



HAL
open science

Pilotage conjoint, à partir des pratiques d'élevage, des caractéristiques de la carcasse et de la viande de bovins

Julien Soulat

► **To cite this version:**

Julien Soulat. Pilotage conjoint, à partir des pratiques d'élevage, des caractéristiques de la carcasse et de la viande de bovins. Alimentation et Nutrition. Université Clermont Auvergne [2017-2020], 2017. Français. NNT : 2017CLFAC003 . tel-01674236v3

HAL Id: tel-01674236

<https://theses.hal.science/tel-01674236v3>

Submitted on 2 Jan 2018

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.

N° de DU : 2789

Université Clermont Auvergne



Ecole Doctorale Science de la Vie, Santé, Agronomie,
Environnement
N° d'ordre : 711

Thèse

Présentée à l'Université Clermont Auvergne
Pour l'obtention du grade de **Docteur d'Université**
Spécialité Nutrition et Sciences des Aliments

Soutenue le **19 janvier 2017**

SOULAT Julien

Pilotage conjoint,
à partir des pratiques d'élevage,
des caractéristiques
de la carcasse et de la viande de bovins

<i>Président :</i>	Pr. Pierre Druilhet	Professeur d'université, Université Blaise Pascal
<i>Rapporteurs :</i>	Pr. Antoine Clinquart Dr. Jaap Van Milgen	Professeur d'université, Université de Liège Directeur de recherches, INRA
<i>Examineurs :</i>	Dr. Florence Garcia-Launay Dr. Valérie Monteils Dr. Brigitte Picard	Chargée de recherches, INRA Enseignant chercheur, VetAgro-Sup Directeur de recherches, INRA Directeur de thèse



Laboratoire d'accueil :
Centre de Recherches Auvergne-Rhône-Alpes
Unité mixte de Recherches sur les Herbivores
Equipes : Biomarqueurs et Peraq
63122 Saint-Genès Champanelle





Ecole Doctorale Science de la Vie, Santé, Agronomie,
Environnement
N° d'ordre : 711

Thèse

Présentée à l'Université Clermont Auvergne
Pour l'obtention du grade de **Docteur d'Université**

Spécialité Nutrition et Sciences des Aliments

Soutenue le **19 janvier 2017**

SOULAT Julien

From rearing practices,
simultaneously management
the cattle carcass and beef meat traits

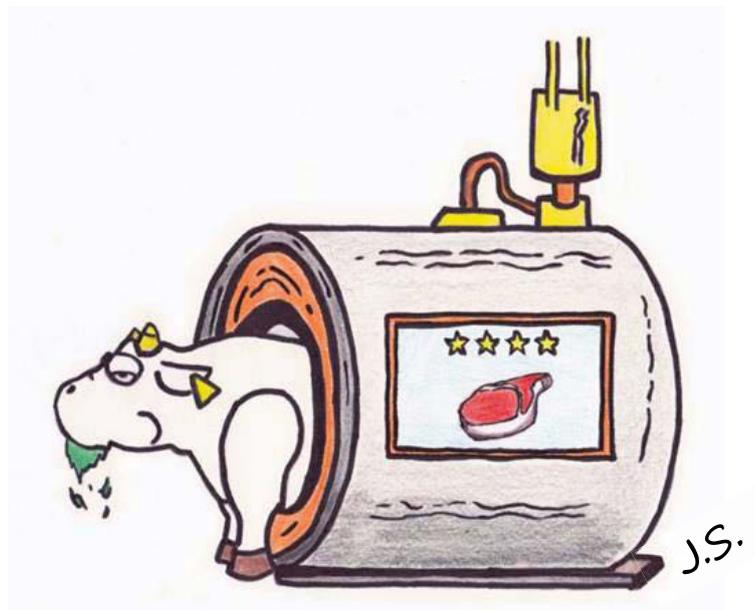
<i>Président :</i>	Pr. Pierre Druilhet	Professeur d'université, Université Blaise Pascal
<i>Rapporteurs :</i>	Pr. Antoine Clinquart Dr. Jaap Van Milgen	Professeur d'université, Université de Liège Directeur de recherches, INRA
<i>Examineurs :</i>	Dr. Florence Garcia-Launay Dr. Valérie Monteils Dr. Brigitte Picard	Chargée de recherches, INRA Enseignant chercheur, VetAgro-Sup Directeur de recherches, INRA



