le mois le plus froid, et 32,58 °C en juillet, le mois le plus chaud. Le THI varie de 51,19 en décembre à 80,60 en juillet. En effet, le THI le plus élevé en Juillet signale un stress thermique accru pour les vaches laitières durant cette période, suivi par le mois d'Aout (75,30) et septembre (74,71), tandis que le THI le plus bas en décembre indique que les vaches sont moins exposées au stress thermique.

Il convient de noter que l'indice THI permet de mesurer le niveau de stress thermique subi par un animal St-Pierre et al. (2003). Le seuil critique de THI, au-delà duquel les animaux souffrent du stress thermique qui varie en fonction de l'âge et du niveau de production (Bouraoui et al., 2002). Pour les vaches laitières, ce seuil est estimé à environ 70 (St-Pierre et al., 2003). Toutefois, (Johnson et al.) a proposé un seuil critique d'environ 72 pour les vaches Holstein.

La valeur moyenne de THI sur une période d'un an, de mars 2023 à février 2024 (tableau 4), était de 63,42 ± 10,99 avec un coefficient de variation de 17,32 %. Pendant deux mois, en juillet et août, les vaches ont été exposées à un stress thermique sévère (>78). En juin et septembre, elles ont subi un stress thermique modéré (72-78). Le reste de l'année, notamment au printemps et en hiver, les vaches se trouvent dans une zone de confort thermique. Cependant, des valeurs moyennes de THI inférieures à 68 indiquent un stress dû au froid durant la période allant de Mars au Mai, ainsi qu'au mois de novembre au févier. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par (Bachtarzi et al., 2022).

L'évolution mensuelle de THI (figure 2) montre que le THI a augmenté en fonction de l'augmentation de la température et de l'humidité relative. La Figure 2 indique une charge de stress thermique positive de juin à septembre caractérisée par des valeurs THI qui dépassent le seuil critique de 72. La période de début juin à la fin septembre a été hautement chaude en 2023. Les vaches laitières subissent un stress important lorsque les températures dépassent le seuil supérieur de leur zone de confort thermique pendant les mois les plus chauds de l'année. Ces conditions climatiques extrêmes provoquent un stress thermique qui affecte leur bien-être, et affecte aussi négativement leurs performances de production laitière ou de viande. En effet, la chaleur excessive représente un facteur de stress majeur pour ces animaux, impactant à la fois leur santé et leur productivité (Attia et al., 2022).

**Tableau 4 : Evolution mensuelle de la température ambiante moyenne (Tmoy en °C), l'humidité relative (HR en%) et l'index Humidité-température (THI)**

| Mois | Paramètre | T (°C) | HR (%) | THI |
|---|---|---|---|---|
| **Mars 2023** | N | 31 | 31 | 31 |
| | μ ±σ | 11,05 ± 2,81 | 79,24 ±9,11 | 52,48 ±4,52 |
| | Min | 7,19 | 54,37 | 46,89 |
| | Max | 16,24 | 91,93 | 60,41 |
| **Avril 2023** | N | 29 | 29 | 29 |
| | μ ±σ | 15,65 ± 3,60 | 73,27 ± 12,95 | 59,53 ± 5,27 |
| | Min | 9,37 | 51,26 | 49,78 |
| | Max | 23,07 | 89,84 | 69,36 |
| **Mai 2023** | N | 31 | 31 | 31 |
| | μ ±σ | 16,13± 2,94 | 81,50 ± 9,29 | 60,81 ± 4,85 |
| | Min | 11,76 | 64,67 | 53,48 |
| | Max | 22,46 | 96,35 | 71,01 |
| **Juin 2023** | N | 38 | 38 | 38 |
| | μ ±σ | 23,95 ±2,58 | 69,61 ± 13,37 | 72,05 ± 3,24 |
| | Min | 18,50 | 44,16 | 64,89 |
| | Max | 28,40 | 93,94 | 76,47 |
| **Juillet 2023** | N | 31 | 31 | 31 |
| | μ ±σ | 32,58 ±2,93 | 45,36 ±13,92 | 80,60 ±3,04 |
| | Min | 28,17 | 19,65 | 76,78 |
| | Max | 38,39 | 69,99 | 89,10 |
| **Aout 2023** | N | 31 | 31 | 31 |
| | μ ±σ | 26,38±2,11 | 65,09±15,39 | 75,30±3,46 |
| | Min | 23,29 | 32,64 | 71,62 |
| | Max | 30,62 | 81,79 | 83,54 |
| **Septembre 2023** | N | 30 | 30 | 30 |
| | μ ±σ | 26,24±3,16 | 62,49±12,68 | 74,71±4,34 |
| | Min | 20,66 | 40,74 | 68,08 |
| | Max | 31,11 | 83,42 | 83,82 |
| **Octobre 2023** | N | 30 | 30 | 30 |
| | μ ±σ | 21,65±1,50 | 71,50±21,58 | 68,95±2,73 |
| | Min | 19,25 | 27,05 | 63,73 |
| | Max | 23,92 | 93,12 | 73,84 |
| **Novembre 2023** | N | 30 | 30 | 30 |
| | μ ±σ | 14,37±3,28 | 78,15±11,86 | 57,78±5,29 |
| | Min | 9,52 | 52,42 | 49,23 |
| | Max | 18,79 | 98,17 | 64,47 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Décembre 2023** | N | 31 | 31 | 31 |
| | μ ±σ | 10,40 ± 2,96 | 88,42 ± 9,20 | 51,19 ± 5,12 |
| | Min | 4,82 | 68,18 | 41,02 |
| | Max | 14,66 | 100,00 | 58,38 |
| **Janvier 2024** | N | 31 | 31 | 31 |
| | μ ±σ | 11,05±1,84 | 72,83±15,46 | 52,67±3,01 |
| | Min | 7,58 | 41,95 | 47,25 |
| | Max | 14,59 | 91,88 | 58,22 |
| **Février 2024** | N | 28 | 28 | 28 |
| | μ ±σ | 11,01 ±3,03 | 80,89 ±19,70 | 52,06 ± 5,08 |
| | Min | 7,01 | 50,00 | 44,97 |
| | Max | 16,96 | 97,85 | 61,29 |
| **Moyenne** | N | 371 | 371 | 317 |
| | μ ±σ | 18,53 ±7,71 | 72,25 ±17,57 | 63,42 ±10,99 |
| | Min | 4,82 | 19,65 | 41,02 |
| | Max | 38,39 | 100 | 89,10 |

