

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 Laitière
Département : Ecologie et Génie de l'Environnement
Filière : Sciences Alimentaires

Impact des changements climatiques sur le rendement laitier

Présenté par :

Mr. BERREGAI Houssam

Mr. ZERAOULA Heythem

Devant le jury composé de :

Dr. Yassine GUEROUI

Dr. Aissam BOUSBIA

Dr. Abdelkader OUMEDDOUR

Président

Encadreur

Examineur

Université de Guelma

Université de Guelma

Université de Guelma

Juin 2023

Remerciements

*Le thème de cette mémoire a été proposé et réalisé sous la direction du **Monsieur Bousbia***

***Aissam** du Faculté des sciences de la nature et de la vie, université 08 mai 1945.*

-Guelma-

*Avant tout, nous tenons à remercier infiniment et profondément **ALLAH LE TOUT**
PUISSANT pour nous avoir donné le courage, la volonté, la santé et surtout la patience
pour achever ce travail.*

*Nous remercions vivement **Monsieur GUEROUI Yacine** d'avoir accepté d'assurer la
présidence du jury de notre mémoire de master*

*Nous exprimons nos profonds remerciements à **Monsieur OUMEDDOUR Abdelkader** pour
avoir accepté d'examiner et juger ce modeste travail.*

*Nos remerciements et notre vive reconnaissance à notre encadreur **Monsieur Bousbia**
Aissam, pour avoir accepté de nous encadrer et dirigé ce travail par excellence. Aussi bien
pour ces conseils judicieux, sa disponibilité, son attention et pour l'ambiance sympathique
qu'elle a créé lors de la réalisation de ce travail. Soyez assuré monsieur, de notre estime et de
nos profonds respects.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos enseignants qui nous ont transmis leur
savoir, ce qui nous a permis d'acquérir les connaissances indispensables pour réaliser ce
mémoire.*

*Nous témoignant enfin notre reconnaissance à tous ceux et celles ayant contribué de pré ou
de loin à la réalisation de notre mémoire de fin de cycle.*

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère la lumière de ma vie,

Qui a ouvert pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ces précieux conseils, pour toute son assistance et sa patience dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi Modest soit-il, l'expression de mes sentiments de mon éternelle gratitude.

Mon cher père,

*Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer dans la vie,
Merci pour les valeurs nobles ; l'éducation et le soutien
Permanant venue de toi.*

*Mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur
Soutien moral.*

Mes chers frères

Toutes mes amies

A tous ce qui mon apporté leurs aides dans la réalisation de ce mémoire.

Houssam

Dédicace

A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, J'ai pu

réaliser ce travail que je dédie :

*A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie **ma mère***

qui ma apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice

*et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité. A **mon cher père** qui*

ma appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son

sacrifice ses conseils et ses encouragements.

*A mes sœurs : **Hana et Boutheina***

*A mon frère : **Leay***

Spécialement à mes fidèles amies

A mes tantes et mes oncles.

A mes cousins et cousines.

A toute ma famille, proche ou éloignée.

Enfin je le dédie à moi même

Haythem

ملخص

يعد الإنتاج الحيواني عنصراً أساسياً في الأمن الغذائي في البلدان النامية في جميع أنحاء العالم. بالإضافة إلى توفير الطعام، يوفر الإنتاج الحيواني للمزارعين الصغار مجموعة كبيرة من الفوائد، مثل الدخل والوظائف. ومع ذلك، مع زيادة عدد سكان البلدان النامية، سيزداد الطلب على إنتاج الحيوانات. في الوقت نفسه، فإن العالم يشهد ظاهرة الاحتباس الحراري السريع وتغير المناخ الذي يمكن أن يؤثر على إنتاج الحيوانات بعدة طرق. تهدف هذه المذكرة الموجزة إلى توفير معلومات عن بعض مجالات إنتاج الحيوانات، وخاصة منتجات لحوم البقر ومنتجات الألبان، والتي تتأثر بتغير المناخ وستناقش استراتيجيات التكيف والتخفيف المحتملة للبلدان النامية من أجل تكيف وتخفيف الآثار.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ، الإنتاج الحيواني، الأبقار، التكيف

Résumé

La production animale est une composante essentielle de la sécurité alimentaire dans les pays en développement du monde entier. En plus de fournir de la nourriture, la production animale offre aux petits éleveurs un large éventail d'avantages, tels que des revenus, des emplois. Cependant, à mesure que la population des pays en développement augmente, la demande de production animale augmentera également. Dans le même temps, le monde assiste à un réchauffement climatique rapide et le changement climatique devrait affecter la production animale de plusieurs manières. Ce document de synthèse vise à fournir des informations sur certaines zones de production animale, en particulier la viande bovine et les produits laitiers, qui sont affectées par le changement climatique et discutera des stratégies d'adaptation et d'atténuation possibles pour les pays en développement afin de s'adapter et d'atténuer les impacts.

Mots clés : changement climatique, la production animale, les bovins, adaptation

Abstract

Livestock production is an essential component of food security in developing countries across the globe. Apart from providing food, livestock production offers smallholder farmers a wide range of benefits, such as income, employment. However, as human populations in developing countries increase, the demand for livestock production will also increase. At the same time, the world is experiencing rapid global warming, and climate change is expected to affect livestock production in multiple ways. This review paper aims to present insights on some livestock production areas, particularly beef and dairy, that are affected by climate change and will discuss possible adaptation and mitigation strategies for developing countries to adapt to and mitigate the impacts.

Keywords : climate change, livestock production, cattle, adaptation

Table des matières

Remerciements

Dédicace

ملخص

i

Résumé

ii

Abstract

iii

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Chapitre 1. Effet du changement climatique sur la production laitière

1. Effets directs et indirects du changement climatique sur la production laitière.....	3
1.1. Effets directs.....	3
1.1.1. L'effet de l'augmentation de la température sur la production laitière.....	3
1.1.2. L'impact du changement climatique sur le stress thermique.....	6
1.1.2.1. Les conséquences du stress thermique sur la production et la composition du lait..	7
1.1.2.1.a. Impact sur la quantité du lait.....	7
1.1.2.1.b. Impact sur la qualité nutritionnelle du lait.....	9
1.1.3. Impact du changement climatique sur le taux de mortalité des animaux d'élevage..	11
1.1.4. Impact du changement climatique sur la reproduction des animaux d'élevage.....	13
1.1.5 Impact des maladies et des parasites induisent par le changement climatique sur les animaux d'élevages.....	14
2. Effets indirects.....	16
2.1. Impact du changement climatique sur les ressources alimentaires des animaux d'élevage.....	16
2.2. Impact du changement climatique sur la disponibilité de l'eau des animaux d'élevage.....	16
2.3. Impact du changement climatique sur les ressources génétiques des animaux d'élevage.....	18
2.4. Impact du changement climatique sur la quantité et la qualité des aliments des animaux d'élevage.....	19

Chapitre 2 : Contribution de l'élevage dans le changement climatique

1. Les principales sources des émissions de GES.....	21
1. 1. La fermentation entérique.....	21
1. 2. La gestion des effluents.....	22
1. 3. La production, transformation et du transport des aliments pour les animaux.....	22
1. 4. La consommation d'énergie.....	24
1. 5. Fabrication d'aliments pour animaux d'élevage.....	25

1. 6. L'utilisation du fumier.....	26
1.7. Le changement d'utilisation des terres.....	27
2. Emissions par espèce et produit.....	31
2.1. Les bovins (les plus gros contributeurs).....	31
2.2. Les buffles.....	35
2.3. Les petits ruminants (ovins et caprins).....	37
3. Emissions par région.....	39

Chapitre 3. Les stratégies d'adaptation par les producteurs laitiers

1. Les stratégies permettant de limiter les impacts du stress thermique.....	41
1.1. Les stratégies environnementales.....	41
1.1.1. Les modifications permettant de prévenir les stress thermiques.....	42
1.1.2. Les modifications permettant de maximiser les échanges de stress thermique entre l'animal et l'environnement.....	43
1.2. Les stratégies nutritionnelles	46
1.2.1. La diminution de la chaleur métabolique.....	46
1.2.2. Les stratégies visant à augmenter les pertes de stress thermique.....	47
1.2.3. Les stratégies visant à augmenter la CVMS.....	47
1.2.4. Les stratégies visant à augmenter la consommation d'énergie.....	48
1.2.5. Les stratégies visant à augmenter les fonctions immunitaires.....	50
1.3. Les stratégies génétiques.....	50
1.3.1. La variabilité et l'évaluation génétique.....	51
2. Les pratiques des stratégies d'adaptation des éleveurs face aux risques climatiques.....	51
2.1. Les déterminants de l'adaptation.....	52
2.1.1. Les déterminants de la stratégie d'adaptation de vente d'animaux faibles/malades..	53
2.1.2. Les déterminants de la stratégie migratoire.....	54
2.1.3. Les déterminants de la stratégie de revenu hors ferme.....	56
2.1.4. Les déterminants des stratégies de changement pour la production fourragère.....	57
Conclusion	59

Références bibliographiques

Liste des figures

Figure 1 : Effet du stress thermique sur la production laitière.....	8
Figure 2 : Nombre de mortalités en relation avec l'indice de température-humidité maximal.....	12
Figure 3 : Taux de conception (%) de vaches exposées à l'ITH variant de 41 à 79 le jour de l'insémination.	13
Figure 4 : Les émissions mondiales des filières de l'élevage par catégorie d'émissions.	30
Figure 5 : Les émissions de GES par espèces au niveau mondial.	31
Figure 6 : Les émissions des filières lait, par catégorie d'émissions.	33
Figure 7 : Les émissions des filières lait de buffles, par catégorie d'émissions.	37
Figure 8 : Les émissions des filières lait de petits ruminants, par catégorie d'émissions.	39
Figure 9 : Productions animales et les émissions de GES par produit et région.	40
Figure 10 : Classification des stratégies visant à limiter les effets du stress thermique selon leur mode d'action.....	41
Figure 11 : Les pratiques des stratégies d'adaptation adoptée par les producteurs laitiers.	52

Liste des tableaux

Tableau 1 : Impacts du changement climatique sur le bétail.	5
Tableau 2 : Effets du stress thermique sur la production laitière des vaches. ...	7
Tableau 3 : Effet du stress thermique sur la teneur de la matière grasse du lait.	9
Tableau 4 : Effet du seuil thermique sur les critères de qualité du lait cru de vaches Holsteins.....	10
Tableau 5 : Les impacts des sources contributeurs de l'élevage dans le changement climatique.....	29
Tableau 6 : Les émissions, production, et intensités du lait de vache au niveau mondial.	34
Tableau 7 : Les émissions, production, et intensités du lait de buffle au niveau mondial.	36
Tableau 8 : Lait de petits ruminants : production, émissions et intensités d'émission au niveau mondial.	38
Tableau 9 : Effets d'une supplémentation en gras pendant un stress thermique sur les paramètres de production mesurés chez la vache laitière.	49

Liste des abréviations

°C	Degrés Celsius
AGV	Acide gras volatils
CH₄	Méthane
CO₂	Dioxyde de carbone
CO_{2e}	Équivalent dioxyde de carbone (où équivalent carbone)
CVMS	Consommation volontaire de la matière sèche
GES	Gaz à effet de serre
GMQ	Gain moyen quotidien
HCO₃	Hydrogénocarbonate
IC	Indice de chaleur
ITH	Indice de température et d'humidité
LGV	Lent grand volume
N	Azote
N₂O	Protoxyde d'azote
NH₃	Ammoniac
OMS	Organisation mondiale de la santé
PH	Potentiel hydrogène
PRG	Potentiel de réchauffement global



Introduction générale

Introduction générale

Le changement climatique représente un frein majeur au développement socioéconomique des populations rurales ([NIANG, 2009](#)). Le changement climatique est une grande menace pour l'humanité. Ces effets sont sévères dans les pays en développement à cause de la forte variabilité des précipitations et de la température trop élevée. L'agriculture est le secteur le plus vulnérable aux changements climatiques. Leur intensité compromet, ainsi, l'évolution des systèmes agricoles pluviaux et donc la sécurité alimentaire des populations à travers la diminution des surfaces des terres arables, la durée des saisons de culture et la baisse des rendements par hectare. Le secteur de l'élevage est également touché par le phénomène du changement climatique ([Atkins et al., 2016](#)).

Les produits de l'élevage couvrent une partie nutritionnelle importante pour la sécurité alimentaire mondiale, car ils fournissent 17 % de la consommation mondiale en kilocalories et 33 % de la consommation mondiale en protéines ([Rosegrant et al., 2009](#)). En contrepartie, le secteur de l'élevage contribue à 14,6 % des émissions mondiales de GES ([Gerber et al., 2013](#)).

Le changement climatique affectera la production animale, y compris la production laitière, par la concurrence pour les ressources naturelles, la quantité et la qualité des aliments, les maladies du bétail, le stress thermique et la perte de biodiversité tout en augmentant la demande de produits animaux ([Garnett, 2009](#)). D'après [Stocker et al. \(2013\)](#), le changement climatique est un problème émergent dans le monde d'aujourd'hui principalement causé par les émissions de GES qui réchauffent l'atmosphère.

Le changement climatique est un problème mondial affectant le bien être des animaux, tant sur le plan de la santé, que de la production laitière. Ce phénomène est important car il touche des secteurs sensibles pouvant conduire à des catastrophes qui menacent la génétique animale, les troubles sexuels et l'alimentation ([Thornton et al., 2009](#)).

D'autre part, de nombreux auteurs ont souligné qu'il existe encore des lacunes dans les connaissances sur la manière dont le changement climatique affecte les différents systèmes de production laitière et sur les stratégies d'adaptation à mettre en œuvre ([Escarcha et al., 2018](#)).

Selon [Lugato et al. \(2020\)](#) à l'échelle mondiale, les systèmes de production laitière sont fortement contraints par le changement climatique et 74 % des animaux d'élevage doivent subir une baisse de productivité. En outre, les causes et les conséquences du stress

thermique chez les vaches laitières ont été largement étudiées dans les régions aux climats défavorables ([Anderson, 2003](#)).

Ensuite, le changement climatique a un impact sur la production animale à travers l'augmentation de la température, les sécheresses, les inondations et la variation des tendances des précipitations, pour leur impact potentiel sur la production animale qui se traduit également par des changements dans la disponibilité de l'eau, la croissance animale, la production laitière, la qualité des cultures, les maladies, la reproduction animale et la biodiversité ([Jarvis et al., 2015](#)).

Fondamentalement, les races améliorées ne sont pas bien adaptées aux effets des températures extrêmes, subissant un stress thermique. Si les animaux sont insérés dans un climat très chaud avec une humidité élevée, ils subissent un stress thermique et n'inhibent pas leur plein potentiel génétique ([Food et al., 2015](#)).

Les précipitations irrégulières sont devenues plus fréquentes et affectent négativement la qualité et la quantité des aliments, et provoquer ainsi des carences nutritionnelles chroniques chez les animaux, ce qui peut nuire à la production du lait et à la santé des animaux ([Hoffmann, 2010](#)).

Ainsi, l'impact du changement climatique sur les populations des pays en développement constitue une menace sans précédent pour ceux qui luttent déjà pour maintenir leur sécurité alimentaire et leurs moyens de subsistance ([ACHIR, 2016](#)).

Il existe des risques importants pour la durabilité et la production d'élevage. Par conséquent, les stratégies d'adaptation et d'atténuation jouent un rôle essentiel dans la lutte contre les impacts climatiques dans les animaux d'élevage ([Sejian et al., 2015](#)).

Actuellement, il y a un intérêt croissant à comprendre l'interaction du changement climatique et de la production agricole notamment la production laitière, ce qui induit une grande quantité de recherche dans ce domaine ([Nienaber and Hahn, 2007](#)).

En effet, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet potentiel du changement climatique sur la production animale notamment la production laitière, la contribution de l'élevage au changement climatique et comment développer des stratégies d'adaptation par les producteurs laitiers pour face au changement climatique ?



Chapitre 1

Chapitre 1. Effet du changement climatique sur la production laitière

1. Effets directs et indirects du changement climatique sur la production laitière

Le changement climatique affectera la production animale notamment la production laitière, le réchauffement climatique dû au changement climatique peut gravement affecter les performances de la production laitière et avoir un impact global sur la production et la reproduction animales ([Rojas-Downing et al., 2017](#)).

Cependant, le stress thermique est une source majeure de perte de production dans l'industrie laitière, et alors que de nouvelles connaissances sur la réponse des animaux à l'environnement continuent d'être développées, la gestion des animaux pour réduire l'impact climatique reste un défi ([Spratt et al., 2001](#)).

Les changements de température et de précipitations peuvent propager des maladies et des parasites dans de nouvelles zones ou entraîner une augmentation de l'incidence de maladies déjà répandues, entraînant une diminution de la production de lait et une augmentation de la mortalité animale ([Baker and Viglizzo, 1998](#)). Ainsi, le changement climatique aura forcément un impact supplémentaire sur la mortalité et les maladies liées à la chaleur et sur l'incidence des maladies liées au climat (maladies infectieuses) ([Patz et al., 2005](#)).

Il existe une gamme d'états thermiques dans lesquels les animaux peuvent maintenir une température corporelle relativement constante par des moyens comportementaux et physiologiques ([Bucklin et al., 1992](#)). En revanche le stress thermique résulte de l'incapacité de l'animal à dissiper suffisamment de chaleur pour maintenir la chaleur de l'étable ([Stott, 1981](#)).

1.1. Effets directs

1.1.1. L'effet de l'augmentation de la température sur la production laitière

La productivité et les performances des animaux d'élevage seront affectées par le changement climatique. Les impacts importants du changement climatique sur la production animale comprennent la chute de la croissance des animaux d'élevage, la production laitière, les ressources génétiques des animaux, et la diminution de la disponibilité de l'eau, les maladies, la reproduction, la qualité du fourrage et les ressources fourragères ([Henry et al., 2012](#)).

De plus, une augmentation de la température affectera une diminution de la taille corporelle de l'animal, le poids de la viande, la diminution de la production laitière, et une chute de l'épaisseur de la graisse ([Inbaraj et al., 2016](#)).

D'après [Summer et al. \(2019\)](#), dans le secteur de l'élevage sont vulnérables au changement climatique. Ce qui conduit à la vulnérabilité de la production laitière continuera d'augmenter, et affectera des conséquences négatives pour les communautés rurales, ensuite il ne fait aucun doute sur la perte d'actifs d'élevage provoque la pauvreté et mettra en péril leurs moyens de subsistance.

L'impact du changement climatique sur les moyens de subsistance des ménages des éleveurs comprend principalement les impacts sur la production animale, les prairies et les fourrages, et les aliments de bétail, le tableau 1 explique les mécanismes de l'impact du changement climatique sur la production animale.

Tableau 1 : Impacts du changement climatique sur le bétail.
 (dressé par nos soins à partir des données de [Rojas-Downing et al. \(2017\)](#)).

Augmentation du CO ₂	Augmentation de la température	Variation des précipitations
<ul style="list-style-type: none"> • Fourrage - changements dans la croissance des herbages - diminue la qualité du fourrage. - effets positifs sur les plantes : <p>Fermeture partielle des stomates, réduire la transpiration ; améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau.</p> <ul style="list-style-type: none"> - affecter la composition du pâturage en : changement de modèle saisonnier, modification du taux de croissance optimal, évolution de la disponibilité de l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fourrage - diminuer la disponibilité des nutriments. - augmenter la croissance des herbages - diminue la consommation d'aliments et l'efficacité de la conversion des aliments. <ul style="list-style-type: none"> • Eau - augmenter la consommation d'eau de 2 à 3 fois. <ul style="list-style-type: none"> • Production - faible production de lait et de viande en raison d'une taille corporelle, d'un poids de carcasse et d'une épaisseur de graisse inférieurs. <ul style="list-style-type: none"> • Reproduction - diminue l'efficacité de la reproduction des animaux d'élevage. - peut induire une mortalité élevée chez le bétail au pâturage. - de nouvelles maladies peuvent affecter l'immunité du bétail. - une température élevée prolongée peut affecter la santé du bétail (par exemple, le métabolisme des protéines et des lipides, la fonctionnalité du foie). 	<ul style="list-style-type: none"> • Fourrage - les longues saisons sèches diminuent : la qualité du fourrage, la croissance du fourrage, et la biodiversité. - les inondations affectent la structure des racines, et le taux de croissance des feuilles. <ul style="list-style-type: none"> • Les maladies - agents pathogènes. - parasites. - propagation de la maladie. - nouvelles maladies. - épidémie de maladie grave - propagation de maladies à transmission vectorielle.

En revanche, un impact important de l'augmentation de température sur la productivité et les performances des élevages résulte du stress thermique causé par la diminution des composants organiques et inorganiques du lait produit par les vaches laitières, ce qui entraîne des charges financières importantes pour les éleveurs ([Summer et al., 2019](#)). Ensuite, il affecte le stress thermique, la production de lait et la viande, et la santé animale et réduit l'efficacité de la reproduction ([Abdurehman and Ameha, 2018](#)).

De plus, l'augmentation de la température due au changement climatique provoque un réchauffement de l'environnement dans lequel vit l'animal, ce qui n'est pas propice à des niveaux de production optimaux, et le climat chaud affecte le troupeau d'élevage reproducteur et provoque un stress thermique direct et indirect (les bovins d'élevage) et la production animale ([Nienaber and Hahn, 2007](#)).

Ainsi, les effets directs consistent généralement en des effets résultant de la fréquence et de l'intensité accrue des vagues de chaleur dues à des températures plus élevées. L'effet direct du stress thermique entraîne une altération responsable d'induire des troubles métaboliques et un stress oxydatif chez les animaux tandis que les conséquences indirectes du stress thermique entraînent une altération de la disponibilité de fourrage de qualité et d'eau pour la survie ([Lacetera, 2019](#)).

L'efficacité de l'élevage est également très faible face au changement climatique. Le stress thermique causé par une augmentation de la température affecte les performances de reproduction des bovins, par exemple, les conditions chaudes perturbent de nombreux processus de reproduction, entraînant une forte baisse du taux de gestation, et une diminution de production du lait ([Wolfenson and Roth, 2019](#)).

Le cas des vaches laitières, les éleveurs souffrant de haute température et d'une forte charge de rayonnement thermique provoque un effet négatif sur la production du lait et la reproduction ([Sheikh et al., 2017](#)).

1.1.2. L'impact du changement climatique sur le stress thermique

D'après [Yang et al. \(2021\)](#), l'impact direct le plus important du changement climatique sur la production laitière provient du stress thermique. Le stress thermique entraîne un énorme fardeau financier pour les éleveurs de l'élevage en raison des faibles composants du lait, de la production de lait, de la production de viande, de l'efficacité de la reproduction et de la santé animale.

Le stress thermique réduit l'apport alimentaire, la production de lait, l'efficacité et la performance de la conversion alimentaire. Les conditions chaudes et humides provoquent un stress thermique, affectant le comportement des animaux, les changements métaboliques ou même la mortalité ([Kantanen et al., 2015](#)).

Les effets du stress thermique sur les animaux d'élevage peuvent être classés dans l'utilisation des nutriments, la consommation alimentaire, la production animale, la reproduction, la santé et les mortalités. En définitive, dans le secteur d'élevage les vaches laitières hautement productives sont plus sensibles au stress thermique. Par suite, lorsque la production de chaleur métabolique augmente en même temps que le stress thermique, la production de lait diminue ([Kanwal et al., 2020](#)).

