



Prédiction de la tendreté de la viande bovine par méta-analyse des caractéristiques musculaires

Prédiction par méta-analyse de la tendreté de la viande bovine ou de la force de cisaillement par les caractéristiques du muscle (fibres, collagène) en fonction du type de muscle et du type d'animal.

Mots-clés : Tendreté, base de données, caractéristiques du muscle, sélection et conduite des animaux

Auteurs : Chriki S.^{1,2,3}, Renand G.^{4,5}, Gardner G.⁶, Micol D.^{1,2}, Lopez C.⁷, Journaux L.³, Picard B.^{1,2,*}, Hocquette J.F.^{1,2}

¹INRA, UMR1213, Recherches sur les Herbivores, F-63122 Saint Genès Champanelle, France ; ²VetAgro Sup, UMR1213, Recherches sur les Herbivores, F-63122 Saint Genès Champanelle, France ; ³UNCEIA, 149 rue de Bercy, F-75595 Paris Cedex 12, France ; ⁴INRA, UMR1313, Génétique Animale et Biologie Intégrative, F-78352 Jouy-en-Josas, France ; ⁵AgroParisTech, INRA UMR1313, Génétique Animale et Biologie Intégrative, F-78352 Jouy-en-Josas, France ; ⁶Beef CRC, Murdoch University, 1650 Murdoch, WA, Australie ; ⁷Institut de l'Élevage, 149, Rue de Bercy, F-75595, Paris, France.

* E-mail de l'auteur correspondant : brigitte.picard@clermont.inra.fr

La tendreté est une qualité sensorielle primordiale pour le consommateur de viande bovine. Elle est d'origine multifactorielle et particulièrement variable, donc difficile à maîtriser ou à prédire. Différentes méta-analyses ont permis d'identifier les caractéristiques musculaires associées à la tendreté et de montrer que ces caractéristiques peuvent différer entre muscles et types d'animaux.

Résumé :

Un des enjeux de la filière bovine est la maîtrise et la prédiction de la tendreté de la viande, critère important pour les consommateurs. Ce travail avait pour objectif de mieux prédire la tendreté par méta-analyse à partir des caractéristiques biochimiques du muscle. Pour cela, nous sommes appuyés sur la base de données BIF-Beef regroupant des données individuelles issues de plusieurs programmes de recherche, allant de l'animal à la viande en passant par la carcasse et le muscle. Après avoir identifié par une approche par classe de tendreté les caractéristiques musculaires associées à la tendreté, nous avons montré que ces caractéristiques sont différentes entre muscles et types d'animaux. Dans le muscle *Longissimus thoracis* (entrecôte) des taurillons, la surface moyenne des fibres musculaires est la variable qui joue le principal rôle sur la tendreté sensorielle, l'ensemble des caractéristiques musculaires étudiées expliquant 7% de la variabilité des notes de tendreté. Principalement dans le muscle *Semitendinosus* (rond de gîte), les teneurs en collagène total et insoluble et l'activité du métabolisme glycolytique sont les principales variables associées à la force de cisaillement, l'ensemble des caractéristiques musculaires étudiées expliquant 21% de la variabilité de la force de cisaillement.

Abstract: Meta-analysis of muscle characteristics to predict beef tenderness

One of the challenges of the beef industry is the control and prediction of meat tenderness, an important criterion for consumers. This work was aimed at better predicting tenderness based on biochemical muscle characteristics using meta-analysis approaches. For this, we relied on the BIF-Beef database gathering individual data from several research programs, ranging from animal to meat through the carcass and muscle. After identifying tenderness muscle characteristics associated with tenderness by a cluster approach, we showed that these characteristics were different between muscles and animal types. In the *Longissimus thoracis* (strip loin) muscle of bulls, the average size of muscle fibers was the variable that plays the major role in sensory tenderness, with all muscle characteristics studied explaining 7% of the variability in tenderness scores. Mainly in the *Semitendinosus* (eye of the round) muscle, levels of total and insoluble collagen and the activity of the glycolytic metabolism were the main variables associated with shear force, all muscle characteristics studied explaining 21% of the variability in shear force.