**N : nombre d'échantillons analysés ; μ ±σ : Moyenne ± ecart-type ; Max : maximum ; Min : minimum.**

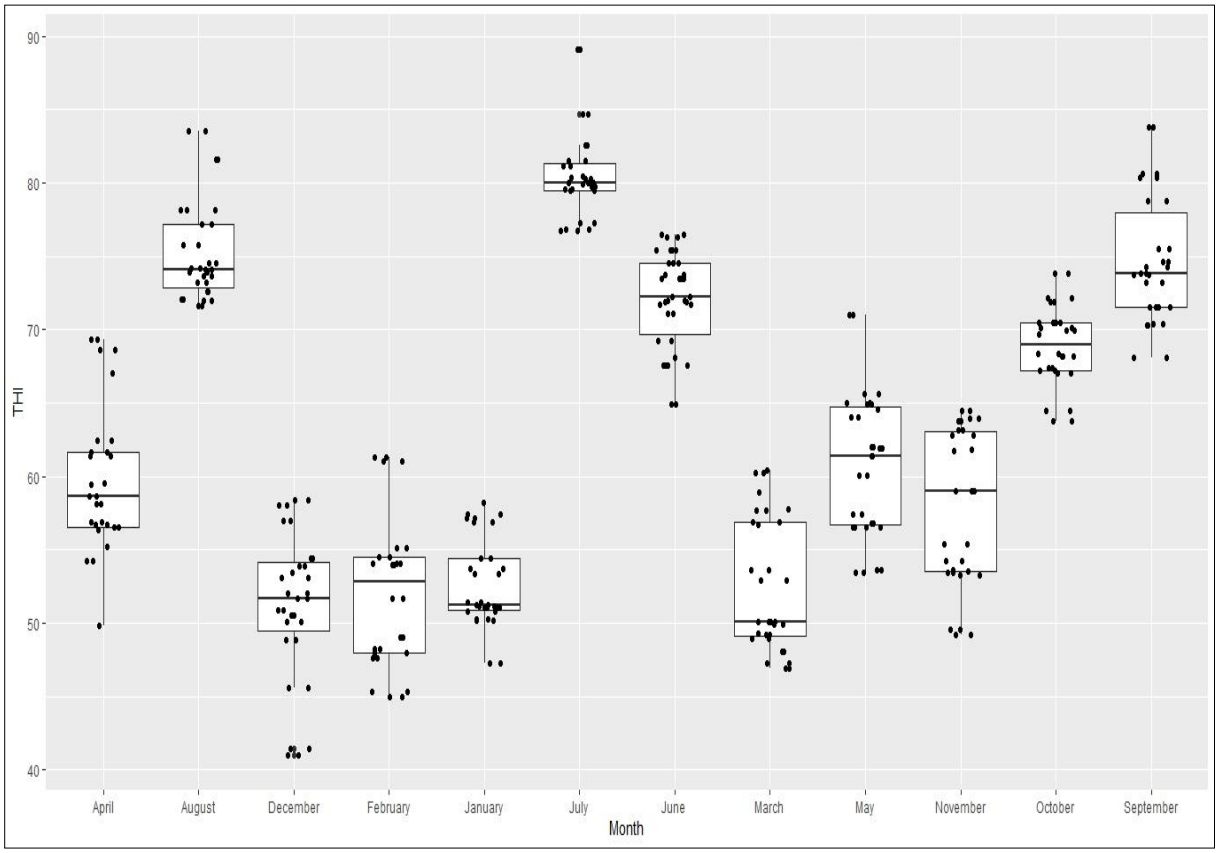


**Figure 2. Comparaison mensuelle du THI dans la région d'étude (Mars 2023 au Février 2024)**

Le THI est un indicateur global permettant d'évaluer le niveau de stress thermique et de froid chez les vaches laitières, en tenant compte de l'influence combinée de la température et de l'humidité relative (Bokharaeian et al., 2023). Par conséquence, l'effet de la saison a révélé une influence significative sur la variation du THI. La valeur moyenne la plus élevée du THI a été observée pendant l'été, avec une moyenne de 75,70 ± 4,79. Elle est suivie par l'automne, avec une moyenne de 67,14 ± 8,22, puis le printemps, avec une moyenne de 57,56 ± 6,08. L'hiver enregistre la moyenne la plus basse, soit 51,14 ± 4,48. Un effet hautement significatif a été observé entre la saison estivale et la saison hivernale ($p < 2{,}22\ e^{-16}$ ; test de Kruskal-wallis), ainsi qu'entre la saison estivale et la saison printanière ($p < 2{,}22\ e^{-16}$ ; test de Kruskal-wallis). De même, une différence significative a été enregistrée entre les saisons les plus chaudes, c'est-à-dire entre l'été et l'automne ($p = 1{,}6\ e^{-14}$ ; test de Kruskal-wallis) (figure 3). Cela démontre une fois de plus que la saison estivale est celle où les vaches laitières sont les plus exposées au stress thermique.

