



HAL
open science

Evaluation du persillé et des qualités sensorielles des carcasses bovines

Isabelle Legrand, Jingjing Liu, Aubert Nicolazo de Barmon, Grzegorz Pogorzelski, Alix Neveu, David William Pethick, Marie-Pierre Ellies-Oury, Jean-François Hocquette

► To cite this version:

Isabelle Legrand, Jingjing Liu, Aubert Nicolazo de Barmon, Grzegorz Pogorzelski, Alix Neveu, et al.. Evaluation du persillé et des qualités sensorielles des carcasses bovines. Viandes et Produits Carnés, 2024, VPC-2024-4021. <hal-04674213>

HAL Id: hal-04674213

<https://hal.inrae.fr/hal-04674213v1>

Submitted on 21 Aug 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



Evaluation du persillé et des qualités sensorielles des carcasses bovines

Persillé, couleur de viande et couleur de gras : impact du site de mesure et prédiction de la qualité en bouche de la viande bovine.

Mots clés : persillé, couleur, bœuf, prédiction de la qualité en bouche, système MSA, classification de carcasse

Auteurs : Isabelle Legrand¹, Jingjing Liu², Aubert Nicolazo de Barmon³, Grzegorz Pogorzelski⁴, Alix Neveu⁵, David Pethick⁶, Marie-Pierre Ellis-Oury^{2,7}, Jean-François Hocquette²

- 1) Institut de l'Élevage, MRA-Nouvelle Aquitaine, Boulevard des Arcades, 87060 Limoges Cedex 2, France ;
- 2) INRAE, UMR1213 Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores (UMRH) Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France ;
- 3) Institut de l'Élevage, Route d'Épinay, 14310 Villers-Bocage, France
- 4) Warsaw University of Life Sciences (WULS-SGGW), Warsaw, Poland
- 5) Birkenwood Europe, France
- 6) Murdoch University, School of Veterinary and Life Sciences, Murdoch, Australia
- 7) Bordeaux Sciences Agro, Bordeaux, France

E-mail de l'auteur correspondant : Isabelle.Legrand@idele.fr

De récents travaux d'INRAE et de l'Institut de l'Élevage montrent que mesurer le persillé à la 5^{ème} côte et non à la 10^{ème} côte comme en Australie ne modifie pas la prédiction de la qualité en bouche par le modèle australien MSA. En revanche, les couleurs de viande et de gras des carcasses diffèrent entre les deux sites.

Résumé

Dans les abattoirs européens, pratiquer la coupe avant/arrière des carcasses bovines entre la 10^{ème} et la 13^{ème} côte, comme en Australie, plutôt qu'à la classique 5^{ème} côte peut engendrer une dépréciation financière, ce qui freine les abattoirs à réaliser ce type de coupe. Cette étude avait donc pour objectif de comparer les scores de classement de persillé, couleur de viande et couleur de gras du *M. longissimus thoracis* et *lumborum* lors de coupes à la 5^{ème} et à la 10^{ème} vertèbre thoracique. Les conséquences sur la prédiction de la qualité de la viande par le modèle Meat Standards Australia (MSA) ont ensuite été évaluées pour des vaches de réforme, lesquelles produisent la majorité de la viande bovine consommée en France. Les carcasses de 208 vaches françaises, principalement de race Limousine, ont été classées selon le système australien ABCAS (« Australian Beef Chiller Assessment System ») employé pour la mise en œuvre du système MSA et de son équivalent européen, le système 3G. Il n'y a pas de différence significative de persillé entre les deux sites de mesure, ni de scores de qualité sensorielle globale (MQ4) des muscles ou de l'index MSA de la carcasse calculés à partir de ces mesures. En revanche, la couleur de la viande est significativement plus sombre à la 10^{ème} qu'à la 5^{ème} côte et la couleur du gras plus jaune. En France, le classement de persillé du *M. longissimus thoracis* et *lumborum* doit s'effectuer à la 5^{ème} côte selon le référentiel interprofessionnel en vigueur. Les résultats de cette étude suggèrent qu'il pourrait techniquement aussi se faire à cet endroit avec le référentiel MSA/3G, pour des recherches sur bovins allaitants en Europe. Cependant, des investigations et ajustements supplémentaires seraient nécessaires pour utiliser d'autres critères essentiels du classement MSA/3G (comme l'épaisseur du gras dorsal) afin qu'ils soient compatibles avec les pratiques habituelles de séparation en quartiers des carcasses européennes.

Abstract: Evaluation of marbling and sensory qualities of beef carcasses

For European abattoirs, the preferred carcass grading site is the 5th rib and cutting between the 10th and the 13th rib as in Australia is not desired as it could lead to a lower economic value of the carcass. Consequently, the aim of this study was to compare marbling, meat color and fat color grading scores on *M. longissimus thoracis* et *lumborum* at the 5th and the 10th thoracic vertebrae. The impact on beef eating quality prediction using the Meat Standards Australia (MSA) grading scheme was then evaluated for cull cows, which produce most of the beef consumed in France. Carcasses from 208 French cattle, mainly Limousine cows, were graded according to the Australian Beef Chiller Assessment System (ABCAS) used to implement the MSA system and its European equivalent, the 3G system. There was no significant difference between the 5th rib and the 10th rib in marbling score, and therefore in muscle global quality scores (MQ4) and in carcass MSA index calculated from the marbling values of the 5th or the 10th ribs. However, meat color was significantly darker and fat color significantly more yellow at the 10th rib than at the 5th rib. In France, marbling must be evaluated at the *M. longissimus thoracis* et *lumborum* at the 5th thoracic vertebrae according to the current interprofessional grid. The results of this study suggest that it could technically be carried out at this level according to MSA/3G standards for research on cattle breeds in Europe. However, further investigation and adjustments would be required for other critical carcass MSA/3G scores (such as rib fat thickness) when using European carcass quartering practices.

INTRODUCTION

L'érosion régulière de la consommation de viande bovine par habitant depuis une vingtaine d'années est un enjeu important pour la filière bovine européenne (Institut de l'Élevage, 2022b ; Hocquette *et al.*, 2018). La France, premier producteur de viande bovine en Europe, observe également un lent déclin de la consommation de viande bovine globale et par habitant (Institut de l'Élevage, 2022a ; Sans et Legrand, 2018). Même si cette baisse de consommation semble se stabiliser (+1,1% en 2022/2021 selon la consommation par bilan), et ce malgré l'inflation (+8,9 / en 2022/2021 pour l'indice des prix à la consommation harmonisé des viandes de bœuf et veau) selon FranceAgriMer (2023), le secteur est préoccupé par la décapitalisation (-837 000/2021 têtes depuis 2016, dont 490 000 vaches allaitantes), qui s'accélère et cause un déséquilibre du fait d'une baisse plus rapide de la production (-4,1 % en 2022/ 2021 en volume) que de la consommation. Cette dynamique conduit à une réduction de la capacité d'auto-provisionnement et plus encore du taux de couverture de la consommation par la production indigène (77%) qui va continuer de se contracter dans les prochaines années. Les importations, plus compétitives que la production nationale et qui proposent des qualités et des découpes de viande différentes, pourraient peser sur la performance économique du secteur. Un système de prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine pourrait aider à lutter contre la décapitalisation et justifier un prix de vente consommateur plus élevé que la concurrence.

En effet, malgré cette tendance de fond, FranceAgriMer (2015) rapporte un intérêt croissant des ménages pour une viande bovine de qualité organoleptique supérieure. Ellies-Oury *et al.* (2018 et 2019) indiquent aussi qu'un système garantissant la qualité en bouche intéresserait les consommateurs français.

A ce jour, le classement des carcasses bovines le plus élaboré est probablement celui employé par le modèle MSA (Meat Standards Australia), connu comme le système de garantie de la qualité de la viande bovine en bouche le mieux établi (Hocquette *et al.*, 2018). L'objectif de ce système est de s'assurer que le niveau de qualité en bouche de la viande de bœuf achetée par les consommateurs soit conforme à celui promis par l'étiquette, en accord avec le prix, si le morceau est préparé selon les recommandations culinaires associées (Meat and Livestock Australia, 2010). Dans ce système, le score de qualité globale de la viande (MQ4) a été développé pour classer les morceaux individuels selon leur potentiel de qualité en bouche et l'index MSA est utilisé pour estimer le niveau moyen de qualité en bouche de la carcasse bovine dans son ensemble (McGilchrist *et al.*, 2019). Il est intéressant de noter que le cheptel australien repart à la hausse en 2021 (+6% en juin 2022/2021) grâce notamment aux conditions climatiques favorables (Institut de l'Élevage, 2023), mais aussi peut-être aux effets résiduels du programme MSA. En effet, celui-ci connaît un certain succès : en 2022–23, plus de 3,39 millions de bovins ont été présentés au classement MSA par des opérateurs australiens, dont plus de 3,23 millions respectant les exigences minimales pour un tel classement. Le cheptel bovin classé MSA continue de représenter plus de la moitié des bovins adultes abattus en Australie, soit 54% en 2022–23 (Meat and Livestock Australia, 2023).

En France, le plan de la filière bovine française (INTERBEV bovin, 2017) défini dans le cadre des Etats Généraux de l'Alimentation (2018) intègre à la fois l'information au consommateur en segmentant plus clairement l'offre en viande bovine sur la base de critères organoleptiques et sociétaux (objectif 2) et la montée en gamme des produits bovins avec le Label Rouge (objectif 4). Pour aider le consommateur à faire un choix éclairé, l'offre sera ainsi subdivisée en deux catégories : un niveau de qualité standard et une offre certifiant une expérience gustative supérieure et respectant des critères de production plus exigeants sur l'environnement et le bien-être animal. Le Label Rouge, signe officiel de qualité, est utilisé pour indiquer un potentiel supérieur de qualité en bouche des morceaux destinés aux consommateurs, spécialement pour le bœuf produit à partir de races allaitantes, généralement tardives. Or, il est établi que l'infiltration de gras intramusculaire, ou « persillé », améliore l'appréciation globale de la viande en favorisant la flaveur, la jutosité et la tendreté (O'Quinn *et al.*, 2012 ; Normand, 2017 ; Normand *et al.*, 2018). En conséquence, une réflexion globale autour de cette thématique, réaffirmée par les assises du Bœuf de 2022, a été initiée par l'interprofession et il a été décidé d'intégrer à l'évaluation des carcasses le persillé comme indicateur de la qualité organoleptique de la viande bovine, pour les opérateurs intéressés. Une grille d'évaluation du persillé a été développée par l'Institut de l'Élevage et validée par l'interprofession, qui doit être utilisée par toute entreprise désireuse d'évaluer le niveau de persillé de ses carcasses. Sa mise en œuvre est encadrée par l'accord interprofessionnel du 22 mars 2022 étendu par les pouvoirs publics (arrêté du 12 janvier 2023). Un travail bibliographique a aussi été mené sur les outils de mesure du persillé, voire d'autres caractéristiques de carcasse, dans l'objectif d'une future objectivation du classement français, plus particulièrement sous l'angle du persillé (Denoyelle, 2021).