INTRODUCTION

Dans un contexte d'érosion de la consommation de viande rouge sur le marché national, la filière bovine a comme enjeu la maîtrise et la prédiction de la qualité sensorielle de la viande et notamment de la tendreté. La tendreté est la qualité sensorielle la plus importante pour le consommateur de viande bovine. Les consommateurs européens sont demandeurs d'un système de prédiction fiable de la qualité de la viande bovine (Verbeke et al., 2010) qui pourrait, avec d'autres facteurs, contribuer à enrayer la chute de la consommation. Les consommateurs sont prêts à payer plus cher des pièces de viande de tendreté garantie tout en ayant des attentes diverses (allant d'une consommation courante à des repas festifs) (Boleman et al., 1997; revue de Polkinghorne & Thompson, 2010). La tendreté est aussi l'un des critères de qualité d'origine multifactorielle le plus variable, et donc le plus difficile à maîtriser ou à prédire (revue de Guillemin et al., 2009). Ce critère de qualité sensorielle est complexe en raison de l'implication de nombreux mécanismes impliqués dans son déterminisme, et qui peuvent différer entre les différents muscles, types d'animaux et races bovines. C'est pourquoi, la prédiction de la tendreté a fait l'objet de nombreux travaux scientifiques de par le monde (Zamora et al., 1996) que ce soit pour le consommateur final ou les acteurs de la filière. Les généticiens s'intéressent notamment aux caractéristiques du muscle susceptibles d'être utilisées en sélection génétique afin de produire des animaux ayant un potentiel plus important à produire une viande de qualité.

Dans le cadre du programme européen « ProSafeBeef » (www.prosafebeef.eu, 2007-2012) auquel participent des

partenaires français (INRA, UNCEIA), notre objectif a été de contribuer, par une approche de méta-analyse, à la mise en place d'un modèle de prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine afin de prédire au mieux la tendreté à partir des caractéristiques musculaires dans le contexte européen et plus particulièrement français. La méta-analyse consiste à réaliser des revues critiques et des études statistiques d'ensemble de données, à partir de résultats publiés ou non, de différentes origines, afin de rassembler et de mettre en forme la connaissance sur un sujet délimité. Elle permet ainsi de tirer des conclusions globales dotées d'une signification plus grande, qu'aucune des études prises isolément ne pourrait fournir. Nous nous sommes par ailleurs inspiré du système MSA (Meat Standards Australia) (Legrand et al., 2012). Un tel système de prédiction, pour pouvoir être mis en place, a besoin d'une part de mesures de tendreté (jury de dégustation ou mesures physiques) et d'autre part d'autres informations utilisées comme prédicteurs (données zootechniques, données d'élevage, données de composition chimique du muscle...). C'est pourquoi notre étude, qui est complémentaire à l'approche MSA, s'est appuyée sur l'utilisation des données de la base « Biologie Intégrative et Fonctionnelle de la viande bovine » (BIF-Beef), qui regroupe des mesures allant de l'animal, la carcasse, le muscle et la viande issues de plusieurs programmes de recherches (Chriki et al., 2013a).

L'objectif de cette étude a été de rechercher les caractéristiques musculaires les plus explicatives de la tendreté de la viande bovine et de préciser l'influence du type de muscle et du type d'animal sur la relation entre tendreté et caractéristiques musculaires.

I. MATERIELS ET METHODES

I.1. Description de la base de données BIF-Beef

La base de données « Biologie Intégrative et Fonctionnelle de la viande bovine » (BIF-Beef) regroupe des données individuelles issues de plusieurs projets de recherche (français et européens), allant de l'animal à la viande en passant par la carcasse et le muscle. Actuellement BIF-Beef contient les résultats de 43 expérimentations avec 331 153 données qui renseignent 621 variables (mesures

zootechniques, biochimiques, qualité sensorielle et nutritionnelle...). Ces données proviennent d'animaux âgés de 1 à 120 mois issus de 20 races bovines, mâles entiers ou castrés et femelles. Cette base de données a été consolidée dans le cadre du programme « PRAI e-nnovergne LifeGrid » avec le soutien de l'Union Européenne (Feder) (Chriki et al., 2013a).

I.2. Analyse sensorielle et mesure mécanique de la tendreté

Pour cette étude, deux critères de tendreté ont été extraits de la base BIF-Beef, puis analysés. Les données représentant les notes de tendreté ont été attribuées par des jurys de dégustation entraînés. Les personnes composant les jurys ont noté les **échantillons grillés** à 55-60°C à cœur (N=4 366) en fonction de leur tendreté sur une échelle de 0 à 10 (Dransfield et al., 2003). La dureté des différents échantillons a également été évaluée par un test mécanique mesurant la force de cisaillement (Warner-Bratzler : WB)

sur **échantillons crus** en raison de l'absence de données sur la force de cisaillement sur des échantillons cuits sur plusieurs muscles et types d'animaux. Ces échantillons, tous maturés pendant 14 jours à 4°C, provenaient de différents muscles : *Rectus abdominis* (RA : bavette de flanchet), *Semitenidosus* (ST : rond de gîte), *Semimembranosus* (SM : tende de tranche), *Triceps brachii* (TB : macreuse) et majoritairement *Longissimus thoracis* (LT : entrecôte).

