

# Evolution des caractéristiques musculaires bovines avec l'âge selon le muscle et le type d'animal : une approche par méta-analyse

SCHREURS N., GARCIA F., AGABRIEL J., JURIE C., MICOL D., PICARD B.

URH, INRA-Clermont-Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

**RESUME** – L'âge, la race et le sexe de l'animal influencent la qualité de la viande bovine au travers de l'évolution des caractéristiques musculaires. L'objectif est de développer un modèle pour prévoir l'évolution de ces caractéristiques avec l'âge en fonction du type d'animal (sexe, race) et du type de muscle. Pour cela, il est nécessaire de comprendre et de quantifier l'effet des différents facteurs sur le développement des caractéristiques musculaires. La synthèse des nombreux résultats expérimentaux, hétérogènes et parfois contradictoires lorsque pris individuellement, est donc un préalable important. Une méta-analyse a été mise en œuvre pour résumer les résultats de trente-six expériences qui ont étudié les caractéristiques musculaires de bovins en fonction du sexe et de la race pour différents muscles. Une base de données a été construite avec 2 395 échantillons de muscle *longissimus thoracis* (LT), *semitemdinosus* (ST) et *triceps brachii* (TB) de taurillons ou de bœufs (< 34 mois d'âge) des races Aubrac, Blonde d'Aquitaine, Charolaise, Limousine, Montbéliard et Salers. Les caractéristiques étudiées étaient la surface moyenne des fibres, les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH, oxydative) et de la lactate déshydrogénase (LDH, glycolytique), les concentrations en collagène total et insoluble et les concentrations en lipides intramusculaires totaux. L'analyse souligne les comportements différents des muscles. La surface moyenne des fibres augmente avec l'âge et l'accroissement est plus important pour le ST que pour le LT et le TB. La concentration en collagène insoluble est faible dans le LT à tous les âges ( $P < 0,001$ ). La concentration en lipides totaux s'accroît avec l'âge dans le LT et TB ( $P < 0,05$ ) et est plus élevée pour les bœufs que pour les taurillons ( $P < 0,001$ ). Les bœufs présentent dans tous les muscles une plus grande activité LDH mais une plus faible activité ICDH et une plus petite surface moyenne des fibres ( $P < 0,05$ ). Le muscle ST des animaux Blonde d'Aquitaine présente une activité faible de l'ICDH et la LDH tandis que les Montbéliard présentent une activité plus élevée de l'ICDH ( $P < 0,05$ ). Les effets de l'âge et du muscle semblent avoir plus d'influence sur les caractéristiques musculaires que la castration ou la race.

## Development of muscle characteristics with age in cattle according to muscle and animal type: a meta-analysis

SCHREURS N., GARCIA F., AGABRIEL J., JURIE C., MICOL D., PICARD B.

URH, INRA-Clermont-Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

**SUMMARY** – Age, breed and sex of the animal influence beef quality through changes in the muscle characteristics. The final objective was to construct a model to predict the development of muscle characteristics with age for different sexes, breeds and muscles. To model these evolutions, it is necessary to understand and quantify the effects of the different factors on the development of muscle characteristics. The synthesis of many experimental results, sometimes individually heterogeneous or contradictory, is an important first step of this objective. A meta-analysis was used to summarise the results of 36 experiments that investigated muscle characteristics with diverse sexes, breeds and muscles. A database was constructed with 2,395 muscle samples of the *longissimus thoracis* (LT), *semitemdinosus* (ST) and *triceps brachii* (TB) from bulls and steers (<34 months of age) of Aubrac, Aquitaine Blond, Charolais, Limousin, Montbeliard and Salers breeds. The muscle characteristics considered were the following: the mean muscle fibre area, isocitrate dehydrogenase (ICDH) and lactate dehydrogenase (LDH) activity, total and insoluble collagen and total lipid concentration. Mean muscle fibre area increased with age and this was more prominent in the ST than LT and TB. The insoluble collagen concentration was lower in the LT at all ages ( $P < 0.001$ ). The total lipid concentration increased with age in the LT and TB ( $P < 0.05$ ) and was higher in steers than in bulls ( $P < 0.001$ ). The steers also had a greater LDH activity but lower fibre area and ICDH activity ( $P < 0.05$ ). In ST, the Aquitaine Blond breed had a lower activity of both ICDH and LDH while the Montbeliard had a higher ICDH activity ( $P < 0.05$ ). The effects of the age and muscle appear to be more influential on the muscle characteristics than castration or breed.

