

# Relations entre caractéristiques des fibres musculaires et indicateurs de qualité de la viande dans le cas du muscle *Longissimus thoracis* de taurillons Limousins

J.F. HOCQUETTE (1), B. PICARD (1), G. TRILLAT (1), J. NORMAND (2), A. BOISSY (1), J. CULIOLI (3)

(1) Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

(2) Institut de l'Élevage, Service Viande, Ester, 87069 Limoges cedex

(3) Station de Recherche sur la Viande, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

**RESUME** – Les caractéristiques contractiles et métaboliques des fibres musculaires influencent les caractéristiques qualitatives des viandes. Toutefois, les relations entre ces différents paramètres sont encore à préciser. L'étude réalisée sur le muscle *Longissimus thoracis* de taurillons limousins vise à déterminer quelles sont les caractéristiques des fibres musculaires qui sont les meilleurs prédicteurs du pH, de la couleur et des propriétés rhéologiques de la viande. Soixante dix taurillons limousins issus de 15 taureaux élevés dans 20 lots différents ont été utilisés dans cette étude. Nos résultats vérifient que l'effet père et l'effet lot d'élevage expliquent une part importante de la variabilité des performances zootechniques, du pH et de la couleur de la viande. Le facteur lot d'élevage explique également une part significative de la variabilité des pertes en eau de la viande et de l'activité glycolytique du muscle et des proportions de fibres IIA et IIB. Les autres caractéristiques des fibres ainsi que les paramètres rhéologiques de la viande sont peu influencés par les facteurs père et lot d'élevage. Après avoir éliminé la variabilité due à ces deux facteurs, l'analyse montre que les propriétés contractiles des fibres sont corrélées à la force de compression de la viande crue à 2 jours de maturation tandis que les propriétés métaboliques sont liées à la force de compression de la viande cuite après 15 jours de maturation. Peu de relations existent entre les caractéristiques contractiles et métaboliques des fibres musculaires.

# Relationships between muscle fibre characteristics and indicators of meat quality in the *Longissimus thoracis* of Limousin steers

J.F. HOCQUETTE (1), B. PICARD (1), G. TRILLAT (1), J. NORMAND (2), A. BOISSY (1), J. CULIOLI (3)

(1) Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

(2) Institut de l'Élevage, Service Viande, Ester, 87069 Limoges cedex

(3) Station de Recherche sur la Viande, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

**SUMMARY** – The contractile and metabolic characteristics of muscle fibres have an influence on the qualitative characteristics of meat. However, the relationships between these different parameters are not clear yet. This study of the *Longissimus thoracis* muscle of Limousin steers aims to determine which characteristics of muscle fibres are the best predictors of pH, colour and rheological properties of meat. Seventy Limousin steers from 15 different bulls reared in 20 different groups were used for this study. Our results show that the effects of the sire and of the group can explain a significant part of the biological variability of animal performance, pH and colour of the meat. The factor "group of rearing" also explains a significant part of the variability in water loss and in glycolytic activities of the muscle as well as in the proportions of IIA and IIB fibres. The other characteristics of the fibres and the rheological parameters of the meat are hardly influenced by the sire and group factors. After eliminating the variability of those two factors, the analyse shows that the contractile properties of the fibres are correlated with the force of compression of the raw meat at 2 days of maturation and that the metabolic properties are related to the force of compression of the cooked meat after 15 days of maturation. The relationships between the contractile and metabolic characteristics of muscle fibres are weak.

## INTRODUCTION

Dans un contexte de stabilité de la consommation totale de viande, celle de la viande bovine est en régression. Ceci est dû notamment à la variabilité importante et non maîtrisée de sa qualité, et en particulier de sa tendreté, et plus récemment, aux crises sanitaires liées à la maladie de la « vache folle ».

Les recherches menées à l'INRA de Theix, notamment, ont clairement montré que la tendreté de la viande dépend de nombreux facteurs propres au tissu musculaire dont les caractéristiques du collagène et des myofibrilles. La dureté due à la fraction myofibrillaire s'explique par les liaisons entre l'actine et la myosine qui se mettent en place au cours de la rigidité cadavérique après l'abattage de l'animal. Ensuite, la dégradation de nombreuses protéines myofibrillaires au cours de la maturation entraîne un attendrissage de la viande. Celui-ci est d'autant plus rapide que les fibres musculaires sont de type rapide. La maturation dépend aussi de l'évolution du pH post-mortem, et donc du potentiel glycolytique du muscle (teneur du muscle en glycogène). Les comparaisons entre muscles ont montré que les fibres les plus rapides sont aussi les plus glycolytiques, les moins rouges et les plus riches en glycogène (Talmant et al., 1986).

