

# *Facteur Génétiques, Nutritionnels, Environnementaux Et De Gestion Influençant La Qualité De La Viande Bovine*

GOUNOU N'GOBI Bakassidi<sup>1</sup>, Ulbad Polycarpe TOUGAN<sup>2\*</sup>, AMOUSSA Michkath Akambi<sup>3</sup>,  
HONGBETE Franck<sup>2</sup>, IMOROU TOKO Ibrahim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>École doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE), Université de Parakou, Parakou, Bénin

<sup>2</sup>Département de Nutrition et Sciences Agro-alimentaires, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Parakou, Bénin

<sup>3</sup>Département des Sciences et Techniques de Productions Animale et halieutique, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

Auteur correspondant : TOUGAN P. Ulbad, E-mail : [ulbad.tougan1@gmail.com](mailto:ulbad.tougan1@gmail.com); Tél : +2290191091212



**Résumé**— La viande bovine constitue une source essentielle de nutriments de haute qualité pour l'homme qui contribue à la sécurité alimentaire et à la résilience des systèmes agroalimentaires. L'objectif de cette synthèse bibliographique est de faire une analyse des résultats de recherche et d'innovation actuelles sur la qualité de la carcasse, la qualité de la viande bovine, et les facteurs ante-mortem et post-mortem qui affectent leurs caractéristiques. Il ressort de l'analyse bibliographique que la viande bovine est riche en macronutriments et de micronutriments essentiels, en particulier des protéines de haute valeur biologique, du fer héminique, du zinc, ainsi que les vitamines B3, B6 et B12. Sur le plan structural, la viande se compose de fibres musculaires organisées en faisceaux, entourées de tissus conjonctifs (endomysium, pérимыsium, épимыsium) en continuité avec les tendons. La qualité de la viande bovine englobe des attributs physicochimiques et technologiques (pH, couleur [CIE L\*, a\*, b\*], maturité, marbrure et finesse de la marbrure, pertes de jus, capacité de rétention d'eau, force de cisaillement ou texture), sensoriels (tendreté, jutosité, flaveur, apparence, odeur) et nutritionnels (macronutriments et micronutriments). Plusieurs facteurs influencent ces aspects de la qualité de la carcasse et de la viande bovine, notamment les facteurs génétiques comme espèce et la race ; les facteurs individuels comme le poids vif, le muscle, le sexe, l'âge, le rang de mise-bas ; les facteur de gestion comme la castration, la traction, la culture attelée, le stress, et le suivi sanitaire ; les facteurs environnementaux comme le climat, la température, la pluviométrie et l'humidité relative de l'air ; les facteurs nutritionnels ; et les facteurs post-mortem comme la durée de maturation, la température de conservation, la transformation. Ces facteurs doivent être pris en compte pour améliorer la qualité de la viande bovine, notamment le persillage, la tendreté et la sécurité sanitaire..

**Keywords** : Bœufs, facteurs ante-mortem, produits carnés, qualité, transformation post-mortem, variation

**Abstract**— Beef is an essential source of high-quality nutrients for humans, contributing to food security and the resilience of agri-food systems. The aim of this literature review is to analyze current research and innovations on carcass quality, beef quality, and the ante-mortem and post-mortem factors that affect their characteristics. The bibliographic analysis reveals that beef is rich in macronutrients and essential micronutrients, particularly high biological value proteins, heme iron, zinc, as well as vitamins B3, B6, and B12. Structurally, meat is composed of muscle fibers organized into bundles, surrounded by connective tissues (endomysium, perimysium, epimysium) in continuity with the tendons. Beef quality encompasses physicochemical and technological attributes (pH, color [CIE L\*, a\*, b\*], maturity, marbling and marbling fineness, drip loss, water-holding capacity, shear force or texture), sensory traits (tenderness, juiciness, flavor, appearance, odor), and nutritional properties (macronutrients and micronutrients). Several factors influence these aspects of carcass and beef quality, including genetic factors such as species and breed; individual factors such as live weight, muscle, sex, age, and parity; management factors such as castration, draught use, work-related stress, and health monitoring; environmental factors such as climate, temperature, rainfall, and relative humidity; nutritional factors; and post-mortem factors such as aging duration, storage temperature, and processing. These factors must be considered to improve beef quality, particularly marbling, tenderness, and food safety.

**Keywords**: Cattle, ante-mortem factors, meat products, quality, post-mortem processing, variability.

## I. INTRODUCTION

La viande bovine occupe une place centrale dans l'alimentation humaine en raison de sa richesse en protéines de haute valeur biologique, en acides aminés essentiels, en lipides, ainsi qu'en micronutriments tels que le fer héminique, le zinc et les vitamines du groupe B (Geletu et al., 2021). Au-delà de sa valeur nutritionnelle, elle contribue également à la sécurité alimentaire et à l'économie des systèmes agroalimentaires à travers le monde. Toutefois, la qualité de la viande bovine demeure une notion complexe et multidimensionnelle, englobant des critères physicochimiques (pH, couleur, capacité de rétention d'eau), technologiques (perte en jus, aptitude à la transformation), sensorielles (tendreté, jutosité, saveur) et sanitaires (sécurité microbiologique et absence de résidus) (Baik et al., 2023; Kutay et al., 2024).

La variabilité observée dans la qualité de la viande résulte de l'interaction de nombreux facteurs. D'une part, les facteurs génétiques tels que l'espèce, la race, ou encore les caractéristiques musculaires déterminent les potentialités initiales de l'animal (Picard et al., 1995; Baik et al., 2023). D'autre part, des facteurs environnementaux tels que le climat, la température et les conditions de pâturage influencent la croissance et la composition corporelle. À cela s'ajoutent des facteurs liés à la gestion zootechnique comme la nutrition, le mode d'élevage, le stress, la castration, l'utilisation à la traction et la culture attelée ou le suivi sanitaire (Picard et al., 1995; Clinquart et al., 2022). Enfin, les facteurs post mortem, incluant les conditions d'abattage, la réfrigération, la maturation et les procédés technologiques, jouent un rôle déterminant dans le développement des caractéristiques finales de la viande (Clinquart et al., 2022).

Ainsi, une compréhension intégrée de ces facteurs est indispensable pour réduire les variabilités, améliorer la qualité de la viande et répondre aux attentes croissantes des consommateurs en termes de tendreté, couleur, saveur, sécurité sanitaire, de durabilité et de valeur nutritionnelle (Warriss, 2000 ; Knight et al., 2022). Le présent article de synthèse propose d'analyser les principaux facteurs génétiques, environnementaux, post mortem et de gestion qui influencent la qualité de la viande bovine, à la lumière des connaissances récentes.

## II. RESEARCH METHOD

La présente étude repose sur une analyse de la bibliographie scientifique consacrée aux facteurs influençant la qualité de la viande bovine suivant la démarche PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and meta-Analyses) décrite par Page et al. (2020). Les bases de données scientifiques majeures (Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed et Google Scholar) ont été explorées en utilisant des combinaisons de mots-clés tels que « beef quality, carcass traits, meat tenderness, intramuscular fat, genetic factors, environmental factors, post mortem handling, management practices ». Les publications retenues couvrent une période allant des années 1990 jusqu'en 2025. Les critères d'inclusion portaient sur :

- (i) les articles originaux présentant des résultats expérimentaux ou observationnels sur les bovins,
- (ii) les revues systématiques et méta-analyses apportant une vision intégrée des facteurs de variabilité,
- (iii) les travaux abordant spécifiquement les interactions entre facteurs génétiques, environnementaux et post mortem.

Un accent particulier a été mis sur les publications récentes (2015–2025) afin de tenir compte des avancées récentes en génomique, nutriginomique et pratiques d'élevage durable. La sélection finale a inclus environ 150 références scientifiques, réparties entre l'Amérique, l'Europe, l'Asie et l'Afrique, afin de comparer les contextes de production bovine dans différentes régions du monde. Les articles ont été analysés de manière critique en fonction de leur pertinence, de la robustesse méthodologique et de leur capacité à éclairer les interactions multifactorielles déterminant la qualité de la viande.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Processus de transformation du muscle en viande

La transformation du muscle en viande est un processus complexe, à la fois biochimique et mécanique, qui conditionne directement la qualité finale du produit carné (Tougan et al., 2013). Après l'abattage, le muscle entre dans une série de modifications métaboliques caractérisées par deux étapes majeures: l'installation de la rigor mortis et la maturation de la viande. Durant la rigor

mortis, la disparition progressive des réserves énergétiques et l'arrêt de la circulation sanguine privent les cellules d'oxygène, obligeant le métabolisme à fonctionner en mode anaérobie. Cette glycolyse produit de l'acide lactique, entraînant une acidification progressive du muscle et une chute du pH jusqu'à un niveau final compris entre 5,4 et 5,7 après 24 heures (Santé et al., 2001; Maltin et al., 2003). L'abaissement du pH est un paramètre central: sa vitesse dépend de l'activité ATPasique, alors que son amplitude est liée aux réserves initiales de glycogène (Bendall, 1973; Santé et al., 2001).

Le déficit énergétique entraîne également une baisse des niveaux d'ATP, qui, combinée à une augmentation du  $Ca^{2+}$  intracellulaire, provoque la formation d'un lien irréversible entre l'actine et la myosine, responsable de la rigidité post-mortem (Maltin et al., 2003). Passée cette phase, le muscle n'a plus de capacité contractile et entre dans le processus de maturation, qui repose sur l'action de systèmes protéolytiques endogènes tels que les calpaines et les cathepsines (Ouali et al., 2013). Ces enzymes dégradent progressivement les protéines contractiles et les constituants du cytosquelette, ce qui améliore la tendreté et contribue au développement des qualités sensorielles de la viande. La maturation, souvent qualifiée de "clé de voûte" de la qualité, est influencée par de nombreux facteurs ante et post mortem et ne peut être réduite à une simple étape chronologique mais doit être envisagée comme un processus multifactoriel (Ouali et al., 2013).

Ainsi, la conversion du muscle en viande ne se résume pas à une succession de réactions métaboliques, mais constitue un déterminant majeur de la qualité finale, conditionnant à la fois les propriétés sensorielles et technologiques de la viande. La figure 1 présente un sarcomère.