Cette approche française a des points communs avec les objectifs du système de classement MSA. En effet, ce dernier est présenté comme un système fiable de description de la qualité en bouche, sur lequel pourraient reposer les prix de vente au détail pour générer la confiance des consommateurs dans la qualité du produit (Meat and Livestock Australia, 2011).

En conséquence, des efforts de recherche ont été conduits en Europe pour développer la méthodologie MSA en tant que référence pour l'évaluation de la qualité de la viande bovine (Legrand *et al.*, 2013 ; Chong *et al.*, 2019 ; Pogorzelski *et al.*, 2020), sous les auspices de l'UNECE (« United Nations Economic Commission for Europe » ou commission économique des Nations Unies pour l'Europe) (United Nations, 2016 ; Hocquette *et al.*, 2020). Les bases du modèle de prédiction de la palatabilité de la viande bovines (c'est-à-dire, son appréciation hédonique par des consommateurs) reposent notamment sur l'appréciation de plusieurs critères de classement de la carcasse, (Polkinghorne *et al.*, 2008). Ce classement constitue l'une des étapes majeures du système MSA ; il est réalisé dans le respect du système d'évaluation australien ABCAS (« Australian Beef Chiller Assessment System »). Selon ce système, le persillé, la couleur de viande et la couleur du gras peuvent être évalués sur *M. longissimus thoracis et lumborum* (LTL, *M. longissimus thoracis* correspondant

majoritairement au train de côte et *M. longissimus lumborum* majoritairement au faux-filet) à n'importe quel site entre la 5^{ème} et la 13^{ème} côte (AUS-MEAT, 2021) pour les bovins classiquement abattus en Australie, qui sont majoritairement des bouvillons et des génisses de races plutôt précoces. Ce constat n'a jamais encore été validé sur les vaches âgées et/ou les races tardives bien représentées en France.

Ceci a motivé la présente étude sur les possibles écarts de scores de persillé, de couleur de viande et de couleur du gras du *longissimus thoracis* (LT, allant de la 5^{ème} à la 13^{ème} côte) évalués selon la procédure ABCAS à la 5^{ème} vertèbre, zone habituelle de séparation entre l'entrecôte et la basse

côte, ou à la 10^{ème} vertèbre thoracique, zone habituelle de séparation entre l'entrecôte et le faux-filet. L'impact potentiel de ces deux sites de classement sur la prédiction MSA de la qualité de la viande bovine en bouche a également été examiné au travers des scores MQ4 prédits pour chaque morceau et de l'index MSA calculé pour refléter la qualité de la carcasse dans sa globalité.

Les résultats de cette étude sont nécessaires à l'application potentielle du MSA ou d'un système apparenté dans les pays européens, à des fins de recherche ou autres (initiatives individuelles professionnelles...). Ils viennent aussi compléter les travaux interprofessionnels actuels sur les outils de mesure du persillé.

I. MATERIELS ET METHODES

I.1. Animaux et plan d'expérience

Afin de compléter les recherches australiennes antérieures évoquées (AUS-MEAT, 2021), ce travail a été conduit sur des vaches de réforme, source majeure de la viande bovine consommée en France. Il s'agissait principalement d'animaux de race Limousine, race tardive bien connue et utilisée dans le monde, la plus représentée parmi les viandes bovines commercialisée en France sous Label Rouge.

Les données utilisées dans cette étude proviennent de 208 carcasses (dont 157 de race Limousine, les autres étant un mélange d'animaux laitiers et allaitants) d'une entreprise commerciale. L'âge moyen d'abattage était de 9,5 ans +/- 5 ans mais avec un âge minimum de 7,5 mois et un âge maximum 20 ans de (Tableau 1) pour disposer d'une variabilité importante du persillé. L'état d'engraissement moyen des carcasses était de 3- sur l'échelle EUROP éclatée à 15 niveaux avec un minimum à 1+ et un maximum à 3+. Il n'a pas été possible d'intégrer d'animaux plus gras, par manque de disponibilité dans

l'entreprise du fait de leur relative rareté en races allaitantes.

Toutes les carcasses ont été évaluées 24 heures post-mortem. Elles ont été classées à la 10^{ème} puis à la 5^{ème} côte au moins 20 minutes après la séparation en quartiers pour permettre la réoxygénation de la viande. L'évaluation a été faite par la même personne : un pointeur ayant une grande expérience du classement carcasse ABCAS, officiellement reconnu comme formateur en classement par AUS-MEAT (structure leader en audits, certifications et formations pour les industries agroalimentaires australienne et néo-zélandaise.) Les conditions d'ambiance (lumineuse notamment) et les pratiques de coupe (hauteur et angle) des carcasses étaient homogènes pour l'ensemble des évaluations quel que soit le site de mesure concerné. Pour les besoins de l'expérimentation, les évaluations à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte ont été réalisées sur la même demi-carcasse.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des carcasses de bovins de race Limousine en majorité

	Nb	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Âge (jours)	204	3458	1835	228	7422
Âge (ans)	204	9,47	5,03	0,62	20,33
Poids de carcasse (kg)	204	356,5	95,8	126,8	729,7
pH ultime	198	5,7	0,16	5,3	6,3
Score d'ossification	185	480,0	160,8	100	590
Score de conformation ¹	204	8,7 (R+)	3,1	1 (P-)	13 (E-)
Score d'état d'engraissement ²	204	7,0 (3-)	1,0	3 (1+)	9 (3+)
Hauteur de la bosse dorsale (cm)	204	6,9	2,5	3,5	18

¹Score de conformation EUROP converti de P(-/=/+), O(-/=/+), R(-/=/+), U(-/=/+), et E(-/=/+) en 1 à 15

²Score d'état d'engraissement EUROP converti de 1(-/=/+), 2(-/=/+), 3(-/=/+), 4(-/=/+), et 5(-/=/+) en 1 à 15

I.2. Données collectées

Les évaluations concernant le pH ultime de la carcasse (mesuré entre la 10^{ème} et la 13^{ème} côte), le score d'ossification, la hauteur de la bosse dorsale, de même que le persillé et les couleurs de viande et du gras du *M. longissimus thoracis et lumborum* (LTL) ont été réalisées par des classificateurs agréés par Fondation Internationale Meat 3G, dans le respect des spécifications ABCAS et des standards de référence MSA (AUS-MEAT Limited, 2005 ; AUS-MEAT Reference Standards - Meat Standards Australia beef information kit – MLA, 2010 : Figure 1) également utilisés pour la version européenne du système MSA (le modèle 3G),.

Les quatre premiers critères entrent dans le modèle de prédiction MSA, les deux derniers relatifs aux couleurs ont plutôt un intérêt commercial : ils impactent clairement l'appréciation des viandes par les consommateurs et sont influencés par certains paramètres pris en compte dans le modèle.

Le score d'ossification des carcasses (indicateur de la maturité physiologique) est utilisé en Australie pour estimer l'âge des animaux en l'absence de passeport ou de document d'accompagnement du bovin permettant de le connaître. Il est notamment approprié pour les jeunes animaux. Il est déterminé par l'observation des vertèbres sacrées, lombaires et thoraciques, et noté selon une échelle de 100 à 590 avec un pas de 10. Chez un jeune animal, ces vertèbres sont séparées. Quand l'animal devient plus mature, le cartilage se transforme progressivement en os, de l'arrière vers l'avant ; les vertèbres se soudent partiellement, des « capuchons » apparaissent, venant les recouvrir.

La hauteur de bosse approche le pourcentage de sang zébu (*Bos taurus indicus*) du bovin, défavorable aux qualités en bouche de la viande. Pertinent en Australie, ce critère l'est nettement moins en Europe, notamment en France en l'absence de représentation de Zébu dans le cheptel national. Ce critère correspond à la plus grande largeur des muscles du collier (*M. rhomboideus*) mesurée à l'aide d'une règlette par intervalles de 5 millimètres (Figure 2).

Deux classements de persillé ont été faits lors de l'étude : le persillé AUS-MEAT et le persillé MSA (Figure 3A). Le score de persillé AUS-MEAT reflète la quantité de persillé, allant de 0 à 9, par incréments de 1 point. Le score de persillé MSA utilise une échelle plus précise, basée sur le système américain de l'USDA (United States Department of Agriculture) : il fournit des scores de 100 à 1190 par incréments de 10. Le score de persillé MSA indique non seulement la quantité de persillé, mais aussi la taille, la finesse et la distribution des inclusions de gras dans les muscles (Ferguson, 2004).

Les couleurs de gras et de viande sont évaluées selon l'échelle AUS-MEAT de 0 à 9 pour le gras et pour la viande à l'aide de scores 1A, 1B, 1C, puis 2 à 7 (qui sont convertis dans l'échelle suivante dans la présente étude : 1 ; 1,33 ; 1,66 ; 2 à 7 respectivement). Les figures 3B et 3C illustrent ces grilles.

Les scores de classement EUROP au tiers de classe, de conformation et d'état d'engraissement, sont tous deux convertis selon des échelles en 15 points, afin de pouvoir les traiter comme des variables continues.

Les informations basiques sur les carcasses étudiées sont présentées dans le Tableau 1.

Figure 1 : Outils MSA d'évaluation du degré d'ossification (en haut droite), du persillé (en bas milieu), de la couleur de la viande (en haut gauche), de la couleur de gras (en bas gauche) et de la température et du pH (en bas droite)