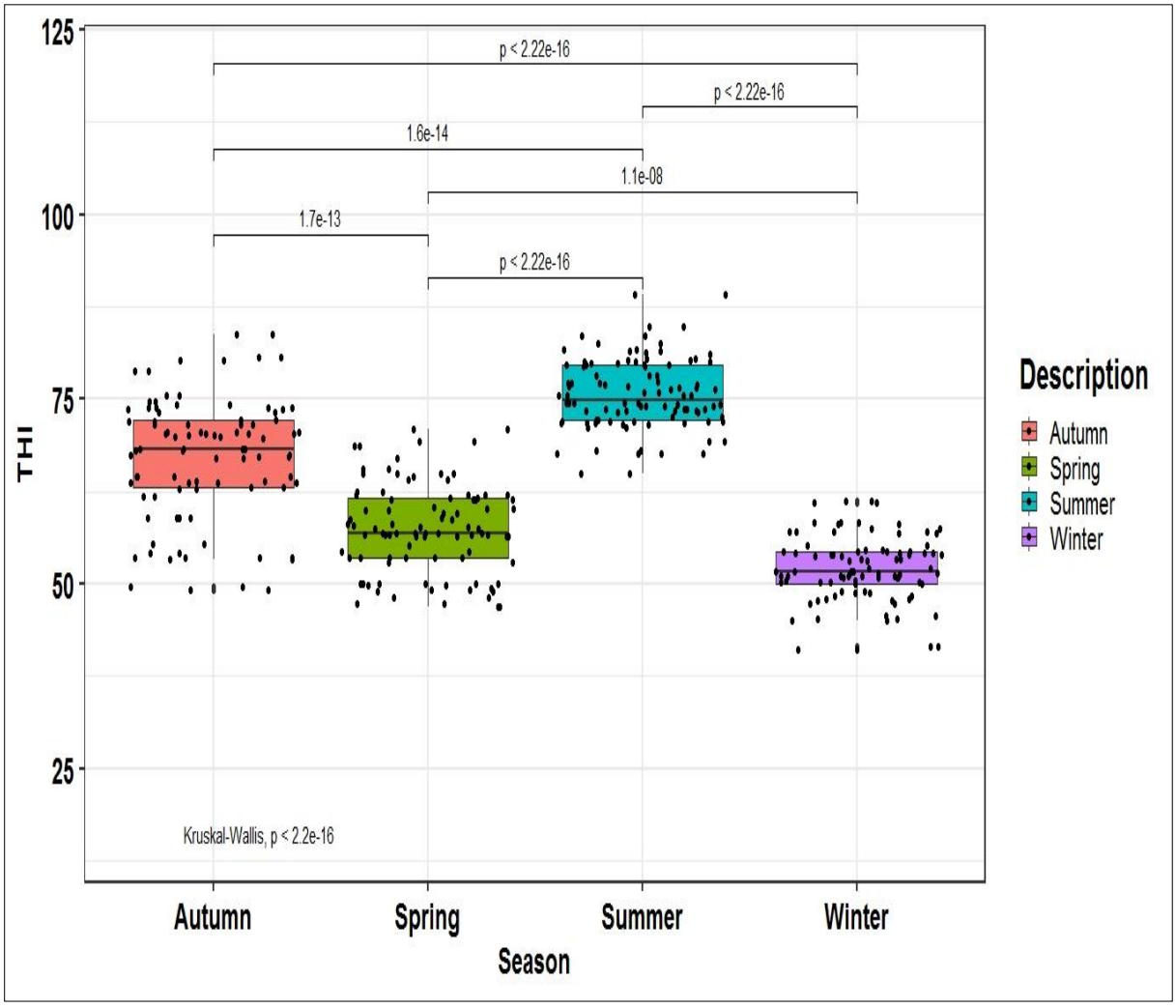


**Figure 3. Effet de la saison sur la variation de THI**

## 2. Effet de la saison sur la qualité nutritionnelle du lait

### 2.1. Effets du THI sur la composition du lait

Dans un premier temps, avant de mener des analyses statistiques plus approfondies telles que des régressions multiples ou simples, nous avons examiné les liens de corrélation (corrélation de Spearman) entre les différents paramètres de la qualité physicochimique du lait et l'indicateur THI de l'environnement, comme présenté dans le tableau 5 et la figure 4.

Nos résultats ont révélé des corrélations significatives entre les principaux paramètres du lait et du THI. Des corrélations négativement significatives ($p < 0,01$) ont été observées entre le THI, la teneur en protéine ($r = - 0,127$ ; $p < 0,01$), la teneur en SNF ($r = - 0,242$ ; $p < 0,01$), les minéraux ($r = - 0,111$ ; $p < 0,01$), et la teneur en lactose ($r = - 0,221$ ; $p < 0,01$). En revanche, la corrélation entre le taux butyreux du lait et le THI présente une corrélation positivement significative ($r = + 0,262$ ; $p < 0,01$), ainsi que le THI était significativement positives avec la cryoscopie ($r = + 0,121$ ; $p = 0,020$).

L'analyse de la corrélation simple entre les différents paramètres physico-chimiques du lait cru de vache révèle que le taux butyreux (TB) présente une corrélation positive très significative avec le taux protéique (TP) ($r = 0,52$, $p = 0,003$). Cela indique que le TB et le TP évoluent de manière proportionnelle dans le lait. En revanche, le TB est lié à la densité du lait ($r = 0,288$, $p = 0,000$). De même, le TP est fortement corrélé positivement avec la densité ($r = 0,675$, $p < 0,0001$) (tableau 5).

En d'autres termes, lorsque le taux de matières grasses (TB) augmente, le taux protéique (TP) a également tendance à augmenter. Cependant, la densité du lait est fortement influencée par les variations de la teneur de la matière utiles dans le lait. En revanche, une augmentation du taux protéique, butyreux, et le taux de lactose entraînent une hausse de la densité du lait.

L'indice température-humidité (THI) a une influence significative sur la production de lait, affectant divers aspects de sa composition. Ali et al. (2023) ont mis en évidence une tendance marquée où une augmentation des niveaux de THI est associée à une diminution statistiquement significative de la production laitière, de la teneur en protéines du lait et du SNF (solides non gras) du lait. Ils ont particulièrement identifié une relation inverse entre les niveaux de protéines, de minéraux, de lactose et de SNF par rapport aux niveaux de THI. Des valeurs de THI plus basses étaient systématiquement corrélées à des teneurs en matières grasses plus élevées. Ces observations confirment nos propres résultats de recherche, qui montrent une corrélation négative notable et statistiquement significative entre le THI et les composants utiles du lait, notamment la teneur en protéines, en lactose et en SNF à

l'exception de la matière grasse. Lee et al. (2023) ont également observé une réduction de chaque composant du lait lorsque le THI dépasse un seuil spécifique. De plus, la littérature suggère que la matière utile du lait tend à diminuer en réponse aux conditions de stress thermique (Gálik et al., 2021; Hammami et al., 2015).

Bouraoui et al. (2002) ont suggéré que cette diminution pourrait être liée à une réduction de la consommation de fourrage dans l'alimentation induite par le stress thermique.

**Tableau 5 : analyse des coefficients de corrélation entre les paramètres mesurés de la composition du lait et les facteurs environnementaux (THI)**

| Variables | Protein | Fat | Lactose | TDE | SNF | Minerals | FP | Density | THI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Protein** | **1** | | | | | | | | |
| **Fat** | **0,152** | **1** | | | | | | | |
| **Lactose** | **0,807** | **0,126** | **1** | | | | | | |
| **TDE** | **0,575** | **0,731** | **0,519** | **1** | | | | | |
| **SNF** | **0,692** | -0,076 | **0,617** | **0,579** | **1** | | | | |
| **Minerals** | **0,789** | **0,107** | **0,720** | **0,584** | **0,768** | **1** | | | |
| **FP** | **-0,533** | **-0,134** | **-0,481** | **-0,418** | **-0,479** | **-0,555** | **1** | | |
| **Density** | **0,675** | **0,286** | **0,645** | **0,517** | **0,459** | **0,656** | **-0,648** | **1** | |
| **THI** | **-0,127** | **0,262** | **-0,221** | 0,034 | **-0,242** | **-0,111** | **0,121** | -0,015 | **1** |

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05, Pour chaque couple de variable, les résultats indiquent le coefficient de Spearman estimé. *, valeurs significatives au seuil alpha = 0,05 **, valeurs significatives au seuil alpha = 0,01. Le signe de la corrélation nous indique le sens de la relation (le signe -, ceci indique que les deux variables varient en sens inverse).