Toutefois, pour un muscle donné, les relations entre les propriétés contractiles et métaboliques des fibres d'une part, et les indicateurs de la dureté de la viande d'autre part ne sont pas aussi claires. L'objectif de ce travail est donc de préciser pour le muscle *Longissimus thoracis* (i) les relations existant entre différents indicateurs du métabolisme énergétique des fibres musculaires, et le type contractile déterminé par l'analyse des isoformes de myosine et (ii) les relations entre ces caractéristiques musculaires, la couleur, différentes caractéristiques de la viande pouvant influencer la tendreté finale (pH, teneur en glycogène) et la résistance mécanique de la viande crue et de la viande cuite.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Soixante-dix taurillons limousins issus de 15 taureaux ont été conduits en atelier d'engraissement par lots dans 20 cases différentes, à la Station de contrôle des aptitudes bouchères de Pépieux (32). Le gain moyen quotidien (GMQ) pendant la période d'engraissement, le poids vif avant le transport, le poids de carcasse à l'abattage, la note d'engraissement et le pourcentage de gras dans la carcasse ont été enregistrés (Boissy et al., 2000).

### 1.2. MESURES DES CARACTÉRISTIQUES DES MUSCLES

Deux échantillons du muscle *Longissimus thoracis* ont été prélevés sur tous les taurillons 50 min et 24 heures après l'abattage.

Le pH musculaire à 50 min et 24 h a été immédiatement mesuré après broyage de 2 g de muscle dans 18 ml d'iodoacétate 5 mM. Le reste de l'échantillon prélevé à 50 min a été immédiatement congelé pour les mesures ultérieures des teneurs en lactate et glycogène et du potentiel glycolytique décrites dans Boissy et al. (2000).

Ont également été mesurées les teneurs des isoformes I, IIA et IIB des chaînes lourdes de myosine (Picard et al., 1999) et l'activité de différentes enzymes caractéristiques des métabolismes oxydatif et glycolytique, telles que la cytochrome *c* oxydase (COX), la citrate synthase (CS) (Piot et al., 1998), l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) qui sont des enzymes mitochondriales et la lactate déshydrogénase (LDH), enzyme glycolytique (Briand et al., 1981).

### 1.3. MESURES DES CARACTÉRISTIQUES DES VIANDES

La couleur a été mesurée sur le muscle *Longissimus thoracis* 24 h après abattage, après un temps de réoxygénation de la viande d'une demi heure à 3°C. Elle a été déterminée à partir d'une notation visuelle en 4 classes (notes 1 : rouge très clair à 4 : rouge foncé) et d'une mesure instrumentale au chromamètre (Minolta CR300 - illuminant D65). Les résultats ont été exprimés dans l'espace couleur L\* (luminance variant de 0 pour le noir à 100 pour le blanc), a\* (indice de rouge), b\* (indice de jaune) du système CIELAB.

La cuisson de la viande a été réalisée sur des tranches d'épaisseur 2.5 cm découpées perpendiculairement à la plus grande dimension du muscle *Longissimus thoracis*. Les tranches conditionnées sous vide ont été immergées individuellement dans un bain d'eau à température ambiante placé dans un four micro-ondes puis porté, en 5 min environ, à la température de 60°C. Elles ont été ensuite placées pendant 30 min dans un bain-marie à 65°C. Après refroidissement les pertes d'eau à la cuisson ont été déterminées par pesée. Les propriétés mécaniques de la viande ont été mesurées en compression sur la viande crue à 2 et 14 jours post-mortem, puis sur la viande cuite à 15 jours post-mortem. Pour chaque point de mesure, deux paramètres rhéologiques ont été enregistrés : la force de compression à 20 % (K20) et la force de compression à 80 % (K80). Sur muscle cru, le K20 correspond à la résistance mécanique myofibrillaire (Lepetit et al., 1986) alors que le K80 estime la résistance du tissu conjonctif (Abustam et al., 1987). Dans le cas de la viande cuite, le K20 et le K80 évaluent respectivement la fermeté et la dureté de la viande (Kamoun et Culioli, 1988).