I.3. Caractéristiques biochimiques musculaires

Dans ce travail, nous nous sommes surtout intéressés aux caractéristiques musculaires qui avaient été renseignées sur un grand nombre d'animaux dans la base BIF-Beef. Les caractéristiques musculaires suivantes étaient disponibles sur les muscles étudiés : teneurs en collagène total et insoluble, surface moyenne des fibres musculaires, activités enzymatiques de la Lactate déshydrogénase (LDH,

métabolisme glycolytique) et Isocitrate déshydrogénase (ICDH, métabolisme oxydatif) et proportions des types de fibres musculaires : SO (lentes oxydatives) et FG (rapides glycolytiques) (Chriki et al., 2013a).

I.4. Analyse statistique

I.4.1. Première analyse : Approche en classes de tendreté

L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel SAS (1987). En premier lieu, une analyse constituant trois classes ou « clusters » de tendreté (faible, intermédiaire et élevée) a été effectuée par la procédure FASTCLUS de SAS. Le but de cette approche était de regrouper les individus dans des classes les plus homogènes possibles. Dans notre étude, on a choisi une typologie à trois classes (n=3).

Par la suite et quand les données étaient disponibles, chaque cluster a été testé en association avec différentes caractéristiques biochimiques (teneurs en collagène total et insoluble, surface moyenne et propriétés métaboliques et contractiles des fibres musculaires) et propriétés mécaniques

(force de cisaillement Warner-Bratzler) des muscles qui peuvent être liées à la tendreté, dans le but de voir leurs comportements dans chaque classe. Chaque variable a fait l'objet d'une analyse de variance pour tester d'éventuelles différences entre classes de tendreté (Chriki et al., 2012).

Cette analyse a été réalisée une deuxième fois avec uniquement des échantillons provenant du muscle *Longissimus thoracis* (LT) (Chriki et al., 2012).

Toutefois, toutes les mesures n'ayant pas été réalisées sur les mêmes animaux en raison de la variabilité des protocoles entre les différentes expérimentations, toutes les données n'étaient pas disponibles pour l'ensemble des animaux. Cela explique la différence de nombre de données selon les caractères considérés (Tableau 1).

Tableau 1 : Nombre de mesures des variables dans les différents muscles étudiés

		Tendreté élevée					
Muscle		LT ⁶	ST ⁷	TB ⁸	RA ⁹	SM ¹⁰	
Variabes							Total
Tendreté		778	123	87	15	16	1019
WB ¹		619	-	-	-	-	619
Collagène Total		136	106	74	3	16	335
Collagène Insoluble		136	106	74	3	16	335
ICDH ²		176	103	76	11	16	382
LDH ³		176	103	76	11	16	382
FG (%) ⁴		141	123	87	15	16	261
SO (%) ⁵		141	123	87	15	16	261
Surface moyenne des fibres		690	110	76	11	16	903
		Tendreté moyenne					
Muscle		LT ⁶	ST ⁷	TB ⁸	RA ⁹	SM ¹⁰	
Variabes							Total
Tendreté		1839	82	85	65	7	2078
WB ¹		1645	-	-	-	-	1645
Collagène Total		132	75	72	10	7	296
Collagène Insoluble		132	75	72	10	7	296
ICDH ²		149	82	81	53	7	372
LDH ³		149	82	81	53	7	372
FG (%) ⁴		103	74	73	10	7	267
SO (%) ⁵		103	74	73	10	7	267
Surface moyenne des fibres		1748	74	73	10	7	1912
		Tendreté faible					
Muscle		LT ⁶	ST ⁷	TB ⁸	RA ⁹	SM ¹⁰	
Variabes							Total
Tendreté		1157	41	24	46	1	1269
WB ¹		1054	-	-	-	-	1054
Collagène Total		62	41	21	9	1	134
Collagène Insoluble		62	41	21	9	1	134
ICDH ²		76	40	23	40	1	180
LDH ³		76	40	23	40	1	180
FG (%) ⁴		59	41	21	10	1	132
SO (%) ⁵		59	41	21	10	1	132
Surface moyenne des fibres		1112	41	21	11	1	1186

¹WBSF: Force de cisaillement Warner-Bratzler; ²ICDH: activité isocitrate déshydrogénase; ³LDH: activité lactate déshydrogénase; ⁴FG (%): proportion de fibres musculaires rapides glycolytiques; ⁵SO: proportion de fibres musculaires lentes oxydatives; ⁶LT: *Longissimus thoracis*; ⁷ST: *Semitenidosus*; ⁸TB: *Triceps brachii*; ⁹RA: *Rectus abdominis*; ¹⁰SM: *Semimembranosus*.