Laboratoire d'accueil :
Centre de Recherches Auvergne-Rhône-Alpes
Unité mixte de Recherches sur les Herbivores
Equipes : Biomarqueurs et Peraq
63122 Saint-Genès Champanelle



*Les pratiques d'élevage se retrouvent-elles
dans notre assiette ?*



Remerciements

Tout au long de ces trois ans, un grand nombre de personnes ont été impliquées dans la réalisation de ce travail, car sans leurs conseils, leurs aides, leurs soutiens, l'aboutissement de ce travail aurait été totalement différent. Comme les pratiques d'élevage qui sont multifactorielles, ce travail a nécessité de multiples compétences et connaissances indispensables à la compréhension et la réalisation de travail. Il est temps à présent de débiter ces remerciements.

Merci à **Antoine Clinquart** et **Jaap Van Milgen**, pour avoir accepté d'être rapporteurs du présent manuscrit. Mes remerciements vont également à **Florence Garcia-Launay** et **Pierre Druilhet** pour avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Je tiens à remercier en premier lieu, les deux personnes qui m'ont permis de réaliser l'ensemble de ce travail, **Brigitte PICARD** et **Valérie MONTEILS**, mes deux directrices de thèse. Je vous remercie pour votre encadrement, votre disponibilité, mais également pour m'avoir laissé une certaine autonomie tout au long de la thèse. Je vous remercie également d'avoir une partie terrain, grâce au partenariat avec l'association Fleur d'Aubrac. Enfin, grâce à vous, j'ai bénéficié d'un soutien statistique tout au long de la thèse. J'ai conscience que cela était un luxe pour moi et je vous en remercie.

Je remercie donc à présent **Stéphanie Léger** d'avoir été ma référente statistique durant ces années de thèse. Je te remercie pour ta disponibilité et ton soutien. Grâce à toi, j'ai pris de l'assurance et de l'expérience au niveau des analyses statistiques.

Sans cette complémentarité entre **Brigitte** et **Valérie** pour les aspects biologiques et **Stéphanie** pour les aspects statistiques, ce travail aurait été totalement différent.

Je tiens également à remercier **Marie-Pierre Ellies-Oury** qui a également été fortement sollicitée tout au long de cette thèse. Je te remercie pour m'avoir apporté de nombreux conseils lors de la

mise en place de mon étude avec Fleur d'Aubrac, mis à disposition des données et pour ta disponibilité. Je remercie également **Marie-Pierre** et **Sandrine Papillon** pour avoir formé un jury d'analyses sensorielles et pour avoir réalisé les analyses sensorielles et rhéologiques des échantillons de mon étude.

Cette thèse a également sollicité un grand nombre de personnes, d'une part, pour les aspects données et bases de données et d'autre part, pour les analyses en laboratoire d'échantillons.

Mes remerciements vont donc à **Christiane Espinasse**, **Pascal Faure**, **Mathieu Reischstat** et **Sylvie Rudel** qui sont les différentes personnes que j'ai sollicitées lors de l'élaboration de base de travail. Je vous remercie pour les explications, les extractions et les intégrations données que vous avez pu me faire. Je vous remercie également pour avoir répondu à mes interrogations sur les données des différentes expérimentations qui ont été prises en compte et pour avoir apporté des modifications dans les bases de données lorsque je détectais un problème. Merci également à **Sébastien Couvreur** et **Gilles Renand** pour l'accès à certaines de leurs données. Merci également à **Yoan Gaudron** et **Mathieu** pour la réalisation de l'entrepôt de données ABBA.