1.1.2.1. Les conséquences du stress thermique sur la production et la composition du lait

La réponse d'acclimatation mise en place pendant un stress de chaleur réorganise l'utilisation des nutriments en priorisant les fonctions non-productives des animaux. Ainsi, le stress de chaleur peut directement et indirectement, via la diminution de la CVMS, entraîner des conséquences négatives au niveau des performances de production des vaches laitières.

1.1.2.1.a. Impact sur la quantité du lait

La production de lait est extrêmement sensible au stress thermique. À titre d'exemple, des diminutions de 25-40 % ne sont pas surprenantes chez la vache en lactation ([Tao et al., 2018](#)). Plusieurs équipes de recherche se sont intéressées à l'impact du stress thermique sur la production laitière, l'ampleur de la différence observée varie d'une étude à l'autre (Tableau 2).

Tableau 2 : Effets du stress thermique sur la production laitière des vaches.
(dressé par nos soins à partir des données des auteurs mentionnés dans le tableau 2)

Diminution de la production de lait ¹	Auteurs
- 0,26 kg/j quand $ITH^2 > 70$	Johnson (1976)
- 0,27 kg par unité d'ITH > à 68	Bernabucci et al. (2010)
- 0,41 kg par unité d'ITH > à 69	Bohmanova et al. (2007)
- 0,23 à 0,59 par unité d'ITH > à 72	Cowley et al. (2015)
- 0,16 à 0,47 par unité d'ITH > à 60	Brügemann et al. (2011)
- 0,16 kg par unité d'ITH > à 62	Hammami et al. (2013)
- 0,20 kg par unité d'ITH > à 72	Ravagnolo and Misztal (2000)

¹Les diminutions varient selon la parité des animaux. ² ITH = Indice de température et d'humidité.

Il existe un délai de 24 à 48 heures entre un épisode de stress thermique et son effet concomitant sur la production laitière ([West, 2003](#)). Pour leur part, [Bernabucci et al. \(2014\)](#) rapportent un effet maximal des conditions environnementales sur la production laitière quatre jours avant la journée où la mesure est effectuée. De plus, ces auteurs rapportent un effet persistant de l'ITH sur la production laitière de huit jours.

La diminution de la quantité de lait produite observée pendant un stress thermique était strictement liée à la diminution de CVMS observée ([West, 2003](#)). Toutefois, il a été rapporté que cette diminution explique seulement de 35 à 50 % de la diminution observée chez des vaches en milieu de lactation ([Rhoads et al., 2010](#)) (Figure 1). Afin d'éliminer l'effet de la CVMS sur les performances de production, [Rhoads et al. \(2010\)](#) ont mesuré la prise alimentaire de vaches Holstein exposées à un stress thermique (ST). Ils ont ensuite offert cette même quantité de matière sèche à des vaches non exposées au stress (température ambiante : TA). En fin de compte, les auteurs ont comparé les performances des deux groupes d'animaux. Les auteurs ont observé des différences significatives entre la production laitière des vaches exposées au stress thermique et celles non exposées, et ce, même si les deux groupes d'animaux consommaient la même quantité de matière sèche.

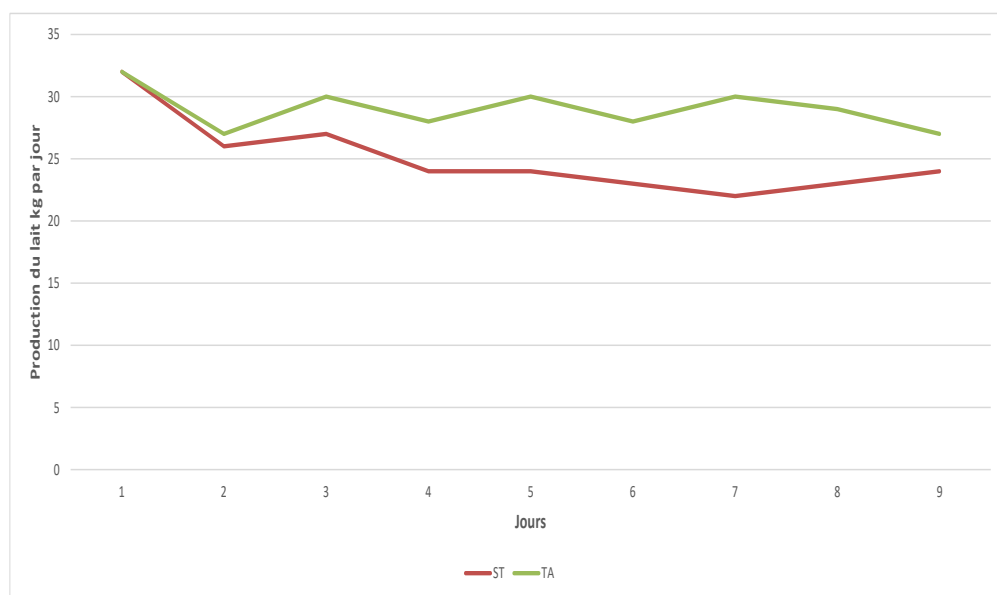


Figure 1 : Effet du stress thermique sur la production laitière.
(dressée par nos soins à partir des données de [Rhoads et al. \(2010\)](#))

1.1.2.1.b. Impact sur la qualité nutritionnelle du lait

En plus d'affecter les quantités de lait produites, le stress thermique influence aussi la qualité du lait. En effet, des diminutions significatives de la composition en gras [Bernabucci et al. \(2014\)](#), en protéines [Cowley et al. \(2015\)](#) et en lactose [Wheelock et al. \(2010\)](#) ont été rapportées en conditions de stress thermique. Et la majorité des études rapportent des diminutions de la concentration et de la quantité totale du gras du lait. Toutefois, certains auteurs rapportent des concentrations inchangées ([Knapp and Grummer, 1991](#); [Wheelock et al., 2010](#)) ou même augmentée ([Garner et al., 2016](#)) (Tableau 3).

Tableau 3 : Effet du stress thermique sur la teneur de la matière grasse du lait. (dressé par nos soins des données des auteurs mentionnés dans le tableau 3)

Paramètres	Effets	Auteurs
Matière grasse, %	inchangé	Wheelock et al. (2010)
Matière grasse, kg/j	inchangé	Knapp and Grummer (1991)
Matière grasse, kg/j	-0,02 à -0,07 kg/j ¹	Bernabucci et al. (2014)
Matière grasse, kg/j	-0,0005 à -0,01 kg/j ²	Lambertz et al. (2014)
Matière grasse, %	-0,34 unités de %	Bernabucci et al. (2010)
Matière grasse, kg	-0,02 kg/j	Hammami et al. (2013)

Le profil en acide gras du lait est également modifié pendant un stress thermique, l'effet du stress thermique sur le profil en acide gras est constant dans la littérature. Ainsi, les études indiquent que la synthèse des acides gras à courte (4 à 10 carbones) et à moyenne chaînes (12 à 16 carbones) diminue pendant un stress thermique alors que celle des acides gras à longue chaîne augmente ([Hammami et al., 2013](#)).

Dans le même ordre d'idée, le lait de vache en stress thermique contient moins d'acide gras synthétisés, mais des quantités plus élevées d'acide gras préformés ([Heck et al., 2009](#)). Le degré de saturation des acides gras est également modifié alors que des proportions plus importantes d'acides gras saturés et des proportions moins importantes d'acides gras insaturés sont observées en condition de stress thermique ([Hammami et al., 2013](#)). Des recherches supplémentaires sont nécessaires afin de comprendre les mécanismes altérant le profil en acide gras du lait en période de stress thermique.

Selon [Kadzere et al. \(2002\)](#), par exemple dans le cas des vaches Holsteins en adoptant la classification du stress thermique, trois lots expérimentaux ont été définis selon les valeurs du THI : Lot 1 stress sévère (THI>78), Lot 2 stress léger (THI 72-78) et Lot 3 conditions de confort : (THI <72). Trente-cinq vaches Holsteins en lactation ont été sélectionnées par lot, par conséquent, un total de 105 vaches laitières en lactation a été suivies. Les vaches avaient libre accès à l'eau et recevaient une ration composée de fourrage de bonne qualité et une complémentation en concentré selon les recommandations pour vaches laitières. Chaque échantillon a été analysé pour quelques critères de la qualité du lait, les paramètres physico-chimiques exprimés en (g/kg).

Pour le lactose, principal sucre présent dans le lait et substrat de fermentation lactique pour les bactéries lactiques, la moyenne a été inférieure à l'intervalle normal pour un lait cru qui est 40-50 g/l ([Labioui et al., 2009](#)). Les valeurs de l'extrait sec total ont été considérablement réduites avec l'augmentation du niveau du stress thermique en faveur du lot 3. Ceci est évidemment dû à la réduction de la teneur en matières grasses, protéines et lactose chez les vaches des lots 1 et 2 (stress thermique). La plupart des études rapportent également une diminution de la proportion de matière grasse et des protéines dans le lait.

Tableau 4 : Effet du seuil thermique sur les critères de qualité du lait cru de vaches Holsteins.

(dressé par nos soins à partir des données de [Bouraoui et al. \(2002\)](#))

Paramètres	Lot 1	Lot 2	Lot 3
PH à l'étable	6,65 ± 0,08 ^a	6,69 ± 0,08 ^b	6,75 ± 0,07 ^c
T ¹ °C à l'étable	26,6 ± 2,9 ^a	24,5 ± 2,7 ^b	19,3 ± 2,1 ^c
TB ² (g/kg)	30,4 ± 1,7 ^a	32,4 ± 1,9 ^b	34,6 ± 2,4 ^c
TP ³ (g/kg)	28,6 ± 1,9 ^a	29,3 ± 1,7 ^b	30,3 ± 1,8 ^c
Lactose (g/kg)	36,2 ± 2,5 ^a	36,6 ± 2,5 ^b	38,8 ± 2,6 ^c

¹ : La température du lait cru. ² : Le taux butyreux (g/kg). ³ : Le taux protéique (g/kg).

^a, ^b et ^c : La différence est significative entre colonnes (P <0,05).

Finalement, les vaches en stress thermique sécrètent moins de lactose (200 à 400 g) par jour que les vaches en état de thermo neutralité ([Rhoads et al., 2010](#); [Wheelock et al., 2010](#)). La quantité de lactose est généralement équivalente (sur une base molaire) à la quantité de glucose sécrétée. Ainsi, puisque le glucose est la source d'énergie principale pendant un stress thermique et que moins de glucose est ainsi disponible pour la glande

mammaire ([Wheelock et al., 2010](#)), il n'est pas surprenant d'observer une diminution du lactose.

1.1.3. Impact du changement climatique sur le taux de mortalité des animaux d'élevage

Le changement climatique modifie l'environnement dans lequel les animaux vivent. En raison de l'augmentation de la température, peut augmenter les mortalités liés à la chaleur chez les animaux ([Thornton et al., 2007](#)).

Selon [Nienaber and Hahn \(2007\)](#), il existe une forte relation entre la sécheresse et la mort animale, en raison de l'augmentation de la température et la diminution des précipitations augmenteront la perte des animaux d'élevage lors d'événements extrêmes dans les régions sujettes à la sécheresse.

Cependant, un coup de chaleur, une hyperthermie, une syncope de chaleur, des crampes de chaleur, et une défaillance d'organe surviennent chez les animaux, la mortalité et la morbidité liée à la chaleur peuvent augmenter à mesure que la température augmente en raison du changement climatique ([Lacetera, 2019](#)).

D'après [Kanwal et al. \(2020\)](#), les changements dans les précipitations et les zones sujettes à la sécheresse peuvent également entraîner une augmentation des pertes des animaux d'élevage, et les maladies des animaux sont susceptibles d'augmenter en raison de la sécheresse.

Les variations des précipitations associées à la sécheresse peuvent entraîner une mortalité prématurée du l'élevage ([Rojas-Downing et al., 2017](#)). Par exemple l'élevage des bovins, l'effet de l'augmentation de la température et la sécheresse sur la productivité des pâturages a un impact significatif sur la dynamique ([Kanwal et al., 2020](#)). Le changement climatique et les conditions chaudes et humides qui causent un stress thermique peuvent affecter la mortalité des animaux d'élevage ([Howden et al., 2008](#)).

En revanche, les changements dans les variables environnementales telles que la chaleur et l'humidité peuvent entraîner un stress thermique responsable de l'augmentation de la mortalité des animaux d'élevage et contribuant à la baisse des taux de natalité ([Howden et al., 2008](#)).

En outre, les changements environnementaux peuvent nuire au animaux d'élevage en provoquant des anomalies métaboliques, provoquant un stress oxydatif et une

suppression immunitaire, qui peuvent tous entraîner des maladies et la mort d'animaux d'élevage ([Lacetera, 2019](#)). Selon les observations [Fereja \(2016\)](#), l'augmentation de la température entre 1 et 5 °C peut entraîner une mortalité plus élevée chez les bovins au pâturage. Avec des mesures d'atténuation, ils recommandent la pulvérisation, l'ombre ou des pratiques de gestion similaires au refroidissement des animaux.

Une série d'études ont démontré un plus grand risque de mortalité chez la vache laitière lors des mois d'été ([Dechow and Goodling, 2008](#); [Hahn, 1999](#)) et pendant les événements climatiques extrêmes ([Hahn et al., 2003](#)). [Gantner et al. \(2011\)](#), ont établi un lien entre l'ITH et le nombre de mortalité chez la vache laitière dans le cadre d'une étude épidémiologique conduite en Italie (Figure 2).

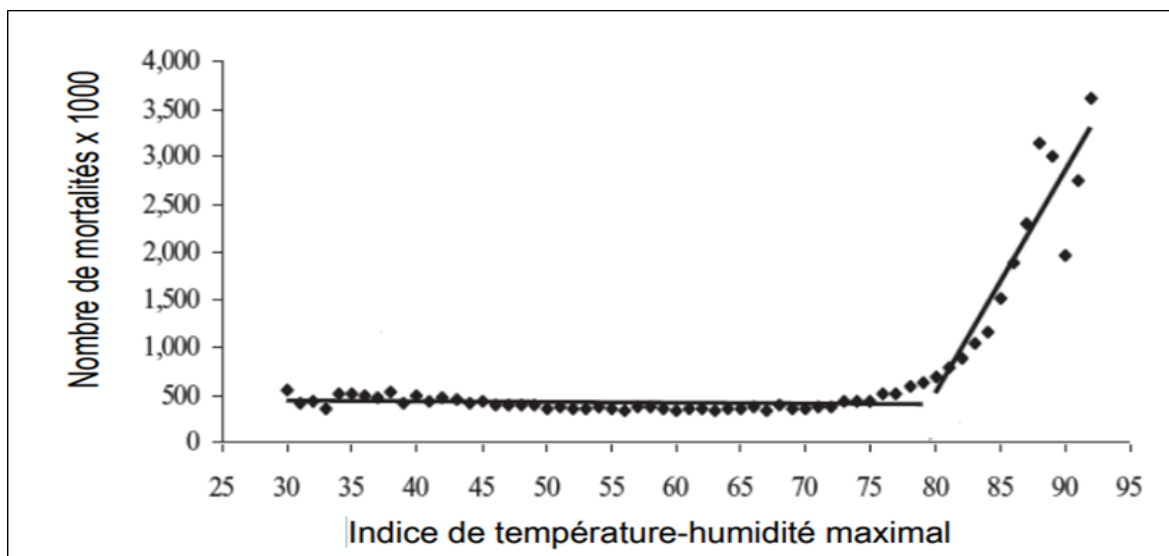


Figure 2 : Nombre de mortalités en relation avec l'indice de température-humidité maximal.

(dressée par nos soins à partir des données de [Gantner et al. \(2011\)](#))

Les auteurs rapportent que 80 (Figure 2) et 70 sont les valeurs d'ITH maximale et minimale au-delà desquelles les mortalités associées à la chaleur augmentent. De plus, les résultats obtenus indiquent qu'un ITH maximal en après-midi de 87 (Figure 2) et qu'un ITH minimal mesuré le matin de 77 doivent être considérés comme les valeurs d'ITH supérieures et inférieures selon lesquelles il est possible d'observer un risque maximal de mortalités. De plus, les risque d'accident vasculaire cérébral, de syncope, de crampes musculaires s'accroissent lorsque la température corporelle des vaches laitières s'élève de 3 à 4 °C par rapport à leur gamme optimale ([Gantner et al., 2011](#)).

1.1.4. Impact du changement climatique sur la reproduction des animaux d'élevage

Le stress thermique a des impacts majeurs sur la fertilité de la vache laitière ([Bernabucci et al., 2010](#); [Hansen and Areéchiga, 1999](#)). Plusieurs auteurs rapportent des altérations de la sécrétion d'hormones reproductives en période de stress thermique. Les principales perturbations des sécrétions hormonales incluent des diminutions de la concentration sérique d'œstradiol, de la concentration plasmatique de l'hormone lutéinisante et de la progestérone ainsi qu'une augmentation de la concentration plasmatique de l'hormone folliculostimulante ([Wheelock et al., 2010](#)). Ces altérations compromettent l'intervalle chaleur-ovulation ([Worley and Bernard \(2006\)](#)), la durée et l'expression des chaleurs ([Hansen and Areéchiga \(1999\)](#)), la croissance des follicules, la dominance des follicules ([Wilson et al. \(1998\)](#)), la qualité de l'oocyte ([Wilson et al. \(1998\)](#)) et le développement embryonnaire ([Dozier et al., 2009](#)).

Concrètement, les effets du stress de chaleur sur la reproduction se traduisent aussi par une diminution du taux de conception. À cet égard, [Dozier et al. \(2009\)](#) ont observé qu'un ITH supérieur ou égale à 72 survenant pendant la période s'échelonnant de 35 jours avant à 6 jours après l'insémination peut entraîner une diminution du taux de conception de 30 unités de pourcentage. Plus récemment, [Schüller et al. \(2014\)](#) ont rapporté des effets maximaux du stress thermique sur le taux de conception lorsque le stress survient de 1 à 21 jours avant l'insémination. Pendant cette période, un ITH supérieur ou égale à 73 peut faire passer le taux de conception de 31 à 12 % (Figure 3).

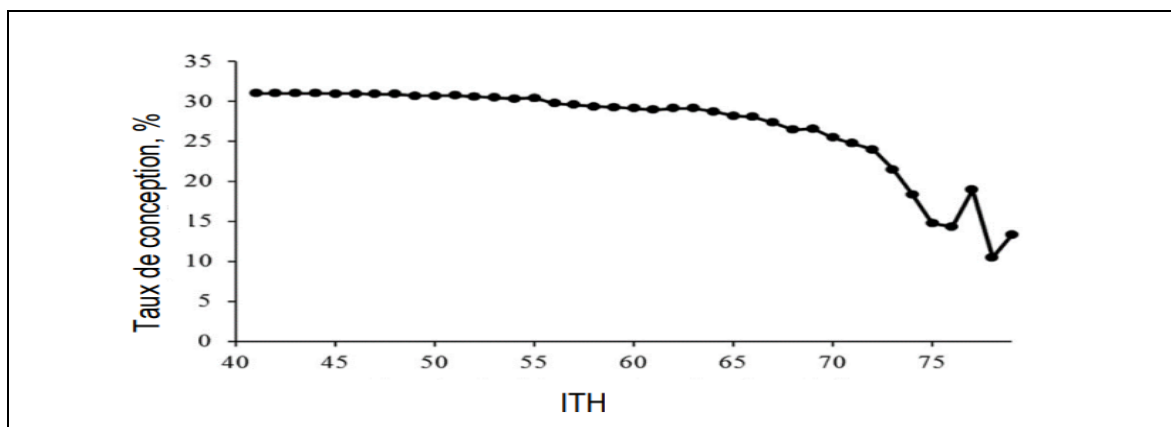


Figure 3 : Taux de conception (%) de vaches exposées à l'ITH variant de 41 à 79 le jour de l'insémination.
(dressé par nos soins à partir des données de [Schüller et al. \(2014\)](#))

1.1.5. Impact des maladies et des parasites induisent par le changement climatique sur les animaux d'élevages

L'augmentation de la température peut également augmenter l'exposition et la sensibilité de l'animal aux parasites et aux maladies, en particulier les maladies à transmission vectorielle ([Vickers, 2017](#)). Les maladies et les parasites des animaux sont également des facteurs cruciaux affectant la production et la productivité des animaux d'élevage. De plus, les conséquences négatives du changement climatique sur la santé des animaux résultent des changements de la température de l'air, des précipitations, de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes météorologiques extrêmes qui affectent le bétail ([Lacetera, 2019](#)).

Conformément à [Prasad et al. \(2022\)](#), le changement climatique provoque des maladies infectieuses, une température plus élevée peut augmenter le taux de développement d'agents pathogènes. D'autres agents pathogènes sont sensibles aux températures élevées et leur taux de survie peut diminuer en cas d'alerte climatique.

Cependant, les agents pathogènes et les parasites exposés à des environnements humides ou secs peuvent être affectés par des changements dans les précipitations et l'humidité, et peuvent entraîner une augmentation de la propagation de certains agents pathogènes et vecteurs de maladies, et des taux d'infection et de mortalité chez les animaux d'élevage ([Biota, 2002](#)).

De plus, les différences de vitesse du vent peuvent altérer la transmission de certaines infections et vecteurs qui peuvent être mortels pour les animaux d'élevage ([Smith, 1997](#)). Par exemple, la trypanosomiase africaine zoonotique chez les bovins a conclu que le changement climatique, en particulier les changements dans les précipitations, est associé aux maladies à transmission vectorielle ([McDermott et al., 2002](#)). L'augmentation des températures et des précipitations accélère la propagation des maladies à transmission vectorielle des gros parasites des animaux, entraîné de nouvelles maladies des animaux d'élevage qui affectent la santé et le bien-être des animaux d'élevage ([Dahal, 2011](#)).

D'après [Prasad et al. \(2022\)](#), peu d'efforts ont été consacrés à la compréhension de l'impact potentiel du changement climatique sur les populations de parasites et des impacts ultérieurs sur la production animale.

En accord avec, l'OMS rapporte que le changement climatique peut affecter indirectement l'abondance et la distribution des parasites ou des vecteurs qui peuvent influencer le schéma de la maladie que affecter la production animale ([Kimaro and Chibinga, 2013](#)).

Il existe plusieurs impacts du changement climatique sur les vecteurs de maladies (les mouches, les mouches, les tiques et les moustiques sont tous des vecteurs importants de maladies des animaux sous les tropiques). Les changements des régimes de précipitations et de températures peuvent affecter à la fois la distribution et l'abondance des vecteurs de maladies, tout comme les changements dans la fréquence des événements extrêmes ([Wolfenson and Roth, 2019](#)).

Il a présenté plusieurs problèmes de santé des animaux d'élevage liés au changement climatique. Une température élevée prolongée peut affecter le taux métabolique, le statut endocrinien, le statut redox, le métabolisme du glucose, des protéines et des graisses, la fonction hépatique (réduction du cholestérol et de l'albumine), la production de salive et la teneur en HCO₃ salivaire. En outre, une plus grande carence énergétique affecte la condition physique et la longévité des vaches laitières.

Le changement climatique pourrait modifier les taux de transmission entre hôtes non seulement en affectant la survie de l'agent pathogène, du parasite ou du vecteur intermédiaire, mais aussi d'autres façons. Les tendances futures du commerce international, du transport des animaux d'élevage et de la taille des exploitations sont des facteurs qui peuvent être en partie influencés par le changement climatique et peuvent influencer sur la transmission des maladies ([Thornton et al., 2009](#)).