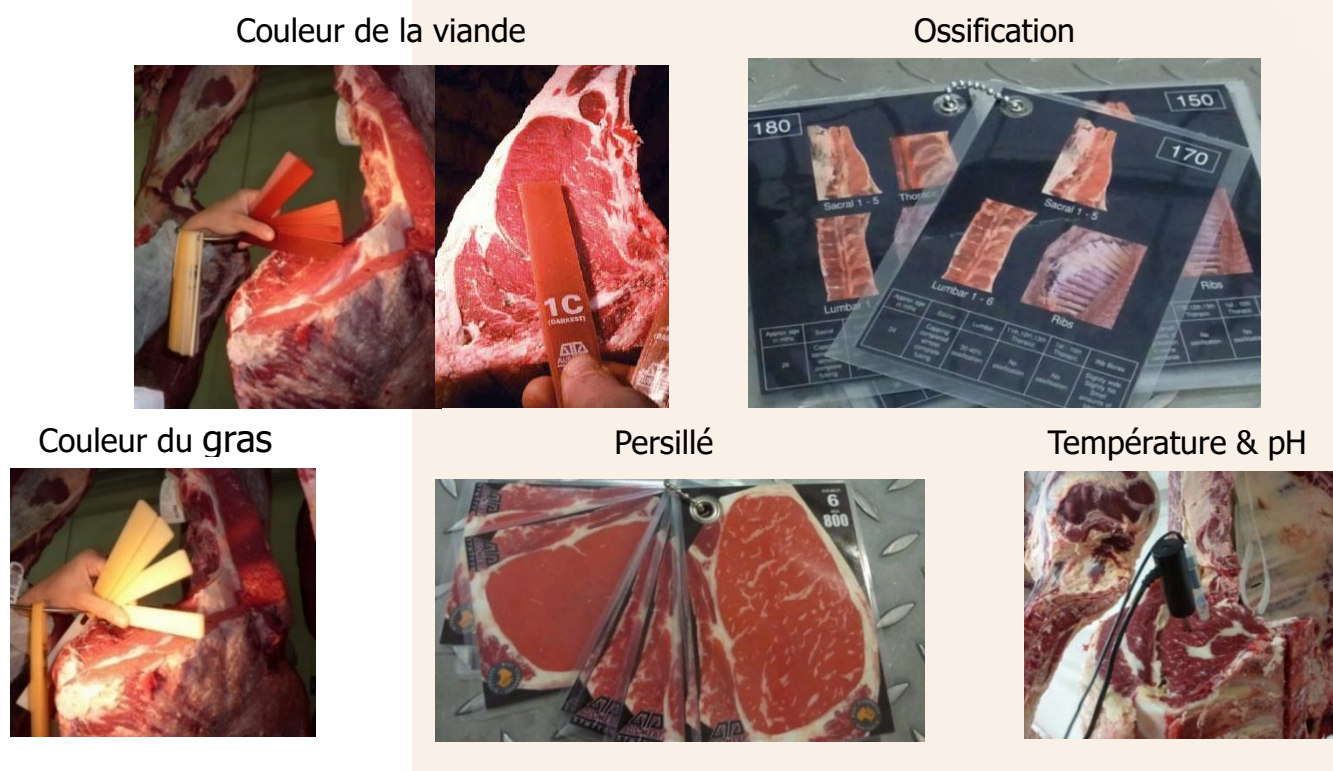
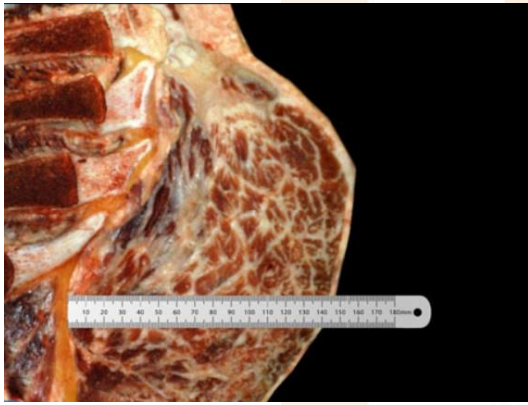


Figure 2 : mesure de la hauteur de bosse du bovin à l'aide d'une règle métallique



© AUS-Meat Limited



© AUS-Meat Limited

A - Grille de persillé AUS-MEAT et MSA :

Le persillé AUS-MEAT est noté de 0 à 9 par incrémentation de 1 ; il indique une proportion de persillé par rapport à la surface du *M. longissimus dorsi*.

Le persillé MSA est noté de 100 à 1190 par pas de 10 ; il donne une indication de la quantité de persillé, mais aussi de la taille, la finesse et la distribution des inclusions de gras dans le muscle.

Ces deux notes attribuées indépendamment l'une de l'autre sont complémentaires.

B - Grille de couleur de viande :

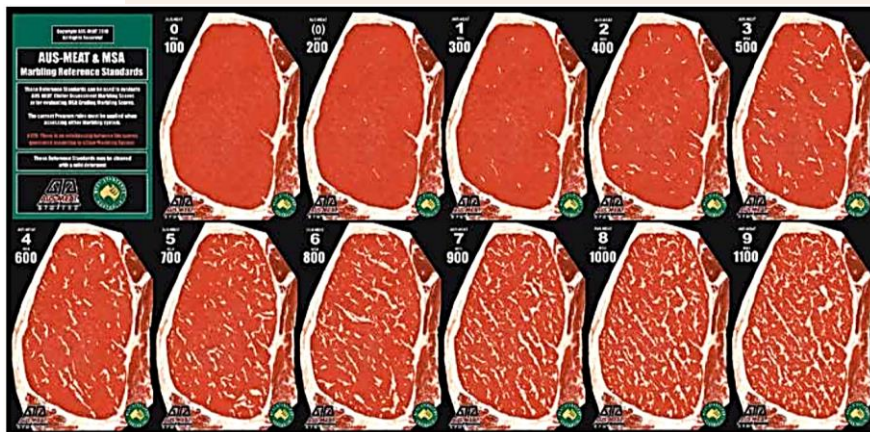
Les couleurs proposées illustrent la couleur la plus foncée de chaque classe ; il s'agit seulement d'un guide, non d'une représentation réelle.

C - Grille de couleur de gras :

Les couleurs proposées illustrent la couleur la plus foncée de chaque classe ; il s'agit seulement d'un guide, non d'une représentation réelle.

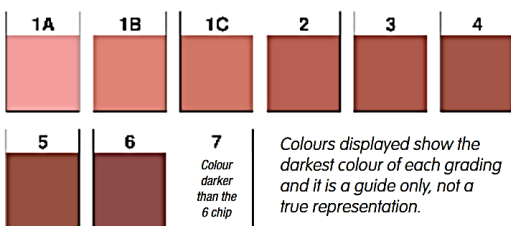
Figure 3 : Grilles AUS-MEAT et MSA de persillé (A), de couleur de viande (B) et de couleur de gras (C) utilisées lors des évaluations

A



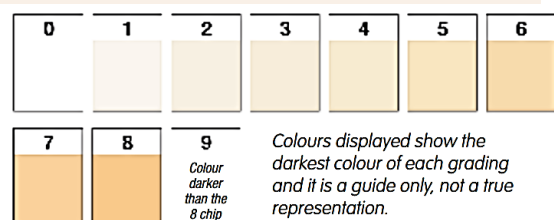
© AUS-Meat Limited et MLA

B



© AUS-Meat Limited

C



© AUS-Meat Limited

I.3. Prédiction des scores MQ4 et de l'index MSA

Le système de classement MSA permet de prédire un score de qualité de viande appelé MQ4, qui résume le niveau de satisfaction d'un consommateur à la dégustation d'un morceau de viande bovine. Il est défini comme la combinaison de quatre critères sensoriels que sont la tendreté, la jutosité, l'appréciation de la flaveur et l'appréciation globale à la dégustation (Polkinghorne *et al.*, 2008). Le modèle de prédiction MSA fournit la prédiction des MQ4 des muscles individuels de la carcasse pour différents modes de suspension de la carcasse durant le ressuage, durées de maturation, et méthodes de cuisson. Les paramètres utilisés pour prédire le MQ4 incluent entre autres le sexe de l'animal, le poids de carcasse, le mode de suspension, la hauteur de bosse, le score d'ossification, le score de persillé, l'épaisseur du gras de la côte, le pH ultime et le nombre de jours de maturation (Bonny *et al.*, 2018). Dans cette étude, les scores MQ4 ont été prédits pour trois morceaux différents du *M. longissimus thoracis et lumborum* sur lesquelles les scores de persillé ont été enregistrés : LT (*M. longissimus thoracis*, au niveau de l'entrecôte), LTLA (partie antérieure du faux-filet, au niveau de la 10^{ème} côte) et LTLP (partie postérieure du faux-filet au niveau de la 13^{ème} côte).

Les prédictions par le modèle MSA ont été faites pour une suspension classique par le tendon d'Achille durant le

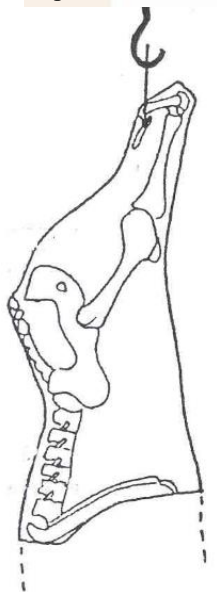
ressuage (le mode de suspension ici appliqué ; Figure 4), une maturation de 10 jours et une cuisson des viandes sur grill. La prédiction des scores MQ4 a été calculée 2 fois pour chaque muscle, avec les scores de persillé évalués à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte, aucun autre paramètre n'ayant été modifié.

L'index MSA de la carcasse est égal à la somme des scores MQ4 prédits de tous les morceaux, pondéré du pourcentage du poids du morceau dans la carcasse, une quarantaine de morceaux étant pris en compte (McGilchrist *et al.*, 2019). Cet index a été prédit deux fois, à partir des mêmes données que précédemment, la différence entre les deux jeux de données concernant le site de mesure du persillé : 5^{ème} ou 10^{ème} côte.

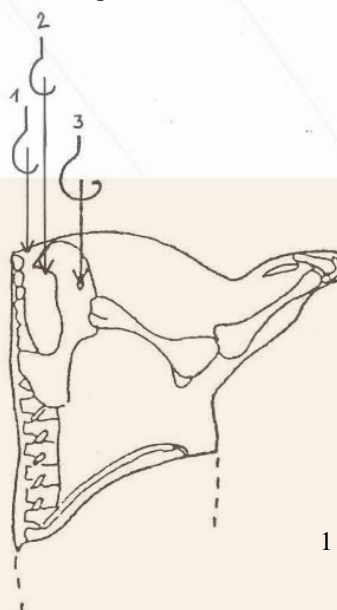
Au total, les scores de qualité de viande (MQ4) et l'index MSA de 164 carcasses ont pu être prédits, du fait de certaines données manquantes. Pour plus d'informations sur la méthode MSA ou 3G et la prédiction de la qualité de la viande (scores MQ4 et index MSA), il est conseillé de se reporter aux publications de Polkinghorne *et al.* (2008), Bonny *et al.* (2018) and McGilchrist *et al.* (2019) ou à celles de Jurie *et al.* (2008), Moëvi *et al.* (2008), Legrand *et al.* (2011), Neveu *et al.* (2019), en français.

Figure 4 : Quatre modalités d'accrochage des demi-carcasses pour le ressuage

Suspension par le tendon d'Achille



Suspension Pelvienne (3 options)



- 1 : par le ligament sacrosciatique (« nerf du rumsteck »)
- 2 : par l'obturateur foramen (trou ovulaire de l'ischium)
- 3 : par la « crête sciatique » de l'ischium

I.4. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (version.1.1.436). Les différences significatives entre les 2 sites d'évaluation pour les moyennes de persillé, couleur de viande, couleur de gras, scores MQ4 et index MSA ont été déterminées par analyse de variance (ANOVA), en utilisant la fonction "aov".

Les coefficients de corrélation de Pearson ont été déterminés entre les caractéristiques de carcasse des deux sites (5^{ème} et 10^{ème} côtes) à partir des données brutes, scores

MQ4 et index MSA, en utilisant les fonctions "stat_cor" et "pairs panels".

Des modèles de régression linéaire pour les scores MQ4 utilisant les 2 jeux de scores de persillé des 5^{ème} et 10^{ème} côtes ont été employés en utilisant la fonction "lm" (modèle linéaire).

Des diagrammes de dispersion (graphiques en nuages de points) ont été réalisés grâce à la fonction "ggscatter", avec "add reg.line" et "stat_cor".

II. RESULTATS

II.1. Scores de classement

Les scores de classement du persillé AUS-MEAT, du persillé MSA, de couleur de viande et de couleur du gras évalués sur le muscle LT à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte sont présentés dans le Tableau 2. Ils sont globalement faibles sur l'échantillon de carcasses mesurées : 0,7 sur 9 en moyenne pour le score AUS-MEAT et 290 sur 1190 en moyenne pour le score MSA. Les traitements statistiques

ne mettent pas en évidence de différences significatives entre les 2 sites pour les valeurs de persillé AUS-MEAT et MSA, contrairement aux couleurs de viande et de gras. La couleur de la viande à la 10^{ème} côte est significativement plus sombre que celle à la 5^{ème} côte ($P < 0,01$). De même, la couleur du gras est plus jaune à la 10^{ème} côte qu'à la 5^{ème} ($P < 0,001$).