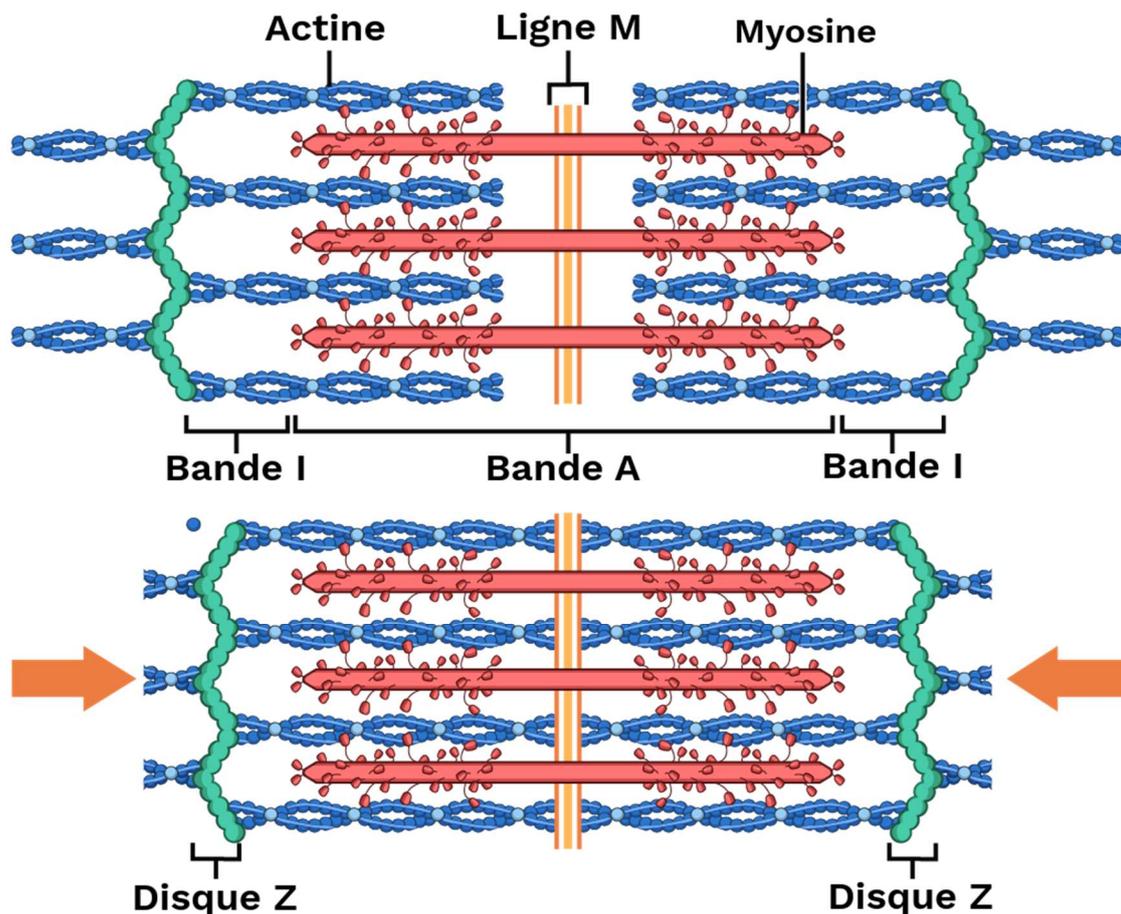


Figure 1: Un sarcomère est représenté détendu (en haut) et contracté (en bas).

Légende: Les principaux éléments constitutifs d'un sarcomère sont : Les filaments épais : Constitués de centaines de protéines entrelacées appelées Myosine. Les filaments fins : Principalement composés de brins entrelacés d'une protéine appelée Actine. Le disque Z : Définit les limites d'un sarcomère. Un sarcomère s'étend donc d'un disque Z au suivant. Le disque Z est composé de grandes protéines et sert de site d'ancrage pour les protéines contractiles. De manière caractéristique, les lignes Z se rapprochent les unes des autres pendant la contraction musculaire. La ligne M : Il s'agit du centre d'un sarcomère et contient des protéines qui servent de sites d'ancrage pour les molécules de myosine. La ligne M assure également l'élasticité des muscles grâce à la présence de fibres élastiques. La bande A : Couvre la longueur du filament épais (Myosine) dans un sarcomère. La quantité d'actine présente dans la bande A dépend de la contraction du sarcomère. La taille de la bande A reste constante pendant une contraction musculaire. La bande I : La zone d'un sarcomère qui n'est pas couverte par les molécules de myosine. La quantité de molécules d'actine présentes dans la bande I varie en fonction de la contraction du sarcomère.

### 3.2. Composition de la viande bovine

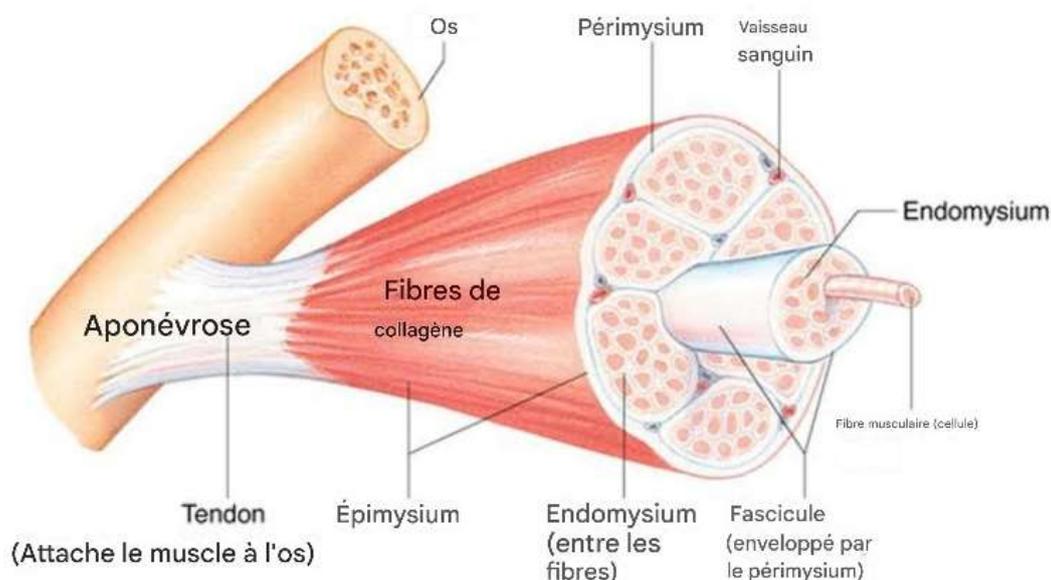
Selon la norme ISO (2000), la viande est la partie comestible des animaux de boucherie, y compris les muscles et les tissus associés, destinés à la consommation humaine » (ISO, 2000). Elle représente une source majeure de nutriments essentiels, fournissant acides aminés, minéraux, vitamines et énergie (Geletu et al., 2022). La viande rouge, en particulier, se distingue par sa richesse en fer et zinc hautement biodisponibles, ainsi qu'en sélénium et vitamines D, A et B. De plus, certaines protéines et vitamines, notamment A et B12, sont irremplaçables par des sources végétales (Olaoye, 2011).

Sur le plan structural, la viande se compose de fibres musculaires organisées en faisceaux (figure 2), entourées de tissus conjonctifs (endomysium, pérимysium, épимysium) en continuité avec les tendons (Varnam et Sutherland, 1995; Suleimenova, 2016 ; Geletu et al., 2022). La composition en collagène varie selon la fonction musculaire : les muscles locomoteurs en contiennent davantage que les muscles posturaux, ce qui influe sur la texture (Juárez et al., 2012).

L'eau est l'élément le plus abondant de la viande (environ 75 g/100g) (Geletu et al., 2022) et conditionne sa couleur, sa texture et son apparence (Toldrá et Hui, 2006). Sa teneur diminue avec l'augmentation de la teneur en lipides, tandis que la proportion protéique demeure stable (Juárez et al., 2012). La capacité de rétention d'eau affecte directement la jutosité et l'aspect du produit (Geletu et al., 2022).

Les protéines, constituées de 20 acides aminés dont 8 essentiels à l'homme, représentent le composant nutritionnel et technologique le plus précieux de la viande (Khan et Saxena, 2006 ; Hoffman et Falvo 2004). Les protéines du bœuf fournissent notamment des acides aminés essentiels comme la leucine, la lysine, la méthionine et le tryptophane, mais aussi l'arginine et l'histidine, considérées essentielles pour le nourrisson (Geletu et al., 2022).

Les lipides, présents sous forme intermusculaire, intramusculaire (persillage) ou sous-cutanée (Hall et al., 2016 ; Geletu et al., 2022), contribuent à la qualité sensorielle et nutritionnelle de la viande (Wood et al., 2007). Ils participent à la formation des arômes lors de la cuisson en interaction avec les acides aminés (Geletu et al., 2022). Leur valeur repose sur la composition en acides gras (Dinh, 2006 ; Toldrá et Hui, 2006 ; Geletu et al., 2022), qui détermine les propriétés physiques et le point de fusion : les acides gras saturés (SFA) fondent à température plus élevée que les acides gras polyinsaturés (PUFA), tandis que les monoinsaturés (MUFA) présentent un état intermédiaire (Rustan et Drevon, 2005). La teneur en lipides intramusculaires est déterminante pour la tendreté et la jutosité, souvent associée au persillage (Geletu et al., 2022).



**Figure 2: Structure du muscle**

### 3.3. Qualité de la viande

La qualité de la viande bovine est une notion multidimensionnelle (Tougan et al., 2013) qui englobe des paramètres physicochimiques (couleur, force de cisaillement, texture, maturité), sensoriels (tendreté, jutosité, flaveur, apparence, odeur) et technologiques (marbrure et finesse de la marbrure) [1,2]. Ces attributs influencent non seulement le prix du bœuf sur le marché, mais également la préférence des consommateurs, faisant de la qualité un enjeu à la fois économique et nutritionnel (Geletu et al., 2021 ; Clinquart et al., 2022 ; Baik et al., 2023 ; Kutay et al., 2024).

Les facteurs déterminants de la qualité de la viande sont multiples et relèvent à la fois de la génétique, de la gestion des animaux et de la nutrition (Geletu et al., 2021 ; Clinquart et al., 2022). Les facteurs génétiques incluent notamment l'espèce, la race et le sexe. Par exemple, une comparaison interrassiale de la teneur en lipides intramusculaires a montré que le bœuf Wagyu japonais possède la plus forte teneur en matière grasse intramusculaire (36,05 %), suivi du bœuf Hanwoo coréen (14,1 %), tandis que le bœuf Brahman présente la plus faible teneur (2,8 %) dans le muscle Longissimus dorsi (Geletu et al., 2021). Au Bénin, les travaux de Salifou et al. (2013) ont révélé que la viande de bovin de race Borgou a la plus forte luminance ( $L^*$ ) ( $P < 0,001$ ) comparativement aux races Lagunaire et Zébu Peulh pendant que la viande des Lagunaire a une luminance similaire à celle des Zébu ( $P > 0,05$ ) le jour d'abattage. L'indice du rouge le plus faible a été obtenu chez les zébus tandis qu'aucune différence n'a été observée entre les races Borgou et Lagunaire.

Enfin, au-delà des déterminants directs de la qualité de la viande, il importe de considérer des enjeux émergents liés à la durabilité, le bien-être animal, la sécurité sanitaire, notamment l'usage des antibiotiques et des pesticides, et le développement rural.

