

Évolutions conceptuelles et méthodologiques pour évaluer et prédire la qualité sensorielle de la viande bovine

Moïse KOMBOLO NGAH¹, Isabelle LEGRAND², Jean-François HOCQUETTE¹

¹Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

²Institut de l'Élevage, service Qualité des carcasses et des viandes, MRA-Nouvelle Aquitaine, boulevard des Arcades, 87060, Limoges, France

Courriel : jean-francois.hocquette@inrae.fr

■ Malgré les connaissances en biologie musculaire relatives à la qualité des viandes, les systèmes de classement des carcasses et des viandes bovines restent peu élaborés et ne permettent pas une prédiction fiable de la qualité sensorielle, à l'exception du système « *Meat Standards Australia* ». Divers outils (spectromètre, caméra...) ont le potentiel d'être utilisés à l'abattoir pour mesurer certains critères pris en compte dans ce système, par exemple le taux de persillé.

Introduction

La consommation de viande bovine continue de croître globalement (Font-i-Furnols, 2023) que ce soit en quantité totale ou par habitant, principalement dans les pays en voie de développement. Les pays développés connaissent en effet une régression de la consommation de viande par habitant depuis les années 1980 (Hocquette & Chatellier, 2011) car de nouvelles préoccupations ont émergé concernant le bien-être animal et la protection de l'environnement. Ceci a conduit les sociologues à parler de qualités extrinsèques (liées à la façon de produire) qui se rajoutent aux qualités dites intrinsèques (directement liées aux caractéristiques du produit) incluant les qualités sanitaires, nutritionnelles et sensorielles (Font-i-Furnols, 2023 ; Prache *et al.*, 2023).

De tous ces enjeux auxquels la filière viande devrait faire face, la qualité

sensorielle reste primordiale car la satisfaction des consommateurs lors de la dégustation est un objectif majeur. De récentes enquêtes dans plusieurs pays ont en effet clairement mis en évidence que le prix et la qualité en bouche des viandes sont deux critères majeurs après la sécurité sanitaire considérée comme un prérequis (Liu *et al.*, 2023). Or, la viande bovine se caractérise par une forte variabilité sensorielle souvent non maîtrisée qui génère une insatisfaction des consommateurs. Divers facteurs de la ferme à l'assiette tels que le type d'animal, le niveau de stress, le type de muscle, la maturation, la cuisson, parmi les plus importants, ont une influence sur la qualité de la viande (Liu *et al.*, 2022). Au niveau européen, un système de prédiction de qualité sensorielle fiable serait bien accueilli par les consommateurs (Verbeke *et al.*, 2010) notamment français (Ellies-Oury *et al.*, 2018, 2019). La disposition à payer (DAP) pour une viande ayant des caractéristiques identifiables (persillé,

tendreté, ou flaveur) est supérieure à celle d'un produit équivalent sans indication de ces caractéristiques (Cicia & Colantuoni, 2010).

Le premier objectif des systèmes de description des carcasses était de faciliter le commerce en décrivant des attributs ayant une importance commerciale (Polkinghorne & Thompson, 2010). Ils étaient centrés sur le rendement en viande sans prendre en compte les attentes gustatives des consommateurs. Des décennies plus tard, certains pays ont commencé à considérer des critères liés à la qualité sensorielle, comme le persillé, pour les incorporer dans leurs systèmes de classification leur permettant ainsi de se rapprocher de ces attentes. Dans le cadre des États généraux de l'alimentation (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2017), le plan de la filière viande bovine française prévoit d'augmenter la part de produits sous signes officiels de qualité

(par exemple, Label Rouge, Agriculture biologique) et d'intégrer des exigences organoleptiques minimales dans les cahiers des charges (Interbev, 2017). De plus, avec les lois EGalim et Climat & résilience, les pouvoirs publics soutiennent les productions durables et de qualité pour notamment améliorer le système alimentaire en restauration collective.

Le système de classification développé en Australie, le MSA (*Meat Standards Australia*) est maintenant globalement reconnu pour sa capacité à prédire la qualité gustative de la viande bovine grâce à une approche globale de la ferme à l'assiette. L'originalité de ce système est d'être basé non pas directement sur des indicateurs de la biologie musculaire avant et après abattage, mais sur les facteurs qui régulent ces indicateurs tels que les caractéristiques des animaux et de leurs carcasses, et les conditions d'abattage, de maturation et même de cuisson. Plus récemment, une fondation internationale a été mise en place afin de faire avancer la recherche collaborative sur ce sujet : l'*International Meat 3G Foundation* (Hocquette *et al.*, 2020).

Un enjeu majeur concerne également l'évaluation des critères de qualité souvent réalisée visuellement. Plusieurs technologies ont donc connu un intérêt croissant pour la mesure instrumentale et automatisée de ces critères. Il faut également que ces technologies s'adaptent à la réalité des chaînes de production tout en étant faciles d'utilisation, non invasives et peu onéreuses.

Pour comprendre et illustrer les travaux récemment conduits sur la prédiction de la qualité en bouche de la viande bovine (tendreté, flaveur, jutosité, appréciation globale) en utilisant les modèles MSA et 3G, cette revue bibliographique abordera successivement la gestion actuelle de la qualité en bouche de la viande bovine en Europe et en particulier en France (partie 1), les grandes lignes de la biologie du muscle avant et après abattage (partie 2), et les méthodes de classement des carcasses et des viandes en Europe et dans le monde (partie 3). Ainsi, cet article

permettra d'appréhender dans quelle mesure les connaissances acquises pendant des décennies de recherche sur la biologie musculaire avant et après abattage ont été prises en compte dans les systèmes de classement des carcasses et des viandes et dans la prédiction de leur qualité.

1. Gestion actuelle de la qualité de la viande bovine

La gestion de la qualité en bouche des viandes bovines suppose au préalable un consensus sur la définition des critères de qualité sensorielle (§ 1.1). Par ailleurs, différentes méthodes existent pour les mesurer, que ce soit directement par analyse sensorielle avec des experts ou des consommateurs non entraînés ou encore par des méthodes indirectes (comme les mesures mécaniques telle que la force de cisaillement pour la tendreté). Ces mesures ne seront pas décrites ici de façon exhaustive mais indiquées quand elles sont utilisées pour la gestion actuelle de la qualité (§ 1.2) ou dans différents systèmes de classement (partie 3).

■ 1.1. Qualité en bouche des viandes

a. Jutosité

La jutosité représente le caractère plus ou moins juteux de la viande lors de la consommation (Micol *et al.*, 2010). La jutosité se décompose en jutosité initiale qui est celle perçue au premier coup de dent et la jutosité soutenue qui persiste au-delà. La jutosité initiale est liée à la quantité d'eau présente et libérée lors de la mastication tandis que la jutosité soutenue est en relation avec la teneur en lipides de la viande. La jutosité initiale dépend ainsi fortement de la capacité de rétention d'eau du muscle. Le pH est également déterminant pour la jutosité de la viande. À pH très bas (< 5,4) ou à chute très rapide de pH, la viande a tendance à perdre son eau (viande exsudative) et donc à être sèche en bouche. À pH élevé (> 5,8 environ), la viande a une bonne rétention d'eau et présente une jutosité supérieure (Monin, 1991), mais c'est un défaut

de qualité de la viande bovine, car la viande est dite « à coupe sombre » et se conserve moins longtemps.

b. Flaveur

La flaveur (combinaison du goût et de l'odeur perçue par voie rétronasale) est le résultat des sensations olfactives, gustatives et trigéminales (sensation de douleur, de picotement ou de brûlure) perçues une fois le produit en bouche. Le nez interne perçoit les arômes ou composés volatils de faible poids moléculaire stimulant les récepteurs de l'épithélium nasal. La langue et les muqueuses buccales détectent les *stimuli* gustatifs (saveurs) et les *stimuli* irritants (piquant, froid, chaud...). Le goût provient généralement de substances solubles dans l'eau et d'un poids moléculaire plus élevé que les composés volatils (Micol *et al.*, 2010).

La viande crue a une flaveur peu prononcée. La cuisson agit sur les précurseurs d'arômes formés pendant la maturation pour développer la flaveur caractéristique des différentes viandes. Le chauffage induit par la cuisson est responsable de deux grands types de réactions qui vont libérer les composés aromatiques responsables de la flaveur. La première réaction est la réaction de Maillard entre les acides aminés et les sucres. La deuxième réaction est la dégradation des lipides (composés de triglycérides et de phospholipides). C'est cette dégradation qui conduit à une large gamme de composés aromatiques. C'est donc de cette manière que la quantité et la nature des lipides, qui sont variables selon le type d'animal et sa conduite d'élevage, peuvent impacter l'appréciation de la flaveur des viandes (Micol *et al.*, 2010 ; Kerth & Miller, 2015). La flaveur varie d'un muscle à l'autre et dépend également du type métabolique du muscle. Le déterminisme exact de la flaveur demeure encore complexe en raison d'un grand nombre de composés impliqués (Kerth & Miller, 2015).

c. Tendreté

La tendreté de la viande est définie comme une somme de sensations perçues lors de la mastication. Elle dépend des caractéristiques du collagène et des fibres musculaires. En France, au niveau professionnel, la tendreté de la

viande bovine ne fait pas l'objet d'une prise en compte dans les classements sauf en vente en libre-service pour les morceaux à griller ou à rôti au travers du système d'étoiles mis en place par l'interprofession (Ministère de l'Économie, 2014 ; Sans & Legrand, 2018). Ce système est principalement basé sur la destination culinaire, la connaissance du type de muscle associée à la position intramusculaire, et le degré d'élaboration (parage, épluchage, affranchi) en lien avec le niveau de qualité attendu.

Comme démontré par plusieurs enquêtes, la tendreté de la viande est un critère très important pour les consommateurs. Mais, avec la flaveur, c'est aussi l'un des critères de qualité le plus variable et aussi le plus difficile à maîtriser ou à prédire (Geay *et al.*, 2001). La tendreté est souvent décevante et ceci constitue un problème pour la filière bovine qui est confrontée à la concurrence des viandes blanches offrant un rapport qualité/prix plus attractif pour les consommateurs.