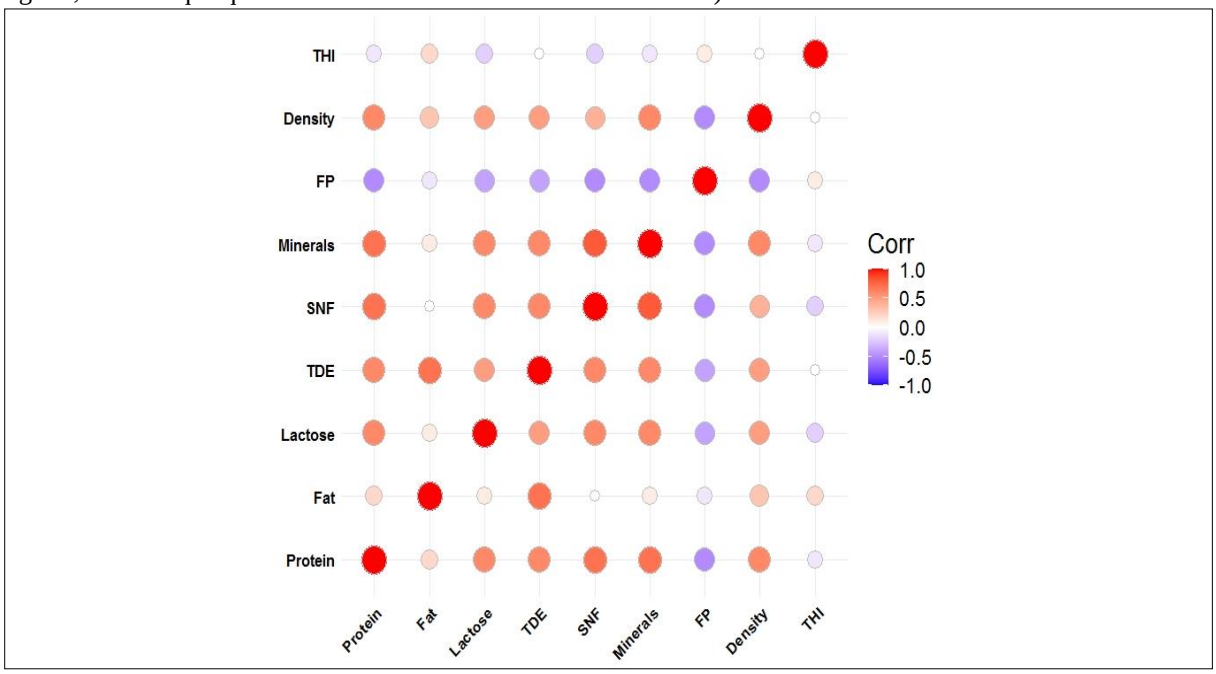


**Figure 4 : corrélogramme entre les propriétés physicochimiques du lait et le THI**

### 2.2. Effets saisonniers sur la composition du lait

L'effet de la saison est significatif (p <0,01) sur la densité du lait. On observe une chute significative de la densité du printemps à l'été, passant de 1028,28 à 1026,98 mg/cm$^3$. Cependant, c'est en hivers que la valeur de densité est significativement (p<0,0001) la plus élevée, alors même que le lait est moins riche en matières grasses durant cette saison (tableau 6).

L'analyse de variance révèle un effet saisonnier très significatif ($p$ < 0,01) sur le taux butyreux (TB) du lait. De manière générale, le TB connaît une forte variabilité au cours de la saison. D'après le tableau 6, c'est à la saison estivale que le lait présente la teneur en matières grasses significativement la plus élevée, avec une moyenne dépassant les 41 g/kg. En revanche, on observe une chute significative de la concentration en matières grasses durant la saison du printemps. Cette saison se distingue généralement par une production laitière nettement plus importante.

Au fil de la saison, on observe une baisse remarquable du taux protéique (TP) du lait pendant l'été et le printemps par rapport aux autres saisons (P < 0,01) (tableau 6). Cette diminution peut être attribuée à la réduction de la consommation de matière sèche par les vaches, en particulier d'aliments grossiers, durant la période estivale qui correspond à une période de stress thermique plus marqué. Le TP semble donc inversement proportionnel à la longueur des jours et dépendant de la saison. Cependant, l'alimentation joue un rôle prépondérant dans l'expression du potentiel génétique. En d'autres termes, les conditions climatiques estivales et le stress thermique qui en découle semblent affecter négativement le taux de protéines dans le lait, probablement en raison d'une baisse de l'ingestion alimentaire des vaches, en particulier des fourrages. Néanmoins, une alimentation adaptée permet de compenser en partie ces effets saisonniers et d'exprimer au mieux le potentiel génétique laitier des animaux, quel que soit le stade de lactation.

Le classement du lait selon sa richesse en extrait sec total par saison de production selon un ordre décroissant donne : Automne (116,17 g/kg), Hiver (1116,01 21,32 g/kg), Été (114,48 g/kg) et Printemps (113,30 g/kg) (tableau 6). En effet, des quantités d'extrait sec plus importantes sont enregistrées pendant les saisons automnale et hivernale, périodes qui coïncident avec une période où les vaches sont moins exposées au stress thermiquee . En d'autres termes, la teneur en extrait sec total du lait atteint un pic en automne et en hiver. C'est durant ces saisons que la concentration en matières sèches, notamment les minéraux, est la plus significativement plus élevée. À l'inverse, le printemps se caractérise par un lait plus

dilué, avec des teneurs en extrait sec parmi les plus basses. Ces variations saisonnières de la composition du lait sont donc inversement proportionnelles aux valeurs THI.

L'évolution saisonnière du taux de lactose dans le lait est soumise à un effet saisonnier significatif ($p<0,0001$). Nous avons observé une diminution du taux de lactose depuis l'hiver jusqu'en été, passant de 41,01 ± 1,31 g/kg en hiver à 39,29 ± 1,22 g/kg en été. En d'autres termes, la concentration en lactose dans le lait connaît une baisse progressive de l'hiver jusqu'à l'été, avec un pic hivernal et une chute estival (Tableau 6).

Les résultats de l'analyse de variance révèlent des effets hautement significatifs ($p<0,0001$) de la saison sur la teneur en matières minérales (MM) du lait. Les valeurs moyennes se répartissent ainsi : en automne 6,30 ± 0,23 g/kg, en hiver 6,26 ± 0,18 g/kg, au printemps 6,10 ± 0,18 g/kg, en été 6,11 ± 0,19 g/kg, témoignant d'une baisse de la concentration en minéraux durant la période estivale.

En d'autres termes, la saison influe de manière très significative sur les teneurs en matières minérales du lait, avec des niveaux plus élevés en automne et en hiver par rapport au printemps et à l'été.

La saisonnalité de la production laitière, caractéristique des exploitations laitières, influence significativement la richesse en matière utile du lait. C'est durant les saisons automnale et hivernale (de septembre à février) où l'THI était le plus faible que le lait est le plus riche en matières grasses et en protéines, de manière significative ($P <0,01$).

Une explication possible de la diminution de la teneur en graisses et en protéines pendant les saisons printanières, moins exposées au stress thermique, est la fréquence élevée des vêlages, ce qui entraîne une population plus importante de vaches récemment vêlées par rapport aux autres saisons. Cela s'explique par des dépenses énergétiques accrues et une augmentation de la production laitière.

La saison a joué un rôle crucial dans l'évolution des tendances observées dans la composition du lait des vaches, en particulier en ce qui concerne les niveaux de matières grasses, de protéines et de lactose. Nos résultats ont montré que ces indicateurs atteignaient leurs valeurs maximales pendant les mois les plus froids de l'année. De plus, ces observations ont été soutenues par des corrélations négatives significatives entre la production laitière et ses composants et la température. Cela concorde avec les conclusions de Zhu et al. (2020).