### 3.4. Facteurs de variation la qualité de la viande bovine

L'obtention d'une viande bovine d'excellente qualité répondant aux attentes des consommateurs dépend de plusieurs facteurs (tableau 1) qui y jouent un rôle déterminant. Ces facteurs peuvent être regroupés en deux grandes catégories : les facteurs ante-mortem et les facteurs post-mortem (Geletu et al., 2021 ; Clinquart et al., 2022 ; Baik et al., 2023 ; Kutay et al., 2024). Les facteurs ante-mortem (avant abattage) peuvent être liés à l'animal ou indépendants de celui-ci comme mes facteurs de gestion de l'élevage. L'espèce et la race, le sexe, l'âge, l'alimentation, le climat, la température ambiante, la pluviométrie, la saison, la localisation du muscle, les conditions préalables à l'abattage, la traction ou la culture attelée, la castration ainsi que le stress subi par l'animal comptent parmi les facteurs ante-mortem (Kutay et al., 2024). En revanche, les conditions de transformation et de conservation de

la viande, la durée de stockage, le temps de cuisson et la température appliquée figurent parmi les facteurs influençant la qualité post-mortem de la viande (Baik et al., 2023 ; Kutay et al., 2024).

### 3.4.1. Facteurs ante-mortem

#### 3.4.1.1. Espèce et race

Les facteurs génétiques, variables selon l'espèce et la race, font partie des déterminants de la qualité de la viande. La synthèse et le stockage des graisses dans l'organisme ainsi que la synthèse des fibres musculaires peuvent modifier le goût, l'aspect, l'odeur et la texture de la viande (Baik et al., 2023; Kutay et al., 2024). Le type de graisse stockée (phospholipides, cholestérol, triglycérides) ainsi que le rapport gras/muscle influencent les propriétés sensorielles et physiques. Selon Kutay et al. (2024) les dépôts de graisse chez les bovins Wagyu progressent jusque dans le muscle, donnant un aspect persillé, alors que chez la race Angus, la graisse se dépose principalement sous la peau sous forme de gras de couverture. Chez les volailles, les dépôts lipidiques se concentrent autour de l'abdomen ou des ailes, tandis que chez les ovins, ils apparaissent autour de la queue ou sous la peau selon la race (Tougan et al., 2013 ; Kutay et al., 2024).

#### 3.4.1.2. Sexe

Les mécanismes hormonaux diffèrent selon le sexe. La testostérone, sécrétée par les testicules chez les mâles, favorise la synthèse protéique, la sensibilité à l'insuline et le profil lipidique des muscles (Durmuş et al., 2023). À l'inverse, l'œstrogène, hormone femelle, a un effet défavorable sur la construction musculaire et stimule davantage le dépôt de graisses (Geletu et al., 2021 ; Gomez et al., 2020). Ainsi, en raison de l'influence hormonale, la viande des mâles, plus musclée, est généralement jugée plus acceptable sur le plan textural que celle des femelles. Des travaux antérieurs ont également montré que la qualité de la viande et la composition en acides gras varient selon le sexe (Humada et al., 2014).

Le sexe de l'animal peut également influencer la fréquence des viandes à pH élevé (Clinquart et al., 2022). Monin (1991) a rapporté une fréquence plus élevée de carcasses avec un pH supérieur à 6 dans plusieurs muscles, chez les taureaux, mais moins chez les vaches, génisses ou bœufs castrés. Cela est dû au tempérament plus excitable des mâles entiers, ce qui entraîne une glycolyse accrue dans la période immédiatement précédant l'abattage.

#### 3.4.1.3. Âge

L'âge affecte la qualité de la viande bovine. L'âge d'abattage (ou la maturité physiologique) sert généralement de base principale au système de classification du bœuf dans de nombreux pays, en raison de son influence fondamentale sur les attributs de qualité de la viande, en particulier la tendreté, la WHC et le persillé (Polkinghorne & Thompson, 2010). En général, la viande de bœuf a tendance à devenir plus dure avec l'augmentation de l'âge à l'abattage. Cela a été attribué à une augmentation de la réticulation du collagène et/ou de la teneur en collagène (Hopkins, 2017 ; Bruce et al., 2022 ; Bai et al. (2023) a). Toutefois, cette tendance ne se vérifie pas toujours. Plusieurs études ont montré que l'âge n'affectait pas la tendreté de la viande lorsque les bovins avaient été intensivement engraisés avant l'abattage ou lorsque les animaux étaient âgés de plus de 18 mois (Cho et al., 2014 ; Hopkins, 2017).

Chez les bovins de race Yak de la Chine par exemple, la viande crue se compose de fibres épaisses qui s'épaississent avec l'âge, ce qui entraîne une mastication plus difficile (Fu, 2018 ; Ma et al., 2020). Il est bien établi que la viande de cette race bovine tend à accumuler davantage de matière grasse intramusculaire avec l'âge de l'animal (Bai et al., 2022). Ainsi, la viande des animaux plus âgés devrait être plus dure en raison de la réticulation du collagène, mais plus tendre en raison de la matière grasse intramusculaire.

Par ailleurs, les résultats concernant l'effet de l'âge à l'abattage sur la capacité de rétention d'eau (WHC) de la viande sont contrastés. Cho et al. (2014) ont rapporté qu'une augmentation de l'âge à l'abattage (3–12 mois) pouvait améliorer la WHC du muscle top round en raison d'un pH plus élevé, plus éloigné du point isoélectrique de la viande, ainsi que d'une plus grande teneur en IMF. Cependant, Fu (2018) a évalué la WHC de la viande de bovin de race Yak élevés en captivité d'âges différents (1,5–4,5 ans) et a constaté que la viande de yaks âgés de 2,5 ans présentait une WHC plus élevée, également en raison d'un pH plus élevé.

L'étude de Bai et al. (2023) a montré que la viande provenant d'animaux âgés de  $6,62 \pm 0,18$  ans présentait une plus grande tendreté et une meilleure capacité de rétention d'eau (WHC). De manière générale, l'âge avancé est associé à une plus grande dureté de la

viande de bœuf, et les chercheurs ont attribué ce phénomène à des modifications de la teneur et de la structure du collagène (Bai et al., 2023).

Par ailleurs, les travaux de Cho et al. (2015) ont révélé que la teneur en myoglobine et les activités de la catalase, de la superoxyde dismutase et de la glutathion peroxydase étaient significativement plus élevées ( $P < 0,05$ ) dans la viande des bovin plus âgées. Lors du stockage réfrigéré, les niveaux de substances réactives au thiobarbiturique et de carbonyles protéiques ont également augmenté de manière significative ( $P < 0,05$ ) dans la viande provenant de ces animaux. En somme, la viande des vaches âgées était plus foncée et présentait une stabilité de couleur réduite. Ces résultats indiquent que l'âge d'abattage avancé affecte négativement la couleur et la stabilité lipidique de la viande de bovin.

La composition nutritionnelle de la viande influence sa qualité (Kutay et al., 2024). L'humidité, les protéines, les lipides et d'autres composants modifient à la fois les propriétés structurales et sensorielles. Chez les jeunes animaux, l'organisme contient une proportion plus élevée d'eau, mais avec l'âge, cette proportion évolue en faveur des protéines puis des lipides. De plus, le vieillissement entraîne une augmentation des fibres de collagène thermorésistantes, réduisant ainsi la tendreté de la viande (Geletu et al., 2021 ; Kutay et al., 2024). Les consommateurs préfèrent généralement une viande d'un rouge plus vif, ce qui est lié à la teneur en myoglobine. Une synthèse et une teneur plus élevées en myoglobine chez les jeunes animaux influencent positivement la couleur de la viande (Kouvari et al., 2016 ; Gomez et al. 2020 ; Kutay et al., 2024).

Les valeurs de pH des échantillons augmentent significativement avec la durée de maturation post mortem (Oz, 2018 ; Savas et al., 2024). Ahnström et al. (2006) ont rapporté que le pH de la viande, initialement à 5,4, augmentait ( $P < 0,05$ ) à 5,5 et 5,7 après 14 et 21 jours de maturation (2,5 °C, 87 % d'humidité relative). De même, Ascioğlu (2021) a observé que des viandes ayant subies une maturation à sec pendant 28 jours (1,5 °C, 81 % d'humidité relative) présentaient un pH plus élevé (5,75) que la valeur initiale (non vieillie, 5,60). L'augmentation du pH lors de la maturation à sec est attribuée aux composés basiques générés par la protéolyse, à la déamination des protéines et à l'accumulation de métabolites bactériens, particulièrement au cours de vieillissements prolongés (Aksu et al., 2005 ; Obuz et al., 2014 ; Bekhit & Faustman, 2005). Par ailleurs, le processus de maturation à sec entraîne une évaporation importante de l'eau et la formation d'une croûte à la surface des morceaux de viande en raison de l'assèchement accru de la surface (Berger et al., 2018).

#### 3.4.1.4. Alimentation

La croissance des animaux d'élevage s'effectue principalement par la prolifération et la croissance des cellules musculaires, nécessitant un apport protéique suffisant. La masse de la carcasse est également affectée par le niveau énergétique de la ration. Il est établi que les bovins nourris avec des rations riches en énergie présentent un poids de carcasse plus élevé que ceux recevant des rations pauvres en énergie (Moloney et al., 2004 ; Geletu et al., 2021 ; Kutay et al., 2024). Une ration riche en énergie accroît la teneur en gras intramusculaire tout en réduisant la quantité de tissu conjonctif thermorésistant, ce qui améliore la jutosité, la tendreté et l'arôme de la viande. Selon Priolo et al. (2006) des régimes à base d'herbe, en particulier au pâturage, produisent des viandes d'une couleur plus rouge intense que celles issues de régimes riches en concentrés.

L'alimentation peut également affecter la couleur du bœuf ou de la carcasse. Selon French et al. (2001), le tissu adipeux sous-cutané des bovins nourris à l'herbe est plus jaune que celui des animaux nourris avec des concentrés. Cette différence peut être due à une plus grande quantité de bêta-carotène dans les pâturages par rapport aux concentrés (Baik et al., 2023). La viande des bovins Brahman nourris au grain est moins foncée et plus rouge que celle des bovins pâturés (Bruce et al., 2004). La supplémentation alimentaire en vitamine E a été utilisée pour améliorer la stabilité lipidique et la couleur du bœuf, et la fonction antioxydante de l'alpha-tocophérol peut être en partie responsable de cet effet bénéfique (Bradío et al., 2021 ; Baik et al., 2023). Selon Micol et al. (2010), les régimes riches en concentrés favorisent un engraissement plus rapide et une teneur plus élevée en lipides intramusculaires, généralement associés à une viande plus tendre et plus savoureuse, tandis que les régimes herbagés privilégient des viandes plus maigres, au profil lipidique plus favorable sur le plan nutritionnel avec une meilleur ratio oméga-6/oméga-3 et une forte teneur en CLA.