1.4.2. Deuxième analyse : Régression entre tendreté et caractéristiques musculaires

Cette deuxième analyse a été réalisée sur uniquement les muscles *Longissimus thoracis* (LT, entrecôte, muscle à griller de bonne tendreté) et *Semitendinosus* (ST, rond de gîte, muscle à griller de tendreté moyenne) provenant de deux types d'animaux : taurillons et vaches.

Avant de réaliser les analyses de corrélation et de régression, toutes les variables ont été au préalable ajustées pour les effets de l'expérimentation en prenant les résidus du

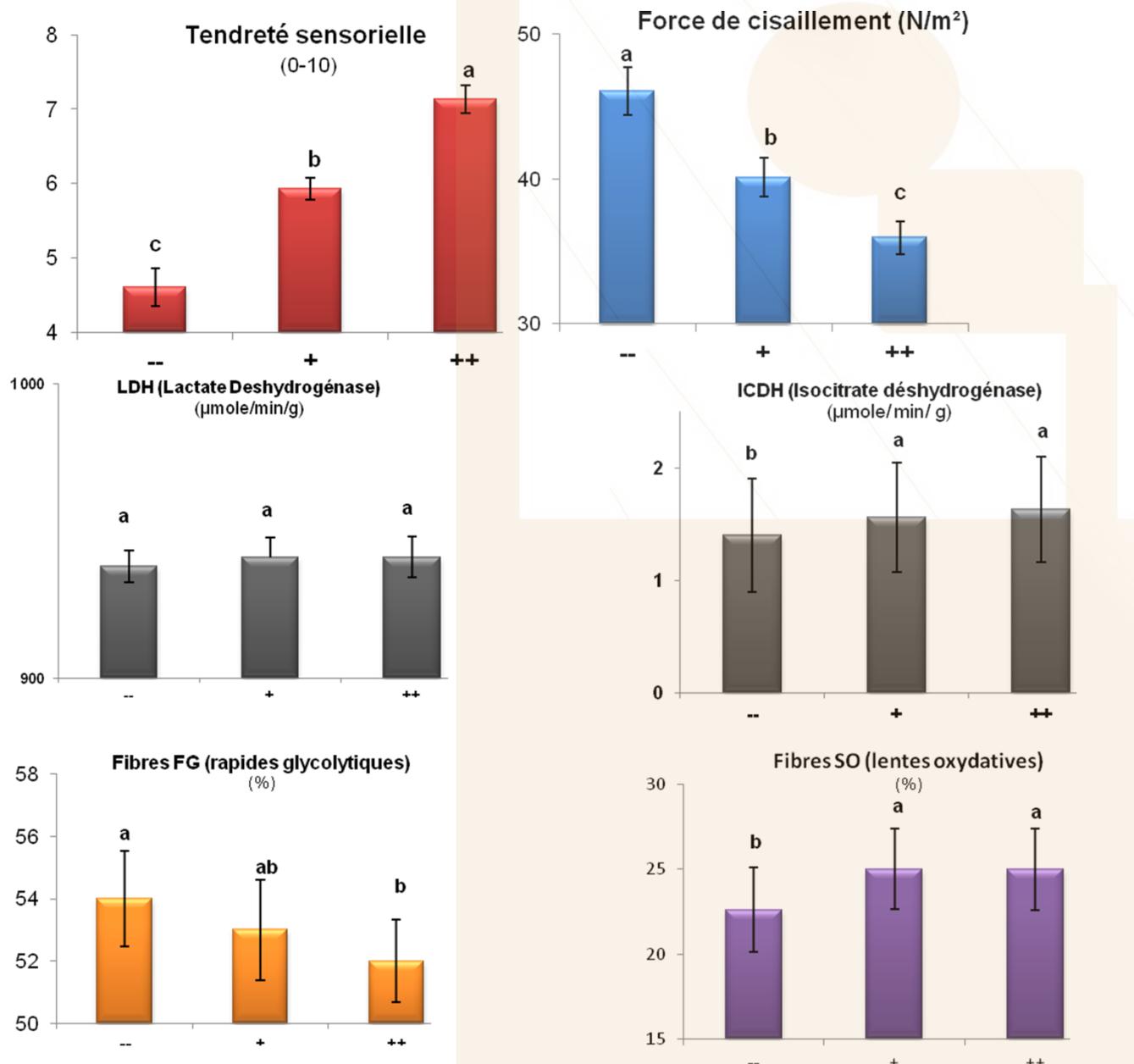
modèle linéaire intégrant les facteurs de variation identifiés (en l'occurrence sexe et muscle). L'analyse conjointe des résultats de l'ensemble des 36 expérimentations issues de la base de données BIF-Beef a consisté à estimer les coefficients de régression des deux critères de tendreté (test sensoriel et force de cisaillement) avec toutes les caractéristiques musculaires, en testant si ces relations diffèrent entre muscles (LT, ST) et entre types d'animaux (taurillons, vaches) ou si elles suivent une loi qui pourrait être considérée comme générale (Chriki et al., 2013b).