Les animaux les mieux conformés et ceux de type culard offrent une proportion de viande à cuisson rapide plus élevée. À poids de carcasse égal, les muscles de l'arrière (à cuisson rapide pour la très grande majorité) sont plus développés chez ces animaux. Les animaux de race allaitante sont généralement mieux conformés que les animaux laitiers et offrent donc une proportion plus élevée de viande à cuisson rapide et par conséquent davantage de viande tendre. Néanmoins, l'impact du cahier des charges de découpe peut significativement modifier les proportions de viande à cuisson rapide et lente obtenues. Ainsi, l'extension de la découpe est une pratique réalisée sur les animaux dits « de forme » qui, du fait de l'importance des masses musculaires, permet d'isoler les parties les plus tendres de muscles globalement peu tendres pour mieux les valoriser, augmentant ainsi la part de viandes à cuisson rapide de la carcasse.

■ 1.2. Production de viande bovine sous signes officiels de qualité

Les signes de qualité peuvent induire de la confiance entre le vendeur et

l'acheteur notamment en situation d'incertitude. Les viandes sous signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) sont supposées répondre aux exigences des consommateurs en termes de qualité spécifique (Prache *et al.*, 2023). Les SIQO s'intègrent donc dans une politique publique de la qualité et de l'origine portée par l'État à travers le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

Les animaux élevés et commercialisés sous SIQO représentent environ 5 % à 6 % des abattages nationaux pour le porc, le veau et le gros bovin, soit 5,5 % de la production bovine en France (INAO, 2022). Ce pourcentage est en croissance alors que la consommation annuelle de viande bovine par habitant baisse en France. Il existe cinq SIQO, dont quatre à l'échelle européenne : les appellations d'origine protégée (AOP), les indications géographiques protégées (IGP), les spécialités traditionnelles garanties (STG), l'Agriculture biologique (AB), et un dernier signe spécifique à la France, à savoir le Label Rouge (LR). Ces signes sont gérés par l'Institut national de l'origine et de la qualité (INAO) qui définit à l'échelle nationale les cahiers des charges pour chaque produit, sauf le signe AB réglementé par un cahier des charges européen unique, qui peut être complété par des pratiques à l'échelle nationale.

L'appellation d'origine protégée (AOP) « désigne tous les produits dont toutes les étapes de fabrication (la production, la transformation et l'élaboration) sont réalisées dans une zone géographique déterminée, selon un savoir-faire reconnu et un cahier des charges particulier donnant ainsi des caractéristiques particulières aux produits ». La viande bovine compte quatre AOP (tableau 1).

L'indication géographique protégée (IGP) « identifie un produit agricole brut ou transformé, dont la qualité, la réputation ou autres caractéristiques sont liées à son origine géographique ». Afin d'obtenir cette appellation, au moins une étape parmi la production, la transformation ou l'élaboration de ce produit doit avoir lieu dans cette aire

géographique délimitée. Il est à noter que l'IGP est liée à un savoir-faire ou à une qualité déterminée attribuables à l'origine géographique.

La viande bovine compte huit produits IGP plus quatre pour la filière veau dont les principaux sont cités dans le tableau 1.

« Le Label Rouge (LR) désigne les produits qui, par leurs conditions de production ou de fabrication, ont un niveau de qualité organoleptique supérieur par rapport aux autres produits similaires sur le marché ». Ce label est spécifique à la France. La mise en place d'une démarche Label Rouge repose sur un cahier des charges axé sur le choix des animaux, leur alimentation et leur bien-être mais aussi sur d'autres critères ayant un impact sur les qualités en bouche tels que des contraintes de délai d'attente à l'abattoir avant l'abattage, de conditions de réfrigération, de pH ultime et de durée de maturation. Leur qualité gustative est déterminée à l'aide d'analyses sensorielles et de tests organoleptiques réalisés régulièrement en comparant le produit Label Rouge avec le produit conventionnel. La filière viande bovine compte 17 produits en Label Rouge plus six pour la filière veau (Gallard *et al.*, 2022).

La spécialité traditionnelle garantie (STG) désigne un produit dont les qualités spécifiques sont liées à une composition, des méthodes de fabrication ou de transformation fondées sur une tradition. La STG est définie par deux éléments : la spécificité et l'aspect traditionnel. Il existe en Europe une seule STG en viande bovine à savoir le « Bœuf traditionnel de race normande ».

« L'agriculture et l'aquaculture biologiques lient la qualité à un mode de production respectueux de l'environnement et du bien-être animal. » La production hors sol est proscrite, ce qui signifie que le bétail ne peut être nourri qu'avec des aliments provenant de sources internes à la ferme. On comptait 5 824 élevages de vaches allaitantes engagés en élevage biologique en 2019. Ces élevages représentent un peu plus de 211 900 vaches allaitantes

Tableau 1. Liste de viandes bovines sous AOP, sous IGP en France ou exclusivement sous Label Rouge.

Viandes bovines sous AOP (oriGIn, 2018a)	Principales viandes bovines sous IGP (oriGIn, 2018b)	Viandes bovines sous Label Rouge https://www.label-rouge-viandes.fr/demarche/boeuf#
<ul style="list-style-type: none"> – Appellation d’origine Taureau de Camargue ; – Maine Anjou AOP (Rouge des Prés) ; – Fin gras du Mézenc ; – Appellation d’origine Bœuf de Charolles. 	<ul style="list-style-type: none"> – Charolais de Bourgogne ; – Rosée des Pyrénées Catalanes ; – Bœuf de Vendée (IGP et Label Rouge) ; – Génisse Fleur d’Aubrac ; – Bœuf de Bazas (IGP et Label Rouge) ; – Veau d’Aveyron et du Ségala (IGP et Label Rouge) ; – Bœuf Charolais du Bourbonnais (IGP et Label Rouge) ; – Bœuf fermier du Maine (IGP et Label Rouge) ; – Veau fermier du Limousin (IGP et Label Rouge) ; – Bœuf de Chalosse (IGP et Label Rouge). 	<ul style="list-style-type: none"> – Autre Pays du Bovin Allaitant ; – Blanc Bleu Label Rouge ; – Bœuf Blond d’Aquitaine ; – Bœuf Charolais du Bourbonnais ; – Bœuf de Chalosse ; – Bœuf de Nos Campagnes ; – Bœuf Excellence Label Rouge ; – Bœuf Fermier Aubrac ; – Bœuf Fermier du Maine ; – Bœuf Fermier Label Rouge ; – Bœuf Gascon Label Rouge ; – Bœuf Limousin Label Rouge ; – Charolais Label Rouge ; – La Parthenaise Label Rouge ; – Limousin Junior Label Rouge ; – Salers Label Rouge.

conduites en bio, soit 5,3 % du cheptel français (<https://www.produire-bio.fr/filieres-bovins-ovins-viande-bio/>).

En réponse à la demande sociétale, les pouvoirs publics orientent grandement les cahiers des charges, de sorte que les SIQO s’adressent à différentes dimensions de la qualité, qu’elles soient extrinsèques (façon de produire, origine, notion d’image) ou intrinsèques (qualité sensorielle dans le cas du Label Rouge). Dans ce dernier cas, en plus de la qualité « image » véhiculée, les cahiers des charges Label Rouge s’appuient surtout sur les connaissances des experts professionnels, mais moins sur les connaissances des scientifiques en biologie musculaire pour garantir la qualité sensorielle, qui sont décrites en partie 2. D’une façon générale, les démarches qualité des SIQO reposent surtout sur des obligations de moyens (sans obligation réelle de résultat en bouche), et mettent en œuvre une règle de décision simple car binaire conduisant à labéliser ou non une carcasse entière. Cette façon de procéder est adaptée pour les qualités extrinsèques mais est beaucoup moins pertinente pour les qualités intrinsèques. En effet, comme expliqué en partie 2, les différents muscles d’une carcasse ont tous des caractéristiques et donc des niveaux de qualité en bouche différents.

2. Caractéristiques musculaires et qualité des viandes

Les caractéristiques biologiques du muscle et les processus qui sont impliqués dans la transformation du muscle en viande sont tous importants dans la détermination de la qualité gustative de cette dernière. Il est utile de comprendre ces processus afin de mieux maîtriser la qualité gustative de la viande et de la prédire.

■ 2.1. Structure du muscle squelettique

Les muscles représentent 30 à 45 % du poids des animaux de rente. Ils contiennent 75 à 80 % d’eau, 15 à 20 % de protéines, 1 à 10 % de lipides, des glucides et des micronutriments tels que les vitamines (Listrat *et al.*, 2016). Le muscle requiert de l’énergie pour ses fonctions de contraction et de maintien. Cette énergie provient de l’ATP (adénosine triphosphate) qui à son tour provient de la dégradation immédiate de la phosphocréatine puis du glycogène stocké dans les cellules.

Les fibres musculaires sont des cellules cylindriques, plurinucléées, très longues et étroites. Chaque fibre est constituée de myofibrilles, qui sont les unités

contractiles du muscle. Les myofibrilles sont constituées d’unités répétées : les sarcomères. Ceux-ci contiennent deux protéines majeures : l’actine et la myosine qui coulissent l’une sur l’autre à l’intérieur des cellules pour permettre la contraction et le relâchement des muscles (Listrat *et al.*, 2016).

Les muscles sont constitués de différents types de fibres : I (lentes oxydatives), IIA (rapides-oxydo-glycolytiques) et IIX-IIB (rapides glycolytiques). La composition en types de fibres est variable selon la fonction et la localisation du muscle, mais aussi selon la race. Des associations entre les types de fibres et la chute de pH, la couleur et la tendreté de la viande bovine ont été décrites (Picard & Gagaoua, 2020).