Chez les volailles, un faible apport énergétique ou protéique réduit l'adiposité, tandis que des rations pauvres en protéines et en lipides diminuent la teneur en eau de la viande. Par ailleurs, il a été rapporté que l'utilisation de l'ensilage d'herbe dans l'engraissement des bovins augmente la teneur en graisses (Richardson, 2021), mais que cette teneur est moindre lorsque l'ensilage est utilisé en début d'engraissement puis combiné avec un aliment concentré au 135<sup>e</sup> jour (Smith et al., 2014 ; Romejko, 2022). De même, les agneaux engraisés de manière intensive présentent une teneur élevée en acide stéarique et en acides gras polyinsaturés dans leur gras intramusculaire, tandis que ceux engraisés de façon semi-intensive affichent une composition en acides gras plus favorable jour (Smith et al., 2014 ; Kutay et al., 2024). Il est plus facile de modifier la qualité de la viande des volailles ou des monogastriques par des ajustements alimentaires que celle des ruminants, en raison de l'activité microbienne du rumen, qui transforme les nutriments de l'alimentation (Kutay et al., 2024). Les acides gras insaturés sont particulièrement concernés : chez les volailles, ils peuvent être retrouvés en proportions variables dans la viande, alors que chez les ruminants, ils sont saturés par biohydrogénation et présents dans la viande rouge sous forme d'acide linoléique conjugué. En dehors des nutriments de base, des substances aromatiques dans la ration influencent également les propriétés sensorielles de la viande (Kutay et al., 2024). Des herbes à forte odeur, comme le thym ou le romarin, améliorent le goût et l'odeur (Kutay et al., 2024). Le pH ultime de la viande de bovins élevés au pâturage peut être plus élevé que celui des bovins nourris aux concentrés (Wicks et al., 2019).

#### 3.4.1.5. Saison, température ambiante et stress

Les facteurs environnementaux, tels que la saison et la température, peuvent affecter les caractéristiques de qualité de la viande bovine (Piao et Baik, 2015 ; Kutay et al., 2024). En effet, les besoins énergétiques des animaux augmentent par temps froid. L'énergie est utilisée à la fois pour maintenir la thermogénèse et pour stocker l'excédent sous forme de graisse sous-cutanée, ce qui rend la viande des animaux nourris en hiver plus grasse. La composition en acides gras et la couleur de la viande des animaux nourris avec de l'herbe fraîche au printemps et en été varient également. Il a été observé que les poulets de chair présentent une viande de poitrine plus foncée, plus rouge et plus jaune en hiver qu'en automne (Steen et Robson, 1995 ; Soyacan Önenç et Özdoğan, 2022). Dans une étude similaire, le pH à 4 h post-mortem ainsi que les valeurs  $a^*$  et  $b^*$  étaient plus élevés en hiver qu'en automne et en été (Steen et Robson, 1995 ; Soyacan Önenç et Özdoğan, 2022). Le métabolisme énergétique est plus actif durant l'hiver, et l'acide lactique libéré entraîne une baisse du pH de la viande, influençant sa couleur et sa texture. En outre, la viande des animaux soumis à un stress dû aux températures extrêmes estivales est également affectée négativement (Kutay et al., 2024).

Piao et Baik (2015) ont évalué l'effet des conditions climatiques sur les caractéristiques des carcasses de bouvillons coréens. Il ressort de leur étude que l'épaisseur de la graisse dorsale était la plus importante en hiver (décembre, janvier, février) comparativement aux trois autres saisons et le taux de rendement de grade supérieur (Grade A) était le plus bas, tandis que le taux de grade C était le plus élevé, indiquant que le rendement est moins favorable en hiver. Selon Kang et al. (2020), les températures froides augmentent la consommation de concentrés et de fourrage par kg de poids corporel chez bovins. Le stress du froid réduit les performances de croissance et l'efficacité alimentaire en raison de l'énergie supplémentaire nécessaire pour maintenir la température corporelle (Baik et al., 2023 ; Kutay et al., 2024). L'augmentation de la consommation alimentaire pourrait avoir contribué au maintien de la température corporelle et fourni les nutriments supplémentaires nécessaires aux animaux pendant la période froide, entraînant l'absence de changements dans le gain de poids ou l'efficacité alimentaire. En outre, selon Yu et al. (2021), une longue photopériode améliore le dépôt de graisse en régulant l'expression des gènes liés au métabolisme lipidique chez les bovins Jinjiang pendant l'hiver.

Les manipulations avant l'abattage (transport, jeûne, attente à l'abattoir) constituent des déterminants cruciaux de la qualité finale. Un stress élevé entraîne une chute des réserves de glycogène et donc un pH ultime élevé, générant de la viande DFD (Addis et al., 2019 ; Arik & Karaka, 2017). Ahmedin (2021) a montré que le stress de transport modifie les paramètres biochimiques du sang et détériore les caractéristiques de la carcasse. La durée de la diète hydrique avant abattage affecte également la qualité de la viande. Un jeûne trop long accentue les pertes de rendement et augmente le risque de DFD (Tougan et al., 2016).

#### 3.4.1.6. Type du muscle

Les muscles les plus sollicités dans le mouvement chez l'animal deviennent plus durs en raison de contractions répétées (Kutay et al., 2024). Ainsi, les avant-bras et les membres postérieurs des petits et grands animaux, ainsi que les pattes des volailles, présentent

une texture plus ferme que d'autres parties. À l'inverse, le M. longissimus dorsi, situé le long du dos et peu sollicité chez les mammifères, possède la structure la plus tendre.

#### 3.4.1.7. Conditions avant l'abattage

L'abattage constitue en soi une source de stress. Le temps nécessaire pour transférer les animaux à l'abattoir, les conditions de l'abattoir, le temps d'attente avant l'abattage, l'attente en plein soleil, la faim, la soif, la fatigue et la violence provoquent un stress chez les animaux. En cas de stress, la sécrétion d'hormones telles que l'épinéphrine, la norépinéphrine et le cortisol augmente. En conséquence, le glucose sanguin ainsi que le glycogène du foie et des muscles sont rapidement consommés et de l'acide lactique est produit. En conditions normales, l'acide lactique libéré par la respiration anaérobie des muscles est de nouveau métabolisé dans le foie et le cœur. Cependant, lorsque les animaux sont abattus dans cet état, il en résulte une viande acide (pH 5,4–5,6), car l'acide lactique ne peut pas être métabolisé. Ces viandes présentent un aspect pâle et exudative, avec des défauts de couleur, de capacité de rétention d'eau et de tendreté (Toth et al., 2001 ; Vieux et al., 2022).

#### 3.4.1.8. Activité physique : Traction animale et culture attelée

La traction animale est largement utilisée en Afrique et en Asie (Lawrence & Pearson, 2002 ; Vall et al., 2003 ; Mota-Rojas et al., 2021). Cette pratique influence non seulement la productivité agricole, mais aussi la composition corporelle et la qualité de la viande. Les bovins utilisés pour la traction animale et pour la culture attelée présentent généralement une carcasse plus maigre, avec une diminution des dépôts adipeux, ce qui peut réduire la tendreté (Mengistu et al., 2013 ; Ewonetu & Ashenafi, 2019). Gebisa Beker et al. (2024) et Ye'i et al. (2023) montrent que la traction prolongée entraîne une augmentation de la densité musculaire, une couleur de viande plus foncée et une baisse de la capacité de rétention d'eau. Cependant, certains travaux (Wilson, 2003 ; Makki, 2014) soulignent que la durée et l'intensité du travail influencent fortement ces effets. Ainsi, si la viande des bovins de trait est souvent moins tendre, elle peut présenter des caractéristiques recherchées pour certains usages culinaires, mais avec un risque accru de viande DFD (Dark, firm and Dry) lié à l'épuisement glycogénique. Les bœufs de trait castrés présentent une meilleure qualité de la viande en raison d'une augmentation de la teneur en matière grasse intramusculaire.

L'exercice physique, qu'il soit imposé (pâturage extensif, marche, traction) ou contrôlé, a des effets significatifs sur le métabolisme musculaire et la qualité de la viande. Dunne et al. (2005) et Gerlach & Unruh (2014) montrent que l'exercice améliore la vascularisation musculaire et la couleur, mais tend à accroître la dureté de la viande. Chez les ovins et porcins, des résultats analogues ont été observés par Murray et al. (1974) et Zhang et al. (2022) qui ont enregistré une augmentation de la masse musculaire au détriment de la tendreté. L'exercice prolongé accroît le stress oxydatif et l'utilisation du glycogène, ce qui affecte le pH ultime et la texture (Crouse et al., 1985). Ainsi, l'exercice physique modéré des bovins peut améliorer certaines qualités (couleur, profil nutritionnel), tandis qu'un exercice excessif ou lié au travail intense réduit la tendreté et la jutosité de la viande.

#### 3.4.1.9. Castration

La castration est l'un des facteurs de gestion importants qui influence significativement la qualité et la quantité de viande bovine. Elle est largement utilisée dans la production bovine pour améliorer les caractéristiques de qualité de la viande. La castration a un effet profond sur la qualité de la viande bovine (Shahrai et al., 2021). Selon Baik et al. (2023), la castration améliore le score de qualité du Bœuf. Selon ces auteurs, la plupart des échantillons de viandes provenant de taureaux non castrés enregistre les scores de qualité les plus bas, alors que plus de 80 % de la viande provenant de bouvillons castrés de bovins coréens étaient de qualité supérieure. Les scores de persillage sont nettement plus élevés chez les bovins castrés. Selon les résultats des travaux de Hoa et al. (2022), la méthode de castration (castration partielle ou complète) affecte la qualité et la quantité de viande. La castration partielle produit des rendements en viande plus élevés par rapport à la castration complète (bouvillons). Selon ces auteurs, la castration partielle produit également une viande avec une teneur en gras intramusculaire plus élevée et une force de cisaillement plus faible (tendreté plus élevée) que celle des taureaux coréens non castrés (Hoa et al., 2022 ; Baik et al., 2023).

Comparés aux taureaux entiers, les bovins castrés présentent généralement une plus grande teneur en gras de carcasse (Lazzaroni et Biagini, 2008), un contenu en persillage plus élevé et une incidence plus faible de viande foncée (Silva et al., 2019). La teneur en gras de la carcasse et les caractéristiques de qualité de la viande peuvent être améliorées en augmentant le taux de croissance et

en réduisant l'âge à l'abattage. Chez les carcasses de Bovins Nellore castrés, une augmentation du gras améliore la tendreté de la viande. La castration influence non seulement les événements précoces post-mortem (c'est-à-dire la conversion du muscle en viande), mais également les caractéristiques de qualité de la viande après la maturation (Silva et al., 2019). Le rythme et l'étendue de la tendreté sont déterminés par la dégradation post-mortem des protéines myofibrillaires telles que la desmine, la titine et la nébuline, sous l'action des protéases endogènes (Shahrai et al., 2021). Il a été démontré que les taureaux possèdent une activité protéasique endogène plus faible dans le muscle squelettique entraînant une protéolyse post-mortem réduite par rapport aux bovins castrés (Silva et al., 2019).