En revanche, il existe d'autres effets indirects du changement climatique peuvent également affecter l'abondance et / ou la répartition des concurrents, prédateurs et parasites des vecteurs, influençant ainsi les schémas de maladie. Les changements dans les écosystèmes, entraînés par le changement climatique et d'autres facteurs qui affectent l'émergence de nouvelles maladies ([McDermott et al., 2002](#)).

Selon [Hidosa and Guyo \(2017\)](#), la situation future des maladies infectieuses sera différente de la condition d'aujourd'hui.

2. Effets indirects

2.1. Impact du changement climatique sur les ressources alimentaires des animaux d'élevage

Le changement climatique devrait amplifier la vulnérabilité de l'alimentation du bétail principalement liée à la qualité et à la quantité. L'augmentation des températures et des régimes de précipitations affecte grandement la qualité et la quantité des pâturages, ce qui affecte le cycle de disponibilité des ressources alimentaires tout au long de l'année. ([Fereja, 2016](#)).

Cependant, les températures plus élevées causées par le changement climatique ont été responsables de l'augmentation de l'uniformité des tissus végétaux, ce qui réduit le facteur de digestion des animaux qui entraîne le taux de production de lait. De plus, il a été constaté que les tendances climatiques du réchauffement et de la déshydratation affectent négativement la productivité en réduisant la quantité et la qualité des aliments de l'alimentation des bovins de l'élevage ([Nardone et al., 2010](#)).

Selon [Hidosa and Guyo \(2017\)](#), les effets néfastes sur les ressources alimentaires des animaux, résultant du changement climatique, augmenteront encore l'écart entre la disponibilité d'aliments pour animaux et de fourrage et les besoins en aliments pour animaux et en fourrage pour les vaches laitières. Ainsi, le changement climatique réduit la productivité et la capacité de pâturage des parcours, entraînant des niveaux plus élevés de stress nutritionnel chez les vaches laitières, affectant ainsi la productivité globale de la ferme.

2.2. Impact du changement climatique sur la disponibilité de l'eau des animaux d'élevage

Une augmentation des températures élevées ou la sécheresse, menacées par le changement climatique, affecteront une diminution de la disponibilité de l'eau pour la production animale entraînant de nombreux impacts dans la digestion, l'énergie, la dynamique animale, la reproduction et la perturbation des signes de chaleur. Elle entraîne une diminution de la qualité et de la quantité de la production de lait ([Abdurehman and Ameha, 2018](#)).

De manière générale, la communauté scientifique estime que les impacts les plus importants sur les ressources en eau causés par les animaux d'élevage et la réduction de la production laitière comme les vaches laitières se produiront en été (des températures plus

élevées stimuleront l'évaporation qui se combinera à une diminution des précipitations asséchant le sol) ([Biota, 2002](#)).

La productivité des systèmes animaux, et agricoles dépend dans une large mesure de la distribution temporelle et spatiale des précipitations et de l'évapotranspiration, ainsi que de la disponibilité des ressources en eau douce pour l'irrigation, en particulier pour les cultures. Avec le changement climatique, les systèmes de production dans les zones marginales sont confrontés à une vulnérabilité et à des risques climatiques accrus, liés à l'eau, en raison de facteurs tels que la dégradation des ressources en sols par l'érosion des sols, la sur-extraction des eaux souterraines et la salinisation associée, ainsi que le surpâturage des terres arides, le manque d'eau affectera la sécheresse dans les exploitations animales, la chute de poids de l'animal, une diminution de production de lait et de la viande comme les vaches laitière et autre ruminants ([Bellarby et al., 2013](#)).

Selon [Asner et al. \(2004\)](#), les effets directs du changement climatique sur les processus naturels peuvent être exacerbés par les activités humaines. Une utilisation accrue des eaux souterraines peut être nécessaire, par exemple, dans les zones où les ressources en eau de surface ne sont pas durables ou sont polluées par les sécheresses et les inondations. Les effets du changement climatique sur les ressources en eaux souterraines sont donc étroitement liés à d'autres causes globales de changement, dont la croissance démographique, l'urbanisation et le changement d'utilisation du territoire, conjugués avec d'autres tendances de production animales, socio-économiques et politiques. En outre, les fourrages fibreux affectera une augmentation de la chaleur de fermentation et la demande thermorégulatrice en eau chez les animaux d'élevage ([Nardone et al., 2010](#)).

Une augmentation de la température altère la fertilité et la digestion des animaux, étant donné que les animaux exposés à des environnements aquatiques chauds sont 2 à 3 fois plus susceptibles que les animaux dans des situations de température neutre, auxquelles ils sont compromis, et les changements du PH de l'eau peuvent avoir un effet sur métabolisme ([Abdurehman and Ameha, 2018](#)). Le fait que le changement climatique ait un effet décroissant sur la disponibilité des ressources en eau a pour effet d'accroître la concurrence entre les différents usages de l'eau que provoque indirectement la balance de production animale laitière ([Asner et al., 2004](#)).

2.3. Impact du changement climatique sur les ressources génétiques des animaux d'élevage

Les ressources génétiques des animaux d'élevage sont définies comme la diversité génétique qui existe entre ou au sein d'espèces ou de genres d'animaux qui ont des valeurs économiques ou d'autres valeurs sociales ([Kantanen et al., 2015](#)).

Selon [Cardoso et al. \(2020\)](#), la biodiversité fait référence à la variété de gènes, d'organismes et d'écosystèmes qui sont présents dans un environnement donné et contribuent au bien-être humain.

Dans le cadre de changement climatique pourrait anéantir 15 à 37 % de toutes les espèces dans le monde, car les populations dont la biodiversité génétique est réduite constituent un risque et l'un des principaux moteurs de la perte de biodiversité ([Myeki and Bahta, 2021](#)). L'augmentation de la température a affecté l'élevage, la migration, la mortalité et la répartition des espèces ([Yang et al., 2021](#)).

Le rapport d'évaluation indique qu'une augmentation de 2 à 3 °C par rapport aux niveaux préindustriels pourrait entraîner une perte de 20 à 30 % de la biodiversité des plantes et des animaux en raison des ressources génétiques du bétail ([Casey et al., 2006](#)).

Cependant, le changement climatique favorisera la croissance et la reproduction de nouveaux ravageurs et maladies qui affecteront l'animal, car les races et les types des animaux d'élevages diminueront et la biodiversité génétique sera affectée, car les races des animaux locales pourraient disparaître en raison du changement climatique. De plus, le changement climatique favorisera la croissance et la reproduction de nouveaux ravageurs et maladies qui affecteront l'animal, et les races et types d'animaux se détérioreront, ce qui affectera la biodiversité génétique, car les races locales de bétail pourraient disparaître en raison du changement climatique ([Thornton et al., 2009](#)).

L'impact du changement climatique et des épidémies entraîne un risque élevé d'extinction pour toutes les espèces végétales et animales allant de 20 à 30 % et des races locales et rares peuvent être perdues ([Gray et al., 2009](#)).

En outre, la perte de biodiversité a des implications pour la santé mondiale et bon nombre des risques sanitaires prévus du changement climatique seront attribuables à la perte de diversité génétique ([Henderson et al., 2015](#)).

D'après [Hoffmann \(2010\)](#), le changement climatique pourrait éliminer 15 à 37 % de toutes les espèces dans le monde entier, provoquant l'insécurité alimentaire, la malnutrition et des problèmes de subsistance chez ceux qui dépendent fortement des animaux pour leur survie, l'augmentation et le changement de température de 2 à 3 °C peut entraîner 20 à 30% de perte de biodiversité des animaux.

Les phénomènes météorologiques extrêmes causés par le climat tel que la sécheresse, les inondations et les ouragans affecteront également de nombreuses espèces et races animales. De tels événements peuvent détruire complètement la concentration des résidents des races localement ([Jarvis et al., 2015](#)).

En revanche, les changements dans la répartition et l'incidence des maladies qui tuent un grand nombre d'animaux ou induisent des mesures d'abattage pour lutter contre les maladies peuvent constituer des menaces supplémentaires pour la diversité des ressources zoo-génétiques, mais les effets précis sont encore difficiles à prévoir ([Kanwal et al., 2020](#)). De plus, avec une augmentation de la production de lait chez les vaches laitières et des taux de croissance et de maigreur chez les porcs ou la volaille, la production de chaleur métabolique a augmenté et la capacité à tolérer des températures élevées a diminué ([McDermott et al., 2002](#)).

Finalement, mais si le niveau d'intervention humaine pour améliorer les performances productives des animaux d'élevages est peu, grâce au long développement et à la sélection naturelle, l'animal sera amélioré avec tolérance avec la chaleur et réduira la ligne de production de lait, de viande et d'œuf et il peut y avoir une perte animale fructueuse ([Myeki and Bahta, 2021](#)).

2.4. Impact du changement climatique sur la quantité et la qualité des aliments des animaux d'élevage

La quantité et la qualité des aliments seront principalement affectées par l'augmentation des niveaux de (CO₂) dans l'atmosphère et la température ([Chapman et al., 2012](#)). Les effets du changement climatique sur la quantité et la qualité des aliments dépendent de l'emplacement, le système d'élevage et les espèces ([Change, 2014](#)).

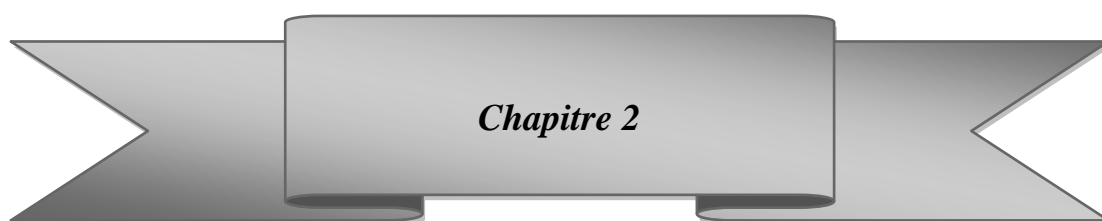
D'après [Asner et al. \(2004\)](#), certains des impacts sur les fourrages sont : (I) l'augmentation de la concentration de CO₂ entraînera des changements dans la croissance des pâturages, avec un effet plus important sur les rendements céréaliers. Les effets du CO₂ seront positifs du fait de la fermeture partielle des stomates, réduisant la transpiration et

améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau par certaines plantes. (II). L'augmentation de la température à 30-35°C peut augmenter la croissance des pâturages. Cependant, les effets peuvent varier selon l'emplacement, le système de production utilisé, et les espèces végétales. (III) les changements de température et les niveaux de CO₂ affecteront la composition des pâturages en modifiant la dynamique de compétition des espèces en raison des changements dans les taux de croissance optimaux. La compétition végétale est influencée par les changements saisonniers de la disponibilité de l'eau. La productivité primaire dans les pâturages peut être augmentée en raison des changements dans la composition des espèces si la température, les précipitations et les dépôts d'azote associés augmentent. (IV) La qualité des fourragères peut être affectée par l'augmentation des températures et des conditions sèches en raison des variations des concentrations de glucides hydrosolubles et d'azote. Les augmentations de température peuvent augmenter les composants de la lignine et de la paroi cellulaire dans les plantes, ce qui réduit la digestibilité et les taux de dégradation, entraînant une diminution de la disponibilité des nutriments pour le bétail. (V) Les événements climatiques extrêmes tels que les inondations peuvent affecter la forme et la structure des racines, modifier le taux de croissance des feuilles et diminuer le rendement total.

Selon [Polley et al. \(2013\)](#), les impacts sur la quantité et la qualité du fourrage dépendent de la région et de la durée de la saison de croissance. Une augmentation de 2°C produira des impacts négatifs sur les pâturages et la production animale dans les régions arides et semi-arides et impacts positifs dans les régions tempérées humides.

La durée de la saison de croissance est un facteur important pour la qualité et la quantité de fourrage, car elle détermine la durée et les périodes de fourrage disponible, diminution de la qualité des aliments, augmentation des émissions de CH₄ par unité d'énergie brute consommée ([Benchaar et al., 2001](#)).

En définitive, si la qualité du fourrage diminue, il peut être nécessaire de compenser en réduisant la consommation d'aliments et en le remplaçant par des céréales pour éviter les fortes émissions de CH₄ par le bétail ([Polley et al., 2013](#)).



Chapitre 2

Chapitre 2 : Contribution de l'élevage dans le changement climatique

1. Les principales sources des émissions de GES

Le CO₂, le CH₄, et le N₂O sont les principales émissions de GES des animaux d'élevage. Alors, le CH₄ contribue le plus dans les émissions de GES (44%), suivi par N₂O (29%) et CO₂ (27%). Le CH₄, est un gaz dont l'effet de réchauffement global est 28 fois supérieur à celui du CO₂, produit principalement par la fermentation entérique, le stockage du fumier, et la fabrication des aliments des animaux d'élevage. Le N₂O, résultant du stockage du fumier et de l'utilisation d'engrais organiques/inorganiques, et le CO₂ provenant de la fabrication des emballages, du transport des engrais et de la gestion du fumier ([Goglio et al., 2018](#)).

La majorité des émissions de GES sont principalement issues de sept sources notamment (la fermentation entérique, gestion des effluents, production d'aliments des animaux d'élevage et consommation d'énergie, fabrication d'aliments pour animaux d'élevage, l'utilisation du fumier, le changement d'utilisation des terres).

1.1. La fermentation entérique

Le secteur de l'élevage contribue de 14,5% des émissions totales de GES, notamment (le plus grand contributeur aux émissions du secteur c'est la fermentation entérique avec 39,1 %, suivi de la gestion, de l'épandage et du dépôt direct du fumier avec 25,9 %, de la production d'aliments pour animaux avec 21,1 %, du changement d'utilisation des terres avec 9,2 %, après la ferme avec 2,9 % et de la production directe. Et énergie indirecte avec 1,8%) ([Gerber et al., 2013](#)).

La fermentation entérique est une partie naturelle du processus digestif des ruminants où les bactéries, les protozoaires, et les champignons contenus dans l'avant-estomac de l'animal (rumen), fermentent et décomposent la biomasse végétale consommée par l'animal. La biomasse végétale dans le rumen est convertie en (AGV), qui traversent la paroi du rumen et se rendent au foie par le système circulatoire. Ce procédé fournit une grande partie des besoins énergétiques de l'animal et permet le haut rendement de conversion de la cellulose et de la semi-cellulose, typique des ruminants. Les déchets gazeux de la fermentation entérique, le CO₂ et le CH₄, sont principalement éliminés du rumen par éructation. L'émission de CH₄ dans le réticulo-rumen est une adaptation évolutive qui permet à l'écosystème du rumen d'éliminer l'hydrogène, qui pourrait

autrement s'accumuler et d'inhiber la fermentation des glucides et la dégradation des fibres. Le taux d'émission de CH₄ entérique varie en fonction de l'apport alimentaire et de la digestibilité ([Alcock and Hegarty, 2011](#)).

Les ruminants (bovins, buffles, ovins et caprins) produisent du CH₄ lors de leur digestion (le CH₄ est un sous-produit de la digestion). Il existe des rations peu digestibles (fibreuse) entraînent une hausse des émissions de CH₄ par unité d'énergie ingérée. Les espèces qui ne ruminent pas, comme les porcs, produisent aussi du CH₄ mais en quantité bien moindre. Dans leur rumen, la fermentation microbienne rompt les chaînes glucidiques en de simples molécules que l'animal mal peut digérer ([Bellarby et al., 2013](#)).

1.2. La gestion des effluents

D'après [Alcock and Hegarty \(2011\)](#), les effluents contiennent deux composants chimiques qui peuvent conduire à l'émission de GES pendant leur stockage et traitement : (i) les matières organiques qui peuvent se transformer en CH₄ ; et (ii) l'azote qui conduit à des émissions N₂O. le CH₄ est émis lors de la décomposition anaérobie des matières organiques. Cela se produit lorsque les effluents sont gérés sous forme liquide, comme dans les lagunes ou dans les réservoirs de stockage. Pendant le stockage et le traitement, l'azote est émis dans l'atmosphère sous forme (NH₃) qui peut ensuite être transformé en oxyde (émissions indirectes).

1.3. La production, transformation et du transport des aliments pour les animaux

Les émissions provenant de la production, de la transformation et du transport des aliments des animaux d'élevage représentent environ 45% des émissions du secteur. La fertilisation des cultures pour l'alimentation animale et l'épandage de fumier sur les pâturages entraînent des émissions importantes de N₂O, qui représentent environ la moitié des émissions liées à la production d'aliments pour animaux (soit un quart des émissions totales du secteur). Environ un quart des émissions sont associées à l'alimentation animale (un peu moins de 10 % des émissions du secteur) avec des changements dans l'utilisation des terres ([Ramesh et al., 2012](#)).

Les émissions provenant de la production animale génèrent plus de GES dans l'atmosphère par rapport l'ensemble du secteur mondial des transports, la contribution de secteur d'élevage provoque d'une manière direct et indirect aux émissions de GES, notamment par la physiologie animale, le logement des animaux, le stockage du fumier, le traitement du fumier, l'épandage et les engrais chimiques ([Casey et al., 2006](#)).

Les émissions de CO₂ viennent de l'expansion des cultures pour produire des aliments des animaux d'élevage et des pâturages dans les habitats naturels, ce qui entraîne l'oxydation de la matière organique des sols et de la végétation. Elles émanent aussi de l'utilisation de combustibles fossiles pour la fabrication d'engrais (organiques ou synthétiques) pour la production d'aliments pour animaux d'élevage et de l'épandage des effluents sur les pâturages ou sur les terres agricoles. Les émissions N₂O peuvent varier grandement selon les températures et l'humidité au moment de leur application et leur quantification est sujette à une incertitude importante ([Singhal and Mohini, 2002](#)).

Les coûts énergétiques de la transformation des animaux et de leurs produits combinés à la production animale mondiale à partir de « systèmes intensifs axés sur le marché » peuvent être utilisés pour obtenir des émissions mondiales de transformation. En outre, la source de l'énergie et sa variation dans le monde est incertain ([Smil, 2004](#)).

Cependant, certaines estimations approximatives de la consommation d'énergie dans le secteur de l'élevage ont été élaborées. D'après une étude réalisée au Minnesota par [Rojas-Downing et al. \(2017\)](#) sur la consommation d'énergie pour le traitement, [Steinfeld et al. \(2006\)](#) a estimé que les Etats-Unis produisent (quelques millions de tonnes) d'émissions de CO₂ liées à la transformation totale des produits animaux et des aliments pour animaux. De plus, le monde (dizaines de millions de tonnes) a produit des émissions de CO₂ dans la transformation des produits animaux.

En général, les animaux d'élevage ne sont pas une source claire d'émissions de CO₂ car elle fait partie du cycle mondial du système biologique. L'animal consomme des plantes de la conversion du CO₂ dans l'atmosphère en véhicules ou organique dans la masse vitale. Ainsi, on suppose que les quantités de CO₂ consommées sous la forme d'une usine équivalente à celles émises par l'animal. Au contraire, l'animal est un puits de carbone car une petite partie du carbone consommé est absorbée dans le tissu [Roberts and Huq \(2015\)](#) et des produits tels que le lait.

Le secteur d'élevage contribue à 44% des émissions de CH₄ à ses opérations digestives naturelles (fermentation entérique) et à la gestion du fumier ([Gerber et al., 2013](#)). La fermentation entérique et le fumier représente 80% des 52 sources d'émissions agricoles ([Steinfeld et al., 2006](#)).

Au cours du processus digestif des animaux, la fermentation entérique transforme les aliments consommés en aliments digestibles. La fermentation entérique libère un sous-

produit CH₄ par expiration ([Beauchemin et al., 2009](#)). Par conséquent, ce sous-produit est considéré comme une perte d'énergie ([Gerber et al., 2013](#)).

La nourriture et l'alimentation peuvent varier de la fermentation entérique et donc des émissions de CH₄. L'augmentation du pourcentage de concentrations dans les aliments pour animaux peut réduire les émissions de CH₄ de l'animal ([Dourmad et al., 2008](#)).

1.4. La consommation d'énergie

La consommation d'énergie le long des filières de l'élevage émet du CO₂. Au niveau de la production des aliments pour animaux, la consommation d'énergie est liée principalement à la production d'engrais et à l'utilisation de machines pour la gestion, la récolte, la transformation et le transport des cultures. De l'énergie est aussi consommée dans les exploitations agricoles soit directement lors des opérations mécanisées ou indirectement lors de la construction des bâtiments et des équipements. La transformation et le transport des produits animaux issus de l'élevage nécessitent aussi de l'énergie ([Alcock and Hegarty, 2011](#)).

Dans tout le rapport, les catégories d'émissions sont : (i) engrais – résidus de cultures, N₂O, émissions des engrais appliqués aux cultures pour l'alimentation animale et de la décomposition des résidus de cultures ; (ii) effluents épandus et déposés aux pâturages, N₂O ; (iii) émissions des effluents épandus sur les cultures pour l'alimentation animale et sur les pâturages ou directement déposés par les animaux ; (iv) émissions de la production, la transformation et du transport des aliments pour animaux ; (v) émissions liées à l'expansion des terres cultivées pour l'alimentation animale ; (vi) émissions dues à l'expansion des pâturages ; (vii) émissions des fourrages pour la production d'aliments pour animaux ; (viii) émissions de la fermentation entérique ; (ix) émissions du stockage et traitement des effluents (épandage exclus) ; (x) émissions de l'utilisation d'énergie sur l'unité de production (chauffage, ventilation, etc.) ; (xi) émissions liées à la construction des bâtiments et des équipements utilisés sur l'exploitation ; (xii) émissions liées à la transformation et au transport des produits de l'élevage du lieu de production au point de vente ([Steinfeld et al., 2006](#)).

1.5. Fabrication d'aliments pour animaux d'élevage

L'utilisation de fumier et d'engrais synthétiques pour la production de cultures fourragères, et les principaux contributeurs aux émissions de GES associés au secteur de l'élevage sont la transformation des aliments pour animaux et le transport des aliments ([Gerber et al., 2013](#)). Ceux-ci sont responsables de 45 % des émissions mondiales de GES anthropiques provenant des animaux d'élevage, principalement sous forme de CO₂, N₂O et NH₄ ([Smil, 2004](#)).

Le secteur de l'élevage contribue de manière significative aux émissions de GES en produisant des engrais azotés utilisés pour faire pousser des cultures destinées à l'alimentation animale ([Steinfeld et al., 2006](#)). Parmi les aliments pour animaux, l'herbe et les autres fourrages verts représentent environ la moitié des émissions, principalement en raison de la propagation des déchets liquides sur les pâturages et du changement d'utilisation des terres. Les cultures pour l'alimentation animale représentent un quart des émissions et la production de tous les autres aliments (les sous-produits, les résidus des cultures) ([Roberts and Huq, 2015](#)).

Cependant, le pétrole, le charbon et le gaz naturel sont utilisés pour fabriquer des engrais, compte tenu de la quantité d'engrais utilisée, conditionnée, transportée et utilisée dans le secteur de l'élevage, et le processus de fabrication d'engrais produit plus de 40 millions de tonnes de CO₂ par an ([Steinfeld et al., 2006](#)). Ainsi, 40 % de l'absorption totale d'azote par les cultures provient des engrais synthétiques ([Smil, 2004](#)).