II. RESULTATS

II.1. Résultats de l'analyse en clusters (classes de tendreté)

Les trois classes de tendreté (élevée, intermédiaire et faible) présentent, respectivement, les notes moyennes suivantes : 7,1 ; 5,9 et 4,6 (Figure 1) avec une répartition homogène des races et des sexes (données non présentées).

Figure 1 : Histogrammes des trois classes de tendreté (-- : faible ; + : moyenne ; ++ : élevée) et des caractéristiques métaboliques et contractiles des fibres musculaires pour chacune de ces trois classes.



Une analyse de variance a été réalisée pour comparer les valeurs moyennes des trois classes de tendreté. Les valeurs correspondant aux histogrammes avec des lettres différentes en exposant sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Comme attendu, la force de cisaillement (correspondant plus particulièrement à la résistance mécanique myofibrillaire) la plus faible est significativement associée à la tendreté de la viande la plus élevée ($P < 0,05$). En outre, les muscles de la classe la plus tendre présentent les activités les plus élevées des enzymes mitochondriales oxydatives (ICDH) et la proportion la plus forte de fibres musculaires lentes oxydatives (SO) ($P < 0,05$). Au contraire, ils présentent la proportion la plus faible de fibres musculaires rapides glycolytiques (FG) sans aucune différence entre les classes au niveau de l'activité enzymatique glycolytique (LDH) ($P < 0,05$) (Figure 1).

Par opposition, les muscles de la classe la moins tendre présentent l'activité la plus faible de l'enzyme mitochondriale oxydative (ICDH), la proportion la plus faible de fibres musculaires lentes oxydatives (SO) et la proportion la plus forte de fibres musculaires rapides glycolytiques (FG) ($P < 0,05$) (Figure 1).

Par ailleurs, les viandes les plus tendres correspondent aux muscles qui contiennent le moins de collagène insoluble. En revanche, les viandes les plus dures correspondent aux muscles qui contiennent le plus de collagène total ($P < 0,05$) (données non présentées).

A l'exception des proportions des fibres musculaires SO et FG, ces résultats, observés dans tous les muscles, sont similaires à ceux obtenus avec uniquement des échantillons provenant du muscle LT. En effet, aucune différence significative des proportions des fibres musculaires SO et FG n'a été observée dans le muscle LT entre les différentes classes de tendreté (Tableau 2).

De nombreux travaux ont mis en évidence des relations entre les propriétés des fibres musculaires (surface moyenne des fibres et type contractile et métabolique) et la tendreté (revue de Guillemain et al., 2009). Toutefois, ces relations sont très variables selon les études. Certains auteurs (Dransfield et al., 2003 ; Zamora et al., 1996) indiquent que le métabolisme oxydatif favorise la tendreté de la viande bovine. Cependant, cette relation est controversée dans d'autres études et diffère d'un muscle à l'autre (revue de Maltin et al., 2003).

Certains auteurs ont montré que la surface moyenne des fibres musculaires est négativement corrélée à la tendreté (Renand et al., 2001), mais cette relation est contestée dans d'autres études avec d'autres types de muscles (Oury et al., 2010).

Par ailleurs, le collagène intervient à la fois négativement dans la tendreté par sa teneur, et positivement par sa solubilité (Renand et al., 2001). Toutefois, ces relations n'ont pas été systématiquement retrouvées (revue de Guillemain et al., 2009).

Notre étude a donc permis de lever des controverses observées dans la littérature par l'analyse simultanée des résultats issus d'un grand nombre d'expérimentations grâce à une approche par méta-analyse. **En effet, cette première méta-analyse a permis de montrer que la viande la plus tendre est caractérisée par une activité oxydative plus élevée, une proportion plus forte de fibres musculaires lentes oxydatives, et aussi par la proportion la plus faible de fibres musculaires rapides glycolytiques et par la taille des fibres musculaires la plus faible.**

Tableau 2 : Nombres (N), moyennes et erreurs standards (SE) des trois classes de tendreté et les valeurs correspondant des mesures de force de cisaillement WB, des teneurs en collagène total et insoluble, et des différentes caractéristiques musculaires dans le muscle Longissimus thoracis.