### 3.4.2. Facteurs post-mortem

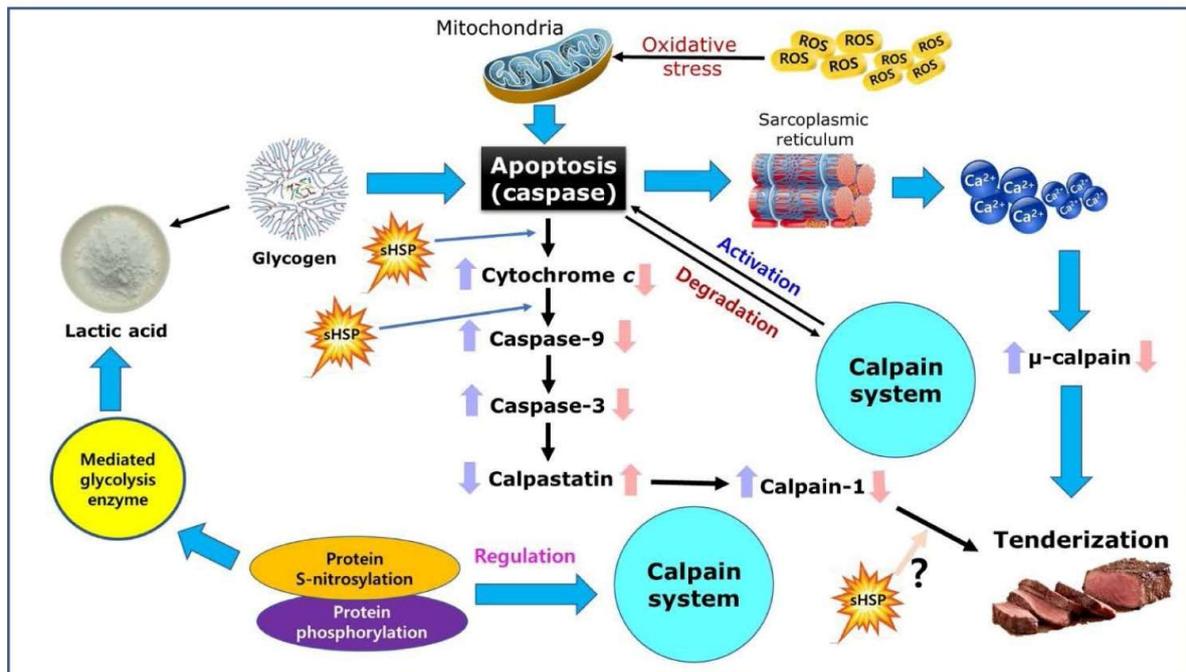
#### 3.4.2.1. Maturation

La tendreté de la viande bovine constitue l'un des principaux déterminants de l'acceptabilité par les consommateurs (Bai et al., 2023). De même, la capacité de rétention d'eau (CRE) est associée à la jutosité, et surtout, au rendement de la viande (Ma et al., 2019 ; Ma & Kim, 2020 ; Qian et al., 2020). Pour ce faire, la normalisation de la qualité de la viande à ces égards présenterait des avantages considérables sur les plans commercial et économique. La maturation post-mortem (PM) est une technologie bien documentée et largement utilisée capable d'améliorer la tendreté, l'arôme et la saveur de la viande de bovine (Hopkins, 2017). On distingue principalement trois méthodes de maturation: la maturation sèche conventionnelle, la maturation sous vide « wet aging », et la maturation sèche dans un sac hautement perméable à l'humidité (Xu et al., 2021). Bai et al. (2023) a évalué l'effet de l'âge d'abattage (2,43 à 10,59 ans) et de la durée de maturation post-mortem (1, 24 et 72 h) sur la tendreté et la capacité de rétention d'eau du muscle longissimus thoracis du yak, afin d'identifier l'âge optimal pour assurer une qualité constante de la viande. De façon synthétique, l'étude montre que la maturation post-mortem de 72 heures améliore nettement la qualité de la viande de yak. Elle provoque une désintégration des liaisons du collagène et des fibres musculaires, augmente l'indice de fragmentation myofibrillaire (MFI) et réduit la dureté, ce qui se traduit par une meilleure tendreté et une capacité de rétention d'eau accrue. Selon Zhang et al. (2021), au cours de la maturation post-mortem, les protéines de la viande subissent une protéolyse à des niveaux variables, et ces changements protéolytiques survenant au cours du processus de maturation de la viande contribuent à sa tendreté, sa jutosité et ses propriétés gustatives.

La couleur de la viande et des produits carnés est le paramètre visuel de qualité le plus important, influençant la décision d'achat du consommateur. La couleur des produits carnés peut varier en fonction de divers facteurs, notamment la composition de la matière première (teneur en eau, protéines, myoglobine, lipides, etc.), les composants non carnés, les additifs et les conditions de transformation (Kilic et al., 2021 ; Oz et al., 2023). Dikeman et al. (2013), Kim et al. (2016) ; et Ribeiro et al. (2021). Atıf Karaduman (2018) ont observé que le processus de maturation à sec entraînait une diminution des valeurs  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  des viandes. Les viandes ayant subi la maturation post mortem présentent une couleur plus foncée et moins rouge par rapport aux autres viandes, en raison de la faible teneur en eau, de la déshydratation de surface après la maturation, de l'assombrissement de la couleur et de la faible réflexion de la lumière due à cette déshydratation, ainsi qu'à l'accumulation de métmyoglobine suite à l'oxydation de la myoglobine (Obuz et al., 2014 ; Ribeiro et al., 2021).

La maturation améliore la flaveur et la saveur de la viande (Joo et al., 2023 ; ). Le Mécanisme d'amélioration de la saveur de la viande pendant la maturation post-mortem est complexe. L'amélioration des caractéristiques gustatives de la viande pendant la maturation est principalement due à l'activité hydrolytique. De plus, l'activité de diverses hydrolases, telles que la calpaïne, qui fragmente la structure musculaire, et la cathepsine, impliquée dans la production de peptides responsables du goût, joue également un rôle important dans l'amélioration des propriétés gustatives (Joo et al., 2023). Au cours d'une période de maturation prolongée, davantage de peptides et d'acides aminés libres liés au goût sont libérés par l'activité enzymatique dans la viande. Parmi eux, les acides aminés aliphatiques sont associés à la douceur de la viande, tandis que la cystéine (Cys) et la méthionine (Met), contenant un atome de soufre, ainsi que le glutamate (Glu) et l'aspartate (Asp) sont liés à la saveur de type umami. En outre, pendant la maturation, les glucides sont décomposés en sucres, renforçant la douceur de la viande, et les lipides ainsi que les molécules membranaires lipidiques sont dégradés en acides gras aromatiques. Tous ces produits finaux générés lors de la maturation post-mortem contribuent à l'intensité de l'arôme de la viande, à la saveur de type noix et à la saveur de type umami de la viande cuite

après maturation (Joo et al., 2023 ; Dashdorj et al., 2015 ; Nishimura et al. (1988)). Le mécanisme d'amélioration de la tendreté par la maturation post-mortem selon Joo et al. (2023) est présenté à la figure 3. Cette figure montre que le système calpaïne, activé par le  $Ca^{2+}$ , joue un rôle majeur dans le processus de vieillissement ou de tendreté musculaire. Les enzymes apoptotiques participent aux premières étapes de la maturation musculaire en dégradant les protéines myofibrillaires du cytosquelette telles que la titine et la nébuline, et régulent le système enzymatique activé par le  $Ca^{2+}$ . Les résidus de cystéine au site actif de la calpaïne sont modifiés par la S-nitrosylation des protéines, ce qui affecte l'autolyse et l'activité protéolytique. L'activité des enzymes impliquées dans la glycolyse post-mortem, telles que la phosphofructokinase, peut être inhibée par la S-nitrosylation, influençant ainsi la qualité de la viande après la maturation.



**Fig. 3. Schéma du mécanisme d'amélioration de la tendreté par la maturation post-mortem selon Joo et al. (2023).**

### 3.4.2.2. Température

Les réactions chimiques qui se produisent dans la viande après l'abattage se déroulent plus rapidement à des températures élevées. Les enzymes qui modifient la structure chimique de la viande sont sensibles à la température, et un refroidissement rapide de la carcasse ralentit l'activité de ces enzymes. De plus, comme ce procédé limite l'activité des micro-organismes, il réduit également les pertes nutritives et les changements de couleur (Vieux et al., 2022). Il a été déterminé que la résistance à la coupe des viandes maturées à une température de 10–15 °C diminue par rapport à celles conservées à des températures plus basses, mais que la charge microbienne augmente avec la perte à la cuisson et que la stabilité de la couleur diminue (Wang et al., 2023)

### 3.3.2.3. Stockage

Il est important pour la santé humaine de conserver les carcasses intactes pendant une longue période. Elles sont généralement stockées à 4 °C. Cependant, abaisser rapidement la température de la carcasse à ce niveau après l'abattage endommage la structure de la viande. Les sarcomères raccourcissent en raison de la réponse nerveuse au refroidissement rapide. Ces viandes deviennent dures, de mauvais goût et présentent une perte d'eau élevée. Une étude récente a montré qu'un stockage à 2 °C donnait de meilleurs résultats tant pour le blanc de poulet que pour le faux-filet (Xiong et al., 2021).

### 3.3.2.4. Transformation

Les procédés appliqués à la viande destinée à la consommation peuvent modifier ses propriétés. Parmi les procédés physiques, on retrouve la stimulation électrique, la maturation à sec, le salage à sec et les traitements à haute pression ; et parmi les procédés chimiques, la fermentation, le fumage, le saumurage et la marinade. La stimulation électrique appliquée à la viande améliore la tendreté, la couleur, le goût et l'odeur ; elle rend le persillage plus visible, raccourcit la période de maturation et prolonge la durée de conservation (Xiong et al., 2007 ; Xiong et al., 2021 ; Kutay et al., 2024). Les phénomènes tels que la dénaturation, l'hydrolyse ou la gélification des protéines qui résultent des autres procédés influencent l'acceptabilité de la viande par le consommateur. La maturation à sec intensifie l'arôme, la tendreté et la jutosité du bœuf, et favorise la saveur umami du porc. Le salage à sec, en revanche, dégrade la digestibilité du porc et donne une viande dure, ridée et brun foncé. Le traitement à haute pression améliore la digestibilité et la texture de la viande sans perte de nutriments, mais il entraîne un assombrissement de la viande d'agneau. Les alcools, cétones et aldéhydes formés lors de la fermentation de la viande lui confèrent un arôme spécifique. Le fumage améliore les propriétés de couleur, d'arôme et d'odeur, prévient la décoloration et améliore la digestion des acides aminés. Tandis que le saumurage et le salage améliorent le profil textural, la marinade augmente la jutosité et la tendreté (Yu et al., 2022).

### 3.4.2.5. Durée de cuisson

La cuisson est appliquée pour améliorer la sécurité et le goût de la viande. Bien que la cuisson à haute température soit pratiquée depuis longtemps, elle détériore ses propriétés nutritionnelles et organoleptiques : elle provoque des pertes en eau, en vitamines et en lipides. Son effet sur les protéines est variable. Il a été rapporté que la digestibilité des viandes cuites à des températures très élevées devient plus difficile en raison de la formation de liaisons covalentes intra- et intermoléculaires (Yu et al., 2022 ; Kutay et al., 2024). De plus, la cystéine et le tryptophane sont détruits lors du grillage, de la friture et de la rôtisserie, ce qui altère la valeur nutritionnelle.