En revanche, la perte de conformation de l'ammoniac causée par les engrais azotés synthétiques contribue indirectement aux émissions de GES entre 4 et 5 millions de tonnes d'engrais minéraux sont utilisées pour la production des aliments pour animaux. Par conséquent, on estime que le secteur de l'élevage contribue chaque année à 3,1 millions de tonnes de conformation mondiale d'ammoniac provenant des engrais minéraux ([Steinfeld et al., 2006](#)).

Le N₂O est un autre facteur contribuant aux émissions de GES. L'utilisation d'engrais, la fixation de l'azote agricole et les dépôts atmosphériques d'azote global augmentent les émissions de N₂O ([Bouwman, 1996](#)). De plus, les légumineuses destinées à fournir des animaux d'élevage représentent des émissions N₂O supplémentaires. Le secteur de l'élevage, contribue chaque année à 0,2 million de tonnes d'émissions mondiales de N₂O provenant des engrais minéraux ([Steinfeld et al., 2006](#)).

1.6. L'utilisation du fumier

Le fumier des animaux d'élevage libère le gaz CH_4 et N_2O . La décomposition des matériaux organiques trouvés dans le fumier sous anaérobies conditions libère du CH_4 ([Rojas-Downing et al., 2017](#)). Le fumier liquide dans les lacs ou les étangs libère plus de CH_4 que le fumier sec. Les émissions de CH_4 du fumier sont fonction de la température de l'air, de l'humidité, du PH, de la durée d'entreposage et du régime alimentaire des animaux ([Burke, 2001](#)).

D'après [Steinfeld et al. \(2006\)](#), les émissions mondiales estimées de CH_4 provenant de la décomposition du fumier sont de 17,5 millions de tonnes de CH_4 par an. Le fumier de porc représente près de la moitié des émissions mondiales de CH_4 liées au fumier. Au niveau national, la Chine a les émissions de CH_4 liées au fumier les plus élevées au monde, en particulier du fumier de porc.

Les émissions de N_2O provenant du stockage du fumier dépendent des conditions environnementales, des réglementations de manutention et de la durée de la gestion des déchets. Le fumier doit être manipulé de manière aérobie puis anaérobie pour libérer des émissions de N_2O , qui sont plus susceptibles de se produire dans les systèmes de traitement des déchets secs. Les émissions de N_2O provenant du fumier stocké équivalaient à 10 millions de tonnes N par an ([Steinfeld et al., 2006](#)).

Les émissions de N_2O dans le sol provenant de l'épandage de fumier sont la principale source d'émissions mondiales de N_2O . Les émissions de N provenant du fumier appliqué ou déposé dépendent de la perméabilité du sol, de la quantité de carbone organique, du PH, de la température du sol, des précipitations et du taux d'absorption par les plantes/cultures ([Mosier et al., 2004](#)).

Selon [Steinfeld et al. \(2006\)](#), a estimé que 1,7 million de tonnes de N_2O du sol de fumier sont libérées par an. Les émissions de N_2O provenant du fumier appliqué sont 40 % plus élevées dans les systèmes mixtes culture-élevage par rapport aux émissions de N_2O provenant du fumier excrété appliqué sur les systèmes de pâturage. Les systèmes de production industrielle ont des émissions de N_2O de 90 % inférieures à celles des systèmes mixtes de culture et d'élevage.

1.7. Le changement d'utilisation des terres

Dans le secteur de l'élevage, la demande croissante de produits a radicalement changé le paysage. La dégradation des sols est la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. La dégradation des sols a été reconnue comme l'un des moteurs de la conversion des terres forestières en terres cultivées et en pâturages, car les producteurs épuisent leurs ressources en sols et recherchent ainsi des terres plus adaptées. ([Steinfeld et al., 2006](#)). Cependant, en raison des caractéristiques du climat et du sol, l'expansion des pâturages dans les zones marginales est limitée. De plus, l'expansion des parcours ne peut s'étendre qu'aux zones à potentiel agro-écologique ([Asner et al., 2004](#)).

Le changement d'utilisation des sols affecte le cycle naturel du carbone, qui à son tour libère de grandes quantités de carbone dans l'atmosphère, entraînant une augmentation des émissions de GES. Les habitats naturels, en particulier les forêts, séquestrent plus de CO₂ dans les sols et la végétation que les terres cultivées et les pâturages. Les sols et la végétation terrestre séquestrent jusqu'à 40 % des émissions mondiales de CO₂ ([Read et al., 2001](#)).

De plus, les pâturages contiennent plus de carbone que les terres cultivées. Les terres cultivées contiennent 6 % du carbone mondial, par rapport aux savanes tropicales et aux pâturages tempérés qui, ensemble, en contiennent 27 % ([Jungbluth et al., 2001](#)). Le sol contient le plus de carbone dans le cycle du carbone terrestre et deux fois plus de carbone que la végétation ([Steinfeld et al., 2006](#)).

Le stockage du carbone dans les sols varie entre 1100 à 1600 milliards de tonnes. Et dans l'environnement de l'élevage, le carbone des sols peuvent être perdu par rapport le brûlage, la volatilisation, l'érosion, le changement d'utilisation des terres et les pratiques de gestion agricole ([Bolin et al., 1982](#)). Ainsi, les forêts sont converties en terres agricoles et en pâturages par l'exploitation forestière ou le brûlage, concluant que de grandes quantités de carbone sont libérées dans l'atmosphère ([Steinfeld et al., 2006](#)). Globalement, la plupart des pays ont converti des terres forestières en pâturages et en terres agricoles, et l'élevage est l'un des vers secs de ce changement ([Wassenaar et al., 2007](#)).

Les principales sources d'émissions de CO₂ sont le sol cultivé, l'élimination des forêts et la détérioration des terres dues à l'élevage. 9,2% des émissions de GES sont attribuées, 9,2% doivent modifier l'utilisation des terres, dont 6% sont dues à l'expansion des pâturages et à 3,2% pour étendre les cultures supérieures ([Gerber et al., 2013](#)).

Ainsi, le changement d'utilisation des terres entraîne d'autres émissions en plus du CO₂. La transformation des terres forestières en pâturages peut également réduire l'oxydation du CH₄ par les micro-organismes du sol, ce qui signifie que les pâturages agissent comme des sources nettes de CH₄ lorsque le compactage du sol par les sabots des bovins limite la libération du gaz ([Mosier et al., 1997](#)).

En termes d'autres contributeurs aux émissions de GES associées à l'utilisation des terres par l'élevage, nous notons que les sols cultivés liés à l'élevage produisent environ 28 million tonnes de CO₂ par an et que la désertification induite par le pâturage due à l'élevage produit 100 million tonnes de CO₂ chaque année. La diminution des cours de formation en tant que stratégie d'atténuation n'indique pas une augmentation du stock de carbone dans le sol, car la relation entre les pâturages et l'isolation du carbone dans le sol est complexe en raison de sa dépendance à l'égard du carbone du sol ([Steinfeld et al., 2006](#)). Certaines études montrent que le pâturage peut augmenter ou diminuer les émissions de GES en fonction de la gestion du pâturage, de l'historique du climat et de l'écosystème ([Henderson et al., 2015](#)).

D'après [Roberts and Huq \(2015\)](#), la fermentation entérique est la seconde source d'émissions et représente environ 40% des émissions. Les bovins émettent la plus grande partie du CH₄ entérique (77%), suivis par les buffles (13%) et les petits ruminants (10%). Les émissions de CH₄ et de N₂O provenant du stockage et de la transformation des effluents (épandage et dépôts aux pâturages exclus) représentent environ 10% des émissions du secteur. Parmi les impacts de contribution de l'élevage les plus importants sur le changement climatique sont représentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Les impacts des sources contributeurs de l'élevage dans le changement climatique.
 (dressé par nos soins à partir des données de [Rojas-Downing et al. \(2017\)](#))

	Augmentation de N₂O	Augmentation de CO₂	Augmentation de CH₄
Production d'aliments pour animaux	<ul style="list-style-type: none"> - la gestion des résidus de culture. - les légumineuses fourragères. - le dépôts atmosphériques d'azote. - la fixation de l'azote agricole. 	<ul style="list-style-type: none"> - la fabrication, l'emballage et transport des engrais, application d'engrais. 	<ul style="list-style-type: none"> - l'alimentation : riziculture inondée.
Le stockage du fumier	<ul style="list-style-type: none"> - le fumier épandu et déposé. - le stockage du fumier. 	<ul style="list-style-type: none"> - la gestion du fumier. 	<ul style="list-style-type: none"> - la décomposition du fumier.
La transformation des aliments pour animaux et transport des aliments		<ul style="list-style-type: none"> - le transport des animaux vivants. - la transformation et transport des produits d'origine animale. - la consommation d'énergie directe et indirecte à la ferme. 	
Le changement d'utilisation des terres		<ul style="list-style-type: none"> - la dégradation des terres. - les sols cultivés. - la déforestation. 	
Production animale			<ul style="list-style-type: none"> - la fermentation entérique par les ruminants.

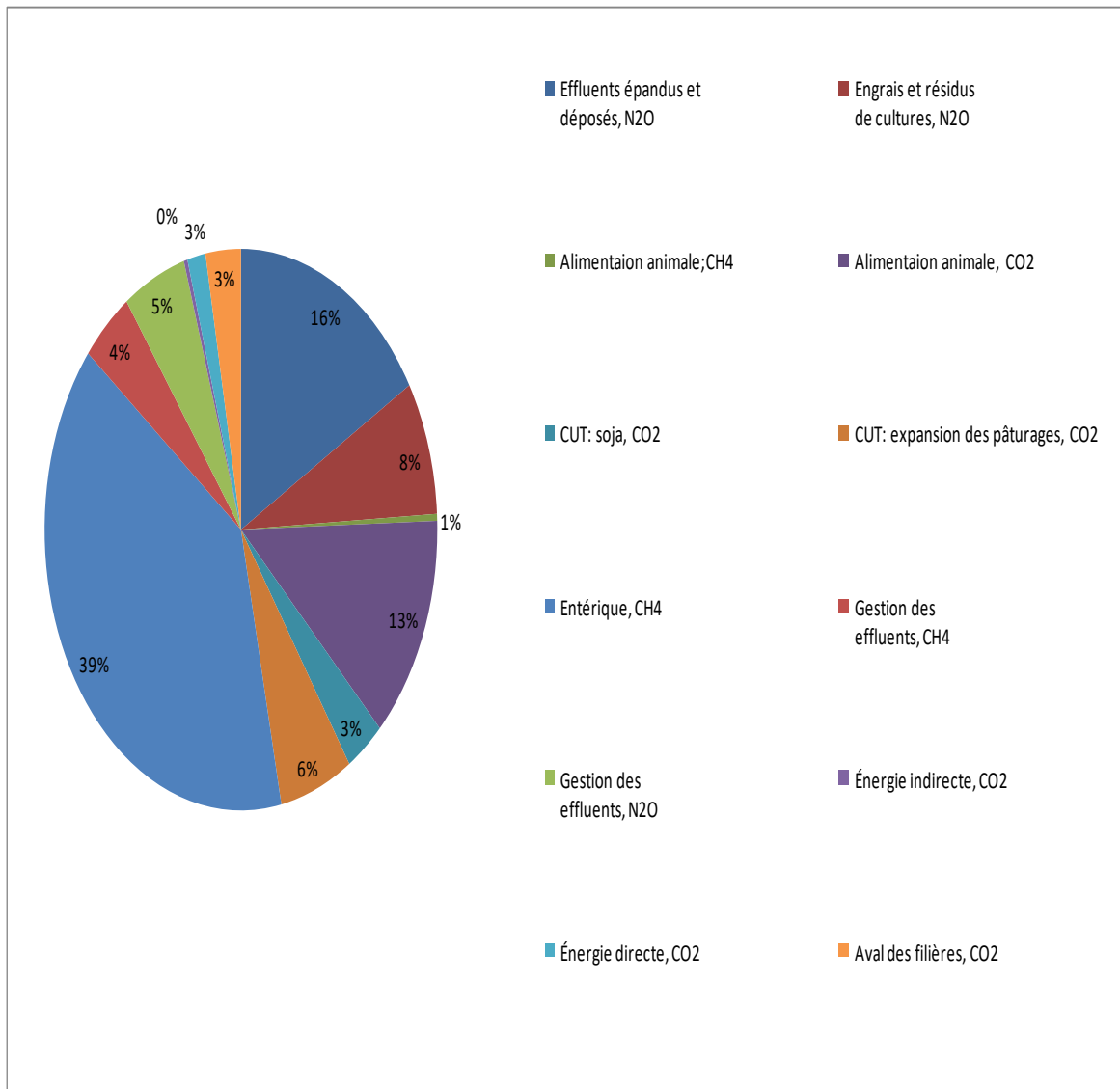


Figure 4 : Les émissions mondiales des filières de l'élevage par catégorie d'émissions. (dressée par nos soins à partir de [Roberts and Huq \(2015\)](#))

2. Émissions par espèce et produit

2.1. Les bovins (les plus gros contributeurs)

Les bovins sont le principal contributeur avec un total de 4,6 gigatonnes de CO₂e, soit 65 pour cent des émissions du secteur. Les bovins viande (produisant de la viande et d'autres produits non comestibles) et les bovins lait (produisant à la fois de la viande et du lait en plus des produits non comestibles) émettent des quantités équivalentes de GES. Les niveaux d'émissions de l'élevage des vaches, buffles et petits ruminants sont bien moins élevés et représentent entre 7 et 10% des émissions du secteur ([Golub et al., 2013](#)).

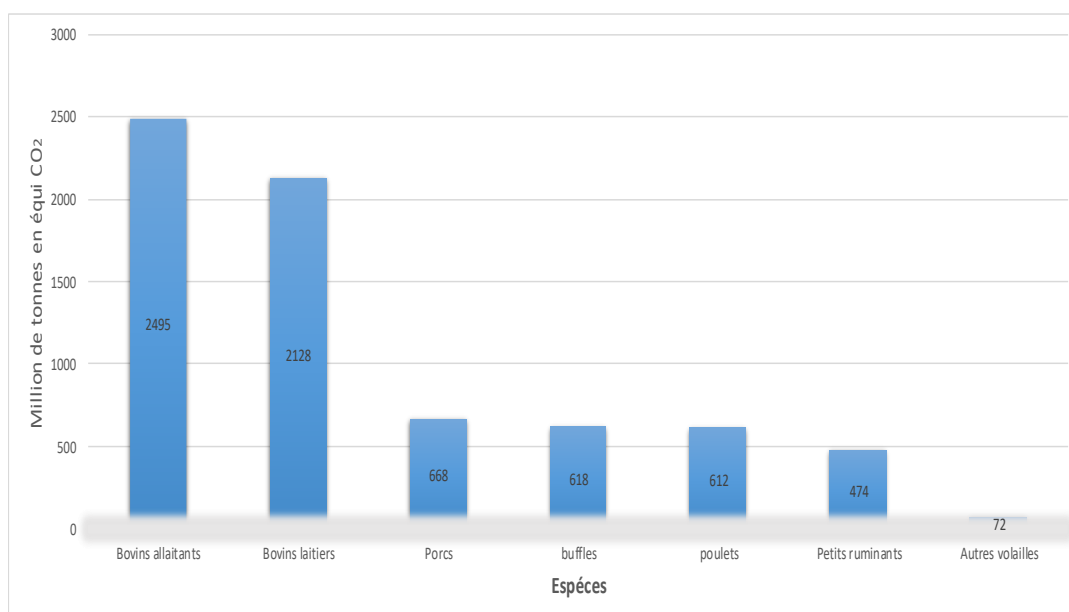


Figure 5 : Les émissions de GES par espèces au niveau mondial.
(dressée par nos soins à partir des données de [Golub et al. \(2013\)](#))

La production de viande bovine rejette 2,9 gigatonnes de CO₂e, soit 41% des émissions du secteur. La production de lait de vache émet 1,4 gigatonnes de CO₂e, soit 20% des émissions du secteur. Viennent ensuite la viande de porc qui émet 0,7 gigatonnes de CO₂e (9% des émissions du secteur), et le lait et la viande de buffle (8%), la viande de poulet et les œufs (8%) et la viande et lait des petits ruminants (6%). Le reste des émissions provient des autres espèces de volaille et de la production des produits non comestibles ([Harle et al., 2007](#)).

Les émissions dues à la production d'autres produits et services comme la traction ou les effluents utilisés comme combustible représentent 0,3 gigatonnes de CO₂e. Ces biens et services fournis par l'élevage sont particulièrement importants en Asie du Sud et en Afrique sub-saharienne où ils représentent presque 25 % des émissions. Les intensités

d'émission moyennes sont de 2,8 kg de CO₂e par kg de lait standardisé, c'est à-dire corrigé du contenu en matières grasses et protéines, et de 46,2 kg de CO₂e par kg de poids de carcasse pour le bœuf ([Furstenburg and Scholtz, 2009](#)).

Pour les bovins, la principale source des émissions est la fermentation entérique. Ces émissions s'élèvent à 1,1 gigatonnes, représentant 46 % et 43 % des émissions totales des filières lait et viande bovine (figure 6) ([Dourmad et al., 2008](#); [Garnett, 2009](#)).

Les émissions liées à la production d'aliments du bétail, y compris les pâturages, sont la deuxième plus grosse source d'émissions, représentant 36 % du total. Les émissions de N₂O sont les plus importantes et sont principalement dues à la fertilisation des cultures. Si on y ajoute l'expansion des pâturages, les émissions pour l'alimentation du bétail représentent plus de la moitié du total pour la production viande bovine allaitante ; les systèmes de production laitière n'entraînent généralement pas une expansion des pâturages ([Golub et al., 2013](#)).

Les émissions de CO₂ dues à la consommation d'énergie dans les filières aliments du bétail représentent environ 10 pour cent des émissions totales. Les émissions dues à la consommation d'énergie sur l'exploitation et lors de la transformation des produits sont négligeables dans le cas de la production de viande bovine et limitée (8 pour cent) dans le cas de la production laitière ([Dourmad et al., 2008](#)).

L'intensité d'émission des troupeaux allaitants est quatre fois plus élevée que celles des troupeaux laitiers (68 vs. 18 kg CO₂e par kg de poids de carcasse) (Tableau 6). Cette différence est principalement due au fait que les troupeaux laitiers produisent à la fois du lait et de la viande alors que les troupeaux allaitants ne produisent que de la viande. Par conséquent, les émissions des troupeaux laitiers sont attribuées à la production de viande et de lait alors que les émissions des troupeaux allaitants sont attribuées à la viande seulement (dans les deux cas, une petite partie des émissions est allouée aux autres biens et services produits comme la traction ou les effluents utilisés en combustibles) ([Dourmad et al., 2008](#)).

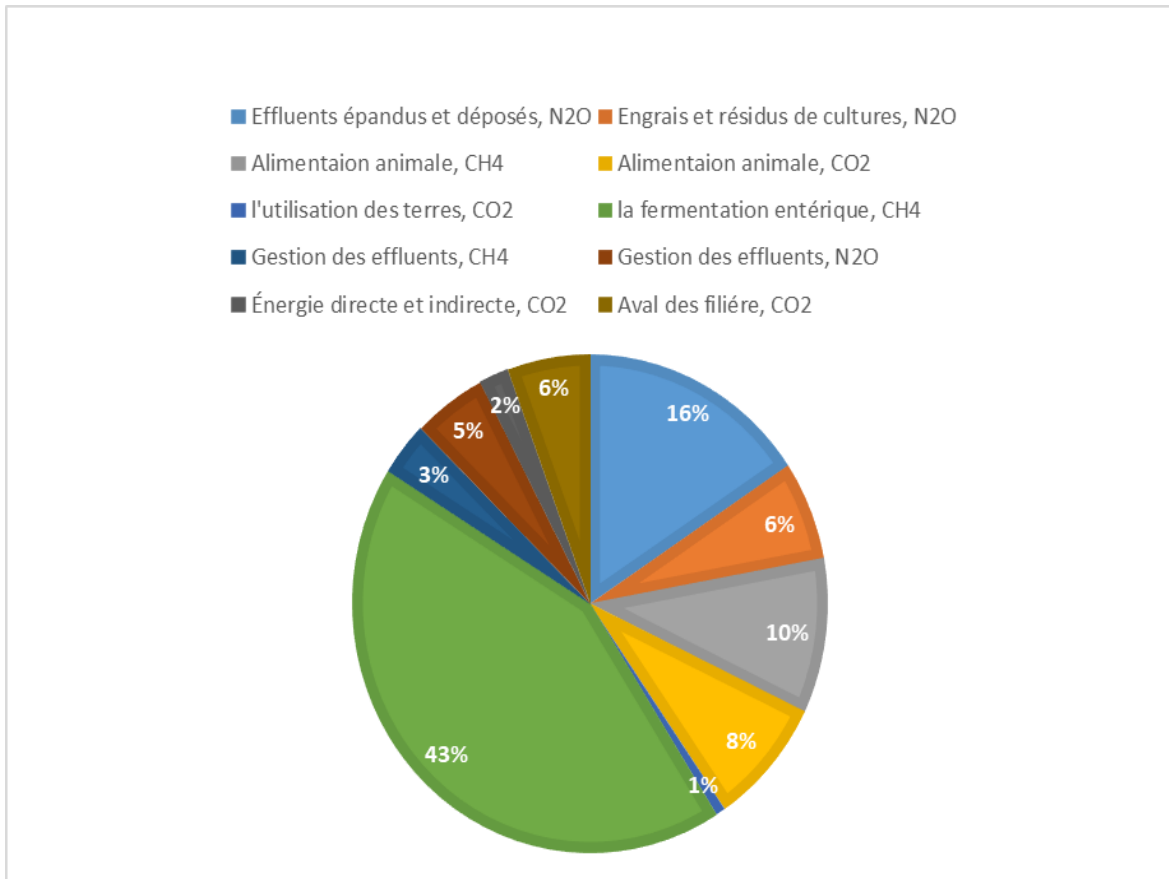


Figure 6 : Les émissions des filières lait, par catégorie d'émissions.
(dressée par nos soins à partir des données de [Garnett \(2009\)](#))

Tableau 6 : Les émissions, production, et intensités du lait de vache au niveau mondial.
(dressé par nos soins à partir des données de [Dourmad et al. \(2008\)](#))

Troupeau	Système	Production du lait (Million de tonnes CO ₂ e)		Emissions (Million de tonnes CO ₂ e)		Intensités d'émissions (Kg CO ₂ e /kg produit)	
		Lait ¹	Viande ²	Lait ¹	Viande ²	Lait ¹	Viande ²
Laitier	Herbager	77.6	4,8	227.2	104,3	2.9 ⁽³⁾	21,9 ⁽³⁾
	Mixte	430.9	22,0	1104.3	381,9	2.6 ⁽³⁾	17,4 ⁽³⁾
	Total	508.6	26,8	1331.1	486,2	2.6 ⁽³⁾	18,2 ⁽³⁾
Allaitant	Herbager		8,6		875,4		102,2 ⁽³⁾
	Mixte		26,0		1 462,8		56,2 ⁽³⁾
	Total		34,6		2 338,4		67,6 ⁽³⁾
Emissions (après la sortie de l'exploitation)⁴				87.6	12,4		
Totaux		508,6	61,4	1 419,1	2 836,8	2,8 ⁽⁵⁾	46,2 ⁽⁵⁾

¹ : Lait standardisé, corrigé du contenu en matières grasses et protéines.