**Tableau 6 : l'effet saisonnier sur de la qualité physico-chimique du lait cru de vache**

| Critères | Spring | Summer | Autumn | Winter | *p* |
|---|---|---|---|---|---|
| **THI (μ ±σ)** | **57,56±6,08** | **75,70±4,79** | **67,14±8,22** | **51,97±4,48** | **-** |
| **THI (Min/Max)** | 46,89 à 71,01 | 64,89 à 89,10 | 49,23 à 83,82 | 41,02 à 61,29 | **-** |
| **TP (g/kg)** | 30,33 $^{b}$ ± 1,36 | 30,46 $^{b}$ ± 1,49 | 31,24 $^{a}$ ± 1,47 | 31,26 $^{a}$ ± 0,92 | <0,0001 |
| **TB (g/kg)** | 37,44 $^{b}$ ± 3,26 | 41,35$^{a}$ ± 3,26 | 41,01 $^{a}$ ± 2,78 | 40,78 $^{a}$ ± 2,63 | <0,0001 |
| **Lactose (g/kg)** | 39,68 $^{b}$ ± 1,86 | 39,29 $^{b}$ ± 1,22 | 40,98 $^{a}$ ± 1,19 | 41,01 $^{a}$ ± 1,31 | <0,0001 |
| **EST (g/kg)** | 113,30 $^{c}$ ± 4,84 | 114,48 $^{bc}$ ± 4,81 | 116,17 $^{a}$ ± 3,25 | 116,01 $^{ab}$ ± 3,77 | <0,0001 |
| **ESD (g/kg)** | 75,86 $^{a}$ ± 3,20 | 73,12 $^{b}$ ± 2,65 | 75,16 $^{a}$ ± 2,47 | 75,23 $^{a}$ ± 2,71 | <0,0001 |
| **MM (g/kg)** | 6,11 $^{b}$ ± 0,19 | 6,10 $^{b}$ ± 0,18 | 6,30 $^{a}$ ± 0,23 | 6,26 $^{a}$ ± 0,18 | <0,0001 |
| **Cryoscopie (°C)** | -0,461 $^{a}$ ± 0,022 | -0,460 $^{a}$ ± 0,015 | -0,471 $^{b}$ ± 0,013 | -0,473 $^{b}$ ± 0,019 | <0,0001 |
| **Densité mg/cm $^{3}$** | 1028,28 $^{b}$ ± 1,02 | 1026,98 $^{c}$ ± 0,99 | 1029,12 $^{a}$ ± 0,99 | 1029,24 $^{a}$ ± 1,05 | <0,0001 |

Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales. Test Tukey. TB : taux butyreux ; TP : Taux protéique ; EST : extrait sec total ; extrait sec dégraissé : ESD ; MM : Matières minérales

# Conclusion:

## Conclusion :

L'indice température-humidité (THI) est souvent utilisé comme un indicateur environnemental crucial pour évaluer le stress thermique dans la production laitière. Même à un faible niveau, le stress thermique peut avoir un impact considérable sur la production et le bien-être des troupeaux laitiers. Nos résultats mettent en évidence l'influence primordiale du THI sur la qualité physicochimique du lait. Nous avons observé une corrélation négative et significative entre le THI et les constituants du lait (niveaux de matières protéiques, matière sèche dégraissée (SNF), matière sèche totale (ESD), la teneur en lactose et en minéraux (MM).

Il est possible de dire que les laits les plus riches en matière utile proviennent principalement de l'automne et de l'hiver, périodes durant lesquelles les vaches sont moins exposées au stress thermique, surtout en hiver. En revanche, les laits les moins riches sont ceux du printemps et de l'été. Cette analyse confirme que les saisons chaudes sont défavorables à la qualité physico-chimique des laits crus des vaches collectés dans cette région d'étude.

Ces résultats préliminaires font partie d'un projet de recherche PRFU actuellement en cours. Les données disponibles concernant les pratiques d'élevage n'ont pas encore été analysées ou incluses dans ce document, ce qui permettra de mieux illustrer l'effet de la saison sur la production et la composition du lait des vaches dans cette région d'étude. Cependant, ces résultats offrent des orientations importantes pour optimiser l'efficacité de la production et maintenir les normes de qualité du lait.

Des recherches plus approfondies dans ce domaine sont en cours afin de mieux affiner nos connaissances et ainsi améliorer la durabilité des exploitations laitières dans un environnement en constante évolution.

# Référence bibliographiques:

Adesogan, A. T., and Dahl, G. E. (2020). MILK Symposium Introduction: Dairy production in developing countries. *Journal of dairy science* **103**, 9677-9680.

Al-Katanani, Y. M., Webb, D., and Hansen, P. (1999). Factors affecting seasonal variation in 90-day nonreturn rate to first service in lactating Holstein cows in a hot climate. *Journal of Dairy Science* **82**, 2611-2616.

Ali, M. A., Sarker, M. A. H., Hossain, M. N., Rahman, A., Islam, M. N., Arefin, S., Murshed, H. M., Debnath, G. D., and Chanda, T. (2023). Potential Impact of Temperature and Humidity on Milk Yield of Holstein Friesian Crossbred Dairy Cows: Heat stress impact on the performance of dairy cows. *European Journal of Agriculture and Food Sciences* **5**, 126-130.

Alothman, M., Hogan, S. A., Hennessy, D., Dillon, P., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Tobin, J., Fenelon, M. A., and O'Callaghan, T. F. (2019). The "grass-fed" milk story: Understanding the impact of pasture feeding on the composition and quality of bovine milk. *Foods* **8**, 350.

Armbrecht, L., Lambertz, C., Albers, D., and Gauly, M. (2018). Does access to pasture affect claw condition and health in dairy cows? *Veterinary Record* **182**, 79-79.

Attia, K., ben Souf, I., Darej, C., M'Hamdi, N., Khattab, R., Znaidi, I. E.-A., Khemiri, H., Kthiri, M., and Bouraoui, R. (2022). Heat stress in the Tunisian Holstein dairy cow: effects on production performance.

Bachtarzi, K., Allaoui, A., Belkacem, L., and Saadoudi, M. (2022). Impact of heat stress on the dairy cattle milk quality in two bioclimatic stages in Algeria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **28**.

Baeta, F., Meador, N., Shanklin, M., and Johnson, H. (1987). Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating dairy cows.

Bernabucci, U., Basiricò, L., Morera, P., Dipasquale, D., Vitali, A., Cappelli, F. P., and Calamari, L. (2015). Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* **98**, 1815-1827.

Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L., Rhoads, R., Ronchi, B., and Nardone, A. (2010a). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. Animal 4: 1167–1183. Elsevier.

Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., and Nardone, A. (2010b). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* **4**, 1167-1183.

Beux, S., Cassandro, M., Nogueira, A., and Waszczynskyj, N. (2017). Effect of THI on milk coagulation properties of Holstein-Friesian dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia* **46**, 429-432.

Bianca, W. (1962). Relative importance of dry-and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle.

Blackshaw, J. K., and Blackshaw, A. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Australian journal of experimental agriculture* **34**, 285-295.