**Tableau 1. Synthèse des effets des facteurs affectant la qualité de la viande**

| Facteurs de variation   | Aptitude à la transformation | Aptitude à la conservation | Qualité sensorielle | Qualité Nutritionnelle | Qualité Microbiologique |
|---|------------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>Génétique</b>  | ++                           | +                          | +                   | +                      | -                       |
| <b>Sexe</b>   | -                            | -                          | ++                  | +                      | -                       |
| <b>Âge</b>  | ++                           | ++                         | +++                 | +++                    | -                       |
| <b>Alimentation – système d'élevage</b>                         | +                            | ++                         | +++                 | +++                    | +                       |
| <b>Conditions pré-abattage</b>                                  | ++                           | ++                         | -                   | -                      | +                       |
| <b>Conditions d'abattage et de réfrigération de la carcasse</b> | +                            | ++                         | -                   | -                      | ++                      |
| <b>Type de Muscle</b>   | ++                           | ++                         | +                   | +                      | +                       |
| <b>Conditions de stockage</b>                                   | +                            | ++                         |                     |                        | ++                      |
| <b>Castration</b>   | ++                           | ++                         | ++                  | +                      | -                       |
| <b>Culture attelée</b>  | ++                           | ++                         | ++                  | -                      | -                       |
| <b>Stress</b>   | +                            | +                          | +++                 | -                      | -                       |
| <b>Maturation</b>   | +++                          | +++                        | +++                 | +                      | -                       |
| <b>Conditionnement</b>  | +++                          | +++                        | +++                 | -                      | ++                      |

Légende des effets : - : pas d'effet ; + : faible effet ; ++ : effet modéré, +++ : fort effet.

Sources : Adapté de des travaux de Mengistu et al. (2013) ; Tougan et al. (2013a,b) ; Tougan et al. (2016) ; Ewonetu & Ashenafi, (2019) ; Tougan et al. (2019) ; Geletu et al. (2021) ; Mota-Rojas et al., (2021) ; Tougan et al. (2021) ; Clinquart et al., (2022) ; Bai et al. (2023) ; Baik et al. (2023) ; Ye'i et al. (2023) ; Gebisa Beker et al. (2024) ; Hoa et al. (2022) ; Kutay et al. (2024) ; Tougan et al. (2025).

#### IV. CONCLUSION

La viande constitue un nutriment essentiel dans une alimentation équilibrée et saine. De nombreux facteurs influencent sa composition nutritionnelle, sa digestibilité ainsi que d'autres paramètres de qualité. Ces facteurs peuvent être biotiques ou abiotiques, et intervenir avant ou après l'abattage. Étant donné que la qualité de la viande varie en fonction des attentes des consommateurs, elle peut différer selon les individus, les régions ou les pays. En tenant compte du niveau d'acceptation de la viande produite sur le marché, une production conforme aux informations et exigences mentionnées ci-dessus facilitera davantage sa commercialisation..

#### Recomendation

Les facteurs ante mortem et post-mortem de variation de la qualité de la viande décrits dans la présente analyse bibliographique doivent être pris en compte pour améliorer la qualité de la viande bovine, notamment le persillage, la tendreté et la sécurité sanitaire.

#### REFERENCES

- [1] K. D. Adeyemi and A. Q. Sazili, "Improving beef tenderness through electrical stimulation," *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, vol. 27, no. 3, pp. 447–456, 2014.
- [2] R. S. Ahmad, A. Imran, and M. B. Hussain, "Meat science and nutrition," *IntechOpen*, ch. 4, pp. 61–77, 2018, doi: 10.5772/intechopen.77045.
- [3] M. L. Ahnström, M. Seyfert, M. C. Hunt, and D. E. Johnson, "Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour," *Meat Sci.*, vol. 73, pp. 674–679, 2006, doi: 10.1016/j.meatsci.2006.03.016.
- [4] M. I. Aksu, M. Kaya, and H. W. Ockerman, "Effect of modified atmosphere packaging and temperature on the shelf life of sliced pastirma produced from frozen/thawed meat," *J. Muscle Foods*, vol. 16, pp. 192–206, 2005, doi: 10.1111/j.1745-4573.2005.00015.x.
- [5] FAOSTAT, "Crops and livestock products," 2023a. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- [6] FAOSTAT, "Food balances data," 2023b. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- [7] T. Atışlı Karaduman, "Kuru olgunlaştırma yönteminin taze sığır etlerinin fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklerine etkisi," M.S. thesis, Pamukkale Univ., 2018.
- [8] X. Bai *et al.*, "Age-specific effect on endogenous oxidative and antioxidative characteristics of longissimus thoracis muscle of yak during early postmortem period," *Food Chem.*, vol. 334, p. 131829, 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131829.
- [9] X. Bai *et al.*, "Effect of slaughter age and postmortem aging time on tenderness and water-holding capacity of yak (*Bos grunniens*) longissimus thoracis muscle," *Meat Sci.*, vol. 202, p. 109201, 2023, doi: 10.1016/j.meatsci.2023.109201.
- [10] M. Baik, J. Lee, S. Y. Kim, and K. K. T. N. Ranaweera, "Factors affecting beef quality and nutrigenomics of intramuscular adipose tissue deposition," *Anim. Biosci.*, vol. 36, no. 2, pp. 350–363, 2023.
- [11] F. H. Barido, C. W. Lee, Y. S. Park, D. Y. Kim, and S. K. Lee, "The effect of a finishing diet supplemented with  $\gamma$ -aminobutyric acids on carcass characteristics and meat quality of Hanwoo steers," *Anim. Biosci.*, vol. 34, pp. 621–632, 2021.
- [12] A. E. D. Bekhit and C. Faustman, "Metmyoglobin reducing activity," *Meat Sci.*, vol. 71, pp. 407–439, 2005, doi: 10.1016/j.meatsci.2005.03.003.
- [13] J. Berger, Y. H. B. Kim, J. F. Legako, *et al.*, "Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins," *Meat Sci.*, vol. 145, pp. 285–291, 2018, doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.008.

- [14] H. L. Bruce, A. Khaliq, J. Puente, S. Samanta, and B. C. Roy, "Influence of Canadian beef quality grade and method of intramuscular connective tissue isolation on collagen characteristics of the bovine longissimus thoracis," *Meat Sci.*, vol. 191, p. 108848, 2022, doi: 10.1016/j.meatsci.2022.108848.
- [15] A. Clinquart, M. P. Ellies-Oury, J. F. Hocquette, L. Guillier, V. Santé-Lhoutellier, and S. Prache, "On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality," *Anim.*, vol. 16, suppl. 1, p. 100426, 2022, doi: 10.1016/j.animal.2021.100426.
- [16] Y. Çobanbaşı and B. Teke, "Effects of feeding practices on animal performance," *Kocatepe Vet. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 239–250, 2022.
- [17] B. Çolak and B. Teke, "Evaluation of environmental effects on animal production," *J. Anatolian Environ. Anim. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 367–373, 2022.
- [18] D. Dashdorj, T. Amna, and I. Hwang, "Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: An overview," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 241, pp. 157–171, 2015, doi: 10.1007/s00217-015-2443-3.
- [19] C. L. Delgado, "Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution," *Int. Food Policy Res. Inst.*, 2003.
- [20] M. E. Dikeman, E. Obuz, V. Gök, L. Akkaya, and S. Stroda, "Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef longissimus lumborum steaks," *Meat Sci.*, vol. 94, pp. 228–233, 2013, doi: 10.1016/j.meatsci.2013.02.015.
- [21] T. T. N. Dinh, "Meat quality: Understanding of meat tenderness and influence of fat content on meat flavor," *J. Sci. Technol. Dev.*, vol. 12, pp. 65–70, 2006.
- [22] M. Durmuş, K. Kurşun, İ. Polat Açıık, M. Tufan, H. Kutay, H. Benli, M. Baylan, and H. R. Kutlu, "The effects of rearing conditions on poultry meat quality," *Poult. Sci.*, vol. 102, no. 7, pp. 1–9, 2023.
- [23] P. French, E. G. O'Riordan, F. J. Monahan, *et al.*, "The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates," *Meat Sci.*, vol. 57, pp. 379–386, 2001, doi: 10.1016/S0309-1740(00)00115-7.
- [24] Y. Geay, D. Bauchart, J.-F. Hocquette, and J. Culioli, "Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants: Incidence de l'alimentation des animaux," *INRA Prod. Anim.*, vol. 15, pp. 37–52, 2002.
- [25] U. S. Geletu, M. A. Usmael, Y. Y. Mammed, and A. M. Ibrahim, "A review on meat quality determinants," *Vet. Med. Int.*, pp. 1–9, 2021.
- [26] U. S. Geletu, M. A. Usmael, Y. Y. Mammed, and A. M. Ibrahim, "Quality of cattle meat and its compositional constituents," *Vet. Med. Int.*, vol. 2021, p. 7340495, 2021, doi: 10.1155/2021/7340495.
- [27] I. Gomez, R. Janardhanan, F. C. Ibanez, and M. J. Beriain, "Meat processing: Effect on quality and safety," *Foods*, vol. 9, no. 10, p. 1416, 2020.
- [28] N. Hall, H. Schönfeldt, and B. Pretorius, "Fatty acids in beef from grain- and grass-fed cattle: The unique South African scenario," *S. Afr. J. Clin. Nutr.*, vol. 29, no. 2, pp. 55–62, 2016, doi: 10.1080/16070658.2016.1216359.
- [29] V. B. Hoa, D. H. Song, K. H. Seol, *et al.*, "Half-castration is a newly effective method for increasing yield and tenderness of male cattle meat," *Anim. Biosci.*, vol. 35, pp. 1258–1269, 2022, doi: 10.5713/ab.21.0536.
- [30] J. R. Hoffman and M. J. Falvo, "Protein—Which is best?," *J. Sports Sci. Med.*, vol. 3, no. 3, pp. 118–130, 2004.
- [31] D. L. Hopkins, "The eating quality of meat," in *Lawrie's Meat Science*, 8th ed., F. Toldrá, Ed. Woodhead Publishing, 2017, pp. 357–381, doi: 10.1016/B978-0-08-100694-8.00012-1.