² : Produit : poids de carcasse.

³ : N'inclut pas les émissions produites en aval, après la sortie de l'exploitation.

⁴ : Calculé pour chaque secteur à l'échelle nationale.

⁵ : Inclut les émissions de l'aval des filières.

En Europe, environ 80 % du vache est produit dans des troupeaux laitiers (veaux excédentaires et vaches de réforme) conduisant à des intensités d'émission plus basses ([Dourmad et al., 2008](#)).

Généralement, l'intensité d'émission de la production de lait de vache est plus basse dans les régions industrialisées (en dessous de 1,7 kg CO₂e/ kg de lait, comparé avec des moyennes régionales qui montent jusqu'à 9 kg CO₂ e/kg de lait). Une meilleure alimentation et nutrition animale réduisent les émissions de CH₄ et des effluents (moins de rejet d'azote et de matières volatiles). Des rendements plus importants signifient qu'une plus grande partie du métabolisme des vaches est consacrée à la production de lait et à la reproduction, plutôt qu'à l'entretien de l'organisme, contribuant ainsi à une réduction des intensités d'émission. Dans les régions où la productivité est basse, la fermentation entérique est la principale source des émissions. Dans les régions industrielles, production et transformation des aliments du bétail et gestion des effluents sont à eux deux équivalents à la fermentation entérique. Les émissions des effluents sont relativement élevées en Amérique du Nord où environ 27 % des effluents du secteur laitier sont stockés sous forme liquide, ce qui produit des quantités plus importantes de CH₄ ([Gray et al., 2009](#)).

2.2. Les buffles

L'ensemble des émissions de GES des filières de buffles (viande, lait et autres produits) représentent 9 % des émissions du secteur. Elles totalisent 618 millions de tonnes de CO₂e, dont 390 millions de tonnes viennent de la production de lait, 180 millions de tonnes de la production de viande et 48 millions de tonnes de la production des autres biens et services, comme par exemple, les effluents utilisés comme combustibles ou la traction (tableau 7) ([Henry et al., 2012](#)).

Plus de 60 % des émissions de la production de lait de buffle viennent de la fermentation entérique (figure 7) contre 45 % dans le cas des bovins. La fertilisation des cultures pour la production d'aliments du bétail est la deuxième source d'émissions, représentant 17 % du total pour le lait et 21 % pour la viande. Les émissions dues au changement d'utilisation des terres sont presque nulles en raison de l'absence de buffles dans les zones d'extension des pâturages et la présence limitée de soja dans leur ration alimentaire ([Henry et al., 2012](#)).

Tableau 7 : Les émissions, production, et intensités du lait de buffle au niveau mondial.
(dressé par nos soins à partir des données de [Henry et al. \(2012\)](#))

Systèmes	Production du lait (Million de tonnes)		Émissions (Million de tonnes CO ₂ e)		Intensités d'émission (kg CO ₂ e/kg produit)	
	Lait ¹	Viande ²	Lait ¹	Viande ²	Lait ¹	Viande ²
Herbager	2.7	0,1	9.0	4,7	3.4 ⁽³⁾	36,8 ⁽³⁾
Mixte	112.6	3,2	357.9	175,2	3.2 ⁽³⁾	54,8 ⁽³⁾
Émissions (après la sortie de l'exploitation)⁴			23.0	0,3		
Totaux	115.2	3,4	389.9	180,2	3.4 ⁽⁵⁾	53,4 ⁽⁵⁾

¹ Lait standardisé, corrigé du contenu en matières grasses et protéines.

² Produit : poids de carcasse.

³ N'inclut pas les émissions produites en aval.

⁴ Calculé pour chaque secteur à l'échelle nationale.

⁵ Inclut les émissions produites en aval des filières.

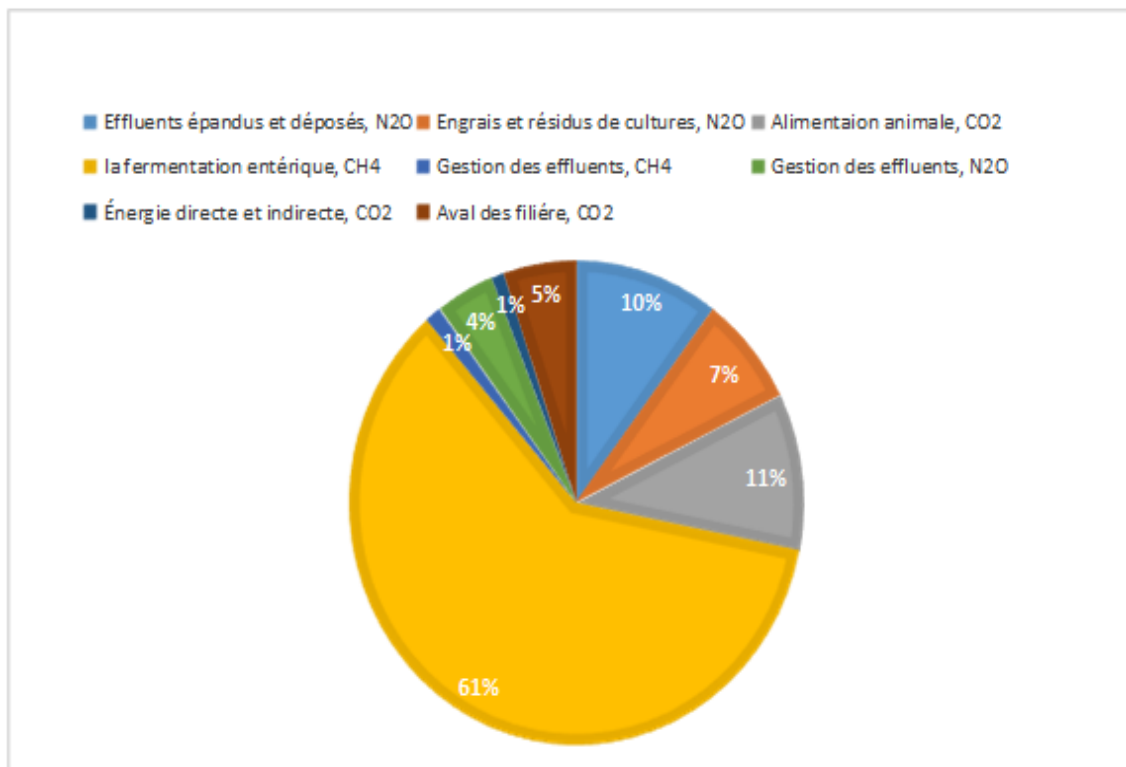


Figure 7 : Les émissions des filières lait de buffles, par catégorie d'émissions. (dressé par nos soins à partir des données de [Garnett \(2009\)](#))

2.3. Les petits ruminants (ovins et caprins)

Représentant environ 6,5 % des émissions totales du secteur, les émissions des petits ruminants s'élèvent à 475 millions de tonnes de CO₂e, dont 299 millions de tonnes pour la production de viande, 130 millions de tonnes pour la production de lait et 46 millions de tonnes pour les autres produits (tableau 8) ([Hoffmann, 2010](#)).

La production de lait de chèvre a une intensité d'émission plus basse comparée à celle du lait de brebis en raison de rendements plus élevés. L'intensité d'émission moyenne pour les petits ruminants est 23,8 kg CO₂e/kg poids de carcasse, sans différence majeure entre la viande ovine et la viande caprine ([Golub et al., 2013](#)).

Comme dans le cas de la production de buffles, plus de 55 % des émissions de la production de viande et de lait des petits ruminants sont dus à la fermentation entérique (figure 8) ([Garnett, 2009](#)).

Tableau 8 : Lait de petits ruminants : production, émissions et intensités d'émission au niveau mondial.
(dressé par nos soins à partir des données de [Hoffmann \(2010\)](#))

Espèces	Systèmes	Production du lait (Million de tonnes)		Émissions (Million de tonnes CO ₂ e)		Intensités d'émissions (kg CO ₂ e/kg produit)	
		Lait	Viande	Lait	Viande	Lait	Viande
Ovins	Herbager	3,1	2,8	29,1	67,3	9,8	23,8
	Mixte	5,0	4,9	37,1	115,0	7,5	23,2
	Total	8,0	7,8	67,1	182,4	8,4	23,4
Émissions (après la sortie de l'exploitation)				0,3	4,1		
Caprins	Herbager	2,9	1,1	17,7	27,2	6,1	24,2
	Mixte	9,0	3,7	44,3	84,5	4,9	23,1
	Total	11,9	4,8	62,0	111,7	5,2	23,3
Émissions (après la sortie de l'exploitation)				0,4	1,0		
Totaux		20,0	12,6	129,8		13,6	23,8

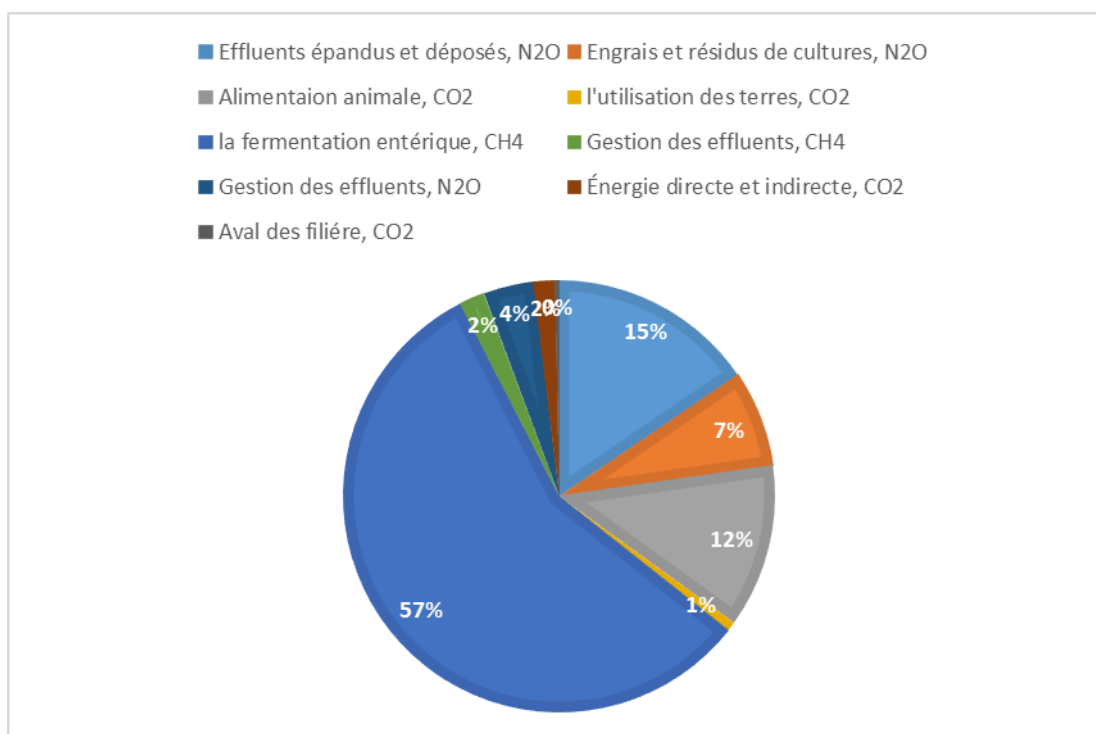


Figure 8 : Les émissions des filières lait de petits ruminants, par catégorie d'émissions.

(dressé par nos soins à partir des données de [Garnett \(2009\)](#))

3. Émissions par région

Les émissions et les profils de production varient beaucoup selon les régions (Figure 9). Ces différences s'expliquent par la part respective des ruminants et des monogastriques dans la production totale et par les différences des niveaux d'intensité d'émission de chaque produit entre les régions. La région d'Amérique latine et des Caraïbes a le plus haut niveau d'émissions (presque 1,3 gigatonnes de CO₂e) en raison de son importante production de viande bovine d'origine allaitante. Malgré un ralentissement ces dernières années, les changements d'utilisation des terres en cours, dus à l'expansion des cultures et des pâturages pour l'alimentation animale, contribuent au niveau élevé d'émissions de CO₂ dans la région. Avec la production la plus importante et des intensités d'émissions relativement élevées, l'Asie de l'Est a le deuxième plus haut niveau d'émissions (plus d'une gigatonne de CO₂e). L'Amérique du Nord et l'Europe de l'Ouest ont des niveaux d'émissions de GES similaires (plus de 0,6 gigatonnes de CO₂e) et un niveau équivalent de production en termes de protéine. Cependant les profils d'émissions sont différents. En Amérique du Nord, presque les deux tiers des émissions viennent de la production de bœuf qui a des intensités d'émission élevées ([Beauchemin et al., 2008](#)).

En revanche, la production de viande bovine en Europe de l'Ouest vient principalement des troupeaux laitiers qui ont des intensités d'émission beaucoup plus basses. En Amérique du Nord, les intensités d'émission pour le poulet, le porc et le lait sont plus basses qu'en Europe de l'Ouest du fait d'une intensité d'émission plus faible des aliments du bétail. Les émissions de l'élevage en Asie du Sud sont au même niveau que celles d'Amérique du Nord ou d'Europe de l'Ouest mais la production en termes de protéine est deux fois moindre. Les ruminants sont à l'origine d'une grande partie des émissions en raison de leur intensité d'émissions élevée. Les émissions en Afrique subsaharienne sont importantes pour la même raison (Casey et al., 2006).

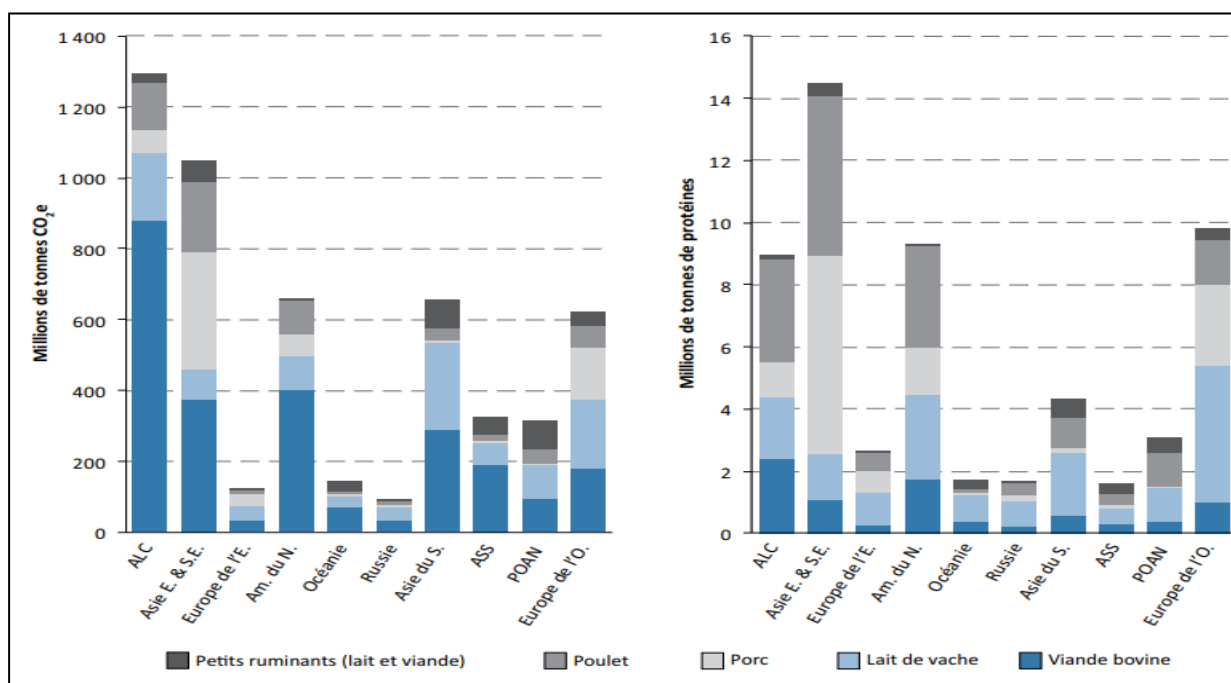
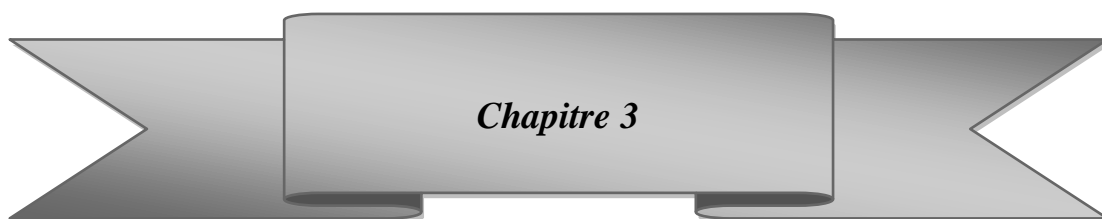


Figure 9 : Productions animales et les émissions de GES par produit et région.

[Casey et al. \(2006\)](#)



Chapitre 3

Chapitre 3. Les stratégies d'adaptation par les producteurs laitiers.

1. Les stratégies permettant de limiter les impacts du stress thermique

D'abord, plusieurs stratégies peuvent être mises en place sur les fermes laitières afin de limiter l'occurrence des stress thermique ou d'atténuer leurs impacts. Tel que proposé par [West \(2003\)](#), ces stratégies peuvent être divisées en trois catégories : environnementales, nutritionnelles et génétiques (Figure 10).

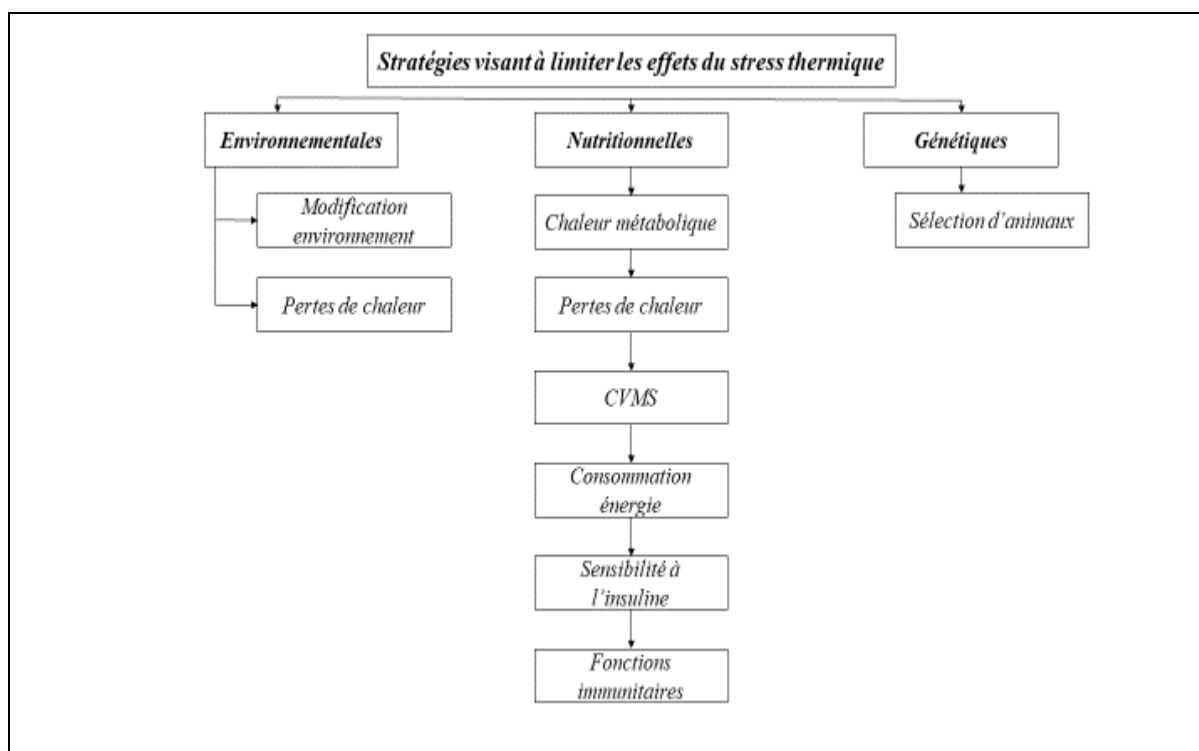


Figure 10 : Classification des stratégies visant à limiter les effets du stress thermique selon leur mode d'action.

(dressée par nos soins à partir des données de [West \(2003\)](#))

1.1. Les stratégies environnementales

Tout d'abord, les stratégies environnementales concernent toutes les modifications physiques effectuées au niveau de l'environnement de l'animal. Selon [Fournel et al. \(2017\)](#), cette classe de stratégies peut être divisée en deux groupes (Figure 10), les stratégies qui modifient l'environnement en refroidissant l'air autour des animaux pour prévenir ou limiter l'occurrence du stress thermique et les stratégies permettant d'optimiser le transfert de chaleur de l'animal vers l'environnement.

1.1.1. Les modifications permettant de prévenir les stress thermiques

La première action devant être mise en place afin de limiter l'occurrence du stress thermique chez les vaches laitières est la protection à l'exposition aux radiations solaires ([Fournel et al., 2017](#)). Au pâturage, ceci est possible grâce à la création de zones d'ombre naturelles ou artificielles. À cet égard, il a été observé qu'une zone d'ombre bien conceptualisée peut entraîner une diminution de 30 % de la charge thermique subie par les animaux, et les arbres peuvent être utilisés afin de fournir de l'ombre aux animaux ([Fournel et al., 2017](#)).

D'après [Valtorta et al. \(1997\)](#), ont démontré que la température de globe noir était significativement plus faible sous des arbres (29,0-30,2 °C) comparativement à ce qui a été mesuré à l'extérieur de la zone d'ombre (35,5 °C). De plus, la température rectale (39,3 vs 40,1 °C) ainsi que le taux de respiration (61 vs 79 respirations/minute) des vaches sous les arbres étaient significativement plus faibles que ceux des vaches hors de la zone d'ombre. Des zones d'ombre artificielles constituées d'une toile montée sur un cadre de métal ou de bois peuvent aussi être utilisées en remplacement des zones naturelles. Tel que revu par [Fournel et al. \(2017\)](#). Les zones d'ombre artificielles peuvent diminuer la température de globe noire de 2 à 11 °C ([Collier et al., 1981](#)).

Finalement les zones d'ombre peuvent également avoir un impact sur les performances zootechniques des vaches laitières. Ainsi, les vaches sous les zones d'ombre produisent en général 0,7 kg de lait de plus par jour que les vaches n'ayant pas accès à l'ombre ([Muller et al., 1994](#)). De plus, le taux de conception peut passer de 25,3 % à 44,4 % lorsque les vaches ont accès à l'ombre ([Roman-Ponce et al., 1977](#)).