Tableau 2 : Scores de persillé, de couleur de viande et de couleur de gras déterminés à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte sur les carcasses

	5 ^{ème} côte				10 ^{ème} côte				SEM ¹	P value ²
	Nb	Moyenne	Min	Max	Nb	Moyenne	Min	Max		
AUS MB ³	208	0,7	0	5	207	0,7	0	4	0,06	0,95
MSA MB ⁴	208	288	100	750	207	291	100	680	7,2	0,73
Couleur viande	208	2,5 ^b	1B	6	208	2,9 ^a	1B	7	0,07	0,003
Couleur gras	197	2,5 ^b	0	6	196	3,5 ^a	0	9	0,11	< 0,001

¹SEM : Erreur standard de la moyenne. Elle est directement proportionnelle à l'écart-type de la population (estimé le plus souvent à partir de l'écart-type de l'échantillon) et inversement proportionnelle à la racine carrée de l'effectif de l'échantillon.

²Deux lettres différentes (a, b) sur une même ligne signifient deux valeurs significativement différentes ($P < 0,05$) entre la 5^{ème} et la 10^{ème} côtes.

³AUS MB : Score de persillé AUS-MEAT

⁴MSA MB : Score de persillé MSA

II.2. MQ4 prédits et index MSA

Au-delà des scores de persillé, aucune différence significative n'est observée en moyenne entre les deux sites pour les scores MQ4 prédits des trois morceaux LT, LTLA, LTLP (Tableau 3) et pour les scores MQ4 prédits des autres

morceaux de la carcasse. Il en est de même pour l'index MSA calculé à partir des MQ4 de ces différents morceaux : il ne diffère pas selon le site d'évaluation du persillé (Tableau 3).

II.3. Corrélations entre caractéristiques des carcasses et scores évalués aux 2 sites de mesure

Le Tableau 4 présente les corrélations entre le score d'ossification (qui reflète la maturité de l'animal) et les scores d'évaluation de la noix de côte (persillé AUS-MEAT, persillé MSA, couleur de viande et couleur de gras) soit à la 5^{ème} côte soit à la 10^{ème}. Les coefficients de corrélation r de Pearson entre la 5^{ème} et la 10^{ème} côte sont élevés, se situant entre 0,79 et 0,91 pour le score de persillé qu'il soit AUS-MEAT ou MSA. La corrélation entre la 5^{ème} et la 10^{ème} côte est significative mais modérée pour la

couleur de viande ($r=0,43$) et un peu plus importante pour la couleur du gras ($r=0,70$). Par ailleurs, le score d'ossification est significativement et positivement corrélé au score de couleur de gras pour les deux sites, 5^{ème} et 10^{ème} côte ($r=0,39$ et $r=0,36$). Cependant, il n'est pas liée significativement à la couleur de viande, ni à la note de persillé.

Tableau 3 : Prédiction des scores MQ4 (0 à 100) de différents muscles des carcasses et de l'index MSA (0 à 100) de celles-ci à l'aide des scores de persillé déterminés à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côtes (en conditions standardisées : muscles grillés maturés 10 jours issus de carcasses suspendues par le tendon d'Achille)

	5 ^{ème} côte				10 ^{ème} côte				SEM ¹	P value ²
	Nb	Moyenne	Min	Max	Nb	Moyenne	Min	Max		
MQ4 LT ³	164	58	46	72	164	58	46	69	0,39	0,97
MQ4 LTA ⁴	164	52	40	67	164	52	40	65	0,42	0,95
MQ4 LTP ⁵	164	50	37	66	164	50	37	63	0,44	0,94
MQ4 INSP ⁶	164	64	57	73	164	64	57	72	0,27	0,94
MQ4 TBCL ⁷	164	48	37	61	164	48	37	58	0,39	0,98
MQ4 GM ⁸	164	46	36	58	164	46	36	57	0,39	0,92
MQ4 RF ⁹	164	41	31	53	164	41	31	51	0,37	0,97
MQ4 BF ¹⁰	164	38	28	49	164	38	28	49	0,39	0,95
MQ4 ST ¹¹	164	37	25	54	164	37	25	51	0,47	0,99
MQ4 SSC ¹²	164	55	45	67	164	55	45	65	0,34	0,99
Index MSA	164	52	43	64	164	52	42	62	0,38	0,92

¹SEM : Erreur standard de la moyenne.

²Deux lettres différentes (a, b) sur une même ligne signifient deux valeurs significativement différentes ($P < 0,05$) entre la 5^{ème} et la 10^{ème} côte.

³MQ4 LT : MQ4 score du LT (*M. longissimus thoracis*)

⁴MQ4 LTA : MQ4 score du LTA (*M. longissimus thoracis et lumborum*, partie antérieure du faux-filet)

⁵MQ4 LTP : MQ4 score du LTP (*M. longissimus thoracis et lumborum*, partie postérieure du faux-filet)

⁶MQ4 INSP : *M. infraspinatus* (paleron)

⁷MQ4 TBCL : *M. triceps brachii caput longum* (macreuse à bifteck)

⁸MQ4 GM : *M. gluteus medius* (cœur de rumsteck)

⁹MQ4 RF : *M. rectus femoris* (rond de tranche)

¹⁰MQ4 BF : *M. biceps femoris* (gîte noix)

¹¹MQ4 ST : *M. semitendinosus* (rond de gîte)

¹²MQ4 SSC : *M. semispinalis capitis* (demi-épineux)

Tableau 4 : coefficients de corrélation (r) entre scores évalués à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte

	AUSMB 10	MSAMB 5	MSAMB 10	CV 5	CV 10	CG 5	CG 10	OSS ⁵
AUSMB ¹ 5	0,77***	0,88***	0,74***	0,06	0,16*	-0,10	-0,2**	0,21
AUSMB ¹ 10	1	0,75***	0,91***	0,09	0,13	-0,14	-0,2**	0,18
MSAMB ² 5		1	0,79***	0,02	0,21***	-0,14	-0,19**	0,31*
MSAMB ² 10			1	0,06	0,21***	-0,15*	-0,19**	0,18
CV ³ 5 ^{ème}				1	0,43***	0,10	0,06	0,10
CV ³ 10 ^{ème}					1	0,10	0,13	0,03
CG ⁴ 5 ^{ème}						1	0,70***	0,39***
CG ⁴ 10 ^{ème}							1	0,36***

¹AUSMB : Score de persillé AUS-MEAT à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte (5 et 10 respectivement).

²MSA MB : Score de persillé MSA à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte (5 et 10 respectivement).

³CV : Couleur de la viande à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte (5 et 10 respectivement).

⁴CG : Couleur du gras à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte (5 et 10 respectivement).

⁵OSS : Score d'ossification

***, **, * indiquent que la corrélation est significative aux seuils de 0,001 ($P < 0,001$), 0,01 ($P < 0,01$) et 0,05 ($P < 0,05$).

III. DISCUSSION

III.1. Scores de persillé à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte

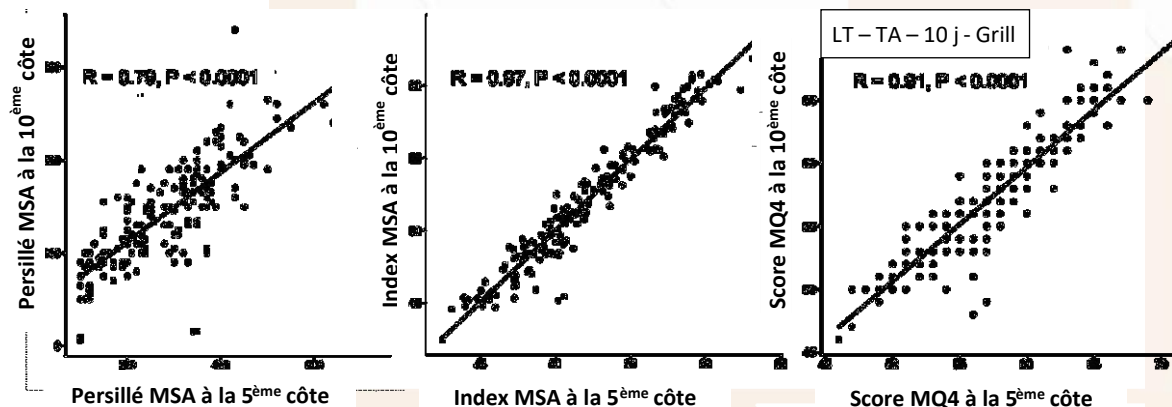
Le score de persillé a été mis en place dans le système ABCAS pour estimer le gras intramusculaire visible à l'œil nu et être utilisé dans le modèle de prédiction MSA dans l'objectif ultime d'assurer la satisfaction en bouche du consommateur (Bonny *et al.*, 2018 ; encadré).

Aucune différence significative de score de persillé mesuré selon les référentiels australiens n'a été mise en évidence en moyenne entre la 5^{ème} et la 10^{ème} côte dans la présente étude. De plus, les scores de persillé MSA évalués aux deux sites étaient distribués de manière régulière jusqu'à la valeur de 400 sur 1190 (Figure 5), avec quelques scores supérieurs observés dans les deux cas. Le niveau de persillé des bovins français est réputé plus faible qu'en

Australie (Hocquette *et al.*, 2011), ce que confirme cette étude avec des scores se cantonnant généralement dans le tiers inférieur de l'échelle MSA et un score moyen de 290 sur 1190. Cependant, le score moyen des échantillons étudiés est similaire entre les 2 sites de mesure (Tableau 2).

Sans surprise, les scores de persillé AUS-MEAT et MSA sont très liés, donc cohérents entre eux ($r=0,88$ entre AUSMB et MSAMB à la 5^{ème} côte ; $r=0,91$ entre AUSMB et MSAMB à la 10^{ème} côte). Ces résultats vont dans le sens de ceux de Kruk *et al.* (2002), qui rapportent une forte association entre les scores de persillé AUS-MEAT et MSA ($r=0,76$).

Figure 5 : Dispersion des scores MQ4 et index MSA calculés à partir des scores de persillé à la 5^{ème} côte (axe des abscisses) ou de la 10^{ème} côte (axe des ordonnées)



LT : *m. Longissimus thoracis*
TA : suspension par le tendon d'Achille durant le ressuage
10 j : 10 jours de maturation
Grill : méthode de cuisson

Il en est de même entre les scores à la 5^{ème} et la 10^{ème} côte pour une même mesure ($r=0,77$ entre les scores AUSMB et $r=0,79$ entre les scores MSAMB) : les deux scores varient dans le même sens et sensiblement de la même manière.