## 1.3. ANALYSES STATISTIQUES

Une analyse de variance a été effectuée sur l'ensemble des données afin d'estimer l'effet du père (Ai) et du facteur lot d'élevage (Bj) :  $Y_{ij} = A_i + B_j + e_{ij}$ . Les coefficients de corrélations de Pearson ont été calculés à partir des résidus  $e_{ij}$  de l'analyse de variance afin d'éliminer les effets père et lot d'élevage. Les corrélations significatives sont indiquées par les symboles suivants : t :  $P < 0.10$  (tendance), \* :  $P < 0.05$  ; \*\* :  $P < 0.01$  ; \*\*\* :  $P < 0.0001$ .

## 2. RESULTATS

La variabilité des différents paramètres étudiés est la plus grande pour les paramètres rhéologiques (de 14 à 38 %), les caractéristiques contractiles et métaboliques des fibres musculaires et les critères de couleur (de 13 à 38 %). En revanche, la variabilité des critères zootechniques (9-14 %), des estimateurs du potentiel glycolytique (14-16 %), de la perte en eau (9 %) ou du pH (1-2 %) est beaucoup plus faible (Tableau 1). L'effet paternel et l'effet du facteur lot d'élevage sont hautement significatifs pour les critères zootechniques, les critères de couleur, les paramètres liés au potentiel glycolytique et au pH. La perte en eau, la force de compression de la viande cuite à 20 %, l'activité LDH, et les proportions de fibres IIA et IIB dépendent également fortement du facteur lot d'élevage. Aucun effet n'est observé pour les autres caractéristiques (Tableau 1).

Les paramètres liés au potentiel glycolytique ou au pH, ainsi que les critères de couleur, ne sont pas significativement corrélés aux caractéristiques contractiles et métaboliques des fibres musculaires (résultats non détaillés). Le pourcentage de gras dans la carcasse est négativement corrélé à la proportion de fibres IIB ( $r = -0.28$ ,  $P < 0.04$ ). Les paramètres zootechniques sont de plus positivement corrélés à la force de compression à 20 % de la viande crue à 2 jours de maturation ( $r = 0.28$ ,  $P < 0.04$ ), mais pas à 14 ou 15 jours de maturation. Autrement dit, **plus les performances de croissance sont élevées, plus la dureté initiale de la fraction myofibrillaire est importante.**

Comme attendu, les activités des enzymes du métabolisme oxydatif sont positivement corrélées entre elles mais pas inversement corrélées à l'activité du métabolisme glycolytique (LDH) (Tableau 2). **Ce résultat indique une absence d'opposition entre les métabolismes oxydatif et glycolytique au sein du muscle *Longissimus thoracis*.**

Comme également attendu, le pourcentage de myosine I est négativement corrélé au pourcentage de myosine IIB et à l'activité LDH. Toutefois, les pourcentages de myosines I et IIA (type oxydatif) ne sont pas positivement corrélés aux activités du métabolisme oxydatif (Tableau 2). **Ce résultat indique une indépendance relative des propriétés contractiles et des activités métaboliques de fibres musculaires dans ce muscle.**

La perte en eau est d'autant plus élevée que le métabolisme du muscle est glycolytique puisque la perte en eau est positivement corrélée à l'activité LDH ( $P < 0.001$ ) (Tableau 2).

**Tableau 1**  
Caractéristiques des variables mesurées

	Moyenne	CV (%)	Effet Père	Effet Case
<b>Paramètres zootechniques</b>				
GMQ (g/j)	1470	12.3	0.0001	0.0001
Poids Abattagekg	621.5	9.0	0.003	0.012
Poids Carcassekg	380.8	9.3	0.0007	0.003
Note Etat	6.54	14.4	0.002	0.0001
% de gras	12.2	17.5	0.05	0.08
<b>Paramètres liés au potentiel glycolytique et au pH</b>				
pH 50 min	6.69	1.8	0.004	0.0001
pH 24 h	5.54	1.0	0.003	0.0001
Lactate <sup>a</sup>	30.18	16.4	0.002	0.0001
Glycogène <sup>a</sup>	53.66	16.2	0.046	0.0001
Potentiel glycolytique <sup>a</sup>	138.6	14.6	0.033	0.0001
<b>Paramètres de couleur</b>				
Couleur	2.33	29.2	0.01	0.0005
L*	42.11	6	0.0001	0.001
a*	24.84	9.3	0.022	0.0001
b*	13.6	14.8	0.080	0.0001
<b>Paramètres rhéologiques</b>				
Cru2K20 (N/cm <sup>2</sup> )	9.07	38.4	0.083	NS
Cru2K80 (N/cm <sup>2</sup> )	29.22	25.8	NS	NS
Cru14K20 (N/cm <sup>2</sup> )	4.02	17.8	NS	NS
Cru14K80 (N/cm <sup>2</sup> )	34.01	17.8	NS	NS
CuitK20 (N/cm <sup>2</sup> )	22.03	19.0	0.06	0.0001
CuitK80 (N/cm <sup>2</sup> )	107.66	13.9	NS	NS
Perte en eau (%)	21.99	9.1	NS	0.0004
<b>Propriétés métaboliques et contractiles des fibres</b>				
COX <sup>b</sup>	7.21	37.9	NS	NS
CS <sup>b</sup>	6.93	18.2	NS	0.07
LDH <sup>b</sup>	663	23.9	0.06	0.0001
ICDH <sup>b</sup>	1.34	19.3	NS	NS
%IIA	25.5	30.5	NS	0.0001
%IIB	64.1	13.2	NS	0.0001
%I	10.3	22.7	NS	NS