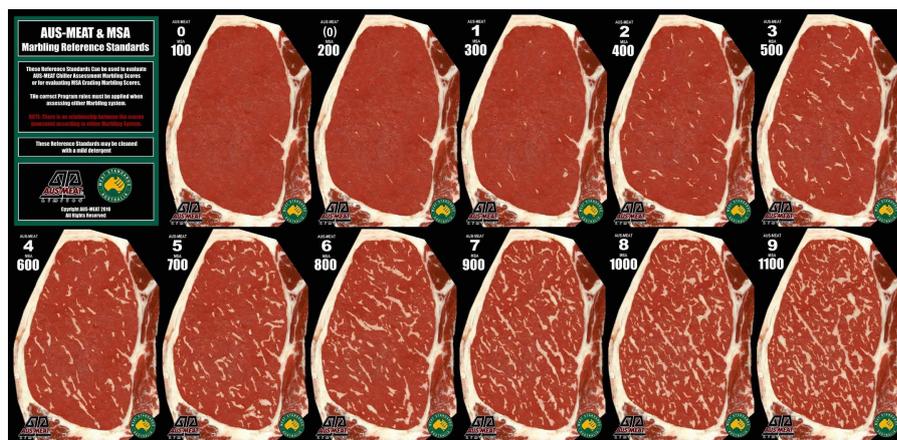
La vitesse de chute de pH est plus rapide et les réserves en glycogène sont plus élevées dans les muscles rapides glycolytiques que dans les muscles lents oxydatifs (Maltin *et al.*, 2003), ce qui, associé à l’activation des enzymes protéolytiques décrite ci-après, explique que les fibres de type IIX ont une maturation plus importante que les fibres rouges de type I. Une proportion de fibres de type IIX plus élevée pourrait donc améliorer la tendreté de certains muscles en accélérant la vitesse de maturation. La flaveur, mais aussi la jutosité, sont plus élevées dans les

muscles plus oxydatifs qui contiennent davantage de lipides intramusculaires (Listrat *et al.*, 2016).

Chaque fibre musculaire est entourée d'une fine couche de collagène appelée endomysium. Les faisceaux de fibres sont eux aussi entourés d'une couche de collagène appelée pérmysium. Ces faisceaux se regroupent pour former le muscle entier qui est également entouré d'une couche de collagène appelée épimysium (ou aponevrose). Ces trois niveaux de collagène assurent l'attachement des muscles aux os et aux articulations. Les molécules de collagène sont liées entre elles par des liaisons chimiques appelées *cross-links* (Listrat *et al.*, 2016). Les protéoglycanes lient les fibrilles de collagène entre elles et stabilisent le tissu conjonctif. Ils participent à l'assemblage de la matrice et lui confèrent des propriétés telles que l'hydratation et la résistance aux forces de compression.

Même si la dureté finale dépend de nombreux facteurs dont le type de cuisson, plus une viande contient du collagène, plus elle est généralement dure. De plus, la solubilité du collagène et par conséquent la tendreté de la viande sont impactées par le degré de réticulation défini par le nombre et la nature de *cross-links* présents. Plus la viande contient des *cross-links*, moins le collagène est soluble et plus la viande est dure (Purslow, 2005). En l'absence de méthode d'attendrissement spécifique, type hachage ou utilisation d'enzymes, la teneur et les caractéristiques du collagène déterminent donc la destination culinaire des muscles : ainsi, les muscles à cuisson rapide sont moins riches en collagène et sont principalement situés à l'arrière de la carcasse. Les muscles à cuisson lente, riches en collagène, sont eux plutôt situés sur l'avant. Le taux de collagène peut varier en fonction de nombreux facteurs dont la race et le type d'animal, non seulement en fonction du type de muscle, mais aussi au sein d'un muscle. Les protéoglycanes sont dégradés au cours de la maturation de la viande. Ceci a pour conséquence d'exposer le collagène aux collagénases et potentiellement de contribuer à diminuer la dureté de la viande (Nishimura, 2010). Des

Figure 1. Grille de notation du persillé selon le système Australien (MSA et AUS-MEAT ; source : <https://www.australianbutchersguild.com.au/butchery/marbling-meat/>).



études récentes par méta-analyse ont permis de préciser le rôle des *cross-links* dans la qualité sensorielle de la viande (Listrat *et al.*, 2020). Plus généralement, la constitution d'une base de données des protéines de la matrice extracellulaire vient de débiter pour préciser leur rôle sur la qualité sensorielle de la viande bovine (Listrat *et al.*, 2023).

Le tissu adipeux est constitué de cellules appelées adipocytes, dont la particularité est de stocker les lipides et de les restituer. Plusieurs études ont montré que les lipides intramusculaires joueraient un rôle modéré mais significatif et positif sur la tendreté de la viande en augmentant la sensation de jutosité et en diminuant la perception des résidus de mastication. Les lipides ont également un effet lubrificateur durant la mastication. De plus, la matrice de collagène du muscle pourrait être déstructurée par un taux très élevé de lipides intramusculaires comme dans le cas du bœuf de Kobé (Nishimura, 2010).

La partie visible du gras intramusculaire est appelée « persillé » dans l'industrie de la viande et elle est utilisée comme indicateur de la qualité de la viande dans les systèmes de classement des carcasses et des viandes de pays comme le Japon, les États-Unis et l'Australie. Le pourcentage de gras intramusculaire est une mesure objective qui peut s'effectuer grâce à une analyse chimique tandis que la mesure du persillé se fait généralement à l'aide d'une notation visuelle par un opérateur muni

d'une grille d'évaluation (figure 1). Le persillé peut expliquer environ 75 % de la variation du pourcentage de gras intramusculaire (Ferguson, 2004).

■ 2.2. Principaux facteurs *ante-mortem* ayant un impact sur la biologie musculaire

La race, le sexe et l'âge des animaux ainsi que les pratiques d'élevage sont parmi les principaux facteurs qui impactent les caractéristiques du tissu musculaire (principalement les caractéristiques du collagène, des lipides intramusculaires et des fibres musculaires).

Les races de la sous-espèce *Bos indicus*, également appelée zébu, telles que le Brahman ou le Nellore, ont généralement une tendreté moindre en raison des caractéristiques de leurs fibres musculaires (Wright *et al.*, 2018). Leurs muscles peuvent également contenir davantage de collagène. À l'inverse, au sein de *Bos indicus*, la race Blanc Bleu Belge porteuse d'une mutation du gène de la myostatine (ou gène culard) produit une viande plus tendre principalement en raison d'une proportion élevée de fibres rapides glycolytiques et de la faible teneur relative de leurs muscles en collagène, mais cette viande présente une moindre saveur en raison d'une teneur réduite en gras intramusculaire (Chelh *et al.*, 2009).

En dehors de ces extrêmes, les races plus précoces telles que l'Aberdeen

Angus tendent à déposer plus de collagène et de gras intramusculaire que les races tardives telles que la race Limousine ou Blonde d'Aquitaine (Gagaoua *et al.*, 2016). Il a été parfois observé qu'il existait des différences significatives de tendreté, jutosité ou flaveur entre certaines races (Micol *et al.*, 2010). Néanmoins, une étude récente n'a observé aucune différence significative de qualité sensorielle entre les races quand les animaux sont élevés et la viande maturée dans les mêmes conditions (Conanec *et al.*, 2021), suggérant que les différences observées seraient dues à une interaction avec d'autres facteurs liés aux conduites d'élevage.

L'effet du sexe est dû à la différence de niveaux d'hormones des animaux. Les mâles castrés déposent plus de gras que les mâles entiers en raison d'un niveau de testostérone plus bas. Les viandes des génisses sont généralement plus tendres que celles des bœufs et des taurillons et taureaux, en raison d'une teneur plus faible en tissu conjonctif et d'un diamètre de fibre plus petit (Gagaoua *et al.*, 2016). Les mâles entiers ont une vitesse de croissance plus rapide et ainsi déposent moins de gras intramusculaire. Les viandes issues des bœufs sont plus tendres que celles des taureaux car elles contiennent davantage de gras intramusculaire. (Gagaoua *et al.*, 2018).

La tendreté de la viande a tendance à diminuer avec l'âge de l'animal (Oury *et al.*, 2007) car le niveau de collagène augmente et devient moins soluble (notamment en raison d'une réticulation plus importante) et ainsi plus résistant à la cuisson. C'est pourquoi, avec l'âge, les fibres musculaires deviennent également plus dures et résistantes à la mastication. La flaveur augmente aussi avec l'âge en raison de l'accumulation de lipides intramusculaires qui sont également le support des arômes (Micol *et al.*, 2010).

Les pratiques d'élevage ont une influence sur la qualité sensorielle car elles conditionnent l'apport en énergie, et donc la vitesse de croissance ainsi que la composition de la carcasse des animaux (Micol *et al.*, 2010). Les nutriments apportés par l'alimenta-

tion peuvent sensiblement modifier la composition du muscle (Cassagnol, 2018). Différents types de finition des animaux peuvent conduire à différentes qualités de la viande bovine. La viande provenant de bœuf fini à l'herbe est plus maigre et elle est généralement perçue comme de moins bonne qualité en raison notamment d'une faible teneur en gras intramusculaire.

■ 2.3. Transformation du muscle en viande

À la mort de l'animal, le muscle continue de fonctionner mais avec un épuisement progressif de ses réserves énergétiques. Une fois les stocks de phosphocréatine épuisés, la dégradation des stocks de glycogène par la glycolyse prend rapidement le relais pour produire de l'ATP. De l'acide lactique est ainsi produit par la dégradation progressive du pyruvate issu lui-même de la dégradation du glycogène. En l'absence de circulation sanguine, cet acide lactique s'accumule dans les cellules baissant ainsi le pH du muscle. Le pH se stabilise ensuite à une valeur appelée « pH ultime » ou « pH_u » observée 24 à 48 heures après abattage. Durant cette phase, les molécules d'actine et de myosine se lient pour former le complexe actomyosine. Le glissement des deux filaments devient alors impossible en raison du manque d'ATP et tout le système myofibrillaire devient rigide. Cette phase correspond à la rigidité cadavérique encore appelée « *rigor mortis* ». Lors de cette étape, des transferts d'eau s'opèrent vers l'extérieur des cellules, dans l'espace extracellulaire. Les conditions de mise en place de la phase de rigidité cadavérique telles que le stress ou la cinétique de refroidissement de la carcasse, sont déterminantes pour le bon déroulement de la maturation par la suite.