	Faible	Moyenne	Elevée
Tendreté (0-10)	4,7^c ± 0,5 (N=871)	6,1^b ± 0,3 (N=1749)	7,1^a ± 0,5 (N=1154)
WB¹ (N/cm²)	45,7^a ± 0,3 (N=619)	40,0^b ± 0,2 (N=1645)	36,0^c ± 0,3 (N=1054)
collagène Total (mg/g)	25,5^a ± 1,4 (N=136)	23,7^b ± 1,3 (N=132)	20,5^c ± 1,1 (N=62)
collagène Insoluble (mg/g)	19,0^a ± 1,1 (N=136)	19,0^a ± 1,1 (N=132)	17,0^b ± 0,7 (N=62)
ICDH² (µmole/min/ g)	1,5^b ± 0,04 (N=176)	1,7^a ± 0,04 (N=149)	1,75^a ± 0,06 (N=76)
LDH³ (µmole/min/ g)	978^a ± 15 (N=176)	957^a ± 16 (N=149)	940^a ± 22 (N=76)
FG⁴ (%)	52^a ± 1,2 (N=141)	50^a ± 1,1 (N=103)	50^a ± 1,3 (N=59)
SO⁵ (%)	33^a ± 1,1 (N=141)	33^a ± 0,9 (N=103)	33^a ± 1,2 (N=59)
Surface moyenne des fibres (µm²)	3070^a ± 12 (N=690)	2960^b ± 13 (N=1748)	2814^c ± 13 (N=1112)

¹WBSF: Force de cisaillement Warner-Bratzler ; ²ICDH: activité isocitrate déshydrogénase ; ³LDH: activité lactate déshydrogénase ; ⁴FG (%): proportion de fibres musculaires rapides glycolytiques ; ⁵SO: proportion de fibres musculaires lentes oxydatives.

Une analyse de variance a été réalisée pour comparer les valeurs moyennes des trois classes de tendreté. Les valeurs correspondant avec des lettres différentes en exposant sont significativement différentes ($P < 0,05$).

II.2. Résultats des régressions entre tendreté et caractéristiques musculaires

Dans le muscle LT, la teneur en collagène total chez les vaches, la surface moyenne des fibres musculaires et l'activité ICDH chez les taurillons sont significativement corrélées avec la tendreté mesurée par un test sensoriel. Dans le muscle ST, seule l'activité LDH est significativement corrélée, chez les vaches, à la valeur de la tendreté. Les régressions des notes de tendreté sensorielle sur ces caractéristiques musculaires sont significatives (Tableau 3 et Figure 2). Elles n'expliquent, toutefois, que 2% (teneur en collagène total) ; 1,8% (surface moyenne des fibres musculaires) ; 1,7% (activité ICDH) et 1,6% (activité LDH) de la variabilité (R^2) pour les deux muscles (résultats non présentés) (Chriki et al., 2013b).

Dans le muscle ST, la teneur en collagène total chez les taurillons et les vaches, la teneur en collagène insoluble chez les vaches seulement, l'activité de la LDH et la proportion des fibres rapides glycolytiques (FG) chez les taurillons sont significativement corrélées avec la tendreté mesurées par la force de cisaillement (Tableau 3 et Figure 2). Ces caractéristiques musculaires expliquent, respectivement, 6% (teneur en collagène total); 6% (teneur en collagène insoluble); 4% (activité ICDH) et 5% (proportion des FG) de la variabilité de la force de cisaillement (WB) (résultats non présentés) (Chriki et al., 2013b).

D'une façon générale, les données biochimiques étudiées dans cet article ont permis d'expliquer 21% de la variabilité de la tendreté mécanique (force de

cisaillement) dans le muscle ST et 7% de la variabilité de la tendreté sensorielle dans le muscle LT. Ces résultats ne confirment pas des travaux préalables qui avaient montré que les mêmes caractéristiques biochimiques du muscle (fibres musculaires, collagène...) peuvent expliquer jusqu'à **30%** des variations de la tendreté (Renand et al., 2001). Contrairement à notre étude qui a porté sur des échantillons maturés 14 jours, les 30% d'explication de la variabilité des propriétés mécaniques rapportés par Renand et al., (2001) concernent des échantillons maturés seulement 2 jours post-mortem. Ces auteurs ont d'ailleurs montré que la part de variabilité de la résistance mécanique expliquée par les caractéristiques musculaires diminue avec la durée de maturation.