Cook *et al.* (1964) mentionnent des scores similaires aux 5^{ème} et 13^{ème} vertèbres thoraciques. Taylor et Johnson (1992) obtiennent également des scores de persillé presque identiques entre le 5^{ème} et la 10^{ème} côte, mais avec une teneur en gras intramusculaire légèrement supérieure à la 5^{ème} côte. Acheson *et al.* (2018), pour leur part, indiquent que le dépôt de gras intramusculaire de l'animal se fait depuis l'avant vers l'arrière le long des vertèbres. Ceci est cohérent avec les résultats de Winkel and Thornton (1990, cités par Harper, 2003) rapportant une diminution linéaire des deux critères, teneur en gras (de 9,7 à 6,9%) et score de persillé (de 3,6 à 2,9) du *M. longissimus thoracis*, entre les 5/6^{ème} et 12/13^{ème} côtes. Le persillé qu'ils évaluent sur 240 échantillons apparaît plus important dans la partie

antérieure du muscle. Ce résultat a récemment été confirmé par Santinello *et al.* (2024) sur des jeunes bovins (taurillons, génisses) de race tardive engraisés en Italie. Ce résultat va aussi dans le sens des observations de Zembayashi et Lunt (1995), qui indiquent que la teneur en gras intramusculaire décroît de la 6^{ème} à la 12^{ème} côte. Dans cette étude, les écarts de persillé évalué avec une grille entre les différents sites du *M. longissimus* sont inférieurs à ceux résultant de mesures dans le proche infrarouge (NIR) dans les travaux de Konarska *et al.* (2017), spécialement entre faux-filet et entrecôte (LTL et LT).

Les récents développements relatifs au classement instrumental du persillé utilisent des systèmes probablement plus précis que les classificateurs humains ici employés. Avec ce nouveau type de technologie, Acheson *et al.* (2018) constatent que le score de persillé décroît de la 13^{ème} vertèbre thoracique à la 5^{ème}. Ce résultat diffère de celui de la présente étude ; il est même opposé à ceux de Winkel and Thornton (1990, cités par Harper,

2003) ou de Zembayashi *et al.* (1995), précédemment évoqués. Une méthode de classement du persillé différente pourrait aussi constituer une explication. L'équipe d'Acheson utilise un système informatique de vision par caméra pour évaluer le persillé, qui semble être plus objectif et répétable qu'une évaluation sur carcasse par classificateur. Cependant, Schulz et Sundrum ont observé en 2019 des scores de persillé à la 10^{ème} / 11^{ème} / 12^{ème} / 13^{ème} côte fortement corrélés ($r=0,80$ à $0,89$) avec l'emploi d'une technologie de classement par caméra.

Au vu de ces éléments, des travaux supplémentaires seraient sans doute nécessaires, sur des catégories et types raciaux d'animaux plus variés, afin de disposer d'une gamme de carcasses avec des niveaux de persillés plus importants et ainsi éclaircir les relations encore controversées entre le site de mesure sur le *M. longissimus* et les deux paramètres d'intérêt que sont le persillé et la teneur en gras intramusculaire. Cependant, dans le contexte de cette étude, sur des vaches allaitantes françaises naturellement peu persillées, avec une approche visuelle du persillé sur des coupes transversales de muscle, aucun écart majeur n'a été détecté entre les évaluations à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte.

De plus, la filière viande bovine française s'est elle aussi dotée d'une grille d'évaluation du persillé et a entamé des travaux pour objectiver cette évaluation. En effet, jusqu'alors, seules quelques entreprises françaises utilisaient ce critère dans le cadre de démarches qualitatives volontaires. La grille élaborée par l'Institut de l'Élevage, en concertation avec des opérateurs français, comporte 6 classes de persillé. Elle est indépendante des grilles préexistantes, notamment de celles élaborées en Australie. La grille française se base sur des mesures à la 5^{ème} côte, site classique de séparation entre l'avant et l'arrière de la carcasse en France, le site de la 10^{ème} côte utilisé en Australie n'étant pas adapté aux pratiques de coupe les plus courantes en Europe. L'outil Meat@ppli, récemment développé par l'Institut de l'Élevage, l'INRAE

et l'Institut Pascal pour mesurer le taux de gras intramusculaire et le persillé selon la grille française s'utilise aussi, fort logiquement, à la 5^{ème} côte. L'interprofession française a fait le choix de poursuivre les travaux de mise au point de cet outil, sachant que d'autres matériels pertinents sont aussi développés à l'étranger. En effet, une majorité des matériels déjà disponibles sur le marché ou en passe de l'être sont adaptés à des contextes de mesure qui diffèrent du cadre français, d'où l'intérêt des présents résultats. Des données complémentaires sur les sites de mesures les plus pertinents sont d'ailleurs attendues de recherches programmées à court terme par l'Institut de l'Élevage sur l'évaluation du gras des bovins par échographie.

Au-delà de la partie thoracique du *M. longissimus*, ici étudiée, des informations intéressantes figurent dans un rapport du MLA (Harper, 2003) sur la partie lombaire du muscle, qui évoque les travaux suivants. Zembayashi *et al.* (1995) indiquent que la teneur en gras intramusculaire après avoir décré de la 6^{ème} à la 12^{ème} côte croît à nouveau dans la région lombaire du *M. longissimus*, à partir de mesures sur 7 races pures et croisés, incluant la race noire japonaise à forte aptitude au dépôt de graisse. Des résultats similaires ont été rapportés par Ozutsumi et Okada (1982) et par Wello *et al.* (1988) pour des races japonaises variées. Partant du constat selon lequel la surface de la noix *M. longissimus* varie le long du muscle, étant significativement plus petite dans la région thoracique que dans la région lombaire, Lawrie (1961) considère que la teneur en gras intramusculaire varie aussi dans le muscle, d'où l'importance du site de mesure. En prélevant des échantillons le long du *M. longissimus*, Mitsumoto *et al.* (1993) observent que la surface de la section et la teneur en gras du muscle sont inversement liées. Cependant, les scores de persillé du *M. longissimus thoracis* et du *M. longissimus lumborum* sont fortement corrélés ($r=0,83$) selon Konarska *et al.* (2017).

Encadré

Le persillé est l'un des critères les plus importants de la satisfaction en bouche

Le déterminisme de la qualité sensorielle de la viande bovine est multifactoriel comme le montre la variété des données entrées dans le modèle de prédiction MSA et dans son équivalent européen appelé 3G. Cependant, certains de ces facteurs sont fixes ou peu variables pour les viandes d'un même animal (pourcentage de sang zébu, par ex.), d'un groupe d'animaux de même catégorie (gamme limitée de scores d'ossification par ex.), ou traités de manière similaire (mode de suspension durant le ressuage, par ex.). Par sa variabilité, le score de persillé devient donc un critère important qui contribue de manière significative à la qualité de la viande bovine en bouche quand les autres facteurs mentionnés ci-dessus varient peu.

En Europe, outre le poids, les principaux critères du classement des carcasses de gros bovins sont les scores de conformation et d'état d'engraissement, qui sont obligatoires (Tableau 1). Cependant la relation entre les scores du classement européen et le persillé est modérée ; elle est faible ou nulle avec la qualité de la viande en bouche (Bonny *et al.*, 2014 ; Bonny *et al.*, 2016 ; Bonny *et al.*, 2017 ; Liu *et al.*, 2020). Pour l'instant, le persillé est relativement peu pris en compte, a fortiori peu mesuré, en Europe et en particulier en France. De plus, la viande bovine très persillée ne semble pas très appréciée visuellement par les consommateurs français lors de l'acte d'achat, comme en témoignent les résultats d'une enquête conduite auprès de 300 consommateurs par l'équipe de Normand en 2017 (Normand, 2017 ; Normand *et al.*, 2018). Le souhait d'achat passe ainsi de 30% pour les viandes très persillées à 70% pour celles qui le sont peu. Une autre étude française sur la consommation de viande bovine (Ellies-Oury *et al.*, 2019) indique que la faible volonté d'achat d'un quart des enquêtés est principalement due à leurs inquiétudes relatives au risque sanitaire associé aux excès de teneur en gras. Cependant, le persillé contribue à la qualité en bouche ainsi que le montre l'enquête de Normand (2017) : le souhait d'achat décroît de 70% (avant dégustation) à 55% (après dégustation) quand les entrecôtes proposées sont peu persillées. Le souhait d'achat du même groupe de consommateurs augmente de 30% (avant dégustation) à 80% (après dégustation) pour des échantillons très persillés. Ceci indique que, même si de grandes quantités de gras visibles semblent peu acceptées en France pour des viandes

en l'état (hors viandes hachées), les morceaux très persillés pourraient répondre aux attentes à la dégustation. Une étude interprofessionnelle est en cours pour préciser dans quelle mesure. Ceci est d'autant plus vrai que la part de consommation de la viande bovine en restauration commerciale est significative et augmente sensiblement. Alors que la consommation par bilan (abattages contrôlés + importations – exportations) a augmenté de 1,1% en 2022 par rapport à 2021, la consommation à domicile a diminué de 9,8% selon Kantar Worldpanel. L'étude montre aussi et surtout que proposer un niveau de persillé intermédiaire pourrait améliorer le niveau de qualité perçue en bouche sans modifier de façon majeure l'acceptabilité des viandes proposées, donc sans changer les habitudes d'achat des consommateurs français.

Les consommateurs américains et australiens préfèrent aussi, dans leur majorité, la viande bovine d'apparence peu persillée (Egan *et al.*, 2001 ; Killinger *et al.*, 2004). Cependant, grâce aux efforts développés pour accroître la vulgarisation des relations entre gras intramusculaire et qualité en bouche, ils commencent à s'orienter vers de la viande plus grasse et même de la viande hautement persillée (Frank *et al.*, 2016). Les consommateurs des pays asiatiques, spécialement le Japon, apprécient la viande très persillée, mais les consommateurs japonais aiment également la viande modérément persillée (Sasaki *et al.*, 2017). De même, les consommateurs coréens sont prêts à payer plus cher une viande bovine très persillée car assimilée à un produit de qualité supérieure, mais les questions sur les effets de ce gras sur la santé sont de plus en plus prégnantes (Joo, 2017a ; Joo *et al.*, 2017b). Bien que les préférences des consommateurs en la matière varient entre pays, le persillé est sans aucun doute l'un des multiples critères qui contribue fortement à la qualité de la viande bovine en bouche (Motoyama *et al.*, 2016), même si cette contribution semble varier selon le muscle, sur la base des prédictions de la présente étude (Tableau 5).

Le dépôt de gras intramusculaire dépend de nombreux facteurs comme la génétique, la conduite alimentaire, et dans une moindre mesure la maturité ou niveau de développement rapporté à l'état optimal de développement de l'animal (Pethick *et al.*, 2006 ; Pflanzler *et al.*, 2011). Cependant, on ne trouve pas de corrélation entre le score d'ossification permettant d'approcher le degré de maturité du bovin et le score de persillé MSA (Tableau 4). Ceci pourrait être dû à la nature des animaux de cette étude ; des adultes (vaches) de race Limousine. Cette race est tardive et produit de la viande faiblement persillée (Malau-Aduli *et al.*, 2000). Cependant, même les vaches tardives développent plus de persillé que leurs homologues jeunes, car la taille des dépôts de gras (adipocytes) augmente avec l'âge physiologique des animaux. En fait, le degré de persillé semble influencé par de nombreux facteurs qui n'ont pas tous été suffisamment étudiés. Le processus déterminant le dépôt de gras des muscles chez des vaches matures est mal connu et nécessite de futures investigations. Des facteurs tels que la génétique, le gras corporel dans son ensemble, l'ingestion d'énergie avant l'abattage, le turnover du gras durant la vie, et la conduite durant certaines périodes du jeune âge sont des sujets potentiellement explicatifs, auxquels la filière viande bovine française s'intéresse dans l'optique d'améliorer la qualité sensorielle des viandes bovines proposées aux consommateurs.