En effet, il est bien connu que le stress dû notamment au transport et à l'abattage des animaux peut perturber ce processus et ainsi altérer la qualité de la viande. Le stress peut être d'origine psychologique (peur, changement d'environnement...) ou physique (activité physique inhabituelle, excitation entre animaux, mouvements dans le camion) (Terlouw, 2015).

Il produit une surconsommation du glycogène musculaire conduisant à une réduction des stocks de glycogène avant abattage, sans possibilité de les reconstituer par la suite. Une alimentation insuffisante peut également être à l'origine de faibles réserves en glycogène. Or, si la teneur en glycogène est faible au moment de la mort, le pH de la viande se stabilisera à des valeurs généralement supérieures à la normale située entre 5,7 et 5,9 selon les pays et/ou les entreprises. Ceci rend la couleur de la viande plus sombre et donc plus difficile à commercialiser. Ces viandes sont communément appelées viandes DFD de l'anglais *Dark-Firm-Dry* (Adzitey & Nurul, 2011). Les viandes de couleur sombre ont une capacité de rétention d'eau plus élevée, leur donnant ainsi un aspect ferme au toucher. Ces conditions de pH élevé et de teneur en eau conséquente favorisent le développement de microorganismes et l'altération rapide de la viande. Réduire le stress de pré-abattage chez les animaux constitue le moyen le plus efficace de prévention de l'apparition de viande DFD.

Lors de la phase de maturation qui suit, les carcasses ou les pièces de viandes sont stockées en chambre froide pendant plusieurs jours pour améliorer la tendreté. Cette phase correspond à un attendrissement progressif de la viande dû à une dégradation des protéines myofibrillaires. Ce mécanisme de dégradation est enzymatique et indépendant de la présence de microorganismes. En France, la durée de maturation pratiquée sur os va rarement au-delà de deux à trois semaines. Certains abattoirs et distributeurs ont développé des maturations plus longues de pièces de viandes non conditionnées, dites maturations sèches, qui dépassent parfois les cinq semaines recommandées, mais ceci est orienté sur des marchés de niche très rémunérateurs. En revanche la maturation sous vide est couramment pratiquée en France, notamment sur les pièces de demi-gros. Les durées atteignent généralement une quarantaine de jours ; elles peuvent aller jusqu'à deux ou trois mois dans le cas de certaines viandes d'importation. L'allongement de la durée de maturation favorise

l'attendrissement de la viande en raison des processus protéolytiques.

Il existe plusieurs systèmes protéolytiques impliqués dans la maturation :

i) les protéinases neutres calcium dépendantes ou calpaines qui sont actives à pH neutre ;

ii) les protéines lysosomales ou cathepsines, actives entre pH 4 et pH 6 ;

iii) le complexe multicatalytique ubiquitine-protéasome dépendant qui est présent dans le cytoplasme et dans le noyau des cellules (Ouali & Talmant, 1990).

Un autre groupe de protéases serait potentiellement impliqué dans la maturation des viandes, le groupe des caspases (Bhat *et al.*, 2018). Les calpaines semblent représenter le système majeur intervenant dans l'attendrissement de la viande. Il existe trois isoformes de calpaines : la μ -calpaïne, la m-calpaïne et la P94 ou calpaïne 3 dont l'activité est dépendante du calcium. Les m et μ -calpaines sont inhibées par la calpastatine.

Outre améliorer la tendreté de la viande, la maturation joue un rôle dans le développement de la saveur de la viande. Cette saveur est liée aux arômes perçus par le consommateur après la cuisson. Ce sont les peptides, les acides aminés libres, le lactate ou encore les produits de dégradation des acides nucléiques ou des lipides qui sont impliqués dans les substances de ces arômes (Dashdorj *et al.*, 2015). Des saveurs indésirables peuvent également être générées par l'oxydation des lipides (c'est le rancissement).

La maturation est affectée par la chute conjointe du pH et de la température et dépend donc de la vitesse de réfrigération des carcasses. Une réfrigération trop lente conduit à une contraction des sarcomères (« *heat shortening* » ou « *rigor shortening* »). Ceci a pour effet de rendre la viande moins tendre (Kim *et al.*, 2014). La dénaturation partielle des protéines limite la protéolyse *post-mortem* et a pour conséquence une contraction au chaud des muscles, causant ainsi une baisse de la tendreté de la viande. Ce phénomène s'observe rarement grâce à la vigilance et au respect de la chaîne

de froid au sein des abattoirs, mais peut apparaître lorsque les frigos de stockage sont surchargés, notamment en carcasses d'animaux lourds et bien conformés.

Symétriquement, une viande très rapidement refroidie se contracte et devient dure si la chute du pH n'est pas suffisamment rapide. Ce phénomène est appelé contraction au froid (« *cold shortening* »). Il ne s'observe que pour les viandes rouges (ovine et bovine). En effet, les fibres de ces animaux sont à métabolisme oxydatif et contiennent une pompe calcium ATPase située dans la membrane du réticulum sarcoplasmique. Les températures basses inhibent cette pompe provoquant ainsi une fuite de calcium dans le sarcoplasme (Ji & Takahashi, 2006). La présence résiduelle d'ATP (liée à une chute du pH trop lente) et d'ions Ca^{++} dans le sarcoplasme cause une contraction des cellules musculaires et la résistance mécanique de la viande augmente. Afin de réduire ce phénomène, certaines entreprises pratiquent la stimulation électrique juste avant la saignée, comme en France par exemple, ou en fin de chaîne d'abattage lorsque les hauts voltages sont autorisés (Nouvelle-Zélande, par exemple). Ceci a pour effet de consommer plus de la moitié de l'ATP initial. Les carcasses peuvent donc ainsi être refroidies rapidement sans risque de contracture au froid.

Compte tenu de l'importance des connaissances en biologie musculaire avant et après abattage, une question légitime qui se pose est d'appréhender dans quelle mesure ces connaissances ont été traduites en recommandations pratiques ou introduites dans les systèmes de classement des carcasses et des viandes bovines (partie 3).

3. Méthodes actuelles et en développement de classement des carcasses et des viandes

Les différentes filières bovines dans le monde ont établi des critères de classement et donc de paiement afin

d'orienter la production de viande en fonction de leurs attentes et de celles des marchés. Ces critères peuvent être mesurés, appréciés ou calculés et permettent de déterminer la valeur marchande des carcasses. Ces systèmes décrits dans le [tableau 2](#) étaient et sont encore pour la plupart d'abord centrés sur le rendement en viande, important pour le transformateur. Au fil des années, quelques systèmes ont parfois intégré des critères liés à la connaissance de la biologie du muscle ou aux attentes de consommateurs (Hocquette *et al.*, 2022). Toutefois, au regard de l'importance des connaissances en biologie musculaire avant et après abattage décrites dans la partie 2, force est de constater que ces connaissances ne sont pas complètement utilisées dans les systèmes de classement des carcasses et des viandes bovines à ce jour.

■ 3.1. Vue globale des systèmes de classification dans le monde

La plupart des systèmes de classement dans le monde contiennent des indicateurs simples tels que le sexe, l'âge et le poids des animaux. Ces critères peuvent être évalués de différentes manières. Par exemple, l'âge est considéré en tant que tel en Afrique du Sud et en France mais apprécié par l'intermédiaire du nombre d'incisives permanentes en Nouvelle-Zélande et au Brésil. En France, combiné avec le sexe de l'animal, l'âge permet de définir les différentes catégories de carcasses. Le poids intervient dans le prix payé à l'éleveur *via* le prix par kilo de la catégorie associée au classement du bovin, en tenant compte de la race ou du type racial.

Le [tableau 2](#) présente les critères de classification et d'évaluation de la qualité de la carcasse bovine dans différentes parties du monde. Seul le système de classement MSA prend en compte la pièce de boucherie et la maturation ainsi que les critères pré-abattage, valorisant ainsi en partie les connaissances sur la biologie musculaire. Cette diversité de critères reflète surtout les pratiques spécifiques des professionnels de la viande en fonction des pays.

Tableau 2. Principales pratiques et critères importants des principaux systèmes de classification et de classement de la viande bovine dans certains pays du monde (Polkinghorne & Thompson, 2010).

	Canada	Europe	Japon	Corée du Sud	Afrique du Sud	USA	Australie
Classement	Canadien	EUROP	JMGA (Japanese Meat Grading Association)	Coréen	Sud africain	USDA	AUS-MEAT MSA
Unité de classement	Carcasse						
Critères avant l'abattage		Critères spécifiques pour les SIQO*				Alimentation au grain	– % <i>Bos indicus</i> – Hormone de croissance
Critères à l'abattage ou durant la réfrigération	– Poids de carcasse – Sexe						
Critères sur carcasse refroidie	– Conformation	– Catégorie – Conformation – État d'engraissement – Critères spécifiques pour les SIQO	– Score de persillé – Couleur de la viande – Clarté de la viande – Couleur du gras – Clarté du gras – Texture du gras – Fermeté du gras – Surface de la noix (EMA) – Épaisseur de la côte – Épaisseur du gras	– Score de persillé – Couleur de la viande – Couleur du gras – Fermeté – Texture – Maturité (du maigre) – Surface de la noix (EMA) – Épaisseur du gras	– Dentition – Graisse des côtes	– Score de persillé – Couleur d'ossification de la viande – Couleur de la viande – Texture de la viande – Gras costal (<i>rib fat</i>) – Surface de la noix (EMA) – Gras rénal et périrénal	– Stimulation électrique – Mode de suspension
Critères post-refroidissement		Critères spécifiques pour les SIQO					– Durée de maturation – Méthode de cuisson

*SIQO : signes officiels de la qualité et de l'origine.

■ 3.2. Système EUROP

Le système de classification EUROP permet d'établir le niveau de qualité des carcasses de bovins abattus en Europe sur deux critères principaux : la conformation et l'état d'engraissement. Ce classement est obligatoire pour toute carcasse et il est indiqué sur l'étiquette de traçabilité.