Il serait important de compléter ce travail par l'intégration d'un certain nombre d'autres caractéristiques telles que des données de carcasses (rendement, conformation,...), et des muscles (persillé, pH ...) connues pour participer au déterminisme de la tendreté de la viande. De plus, les temps de maturation et les conditions de cuisson (température, méthode, etc) contribuent grandement au déterminisme de la qualité de la viande. En effet, en intégrant d'autres caractéristiques techniques, zootechniques ou biochimiques dans un même modèle, il est possible d'améliorer la prédiction de la tendreté de la viande bovine comme cela a été fait en Australie (Watson et al., 2008).

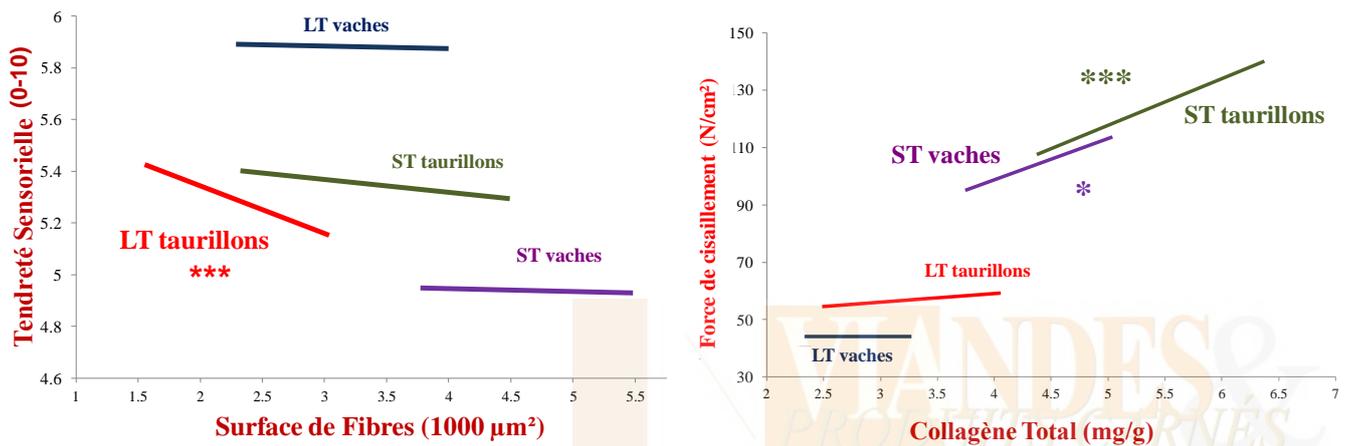
Tableau 3 : Régressions (pentes) de la tendreté (sensorielle et WB) sur les caractéristiques des muscles Longissimus thoracis (LT) et Semitendinosus (ST) des taurillons et des vaches.

Variable Dépendante	Variable Indépendante	muscle LT		muscle ST	
		Taurillons	Vaches	Taurillons	Vaches
Tendreté sensorielle (0-10)	Collagène Total (mg/g)	0,18 (NS) ^b	-0,5 (*)^a	-0,02 (NS) ^b	0,03 (NS) ^b
	Surface moyenne des fibres (μm^2)	-0,18 (***)^a	-0,01 (NS) ^b	-0,05 (NS) ^b	0,01 (NS) ^b
	LDH ² ($\mu\text{mole}/\text{min}/\text{g}$)	-0,0008 (NS) ^b	-0,0007 (NS) ^b	0,0003 (NS) ^b	0,001 (*)^a
	ICDH ³ ($\mu\text{mole}/\text{min}/\text{g}$)	0,40 (*)^b	0,30 (NS) ^b	0,20 (NS) ^b	-0,70 (NS) ^a
WB ¹ (N/cm ²)	Collagène Total (mg/g)	3 (NS) ^b	1 (NS) ^b	17 (***)^a	14 (*)^a
	Collagène Insoluble (mg/g)	9 (NS) ^a	4 (NS) ^a	19 (*) ^a	16 (*)^a
	LDH ² ($\mu\text{mole}/\text{min}/\text{g}$)	0,00 (NS) ^b	-0,01 (NS) ^b	-0,09 (**)^a	-0,02 (NS) ^b
	FG ⁴ (%)	0,17 (NS) ^b	0,05 (NS) ^b	-1,70 (**)^a	0,43 (NS) ^b

Comparaison des pentes (a, b: $p < 0,05$) ; Différence de zéro (* $p < 0,05$, ** $p < 0,001$, *** $p < 0,0001$, NS: non significative).

¹WBSF: Force de cisaillement Warner-Bratzler ; ²LDH: activité lactate déshydrogénase; ³ICDH: activité isocitrate déshydrogénase; ⁴FG (%): proportion fibres musculaires rapides glycolytiques.