Bohmanova, J., Misztal, I., and Cole, J. B. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of dairy science* **90**, 1947-1956.

Bokharaeian, M., Toghdory, A., Ghoorchi, T., Ghassemi Nejad, J., and Esfahani, I. J. (2023). Quantitative Associations between Season, Month, and Temperature-Humidity Index with Milk Yield, Composition, Somatic Cell Counts, and Microbial Load: A Comprehensive Study across Ten Dairy Farms over an Annual Cycle. *Animals* **13**, 3205.

Boudalia, S., Gueroui, Y., Zebsa, R., Arbia, T., Chiheb, A. E., Benada, M. h., Hadri, Z., Youcefi, A., and Bousbia, A. (2023). Camel livestock in the Algerian Sahara under the

context of climate change: Milk properties and livestock production practices. *Journal of Agriculture and Food Research* **11**, 100528.

Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., and Belyea, R. (2002). The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research* **51**, 479-491.

Brito, A., and Silva, L. (2020). Symposium review: Comparisons of feed and milk nitrogen efficiency and carbon emissions in organic versus conventional dairy production systems. *Journal of dairy science* **103**, 5726-5739.

Brodziak, A., Król, J., Litwińczuk, Z., and Barłowska, J. (2018). Differences in bioactive protein and vitamin status of milk from certified organic and conventional farms. *International Journal of Dairy Technology* **71**, 321-332.

Brodziak, A., Wajs, J., Zuba-Ciszewska, M., Król, J., Stobiecka, M., and Jańczuk, A. (2021). Organic versus conventional raw cow milk as material for processing. *Animals* **11**, 2760.

Buffington, D., Collazo-Arocho, A., Canton, G., Pitt, D., Thatcher, W., and Collier, R. (1981). Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows.

Burfeind, O., Suthar, V., Voigtsberger, R., Bonk, S., and Heuwieser, W. (2011). Validity of prepartum changes in vaginal and rectal temperature to predict calving in dairy cows. *Journal of dairy science* **94**, 5053-5061.

Celano, G., Calasso, M., Costantino, G., Vacca, M., Ressa, A., Nikoloudaki, O., De Palo, P., Calabrese, F. M., Gobbetti, M., and De Angelis, M. (2022). Effect of seasonality on microbiological variability of raw cow milk from apulian dairy farms in Italy. *Microbiology spectrum* **10**, e00514-22.

Cele, L. P., Hennessy, T., and Thorne, F. (2021). Evaluating farm and export competitiveness of the Irish dairy industry: post-quota analysis. *Competitiveness Review: An International Business Journal* **32**, 1-20.

Charlton, G. L., Rutter, S. M., East, M., and Sinclair, L. A. (2011). Preference of dairy cows: Indoor cubicle housing with access to a total mixed ration vs. access to pasture. *Applied Animal Behaviour Science* **130**, 1-9.

Chen, B., Lewis, M. J., and Grandison, A. S. (2014). Effect of seasonal variation on the composition and properties of raw milk destined for processing in the UK. *Food chemistry* **158**, 216-223.

Cimmino, F., Catapano, A., Petrella, L., Villano, I., Tudisco, R., and Cavaliere, G. (2023). Role of Milk Micronutrients in Human Health. *Frontiers in Bioscience-Landmark* **28**, 41.

Clay, N., Garnett, T., and Lorimer, J. (2020). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio* **49**, 35-48.

Collier, R. J., Baumgard, L. H., Zimbelman, R. B., and Xiao, Y. (2019). Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers* **9**, 12-19.

Cook, N., Mentink, R., Bennett, T., and Burgi, K. (2007). The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **90**, 1674-1682.

Coppock, C. (1985). Energy nutrition and metabolism of the lactating dairy cow. *Journal of Dairy Science* **68**, 3403-3410.

Council, N. (1971). A guide to environmental research on animals. *National Academies: Washington, DC, USA*.

Cowley, F., Barber, D., Houlihan, A., and Poppi, D. (2015). Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *Journal of Dairy Science* **98**, 2356-2368.

Daltro, D. d. S., Fischer, V., Alfonzo, E. P. M., Dalcin, V. C., Stumpf, M. T., Kolling, G. J., Silva, M. V. G. B. d., and McManus, C. (2017). Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia* **46**, 374-383.

Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., and Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary world* **9**, 260.

de Andrade Ferrazza, R., Garcia, H. D. M., Aristizábal, V. H. V., de Souza Nogueira, C., Veríssimo, C. J., Sartori, J. R., Sartori, R., and Ferreira, J. C. P. (2017). Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress. *Journal of Thermal Biology* **66**, 68-80.

De Rensis, F., and Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology* **60**, 1139-1151.

Dikmen, S., and Hansen, P. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of dairy science* **92**, 109-116.

Ermetin, O., Kul, E., and Sari, M. (2023). Evaluation of temperature-humidity index (THI) values in terms of dairy cattle in KOP (Konya plain project) region.

FAO (2019). "The Global Dairy Sector: Facts. http://www.dairydeclaration.org/Portals/153/Content/Documents/DDOR%20Global%20Dairy%20Facts%202019.pdf."

Finch, V. A., Bennett, I., and Holmes, C. (1982). Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. *The Journal of Agricultural Science* **99**, 479-487.

Firth, C. L., Laubichler, C., Schleicher, C., Fuchs, K., Käsbohrer, A., Egger-Danner, C., Köfer, J., and Obritzhauser, W. (2019). Relationship between the probability of veterinary-diagnosed bovine mastitis occurring and farm management risk factors on small dairy farms in Austria. *Journal of dairy science* **102**, 4452-4463.

Fong, B., Ma, K., and McJarrow, P. (2011). Quantification of bovine milk oligosaccharides using liquid chromatography–selected reaction monitoring–mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry* **59**, 9788-9795.

Fusco, V., Chieffi, D., Fanelli, F., Logrieco, A. F., Cho, G. S., Kabisch, J., Böhnlein, C., and Franz, C. M. (2020). Microbial quality and safety of milk and milk products in the 21st century. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **19**, 2013-2049.

Galán, E., Llonch, P., Villagrá, A., Levit, H., Pinto, S., and Del Prado, A. (2018). A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PloS one* **13**, e0206520.

Gálik, R., Lüttmerding, G., Boďo, Š., Knížková, I., and Kunc, P. (2021). Impact of heat stress on selected parameters of robotic milking. *Animals* **11**, 3114.

Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., and Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System* **1**, 100005.

García-Ispierto, I., López-Gatius, F., Bech-Sabat, G., Santolaria, P., Yániz, J., Nogareda, C., De Rensis, F., and López-Béjar, M. (2007). Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology* **67**, 1379-1385.

Garner, J. B., Williams, S. R. O., Moate, P. J., Jacobs, J. L., Hannah, M. C., Morris, G. L., Wales, W. J., and Marett, L. C. (2022). Effects of heat stress in dairy cows offered diets containing either wheat or corn grain during late lactation. *Animals* **12**, 2031.