III.2. Les caractéristiques de la couleur de la viande à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte

A la distribution, la couleur de la viande est l'un des critères prépondérants de l'acte d'achat du consommateur (Smith *et al.*, 2000). Différents facteurs tels que le pH, le type de muscle et ses caractéristiques, l'âge de l'animal, voire l'alimentation affectent la couleur de la viande (Mancini et Hunt, 2005 ; Normand *et al.*, 2005 ; Moëvi, 2006).

La couleur dépend du pH ultime qui augmente graduellement dans le LTL depuis les lombaires jusqu'au thorax, le pH à la 4^{ème} côte (LT) étant supérieur à celui à la 11^{ème} côte (LL) selon Janz *et al.*, (2006). En conséquence, le faux-filet devrait être plus sombre au niveau thoracique qu'au niveau lombaire (Hughes *et al.*, 2014), ce qui est conforté par des observations australiennes sur des animaux différents des vaches Limousines ici étudiées (AUST-MEAT, 2021). Mais le présent travail montre que le muscle à la 10^{ème} côte (LL) est significativement plus sombre qu'à la 5^{ème} (LT), suggérant l'implication d'autres facteurs.

La couleur de la viande dépend aussi en partie du type de fibre musculaire (Ozawa *et al.*, 2000). En effet, les fibres oxydatives (I et IIA) sont connues pour avoir une moindre luminosité du fait d'une chute du pH post-mortem moins importante, et un aspect plus rouge en raison d'une plus forte teneur en myoglobine, ceci donnant une viande plus sombre que celle des fibres glycolytiques (type II B) (Wicks *et al.*, 2019). Dans ce sens, le muscle LT est attendu

plus sombre que le LL. Dans la présente étude, il semble que ce soit l'inverse : la couleur du LL à la 10^{ème} côte est plus sombre que celle à la 5^{ème} côte. Le type de fibre musculaire n'est donc probablement pas ce qui explique la différence de couleur observée.

En pratique, la couleur de la viande n'est pas utilisée dans le modèle actuel de prédiction MSA. Elle a cependant été employée comme seuil dans une ancienne version du système ; elle ne devait pas dépasser la classe 3 (Figure 3 B), sous peine d'exclusion de la carcasse du système, sachant qu'en Australie, l'âge à l'abattage des animaux est beaucoup plus faible qu'en France. La proportion de carcasses de cette étude dont la couleur dépassait ce seuil à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte a été calculée ; elle est respectivement de 18% et 29%. L'évaluation de la couleur de la viande à la 10^{ème} côte aurait donc augmenté le risque de rejet de certaines carcasses par l'ancienne version du système MSA., même si ce constat doit être relativisé puisque cette dernière n'admettait pas les animaux de plus de 42 mois, alors que la moyenne d'âge des vaches ici étudiées est de 9,5 ans. Cet exemple est mentionné pour donner une idée de l'ampleur de l'écart entre les deux sites de mesure, sachant que les attentes françaises en matière de couleur de viande ne sont pas forcément celles de leurs homologues australiens. Il est important de considérer ce décalage lorsque l'on choisit un site de mesure.

III.3. Les caractéristiques de la couleur du gras à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte

La couleur du gras peut avoir une importance commerciale selon les souhaits du destinataire. Dans de nombreux pays, comme les Etats-Unis, le Canada, le Mexique, le Japon, la Corée ou Taïwan, la couleur du gras impacte la décision d'achat par le consommateur, un gras blanc étant plus désirable qu'un gras jaune (Dunne *et al.*, 2009 ; Ardeshiri and Rose, 2018). Sur le marché européen, les carcasses ayant un gras trop jaune sont considérées comme inacceptables (Dunne *et al.*, 2006), probablement en partie du fait d'une association avec d'éventuels problèmes sanitaires (ictères). En l'absence de pathologie, la couleur du gras dépend de l'âge, du sexe, du génotype et de la nutrition. L'aspect jaune s'explique principalement par l'accumulation de carotènes dans le tissu gras (Dunne *et al.*, 2009). Alors que le Meat & Livestock Australia, indique que les carcasses peuvent être coupées n'importe où entre le 5^{ème} et la 13^{ème} côte pour le classement (AUS-MEAT, 2018), dans la présente étude le score de couleur de gras est significativement supérieur à la 10^{ème} côte (3,5),

reflétant un gras plus jaune qu'à la 5^{ème} côte (2,5). Il est possible que cette différence de couleur du gras provienne d'un écart de taux d'accumulation des caroténoïdes entre le gras de l'arrière et celui de l'avant de l'animal. Acheson *et al.* (2018) rapportent que le dépôt de gras intramusculaire de l'animal se fait depuis l'avant vers l'arrière le long des vertèbres. Avec l'augmentation de la maturité, davantage de caroténoïdes pourraient se concentrer à la 10^{ème} côte. La corrélation significative positive observée entre couleur du gras et score d'ossification va dans ce sens. Ce résultat s'appuie sur le fait que le tissu adipeux devient plus jaune avec l'augmentation de la maturité de l'animal (Inoue *et al.*, 2017) selon son alimentation. En outre, Moon *et al.* (2006) indiquent la viande bovine fortement persillée tend à présenter une couleur de gras moins jaune du fait d'une dilution des pigments dans une plus grande quantité de gras, ce qui est cohérent avec la corrélation significativement négative entre la couleur du gras et le persillé (Tableau 4).

III.4. Scores MQ4 et index MSA calculés à partir du persillé mesuré à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte

En tant que paramètre entré dans les modèles de prédiction MSA/3G, le persillé est utilisé pour prédire le score de qualité en bouche MQ4 de morceaux individuels à mode de suspension, durée de maturation et mode de cuisson donnés (Bonny *et al.*, 2018). L'index MSA, score global de qualité en bouche potentielle de la carcasse, est calculé à partir des scores MQ4 prédits de 39 morceaux MSA. Pour étudier la faisabilité d'une évaluation du persillé à la 5^{ème} côte sans influencer la prédiction qualitative des muscles individuels et de la carcasse dans son ensemble, des analyses de corrélation ont été faites sur 10 morceaux de chaque carcasse de 164 animaux pour évaluer la relation entre les scores MQ4 à la 5^{ème} et à la 10^{ème} côte. Les résultats de ces calculs et graphiques de nuages de points montrent des coefficients de corrélation significatifs et élevés et une distribution des scores similaires : noter le persillé à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte semble donc peu impacter la prédiction des scores MQ4 de chaque morceau (Tableau 3 ; Figure 5)

En outre, les deux modèles de régression estimant l'impact du persillé sur le score MQ4 s'avèrent hautement similaires entre les deux sites de mesure, pour un même morceau, (Tableau 5).

Enfin, les mêmes valeurs d'index MSA (52 sur 100) sont obtenues, sans différence statistique, à partir des scores de persillés de la 5^{ème} et de la 10^{ème} côtes (Tableau 3)

et des corrélations significatives élevées sont observées entre les index MSA prédits à partir de ces scores ($r=0,97$, $P<0,001$; données non montrées).

Tous ces résultats indiquent qu'évaluer le persillé à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte modifie peu la prédiction de score MQ4 et l'index MSA dans les conditions de production et de transformation standardisées ici testées (carcasses globalement peu persillées, suspendues par le tendon d'Achille durant le ressuage, viandes maturées 10 jours puis cuites au grill).

Sans tenir compte de l'influence des autres paramètres introduits dans le modèle MSA sur les prédictions, il semble donc possible d'évaluer le persillé à la 5^{ème} côte pour prédire les scores MQ4 et l'index MSA des vaches allaitantes, source majeure de la viande bovine consommée en France, à l'aide du modèle australien. La question de la validité d'une généralisation de ces résultats aux animaux plus jeunes présentant moins de dépôts de gras, ou aux bovins de types laitiers se pose néanmoins. Une récente étude sur de jeunes taurillons et génisses engraisés en Italie indique un taux de persillé plus élevé à la 5^{ème} côte, avec pour conséquence, un score MQ4 également plus élevé à la 5^{ème} côte par rapport à la 10^{ème} côte (Santinello *et al.*, 2024). Il serait également intéressant de conduire cette comparaison sur des vaches laitières, présentant davantage de variabilité de dépôts de gras.

CONCLUSION

Ce travail n'a pas mis en évidence de différence entre les scores de persillé de carcasses de bovins français allaitants déterminés à la 5^{ème} ou la 10^{ème} côte selon le protocole ABCAS par un classificateur accrédité. Il en est de même pour les scores MQ4 et l'index MSA prédits à partir de ces deux jeux de valeurs. Ceci confirme que la mesure du persillé pourrait être réalisée au site de coupe en quartiers usuel en Europe, la 5^{ème} côte. Cependant, les couleurs de viande et de gras, non prises en compte dans les modèles MSA/3G de prédiction de la qualité en bouche

de la viande bovine, sont significativement différentes entre les 2 sites de mesure, alors qu'il n'est pas mentionné de différences potentielles dans les recommandations du MLA. Les vaches Limousines représentent environ 13% de la viande de viande bovine consommée en France en 2021 (Monniot, communication personnelle) et peu de travaux relatifs à la distribution du persillé ont été conduits sur vaches de réforme. La présente étude est considérée comme susceptible de fournir des recommandations pratiques à la filière viande bovine européenne, du moins

pour les races allaitantes d'origine continentale, dont l'aptitude à l'engraissement est inférieure à celle des races allaitantes précoces et des races laitières ou mixtes.

Ce travail apporte ainsi des ajustements pour l'éventuelle mise en œuvre d'un système de type MSA ou son équivalent européen (le modèle 3G) sur les races bovines tardives et peu persillées, comme la Limousine. Cependant des travaux futurs seraient nécessaires pour utiliser pleinement le système de classement des carcasses

ABCAS, concernant d'autres types de bovins et/ou d'autres critères de carcasse essentiels à la méthodologie MSA tout en respectant les pratiques européennes de coupe de gros des carcasses.

Plus largement, la présente étude est un complément d'informations pouvant aider les travaux interprofessionnels en cours sur l'approche instrumentale de certains critères qualitatifs évalués sur carcasse, à l'instar du persillé, mais aussi sur la couleur de la viande et de celle du gras.