<sup>a</sup> :  $\mu\text{mol/g}$  frais ; <sup>a</sup> :  $\mu\text{mol/min/g}$  muscle ; <sup>b</sup> :  $\mu\text{mol/min/g}$  muscle

**Tableau 2**  
Coefficients de corrélation positifs (+) ou négatifs (-) entre les paramètres rhéologiques de la viande et les caractéristiques musculaires calculés après élimination des effets père et lot d'élevage

	Viande crue				Viande cuite		Perte en eau
	2K20	2K80	14K20	14K80	15K20	15K80	
2K20		+ ***	+ *	+ *	+ *		
2K80			- t	+ ***	- t		
14K20							
14K80					+ *		
15K20							+ ***
15K80							
Perte en eau							

	COX	CS	LDH	ICDH	%IIA	%IIB	%I
2K20					+ *	-- **	+ *
2K80							
14K20							
14K80	+ t						
15K20	- *		+ ***	- t			
15K80	+ *	+ ***	- *	+ **			+ **
Perte en eau			+ ***				- t
COX			- t	+ ***			
CS				+ ***			
LDH							- **
ICDH							
%IIA						- ***	
%IIB							- ***
%I							

t :  $P < 0.10$  et  $r > 0.21$ , \*\* :  $P < 0.05$  et  $r > 0.25$ , \*\*\* :  $P < 0.01$  et  $r > 0.32$ , \*\*\* :  $P < 0.001$  et  $r > 0.40$ .

Les différentes forces de compression de la viande crue (à 2 et 14 jours à 20 et 80 %) sont corrélées entre elles mais peu ou pas corrélées à la force de compression de la viande cuite à 15 jours de maturation (Tableau 2).

La force de compression à 20 % de la viande crue à 2 jours de maturation est positivement corrélée aux proportions de myosines de type I et IIA et négativement corrélée à la proportion de myosine de type IIB (Tableau 2), indiquant que les muscles possédant des fibres rapides glycolytiques mûrent plus vite. En revanche, les forces de compression à 14 (viande crue) ou 15 jours de maturation (viande cuite) dépendent peu ou pas des propriétés contractiles des fibres musculaires. **Ce résultat indique que le type contractile des fibres musculaires influence davantage la vitesse de maturation de la viande que ses propriétés rhéologiques après maturation ou sa tendreté finale.**

La force de compression à 20 % de la viande cuite estimant la fermeté est positivement corrélée au métabolisme glycolytique du muscle estimé par l'activité LDH et aux pertes en eau. Au contraire, la force de compression à 80 % de la viande cuite estimant la dureté est négativement corrélée à l'activité LDH et positivement corrélée au métabolisme oxydatif du muscle estimé par les activités COX, CS et ICDH. De plus, la force de compression à 80 % de la viande cuite est positivement corrélée au pourcentage de myosine I (Tableau 2). **Ce résultat suggère que le type métabolique des fibres musculaire influence les propriétés rhéologiques de la viande après maturation.**

### 3. DISCUSSION

Les résultats présentés dans ce travail confirment tout d'abord qu'il existe une variabilité génétique, et une variabilité liée aux conditions d'élevage des animaux, des critères zootechniques, des paramètres de couleur, de la perte en eau, du potentiel glycolytique et du pH de la viande. En revanche, la forte variabilité des paramètres rhéologiques et des caractéristiques musculaires est beaucoup plus difficile à expliquer, les facteurs d'élevage influençant au moins certaines de ces caractéristiques, telles que le métabolisme glycolytique du muscle estimé par l'activité LDH.