A présent, je vais remercier les personnes qui ont participé à la récupération et aux analyses en laboratoire des échantillons issus de l'étude avec Fleur d'Aubrac. Je remercie en premier lieu, **David Chadeyron** qui a été mon binôme tout au long des prélèvements à l'abattoir. Avec **David**, on connaît maintenant bien la route pour aller à Marvejols. Je le remercie pour son aide pour la préparation des échantillons et pour sa disponibilité. Je remercie également **Agnès Thomas** et **Vincent Largeau** pour avoir participé ponctuellement à ces déplacements. Je tiens à remercier **Nicole Dunoyer** et **Arnaud Delavaud** pour la réalisation des extractions de protéines et **Isabelle Constant**, **Sandrine Faure** et **Fabienne Picard** pour la réalisation des analyses sur les fourrages.

Merci également à **Chantal Chassaing** et **Cécile Sibra** pour leurs conseils et leurs disponibilités lors de la préparation du questionnaire d'enquêtes en élevage et pour leurs expériences sur les données d'enquêtes. Je tiens également à remercier **Jacques Agabriel**, **Anne de la Torre**, **Donato Andueza** et **Gonzalo Cantalapiedra** pour avoir répondu à mes différentes questions ou leurs conseils concernant la récupération d'un maximum d'informations auprès des éleveurs. J'ai également une pensée pour **Didier Micol** qui les peu de fois que nous avons échangé a été de très bons conseils et à toujours répondu à mes questions.

Côté abattoir, mes remerciements vont également à **Cédric Coustet** et **Julien Mongiat** qui m'ont permis d'avoir accès à l'abattoir expérimental de l'Inra pour faire maturer et stocker les échantillons de viande. Je vous remercie également pour vos conseils et votre expertise sur les aspects carcasse et le choix des prélèvements lors de la mise en place de l'étude Fleur d'Aubrac et l'apport d'informations sur les données présentes dans la base de données abattoir.

A présent, j'aimerais remercier les différentes personnes qui ont été impliquées dans l'étude Fleur d'Aubrac et qui a été une sorte de fil rouge tout au long de ce travail, tout d'abord, l'association Fleur d'Aubrac pour avoir accepté ce projet en partenariat avec VetAgro-Sup et l'Inra initié avant le début de la thèse par **Valérie**. Mes remerciements vont en premier lieu aux éleveurs qui ont participé à cette étude. Merci à, **David Cayrel, Vincent Gelly, Maurice Lapierre, Pascal Rouvière, Christian Viala, Jean-Marie Combette, Gérard Hermet, Dominique Portalier** et **Vincent Granier** pour leur implication, leur disponibilité et leur accueil à chacune de mes visites. Je remercie les deux animateurs de la filière **Jérôme Pignol** et **Céline Cros** qui ont participé activement à la mise en place et au bon déroulement de cette étude.

Merci à **René Bouquet** et **Didier MARAGOU** pour avoir accepté que des prélèvements d'échantillons puissent être faits sur les carcasses des animaux de l'étude. Je remercie **René Bouquet** qui nous a permis d'avoir accès aux locaux de Languedoc Lozère Viande durant toute la période de prélèvements d'échantillons dans l'abattoir de Marvejols, **Delphine Roux** pour les mesures de pH et de températures sur les carcasses et **les bouchers** qui ont réalisé les prélèvements sur les carcasses. Je n'oublie pas l'ensemble des personnes croisées à l'abattoir pour leur accueil et leur curiosité lorsqu'ils nous voyaient et également les personnes du centre d'allotement qui ont pesé les animaux de l'étude.

Je tiens à remercier également **Marlène Chantel** et **Luc Sarouy** qui ont été mes principaux interlocuteurs pour récupérer auprès des chambres d'agriculture d'Aveyron et de Lozère diverses informations, pour les conseils et les réponses que vous avez pu m'apporter et votre disponibilité.

Je remercie également les 16 **étudiants de Bordeaux Sciences Agro** qui ont formé le jury d'analyses sensorielles et qui ont évalué les propriétés sensorielles de la viande issues des animaux de l'étude Fleur d'Aubrac.