Le niveau de conformation est réparti en cinq classes principales de développement musculaire désignées par les lettres E (excellent), U (très bon), R (bon), O (moyen) et P (médiocre). L'état d'engraissement est également divisé en cinq classes désignées numériquement de 1 (très faible) à 5 (très fort). La conformation est notée au tiers de classe (-, =, +), soit une échelle de quinze points, et l'engraissement à la classe entière. Le classement est effectué par des classificateurs habilités par Normabev et agréés par FranceAgriMer (Normabev, 2015).

Plusieurs études ont démontré que ce classement ne reflète pas la qualité gustative (Bonny *et al.*, 2016 ; Liu, *et al.*, 2020). C'est pourquoi, des critères additionnels ont été proposés pour mieux refléter cette qualité, tel que le persillé, par exemple (Monteils *et al.*, 2017). En 2022, à la suite des États généraux de l'alimentation, la filière bovine française a prévu d'intégrer à terme le persillé dans le système de classement français. Des travaux menés par l'Institut de l'Élevage pour Interbev ont permis de valider une grille de mesure de persillé en six classes (notées de 1 à 6) (Nicolazo de Barmon *et al.*, 2024) Cette grille doit être utilisée par toute entreprise désirant évaluer le niveau de persillé de ses carcasses (Interbev, 2023). Sa mise en œuvre est encadrée par l'accord interprofessionnel du 22 mars 2022 étendu par les pouvoirs publics (arrêté du 12 janvier 2023 ; Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2023).

■ 3.3. Le système MSA et son homologue européen le système 3G

En 1996, l'Australie a développé un système de garantie de la qualité gustative de la viande bovine destiné aux

consommateurs appelé MSA (« *Meat Standards Australia* »). Le système MSA est le premier système de classement élaboré pour la prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine ; il se base sur les différentes combinaisons de muscle, de mode de cuisson, de durée de maturation ainsi que sur des appréciations de consommateurs non entraînés. Ce système mis en œuvre en Australie sur le plan commercial depuis l'an 2000 a conduit à de profonds changements dans le modèle économique de la filière. Il est également associé à la génération d'une plus-value financière pour le bénéfice de l'ensemble des acteurs de la filière (Neveu *et al.*, 2019). Ainsi, en 2022-2023, le programme MSA a généré un montant record de 259 millions de dollars en revenus supplémentaires estimés pour les producteurs de viande bovine MSA, une augmentation par rapport au précédent record de 204 millions de dollars pour l'exercice 2021-2022 (Meat & Livestock Australia, 2023).

Le modèle MSA a été développé à l'aide de tests consommateurs et des données de production et de transformation issues d'abord d'Australie puis de 12 pays différents (Bonny *et al.*, 2018). La version actuelle de l'année 2023 utilise des données qui proviennent de plus de 250 000 consommateurs de 13 pays (Meat & Livestock Australia, 2022). En Australie, alors qu'il s'agit d'un système dont l'adoption est volontaire (donc non obligatoire), 54 % des bovins adultes abattus en 2022-2023 ont été présentés au classement MSA, soit plus de 3,39 millions d'animaux, dont 3,23 remplissaient effectivement les préconisations requises pour un tel classement. Ainsi, 40 754 producteurs de viande bovine sont enregistrés auprès du *Meat Livestock Australia* (MLA), soit 26 % des exploitations bovines (Meat & Livestock Australia, 2023). À l'étranger, le système MSA a été testé avec succès en Corée du Sud, aux États-Unis, en Afrique du Sud, en Nouvelle-Zélande et dans divers pays européens comme l'Irlande du Nord, l'Irlande, la Pologne et le Royaume-Uni (Hocquette *et al.*, 2022) mais aussi la France (Legrand *et al.*, 2013, 2017). Toutefois, l'acceptation potentielle de ce système par la

filière française ne dépend pas que de considérations techniques (Fayet *et al.*, 2022) alors que certains professionnels sont intéressés par une telle approche.

Un des principes fondamentaux de ce système a été de conduire des analyses sensorielles avec des consommateurs non entraînés dits naïfs et non des experts comme habituellement, reflétant ainsi d'une meilleure manière les attentes des consommateurs réels. Ces consommateurs notent les échantillons sur des échelles linéaires de 0 à 100 pour la tendreté, la jutosité, l'appréciation de la saveur et l'appréciation globale. Ils classent également les échantillons dans l'une des quatre catégories de qualité proposées : « Non satisfaisant » (déclassé), « Bon pour tous les jours » (3 étoiles), « Meilleur que le quotidien » (4 étoiles) et « Qualité supérieure » (5 étoiles). Ensuite, un score décrivant l'ensemble de l'expérience organoleptique du consommateur, appelé MQ4 (*Meat Quality 4*) est généré à partir d'une combinaison linéaire de ces quatre paramètres, après pondération de leurs importances respectives (Bonny *et al.*, 2018) ; ce score varie lui aussi de 0 à 100. L'étape suivante consiste à étudier les liens entre le score MQ4 et les quatre catégories de qualité proposées afin d'identifier les valeurs de MQ4 représentant les limites optimales entre chacune des quatre classes de qualité. Une analyse discriminante est utilisée pour obtenir ces limites, lesquelles correspondent, en Australie, aux valeurs de MQ4 de 45 entre les catégories « Non satisfaisant » et 3 étoiles, de 63,5 entre les catégories 3 et 4 étoiles et de 76,5 entre les catégories 4 et 5 étoiles (Bonny *et al.*, 2018).

Plus récemment, l'indice MSA a été créé pour avoir une approximation de la qualité gustative potentielle de la carcasse entière. L'indice MSA est un nombre généralement compris entre 30 et 80 sur l'échelle de 0 à 100. Il est calculé en combinant les scores MQ4 d'une quarantaine de muscles de la carcasse après pondération par leur poids relatif, en considérant un temps de maturation minimum (cinq jours) et la méthode de cuisson la plus courante pour chacun des muscles de la carcasse (McGilchrist *et al.*, 2019).

L'abattoir constitue le pivot du système MSA. Il centralise les données émanant des éleveurs, les caractéristiques des carcasses ainsi que les caractéristiques de maturation et de transformation. Il existe des seuils obligatoires de certaines caractéristiques (pH, couleur, épaisseur de gras...) pour qu'une carcasse puisse être classée. Différents critères sont incorporés dans un modèle de prédiction de la qualité gustative pour des combinaisons individuelles de muscles et de méthodes de cuisson (Bonny *et al.*, 2018). Ces différents critères ont des niveaux d'impact variables en fonction des différents muscles de la carcasse.

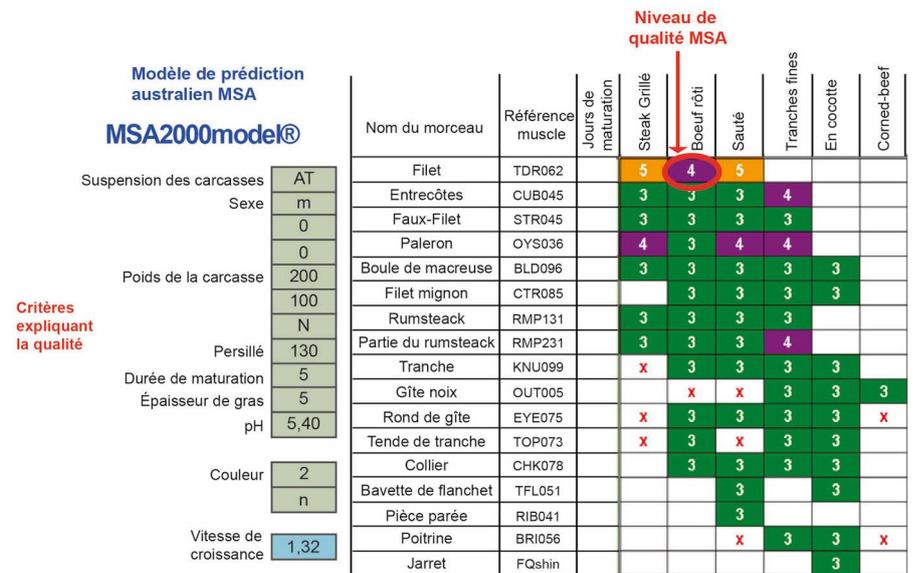
Les critères qui entrent dans ce modèle sont :

- i) avant abattage : le pourcentage de sang *Bos indicus* (évalué en mesurant la hauteur de la bosse de l'animal), le type d'animal, le poids de la carcasse, l'utilisation ou non d'implants hormonaux, la présence ou non d'une alimentation lactée, le passage ou non par un marché aux bestiaux ;
- ii) après abattage : le score d'ossification, la note de persillé du *Longissimus thoracis* (LD) et l'épaisseur de gras sous cutané au niveau de la 10^e côte, le mode de suspension de la carcasse ;
- iii) la nature du muscle ;
- iv) la transformation : la durée de maturation et la méthode de cuisson.

Les critères sur carcasse sont déterminés par un classificateur agréé par AUS-MEAT pour le *Meat Livestock Australia*, avec une remise à niveau régulière, notamment avec l'aide d'un logiciel spécifique (OsCap : *On-Site Correlation and Practice System*).

La méthodologie MSA a donc eu comme stratégie de standardiser les méthodes de classement des carcasses et d'estimation de la qualité pour construire des jeux de données interopérables et compatibles entre eux. C'est la fusion de ces jeux de données variés qui a permis de construire une base de données de grande taille à la base du modèle mathématique de prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine MSA (figure 2). Le modèle 3G a suivi la même démarche en combinant des jeux de données

Figure 2. Prédiction du niveau de qualité sensorielle des viandes selon le type de muscle et la méthode de cuisson en utilisant le modèle MSA (Legrand *et al.*, 2016).



de diverses origines géographiques, acquises selon le même protocole standardisé, avec des données françaises mais encore en nombre insuffisant pour refléter la diversité des types raciaux, catégories d'animaux et systèmes de production du pays (Hocquette *et al.*, 2020).