Les relations positives entre le métabolisme glycolytique des muscles, les teneurs élevées en glycogène et la couleur claire de la viande basée sur des comparaisons entre muscles n'apparaissent pas dans cette étude (Talmant et al., 1986). Ceci peut s'expliquer par le fait que nous n'avons pas comparé des muscles extrêmes. Nous avons au contraire étudié la variabilité au sein d'un seul muscle, plutôt glycolytique, le *Longissimus thoracis*. **Les lois générales qui découlent des comparaisons entre muscles ne sont donc pas extrapolables pour un muscle donné.** Toutefois, une plus grande proportion de fibres IIB est négativement corrélée à l'adiposité de la carcasse

comme cela a été démontré dans d'autres expérimentations (Renand et al., 1995).

Les propriétés contractiles des fibres musculaires estimées par les teneurs des isoformes de myosine I, IIA et IIB sont associées à la dureté de la fraction myofibrillaire à 2 jours de maturation seulement, mais moins à 14 ou 15 jours de maturation. **En d'autres termes, plus les fibres sont de type rapide, plus leur vitesse de maturation est élevée.** En revanche, les propriétés métaboliques des fibres musculaires sont associées à la force de compression à 80 % de la viande cuite, paramètre qui pourrait se rapprocher de la tendreté finale de la viande. **Plus le type de muscle est lent oxydatif, plus la dureté finale de la viande cuite est élevée.** Par ailleurs, les pertes en eau influencent la force de compression de la viande cuite à 20 %, mais pas à 80 %. De plus, les muscles oxydatifs sont plus riches en calpaïnes, protéases impliquées dans la dégradation des protéines myofibrillaires au cours de la maturation de la viande. Cependant, ils contiennent davantage de calpastatine, inhibiteur des calpaïnes (Ouali et Talmant, 1990), et plus de collagène (Abustam et al., 1987 ; Boccard, 1981 et Talmant et al., 1986), facteurs défavorables pour la tendreté. La résultante est ainsi difficile à prévoir. Ces conclusions soulignent la complexité des relations entre les propriétés contractiles et métaboliques des fibres musculaires et les critères de tendreté de la viande bovine.

#### CONCLUSION

Les études intra-muscle montrent que les relations entre les propriétés contractiles et métaboliques des fibres musculaires

sont nettement plus faibles qu'au travers des études inter-muscle avec différents muscles extrêmes. Les expressions des isoformes de myosine sont davantage des prédicteurs de la vitesse de maturation tandis que les enzymes mitochondriales permettent plutôt de prédire la force de compression de la viande cuite après maturation. Ces conclusions ne sont valables que pour des animaux avec un même fond génétique et des conditions d'élevage similaires puisque la variabilité due aux effets père et facteur d'élevage a été éliminée dans notre analyse.

**Abustam, E., Bordes, P., Culioli, J.** 1987. In : Proc. 33<sup>rd</sup> Int. Congr. Meat Sci. and Technol., Vol. 4., Helsinki. 163-165.

**Boccard, R.** 1981. In « Development in Meat Science ». Ed R. Lawrie, vol 2, 1-28.

**Boissy, A., Trillat, G., Fernandez, X., Boivin, X., Sapa, J., Culioli, J., Le Neindre, P.**, 2000. Renc. Rech. Ruminants, 58-61.

**Briand, M., Talmant A., Briand Y., Monin G., Durand R.**, 1981. Eur. J. Appl. Physiol. 46, 359-365.

**Kamoun, M., Culioli, J.**, 1988. J. Texture Studies, 19, 117-136.

**Lepetit, J., Salé, P., Ouali, A.**, 1986. Meat Sci., 16, 161-174.

**Ouali, A., Talmant, A.** 1990. Meat Sci., 28, 331-348.

**Picard, B., Barboiron, C., Duris, M.P., Gagnière, H., Jurie, C., Geay, Y.**, 1999. Meat Sci., 53, 1-7.

**Piot, C., Veerkamp, J.H., Bauchart, D., Hocquette, J.F.**, 1998. Comp. Biochem. Biophys. 121B, 185-194.

**Renand G., Jurie C., Robelin J., Picard B., Geay Y., Ménéssier F.**, 1995. Genet. Sel. Evol. 27, 287-298.

**Talmant, A., Monin, G., Briand, M., Dadet, M., Briand, Y.**, 1986. Meat Sci., 18, 23-40.