- [32] M. Humada, C. Sanudo, and E. Serrano, "Influence of production systems on beef quality," *Meat Sci.*, vol. 96, pp. 908–915, 2014.
- [33] ISO, *Quality management systems: Fundamentals and vocabulary*. ISO, 2000.
- [34] S. T. Joo, G. D. Kim, Y. H. Hwang, and Y. C. Ryu, "Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics," *Meat Sci.*, vol. 95, no. 4, pp. 828–836, 2013, doi: 10.1016/j.meatsci.2013.04.044.
- [35] S.-T. Joo, E.-Y. Lee, Y.-M. Son, M. J. Hossain, C.-J. Kim, S.-H. Kim, and Y.-H. Hwang, "Aging mechanism for improving the tenderness and taste characteristics of meat," *J. Anim. Sci. Technol.*, vol. 65, no. 6, pp. 1151–1168, 2023, doi: 10.5187/jast.2023.e110.
- [36] M. Juárez, N. Aldai, Ó. López-Campos, M. E. R. Dugan, B. Uttaro, J. L. Aalhus, and Y. H. Hui, "Beef texture and juiciness," in *Handbook of Meat and Meat Processing*, 2nd ed., CRC Press, 2012.
- [37] C. Jurie, I. Ortigues-Marty, B. Picard, D. Micol, and J.-F. Hocquette, "The separate effect of the nature of diet and grazing mobility on metabolic potential of muscles from Charolais steer," *Livest. Sci.*, vol. 104, pp. 182–192, 2006, doi: 10.1016/j.livsci.2006.05.009.
- [38] G. Kandeepan, *et al.*, "Effect of age and gender on the processing characteristics of buffalo meat," *Meat Sci.*, vol. 83, no. 1, pp. 10–14, 2009.
- [39] H. J. Kang, J. Lee, S. J. Park, *et al.*, "Effects of cold temperature and fat supplementation on growth performance and rumen and blood parameters in early fattening stage of Korean cattle steers," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 269, p. 114624, 2020, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114624.
- [40] M. G. Keane and P. Allen, "Effects of production systems on beef quality," *Livest. Prod. Sci.*, vol. 56, pp. 203–214, 1998.
- [41] M. Y. Khan and S. Saxena, *Biomolecules: Introduction, structure and function*. Dept. of Biotechnol., B.B. Ambedkar Univ., Lucknow, India, 2006.
- [42] S. Kilic, E. Oz, and F. Oz, "Effect of turmeric on the reduction of heterocyclic aromatic amines and quality of chicken meatballs," *Food Control*, vol. 128, p. 108189, 2021, doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108189.
- [43] Y. H. B. Kim, R. Kemp, and L. M. Samuelsson, "Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins," *Meat Sci.*, vol. 111, pp. 168–176, 2016, doi: 10.1016/j.meatsci.2015.08.012.
- [44] M. Kouvari, S. Tyrovolas, and B. D. Panagiotakos, "Red meat consumption and cardiovascular risk: A systematic review," *Maturitas*, vol. 84, pp. 17–24, 2016.
- [45] H. Kutay, Z. Şahan, İ. P. Açık, and M. Durmuş, "Factors affecting meat quality in farm animals," *BIO Web Conf.*, vol. 85, p. 01066, 2024, doi: 10.1051/bioconf/20248501066.
- [46] P. W. R. Lemon, *Nutrition and sports performance*, p. 22, 1992.
- [47] D. D. Ma et Y. H. B. Kim, "Proteolytic changes of myofibrillar and small heat shock proteins in different bovine muscles during aging: Their relevance to tenderness and water-holding capacity," *Meat Science*, vol. 163, p. 108090, May 2020, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108090.
- [49] M. Durmuş, K. Kurşun, İ. Polat Açık, M. Tufan, H. Kutay, H. Benli, M. Baylan, and H. R. Kutlu, "The effects of rearing conditions on poultry meat quality," *Poult. Sci.*, vol. 102, no. 7, pp. 1–9, 2023.
- [50] M. Humada, C. Sanudo, and E. Serrano, "Influence of production systems on beef quality," *Meat Sci.*, vol. 96, pp. 908–915, 2014.

- [51] S. T. Joo, G. D. Kim, Y. H. Hwang, and Y. C. Ryu, "Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics," *Meat Sci.*, vol. 95, no. 4, pp. 828–836, 2013, doi: 10.1016/j.meatsci.2013.04.044.
- [52] S.-T. Joo, E.-Y. Lee, Y.-M. Son, M. J. Hossain, C.-J. Kim, S.-H. Kim, and Y.-H. Hwang, "Aging mechanism for improving the tenderness and taste characteristics of meat," *J. Anim. Sci. Technol.*, vol. 65, no. 6, pp. 1151–1168, 2023, doi: 10.5187/jast.2023.e110.
- [53] M. Juárez, N. Aldai, Ó. López-Campos, M. E. R. Dugan, B. Uttaro, J. L. Aalhus, and Y. H. Hui, "Beef texture and juiciness," in *Handbook of Meat and Meat Processing*, 2nd ed., CRC Press, 2012.
- [54] C. Jurie, I. Ortigues-Marty, B. Picard, D. Micol, and J.-F. Hocquette, "The separate effect of the nature of diet and grazing mobility on metabolic potential of muscles from Charolais steer," *Livest. Sci.*, vol. 104, pp. 182–192, 2006, doi: 10.1016/j.livsci.2006.05.009.
- [55] G. Kandeepan *et al.*, "Effect of age and gender on the processing characteristics of buffalo meat," *Meat Sci.*, vol. 83, no. 1, pp. 10–14, 2009.
- [56] H. J. Kang, J. Lee, S. J. Park, *et al.*, "Effects of cold temperature and fat supplementation on growth performance and rumen and blood parameters in early fattening stage of Korean cattle steers," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 269, p. 114624, 2020, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114624.
- [57] M. G. Keane and P. Allen, "Effects of production systems on beef quality," *Livest. Prod. Sci.*, vol. 56, pp. 203–214, 1998.
- [58] M. Y. Khan and S. Saxena, *Biomolecules: Introduction, structure and function*, Dept. of Biotechnol., B.B. Ambedkar Univ., Lucknow, India, 2006.
- [59] S. Kilic, E. Oz, and F. Oz, "Effect of turmeric on the reduction of heterocyclic aromatic amines and quality of chicken meatballs," *Food Control*, vol. 128, p. 108189, 2021, doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108189.
- [60] Y. H. B. Kim, R. Kemp, and L. M. Samuelsson, "Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins," *Meat Sci.*, vol. 111, pp. 168–176, 2016, doi: 10.1016/j.meatsci.2015.08.012.
- [61] M. Kouvari, S. Tyrovolas, and B. D. Panagiotakos, "Red meat consumption and cardiovascular risk: A systematic review," *Maturitas*, vol. 84, pp. 17–24, 2016.
- [62] H. Kutay, Z. Şahan, İ. P. Açıık, and M. Durmuş, "Factors affecting meat quality in farm animals," *BIO Web Conf.*, vol. 85, p. 01066, 2024, doi: 10.1051/bioconf/20248501066.
- [63] P. W. R. Lemon, *Nutrition and sports performance*, p. 22, 1992.
- [64] D. Ma *et al.*, "Proteolytic changes of myofibrillar and small heat shock proteins in different bovine muscles during aging: Their relevance to tenderness and water-holding capacity," *Meat Sci.*, vol. 163, p. 108090, 2020.
- [65] A. Aksu, M. Kaya, and H. W. Ockerman, "Effect of modified atmosphere packaging and temperature on the shelf life of sliced pastirma produced from frozen/thawed meat," *J. Muscle Foods*, vol. 16, pp. 192–206, 2005, doi: 10.1111/j.1745-4573.2005.00015.x.
- [66] X. Bai *et al.*, "Effect of slaughter age and postmortem aging time on tenderness and water-holding capacity of yak (*Bos grunniens*) longissimus thoracis muscle," *Meat Sci.*, vol. 202, p. 109201, 2023, doi: 10.1016/j.meatsci.2023.109201.
- [67] M. Baik, J. Lee, S. Y. Kim, and K. K. T. N. Ranaweera, "Factors affecting beef quality and nutrigenomics of intramuscular adipose tissue deposition," *Anim. Biosci.*, vol. 36, no. 2, pp. 350–363, 2023.
- [68] F. H. Barido, C. W. Lee, Y. S. Park, D. Y. Kim, and S. K. Lee, "The effect of a finishing diet supplemented with  $\gamma$ -aminobutyric acids on carcass characteristics and meat quality of Hanwoo steers," *Anim. Biosci.*, vol. 34, pp. 621–632, 2021.

- [69] A. E. D. Bekhit and C. Faustman, "Metmyoglobin reducing activity," *Meat Sci.*, vol. 71, pp. 407–439, 2005, doi: 10.1016/j.meatsci.2005.03.003.
- [70] J. Berger, Y. H. B. Kim, J. F. Legako, *et al.*, "Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins," *Meat Sci.*, vol. 145, pp. 285–291, 2018, doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.008.
- [71] H. L. Bruce, A. Khaliq, J. Puente, S. Samanta, and B. C. Roy, "Influence of Canadian beef quality grade and method of intramuscular connective tissue isolation on collagen characteristics of the bovine longissimus thoracis," *Meat Sci.*, vol. 191, p. 108848, 2022, doi: 10.1016/j.meatsci.2022.108848.
- [72] A. Clinquart, M. P. Ellies-Oury, J. F. Hocquette, L. Guillier, V. Santé-Lhoutellier, and S. Prache, "On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality," *Anim.*, vol. 16, suppl. 1, p. 100426, 2022, doi: 10.1016/j.animal.2021.100426.
- [73] Y. Çobanbaşı and B. Teke, "Effects of feeding practices on animal performance," *Kocatepe Vet. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 239–250, 2022.
- [74] B. Çolak and B. Teke, "Evaluation of environmental effects on animal production," *J. Anatolian Environ. Anim. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 367–373, 2022.
- [75] D. Dashdorj, T. Amna, and I. Hwang, "Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: An overview," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 241, pp. 157–171, 2015, doi: 10.1007/s00217-015-2443-3.
- [76] C. L. Delgado, "Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution," *Int. Food Policy Res. Inst.*, 2003.
- [77] M. E. Dikeman, E. Obuz, V. Gök, L. Akkaya, and S. Stroda, "Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef longissimus lumborum steaks," *Meat Sci.*, vol. 94, pp. 228–233, 2013, doi: 10.1016/j.meatsci.2013.02.015.
- [78] T. T. N. Dinh, "Meat quality: Understanding of meat tenderness and influence of fat content on meat flavor," *J. Sci. Technol. Dev.*, vol. 12, pp. 65–70, 2006.
- [79] ISO, *Quality management systems: Fundamentals and vocabulary*, ISO, 2000.
- [80] J. S. T. Joo, G. D. Kim, Y. H. Hwang, and Y. C. Ryu, "Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics," *Meat Sci.*, vol. 95, no. 4, pp. 828–836, 2013, doi: 10.1016/j.meatsci.2013.04.044.
- [81] D. D. Micol, C. C. Jurie, et J.-F. Hocquette, *Qualités sensorielles de la viande bovine : Impacts des facteurs d'élevage*. Editions Quae, 2010.
- [82] A. P. Moloney, R. J. Fallon, M. T. Mooney, et D. J. Troy, "Effect of diet on meat quality," *Livestock Production Science*, vol. 87, pp. 271–276, 2004.
- [83] T. Nishimura, M. R. Rhue, A. Okitani, et H. Kato, "Components contributing to the improvement of meat taste during storage," *Agric. Biol. Chem.*, vol. 52, pp. 2323–2330, 1988, doi: 10.1080/00021369.1988.10869036.
- [84] E. Obuz, L. Akkaya, V. Gök, et M. E. Dikeman, "Effects of blade tenderization, aging method and aging time on meat quality characteristics of longissimus lumborum steaks from cull Holstein cows," *Meat Sci.*, vol. 96, pp. 1227–1232, 2014, doi: 10.1016/j.meatsci.2013.11.018.
- [85] O. Olaoye, "Meat: An overview of its composition, biochemical changes and associated microbial agents," *Int. Food Res. J.*, vol. 18, no. 3, pp. 877–885, 2011.