Gaughan, J., Holt, S., Hahn, G., Mader, T., and Eigenberg, R. (2000). Respiration rate: Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **13**, 329-332.

Gaughan, J., Mader, T. L., Holt, S., and Lisle, A. (2008). A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of animal science* **86**, 226-234.

Grodkowski, G., Gołębiewski, M., Slósarz, J., Grodkowska, K., Kostusiak, P., Sakowski, T., and Puppel, K. (2023). Organic Milk Production and Dairy Farming Constraints and Prospects under the Laws of the European Union. *Animals* **13**, 1457.

Guzmán-Luna, P., Mauricio-Iglesias, M., Flysjö, A., and Hospido, A. (2022). Analysing the interaction between the dairy sector and climate change from a life cycle perspective: A review. *Trends in Food Science & Technology* **126**, 168-179.

Hahn, G., Mader, T., and Eigenberg, R. (2003). Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. *In* "Interaction between climate and animal production", pp. 31-44. Wageningen Academic.

Hammami, H., Vandenplas, J., Vanrobays, M.-L., Rekik, B., Bastin, C., and Gengler, N. (2015). Genetic analysis of heat stress effects on yield traits, udder health, and fatty acids of Walloon Holstein cows. *Journal of dairy science* **98**, 4956-4968.

Hanuš, O., Samková, E., Křížová, L., Hasoňová, L., and Kala, R. (2018). Role of fatty acids in milk fat and the influence of selected factors on their variability—a review. *Molecules* **23**, 1636.

Herbut, P., and Angrecka, S. (2018). The effect of heat stress on time spent lying by cows in a housing system. *Annals of animal science* **18**, 825-833.

Herbut, P., Angrecka, S., and Walczak, J. (2018). Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review. *International journal of biometeorology* **62**, 2089-2097.

Johnson, H., Shanklin, M., and Hahn, L. (1989). Productive adaptability indices of Holstein cattle to environmental heat.

Joubran, A. M., Pierce, K. M., Garvey, N., Shalloo, L., and O'Callaghan, T. F. (2021). Invited review: A 2020 perspective on pasture-based dairy systems and products. *Journal of dairy science* **104**, 7364-7382.

Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., and Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock production science* **77**, 59-91.

Kasapidou, E., Stergioudi, R.-A., Papadopoulos, V., Mitlianga, P., Papatzimos, G., Karatzia, M.-A., Amanatidis, M., Tortoka, V., Tsiftsi, E., Aggou, A., and Basdagianni, Z. (2023). Effect of Farming System and Season on Proximate Composition, Fatty Acid Profile, Antioxidant Activity, and Physicochemical Properties of Retail Cow Milk. *Animals* **13**, 3637.

Kekana, T. W., Nherera-Chokuda, F. V., Muya, M. C., Manyama, K. M., and Lehloenya, K. C. (2018). Milk production and blood metabolites of dairy cattle as influenced by thermal-humidity index. *Tropical animal health and production* **50**, 921-924.

Kelly, C., and Bond, T. (1971). Bioclimatic factors and their measurement. *A guide to environmental research on animals* **77**.

Kibler, H. (1964). Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. *Res. Bull. Missouri Agric. Exp. Station* **862**.

Kilcawley, K. N., Faulkner, H., Clarke, H. J., O'Sullivan, M. G., and Kerry, J. P. (2018). Factors influencing the flavour of bovine milk and cheese from grass based versus non-grass based milk production systems. *Foods* **7**, 37.

Kim, W.-S., Peng, D.-Q., Jo, Y.-H., Nejad, J. G., and Lee, H.-G. (2021). Responses of beef calves to long-term heat stress exposure by evaluating growth performance,

physiological, blood and behavioral parameters. *Journal of Thermal Biology* **100**, 103033.

Kim, W. S., Lee, J.-S., Jeon, S. W., Peng, D. Q., Kim, Y. S., Bae, M. H., Jo, Y. H., and Lee, H. G. (2018). Correlation between blood, physiological and behavioral parameters in beef calves under heat stress. *Asian-Australasian journal of animal sciences* **31**, 919.

Król, J., Brodziak, A., and Topyła, B. (2016). The nutritional value of the milk of Simmental cows in relation to the season and production system. *Anim. Prod. Rev* **6**, 20-24.

Lacetera, N. (2019). Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers* **9**, 26-31.

Lambertz, C., Sanker, C., and Gauly, M. (2014). Climatic effects on milk production traits and somatic cell score in lactating Holstein-Friesian cows in different housing systems. *Journal of dairy science* **97**, 319-329.

Laporta, J., Fabris, T., Skibiel, A., Powell, J., Hayen, M., Horvath, K., Miller-Cushon, E., and Dahl, G. (2017). In utero exposure to heat stress during late gestation has prolonged effects on the activity patterns and growth of dairy calves. *Journal of dairy science* **100**, 2976-2984.

Lee, D., Yoo, D., Kim, H., and Seo, J. (2023). Negative association between high temperature-humidity index and milk performance and quality in Korean dairy system: Big data analysis. *Journal of Animal Science and Technology* **65**, 588.

Legrand, A., Von Keyserlingk, M., and Weary, D. (2009). Preference and usage of pasture versus free-stall housing by lactating dairy cattle. *Journal of dairy science* **92**, 3651-3658.

Li, S., Gebremedhin, K. G., Lee, C. N., and Collier, R. J. (2009). Evaluation of thermal stress indices for cattle. *In* "2009 Reno, Nevada, June 21-June 24, 2009", pp. 1. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Lin, T., Meletharayil, G., Kapoor, R., and Abbaspourrad, A. (2021). Bioactives in bovine milk: Chemistry, technology, and applications. *Nutrition reviews* **79**, 48-69.

Mader, T. L., Davis, M., and Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of animal science* **84**, 712-719.

Magan, J. B., O′ Callaghan, T. F., Kelly, A. L., and McCarthy, N. A. (2021). Compositional and functional properties of milk and dairy products derived from cows fed pasture or concentrate-based diets. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **20**, 2769-2800.

Mallonee, P., Beede, D., Collier, R., and Wilcox, C. (1985). Production and physiological responses of dairy cows to varying dietary potassium during heat stress. *Journal of Dairy Science* **68**, 1479-1487.

Manuelian, C. L., Vigolo, V., Burbi, S., Righi, F., Simoni, M., and De Marchi, M. (2022). Detailed comparison between organic and conventional milk from Holstein-Friesian dairy herds in Italy. *Journal of dairy science* **105**, 5561-5572.

McAuliffe, S., Gilliland, T., Egan, M., and Hennessy, D. (2016). Comparison of pasture based feeding systems and a total mixed ration feeding system on dairy cow milk production.

McDonald, P. V., von Keyserlingk, M. A., and Weary, D. M. (2020). Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science* **103**, 3447-3458.

Mee, J., and Boyle, L. (2020). Assessing whether dairy cow welfare is “better” in pasture-based than in confinement-based management systems. *New Zealand Veterinary Journal* **68**, 168-177.