Mes remerciements vont également aux membres de mon comité de thèse : **Cécile Piot, Pierre Nozière, Christophe Denoyelle et Marie-Pierre**, qui m'ont permis d'améliorer ma réflexion sur le déroulement de ma thèse par leurs questions et leurs conseils.

Cette thèse s'est déroulée entre VetAgro-sup et l'Inra au sein de l'UMR1213 Herbivores, je remercie l'ensemble des personnes des deux sites pour leur accueil et pour les bons moments passés durant cette garde alternée. Je remercie **Etienne Josien**, directeur adjoint de VetAgro-Sup, pour m'avoir accueilli sur le site clermontois de VetAgro-Sup et l'ensemble des personnes du département Agricultures et Espaces. Je remercie également **Isabelle Veissier**, directrice de l'UMRH pour m'avoir une nouvelle fois accueillie au sein de l'UMRH et l'ensemble des personnes de mes quatre équipes Inra d'affiliation **Amuvi** et **Sybel** et plus récemment **Biomarqueurs** et **Peraq** ayant pour responsable respectif **Brigitte, Brune Martin, Muriel Bonnet** et **Anne Ferlay**. Je remercie donc : **Agnès T, Anne D-L-T, Anne F, Anne L, Anne-Sophie B, Arnaud D, Audrey M, Bernard S, Bruno M, Bruno M, Carole D, Cécile S, Céline C, Chantal C, Christiane B, Christine L, Claire A, Claire L, Cyril L, David C, Denis D, Didier B, Dominique G, Dominique P, Emilie T, Fabienne B, Gilles B, Gonzalo C, Isabelle C, Isabelle C-M, Isabelle O-M, Jean-François H, Jacques A, Jacques R, Jean V, Jean-Luc M, Jean-Michel G, José P, Laurence B, Loïc C, Martine T, Muriel B, Nicole D, Pascale B, Raphaëlle B, Sandrine F, Sébastien B, Sophie P, Sylvie B-V, Vincent L, Yannick F**. Merci à tous pour votre gentillesse et votre disponibilité.

Je tiens à remercier également tout particulièrement : **Elodie, Amélie, Marwa, Nicolas, Emilie, Benoit-Pierre, Marion, Xavier, Océane, Charlotte, Jeremy, Nadège, Hélène, Arnaud, Mohamed, Lucas, Lucile, Stéphane, Sabrina, Valérie, Dayane, Marjolein et Adeline** avec qui j'ai passé de très bons moments et quelques fous-rires que ce soit à VetAgro-Sup ou à l'Inra, tout au long de ces trois ans. Je remercie également l'ensemble des personnes contractuelles qui sont passées ou qui sont encore présentes dans l'une des quatre équipes auxquelles je suis ou j'ai été affiliée.

Je tiens enfin à remercier tout particulièrement deux personnes, **Fabienne Blanc** d'une part en étant la responsable de ma spécialité en Master qui m'a conforté dans le choix de poursuivre en recherche et d'autre part, en transmettant à Brigitte et Valérie ma demande de faire une thèse.

La seconde personne à laquelle je pense est **Benoit Graulet** car tu as toujours eu les bons mots pour me faire réfléchir sur mon projet personnel depuis mon stage de M2. Je suis un peu long dans mes réflexions et tu as eu l'occasion de t'en rendre compte. Je te remercie donc pour avoir été mon « parrain de thèse », pour ta disponibilité et pour tes différents conseils avant et pendant cette thèse.

Je terminerai ces remerciements, tout d'abord en évoquant le **Handball**. De poursuivre cette activité tout au long de la thèse a été un bon moyen, à différent moment de la semaine de me changer les idées et faire retomber un peu la pression. Durant les matchs, on n'a pas le temps de penser à la thèse. Je tiens donc à remercier les membres de mon équipe de club et les personnes participant à l'activité hand à l'Inra.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble de **ma famille**, en premier lieu mes parents qui m'ont toujours soutenu dans mes choix et aidé à atteindre mes objectifs. Je remercie également mon frère, mes grands-mères, mes oncles et tantes, mes cousins et cousines qui ont été un soutien très important tout au long de ces années en s'intéressant à ce que je faisais et comment j'allais. J'ai également une pensée pour mes deux grands-pères qui m'ont permis de découvrir le monde agricole et rural et la rigueur au travail. Je remercie également Nicolas et Pauline pour leur relecture. Merci aux amis de lycée et de la fac pour leur soutien.