Les aires de repos et d'alimentation des animaux logés à l'intérieur peuvent également être modifiées par l'ajout de brumisateurs qui consistent à un système de ventilateurs de recirculation couplé à des buses éjectant des gouttelettes d'eau dans l'environnement de l'animal. Les gouttelettes d'eau ainsi émises s'évaporent grâce au mouvement d'air créant une diminution de la température ambiante et une augmentation parallèle de l'humidité relative ([Renaudeau et al., 2012](#)). Les systèmes de brumisation se différencient par la pression à laquelle les gouttelettes d'eau sont éjectées dans l'environnement. Les systèmes à haute pression (>200 psi) génèrent des fines gouttelettes de 10 à 20 microns de diamètre alors que les systèmes à plus faible pression en génèrent de diamètre plus élevé (20 à 50 microns). Selon [Hinds \(1999\)](#), a étudié l'effet de différents diamètres de gouttelettes d'eau (20, 30 et 100 microns) et de différents taux d'humidité relative (50 ou 70 %) sur le temps requis pour l'évaporation. Les auteurs ont observé que

l'augmentation du diamètre et du taux d'humidité se traduisent par une augmentation du temps requis pour l'évaporation des gouttelettes. Plusieurs études se sont intéressées aux effets des brumisateurs sur les conditions environnementales des étables. Tel que revu par [Fournel et al. \(2017\)](#), les études démontrent que la température ambiante diminue de l'ordre de 2 à 9 °C alors que l'humidité relative peut s'élever de 8 à 50 unités de pourcentage dans les étables munies de brumisateurs. Ultimement, les brumisateurs ont le potentiel de réduire l'ITH de l'étable de 1 à 5 unités [Boonsanit et al. \(2012\)](#), de plus, les recherches indiquent des augmentations de la production laitière pouvant atteindre 1,7 kg/jour.

Une autre option permettant de refroidir l'air autour des vaches est l'utilisation de tampons humidifiés dans les entrées d'air des étables dotées de ventilation tunnel ou transversale. L'air en traversant le milieu saturé est refroidi avant d'être entraîné dans l'étable par les ventilateurs ([Smith et al., 2016](#)). Les étables dotées de ce type de système ont généralement une température ambiante moins élevée de 2,3 à 5,6 °C et une humidité relative plus élevée de 22 à 27 unités de pourcentage comparativement aux étables simplement dotées d'un système de ventilation ([Smith and Harner III, 2012](#)).

En fin de compte, il est possible d'observer des diminutions mineures de l'ITH (2 unités). En somme, tel que mentionné par [Collier et al. \(2006\)](#), afin que les brumisateurs et les systèmes de tampons humidifiés soient efficaces, l'effet de refroidissement au niveau de la température ambiante doit surpasser la perte de refroidissement induite par le gain d'humidité.

1.1.2. Les modifications permettant de maximiser les échanges de stress thermique entre l'animal et l'environnement

L'optimisation des échanges de chaleur entre la vache laitière et son environnement implique l'augmentation de la dissipation de chaleur par convection, conduction et évaporation. Ainsi, la vitesse de l'air au niveau des animaux est primordiale alors qu'elle affecte la convection, mais également l'évaporation. La vitesse de l'air dans une étable est principalement dépendante du système de ventilation. Le rôle de la ventilation est d'assurer un environnement sain dans les étables puisqu'elle permet de remplacer l'air chargée de chaleur, d'humidité, de HCO₃ et de bactéries par de l'air fraîche provenant de l'extérieur ([Fournel et al., 2017](#)).

Selon [Berman \(2006\)](#), recommande une vitesse minimale d'air de 1,0 à 1,5 m/s au niveau de la vache afin d'optimiser les pertes de chaleur dans l'environnement. Si cette vitesse n'est pas atteinte grâce au système de ventilation de l'étable, des ventilateurs de

recirculation peuvent être installés dans les aires d'attente, de repos et d'alimentation. Deux types de ventilateurs sont actuellement présents sur le marché soit les ventilateurs rapides à petit volume ou les ventilateurs (LGV).

Tel que revu par [Fournel et al. \(2017\)](#), les ventilateurs rapides à petit volume se caractérisent par une vitesse de 1,0 à 2,5 m/s, par un volume d'air déplacé de 235 à 470 L/s et par un diamètre variant généralement de 0,6 à 1,2 m. Tel que revu par [Atkins et al. \(2016\)](#), afin d'observer des résultats optimaux, les ventilateurs rapides à petit volume doivent être placés à une distance équivalente ou plus petite que dix fois leur diamètre, être placés à une minimum de huit pieds au-dessus du sol et être inclinés vers l'avant (angle de 25 à 35 °).

D'après [Smith and Harner III \(2012\)](#), ont remarqué que l'ajout d'une rangée simple de ventilateurs rapides à petit volume au-dessus des stalles de l'air de repos et de la ligne d'alimentation permet d'augmenter significativement la production laitière alors qu'une rangée double de ventilateurs rapides à petit volume n'entraînait pas de bénéfices supplémentaires. En général, l'addition de ventilateurs rapides à petit volume aux étables ouvertes sur les côtés permet de diminuer la température des vaches (-0,8 °C) et le taux de respiration (-11 respirations/minutes) ainsi que d'augmenter le taux de conception (+30 unité de pourcentage), la CVMS (+0,6 kg/j) et la production laitière (+1 kg/j) ([Fournel et al., 2017](#)).

Pour leur part, les LGV se caractérisent par un volume d'air déplacé de 50 000 à 200 000 L/s et par un diamètre variant généralement de 2,4 à 7,5 m. Selon [Bucklin et al. \(2009\)](#), ont observé des diminutions de l'ITH d'étables de la floride de l'ordre de 4,7 unités lorsque les LGV sont utilisés en combinaison avec des gicleurs. D'après [Worley and Bernard \(2006\)](#), ont comparé le mouvement d'air, la vitesse de l'air et la température vaginale de vaches en lactation exposées à un système de LGV couplés à des brumisateurs et à des RPV également couplés à des brumisateurs. Les auteurs ont conclu que la vitesse de l'air cible n'était pas atteint avec le système incluant les LGV. D'ailleurs [Meyer et al. \(2002\)](#), ont également observé des meilleures performances zootechniques avec les ventilateurs rapides à petit volume.

Dans la plupart des études s'intéressant à l'utilisation des ventilateurs de recirculation, les systèmes sont activés lorsque l'ITH de l'étable atteint 68 ([Fournel et al., 2017](#)). Pour leur part [Spiers et al. \(2018\)](#), ont mesuré la production laitière de vaches exposées à trois cédules de refroidissement (jour, nuit et continu) par des ventilateurs rapides à petit volume. Les auteurs ont observé que la production laitière de vaches

refroidies pendant la nuit (23 :00 à 7 :00 h) tendait à être plus élevée que celle de vaches seulement refroidies pendant la journée (11 :00 à 19 :00 h). Ceci s'explique par le fait que les pertes de chaleur par convection sont dépendantes du gradient de température entre la surface de la peau de l'animal et l'environnement. Pendant la nuit, ce gradient est maximal ce qui permet à l'animal de dissiper plus de chaleur.

L'ajout de gicleurs est une stratégie visant à augmenter les pertes de chaleur par évaporation de l'animal. Les gicleurs sont tout simplement des buses à faibles pression (20 – 40 psi) qui produisent des larges gouttelettes d'eau qui mouillent directement l'animal. L'animal est ainsi refroidi car la température de l'eau est plus faible que la température de la surface de sa peau et l'eau crée un effet de refroidissement en s'évaporant ([Atkins et al., 2016](#)). Tout comme les brumisateurs, le système est souvent couplé aux ventilateurs de recirculation puisque l'augmentation de la vitesse de l'air augmente le taux d'évaporation de l'eau ([Hinds, 1999](#)).

En général, l'utilisation des gicleurs entraîne une diminution de la température ambiante (-0,2 à -4,9 °C) et une augmentation de l'humidité relative de 0,6 à 24,4 unités de pourcentage résultant ainsi à une diminution de l'ITH de 0,2 à 5,9 unités ([Fournel et al., 2017](#)). À la différence des brumisateurs, l'utilisation des gicleurs est restreinte à l'aire d'alimentation alors que son utilisation dans l'aire de repos peut augmenter la charge bactérienne de la litière, ce qui peut augmenter le risque de mammites ([Chen et al., 2015](#)). L'utilisation des gicleurs varie en fonction de la durée du mouillage et du débit d'eau (L/min). En Californie [Chen et al. \(2015\)](#), ont déterminé qu'un mouillage de trois minutes à un débit de 1,3 L/min suivi de douze minutes de pause permet de réduire significativement la température corporelle, le taux de respiration et d'augmenter la production laitière comparativement à ce qui a été mesuré sur des vaches exposées à un débit de 0,4 L/min et à un traitement sans gicleur. Toutefois, les auteurs mentionnent qu'aucun bénéfice supplémentaire n'était observé sous des débits supérieurs à 4,5 L/min. L'emploi de gicleurs affecte également le comportement des vaches alors que les animaux passent 16 % plus de temps à s'alimenter mais visite moins fréquemment la ligne d'alimentation (-3 à -16 %).

Pour leur part [Tresoldi et al. \(2018\)](#), ont déterminé qu'une augmentation du temps de mouillage (3,0 vs 1,5 minutes) et une diminution du temps de pause (6,0 vs 3,0 minutes) avant le prochain mouillage permet de réduire la température corporelle des animaux de 0,1 °C de plus et de réduire davantage le taux de respiration de 7 respirations par minute.

Toutefois, les auteurs n'ont pas mesuré si cela se traduisait en de meilleures performances zootechniques.

Dans un autre ordre d'idées, le choix de litière est également important pour promouvoir les pertes de chaleur de la vache par conduction. Jusqu'à maintenant peu d'études se sont intéressées à la litière comme stratégie de mitigation des stress thermique. [Cummins \(1998\)](#), rapporte des températures plus faible à 25 mm de la surface pour la chaux (25,9 °C) et le sable (26,9 °C) comparativement à la sciure de bois (28,6 °C). Plus récemment [Radoń et al. \(2014\)](#), ont pour leur part démontré que le sable permet un plus grand flux de transfert de chaleur comparativement aux litières moins denses comme la paille.

Selon [Ortiz et al. \(2015\)](#), ont démontré que le sable restait plus frais que le fumier recyclé lorsque ces deux litières sont utilisées pour recouvrir un système d'échange de chaleur, et ce dans trois types de climats. Ceci s'est traduit, dans le climat chaud et humide, par une température rectale plus faible chez les animaux ayant accès à la litière de sable et par une augmentation concomitante de la production laitière. Toutefois, aucune différence n'a été observée au niveau du taux de respiration et de la CVMS.

Finalement [Perano et al. \(2015\)](#), ont testé l'utilisation de matelas d'eau refroidie en recirculation (4,5 et 10 °C) comme moyen de promouvoir les pertes de chaleur par conduction. Les auteurs rapportent que ce type de matelas permet des diminutions significatives de la température rectale (-1,0 °C), du taux de respiration (-18 respirations/minutes) et une augmentation de la production laitière de 5 %. Lorsque les deux températures d'eau ont été comparées, les auteurs rapportent que la température rectale était significativement plus faible lorsque l'eau était à 4,5 °C alors que les autres paramètres mesurés étaient similaires.

1.2. Les stratégies nutritionnelles

Pour leur part, les stratégies nutritionnelles comprennent toutes les modifications de l'alimentation permettant de maximiser les performances de l'animal pendant les épisodes de stress thermique. Dans le cadre de la présente revue ces stratégies sont regroupées selon leur mode d'action (Figure 10).

1.2.1. La diminution de la chaleur métabolique

Le métabolisme de l'acétate produit plus de chaleur que le métabolisme du propionate, ainsi, il est logique de croire qu'une diminution du contenu en fibres des rations puisse entraîner une diminution de la production de chaleur métabolique ([West et](#)

[al., 1999](#)). À ce sujet [West \(2003\)](#), rapportent que des vaches en lactation consommant une ration au contenu plus faible en fibres solubles dans un détergent neutre sur une base de matière sèche (30 %) produisent plus de lait, et ont une température rectale et un taux de respiration plus faibles que des vaches consommant une ration à 42 %.

1.2.2. Les stratégies visant à augmenter les pertes de stress thermique

L'ajout de niacine encapsulée aux rations des bovins laitiers dans des conditions de stress thermique à plusieurs reprises, car cette vitamine stimule l'expansion des vaisseaux sanguins de la peau, favorisant ainsi la dissipation de la chaleur dans l'environnement. En outre, la niacine est connue pour stimuler l'expression des gènes de la protéine de stress thermique ([Zimbelman et al., 2013](#)). Selon [Zimbelman et al. \(2010\)](#), dans une étude avec un nombre restreint d'animaux (n=12), ont démontré que l'ajout de 12 g/vache/j de niacine encapsulée permet de réduire la température rectale et d'augmenter le taux de transpiration des animaux par rapport à ce qui était observé chez des animaux non supplémentés.

Toutefois, la production laitière était inchangée. Plus récemment [Zimbelman et al. \(2013\)](#), ont recommencé leur expérience avec un nombre plus important d'animaux supplémentés (n=214). L'étude a été menée dans deux enclos différents pendant deux périodes de 30 jours. Aux termes de la première période, les traitements (supplémentation vs non supplémentation) étaient inversés dans les enclos. Les résultats ont démontré que l'ajout de 12 g/vache/j de niacine encapsulée n'affectait pas la CVMS des vaches et que l'effet sur la production laitière était variable. En somme, les vaches consommant la niacine avaient une production laitière significativement plus élevée que les vaches qui n'en consommaient pas (40,72 vs 38,88 kg/j) pendant la première période de l'expérience alors que le contraire a été observé pendant la deuxième période. Ainsi, il semble que l'effet de la niacine sur la production laitière varie en fonction de l'intensité du stress de chaleur.

1.2.3. Les stratégies visant à augmenter la CVMS

La supplémentation des rations avec des levures comporte plusieurs bénéfices dont une augmentation de la digestibilité des nutriments, une altération de la proportion d'acides gras produits dans le rumen, une diminution de HCO₃ ruminale et une augmentation de la population microbienne ([Moallem et al., 2010](#)). Afin d'optimiser la CVMS pendant un stress thermique [Moallem et al. \(2010\)](#), ont testé l'ajout de 1g de levure/4 kg de matière sèche dans la ration de vache en lactation. Ils ont rapporté que l'amélioration de

l'environnement ruminal entraîné par l'ajout de levures pendant la saison chaude permet d'augmenter significativement la CVMS (+ 0,6 kg/j) et d'ultimement entraîner une augmentation significative de la production de lait corrigé pour le gras à 4 % (+ 2,0 kg/j), ainsi que la production de gras (+ 89 g/j). Pour leur part [Shwartz et al. \(2009\)](#), n'ont pu observer les effets bénéfiques associés à la supplémentation de 10 g/j alors que les vaches supplémentées avaient une CVMS et une production laitière similaire à celle de vaches non supplémentées.

1.2.4. Les stratégies visant à augmenter la consommation d'énergie

L'augmentation de la densité énergétique de la ration alimentaire en période vise à pallier la diminution de la CVMS et l'augmentation concomitante des besoins énergétiques en conditions de stress thermique. L'ajout de gras dans la ration, tout comme l'ajout d'amidon, sont des pratiques permettant d'augmenter la densité énergétique de la ration. Toutefois, en conditions de stress thermique, l'ajout de gras possède l'avantage de limiter la production de chaleur métabolique comparativement aux autres moyens d'augmenter la densité énergétique ([Knapp and Grummer, 1991](#)). Des résultats mitigés ont toutefois été obtenus avec l'ajout de gras dans la ration de vaches en stress de chaleur (Tableau 9).

Tableau 9 : Effets d'une supplémentation en gras pendant un stress thermique sur les paramètres de production mesurés chez la vache laitière.

(dressée par nos soins à partir des données de [Conte et al. \(2018\)](#))

Références	Type de lipide	TR ¹	RR ²	CVMS ³	EA ⁴	Lait ⁵	Prot ⁶	Gras ⁷	NEFA ⁸
Moallem et al. (2010)	CS ⁹	↙	↙	↘	↙	=	=	↙	↙
Wang et al. (2010)	SFA ¹⁰	↘	=	=	↙	↙	↙	↙	↘
Warntjes et al. (2008)	SFA	N.D.	N.D.	=	=	↗	↗	↘	N.D.
Drackley et al. (2003)	LCFA ¹¹	=	=	=	↗	↗	↘	=	↘
Maianti et al. (2001)	CS	=	=	=	↗	↗	↘	=	N.D.
Chan et al. (1997)	SFA	=	=	=	=	=	=	=	N.D.
Knapp and Grummer (1991)	LCFA	=	=	=	=	=	=	=	N.D.

¹TR : Température rectale ; ²RR : Taux de respiration ; ³CVMS : Consommation volontaire de matière sèche ; ⁴EA : Efficacité alimentaire ;

⁵lait : production laitière ; ⁶Prot : protéines du lait (kg) ; ⁷gras : gras du lait (kg) ; ⁸NEFA : acide gras non estérifié ; ⁹CS : sels de calcium ;

¹⁰SFA : acide gras saturé ; ¹¹LCFA : acide gras à longue chaîne ; ND : Non-disponible.

Comme il a été mentionné par [Conte et al. \(2018\)](#), la différence entre les études est probablement associée à l'effet du gras sur la fermentation ruminale puisqu'une supplémentation supérieure à 6 % de la matière sèche 56 est toxique pour la flore microbienne du rumen. Ainsi, l'ajout de gras dans la ration doit être effectué avec précaution.

1.2.5. Les stratégies visant à augmenter les fonctions immunitaires

Le stress thermique compromet les fonctions immunitaires de la vache laitière ([Tao et al., 2012](#)). À cet égard, plusieurs chercheurs se sont intéressés aux effets de l'ajout d'immuno-régulateurs dans la ration. Ces additifs sont reconnus pour supporter le système immunitaire des ruminants ([West, 2003](#)). [Brandão et al. \(2016\)](#), ont observé que des vaches recevant 56 g/vache/jour d'immuno-régulateurs pendant les 35 jours précédant le vêlage produisent significativement plus de lait (30,3 vs 27,3 kg/j) et démontrent un plus grand pourcentage de granulocytes dans les cellules endométriales (12,3 vs 3,9 %) que les vaches non supplémentées. Considérant leurs fonctions combinées d'antioxydants [Wang et al. \(2010\)](#), l'effet de l'ajout de sélénium à la ration de vaches en stress de chaleur semble prometteuse. Jusqu'à maintenant, [Atkins et al. \(2016\)](#) ont démontré que l'ajout de 200 UI de vitamine E et 1 ppm de sélénium à la ration de truies permet de conserver l'intégrité de la barrière intestinale. Cet effet reste à être démontré chez la vache laitière.

1.3. Les stratégies génétiques

Chez les bovins, la démarche commune afin d'améliorer la tolérance à la chaleur des animaux consiste à croiser une race très performante avec une race adaptée aux conditions locales ([Gray et al., 2009](#)). Chez la vache laitière, une telle approche n'est pas souhaitable puisque les animaux issus de tels croisements sont moins performants que les pures races ([Muller et al., 1994](#)). Ainsi la plupart des efforts 57 déployés afin de limiter les effets du stress thermique ont été investis dans les stratégies environnementales et nutritionnelles.

Par exemple, au Canada, la sélection génétique des vaches laitières se fait actuellement sur une base de performance de production et de longévité. Plusieurs chercheurs ont proposé l'inclusion de la thermo tolérance dans la sélection génétique d'animaux comme moyen de minimiser l'impact des stress thermique dans les troupeaux laitiers. Un animal est considéré thermo tolérant lorsqu'il est en mesure de maintenir son homéothermie et ses performances dans une large gamme de conditions environnementales ([Radoń et al., 2014](#)). Jusqu'à maintenant, la sélection d'animaux thermo tolérants est soit

basée sur les performances de production mesurées pendant un stress thermique ou sur les connaissances émergentes de la génomique.

1.3.1. La variabilité et l'évaluation génétique

Comme il a été décrit par [Sonder et al. \(2003\)](#), la plupart des études s'intéresse à la valeur génétique de la tolérance à la chaleur ont visé à modéliser la portion génétique associée aux performances des animaux en conditions de stress thermique. Cette démarche implique l'utilisation d'un modèle de ligne brisée qui vise dans un premier temps à déterminer le seuil d'ITH auquel il est possible d'observer une diminution des performances et de mesurer, par la suite, le taux de diminution des performances à partir de ce seuil ([Weiske et al., 2006](#)). D'ailleurs [Worley and Bernard \(2006\)](#), ont observé une forte corrélation génétique entre le seuil d'ITH et la pente de la diminution associée au seuil (-0,95), ce qui indique que la sélection d'animaux avec une pente plus faible entraînerait parallèlement la sélection d'animaux avec une plus grande tolérance à la chaleur. En plus des performances de production, la détermination de d'autres mesures de thermo tolérance a également été étudiée. À ce sujet, la température rectale et le taux de respirations ont principalement été étudiés ([Conte et al., 2018](#)). Ainsi, un génotype favorisant une température rectale et un taux de respirations plus faible permet d'améliorer les performances en conditions de stress thermique ([Williams et al., 2006](#)).

Finalemment [Garner et al. \(2016\)](#), ont rapporté qu'en condition de stress de chaleur les animaux considérés thermo-tolérants ont une température de la surface de la peau plus élevée ($P = 0,02$) et une température rectale plus faible ($P < 0,05$). Ainsi, tout indique que ces animaux transfèrent plus de chaleur vers l'environnement. De plus, en condition de stress de 58 chaleur, la production laitière des animaux thermo-tolérants diminuait significativement moins (12,5 vs 17,4 % de diminution) que celle des animaux non thermo-tolérants.

2. Les pratiques des stratégies d'adaptation des éleveurs face aux risques climatiques

Dans le secteur de l'élevage, la plupart des petits éleveurs laitiers préfèrent vendre des animaux malades / affaiblis parce que cela cause des problèmes aux animaux d'élevage, et la clé est l'adaptation ([Bruinsma, 2003](#)).

La plupart des éleveurs s'adaptent aux fortes migrations dues aux graves conditions de changement climatique (températures élevées, sécheresse, graves inondations, stress thermique des animaux d'élevage), environ 57 % des éleveurs travaillent dans des activités

génératrices de revenus non agricoles pendant la survie de la famille et sauvent leurs exploitations des effets négatifs des risques climatiques ([Cardoso et al., 2020](#)).

Ensuite, environ 64 % des producteurs laitiers ont modifié leur schéma de culture pour produire du fourrage en raison des températures élevées et pour fournir un fourrage adapté en cas de sécheresse ([Dickie et al., 2014](#)).

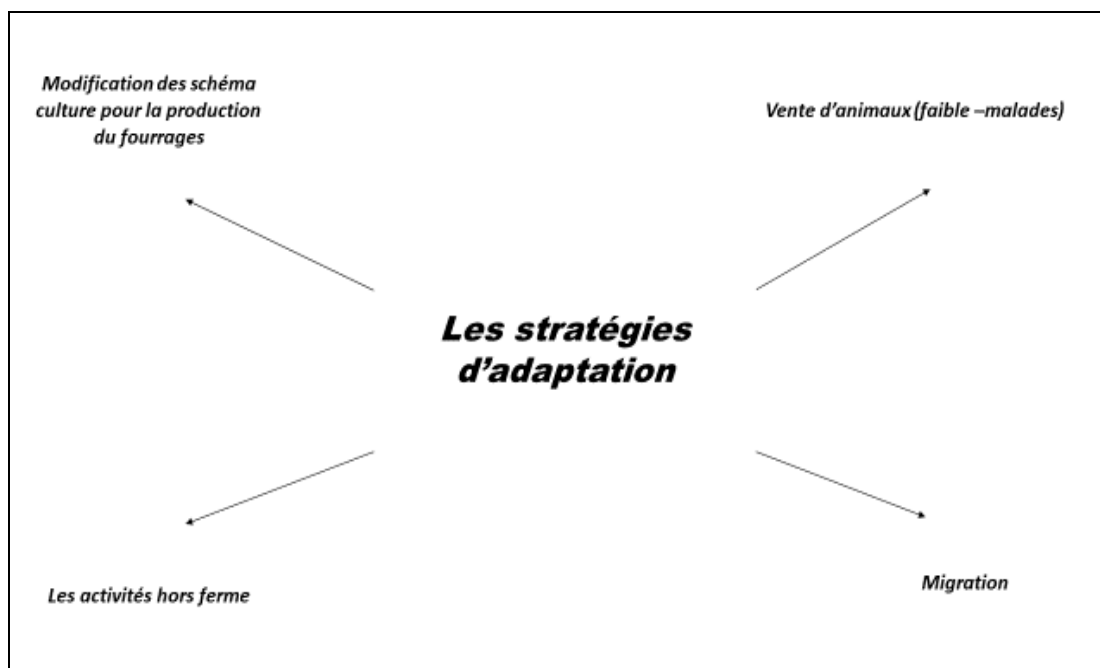


Figure 11 : Les pratiques des stratégies d'adaptation adoptée par les producteurs laitiers.
(dresser par nos soins à partir des données de [Change \(2014\)](#))

Les éleveurs d'élevages utilisent certaines stratégies d'adaptation pour éviter les dangers du changement climatique.