Les deux modèles (MSA, 3G) apparaissent comme des outils permettant de prédire avec une certaine fiabilité la qualité sensorielle de la viande bovine, y compris pour le cheptel bovin français. La pertinence de ces modèles de prédiction est susceptible d'être accrue avec des données plus nombreuses d'origine variée en termes d'animaux et de pays. L'implémentation d'une méthodologie standardisée à l'échelle internationale est également le souhait de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-ONU) <https://unece.org/trade/wp7/Meat-Standards>.

3.4. Méthodes instrumentales de classement des carcasses et des viandes

Les procédures conventionnelles de classement des carcasses par l'être humain sont parfois considérées comme peu répétables et une volonté existe de mettre en œuvre, à la place ou en complément, des mesures ins-

trumentales, notamment pour estimer les caractéristiques des carcasses et des viandes (Allen, 2021 ; Delgado-Pando *et al.*, 2021). Plusieurs technologies instrumentales et non destructives sont déjà sur le marché. La mesure du persillé a déjà fait l'objet de nombreux travaux (Fergusson *et al.*, 2004) car elle fait partie des critères importants de prédiction de la qualité des viandes en bouche. Seuls deux exemples récents de ces technologies sont détaillés ci-après, en lien avec l'implémentation du système MSA ou 3G.

a. Spectroscopie proche infrarouge (SPIR)

La SPIR comprend une source de rayonnement qui émet de la lumière proche infrarouge dirigée vers l'échantillon à analyser. Une partie de cette lumière traverse l'échantillon et l'autre est absorbée par les liaisons des molécules selon leurs propriétés chimiques. Un détecteur mesure ensuite la lumière transmise ou celle réfléchiée par l'échantillon à différentes longueurs d'onde. Ce détecteur convertit ensuite les mesures en spectre représentant l'absorption de la lumière en fonction de la longueur d'onde.

La SPIR a déjà été longtemps utilisée dans la recherche alimentaire et nutritionnelle notamment dans le domaine de la viande (Prieto *et al.*, 2009 ; Berri *et al.*, 2019). Elle a permis

de déterminer les principaux constituants dans la viande et les produits à base de viande tels que l'humidité, les matières grasses et les protéines. Elle a été approuvée par l'AOAC (*Association of Official Agricultural Chemists*) pour l'analyse commerciale de l'humidité, des matières grasses et des protéines dans la viande et les produits carnés à l'aide de modèles de prédiction (Prieto *et al.*, 2009). Elle permet aussi de discriminer les viandes qui ont été congelées ou non, ainsi que les viandes issues de différentes espèces animales telles que le bœuf, le kangourou ou le poulet. Plusieurs études ont également tenté de prédire les paramètres technologiques et sensoriels de la viande, avec une fiabilité moindre (Prevolnik *et al.*, 2004).

Comme expliqué, le persillé a une influence sur la tendreté, la flaveur et la jutosité de la viande bovine (Hocquette *et al.*, 2010). C'est pourquoi un instrument portable (le SCIO) a été utilisé pour tenter de prédire le persillé en abattoir en utilisant les principes de la spectroscopie proche infrarouge. Cet appareil est peu encombrant, facile à prendre en main, convivial, simple d'utilisation et peu onéreux mais a une très faible autonomie et doit impérativement être utilisé avec un accumulateur de charge. De plus, les performances de sa source de lumière sont susceptibles de diminuer au fil du temps, ce qui lui confère une durabilité relativement faible. Par ailleurs, la mesure avec le SCIO n'est pas représentative du persillé de toute la noix de côte et ses performances de prédiction du persillé sont moyennes, même si elles permettent de différencier les carcasses faiblement ou fortement persillées en abattoir (Kombolo Ngah *et al.*, 2023a).

b. Analyses d'images

Cette approche consiste à utiliser des caméras pour capturer des images de la surface de la viande pour ensuite les analyser à l'aide d'algorithmes afin de déterminer différentes caractéristiques telles que la couleur, le persillé, la tendreté, etc. Différentes études (Jackman *et al.*, 2008) ont ainsi prédit la couleur, le persillé et la qualité gustative de la viande bovine maturée.

Tableau 3. Avantages et faiblesses relatifs des deux outils de mesure de persillé de la viande bovine (basé sur les évaluations de trois utilisateurs).

Critères/Appareil	Q-FOM™	SCIO
Performance du modèle (R ² de validation)	0,75*	0,46 – 0,59*
Facilité de prise en main	+	+++
Utilisation directement sur la chaîne de production	+	+++
Identification des animaux	+++	++
Représentativité et répétabilité des résultats	+++	+
Maîtrise des interférences	+++	+
Rapidité de mesure	+	+++
Facilité de maintenance	+	++
Durabilité dans le temps	+++	+
Utilisation avec d'autres appareils	+++	+
Accessibilité en termes de prix	+	++

+ : peu avantageux ; ++ : avantageux ; +++ : très avantageux.

* Dans des conditions expérimentales différentes.

La caméra Q-FOM™ de la marque danoise FRONTMATEC a été utilisée pour l'évaluation rapide et facile de différents paramètres du système MSA au niveau de la noix d'entrecôte. Plus de 200 carcasses par heure peuvent être classées pour le persillé, la surface de la noix, la couleur, ainsi que l'épaisseur de gras selon la méthodologie MSA. Son écran tactile peut être utilisé pour une saisie manuelle complémentaire des mesures du pH, de la température, de l'ossification, etc. Avec la connectivité *Bluetooth*, certains types de pH-mètres ou de thermomètres peuvent être connectés à la caméra pour un enregistrement automatique de ces paramètres (Stewart *et al.*, 2024).

Dans une première analyse en France avec 285 carcasses surtout de race limousine, un modèle de prédiction des scores de persillé MSA d'un classificateur expert a été développé. Ce modèle a un R² de prédiction de 0,75. Dans une deuxième analyse, un sous-ensemble (N = 124) des 285 carcasses a également été évalué à l'écran par l'évaluateur expert. Le R² de prédiction entre les scores de persillé MSA

en chambre froide et à l'écran était de 0,78 (Kombolo Ngah *et al.*, 2023b). Cela suggère que l'évaluation à l'écran serait une méthode acceptable à utiliser pour le développement d'un modèle d'étalonnage du persillé, bien que des investigations supplémentaires soient nécessaires pour vérifier l'exactitude de cette hypothèse. À l'inverse du SCIO, cette caméra est plus complexe d'utilisation, moins intuitive, plus encombrante et plus onéreuse, mais la mesure est moins sensible aux interférences et les performances de prédiction sont meilleures (tableau 3). Cette caméra a été officiellement homologuée en Australie pour enregistrer la note de persillé utilisée pour prédire la qualité sensorielle de la viande bovine.

Conclusion

Comme le montre l'importance des connaissances en biologie musculaire avant et après abattage des animaux, la qualité en bouche de la viande bovine est complexe et dépendante de plusieurs indicateurs biologiques qui doivent tous être considérés

simultanément et qui dépendent des caractéristiques de chaque muscle. Cependant, la méthode de classification en vigueur en France et dans l'Union européenne se fait sur carcasses entières car elle est orientée vers les opérateurs de la transformation pour le paiement des éleveurs. De ce fait, elle ne prend pas en considération ces indicateurs biologiques au niveau de chaque muscle, ni même les facteurs de régulation de ces indicateurs. Le lien est donc faible entre cette méthode de classification et la qualité sensorielle de la viande bovine contribuant ainsi à la difficulté de maîtriser et de prédire cette qualité malgré des connaissances scientifiques considérables. D'autres systèmes de classification plus avancés dans d'autres régions du monde prennent en compte quelques critères biologiques mais l'évaluation en abattoir de ces indicateurs en lien avec la qualité gustative se fait majoritairement visuellement, ce qui peut rendre ces mesures peu précises voire subjectives.

Des travaux sont en cours pour tester le modèle 3G de prédiction de la qualité sensorielle basé sur la prise en compte des facteurs de régulation (caractéristiques des animaux,

conditions d'abattage et durée de maturation) des indicateurs biologiques mentionnés. Ce modèle (inspiré du « *Meat Standards Australia* ») a été étudié avec les races bovines européennes et en utilisant diverses méthodes de collecte de données en lien avec la qualité sensorielle (c'est-à-dire par des classificateurs de carcasse agréés ou avec des instruments portables) tout en assurant l'interopérabilité des données ainsi collectées. De plus, outre la prise en compte des nombreux facteurs régulant la qualité en bouche de chaque muscle, un point fort des systèmes MSA/3G est de tenir compte des interactions entre ces facteurs et des mécanismes de compensation (un faible score sur un critère peut être compensé par un score élevé sur un autre).

En France, la profession considère également certains de ces principes grâce à deux initiatives :

i) une grille d'évaluation du persillé sur carcasse a été développée même si la mesure de ce critère est encore optionnelle ;

ii) un système d'étiquetage des viandes (par des étoiles) au niveau du muscle (et non de la carcasse) a été mis en place en rayon libre-service pour

indiquer le niveau de qualité en bouche attendu par les consommateurs en l'absence de conseils de bouchers.

Ce système prend en compte certaines des connaissances biochimiques, notamment tout ce qui est lié à la présence de collagène dans les muscles *via* des techniques de découpe appropriées. Les résultats de ces travaux tant en France qu'à l'étranger pourront aider à garantir la qualité sensorielle pour les consommateurs et ainsi permettre à la filière viande de consolider sa part de marché.

Remerciements

Ces travaux ont été menés dans le cadre des projets EcoRegMeat3G financé par l'Institut Carnot France Futur Élevage, « Filière viande Limousine de qualité » financé par FranceAgriMer et INTAQT, projet européen Horizon 2020. Les auteurs remercient les entreprises de viande (principalement Beauvallet et Plainemaison à Limoges) et l'ensemble du personnel INRAE (principalement de l'UMR Herbivores et de l'UE Herbipôle) et de l'Institut de l'Élevage ayant permis la réalisation des travaux français cités dans cet article.