## INTRODUCTION

La variation de la qualité de la viande bovine entre animaux et entre muscles d'un même animal est importante. Elle peut être en partie attribuée à des facteurs génétiques et à des facteurs environnementaux, associés au système de production. Des différences dans des critères de qualité de la viande bovine ont par ailleurs été corrélées avec des différences dans les caractéristiques musculaires (Renand *et al.*, 2001). Ces caractéristiques peuvent donc être utilisées comme un indicateur de la qualité de la viande. Dans ce but de prévision de la qualité, nous avons voulu comprendre comment les facteurs de production influencent la dynamique des caractéristiques musculaires avec l'âge et quels sont les effets directs que l'on peut modéliser. Beaucoup d'études ont considéré les changements des caractéristiques musculaires avec l'âge, le type de muscle, le sexe et la race (Picard *et al.*, 1995, Jurie *et al.*, 2005). De nombreuses expériences ont été

mises en œuvre pour les étudier, mais elles considèrent habituellement un nombre limité de facteurs avec un nombre restreint d'animaux. L'objectif de cette étude était d'utiliser une approche par méta-analyse pour établir les effets du sexe et de la race sur l'évolution avec l'âge des caractéristiques de muscles différant par leur fonctionnement métabolique, ou par leur finalité bouchère. Pour cette question l'approche par méta-analyse est avantageuse car elle permet l'intégration d'un grand nombre de données issues de nombreuses expériences disponibles avec plusieurs niveaux de facteurs. Elle englobe les observations faites sur un grand nombre d'animaux ce qui augmente la probabilité que les inférences faites soient représentatives des lois biologiques impliquées. Elle permet enfin d'avancer des hypothèses utiles pour la construction d'un modèle prédictif du développement des caractéristiques musculaires dans les différentes populations bovines françaises.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. BASE DE DONNEES

Une base de données a été construite à partir de 2395 échantillons de muscle provenant de trente expériences INRA. Les résultats utilisés concernent des observations originales réalisées au sein de l'équipe URH « Croissance et Métabolisme du Muscle » sur des échantillons de muscle obtenus par biopsie ou à l'abattage. Les caractéristiques musculaires retenues sont : la surface moyenne des fibres (AMOY), les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH), les concentrations en collagène total (TCOL) et insoluble (CINS) et les concentrations en lipides totaux (TLIP). La base de données constituée contient les informations pour trois types de muscle : *longissimus thoracis* (LT, entrecôte, n = 959), *semitendinosus* (ST, rond de gîte, n = 1092), *triceps brachii* (TB, boule de macreuse, n = 341). Les facteurs de production modulant leurs caractéristiques correspondent à des âges, sexes et races différents. La base de données contient les mesures pour des bœufs (n = 778, < 34 mois de âge) et des taurillons (n = 1614, < 26 mois de âge). Les données finales recueillies comportent six races différentes : Aubrac (AU, n=63), Blonde d'Aquitaine (BA, n = 50), Charolaise (CH, n = 1018), (LI, n = 625), Montbéliarde (MO, n = 381), Salers (SA, n = 255).

### 1.2. ANALYSES STATISTIQUES

Pour quantifier les effets des facteurs de production sur les caractéristiques des muscles, des analyses en modèles linéaires mixtes ont été réalisées en utilisant la procédure PROC MIXED de SAS/STAT Version 8 d'après la méthode décrite par St Pierre (2001). L'effet de l'âge a été inclus comme variable continue et quantitative. L'effet linéaire de l'âge a été examiné pour chaque muscle, sexe et race dans les trois analyses. Le modèle de la première analyse a inclus le muscle comme effet fixe, l'âge comme covariable et l'interaction de l'âge avec le muscle (tableau 1). Les deuxième et troisième analyses ont utilisé seulement les données du ST avec un modèle statistique qui inclut le sexe (castration, tableau 2) ou la race (tableau 3) comme effet fixe, l'âge comme covariable et l'interaction de l'âge avec l'effet fixe. Une interaction significative indique que l'effet linéaire de l'âge dépend du niveau de l'effet fixe. Si l'interaction entre l'effet fixe et la covariable âge n'était pas significative ( $P > 0,05$ ) elle était enlevée du modèle. Quand une interaction non significative est signalée dans les tableaux 1, 2 ou 3, les résultats sont indiqués pour le modèle sans interaction. Dans toutes les analyses, l'expérience est considérée comme effet aléatoire. Les moyennes et leurs différences ont été calculées par ajustement des moindres carrés en utilisant l'option PDIF et la commande LSMEANS.

