









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
<b>Tendreté (0-10)</b>	<b>4,7<sup>c</sup> ± 0,5 (N=871)</b>	<b>6,1<sup>b</sup> ± 0,3 (N=1749)</b>	<b>7,1<sup>a</sup> ± 0,5 (N=1154)</b>
<b>WB<sup>1</sup> (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>45,7<sup>a</sup> ± 0,3 (N=619)</b>	<b>40,0<sup>b</sup> ± 0,2 (N=1645)</b>	<b>36,0<sup>c</sup> ± 0,3 (N=1054)</b>
<b>collagène Total (mg/g)</b>	<b>25,5<sup>a</sup> ± 1,4 (N=136)</b>	<b>23,7<sup>b</sup> ± 1,3 (N=132)</b>	<b>20,5<sup>c</sup> ± 1,1 (N=62)</b>
<b>collagène Insoluble (mg/g)</b>	<b>19,0<sup>a</sup> ± 1,1 (N=136)</b>	<b>19,0<sup>a</sup> ± 1,1 (N=132)</b>	<b>17,0<sup>b</sup> ± 0,7 (N=62)</b>
<b>ICDH<sup>2</sup> (µmole/min/ g)</b>	<b>1,5<sup>b</sup> ± 0,04 (N=176)</b>	<b>1,7<sup>a</sup> ± 0,04 (N=149)</b>	<b>1,75<sup>a</sup> ± 0,06 (N=76)</b>
<b>LDH<sup>3</sup> (µmole/min/ g)</b>	<b>978<sup>a</sup> ± 15 (N=176)</b>	<b>957<sup>a</sup> ± 16 (N=149)</b>	<b>940<sup>a</sup> ± 22 (N=76)</b>
<b>FG<sup>4</sup> (%)</b>	<b>52<sup>a</sup> ± 1,2 (N=141)</b>	<b>50<sup>a</sup> ± 1,1 (N=103)</b>	<b>50<sup>a</sup> ± 1,3 (N=59)</b>
<b>SO<sup>5</sup> (%)</b>	<b>33<sup>a</sup> ± 1,1 (N=141)</b>	<b>33<sup>a</sup> ± 0,9 (N=103)</b>	<b>33<sup>a</sup> ± 1,2 (N=59)</b>
<b>Surface moyenne des fibres (µm<sup>2</sup>)</b>	<b>3070<sup>a</sup> ± 12 (N=690)</b>	<b>2960<sup>b</sup> ± 13 (N=1748)</b>	<b>2814<sup>c</sup> ± 13 (N=1112)</b>

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

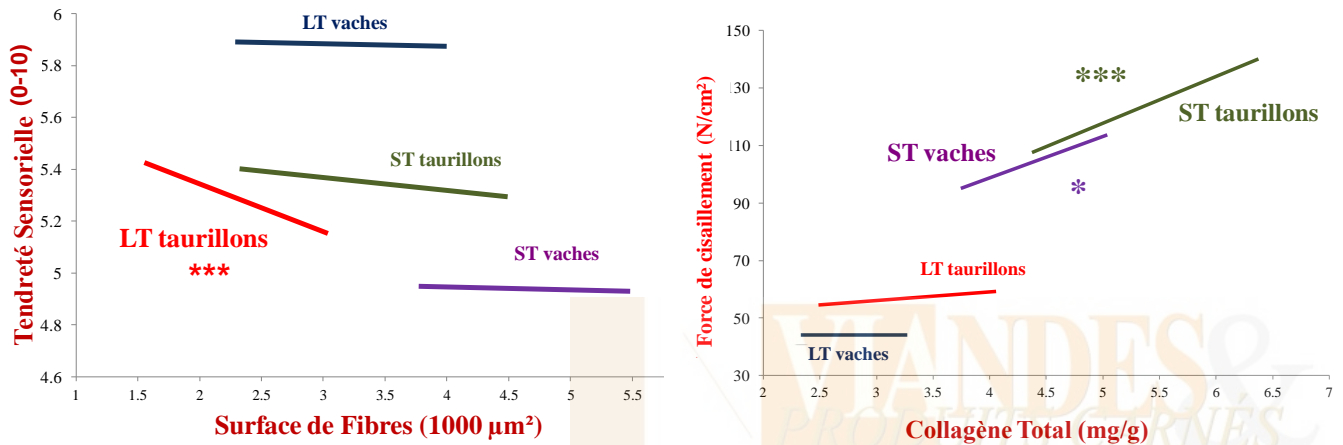
**Tableau 3 : Régressions (pentes) de la tendreté (sensorielle et WB) sur les caractéristiques des muscles Longissimus thoracis (LT) et Semitendinosus (ST) des taurillons et des vaches.**

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

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

<sup>1</sup>WBSF: Force de cisaillement Warner-Bratzler ; <sup>2</sup>LDH: activité lactate déshydrogénase; <sup>3</sup>ICDH: activité isocitrate déshydrogénase; <sup>4</sup>FG (%): 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.