Références

- Adzitey, F. & Nurul, H. (2011). Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences – a mini review. *International Food Research Journal*, 18, 11-20.
- Allen, P. (2021). Recent developments in the objective measurement of carcass and meat quality for industrial application. *Meat Science*, 181, 108601. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108601>
- Berri, C., Picard, B., Lebret, B., Andueza, D., Lefèvre, F., Le Bihan-Duval, E., Beauclercq, S., Chartrin, P., Vautier, A., Legrand, I., & Hocquette, J.-F. (2019). Predicting the quality of meat: myth or reality? *Foods*, 8(10), 436. <https://doi.org/10.3390/foods8100436>
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., & Bekhit, A. E.-D. A. (2018). Role of calpain system in meat tenderness: A review. *Food Science and Human Wellness*, 7(3), 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.08.002>
- Bonny, S. P. F., Pethick, D. W., Legrand, I., Wierzbicki, J., Allen, P., Farmer, L. J., Polkinghorne, R. J., Hocquette, J.-F., & Gardner, G. E. (2016). European conformation and fat scores have no relationship with eating quality. *Animal*, 10(6), 996-1006. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002839>
- Bonny, S. P. F., O'Reilly, R. A., Pethick, D. W., Gardner, G. E., Hocquette, J.-F., & Pannier, L. (2018). Update of Meat Standards Australia and the cuts based grading scheme for beef and sheepmeat. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(7), 1641-1654. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61924-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61924-0)
- Cassagnol, V. (2018). Facteurs déterminant la qualité sensorielle de la viande bovine : quelle importance de la race ? *Viandes & Produits carnés*, 34, 34-1-5. https://viandesetproduitscarnes.com/phocadownload/vpc_vol_34/3415_cassagnol_race_et_qualite_sensorielle_v viande_bovine.pdf
- Chelh, I., Rodriguez, J., Bonnieu, A., Cassar-Malek, I., Cottin, P., Gabillard, J.-C., ... Picard, B. (2009). La myostatine : un régulateur négatif de la masse musculaire chez les vertébrés. *INRA Productions Animales*, 22(5), 397-408. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2009.22.5.3364>
- Cicia, G., & Colantuoni, F. (2010). Willingness to pay for traceable meat attributes: a meta-analysis. *International Journal on Food System Dynamics*, 01(3), 12. <https://econpapers.repec.org/article/agsi-jofsd/97028.htm>
- Conanec, A., Campo, M., Richardson, I., Ertbjerg, P., Failla, S., Panea, B., ... Hocquette, J.-F. (2021). Has breed any effect on beef sensory quality? *Livestock Science*, 250, 104548. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104548>
- Dashdorj, D., Amna, T., & Hwang, I. (2015). Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview. *European Food Research & Technology*, 241(2), 157-171. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2449-3>
- Delgado-Pando, G., Allen, P., Troy, D. J., & McDonnell, C. K. (2021). Objective carcass measurement technologies: Latest developments and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 771-782. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.016>
- Ellies-Oury, M.-P., Lee, A., Jacob, H., & Hocquette, J.-F. (2019). Meat consumption – what French consumers feel about the quality of beef? *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 646-656. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1551072>
- Ellies-Oury, M.-P., Lee, A., Jacob, H., Hocquette, J.-F. (2018). Enquête sur la consommation de viande rouge. *Viandes & Produits Carnés*, 34, 34-4-4. https://viandesetproduitscarnes.com/phocadownload/vpc_vol_34/3444_ellies-oury_enquete_consommation_v viande_rouge.pdf

- Fayet, T. (2022). Les outils de prédiction de la qualité à l'épreuve des professionnels français. *Viandes & Produits Carnés*, 38, 38-4-2. https://www.viandeset-produitscarnes.com/phocodownload/vpc_vol_38/Vol_3842_Prdiction-qualit-MSA.pdf
- Ferguson, D. M. (2004). Objective on-line assessment of marbling: a brief review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(7), 681-685. <https://doi.org/10.1071/EA02161>
- Font-i-Furnols, M. (2023). Meat consumption, sustainability and alternatives: an overview of motives and barriers. *Foods*, 12(11), 2144. <https://doi.org/10.3390/foods12112144>
- Gagaoua, M., Picard, B. & Monteils, V. (2018). Associations among animal, carcass, muscle characteristics, and fresh meat color traits in Charolais cattle. *Meat Science*, 140, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.004>
- Gagaoua, M., Terlouw, E. M. C., Micol, D., Hocquette, J.-F., Moloney, A. P., Nuernberg, K., ... Picard, B. (2016). Sensory quality of meat from eight different types of cattle in relation with their biochemical characteristics. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(7), 1550-1563. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61340-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61340-0)
- Gallard, C., Lesgourgues, M., Morel, F. (2022). *Viandes, charcuteries et volailles sous signe de la qualité et de l'origine. Chiffres clés 2021*. Consulté sur le site web INAO <https://www.inao.gouv.fr/Nos-actualites/chiffres-cles-2021-viandes-charcuteries-volailles>
- Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J.-F., & Culioli, J. (2001). Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction Nutrition Development*, 41(1), 1-26. <https://doi.org/10.1051/rnd:2001108>
- Hocquette, J.-F., Gondret, F., Baéza, E., Médale, F., Jurie, C. & Pethick, D. W. (2010). Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, identification of putative markers. *Animal*, 4(2), 303-319. <https://doi.org/10.1017/S1751731109991091>
- Hocquette, J.-F., & Chatellier, V. (2011). Prospects for the European beef sector over the next 30 years. *Animal Frontiers*, 1(2), 20-28. <https://doi.org/10.2527/af.2011-0014>
- Hocquette, J.-F., Ellies-Oury, M.-P., Legrand, I., Pethick, D., Gardner, G., Wierzbicki, J., & Polkinghorne, R. J. (2020). Research in *Beef Tenderness and Palatability in the Era of Big Data*. *Meat and Muscle Biology*, 4(2). <https://doi.org/10.22175/mmb.9488>
- Hocquette, J.-F., Bonny, S., Polkinghorne, R., Strydom, P., Matthews, K., López-Campos, O., Scollan, N., Pethick D. (2022). Quality assurance schemes in major-beef producing countries. In P. Purslow (Ed.), *New aspects of meat quality – from genes to ethics* (pp. 303-333). Woodhead publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85879-3.00019-2>
- INAO (2022). *Informations économiques*. Consulté le 31 octobre 2024 sur <https://www.inao.gouv.fr/Publications/Donnees-et-cartes/Informations-economiques>
- Interbev (2017). *Plan de la filière viande bovine française*. <https://www.interbev.fr/interbev/plans-de-filiere/>
- Interbev (2023). Accord interprofessionnel relatif à l'évaluation du persillé sur les carcasses de bovins âgés de 8 mois ou plus (étendu). <https://www.interbev.fr/ressource/accord-interprofessionnel-relatif-a-levaluation-du-persille-sur-les-carcasses-de-bovins-ages-de-8-mois-ou-plus/>
- Jackman, P., Sun, D.-W., Du, C.-J., Allen, P., & Downey, G. (2008). Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features. *Meat Science*, 80(4), 1273-1281. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.06.001>
- Ji, J.-R., & Takahashi, K. (2006). Changes in concentration of sarcoplasmic free calcium during post-mortem ageing of meat. *Meat Science*, 73(3), 395-403. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.09.010>
- Kerth, C.R. & Miller, R.K. (2015). Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(14), 2783-2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
- Kim, Y. H. B., Warner, R. D., Rosenvold, K., Kim, Y. H. B., Warner, R. D., & Rosenvold, K. (2014). Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Animal Production Science*, 54(4), 375-395. <https://doi.org/10.1071/AN13329>
- Kombolo-Ngah, M., Goi, A., Santinello, M., Rampado, N., Atanassova, S., Liu, J., ... Hocquette, J.-F. (2023a). Across countries implementation of hand-held near-infrared spectrometer for the on-line prediction of beef marbling in slaughterhouse. *Meat Science*, 200, 109169. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109169>
- Kombolo-Ngah, M., Mendes, N. S. R., Neveu, A., Barro, A., Christensen, M. & Hocquette, J.-F. (2023b). Beef marbling assessment by accredited graders and a hand-held camera device. *Book of Abstracts of the Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, 74, 320. <https://hal.inrae.fr/hal-04193589v1>
- Legrand, I., Hocquette, J.-F., Polkinghorne, R. J., & Pethick, D. W. (2013). Prediction of beef eating quality in France using the Meat Standards Australia system. *Animal*, 7(3), 524-529. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001553>
- Legrand, I., Hocquette, J.-F., Denoyelle, C., & Bièche-Terrier, C. (2016). La gestion des nombreux critères de qualité de la viande bovine : une approche complexe. *INRA Productions Animales*, 29(3), 185-200. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2016.29.3.2959>
- Legrand, I., Hocquette, J.-F., Polkinghorne, R. J., & Wierzbicki, J. (2017). Comment prédire la qualité de la viande bovine en Europe en s'inspirant du système australien MSA ? *Innovations Agronomiques*, 55, 171-182. <https://doi.org/10.15454/1.5137775572495574E12>
- Listrat, A., Lebre, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 2016, e3182746. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
- Listrat, A., Gagaoua, M., Andueza, D., Gruffat, D., Normand, J., Mairesse, G., Picard, B., & Hocquette, J.-F. (2020). What are the drivers of beef sensory quality using metadata of intramuscular connective tissue, fatty acids and muscle fiber characteristics? *Livestock Science*, 240, 104209. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104209>
- Listrat, A., Boby, C., Tournayre, J. & Jousse, C. (2023). Bovine extracellular matrix proteins and potential role in meat quality: First *in silico* *Bos taurus* compendium. *Journal of Proteomics*, 279, 104891. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2023.104891>
- Liu, J., Chriki, S., Ellies-Oury, M.-P., Legrand, I., Pogorzelski, G., Wierzbicki, J., ... Hocquette, J.-F. (2020). European conformation and fat scores of bovine carcasses are not good indicators of marbling. *Meat Science*, 170, 108233. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108233>
- Liu, J., Ellies-Oury, M.-P., Stoyanchev, T., & Hocquette, J.-F. (2022). Consumer perception of beef quality and how to control, improve and predict it? Focus on eating Quality. *Foods*, 11(12), 1732. <https://doi.org/10.3390/foods11121732>
- Liu, J., Chriki, S., Kombolo, M., Santinello, M., Pflanzner, S. B., Hocquette, É., Ellies-Oury, M.-P., & Hocquette, J.-F. (2023). Consumer perception of the challenges facing livestock production and meat consumption. *Meat Science*, 200, 109144. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109144>
- Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R., & Delday, M. (2003). Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(2), 337-347. <https://doi.org/10.1079/PNS2003248>
- Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire (2017). Les États généraux de l'alimentation. *alim'agri*, 1566. <https://agriculture.gouv.fr/alimagri-les-etats-generaux-de-lalimentation>
- Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire (2023). Arrêté du 12 janvier 2023 portant extension de l'accord interprofessionnel conclu le 22 mars 2022 dans le cadre de l'association nationale interprofessionnelle bétail et viande (INTERBEV) relatif à l'évaluation du persillé sur les carcasses de bovins âgés de 8 mois ou plus. *Journal Officiel de la République Française*, 14, 11. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046992146>
- Ministère de l'Économie (2014). Arrêté du 10 juillet 2014 modifiant l'arrêté du 18 mars 1993 relatif à la publicité des prix des viandes de boucherie et de charcuterie. *Journal Officiel de la République Française*, 174, 22. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000029307950>
- McGilchrist, P., Polkinghorne, R. J., Ball, A. J., & Thompson, J. M. (2019). The Meat Standards Australia Index indicates beef carcass quality. *Animal*, 13(8), 1750-1757. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003713>