## 2. RESULTATS

### 2.1. EFFETS DE L'AGE

Pour les taurillons, AMOY et TLIP augmentent avec l'âge (figures 1 et 2). L'importance de cet effet dépend du muscle, du sexe et de la race comme l'indiquent les interactions significatives entre effets fixes dans le modèle statistique ( $P < 0,05$ , tableaux 1-3). On peut noter une moindre évolution de AMOY dans le LT. Les activités ICDH, LDH, et TCOL sont également modifiées avec l'âge mais l'importance de l'évolution dépend du muscle considéré (tableau 1, figures 3 et 4, également moindre évolution dans le LT). Cette évolution est également différente selon la race (tableau 3). Pour CINS les modèles suggèrent des

différences entre muscles et des évolutions selon l'âge en interaction avec la race (tableau 3).

### 2.2. EFFETS DU MUSCLE

Le type de muscle affecte toutes les caractéristiques étudiées, que ce soit en tant qu'effet principal ou en interaction avec l'âge (tableau 1). L'interaction âge x muscle ( $P < 0,01$ ) pour TLIP indique que les différences de taux de lipides entre les muscles se développent tardivement, à un âge postérieur à la tranche d'âge étudiée (figure 2). Le muscle ST a des surfaces de fibres toujours plus importantes que les deux autres muscles (figure 1). Il présente également une activité LDH, et des taux CINS et TCOL toujours plus élevés et une activité ICDH et une teneur TLIP plus faibles ( $P < 0,05$ , tableau 1). Inversement le muscle LT présente les plus faibles teneurs en CINS et TCOL et la plus haute teneur en TLIP ( $P < 0,05$ ). Le muscle TB est souvent le plus intermédiaire pour les caractéristiques étudiées (figures 1-4).

### 2.3. EFFET DE LA CASTRATION

Les bœufs présentent dans le muscle *semitendinosus* des surfaces moyennes des fibres AMOY plus réduites que celles des taurillons. Dans cette comparaison l'activité ICDH est plus faible, l'activité LDH plus élevée, et la teneur TLIP plus forte ( $P < 0,05$ , tableau 2).

### 2.4. EFFET DE LA RACE

Dans le muscle *semitendinosus*, un effet race significatif a été observé pour les activités ICDH, et LDH, CINS et TCOL ( $P < 0,001$ ). Pour AMOY, les différences entre les races se sont développées tardivement, comme le suggère l'interaction significative âge x race ( $P < 0,01$ , tableau 3). Les différences entre les moyennes indiquent que généralement AMOY est plus importante dans la race CH mais moindre en LI et MO. L'activité de l'ICDH est élevée en SA, race mixte, mais particulièrement forte en MO, race laitière et la plus basse en BA, race à viande. L'activité LDH des races AU, LI et SA est la plus élevée, et la plus basse en BA. Les teneurs CINS et les TCOL sont parmi les plus importantes en SA mais le CH a un TCOL encore plus grand. On n'a observé aucune différence entre races pour TLIP (tableau 3).

## 3. DISCUSSION

L'objectif de cette étude méta-analytique était de passer en revue les résultats quantitatifs de trente expériences, afin de quantifier les effets de l'âge sur les caractéristiques musculaires en fonction des différents muscles, sexes et races. Le but final était le développement d'un modèle prédictif. Les données provenaient d'un même laboratoire ce qui garantissait des mesures comparables entre expériences. En traitant l'expérience comme un effet aléatoire, toutes les données ont pu contribuer à l'analyse sans préjuger des différents essais influençant les inférences faites sur la population. L'éventuelle interaction de l'expérience avec le facteur fixe n'a néanmoins pas pu être explorée car tous les niveaux des effets fixes n'étaient pas présents dans chaque expérience. Nous avons utilisé un modèle linéaire mixte pour déterminer le changement des caractéristiques musculaires avec l'âge, mais certaines évolutions semblent non linéaires. Cependant la hiérarchie des facteurs étudiés paraît robuste. Concernant l'effet de l'âge sur l'évolution des caractéristiques musculaires, cette étude a mis en évidence des évolutions d'amplitudes différentes selon le muscle, le sexe et la race considérés. Généralement, dans les muscles étudiés il apparaît avec l'âge un accroissement de la taille des fibres musculaires (x5 dans le ST et TB, x2 dans le LT), de la