Tableau 5 : Equations de régression linéaire précisant le poids des scores de persillé évalués à la 5^{ème} ou à la 10^{ème} côte dans le score MQ4 de différents muscles

Muscle	5 ^{ème} Côte	10 ^{ème} Côte
LT ¹	Score MQ4=0,024***persillé+50,32 (R ² =0,37)	Score MQ4=0,026***persillé+50,02 (R ² =0,37)
LTA ²	Score MQ4=0,028***persillé+43,08 (R ² =0,45)	Score MQ4=0,031***persillé+42,51 (R ² =0,47)
LTP ³	Score MQ4=0,032***persillé+39,95 (R ² =0,50)	Score MQ4=0,034***persillé+39,55 (R ² =0,51)
INSP ⁴	Score MQ4=0,012***persillé+60,43 (R ² =0,19)	Score MQ4=0,014***persillé+60,05 (R ² =0,22)
TBCL ⁵	Score MQ4=0,011***persillé+44,36 (R ² =0,07)	Score MQ4=0,012***persillé+44,24 (R ² =0,07)
GM ⁶	Score MQ4=0,006***persillé+43,62 (R ² =0,02)	Score MQ4=0,007***persillé+43,47 (R ² =0,03)
RF ⁷	Score MQ4=0,011***persillé+37,25 (R ² =0,08)	Score MQ4=0,012***persillé+37,14 (R ² =0,09)
BF ⁸	Score MQ4=0,009***persillé+34,67 (R ² =0,05)	Score MQ4=0,010***persillé+34,56 (R ² =0,06)
ST ⁹	Score MQ4=0,006***persillé+34,63 (R ² =0,02)	Score MQ4=0,006***persillé+34,87 (R ² =0,01)
SSC ¹⁰	Score MQ4=0,020***persillé+48,61 (R ² =0,30)	Score MQ4=0,022***persillé+48,12 (R ² =0,34)

¹MQ4 LT : MQ4 score du LT (*M. longissimus thoracis*, 5^{ème} côte)

²MQ4 LTA : MQ4 score du STA (*M. longissimus thoracis et lumborum*, partie antérieure du faux-filet, 10^{ème} côte)

³MQ4 LTP : MQ4 score du STP (*M. longissimus thoracis et lumborum*, partie postérieure du faux-filet, 13^{ème} côte)

⁴MQ4 INSP : *M. infraspinatus* (paleron)

⁵MQ4 TBCL : *M. triceps brachii caput longum* (macreuse à bifteck)

⁶MQ4 GM : *M. gluteus medius* (cœur de rumsteck)

⁷MQ4 RF : *M. rectus femoris* (rond de tranche)

⁸MQ4 BF : *M. biceps femoris* (gîte noix)

⁹MQ4 ST : *M. semitendinosus* (rond de gîte)

¹⁰MQ4 SSC : *M. semispinalis capitis* (demi-épineux)

***P < 0.001 (le coefficient est donc très significativement différent de zéro)

Remerciements :

Cet article est largement inspiré d'une publication de Jingjing Liu *et al.* (2021) publiée dans la revue *Frontiers in Veterinary Research*, 8:611153. doi: 10.3389/fvets.2021.611153.

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre du projet EcoMeat3G financé par le FEDER (convention no. AV0019409) et la région Auvergne-Rhône Alpes et du projet EcoRegMeat3G financé par l'Agence Nationale de la Recherche via l'Institut Carnot France Futur Elevage.

Jingjing Liu a bénéficié d'une bourse du « Chinese Scholarship Council » (CSC) pour la réalisation de sa thèse à INRAE, Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores, 63122, Theix.

Références bibliographiques :

Acheson, R.J., Woerner, D.R., Walenciak, C.E., Colle, M.J., & Bass, P.D. (2018). Distribution of Marbling Throughout the *M. longissimus thoracis et Lumborum* of Beef Carcasses Using an Instrument-Grading System. *Meat and Muscle*, 2(1), 303-308. doi: <https://doi.org/10.22175/mmb2018.04.0005>

Ardehshiri, A., & Rose, J.M. (2018). How Australian consumers value intrinsic and extrinsic attributes of beef products. *Food Quality and Preference*, 65, 146-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.10.018>

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

AUS-MEAT Limited (2021). Handbook of Australian Beef Processing. The Aus-Meat Language. 2021 Edition, Version 8, 06/12/2021. AUS-MEAT Limited, Murarri, Australia. [Producer_HAP_Beef_Small.pdf \(ausmeat.com.au\)](#)

AUS-MEAT Limited (2005) Handbook of Australian Meat. International red meat manual. 71th Edition, 114p. [Handbook of Australian Meat 7th Edition-English.pdf \(aussiebeefandlamb.me\)](#)

Bonny S., Legrand I., Pethick D., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L., Polkinghorne R., Gardner G., & Hocquette J-F. (2017) La qualité sensorielle n'a pas de relation avec la classification des carcasses bovines. Viandes & Produits Carnés, 23 mai, VPC-2017-33-2-5.

Bonny S.P.F., Hocquette J.F., Legrand I., Polkinghorne R., Wierzbicki J., Allen P., Pethick D.W., & Gardner G.E. (2014). La classification communautaire des carcasses bovines reflète peu la qualité des viandes en bouche. Actes des 15^{èmes} Journées des Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (JSMTV), 4-5/11/2014, Clermont-Ferrand, pages 131-132.

Bonny, SPF., Pethick, DW., Legrand, I., Wierzbicki, J., Allen, P., Farmer, L.J., & Gardner, GE. (2016). European conformation and fat scores have no relationship with eating quality. *Animal*, 10(6), 996-1006.

Bonny, SP., O'Reilly, RA., Pethick, DW., Gardner, GE., Hocquette, JF., & Pannier, L. (2018). Update of Meat Standards Australia and the cuts based grading scheme for beef and sheep meat. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(7), 1641-1654. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61924-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61924-0)

Chong, FS., Farmer, L.J., Hagan, TDJ., Speers, JS., Sanderson, DW., Devlin, DJ., Tollerton, IJ., Gordon, AW., Methven, L., Moloney, AP., Kerry, JP. & O'Sullivan MG. (2019). Regional, socioeconomic and behavioural-impacts on consumer acceptability of beef in Northern Ireland, Republic of Ireland and Great Britain. *Meat science*, 154, 86-95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.009>

Cook, CF., Bray, RW., & Weckel, KG. (1964). Variations in the quantity and distribution of lipid in the bovine longissimus dorsi. *Journal of Animal Science*, 23(2), 329-331. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1964.232329x>

Dunne, PG., O'Mara, FP., Monahan, FJ., & Moloney, AP. (2006). Changes in colour characteristics and pigmentation of subcutaneous adipose tissue and M. longissimus thoracis of heifers fed grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Science*, 74(2), 231-241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.02.003>

Denoyelle C. (2021). Etat des lieux des outils pour mesurer le persillé à l'abattoir. Institut de l'Elevage, Interbev, 74 p. [Recherche – Bibliothèque de recherche \(interbev.fr\)](#).

Dunne, PG., Monahan, FJ., O'Mara, FP., & Moloney, AP. (2009). Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Science*, 81(1), 28-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.06.013>

Egan, AF., Ferguson, DM., & Thompson, JM. (2001). Consumer sensory requirements for beef and their implications for the Australian beef industry. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(7), 855-859. doi: <https://doi.org/10.1071/EA00065>

Ellies-Oury, MP., Lee, A., Jacob, H., & Hocquette, JF. (2019). Meat consumption—what French consumers feel about the quality of beef? *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 646-656. doi: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1551072>

Ellies-Oury, M., Lee, A., Jacob, H., Hocquette, J-F., (2018). Enquête sur la consommation de viande rouge, Viandes & Produits Carnés, VPC-2018-34-4-4.

Etats Généraux de l'Alimentation, EGA. (2018). <https://agriculture.gouv.fr/alimagri-lesetats-generaux-de-lalimentation>.

Ferguson, DM. (2004). Objective on-line assessment of marbling: a brief review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(7), 681-685. doi: <https://doi.org/10.1071/EA02161>

Fil Rouge & Sylaporc (2018) Chiffres clés Viandes SIQO 2018. [Publiviandes.pdf \(gasconne.com\)](#)

FranceAgriMer (2015). Consommation des produits carnés en 2014, 4, 15p. <https://www.franceagrimer.fr/content/download/40104/372599/file/STA-VIA-CONSO%202014-aout2015>

FranceAgriMer (2023). Conjoncture sur les filières ruminants Lait et viande : bilan 2022, perspectives 2023. Conseil Spécialisé Ruminants Lait & Viande, 14/02/2023, 41 p. <https://www.franceagrimer.fr/content/download/70592/document/NCO-DIA-Conjoncture%20Ruminants-2023-02-14.pdf>

Frank, D., Joo, ST., & Warner, R. (2016). Consumer acceptability of intramuscular fat. *Korean journal for food science of animal resources*, 36(6), 699. doi: 10.5851/kosfa.2016.36.6.699

Harper G.S. (2003) Biological determinants of intramuscular fat deposition in beef cattle: Current mechanistic knowledge and sources of variation. Final report. MLA. [Microsoft Word - Final Report Fly Sheet.doc \(mla.com.au\)](#)

Hickey, JM., Keane, MG., Kenny, DA., Cromie, AR., & Veerkamp, RF. (2007). Genetic parameters for EUROP carcass traits within different groups of cattle in Ireland. *Journal of Animal Science*, 85, 314-321. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-263>

Hocquette, J. F., Legrand, I., Jurie, C., Pethick, D. W., & Micol, D. (2011). Perception in France of the Australian system for the prediction of beef quality (Meat Standards Australia) with perspectives for the European beef sector. *Animal Production Science*, 51(1), 30-36. doi: <https://doi.org/10.1071/AN10045>

Hocquette, JF., Ellies-Oury, MP., Legrand, I., Pethick, D., Gardner, G., Wierzbicki, J. & Polkinghorne, R. (2020). Research in Beef Tenderness and Palatability in the Era of Big Data. *Meat and Muscle Biology*, 4(2), 5, 1–13, doi: <https://doi.org/10.22175/mmb.9488>

Hocquette, JF., Ellies-Oury, MP., Lherm, M., Pineau, C., Deblitz, C., & Farmer, L. (2018). Current situation and future prospects for beef production in Europe—A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(7), 1017. doi: <https://10.5713/ajas.18.0196>

Hughes, JM., Kearney, G., & Warner, RD. (2014). Improving beef meat colour scores at carcass grading. *Animal Production Science*, 54(4), 422-429. doi: <https://doi.org/10.1071/AN13454>