- Meat & Livestock Australia (2022). 2021–2022 *Meat Standards Australia annual outcome report*. Retrieved from https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/marketing-beef-and-lamb/documents/meat-standards-australia/cic_107266_mla-annual-outcomes-report_03-web.pdf
- Meat & Livestock Australia (2023). *Annual outcomes report 2022–2023; Delivering consumer confidence in eating quality*. Retrieved from <https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/marketing-beef-and-lamb/documents/meat-standards-australia/mla-msa-annual-outcomes-report-2223-web.pdf>
- Micol, D., Jurie, C., & Hocquette, J.-F. (2010). Qualités sensorielles de la viande bovine. Impacts des facteurs d'élevage ? Dans D. Bauchart & B. Picard (Coord.), *Muscle et viande de ruminant* (pp. 165-174). Versailles : Éditions Quae. <https://hal.inrae.fr/hal-02813525v1>
- Monin, G. (1991). Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Productions Animales*, 4(2), 151-160. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1991.4.2.4327>
- Monteils, V., Sibra, C., Ellies-Oury, M.-P., Botreau, R., De la Torre, A., & Laurent, C. (2017). A set of indicators to better characterize beef carcasses at the slaughterhouse level in addition to the EUROP system. *Livestock Science*, 202, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.017>
- Neveu, A., Strachan, S., Pethick, D., Legrand, I., & Hocquette, J.-F. (2019). Faits marquants de la production bovine en Australie. *Viandes & Produits Carnés*, 35, 35-1-4. <https://hal.science/hal-02081874v1>
- Nicolazo de Barmon, A., Normand, J., & Denoyelle, C. (2024). Développement d'un référentiel français d'évaluation du persillé. *Viandes et produits carnés VPC-2024-4023*. <https://www.viandesetproduitscarnes.com/index.php/process-et-technologies/329-developpement-dun-referentiel-francais-devaluation-du-persille>
- Nishimura, T. (2010). The role of intramuscular connective tissue in meat texture. *Animal Science Journal*, 81(1), 21-27. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2009.00696.x>
- Normabev (2015). *Classement conformation et état d'engraissement des carcasses de gros bovins – Guide pédagogique – Mise à jour novembre 2015*. <https://normabev.net/wp-content/uploads/2020/01/NORMABEV-guidepedagogiquerevu2015.pdf>
- oriGIn (2018a). *Appellations origine protégée en France*. <https://www.originfood.info/aop-france/>
- oriGIn (2018b). *Indications géographiques protégées en France*. <https://www.originfood.info/igp-france/>
- Ouali, A., & Talmant, A. (1990). Calpains and calpastatin distribution in bovine, porcine and ovine skeletal muscles. *Meat Science*, 28(4), 331-348. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90047-A](https://doi.org/10.1016/0309-1740(90)90047-A)
- Oury, M. P., Picard, B., Istasse, L., Micol, D., & Dumont, R. (2007). Mode de conduite en élevage et tendreté de la viande bovine. *INRA Productions Animales*, 20(4), 4. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2007.20.4.3468>
- Picard, B., & Gagaoua, M. (2020). Muscle fiber properties in cattle and their relationships with meat qualities: An overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(22), 6021-6039. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02086>
- Polkinghorne, R. J., & Thompson, J. M. (2010). Meat standards and grading. *Meat Science*, 86(1), 227-235. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.010>
- Prache, S., Adamiec, C., Astruc, T., Baéza, E., Bouillot, P.-E., Clinquart, A. . . Santé-Lhoutellier, V. (2023). La qualité des aliments d'origine animale : enseignements d'une expertise scientifique collective. *INRAE Productions Animales*, 36(1), 7480. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2023.36.1.7480>
- Prevolnik, M., Čandek-Potokar, M., & Škorjanc, D. (2004). Ability of NIR spectroscopy to predict meat chemical composition and quality - a review. *Czech Journal of Animal Science*, 49(11), 500-510. <https://doi.org/10.17221/4337-CJAS>
- Prieto, N., Roehe, R., Lavín, P., Batten, G., & Andrés, S. (2009). Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. *Meat Science*, 83(2), 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.04.016>
- Purslow, P. P. (2005). Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science*, 70(3), 435-447. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.06.028>
- Sans, P. & Legrand, I. (2018). Tendence d'évolution des caractéristiques des marchés. In M.-P. Ellies-Oury & J.-F. Hocquette. *La chaîne de la viande bovine ? Production, transformation, valorisation et consommation* (pp. 125-141). Paris : Éditions Lavoisier Tec & Doc.
- Stewart, S. M., Toft, H., O'Reilly, R. A., Lauridsen, T., Esberg, J., Jørgensen, T. B., Tarr, G., & Christensen, M. (2024). Objective grading of rib eye traits using the Q-FOM™ camera in Australian beef carcasses. *Meat Science*, 213, 109500. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109500>
- Terlou, C. (2015). Stress reactivity, stress at slaughter and meat quality. In Z. E. Sikorski (Serie Ed.) & W. Przybylski & D. Hopkins (Vol. Eds.), *Chemical and functional properties of food components series: Meat quality, genetic and environmental factors* (pp. 199-218).
- Verbeke, W., Pérez-Cueto, F. J. A., de Barcellos, M. D., Krystallis, A., & Grunert, K. G. (2010). European citizen and consumer attitudes and preferences regarding beef and pork. *Meat Science*, 84(2), 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.05.001>
- Wright, S. A., Ramos, P., Johnson, D. D., Scheffler, J. M., Elzo, M. A., Mateescu, R. G., . . . Scheffler, T. L. (2018). Brahman genetics influence muscle fiber properties, protein degradation, and tenderness in an Angus-Brahman multibreed herd. *Meat Science*, 135, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.09.006>

Résumé

La baisse de la consommation individuelle de viande bovine s'explique par des questions sociétales relatives à l'environnement et au bien-être animal, mais aussi par son prix d'achat et par la variabilité non maîtrisée et décevante de la qualité sensorielle, d'après des enquêtes auprès des consommateurs. Cet article se propose de synthétiser les connaissances scientifiques sur le déterminisme de la qualité sensorielle de la viande bovine et leur application concrète pour classer les viandes bovines. Cette qualité sensorielle dépend des caractéristiques biologiques des tissus musculaires en relation avec les pratiques d'élevage, la race, le sexe et l'âge de l'animal mais aussi pour une grande part des évolutions biologiques du muscle au cours de la maturation de la viande. Les systèmes de classement des carcasses et des viandes prennent peu en compte ces éléments à l'exception de la note de persillé dans certains pays. Le système MSA (Meat Standards Australia) et son équivalent européen (le système 3G) sont en capacité de prédire pour chaque pièce de boucherie la qualité sensorielle de la viande bovine, non pas directement à partir des indicateurs de la biologie musculaire avant et après abattage, mais à partir de facteurs qui régulent ces indicateurs tels que les caractéristiques des animaux et de leurs carcasses, et les conditions d'abattage, de maturation et de cuisson. D'autres recherches sont en cours pour améliorer cette prédiction en utilisant divers outils (spectromètre, caméra...) en mesurant sur la chaîne de production des critères spécifiques pris en compte par ces modèles, notamment le persillé.

Abstract

Methodological developments for predicting the sensory quality of beef meat

The decline in individual consumption of beef is due to societal issues related to the environment and animal welfare, but also to its purchase price and the uncontrolled and disappointing variability of its sensory quality, as consumer surveys have shown. The aim of this article is to summarize

scientific knowledge on the determinism of beef sensory quality and its practical application to beef grading. This sensory quality depends on the biological characteristics of the muscle tissue in relation to the animal's rearing practices, breed, sex and age, but also to a large extent on the biological evolution of the muscle as the meat matures. Current carcass and meat grading systems take little account of these factors, with the exception of marbling in some countries. The MSA (Meat Standards Australia) system and its European equivalent (the 3G system) are able to predict the sensory quality of beef for each piece of butchery, not directly on the basis of muscle biology indicators before and after slaughter, but on the basis of factors that regulate these indicators, such as the characteristics of the animals and their carcasses, and the conditions of slaughter, ageing and cooking. Further research is underway to improve this prediction using various tools (spectrometer, camera, etc.) by measuring specific criteria on the production line that are considered by these models, notably marbling.

KOMBOLO NGAH, M., LEGRAND, I., & HOCQUETTE, J.-F. (2024). Évolutions conceptuelles et méthodologiques pour évaluer et prédire la qualité sensorielle de la viande bovine. *INRAE Productions Animales*, 37(3), 8066.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2024.37.3.8066>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.