concentration en lipides et une tendance vers un métabolisme moins oxydatif et plus glycolytique. Ce résultat est conforme aux études antérieures qui ont établi que l'âge a une influence négative sur la qualité de la viande bovine (Shorthose et Harris, 1990) due à des changements dans les caractéristiques musculaires semblables à ceux observées dans cette méta-analyse (Brandstetter *et al.*, 1998, Renand *et al.*, 2001).

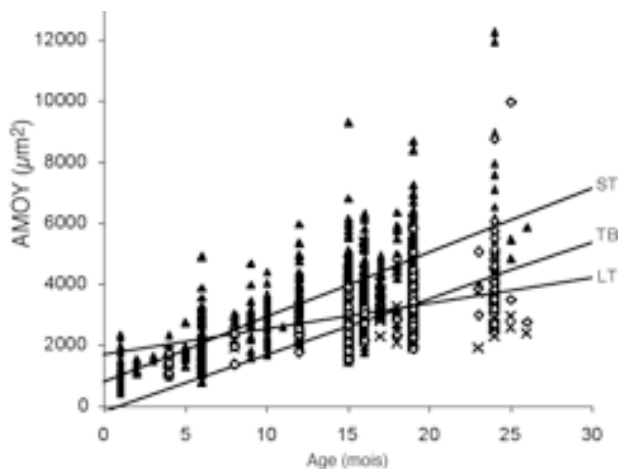
Concernant l'effet du muscle, nos résultats montrent que les caractéristiques musculaires varient fortement entre muscles, ce qui pourrait expliquer les différences de qualité observées avec des viandes issues de différents muscles (Dransfield *et al.*, 2003). Le muscle LT a une concentration en collagène inférieure et une concentration en lipides supérieure aux deux autres muscles. Le muscle ST présente une activité ICDH et une concentration en lipides inférieures aux autres muscles, mais une surface de fibres, une concentration en collagène et une activité LDH plus élevées que le LT et le TB. Les différences entre les muscles sont plus marquées aux âges les plus tardifs particulièrement pour le TLIP qui est considéré comme un composant se développant tardivement dans le muscle. Ces résultats indiquent que la viande du LT sera de la plus haute qualité à l'abattage. Ce résultat est conforme à Jurie *et al.* (2005) et von Seggern *et al.* (2005).

Nous observons des différences entre les bœufs et les taurillons. Les muscles des bœufs ont eu une activité

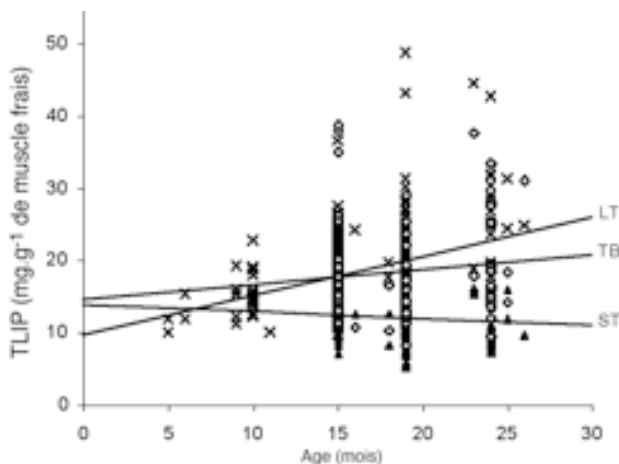
d'ICDH (oxydatif) inférieure et une activité de LDH (glycolytique) plus élevée associées à une concentration TLIP plus élevée et une AMOY plus faible comparées aux taurillons. Ces données sont en accord avec Picard *et al.* (1995) qui ont aussi observé une plus petite AMOY chez les bœufs. Seideman et Crouse (1986) ont suggéré que les taurillons ont un métabolisme plus oxydatif et une plus faible capacité à s'engraisser que les bœufs en raison de l'influence hormonale après la puberté.