2.1. Les déterminants de l'adaptation

D'abord, les stratégies d'adaptations adoptées par les éleveurs d'élevage dépendent principalement de leur perception et de leur connaissance du changement climatique. Les éleveurs des zones reculées sont plus vulnérables aux aléas climatiques et répondent à ces menaces en fonction de leurs capacités ([Gray et al., 2009](#)). Les éleveurs qui ne parviennent pas à reconnaître et à accepter les risques climatiques à temps sont par conséquent plus vulnérables que leurs pairs ([Henry et al., 2012](#)).

D'après [Lacetera \(2019\)](#), après avoir évalué les connaissances et les perceptions des éleveurs concernant les risques climatiques, cette partie discutera de la manière dont les perceptions et les attitudes des éleveurs à l'égard des risques et certains des facteurs

sociaux, démographiques, et institutionnels influencent diverses mesures visant à minimiser les impacts du maximalisme climatique.

2.1.1. Les déterminants de la stratégie d'adaptation de vente d'animaux faibles/malades

D'abord, plus de 80 % des éleveurs ont adopté la stratégie de « vendre des animaux faibles/malades » pour lutter contre les effets négatifs des risques climatiques sur les élevages laitiers ([Hidoso and Guyo, 2017](#)). La plupart d'entre eux ont reconnu qu'une augmentation continue de la température crée un stress thermique pour les animaux, affecte la santé des animaux, et en particulier réduit la lactation et augmente la mortalité. Une diminution de la lactation et une augmentation de la mortalité sont rapportés par ([Escarcha et al., 2018](#); [Hidoso and Guyo, 2017](#)).

Ainsi, la sécheresse est l'un des indicateurs les plus exposés des risques du changement climatique qui a paralysé le système d'élevage car les éleveurs ne pouvaient pas fournir de nourriture et d'eau appropriées aux animaux laitiers pendant cette période, les animaux sont devenus faibles et infectés par certaines maladies ([Lacetera, 2019](#)).

En réponse à ce problème, la plupart des éleveurs laitiers essaient de réduire la taille de leur ferme en vendant des animaux faibles /malades et en évitant la plus grande perte sous forme de mortalité animale ([Sonder et al., 2003](#)).

Ensuite, pendant les attaques de ravageurs et de maladies, les éleveurs étaient 27 % plus susceptibles de vendre leurs animaux faibles/malades, ce qui indique que les attaques de ravageurs et de maladies font partie des risques climatiques les plus graves ([Steinfeld et al., 2006](#)). La majorité des petits éleveurs ont adopté cette mesure parce qu'ils ne disposent pas de ressources suffisantes pour faire face aux risques climatiques et parce qu'ils ont vacciné leurs animaux, ce qui a augmenté leur coût de production et menacé leurs moyens de subsistance ([Stocker et al., 2014](#)).

En revanche, l'éducation a des effets positifs sur la décision des producteurs laitiers de s'adapter, des éleveurs plus éduqués ont adopté des mesures plus adaptatives pour réduire les effets fragiles des risques climatiques. Ils peuvent visualiser adéquatement les risques climatiques, et ont essayé d'adapter certaines stratégies pour éviter des pertes catastrophiques. Une éducation supérieure augmente la probabilité d'adopter la vente d'animaux affaiblis/malades d'environ 8,5 % à un seuil de signification de 1 % ([Dickie et al., 2014](#)).

L'expérience agricole est un déterminant majeur de cette influence sur les décisions de stratégie d'adaptation. Les éleveurs ont adopté davantage de modifications à la ferme

des stratégies telles que la vente d'animaux faibles/malades. Ils sont bien conscients qu'au niveau de la ferme, les activités peuvent être jugées par les conditions de santé et de croissance ([Sonder et al., 2003](#)).

Selon [Dickie et al. \(2014\)](#), le nombre d'animaux laitiers dans une ferme a un impact positif sur les décisions d'adaptation des éleveurs laitiers. Si les éleveurs ont plus de cinq animaux en moyenne par ferme, ils adopteront des stratégies d'adaptation pour réduire les effets néfastes du changement climatique sur leur production et leurs revenus agricoles. Ainsi, avec un grand nombre d'animaux laitiers, la probabilité d'adopter des éleveurs pour vendre des animaux faibles/malades a augmenté de 7 %. Ces résultats d'ajustement sont conformes aux stratégies qui ont déterminé que plus de producteurs laitiers ont adopté plus de stratégie.

L'accès aux stratégies d'adaptation fournit des informations utiles et pratiques pertinentes pour l'agriculture, en particulier l'utilisation de techniques agricoles avancées et de compétences d'apprentissage afin que les éleveurs puissent améliorer leur production agricole et leurs revenus ([Steinfeld et al., 2006](#)).

De même, l'accès aux soins vétérinaires a eu un effet positif et significatif sur la décision adaptative de vendre des animaux faibles/malades, car ils ont averti les éleveurs de leurs animaux, que les animaux malades soient guérissables ou non. La plupart des petits éleveurs n'ont pas suffisamment de ressources pour prendre des stratégies d'adaptation contre les risques climatiques, de sorte que la disponibilité du crédit est considérée comme une aubaine pour eux dans les moments difficiles ([Wolfenson and Roth, 2019](#)).

En compte fait, l'accès de risque du changement climatique, la stratégie potentielle d'adaptation pour la vente d'animaux faibles/malades a considérablement augmenté face au changement climatique.

2.1.2. Les déterminants de la stratégie migratoire

La deuxième stratégie la plus adoptée est la migration, qui est affectée par divers facteurs tels que la perception des risques liés au changement climatique, l'attitude de prise de risque des éleveurs et les caractéristiques des exploitations et des éleveurs ([Younger et al., 2008](#)).

Cependant, l'immigration ne signifie pas que tous les membres des éleveurs vont dans un autre endroit, mais plutôt qu'un ou quelques les membres des éleveurs emmènent leurs animaux dans un meilleur endroit. Par exemple, lors de graves inondations, les éleveurs ont dû se déplacer vers une zone sûre où ils pouvaient nourrir leurs animaux et

gagner leur vie, la probabilité de migration a augmenté de 64 %. Et pendant les périodes de sécheresse sévère, les chances des producteurs laitiers de migrer ont augmenté de 34 % ([Dickie et al., 2014](#)).

Les éleveurs laitiers nourrissent les animaux laitiers avec du fourrage et d'autres aliments pour animaux dans les fermes. Ceux qui migrent ailleurs trouvent des pâturages le long des routes et des canaux pour nourrir leurs animaux. Ils trouvent également des possibilités de pâturage là où les cultures sont récoltées, et les propriétaires fonciers permettent aux familles de migrants d'utiliser les champs récoltés pour le pâturage, généralement gratuitement ([Gale et al., 2010](#)).

D'après [Rosegrant et al. \(2009\)](#), il existe certaines maladies virales qui ont également forcé les éleveurs laitiers à migrer d'où la maladie se propager et à se déplacer vers un endroit plus sûr pour la survie et la vie animale. Ils séparent les animaux malades des animaux sains et les emmènent ailleurs pour minimiser les pertes sous la forme d'autres animaux infectés.

Ainsi, lors d'attaques de ravageurs et de maladies, la probabilité que les éleveurs migrent vers des zones sûres a augmenté de 31,6 %. L'attitude de prise de risque des éleveurs influence la décision d'adaptation. Environ 47% des petits exploitants ont une attitude averse au risque et il a été observé qu'ils sont réticents à migrer vers des zones très reculées lors de conditions météorologiques extrêmes en raison de la rareté des ressources ([Jarvis et al., 2008](#)).

Par conséquent, l'aversion au risque est la nature de l'influence des éleveurs sur leur décision d'adopter une mesure d'ajustement négative de 65 %. Le nombre d'éleveurs dans une zone indique une relation positive avec les stratégies d'adaptation telles que la migration et les activités génératrices de revenus non agricoles ([Younger et al., 2008](#)).

Les familles nombreuses peuvent facilement gérer leurs fermes, de sorte qu'en période de conditions météorologiques extrêmes, elles empêchent certains membres de la famille de migrer avec les animaux pour obtenir une meilleure nourriture et de l'eau, et les encouragent également à retourner en ville comme sources de revenus et de soutien supplémentaires ([Weiske et al., 2006](#)).

D'après, ils ont constaté que les familles nombreuses sont plus disposées à adapter de telles mesures que leurs homologues en raison du travail supplémentaire, de même, le nombre des animaux laitiers et d'animaux à la ferme a également influencé les décisions d'adaptation. Si les éleveurs ont plus d'animaux laitiers dans leurs fermes, ils migreront vers ces zones où la nourriture et l'eau sont facilement disponibles alors qu'avec moins de

troupeaux, ils peuvent ne pas vouloir migrer et essayer d'en supporter les conséquences dans leur ville natale à cause de la migration, ils doivent encourir des coûts élevés et manquent de ressources à cet égard. L'accès aux informations météorologiques quotidiennes a un impact positif sur les décisions d'adaptation au changement climatique ([Thornton et al., 2007](#)).

Selon [Rosegrant et al. \(2009\)](#), la probabilité de migration peut être augmentée de 81 % à un seuil de signification de 5 %. En raison des informations prévues sur les inondations, les sécheresses et les fortes pluies, indiquent que les éleveurs qui ont accès aux informations liées au climat ont adopté des mesures d'adaptation en temps opportun pour faire face aux impacts négatifs et se préparer à l'avance à la migration.

2.1.3. Les déterminants de la stratégie de revenu hors ferme

Le revenu non agricole est l'une des principales mesures d'adaptation que les producteurs laitiers adoptent pour gérer les pertes dues aux risques climatiques. La plupart des petits éleveurs avec de grandes familles exercent des activités non agricoles dans les zones urbaines pour nourrir leurs familles et leurs fermes en cas de grave crise climatique ([Hansen and Areéchiga, 1999](#)).

Selon [Abbas et al. \(2019\)](#), la probabilité de gagner un revenu hors ferme est positivement affectée de 34 % en période d'inondation. La sécheresse est le risque climatique le plus grave pour les éleveurs laitiers qui a affecté la production laitière et leurs revenus. Les attaques de ravageurs et de maladies causent de graves dommages aux cultures et au fourrage et affectent la santé des animaux laitiers.

Les familles des éleveurs supportent beaucoup de pertes et leurs coûts de production ont augmenté de façon spectaculaire. Dans de tels cas, les éleveurs ont essayé de gagner leur vie par d'autres moyens afin de pouvoir nourrir leur famille et les animaux de la ferme. La probabilité d'adopter des activités génératrices de revenus hors ferme a augmenté en percevant une gravité plus élevée des ravageurs et des maladies d'environ 30 % ([Call et al., 2019](#)).

La nature de la tolérance au risque des éleveurs influence positivement leurs décisions d'adaptation. Ainsi, la probabilité de s'engager dans des activités génératrices de revenus hors ferme augmente de 37%. Cela indique que les éleveurs qui prennent des risques sont bien conscients du changement climatique et de son impact sur leur production animale. Ils ont adopté davantage de stratégie pour réduire les risques et améliorer leur production. Des résultats similaires pour les éleveurs tolérants au risque. L'éducation, la

taille de la famille et l'accès au crédit influencent positivement la décision d'adopter des activités génératrices de revenus hors ferme ([Abbas et al., 2022](#)).

Les éleveurs éduqués peuvent trouver des emplois en temps de crise qui soutiennent les moyens de subsistance de leurs familles, et ils peuvent gérer correctement leurs exploitations en prédisant les changements des risques climatiques. De même, dans les familles nombreuses, un ou deux membres de la famille peuvent trouver un emploi temporaire en milieu urbain pour subvenir aux besoins de leur famille ([Hahn et al., 2003](#)).

Alors que le revenu annuel de la famille agricole affecte négativement la décision d'adapter les activités génératrices de revenus non agricoles. Les familles à revenu élevé ne se sentent pas obligées de faire un travail supplémentaire dans des conditions météorologiques extrêmes, car elles disposent déjà de ressources suffisantes pour atténuer les impacts négatifs des risques liés au changement climatique ([Khan et al., 2020](#)).

2.1.4. Les déterminants des stratégies de changement pour la production fourragère

Si les éleveurs se rendent compte que la température est trop extrême pour leur exploitation, ils ajusteront le schéma de culture pour la production de fourrage et c'est un résultat positif et influence grandement la décision « d'adaptation ». Cependant que, les intensités d'autres aléas climatiques tels que les précipitations et la sécheresse ont un potentiel d'adaptation d'environ 50 % et d'environ 40 % pour l'évolution de l'état des cultures. L'attitude des éleveurs qui aiment le risque incite à la prise de risques et c'est pourquoi ils adoptent également des mesures d'adaptation ([Abid et al., 2016](#)).

L'attitude des éleveurs qui aiment le risque influence positivement leur décision. L'adoption d'une mesure adaptative telle que les changements dans le schéma de culture pour la production de fourrage et ces résultats sont similaires à ceux qui ont déterminé que supporter le risque de la situation a une relation positive avec l'adaptation ([Hahn et al., 2003](#)).

Le nombre d'animaux laitiers à la ferme, le revenu des ménages, l'accès aux services de vulgarisation, l'accès aux informations climatiques et l'accès au crédit ont un impact positif sur les décisions d'adaptation des éleveurs laitiers. Si les éleveurs ont un grand nombre de producteurs laitiers, la probabilité d'adopter des changements dans le mode d'exploitation n'augmente que de 5 %. Les conclusions de ces adaptations sont parallèles à celles de qui ont déterminé qu'avec un plus grand nombre, les éleveurs de producteurs laitiers adaptaient davantage de mesures ([Aryal et al., 2018](#)).

Le revenu familial a également un effet positif sur l'adoption de changements dans le schéma de culture, il est considéré comme une mesure d'adaptation de la production

alimentaire, car avec les ressources supplémentaires, ils peuvent facilement gérer leurs cultures et nourrir leurs animaux avec une quantité appropriée de son et d'autres suppléments nutritionnels et minéraux ([Khan et al., 2020](#)).

De même, si les éleveurs ont un accès précis aux informations sur le changement climatique, notamment en ce qui concerne la température et les précipitations, ils adopteront des méthodes appropriées pour réduire les effets néfastes des risques climatiques sur leurs exploitations. Notamment en prédisant les conditions de sécheresse, les éleveurs ont utilisé ces cultivars pour produire des fourrages résistants à une telle condition ([Dickie et al., 2014](#)).

Les éleveurs ayant accès au crédit de sources formelles ou informelles, étaient très intéressés par l'adoption de mesures d'adaptation telles que la modification du schéma de culture de la production fourragère pour fournir suffisamment de fourrage à leurs animaux laitiers. Prendre du crédit a considérablement augmenté la probabilité d'adopter un modèle de culture variable de 56 % ([Shahbaz et al., 2020](#)).



Conclusion

Conclusion:

Le changement climatique, en particulier le réchauffement climatique, peut fortement affecter les performances de production des animaux d'élevage et avoir un impact mondial sur la production animale. Le changement climatique met en péril la production animale. Les pâturages naturels dont dépendent la majorité des éleveurs pour nourrir leurs animaux se détériorent, en termes de qualité et de quantité d'aliments. De plus, les sources d'eau accessibles ne sont pas fiables, car elles peuvent s'assécher en raison des températures élevées et du manque de précipitations. La chaleur excessive, le manque d'eau, la nutrition et des maladies inconnues ont tous contribué à la perte de bétail.

Le changement climatique affectera la production animale. La production animale sera négativement impactée (en raison des maladies, la disponibilité de l'eau, etc.), en particulier dans les régions arides et semi-arides. En outre, le changement climatique affectera le contenu nutritionnel des produits de l'élevage, qui sont l'un des fournisseurs mondiaux de calories, de protéines et de micronutriments essentiels. Les impacts potentiels du changement climatique futur entraîneront des changements négatifs dans la production et la qualité des cultures fourragères, la disponibilité de l'eau, la croissance animale et la production laitière, les maladies, la reproduction, la génétique animale et la perte de biodiversité.

L'effet du stress thermique sur le bétail peut être classé dans l'utilisation des éléments nutritifs, l'apport alimentaire, la production animale, la reproduction, la santé, la mortalité, qui entraînent des pertes économiques dans les exploitations laitières dans le monde et ont également été associés à une altération du développement embryonnaire. Et augmentation de la mortalité embryonnaire chez les bovins laitiers.

Le changement climatique peut influencer les modèles de maladie et les changements dans les écosystèmes, et facilite le fait que la situation future des maladies infectieuses sera différente de celle d'aujourd'hui.

Inversement, la production animale influence également le changement climatique. Les processus de production animale. On s'attend à ce que cette étape augmente encore sa contribution en raison de l'intensification de la production animale. Pendant ce temps, la fermentation entérique est le plus grand contributeur de GES au stade de la production animale. Par conséquent, si le nombre de têtes de bétail continue d'augmenter et que les

pratiques d'alimentation ne changent pas, les émissions mondiales dues à la production animale continueront d'augmenter.

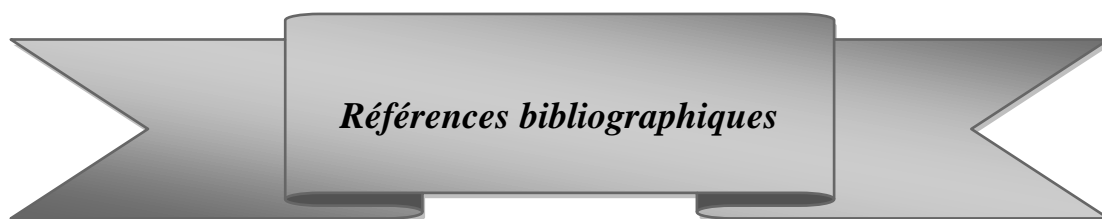
L'augmentation de la température augmente la lignification des tissus végétaux et donc réduit la digestibilité et le taux de dégradation d'espèces végétales qui entraîne une augmentation des émissions de CH₄ provenant du bétail.

Les effets du réchauffement climatique sur la disponibilité de l'eau pourraient forcer le secteur de l'élevage à établir une nouvelle priorité dans la production de produits animaux nécessitant moins d'eau.

Les stratégies d'adaptation et d'atténuation du changement climatique sont essentielles pour protéger la production animale. En diversifiant les stratégies écologiques qui modifient l'environnement en refroidissant l'air autour des animaux et pour réduire l'apparition du stress thermique et améliorer le transfert de chaleur de l'animal vers l'environnement, les stratégies d'alimentation comprennent toutes les adaptations de l'alimentation pour maximiser les performances de l'animal pendant stress thermique et les stratégies génétiques consiste à croiser une race très performante avec une race adaptée aux conditions locales.

L'amélioration de la nutrition animale et de la génétique est importante car la fermentation entérique est un émetteur majeur de GES dans la production animale. Cependant, l'efficacité de ces pratiques dans la réduction des émissions est incertaine et des recherches supplémentaires sont nécessaires concernant les pratiques d'atténuation efficaces liées à la fermentation entérique.

Finalement, les éleveurs ont besoin de stratégies efficaces d'adaptation et d'atténuation pour réduire l'impact du changement climatique sur la production animale. Ces stratégies contribueront à la survie à long terme de l'élevage. En outre, il renforcera les capacités des agriculteurs individuels à accroître leur capacité d'adaptation au changement climatique et à son impact sur la production animale. Aider les éleveurs à lutter contre les effets du changement climatique nécessite des investissements et une planification de la part des autorités privées et gouvernementales pour élaborer des politiques d'adaptation et d'atténuation du changement climatique efficaces, abordables et pratiques pour les petits éleveurs.



Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- Abbas, Q., Han, J., Adeel, A., and Ullah, R. (2019). Dairy Production under climatic risks: Perception, perceived impacts and adaptations in Punjab, Pakistan. *International journal of environmental research and public health* **16**, 4036.
- Abbas, Q., Han, J., Bakhsh, K., Ullah, R., Kousar, R., Adeel, A., and Akhtar, A. (2022). Adaptation to climate change risks among dairy farmers in Punjab, Pakistan. *Land use policy* **119**, 106184.
- Abdurehman, A., and Ameha, N. (2018). Prospects of climate change on livestock production. *Journal of Scientific and Innovative Research* **7**, 100-105.
- Abid, M., Schilling, J., Scheffran, J., and Zulfiqar, F. (2016). Climate change vulnerability, adaptation and risk perceptions at farm level in Punjab, Pakistan. *Science of the Total Environment* **547**, 447-460.
- ACHIR, M. (2016). Etude de l'impact des changements climatiques sur la dynamique de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans la région steppique de Tiaret (Algérie occidentale).
- Alcock, D., and Hegarty, R. (2011). Potential effects of animal management and genetic improvement on enteric methane emissions, emissions intensity and productivity of sheep enterprises at Cowra, Australia. *Animal Feed Science and Technology* **166**, 749-760.
- Anderson, S. (2003). Animal genetic resources and sustainable livelihoods. *Ecological economics* **45**, 331-339.
- Aryal, J. P., Jat, M. L., Sapkota, T. B., Khatri-Chhetri, A., Kassie, M., and Maharjan, S. (2018). Adoption of multiple climate-smart agricultural practices in the Gangetic plains of Bihar, India. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*.
- Asner, G. P., Elmore, A. J., Olander, L. P., Martin, R. E., and Harris, A. T. (2004). Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **29**, 261-299.
- Atkins, I., Choi, C., and Holmes, B. (2016). Dairy cooling: The benefits and strategies. *Department of Biological Systems Engineering, Wisconsin*.
- Baker, B., and Viglizzo, J. (1998). Rangeland and livestock. *Handbook on methods for climate change impact Assessment and Adaptation Strategies. Version 2*.
- Beauchemin, K., Kreuzer, M., O'mara, F., and McAllister, T. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian journal of experimental agriculture* **48**, 21-27.
- Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., and McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CABI Reviews*, 1-18.
- Bellarby, J., Tirado, R., Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J. P., and Smith, P. (2013). Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global change biology* **19**, 3-18.
- Benchaar, C., Pomar, C., and Chiquette, J. (2001). Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science* **81**, 563-574.
- Berman, A. (2006). Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *Journal of dairy science* **89**, 3817-3825.
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N., and Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of dairy science* **97**, 471-486.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., and Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* **4**, 1167-1183.
- Biota, M. (2002). Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial. *science* **1063699**, 296.
- 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.
- Bolin, B., Crutzen, P., Vitousek, P., Woodmansee, R., Goldberg, E., and Cook, R. (1982). SCOPE 21-The major biogeochemical cycles and their interactions. Scientific Committee On Problems of the Environment (SCOPE).