- Inoue, K., Shoji, N., Honda, T., & Oyama, K. (2017). Genetic relationships between meat quality traits and fatty acid composition in Japanese black cattle. *Animal Science Journal*, 88(1), 11-18. doi: <https://doi.org/10.1111/asj.12613>
- Institut de l'Élevage (2022a). Economie de l'élevage. Dossier annuel bovins viande. Année 2022. Perspectives 2023, 536 (janv. 2023). <https://idele.fr/detail-article/dossier-annuel-bovins-viande-annee-2022-perspectives-2023-dossier-economie-n536-janvier-2023>
- Institut de l'Élevage (2022b). Les chiffres clés du GEB. Bovins 2022. Productions lait et viande. Chiffres clés GEB Bovins 2022. idele.fr/detail-article/les-chiffres-cles-du-geb-bovins-2022
- Institut de l'Élevage (2023). Economie de l'élevage. Dossier marché mondial viande bovine. Année 2022. Perspectives 2023, 541 (juin 2023). idele.fr/detail-article/marche-mondial-viande-bovine-annee-2022-perspectives-2023
- INTERBEV bovin (2017) Plan de la filière viande bovine française. Etats Généraux Alimentation. interbev.fr/interbev/plans-de-filiere
- INTERBEV, Institut de l'Élevage (2023). L'interprofession du bétail et des viandes (INTERBEV) s'engage pour une plus grande satisfaction des consommateurs.
- Janz, JAM., Aalhus, JL., Dugan, MER., & Price, MA. (2006). A mapping method for the description of Warner–Bratzler shear force gradients in beef *Longissimus thoracis et lumborum* and *Semitendinosus*. *Meat Science*, 72(1), 79-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.06.009>
- Joo S-T. (2017a) Consumer attitudes to eating highly marbled Hanwoo beef in Korea. PPT presentation. 63rd ICoMST, 13th-18th/08/2017, Cork, Ireland.
- Joo S-T., Hwang Y-H., Frank D. (2017b) Characteristics of Hanwoo cattle and health implications of consuming highly marbled Hanwoo beef. *Meat Science*, 132, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.262>
- Jurie C., Moëvi I., Micol D., & Hocquette J.F. (2008). Expertise scientifique du système australien de prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine (système MSA). Actes des 12^{èmes} Journées des Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (JSMTV), 8-9/10/2008, Tours, pages 155-156.
- Killinger, KM., Calkins, CR., Umberger, WJ., Feuz, DM., & Eskridge, KM. (2004). Consumer visual preference and value for beef steaks differing in marbling level and color. *Journal of Animal Science*, 82(11), 3288-3293. doi: <https://doi.org/10.2527/2004.82113288x>
- Konarska, M., Kuchida, K., Tarr, G., & Polkinghorne, RJ. (2017). Relationships between marbling measures across principal muscles. *Meat Science*, 123, 67-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.09.005>
- Kruk, ZA., Pitchford, WS., Siebert, BD., Deland, MPB., & Bottema, CDK. (2002). Factors affecting estimation of marbling in cattle and the relationship between marbling scores and intramuscular fat. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 24, 129-132.
- Lawrie, R.A. (1961). Studies on the muscles of meat animals I. Differences in composition of beef *longissimus dorsi* muscles determined by age and anatomical location. *Journal of Animal Science* 56, 249.
- Légrand, I., Hocquette, J.F., Polkinghorne, R.J., & Pethick, DW. (2013). Prediction of beef eating quality in France using the Meat Standards Australia system. *Animal*, 7(3), 524-529. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731112001553>
- Légrand I., Hocquette J.F., Polkinghorne R.J., Turin F., & Pethick D.W. (2011). Prédire la qualité sensorielle de la viande bovine à l'aide du système australien MSA (Meat Standards Australia). *Rencontres Recherches Ruminants*, 7/12/2011, Paris, 18, 173-176.
- Légrand I., Hocquette J.F., Polkinghorne R.J., & Wierzbicki I. (2017). Comment prédire la qualité de la viande bovine en Europe en s'inspirant du système australien MSA ? *Innovations Agronomiques*, 55(2017), 171-182.
- Liu, J., Chriki, S., Ellies-Oury, M. P., Légrand, I., Pogorzelski, G., Wierzbicki, J., Farmer F., Troy D., Polkinghorne R., & Hocquette, J. F. (2020). European conformation and fat scores of bovine carcasses are not good indicators of marbling. *Meat Science*, 170, 108233.
- Malau-Aduli, AEO., Edriss, MA., Siebert, BD., Bottema, CDK., & Pitchford, WS. (2000). Breed differences and genetic parameters for melting point, marbling score and fatty acid composition of lot-fed cattle. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 83(2), 95-105. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2000.00254.x>
- Mancini, RA., & Hunt, M. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- McGilchrist, P., Polkinghorne, R. J., Ball, A. J., & Thompson, J. (2019). The meat standards Australia index indicates beef carcass quality. *Animal*, 13(8), 1750-1757. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731118003713>
- Meat and Livestock Australia (2010). https://www.mla.com.au/globalassets/mla_corporate/generic/about-mla/annual-report-2010-11-final.pdf
- Meat and Livestock Australia (2011). https://www.mla.com.au/globalassets/mla_corporate/generic/about-mla/annual-report-2010-11-final.pdf
- Meat and Livestock Australia (2023). 2022-2023. Annual outcomes report. Delivering consumer confidence in eating quality, 28 p. https://www.mla.com.au/globalassets/mla_corporate/marketing-beef-and-lamb/documents/meat-standards-australia/mla-msa-annual-outcomes-report-2223-web.pdf
- Meat Standards Australia beef information kit – MLA, Australia livestock (2010). https://www.mla.com.au/globalassets/mla_corporate/marketing-beef-and-lamb/msa_tt_beefinfokit_jul13_lr.pdf
- Mitsumoto, M., Mitsuhashi, T., Ozawa, S., Yamashita, Y. and Cassens, R.G. (1993). The Bulletin of the Chugoku National Agricultural Experiment Station No. 12, 133-190 (Fukuyama, Hiroshima, Japan).
- Moëvi I. (2006) Le point sur... La couleur de la viande bovine. Institut de l'Élevage, Interbev. [untitled \(agrireseau.net\)](https://www.agrireseau.net)
- Moëvi I., Hocquette J.F., Jurie C., & Micol D. (2008). Le système australien de prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine MSA : présentation, expertises scientifique et professionnelle. *Rencontres Recherches Ruminants*, 15, 97-98.

- Moon, SS., Yang, HS., Park, GB., & Joo, ST. (2006). The relationship of physiological maturity and marbling judged according to Korean grading system to meat quality traits of Hanwoo beef females. *Meat Science*, 74(3), 516-521. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.027>
- Motoyama, M., Sasaki, K., & Watanabe, A. (2016). Wagyu and the factors contributing to its beef quality: A Japanese industry overview. *Meat Science*, 120, 10-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.026>
- Neveu A., Strachan S., Pethick D., Legrand I., Hocquette J.F. (2019) Faits marquants de la production bovine en Australie. *Viandes & Produits Carnés*, 21 mars 2019, VPC-2019-35-1-4.
- Normand J. (2017). Institut de L'Élevage, Lyon. "En France, quelles pistes pour enrayer la baisse de consommation de viande bovine ?" PowerPoint. 2 February 2017. http://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/Perception_du_persille_et_du_conditionnement_sous_vide_-_Colloque_Interbev_2018-02-02.pdf
- Normand J., Flattard C., Philibert A. (2018). Attentes des consommateurs en matière de qualité de viande bovine. Enquêtes sur la base d'analyses sensorielles. Institut de L'Élevage, Interbev, FranceAgriMer. <https://idele.fr/detail-article/attentes-des-consommateurs-en-matiere-de-qualite-de-viande-bovine>
- Normand J., Moëvi I., Lucbert J., Pottier E. (2005). Le point sur... L'alimentation des bovins et des ovins et la qualité des viandes. Collection Interbev, 07/2005. Institut de l'Élevage, Interbev. [Le point sur alimentation des bovins et des ovins et la qualité des viandes.pdf \(agrireseau.net\)](http://www.agrireseau.net/interbev/le-point-sur-alimentation-des-bovins-et-des-ovins-et-la-qualite-des-viandes.pdf)
- Ozawa, S., Mitsuhashi, T., Mitsumoto, M., Matsumoto, S., Itoh, N., Itagaki, K., Kohno, Y., & Dohgo, T. (2000). The characteristics of muscle fiber types of longissimus thoracis muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. *Meat Science*, 54(1), 65-70. doi: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00072-8)
- Ozutsumi, K. and Okada, M. (1982). On the development of longissimus muscle in Holstein steers during the fattening period after grazing. *Japanese Journal of Zootechnical Science* 53, 116-123.
- Pethick, DW., Harper, GS., Hocquette, JF., & Wang, Y. (2006). Marbling biology—what do we know about getting fat into muscle. *Proceedings of Australian beef—the leader*, 103-110
- Pflanzer, S.B., & de Felício, PE. (2011). Moisture and fat content, marbling level and color of boneless rib cut from Nellore steers varying in maturity and fatness. *Meat Science*, 87(1), 7-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.08.009>
- Pogorzelski, G., Woźniak, K., Polkinghorne, R.J., Wierzbicka, A., & Póltorak, A. (2020). Polish consumer categorisation of grilled beef at 6mm and 25mm thickness into quality grades, based on Meat Standards Australia methodology. *Meat Science*, 161, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107953>
- Polkinghorne, R., Thompson, JM., Watson, R., Gee, A., & Porter, M. (2008). Evolution of the Meat Standards Australia (MSA) beef grading system. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(11), 1351-1359. doi: <https://doi.org/10.1071/EA07177>
- Sans P, Legrand I. 2018. In: Ellies-Oury MP, Hocquette JF (Eds.). *La Chaîne de La Viande Bovine. Production, transformation, valorisation et consommation*. Editions Lavoisier, Paris ; p. 125–142.
- Santinello M., Rampado N., Penasa M., Hocquette J.F., Pethick D., De Marchi M. (2024). The Meat Standards Australia carcass grading site affects assessment of marbling and prediction of meat-eating quality in growing European beef cattle. *Meat Science*, 213, 109501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109501>
- Sasaki, K., Ooi, M., Nagura, N., Motoyama, M., Narita, T., Oe, M., Nakajima, I., Hagi, T., Ojima, K., Kobayashi, M., Nomura, M., Muroya, S., Hayashi, T., Akama, K., Fujikawa, A., Hokiyama, H., Kobayashi, K., & Nishimura, T. (2017). Classification and characterization of Japanese consumers' beef preferences by external preference mapping. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(10), 3453-3462. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8204>
- Schulz, L., & Sundrum, A. (2019). Assessing marbling scores of beef at the 10th rib vs 12th rib of longissimus thoracis in the slaughter line using camera grading technology in Germany. *Meat Science*, 152, 116-120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.021>
- Smith, GC., Belk, KE., Sofos, JN., Tatum, JD., & Williams, SN. (2000). Economic implications of improved color stability in beef. *Antioxidants in muscle foods: Nutritional strategies to improve quality*. Wiley, New York, NY, 397-426.
- Taylor, DG., & Johnson, ER. (1992). Visual marbling score and chemical fat content of M. Longissimus in beef carcasses. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*, 19, 71–73. doi: <https://doi.org/10.4141/A03-064>
- United Nations (2016). UNECE Standard. Bovine meat carcasses and cuts. 2015 Edition. untitled (unece.org)
- Wello, A.B., Yoshimura, T. and Namikawa, K. (1988). Influence of breeding combination and cross-sectional position on marbling scores, intramuscular lipids and their fatty acids in longissimus muscle of steers. *Memoirs of the College of Agriculture Kyoto University* 131, 43-53.
- Wicks, J., Beline, M., Gomez, JFM., Luzardo, S., Silva, SL., & Gerrard, D. (2019). Muscle Energy Metabolism, Growth, and Meat Quality in Beef Cattle. *Agriculture*, 9(9), 195. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture9090195>
- Zembayashi, M., Nishimura, K., Lunt, D.K. and Smith, S.B. (1995). Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *Journal of Animal Science* 73, 3325-3332.