L'évolution des caractéristiques musculaires varie entre les races. Les activités ICDH et LDH sont inférieures chez les taurillons BA par rapport aux autres races, alors que l'activité ICDH est la plus élevée pour la race MO. La race BA est considérée comme ayant un métabolisme plus glycolytique (Listrat *et al.*, 2001). Cependant, nos résultats suggèrent que l'activité enzymatique métabolique globale serait inférieure en BA et que les races laitières auraient un métabolisme plus oxydatif. Le CINS est également plus élevé chez le SA, par rapport au CH et AU, contrairement aux résultats de Jurie *et al.* (2005), où les valeurs étaient semblables pour les trois races. Cependant, dans l'étude de Jurie *et al.* (2005), toutes ces races sont assez tardives et les résultats concernent seulement des animaux entre quinze et vingt-quatre mois d'âge. Le fait d'observer des effets de la race avec les taurillons dans cette méta-analyse peut s'expliquer par une plus grande variation dans les âges et les races considérés.

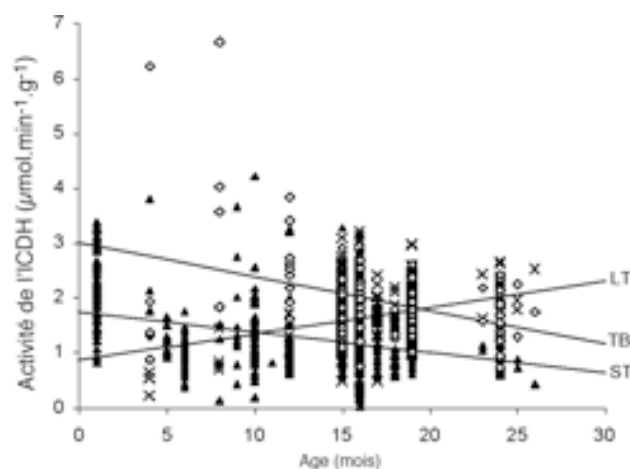
**Figure 1 :** Surface moyenne des fibres (AMOY) en fonction de l'âge pour les muscles *longissimus thoracis* (LT, X), *semitendinosus* (ST, ▲) et *triceps brachii* (TB, ◇) des taurillons



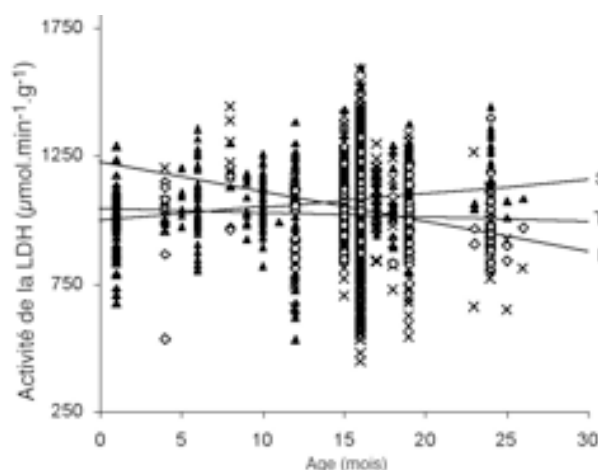
**Figure 2 :** Concentrations en lipides totaux (TLIP) en fonction de l'âge pour les muscles *longissimus thoracis* (LT, X), *semitendinosus* (ST, ▲) et *triceps brachii* (TB, ◇) des taurillons



**Figure 3 :** Activité de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) en fonction de l'âge pour les muscles *longissimus thoracis* (LT, X), *semitendinosus* (ST, ▲) et *triceps brachii* (TB, ◇) des taurillons



**Figure 4 :** Activité de la lactate déshydrogénase (LDH) en fonction de l'âge pour les muscles *longissimus thoracis* (LT, X), *semitendinosus* (ST, ▲) et *triceps brachii* (TB, ◇) des taurillons



**Tableau 1 :** Moyennes ajustées des moindres carrés ( $\pm$  erreur standard) calculées dans l'analyse par modèles linéaires mixtes pour l'effet du *longissimus thoracis* (LT), *semitendinosus* (ST) ou *triceps brachii* (TB) sur des caractéristiques musculaires des mâles entiers entre 1 et 26 mois d'âge. L'âge est une variable continue et quantitative