Moradi, M., Omer, A. K., Razavi, R., Valipour, S., and Guimarães, J. T. (2021). The relationship between milk somatic cell count and cheese production, quality and safety: A review. *International Dairy Journal* **113**, 104884.

Morales-Almaráz, E., Soldado, A., González, A., Martínez-Fernández, A., Domínguez-Vara, I., de la Roza-Delgado, B., and Vicente, F. (2010). Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding of total mixed ration. *Journal of Dairy Research* **77**, 225-230.

Mylostyvyi, R., and Sejian, V. (2019). Welfare of dairy cattle in conditions of global climate change. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine* **7**, 47-55.

O'Callaghan, T. F., Hennessy, D., McAuliffe, S., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Dillon, P., Ross, R. P., and Stanton, C. (2016). Effect of pasture versus indoor feeding systems on raw milk composition and quality over an entire lactation. *Journal of dairy science* **99**, 9424-9440.

OECD-FAO. (2024). "Agricultural Outlook 2018–2027.https://www.fao.org/documents/card/en/c/I9166EN."

Orjales, I., Lopez-Alonso, M., Miranda, M., Alaiz-Moretón, H., Resch, C., and López, S. (2019). Dairy cow nutrition in organic farming systems. Comparison with the conventional system. *animal* **13**, 1084-1093.

Ouellet, V. (2019). Le stress de chaleur chez la vache laitière: effets sur les performances de production des troupeaux laitiers québécois.

Poudel, S. P., Acharya, R., and Chetri, D. K. (2021). Somatic cell count: An indicator of intramammary infection in dairy animals. *Matrix Science Pharma* **5**, 49-53.

Rhoads, M., Rhoads, R., VanBaale, M., Collier, R., Sanders, S., Weber, W., Crooker, B., and Baumgard, L. (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**, 1986-1997.

Rodríguez-Bermúdez, R., Miranda, M., Baudracco, J., Fouz, R., Pereira, V., and López-Alonso, M. (2019). Breeding for organic dairy farming: what types of cows are needed? *Journal of Dairy Research* **86**, 3-12.

Rowsell, H. (1972). A guide to environmental research on animals. *The Canadian Veterinary Journal* **13**, 196.

Santoni, M., Verdi, L., Imran Pathan, S., Napoli, M., Dalla Marta, A., Dani, F. R., Pacini, G. C., and Ceccherini, M. T. (2023). Soil microbiome biomass, activity, composition and CO2 emissions in a long-term organic and conventional farming systems. *Soil Use and Management* **39**, 588-605.

Schneider, P., Beede, D., Wilcox, C., and Collier, R. (1984). Influence of dietary sodium and potassium bicarbonate and total potassium on heat-stressed lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **67**, 2546-2553.

Scholz-Ahrens, K. E., Ahrens, F., and Barth, C. A. (2020). Nutritional and health attributes of milk and milk imitations. *European journal of nutrition* **59**, 19-34.

Schüller, L., Burfeind, O., and Heuwieser, W. (2014). Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology* **81**, 1050-1057.

Schütz, K., Rogers, A., Poulouin, Y., Cox, N., and Tucker, C. (2010). The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **93**, 125-133.

Schwendel, B., Wester, T., Morel, P., Tavendale, M., Deadman, C., Shadbolt, N., and Otter, D. (2015). Invited review: Organic and conventionally produced milk—An evaluation of factors influencing milk composition. *Journal of dairy science* **98**, 721-746.

Schwendel, B. H., Wester, T. J., Morel, P. C., Fong, B., Tavendale, M. H., Deadman, C., Shadbolt, N. M., and Otter, D. E. (2017). Pasture feeding conventional cows removes differences between organic and conventionally produced milk. *Food chemistry* **229**, 805-813.

Singh, A., Duche, R. T., Wandhare, A. G., Sian, J. K., Singh, B. P., Sihag, M. K., Singh, K. S., Sangwan, V., Talan, S., and Panwar, H. (2023). Milk-derived antimicrobial peptides: overview, applications, and future perspectives. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* **15**, 44-62.

Skinner, J., and Louw, G. (1966). Heat stress and spermatogenesis in Bos indicus and Bos taurus cattle. *Journal of Applied Physiology* **21**, 1784-1790.

Smid, A.-M. C., Weary, D. M., and Von Keyserlingk, M. A. (2020). The influence of different types of outdoor access on dairy cattle behavior. *Frontiers in veterinary science* **7**, 257.

Smith, J., Bradford, B., Harner, J., Potts, J., Allen, J., Overton, M., Ortiz, X., and Collier, R. (2016). Effect of cross ventilation with or without evaporative pads on core body temperature and resting time of lactating cows. *Journal of Dairy Science* **99**, 1495-1500.

Średnicka-Tober, D., Obiedzińska, A., Kazimierczak, R., and Rembiałkowska, E. (2016). Environmental impact of organic vs. conventional agriculture-a review. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* **61**, 204-211.

St-Pierre, N. R., Cobanov, B., and Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of dairy science* **86**, E52-E77.

Stocco, G., Summer, A., Cipolat-Gotet, C., Zanini, L., Vairani, D., Dadousis, C., and Zecconi, A. (2020). Differential somatic cell count as a novel indicator of milk quality in dairy cows. *Animals* **10**, 753.

Summer, A., Lora, I., Formaggioni, P., and Gottardo, F. (2019). Impact of heat stress on milk and meat production. *Animal Frontiers* **9**, 39-46.

Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise* **12**, 57-61.

Toghdory, A., Ghoorchi, T., Asadi, M., Bokharaeian, M., Najafi, M., and Ghassemi Nejad, J. (2022). Effects of environmental temperature and humidity on milk composition, microbial load, and somatic cells in milk of Holstein dairy cows in the northeast regions of Iran. *Animals* **12**, 2484.

van den Pol-van Dasselaar, A., Hennessy, D., and Isselstein, J. (2020). Grazing of dairy cows in Europe—An in-depth analysis based on the perception of grassland experts. *Sustainability* **12**, 1098.

Vitali, A., Felici, A., Lees, A., Giacinti, G., Maresca, C., Bernabucci, U., Gaughan, J., Nardone, A., and Lacetera, N. (2020). Heat load increases the risk of clinical mastitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **103**, 8378-8387.

Wang, X., Bjerg, B. S., Choi, C. Y., Zong, C., and Zhang, G. (2018). A review and quantitative assessment of cattle-related thermal indices. *Journal of Thermal Biology* **77**, 24-37.

Wheelock, J. B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Sanders, S. R., and Baumgard, L. H. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* **93**, 644-655.

Yousef, M. (1985a). Stress physiology in livestock CRC Press Inc. *Boca Raton, FL*.

Yousef, M. K. (1985b). "Stress physiology in livestock. Volume I. Basic principles."

Zhu, X., Wen, J., and Wang, J. (2020). Effect of environmental temperature and humidity on milk production and milk composition of Guanzhong dairy goats. *Veterinary and Animal Science* **9**, 100121.