Figure 2 : Régressions (i) entre la tendreté de la viande et la surface moyenne des fibres musculaires, et (ii) entre la force de cisaillement de la viande et la teneur en collagène total dans les muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST) des taurillons et vaches.



Sont indiquées les pentes significativement différentes de zéro à 5% (*) ou à 0,1% (***)

III. CONCLUSION

Avec cette méta-analyse, nous avons démontré que, selon le type de muscle considéré, la tendreté de la viande peut être expliquée par des caractéristiques différentes. Ceci nous permet de comprendre les nombreuses contradictions rencontrées dans la littérature concernant les relations entre caractéristiques biochimiques et qualité sensorielle de la viande. En effet, selon les auteurs, les études ont été conduites sur des types de muscles ou d'animaux différents. Ceci montre également qu'aucune caractéristique d'un

muscle donné ne peut être prédictrice de la qualité sensorielle de l'ensemble des autres muscles de la carcasse.

Toutefois, même si les proportions de variance expliquée sont faibles, connaître les caractéristiques musculaires qui influencent la tendreté de la viande revêt une importance particulière pour la filière bovine qui vise à maîtriser la qualité sensorielle de la viande, notamment par la sélection génétique dont l'objectif est d'améliorer les caractéristiques des carcasses et des muscles.

Bibliographie

- Boleman, S.J., Boleman, S.L., Miller, R.K., Taylor, J.F., Cross, H.R., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., Shackelford, S.D., Miller, M.F., West, R.L., Johnson, D.D., Savell, J.W., 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *J. Anim. Sci.*, 75, 1521-1524.
- Chriki, S., Gardner, G. E., Jurie, C., Picard, B., Micol, D., Brun, J. P., Journaux, L., Hocquette, J. F., 2012. Cluster analysis application in search of muscle biochemical determinants for beef tenderness. *BMC Biochem.*, 13, 29.
- Chriki, S., Picard, B., Faulconnier, Y., Micol, D., Brun, J.P., Reichstadt, M., Jurie, C., Durand, D., Renand, G., Journaux, L., Hocquette, J.F., 2013a. A data warehouse of muscle characteristics and beef quality in France and a demonstration of potential applications. *Ital. J. Anim. Sci.*, 12:e41, 247- 256.
- Chriki, S., Renand, G., Picard, B., Micol, D., Journaux, L. and Hocquette, J.F., 2013b. Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics, *Livest. Sci.*, sous presse.
- Dransfield, E., Martin, J.F., Bauchart, D., Abouelkaram, S., Lepetit, J., Culioli, J., Jurie, C., Picard, B., 2003. Meat quality and composition of three muscles from French cull cows and young bulls. *Anim. Sci.*, 76, 387-399.
- Guillemin, N., Cassar-Malek, I., Hocquette, J.F., Jurie, C., Micol, D., Listrat, A., Leveziel, H., Renand, G., Picard, B., 2009. La maîtrise de la tendreté de la viande bovine: identification de marqueurs biologiques. *INRA Prod. Anim.*, 22, 331-344.
- Legrand, I., Hocquette, J.F., Polkinghorne, R., Pethick, D., 2012. Prediction of beef eating quality in France using the Meat Standards Australia system. *Animal*, 7, 524-529
- Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R., Delday, M., 2003. Determinants of meat quality: tenderness. *Proc.Nutr.Soc.*, 62, 337-347.
- Oury, M.P., Dumont, R., Jurie, C., Hocquette, J.F., Picard, B., 2010. Specific fibre composition and metabolism of the *rectus abdominis* muscle of bovine Charolais cattle. *BMC Biochem.* 11.
- Polkinghorne, R., Thompson, J.M., 2010. Meat standards and grading. A world view. *Meat Sci.*, 86, 227-235.
- Renand, G., Picard, B., Touraille, C., Berge, P., Lepetit, J., 2001. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Sci.*, 59, 49-60.
- SAS, 1987. SAS user's guide Statistics. Version 6. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Verbeke, W., Van Wezemael, L., de Barcellos, M.D., Kugler, J.O., Hocquette, J.F., Ueland, O., Grunert, K.G., 2010. European beef consumers' interest in a beef eating-quality guarantee: Insights from a qualitative study in four EU countries. *Appetite*, 54, 289-296.
- Watson, R., Polkinghorne, R., Thompson, J.M. 2008. Development of the Meat Standards Australia (MSA) prediction model for beef palatability. *Aus. J. Exp. Agr.*, 48, 1368-1379.
- Zamora, F., Debiton, E., Lepetit, J., Lebert, A., Dransfield, E., Ouali, A., 1996. Predicting variability of ageing and toughness in beef *M longissimus lumborum et thoracis*. *Meat Sci.*, 43, 321-333.