Résumé

Les systèmes d'élevage allaitants peuvent être diversifiés par leurs pratiques d'élevage (type d'animaux, races, nature des rations, durées de pâturage, etc.) pour produire des carcasses et de la viande répondant à la demande des différents marchés et satisfaire les consommateurs. Les pratiques d'élevage sont définies comme étant la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage ayant une variabilité propre. Cette diversité de pratiques d'élevage appliquées tout au long de la vie de l'animal est l'une des causes de la variabilité observée au niveau des caractéristiques de la carcasse et de la viande. L'objectif de ce travail a été d'étudier plus précisément l'influence des pratiques d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, et d'envisager un pilotage conjoint de ces caractéristiques à partir des pratiques d'élevage. Pour réaliser cela, deux sources de données complémentaires ont été utilisées : les bases de données expérimentales et les enquêtes en élevage. Ce travail a montré qu'il était possible d'expliquer et de prédire les caractéristiques de la carcasse (poids, rendement, conformation et état d'engraissement) et les propriétés de la viande (descripteurs sensoriels et force de cisaillement) à partir de la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage. Il a été également montré que différentes pratiques d'élevage permettaient d'atteindre des caractéristiques similaires de carcasse ou de viande mais que celles-ci devaient être adaptées selon le type de l'animal ou de la race. En effet, lors de la prédiction des caractéristiques de la carcasse ou de la viande, des facteurs d'élevage peuvent être spécifiques à un type de l'animal (jeunes bovins vs vaches de réforme) ou d'un type de race (viande vs rustique) et un même facteur d'élevage peut également avoir des effets différents selon le type de l'animal ou la race considéré. Les modèles établis à partir de la période de finition sont robustes mais ils sont plus précis pour prédire les paramètres individuels caractérisant la carcasse par rapport à ceux de la viande. La qualité de prédiction des propriétés de la viande a été améliorée en prédisant des classes de qualité. De plus, que ce soit pour les propriétés de la carcasse ou de la viande, la qualité de prédiction des classes de qualité a été améliorée en considérant la période de pré-sevrage en plus de la période de finition. En revanche, les facteurs d'élevage ne permettent pas une prédiction satisfaisante de l'abondance des biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité. Enfin, l'ensemble des résultats de ce travail a montré que, bien que cela nécessite des compromis, il est possible de piloter conjointement les caractéristiques de la carcasse et de la viande.

Mot clés : Carcasse, Modèles de prédiction, Pratiques d'élevage, Propriétés sensorielles, Protéines biomarqueurs.

Abstract

The beef rearing system could be diversified by their rearing practices (animal categories, breeds, diet composition, grazing duration, etc.) to produce carcasses and beef meat reaching the different market expectations and to satisfy the consumers. The rearing practices were defined as the combinations of many rearing factors, each with its own variability. This diversity of applied rearing practices during the whole life of the animal was one of the causes of the carcass and beef variability observed. The aim of this work was to more precisely study the rearing practices impacts on the carcass and the beef characteristics, and to consider a joint management of these characteristics from the rearing practices. To achieve this, two complementary data sources were used: experimental data set and rearing surveys. This work displayed that it was possible to explain and to predict the carcass characteristics (weight, dressing, conformation and fat scores) and the meat properties (sensorial descriptors and shear force) from the combination of many rearing factors. It was also observed that different rearing practices allowed to reach similar carcass or meat characteristics but those must be adapted according to the animal category and the breed. Indeed, for the prediction of the carcass or meat characteristics, rearing factors can be specific to an animal category (young bulls vs cull cows) or a breed type (beef vs hardy), and a same rearing factor may also had different impacts according to the animal category or the breed considered. The established models from the fattening period were robust but prediction was more precise for individual parameters characterizing the carcass compared to those of the meat. The clustering of meat quality improved the prediction quality of the meat properties. Furthermore, for the carcass or the meat properties, by considering the pre-weaning period in addition to the fattening period the prediction quality of the quality clusters was improved. However, the rearing factors did not allowed a satisfactory prediction of the tenderness or adiposity biomarkers abundances. Finally, all results of this work displayed, although it requires trade-off, it was possible to jointly manage the carcass and meat characteristics.