	AMOY <sup>2</sup>	ICDH <sup>2</sup>	LDH <sup>2</sup>	CINS <sup>2</sup>	TCOL <sup>2</sup>	TLIP <sup>2</sup>
Moyennes ajustées :						
<i>longissimus thoracis</i>	2931 $\pm$ 115 <sup>b</sup>	1.6 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	1054 $\pm$ 64 <sup>ab</sup>	2,5 $\pm$ 0,2 <sup>c</sup>	3,2 $\pm$ 0,1 <sup>c</sup>	19,3 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>
<i>semitendinosus</i>	3889 $\pm$ 113 <sup>a</sup>	1.2 $\pm$ 0,2 <sup>c</sup>	1076 $\pm$ 64 <sup>a</sup>	4,2 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	5,4 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	12,2 $\pm$ 1,0 <sup>b</sup>
<i>triceps brachii</i>	2523 $\pm$ 136 <sup>c</sup>	2.1 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	1019 $\pm$ 66 <sup>b</sup>	3,8 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	4,9 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	18,3 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>
Signification des effets fixes <sup>1</sup> :						
âge	***	NS	NS	NS	NS	*
muscle	***	***	**	***	***	NS
âge x muscle	***	***	***	NS	***	**

<sup>a,b,c</sup> Dans une colonne, les moyennes sans lettre commune sont significativement différentes ( $P < 0,05$ )

<sup>1</sup> NS = non significatif, \*= $P < 0,05$ , \*\*= $P < 0,01$ , \*\*\*= $P < 0,001$

<sup>2</sup> Désignation des variables : AMOY=surface moyenne des fibres ( $\mu\text{m}^2$ ), ICDH=activité isocitrate déshydrogénase ( $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ), LDH=activité lactate déshydrogénase ( $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ), CINS=teneur en collagène insoluble ( $\mu\text{g OH-proline}\cdot\text{mg}^{-1}$  muscle sec), TCOL=teneur en collagène total ( $\mu\text{g OH-proline}\cdot\text{mg}^{-1}$  muscle sec), TLIP=teneur en lipides totaux ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  muscle frais).

**Tableau 2 :** Moyennes ajustées des moindres carrés ( $\pm$  erreur standard) calculées dans l'analyse par modèles linéaires mixtes pour l'effet du sexe (mâles castrés ou mâles entiers) sur des caractéristiques musculaires du muscle de *semitendinosus* pour des mâles castrés entre 1 et 34 mois d'âge et des mâles entiers entre 1 et 26 mois d'âge. L'âge est une variable continue et quantitative

	AMOY <sup>2</sup>	ICDH <sup>2</sup>	LDH <sup>2</sup>	CINS <sup>2</sup>	TCOL <sup>2</sup>	TLIP <sup>2</sup>
Moyennes ajustées :						
Mâles castrés	3155 $\pm$ 185 <sup>b</sup>	0,9 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	1119 $\pm$ 71 <sup>a</sup>	3,7 $\pm$ 0,2	4,5 $\pm$ 0,1	16,8 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup>
Mâles entiers	3795 $\pm$ 137 <sup>a</sup>	1,2 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	1049 $\pm$ 68 <sup>b</sup>	4,2 $\pm$ 0,2	4,8 $\pm$ 0,1	13,6 $\pm$ 0,5 <sup>b</sup>
Signification des effets fixes <sup>1</sup> :						
âge	***	NS	NS	NS	NS	NS
sexe	*	**	*	NS	NS	***
âge x sexe	***	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>a,b</sup> Dans une colonne, les moyennes sans lettre commune sont significativement différentes ( $P < 0,05$ )

<sup>1</sup> NS = non significatif, \*= $P < 0,05$ , \*\*= $P < 0,01$ , \*\*\*= $P < 0,001$

<sup>2</sup> Désignation des variables : Voir la note en bas du tableau 1

**Tableau 3 :** Moyennes ajustées des moindres carrés ( $\pm$  erreur standard) calculées dans l'analyse par modèles linéaires mixtes pour l'effet de la race sur des caractéristiques musculaires du muscle de *semitendinosus* des mâles entiers entre 1 et 26 mois d'âge. L'âge est une variable continue et quantitative