- Boonsanit, D., Chanpongsang, S., and Chaiyabutr, N. (2012). Effects of supplemental recombinant bovine somatotropin and mist-fan cooling on the renal tubular handling of sodium in different stages of lactation in crossbred Holstein cattle. *Research in Veterinary Science* **93**, 417-426.
- 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.
- Bouwman, A. (1996). Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient cycling in Agroecosystems* **46**, 53-70.
- Brandão, A., Cooke, R., Corrá, F., Piccolo, M., Gennari, R., Leiva, T., and Vasconcelos, J. (2016). Physiologic, health, and production responses of dairy cows supplemented with an immunomodulatory feed ingredient during the transition period. *Journal of dairy science* **99**, 5562-5572.
- Brügemann, K., Gernand, E., Von Borstel, U., and König, S. (2011). Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature x humidity-dependent covariates. *Journal of dairy science* **94**, 4129-4139.
- Bruinsma, J. (2003). "World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective," Earthscan.
- Bucklin, R., Bray, D., Martin, J., Carlos, L., and Carvalho, V. (2009). Environmental temperatures in Florida dairy housing. *Applied engineering in agriculture* **25**, 727-735.
- Bucklin, R., Hahn, G., Beede, D., and Bray, D. (1992). Physical facilities for warm climates. *Large Dairy Herd Management. American Dairy Science Association, Champaign, IL* **61820**, 609-618.
- Burke, D. A. (2001). Dairy waste anaerobic digestion handbook. *Environmental Energy Company* **6007**, 17-27.
- Call, M., Gray, C., and Jagger, P. (2019). Smallholder responses to climate anomalies in rural Uganda. *World Development* **115**, 132-144.
- Cardoso, A. d. S., Barbero, R. P., Romanzini, E. P., Teobaldo, R. W., Ongaratto, F., Fernandes, M. H. M. d. R., Ruggieri, A. C., and Reis, R. A. (2020). Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands. *Sustainability* **12**, 6656.
- Casey, K. D., Bicudo, J. R., Schmidt, D. R., Singh, A., Gay, S. W., Gates, R. S., Jacobson, L. D., and Hoff, S. J. (2006). Air quality and emissions from livestock and poultry production/waste management systems.
- Chan, S., Huber, J., Chen, K., Simas, J., and Wu, Z. (1997). Effects of ruminally inert fat and evaporative cooling on dairy cows in hot environmental temperatures. *Journal of dairy science* **80**, 1172-1178.
- Change, I. C. (2014). Impacts, adaptation and vulnerability. *Part A: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change* **1132**.
- Chapman, S. C., Chakraborty, S., Dreccer, M. F., and Howden, S. M. (2012). Plant adaptation to climate change—opportunities and priorities in breeding. *Crop and Pasture Science* **63**, 251-268.
- Chen, J. M., Schütz, K. E., and Tucker, C. B. (2015). Cooling cows efficiently with sprinklers: Physiological responses to water spray. *Journal of dairy science* **98**, 6925-6938.
- Collier, R., Dahl, G., and VanBaale, M. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of dairy science* **89**, 1244-1253.
- Collier, R., Eley, R., Sharma, A., Pereira, R., and Buffington, D. (1981). Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *Journal of dairy science* **64**, 844-849.
- Conte, G., Ciampolini, R., Cassandro, M., Lasagna, E., Calamari, L., Bernabucci, U., and Abeni, F. (2018). Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants. *Italian Journal of Animal Science* **17**, 604-620.

Références bibliographiques

- 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.
- Cummins, K. (1998). Bedding plays role in heat abatement. *Dairy Herd Manag* **35**, 20.
- Dahal, D. S. (2011). Impact of Climate Change on Livelihood and Biodiversity in Rural Communities: A Case Study of SiddhiGanesh and Nepane Community Forestry User Groups of Sindhupalchwok District of Nepal, Central Department of Rural Development Tribhuvan University, Kathmandu.
- Dechow, C., and Goodling, R. (2008). Mortality, culling by sixty days in milk, and production profiles in high-and low-survival Pennsylvania herds. *Journal of dairy science* **91**, 4630-4639.
- Dickie, A., Streck, C., and Roe, S. (2014). Strategies for mitigating climate change in agriculture: Abridged report.
- Dourmad, J.-Y., Rigolot, C., and van Der Werf, H. (2008). Emission of greenhouse gas, developing management and animal farming systems to assist mitigation. In "Livestock and Global Climate Change 2008", pp. np. Cambridge University Press.
- Dozier, J., Green, R. O., Nolin, A. W., and Painter, T. H. (2009). Interpretation of snow properties from imaging spectrometry. *Remote Sensing of Environment* **113**, S25-S37.
- Drackley, J., Cicela, T., and LaCount, D. (2003). Responses of primiparous and multiparous Holstein cows to additional energy from fat or concentrate during summer. *Journal of dairy science* **86**, 1306-1314.
- Escarcha, J. F., Lassa, J. A., and Zander, K. K. (2018). Livestock under climate change: a systematic review of impacts and adaptation. *Climate* **6**, 54.
- Fereja, G. B. (2016). The impacts of climate change on livestock production and productivities in developing countries: a review. *International Journal of Research-Granthaalayah* **4**, 181-187.
- Food, C. o. G. R. f., Agriculture, and FAO. (2015). "Coping with climate change: The roles of genetic resources for food and agriculture," FAO.
- Fournel, S., Ouellet, V., and Charbonneau, É. (2017). Practices for alleviating heat stress of dairy cows in humid continental climates: a literature review. *Animals* **7**, 37.
- Furstenburg, D., and Scholtz, M. (2009). Global climate change and animal production in southern Africa: A short review. *Submitted: Livestock Science.(Supplement–10th Wrld. Cong. Anim. Prod.)*.
- Gale, P., Brouwer, A., Ramnial, V., Kelly, L., Kosmider, R., Fooks, A., and Snary, E. (2010). Assessing the impact of climate change on vector-borne viruses in the EU through the elicitation of expert opinion. *Epidemiology & Infection* **138**, 214-225.
- Gantner, V., Mijić, P., Kuterovac, K., Solić, D., and Gantner, R. (2011). Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka* **61**, 56-63.
- Garner, J., Douglas, M., Williams, S., Wales, W., Marett, L., Nguyen, T., Reich, C., and Hayes, B. (2016). Genomic selection improves heat tolerance in dairy cattle. *Sci. Rep.* **6**: 34114.
- Garnett, T. (2009). Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Environmental science & policy* **12**, 491-503.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., and Tempio, G. (2013). "Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities," Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Goglio, P., Smith, W., Grant, B., Desjardins, R., Gao, X., Hanis, K., Tenuta, M., Campbell, C., McConkey, B., and Nemecek, T. (2018). A comparison of methods to quantify greenhouse gas emissions of cropping systems in LCA. *Journal of Cleaner Production* **172**, 4010-4017.
- Golub, A. A., Henderson, B. B., Hertel, T. W., Gerber, P. J., Rose, S. K., and Sohngen, B. (2013). Global climate policy impacts on livestock, land use, livelihoods, and food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **110**, 20894-20899.

Références bibliographiques

- Gray, J., Dautel, H., Estrada-Peña, A., Kahl, O., and Lindgren, E. (2009). Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary perspectives on infectious diseases* **2009**.
- Hahn, G., Mader, T., and Eigenberg, R. (2003). Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. *EAAP Technic Ser* **7**, 31-44.
- Hahn, G. L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of animal science* **77**, 10-20.
- Hammami, H., Bormann, J., M'hamdi, N., Montaldo, H. H., and Gengler, N. (2013). Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *Journal of dairy science* **96**, 1844-1855.
- Hansen, P., and Areéchiga, C. (1999). Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *Journal of animal science* **77**, 36-50.
- Harle, K., Howden, S., Hunt, L. P., and Dunlop, M. (2007). The potential impact of climate change on the Australian wool industry by 2030. *Agricultural systems* **93**, 61-89.
- Heck, J., Van Valenberg, H., Dijkstra, J., and Van Hooijdonk, A. (2009). Seasonal variation in the Dutch bovine raw milk composition. *Journal of dairy science* **92**, 4745-4755.
- Henderson, B. B., Gerber, P. J., Hilinski, T. E., Falcucci, A., Ojima, D. S., Salvatore, M., and Conant, R. T. (2015). Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands: Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture, ecosystems & environment* **207**, 91-100.
- Henry, B., Charmley, E., Eckard, R., Gaughan, J. B., and Hegarty, R. (2012). Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop and Pasture Science* **63**, 191-202.
- Hidosa, D., and Guyo, M. (2017). Climate change effects on livestock feed resources: A review. *J. Fish. Livest. Prod* **5**, 259.
- Hinds, W. (1999). Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles, 2nd, edited by John Wiley & Sons. New York.
- Hoffmann, I. (2010). Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *Animal genetics* **41**, 32-46.
- Howden, S., Crimp, S., and Stokes, C. (2008). Climate change and Australian livestock systems: impacts, research and policy issues. *Australian journal of experimental agriculture* **48**, 780-788.
- Inbaraj, S., Sejian, V., Bagath, M., and Bhatta, R. (2016). Impact of Heat Stress on Immune Responses of Livestock: A Review. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* **39**.
- Jarvis, A., Upadhyaya, H., Gowda, C., Aggarwal, P., Fujisaka, S., and Anderson, B. (2015). For Food and Agriculture and Climate Change. *coping with*, 9.
- Jarvis, A., Upadhyaya, H. D., Gowda, C., Agrawal, P., Fujisaka, S., and Anderson, B. (2008). Climate change and its effect on conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture and associated biodiversity for food security.
- Johnson, H. (1976). World climate and milk production. *International Journal of Biometeorology* **20**, 171-180.
- Jungbluth, T., Hartung, E., and Brose, G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient cycling in Agroecosystems* **60**, 133-145.
- Kadzere, C. T., Murphy, M., Silanikove, N., and Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* **77**, 59-91.
- Kantanen, J., Løvendahl, P., Strandberg, E., Eythorsdottir, E., Li, M.-H., Kettunen-Præbel, A., Berg, P., and Meuwissen, T. (2015). Utilization of farm animal genetic resources in a changing agro-ecological environment in the Nordic countries. *Frontiers in Genetics* **6**, 52.
- Kanwal, V., Sirohi, S., and Chand, P. (2020). Effect of drought on livestock enterprise: evidence from Rajasthan. *Indian Journal of Animal Sciences* **90**, 94-98.

Références bibliographiques

- Khan, I., Lei, H., Shah, I. A., Ali, I., Khan, I., Muhammad, I., Huo, X., and Javed, T. (2020). Farm households' risk perception, attitude and adaptation strategies in dealing with climate change: Promise and perils from rural Pakistan. *Land use policy* **91**, 104395.
- Kimaro, E., and Chibinga, O. (2013). Potential impact of climate change on livestock production and health in East Africa: A review. *Livestock Research for Rural Development* **25**, 2013.
- Knapp, D., and Grummer, R. R. (1991). Response of lactating dairy cows to fat supplementation during heat stress. *Journal of dairy science* **74**, 2573-2579.
- Labioui, H., Elmoualdi, L., Benzakour, A., El Yachioui, M., Berny, E., and Ouhssine, M. (2009). Etude physicochimique et microbiologique de laits crus. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux* **148**, 7-16.
- Lacetera, N. (2019). Impact of heat stress on animal health and welfare. *Anim. Front* **9**, 26-31.
- Lugato, E., Cescatti, A., Jones, A., Ceccherini, G., and Duveiller, G. (2020). Maximising climate mitigation potential by carbon and radiative agricultural land management with cover crops. *Environmental Research Letters* **15**, 094075.
- Maianti, M., Calamari, L., Lombardi, G., Stefanini, L., and Calegari, F. (2001). Effect of energy supplementation and protein source on milk production of dairy cows in warm season. In "Proceedings of the ASPA Congress-Recent Progress in Animal Production Science (Italy)".
- McDermott, J. J., Kristjanson, P. M., Kruska, R., Reid, R. S., Robinson, T. P., Coleman, P., Jones, P. G., and Thornton, P. K. (2002). Effects of climate, human population and socio-economic changes on tsetse-transmitted trypanosomiasis to 2050. *The African Trypanosomes*, 25-38.
- Meyer, M., Smith, J., Harner, J., Shirley, J., Titgemeyer, E., and Brouk, M. (2002). Performance of lactating dairy cattle in three different cooling systems. *Applied engineering in agriculture* **18**, 341.
- Moallem, U., Altmark, G., Lehrer, H., and Arieli, A. (2010). Performance of high-yielding dairy cows supplemented with fat or concentrate under hot and humid climates. *Journal of dairy science* **93**, 3192-3202.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., and van Cleemput, O. (1997). Closing the global atmospheric N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. (OECD/IPCC/IEA Phase II Development of IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories). In "Dissipation of N from the human N-cycle, and its role in present and future N₂O emissions to the atmosphere. Int. Workshop, Oslo, Norway", pp. 4-4.
- Mosier, A., Wassmann, R., Verchot, L., King, J., and Palm, C. (2004). Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. *Environment, Development and Sustainability* **6**, 11-49.
- Muller, C., et al., Botha, J., and Smith, W. (1994). Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 3. Behaviour. *South African Journal of Animal Science* **24**, 61-66.
- Myeki, V. A., and Bahta, Y. T. (2021). Determinants of smallholder livestock farmers' household resilience to food insecurity in South Africa. *Climate* **9**, 117.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., and Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* **130**, 57-69.
- NIANG, I. (2009). Le changement climatique et ses impacts: les prévisions au niveau mondial. *Liaison énergie francophonie*, 13-20.
- Nienaber, J., and Hahn, G. (2007). Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology* **52**, 149-157.
- Ortiz, X., Smith, J., Rojano, F., Choi, C., Bruer, J., Steele, T., Schuring, N., Allen, J., and Collier, R. J. (2015). Evaluation of conductive cooling of lactating dairy cows under controlled environmental conditions. *Journal of dairy science* **98**, 1759-1771.
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., and Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature* **438**, 310-317.

- Perano, K. M., Usack, J. G., Angenent, L. T., and Gebremedhin, K. G. (2015). Production and physiological responses of heat-stressed lactating dairy cattle to conductive cooling. *Journal of dairy science* **98**, 5252-5261.
- Polley, H. W., Briske, D. D., Morgan, J. A., Wolter, K., Bailey, D. W., and Brown, J. R. (2013). Climate change and North American rangelands: trends, projections, and implications. *Rangeland Ecology & Management* **66**, 493-511.
- Prasad, R. R., Dean, M. R. U., and Alungo, B. (2022). Climate Change Impacts on Livestock Production and Possible Adaptation and Mitigation Strategies in Developing Countries: A Review. *Journal of Agricultural Science* **14**.
- Radoń, J., Bieda, W., Lendelová, J., and Pogran, Š. (2014). Computational model of heat exchange between dairy cow and bedding. *Computers and Electronics in Agriculture* **107**, 29-37.
- Ramesh, D., Meena, H., and Meena, K. (2012). Analysis of Small ruminant market system in different agro-climatic zones of Southern India. *Veterinary World* **5**.
- Ravagnolo, O., and Misztal, I. (2000). Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *Journal of dairy science* **83**, 2126-2130.
- Read, D., Beerling, D., Cannell, M., Cox, P., Curran, P., Grace, J., Ineson, P., Jarvis, P., Malhi, Y., and Powlson, D. (2001). The role of land carbon sinks in mitigating global climate change.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J.-L., and Collier, R. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* **6**, 707-728.
- Rhoads, M., Kim, J., Collier, R., Crooker, B., Boisclair, Y., Baumgard, L., and Rhoads, R. (2010). Effects of heat stress and nutrition on lactating Holstein cows: II. Aspects of hepatic growth hormone responsiveness. *Journal of dairy science* **93**, 170-179.
- Roberts, E., and Huq, S. (2015). Coming full circle: the history of loss and damage under the UNFCCC. *International Journal of Global Warming* **8**, 141-157.
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., and Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate risk management* **16**, 145-163.
- Roman-Ponce, H., Thatcher, W., Buffington, D., Wilcox, C., and Van Horn, H. (1977). Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *Journal of dairy science* **60**, 424-430.
- Rosegrant, M. W., Fernández, M., Sinha, A., Alder, J., Ahammad, H., Fraiture, C. d., Eickhout, B., Fonseca, J., Huang, J., and Koyama, O. (2009). Looking into the future for agriculture and AKST.
- 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.
- Sejian, V., Bhatta, R., Soren, N., Malik, P., Ravindra, J., Prasad, C. S., and Lal, R. (2015). "Introduction to concepts of climate change impact on livestock and its adaptation and mitigation," Springer.
- Shahbaz, P., Boz, I., and ul Haq, S. (2020). Adaptation options for small livestock farmers having large ruminants (cattle and buffalo) against climate change in Central Punjab Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research* **27**, 17935-17948.
- Sheikh, A. A., Bhagat, R., Islam, S. T., Dar, R. R., Sheikh, S. A., Wani, J. M., and Dogra, P. (2017). Effect of climate change on reproduction and milk production performance of livestock: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* **6**, 2062-2064.
- Shwartz, G., Rhoads, M., VanBaale, M., Rhoads, R., and Baumgard, L. (2009). Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *Journal of dairy science* **92**, 935-942.
- Singhal, K., and Mohini, M. (2002). Uncertainty reduction in methane and nitrous oxide gases emission from livestock in India. *Project report, Dairy Cattle Nutrition Division, National Dairy Research Institute, Karnal, India* **62**.
- Smil, V. (2004). "Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production," MIT press.

Références bibliographiques

- 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.
- Smith, J. R., and Harner III, J. (2012). Strategies to reduce the impact of heat and cold stress in dairy cattle facilities. *Environmental physiology of livestock*, 267-288.
- Smith, K. (1997). Herpesviral abortion in domestic animals. *The Veterinary Journal* **153**, 253-268.
- Sonder, K., Astatke, A., El Wakeel, A., Molden, D., and Peden, D. (2003). Strategies for increasing livestock water productivity in water stressed agricultural systems. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CAB International: Wallingford, UK.
- Spiers, D., Spain, J., Ellersieck, M., and Lucy, M. (2018). Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows. *Journal of dairy science* **101**, 8269-8283.
- Sprott, L., Selk, G., and Adams, D. (2001). Factors affecting decisions on when to calve beef females. *The Professional Animal Scientist* **17**, 238-246.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., and de Haan, C. (2006). "Livestock's long shadow: environmental issues and options," Food & Agriculture Org.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M. (2014). Climate Change 2013: The physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of IPCC the intergovernmental panel on climate change.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. (2013). Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Climate change* **5**, 1-1552.
- Stott, G. (1981). What is animal stress and how is it measured? *Journal of animal science* **52**, 150-153.
- Summer, A., Lora, I., Formaggioni, P., and Gottardo, F. (2019). Impact of heat stress on milk and meat production. *Animal Frontiers* **9**, 39-46.
- Tao, S., Orellana, R., Weng, X., Marins, T., Dahl, G., and Bernard, J. (2018). Symposium review: The influences of heat stress on bovine mammary gland function. *Journal of dairy science* **101**, 5642-5654.
- Tao, S., Thompson, I., Monteiro, A., Hayen, M., Young, L., and Dahl, G. (2012). Effect of cooling heat-stressed dairy cows during the dry period on insulin response. *Journal of dairy science* **95**, 5035-5046.
- Thornton, P. K., Herrero, M. T., Freeman, H., Okeyo Mwai, A., Rege, J., Jones, P. G., and McDermott, J. J. (2007). Vulnerability, climate change and livestock-opportunities and challenges for the poor. *Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research*.
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., and Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural systems* **101**, 113-127.
- Tresoldi, G., Schütz, K. E., and Tucker, C. B. (2018). Cooling cows with sprinklers: Timing strategy affects physiological responses to heat load. *Journal of dairy science* **101**, 11237-11246.
- Valtorta, S. E., Leva, P. E., and Gallardo, M. R. (1997). Evaluation of different shades to improve dairy cattle well-being in Argentina. *International Journal of Biometeorology* **41**, 65-67.
- Vickers, N. J. (2017). Animal communication: when i'm calling you, will you answer too? *Current biology* **27**, R713-R715.
- Wang, J., Bu, D., Wang, J., Huo, X., Guo, T., Wei, H., Zhou, L., Rastani, R., Baumgard, L., and Li, F. (2010). Effect of saturated fatty acid supplementation on production and metabolism indices in heat-stressed mid-lactation dairy cows. *Journal of dairy science* **93**, 4121-4127.
- Warntjes, J. L., Robinson, P., Galo, E., DePeters, E., and Howes, D. (2008). Effects of feeding supplemental palmitic acid (C16: 0) on performance and milk fatty acid profile of lactating dairy cows under summer heat. *Animal Feed Science and Technology* **140**, 241-257.

- Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P. H., Rosales, M., Ibrahim, M., and Steinfeld, H. (2007). Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change* **17**, 86-104.
- Weiske, A., Vabitsch, A., Olesen, J., Schelde, K., Michel, J., Friedrich, R., and Kaltschmitt, M. (2006). Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agriculture, ecosystems & environment* **112**, 221-232.
- West, J., Hill, G., Fernandez, J., Mandebvu, P., and Mullinix, B. (1999). Effects of dietary fiber on intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cows during cool or hot, humid weather. *Journal of dairy science* **82**, 2455-2465.
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science* **86**, 2131-2144.
- Wheelock, J., Rhoads, R., VanBaale, M., Sanders, S., and Baumgard, L. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of dairy science* **93**, 644-655.
- Williams, A., Audsley, E., and Sandars, D. (2006). Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities: Defra project report IS0205. Zu finden in: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx>.
- Wilson, S., Marion, R., Spain, J., Spiers, D., Keisler, D., and Lucy, M. (1998). Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. Lactating cows. *Journal of dairy science* **81**, 2124-2131.
- Wolfenson, D., and Roth, Z. (2019). Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers* **9**, 32-38.
- Worley, J. W., and Bernard, J. K. (2006). Comparison of High Volume Low Speed (HVLS) vs. Conventional Fans in a Free Stall Dairy Barn in a Hot Humid Climate. In "2006 ASAE Annual Meeting", pp. 1. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Yang, K., Qing, Y., Yu, Q., Tang, X., Chen, G., Fang, R., and Liu, H. (2021). By-product feeds: Current understanding and future perspectives. *Agriculture* **11**, 207.
- Younger, M., Morrow-Almeida, H. R., Vindigni, S. M., and Dannenberg, A. L. (2008). The built environment, climate change, and health: opportunities for co-benefits. *American journal of preventive medicine* **35**, 517-526.
- Zimbelman, R., Baumgard, L., and Collier, R. (2010). Effects of encapsulated niacin on evaporative heat loss and body temperature in moderately heat-stressed lactating Holstein cows. *Journal of dairy science* **93**, 2387-2394.
- Zimbelman, R., Collier, R., and Bilby, T. (2013). Effects of utilizing rumen protected niacin on core body temperature as well as milk production and composition in lactating dairy cows during heat stress. *Animal Feed Science and Technology* **180**, 26-33.