Key words: Carcass, Prediction models, Rearing practices, Sensory properties, Proteins Biomarkers.

Liste des travaux

Publications scientifiques

Soulat, J., B. Picard, S. Léger, and V. Monteils. 2016. Prediction of beef carcass and meat traits from rearing factors in young bulls and cull cows. *J. Anim. Sci.* 94:1712-1726.

Soulat, J., V. Monteils, S. Léger, and B. Picard. 2016. Prediction of the conformation and fat score of cattle carcass characteristics from rearing factors. (*en préparation pour une soumission à Agricultural Systems*)

Soulat, J., B. Picard, S. Léger, M.-P. Elies-Oury, and V. Monteils. 2016. Effect of overall rearing management systems on the characteristics of the carcass and the *rectus abdominis* meat in heifers. (*soumis à The Journal of Agricultural Science*)

Soulat, J., B. Picard, S. Léger, and V. Monteils. 2016. Prediction of clusters of beef carcass and meat traits from factors characterizing the rearing management system applied during the whole life of heifers. (*en préparation pour une soumission à Meat Science*)

Soulat, J., V. Monteils, S. Léger, and B. Picard. 2016. Explication, à partir des facteurs d'élevage, de l'abondance des principales protéines impliquées dans l'explication des caractéristiques de la carcasse et de la viande (*en préparation pour une soumission à Agricultural and Food Chemistry*)

Communications scientifiques

Communications orales

Soulat, J., V. Monteils and B. Picard. 2016. Influence des conduites d'élevage sur l'abondance de 20 protéines du muscle *rectus abdominis* (*en préparation pour une communication orale à l'International Congress of Meat Science and Technology 2017*)

Soulat, J., B. Picard, S. Léger, M.-P. Ellies-Oury, and V. Monteils. 2016. Effet des conduites d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande. In: Semaine Européenne des races locales des massifs, Saint-Flour, France.

Soulat, J., V. Monteils, S. Léger, M. P. Ellies-Oury, and B. Picard. 2015. Est-il possible de piloter conjointement les qualités de la carcasse et de la bavette de flanchet par les pratiques d'élevage, chez la génisse de race Charolaise en finition. In 22^{ème} Rencontres Rech. Rumin., Qualité des produits, Paris, France. p. 379-382.

Affiches

Soulat, J., S. Léger, B. Picard, and V. Monteils. 2015. Improving beef sensory quality through breeding practices management. In: 61th International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, France. p. 1-4.

Soulat, J., V. Monteils, S. Léger, and B. Picard. 2015. Prédire à partir des pratiques d'élevage le rendement des carcasses et la tendreté de la noix d'entrecôte. In: Journée de l'école doctorale des Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement, Clermont-Ferrand, France.

Soulat, J., B. Picard, and V. Monteils. 2014. Relations entre les pratiques d'élevage et les caractéristiques de la carcasse et du muscle *longissimus thoracis* chez les bovins allaitants. In: 15^{ème} Journée des Sciences du Muscle et Technologie des Viandes, Différenciation de l'offre par la qualité. Clermont-Ferrand, France. p. 131-132.