	AMOY <sup>2</sup>	ICDH <sup>2</sup>	LDH <sup>2</sup>	CINS <sup>2</sup>	TCOL <sup>2</sup>	TLIP <sup>2</sup>
Moyennes ajustées :						
Aubrac	3608 $\pm$ 511 <sup>ab</sup>	0,9 $\pm$ 0,2 <sup>cd</sup>	1126 $\pm$ 61 <sup>abcd</sup>	3,8 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	4,5 $\pm$ 0,3 <sup>b</sup>	13,4 $\pm$ 0,9
Blonde d'Aquitaine	3835 $\pm$ 400 <sup>ab</sup>	0,7 $\pm$ 0,2 <sup>d</sup>	830 $\pm$ 66 <sup>c</sup>			14,2 $\pm$ 1,3
Charolaise	4074 $\pm$ 358 <sup>a</sup>	1,2 $\pm$ 0,2 <sup>bd</sup>	1050 $\pm$ 59 <sup>bd</sup>	3,8 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	5,9 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	14,1 $\pm$ 0,7
Limousine	3353 $\pm$ 228 <sup>b</sup>	1,2 $\pm$ 0,1 <sup>c</sup>	1145 $\pm$ 51 <sup>ac</sup>	3,9 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	4,9 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	13,5 $\pm$ 0,9
Montbéliard	2817 $\pm$ 332 <sup>b</sup>	2,3 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	1093 $\pm$ 80 <sup>bc</sup>			
Salers	3485 $\pm$ 231 <sup>ab</sup>	1,5 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	1111 $\pm$ 53 <sup>ad</sup>	4,9 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	5,6 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	12,5 $\pm$ 0,9
Signification des effets fixes <sup>1</sup> :						
âge	***	**	NS	NS	**	NS
race	NS	***	***	***	***	NS
âge x race	**	*	NS	***	**	NS

<sup>a,b,c,d</sup> Dans une colonne, les moyennes sans lettre commune sont significativement différentes ( $P < 0,05$ )

<sup>1</sup> NS = non significatif, \*= $P < 0,05$ , \*\*= $P < 0,01$ , \*\*\*= $P < 0,001$

<sup>2</sup> Désignation des variables : Voir la note en bas du tableau 1

## CONCLUSION

La méta-analyse a montré que les effets âge, muscle, castration et race influencent les caractéristiques musculaires. Le type de muscle semble avoir une grande influence sur le développement de ses caractéristiques. Le sexe (sans considérer les femelles) ou la race semblent des facteurs de moindre importance. Cette analyse a également indiqué que pour la construction d'un modèle prédictif les muscles devront être considérés individuellement, parce que chaque muscle se développe d'une façon différente. Bien que le type de muscle ait la plus grande influence, il y a un effet notable de la castration et de la race sur les évolutions des activités métaboliques et de la concentration en collagène. Ceci indique, que pour les futures analyses non linéaires, les effets sexe et race devront aussi être différenciés.

*Ce projet est financé par le département INRA Physiologie Animale et Système d'Elevage*

Brandstetter A.M., Picard B., Geay Y., 1998. *Livest. Prod. Sci.*, 53, 15-23  
 Dransfield E., Martin J.F., Bauchart D., Abouelkaram S., Lepetit J., Culioli J., Jurie C., Picard B., 2003. *Anim. Sci.*, 76, 387-399  
 Jurie C., Martin J.F., Lustrat A., Jailler R., Culioli J., Picard B., 2005. *Anim. Sci.*, 80, 257-263  
 Lustrat A., Picard B., Jailler R., Collignon H., Peccatte J.R., Micol D., Geay Y., Dozias D., 2001. *Anim. Res.*, 50, 105-118  
 Picard B., Robelin J., Geay Y., 1995. *Annales de Zootechnie*, 44, 347-357  
 Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P., Lepetit J., 2001. *Meat Sci.*, 59, 49-60  
 Seideman S.C., Crouse J.D., 1986. *Meat Sci.*, 17, 55-72  
 Shorthose W.R., Harris P.V., 1990. *J. Food Sci.*, 55, 1-8  
 St-Pierre, N.R., 2001. *J. Dairy Sci.*, 84, 741-755.  
 von Seggern D.D., Calkins C.R., Johnson D.D., Brickler J.E., 2005. *Meat Sci.*, 71, 39-51