- [86] M. P. Oury, B. Picard, M. Briand, J. P. Blanquet, et R. Dumont, "Interrelationships between meat quality traits, texture measurements and physicochemical characteristics of M. Rectus abdominis from Charolais heifers," *Meat Sci.*, vol. 83, pp. 293–301, 2009, doi: 10.1016/j.meatsci.2009.06.016.
- [87] E. Oz, *Kas tipinin pastırmanın proteolitik değişimleri ve bazı kalitatif özelliklerine etkisi* (Thèse de doctorat, Atatürk Üniversitesi, 2018).
- [88] E. Oz, E. Aoudeh, M. Murkovic, et al., "Heterocyclic aromatic amines in meat: Formation mechanisms, toxicological implications, occurrence, risk evaluation, and analytical methods," *Meat Sci.*, vol. 205, p. 109312, 2023, doi: 10.1016/j.meatsci.2023.109312.
- [89] D. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [90] M. Y. Piao et M. Baik, "Seasonal variation in carcass characteristics of Korean cattle steers," *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, vol. 28, pp. 442–450, 2015, doi: 10.5713/ajas.14.0650.
- [91] B. Picard, J. Robelin, et Y. Geay, "Influence of castration and postnatal energy restriction on the contractile and metabolic characteristics of bovine muscle," *Ann. Zootech.*, vol. 44, pp. 347–357, 1995.
- [92] R. J. Polkinghorne *et al.*, "Meat standards and grading: A world view," *Meat Sci.*, vol. 86, pp. 227–235, 2010.
- [93] N. Prieto, E. A. Navajas, R. I. Richardson, D. W. Ross, J. J. Hyslop, G. Simm, et R. Roehe, "Predicting beef cuts composition, fatty acids and meat quality characteristics by spiral computed tomography," *Meat Sci.*, vol. 86, pp. 770–779, 2010.
- [94] A. Priolo, D. Micol, et J. Agabriel, "Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review," *Anim. Res.*, vol. 50, pp. 185–200, 2001.
- [95] F. A. Ribeiro, S. K. Lau, R. A. Furbeck, et al., "Ultimate pH effects on dry-aged beef quality," *Meat Sci.*, vol. 172, p. 108365, 2021, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108365.
- [96] J. R. Richardson, *Effect of refrigerated storage on meat quality* (Master's thesis, Clemson Univ., Food, Nutrition and Culinary Sci., USA, 2021).
- [97] K. Romejko, A. Rymarz, H. Sadownik, et S. Niemczyk, "Nutrition and metabolism in meat consumers," *Nutrients*, vol. 14, no. 16, pp. 34–38, 2022.
- [98] A. C. Rustan et C. A. Drevon, "Fatty acids: Structures and properties," dans *Encyclopedia of life sciences*, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [99] A. Savas, E. Oz, Z. Elbir, et F. Oz, "Effect of dry aging on quality parameters, protein profile and protein oxidation level of beef," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 59, pp. 7598–7609, 2024, doi: 10.1111/ijfs.17540.
- [100] N. N. Shahrai, A. S. Babji, M. Y. Maskat, A. F. Razali, et S. M. Yusop, "Effects of marbling on physical and sensory characteristics of ribeye steaks from four different cattle breeds," *Anim. Biosci.*, vol. 34, pp. 904–913, 2021, doi: 10.5713/ajas.20.0201.
- [101] G. I. Smith, J. Yoshino, D. N. Reeds, D. Bradley, R. E. Burrows, H. D. Heisey, A. C. Moseley, et B. Mittendorfer, "Influence of age and sex on protein metabolism," *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, vol. 99, pp. 256–265, 2014.
- [102] S. Ö. Soycan et M. Özdoğan, "Stress factors affecting meat quality," *J. Anim. Prod.*, vol. 63, pp. 67–74, 2022.
- [103] R. V. J. Steen et A. Robson, "Effects of feeding systems on beef quality," *J. Agric. Sci.*, vol. 125, pp. 125–135, 1995.

- [104] A. Suleimenova, *Biochemical and sensory profile of meat from dairy and beef cattle* (Master's thesis, Itä-Suomen Yliopisto, Kuopio, Finlande, 2016).
- [105] F. Toldrá et Y. Hui, *Meat: Chemistry and biochemistry*, CRC Press, 2006.
- [106] M. J. Toth, E. T. Poehlman, D. E. Matthews, A. Tchernofo, et M. J. MacCoss, "Protein metabolism in humans," *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.*, vol. 280, pp. E496–E501, 2001.
- [107] P. U. Tougan *et al.*, "Influence of feed withdrawal length on carcass traits and technological quality of indigenous chicken meat reared under traditional system in Benin," *J. World's Poult. Res.*, vol. 6, pp. 37–47, 2016.
- [108] P. U. Tougan, F. Hongbete, A. Konate, T. Souho, R. A. R. Assa, A. I. Domingo, Y. Beckers, M. Sindic, et A. Thewis, "Color (CIE L\*, a\*, b\*), nutritional and sensory characterization of artisanal 'Wagashi' cheese processed from Borgou and Azawak cow milks in Benin," *Int. J. Food Sci. Agric.*, vol. 3, no. 5, pp. 1–18, 2021.
- [109] P. U. Tougan, A.-R. Tokou, M. Le Cornec, et A. Thewis, "Technological quality and proximate composition of ostrich meat (*Struthio camelus australis*) reared in captivity on natural pasture in North Benin," *Int. J. Food Sci. Agric.*, vol. 9, no. 2, pp. 42–48, 2025.
- [110] U. P. Tougan, R. B. Aholou, E. Yayi-Ladekan, P. F. Tchobo, A. Akouegninou, C. Hanzen, et G. B. Koutinhoun, "Qualité technologique et nutritionnelle de la viande des lapins nourris avec des rations contenant des feuilles de *Cissus populnea* et *Synedrella nodiflora* et corrélations," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 13, no. 3, pp. 1747–1761, 2019, doi: 10.4314/ijbcs.v13i3.36.
- [111] U. P. Tougan, M. Dahouda, C. F. A. Salifou, G. S. Ahounou, T. M. Kpodekon, G. A. Mensah, A. Thewis, et A. K. I. Youssao, "Conversion of chicken muscle to meat and factors affecting chicken meat quality: A review," *Int. J. Adv. Agric. Res.*, vol. 3, no. 8, pp. 1–20, 2013.
- [112] P. U. Tougan, M. Dahouda, C. F. A. Salifou, G. S. Ahounou, T. M. Kpodekon, G. A. Mensah, N. F. D. Kossou, C. Amenou, E. C. Kogbeto, G. Lognay, A. Thewis, et A. K. I. Youssao, "Nutritional quality of meat of local poultry population of *Gallus gallus* species of Benin," *J. Anim. Plant Sci.*, vol. 19, no. 2, pp. 2908–2922, 2013.
- [113] A. H. Varnam et J. P. Sutherland, *Meat and meat products: Technology, chemistry, and microbiology*. Chapman and Hall, 1995.
- [114] F. Vieux, D. Remond, J. L. Peyraud, et N. Darmon, "Contribution of meat to human nutrition," *J. Nutr.*, vol. 152, pp. 2514–2525, 2022.
- [115] I. Gomez, R. Janardhanan, F. C. Ibanez, et M. J. Beriain, "Meat processing: Effect on quality and safety," *Foods*, vol. 9, no. 10, p. 1416, 2020.
- [116] X. Wang, T. Zhang, Y. Yang, L. Liu, T. Tian, D. Zhu, M. Ma, et S. Xie, "Temperature effects on meat storage," *Food Sci. Technol., Campinas*, vol. 43, p. e100522, 2023.
- [117] L. H. P. Silva, D. E. F. Assis, M. M. Estrada, G. J. F. Assis, G. D. R. Zamudio, G. B. Carneiro, S. C. Valadares Filho, M. F. Paulino, et M. L. Chizzotti, "Carcass and meat quality traits of Nellore young bulls and steers throughout fattening," *Livestock Science*, vol. 229, pp. 28–36, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.livsci.2019.09.012.
- [118] G. I. Smith, J. Yoshino, D. N. Reeds, D. Bradley, R. E. Burrows, H. D. Heisey, A. C. Moseley, et B. Mittendorfer, "Influence of age and sex on protein metabolism," *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, vol. 99, pp. 256–265, 2014.
- [119] J. D. Wood, M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes, et F. M. Whittington, "Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review," *Meat Sci.*, vol. 78, pp. 343–358, 2007, doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.019.

- [120] L. Xiong, J. Pei, M. Chu, X. Wu, Q. Kalwar, P. Yan, et X. Gu, "Genetic influences on carcass traits," *Animals*, vol. 11, no. 7, p. 2142, 2021.
- [121] Y. L. Xiong, O. E. Mullins, J. F. Stika, J. Chen, S. P. Blanchard, et W. Moody, "Postmortem proteolysis and beef quality," *Meat Sci.*, vol. 77, pp. 105–113, 2007.
- [122] L. Xu, S. Liu, Y. Cheng, et H. Qian, "The effect of aging on beef taste, aroma and texture, and the role of microorganisms: A review," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 63, pp. 2129–2140, 2023, doi: 10.1080/10408398.2021.1970930.
- [123] S. Xue, D. Setyabrata, C. C. Bonham, et Y. H. B. Kim, "Evaluation of functional and chemical properties of crust from dry-aged beef loins as a novel food ingredient," *Meat Sci.*, vol. 173, p. 108403, 2021, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108403.
- [124] H. Yu, S. Zhang, X. Liu, Y. Lei, M. Wei, Y. Liu, X. Yang, P. Xie, et B. Sun, "Microbial changes during meat storage," *Front. Microbiol.*, vol. 13, p. 1091486, 2022.
- [125] Y. Yu, J. Qiu, J. Cao, et al., "Effects of prolonged photoperiod on growth performance, serum lipids and meat quality of Jinjiang cattle in winter," *Anim. Biosci.*, vol. 34, pp. 1569–1577, 2021.
- [126] R. Zhang, M. J. Yoo, et M. M. Farouk, "Oxidative stability, proteolysis, and in vitro digestibility of fresh and long-term frozen stored in-bag dry-aged lean beef," *Food Chem.*, vol. 344, p. 128601, 2021, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128601.