Autre

Article sur le site Carnissime :

Soulat, J., V. Monteils, S. Léger, M. P. Ellies-Oury, and B. Picard. 2016. Finition et qualités des viandes et carcasse des génisses. Carnissime. Available from: <http://carnissime.com/2016/03/pilotage-des-qualites-de-la-carcasse-et-de-la-bavette-de-flanchet-par-les-pratiques-delevage-chez-les-genisses-de-race-charolaise-en-finition/> (consulté le 15/11/2016)

Abréviations

ACP	Analyse en composante principale
ADF	Acid detergent fiber
AFA	Association Fleur d'Aubrac
AFC	Analyse factorielle des correspondances
AFDM	Analyses factorielles de données mixtes
ALADIN	Application de gestion des troupeaux laitiers et allaitants des domaines Inra nouvelle version
AOC	Appellation d'origine contrôlée
AOP	Appellation d'origine protégée
ARA	Auvergne Rhône Alpes
BCA	Bicinchoninic acid assay
BF	<i>Biceps femoris</i>
Bif-Beef	Biologie intégrative et fonctionnelle de la viande
CapZβ	β -F-actine-capping protéine
CELIA	Coopérative d'élevage interrégionale allaitante
CHA	Classification hiérarchique ascendante
CIE	Commission internationale de l'éclairage
COBO SUD	Coopérative des bouchers de l'Hérault
dMO	Digestibilité de la matière organique
E	Epaisseur
EN	Energie nette
FG	Fast glycolytic
Fm	Force maximale
Fmax	Force maximale de la résistance mécanique
FOG	Fast oxido-glycolytic
Fxo	Force de frottement
GMQ	Gain moyen quotidien
HSP	Heat shock proteins
ICDH	Isocitrate déshydrogénase
IGP	Indication géographique protégée

Inra	Institut national de la recherche agronomique
IPG	Identification pérenne généralisée
JB	Jeunes bovins
LDH	Lactate déshydrogénase
LM	<i>Longissimus Lumborum et Thoracis</i>
LogIT	Logarithme of inverse transformation
LR	Label rouge
MAT	Matière azotée totale
MM	Matière minérale
MPE	Mean prediction error
MQ4	Meat quality score
MS	Matière sèche
MSA	Meat standards Australia
MSI	Matière sèche ingérée
MyHC-IIx	Chaîne lourde IIx de myosine
MyLC-1F	Chaîne légère 1F de myosine
NDF	Neutral detergent fiber
NEC	Note d'état corporel
PDI	Protéines digestibles dans l'intestin
PGM	Phosphoglucomutase
PRDX6	Cis-peroxyredoxine
r	Coefficient de Pearson
R² ou r²	Coefficient de détermination
RA	<i>Rectus abdominis</i>
ROC	Receiver operating system
RPPA	Reverse phase protein array
SIQO	Signes d'identification de la qualité et de l'origine
SM	<i>Semimembranosus</i>
SO	Slow oxidative
SPIR	Spectroscopie proche infrarouge

ST	<i>Semitendinosus</i>
Surface des fibres	Surface de section des fibres
TB	<i>Triceps brachii</i>
tec	Tonne equivalent carcasse
UE	Union Européenne
UFL	Unité fourragère lait
UFV	Unité fourragère viande
UMRH	Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores
VA4	Contrôle de performance
W	Travail

Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques des principaux types de fibres du muscle squelettique

Tableau 2 Comparaison des propriétés contractiles et structurales de différents muscles squelettiques

Tableau 3 Comparaison des activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH) de différents muscles squelettiques

Tableau 4 Présentation de différents biomarqueurs de la tendreté et l'effet du muscle, de la race, du type d'animal et les interactions sur leurs abondances relatives (partie 1)

Tableau 5 Présentation de différents biomarqueurs de la tendreté et l'effet du muscle, de la race, du type d'animal et les interactions sur leurs abondances relatives (partie 2)

Tableau 6 Comparaison des propriétés sensorielles et mécaniques de différents muscles squelettiques

Tableau 7 Effet de la race sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Tableau 8 Effet de la race sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 2)

Tableau 9 Effet de la race sur la composition de la carcasse

Tableau 10 Effet de la race sur les propriétés contractiles et structurales du muscle squelettique

Tableau 11 Effet de la race sur les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH) du muscle squelettique

Tableau 12 Effet de la race sur les propriétés sensorielles de la viande

Tableau 13 Effet de la race sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement

Tableau 14 Effet du type d'animal sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Tableau 15 Effet de l'âge au sevrage sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Tableau 16 Effet de la vitesse de croissance avant la période de finition sur le poids et le rendement de la carcasse

Tableau 17 Effet de l'âge à l'abattage sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Tableau 18 Effet de l'âge à l'abattage sur le poids, le rendement, la conformation de la carcasse (partie 2)

Tableau 19 Effet de l'âge à l'abattage sur la composition de la carcasse

Tableau 20 Effet de l'âge d'abattage sur le pH 24h de la carcasse

Tableau 21 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés contractiles et structurales du muscle squelettique

Tableau 22 Effet de l'âge à l'abattage sur les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH) du muscle squelettique

Tableau 23 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 1)

Tableau 24 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 2)

Tableau 25 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 3)

Tableau 26 Effet de l'âge à l'abattage sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement

Tableau 27 Effet du poids avant abattage sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Tableau 28 Effet du poids avant abattage sur les propriétés sensorielles de la viande

Tableau 29 Effet de la durée de la finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Tableau 30 Effet de la durée de finition sur les propriétés sensorielles de la viande **Tableau 31** Effet de la durée de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement

Tableau 32 Effet de la durée de la finition sur la couleur de la viande

Tableau 33 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Tableau 34 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 2)

Tableau 35 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 3)

Tableau 36 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 4)

Tableau 37 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 5)

Tableau 38 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 6)

Tableau 39 Effet de la composition de la ration de finition sur la composition de la carcasse

Tableau 40 Effet de la composition de la ration de finition sur le pH 24h

Tableau 41 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés contractiles et structurales du muscle squelettique

Tableau 42 Effet de la composition de la ration de finition sur les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH)

Tableau 43 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 1)

Tableau 44 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 2)

Tableau 45 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 3)

Tableau 46 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 4)

Tableau 47 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 5)

Tableau 48 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 1)

Tableau 49 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 2)

Tableau 50 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 3)

Tableau 51 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 4)

Tableau 52 Effet de la composition de la ration de finition sur la couleur de la viande (partie 1)

Tableau 53 Effet de la composition de la ration de finition sur la couleur de la viande (partie 2)

Tableau 54 Effet du type de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Tableau 55 Effet du type de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 2)

Tableau 56 Effet du type de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 1)

Tableau 57 Effet du type de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 2)

Tableau 58 Effet du type de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 1)

Tableau 59 Effet du type de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 2)

Tableau 60 Effet du type de finition sur la couleur de la viande

Tableau 61 Modèles de prédiction développés en régression linéaire pour prédire les caractéristiques de l'animal à partir des données sur l'animal vivant **Tableau 62** Modèles de prédiction développés pour prédire les propriétés de la viande à partir de données sur la carcasse et/ou le muscle

Tableau 63 Liste des biomarqueurs dont l'abondance relative a été mesurée selon la méthode reverse phase protein array et leurs fonctions dans le muscle squelettique

Tableau 64 *Effet des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, chez le jeune bovin, d'après les résultats de Soulat et al. (2016b) et de Soulat et al. (2016c, en préparation pour une soumission à Agricultural Systems)*

Tableau 65 *Effet des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, chez la vache de réforme, d'après les résultats de Soulat et al. (2016b) et de Soulat et al. (2016c, en préparation pour une soumission à Agricultural Systems)*

Tableau 66 *Effet des facteurs d'élevage sur les classes carcasse et viande définie dans Soulat et al. (2016a, en préparation pour une soumission à Meat Science), chez des génisses*

Liste des figures

Figure 1 La production mondiale de viande bovine en 2015 (adaptée de FranceAgriMer, 2016)

Figure 2 Répartition en pourcentage du nombre de bovins engraisés en France pour l'année 2014 (adaptée de Interbev, 2015 et de FranceAgriMer, 2015)

Figure 3 Cheptel français par région des vaches allaitantes et laitières, en 2013 (adaptée de FranceAgriMer, 2014)

Figure 4 Origine de la viande consommée en France d'après les estimations de l'Institut de l'élevage en 2009-2010 (extraite de Rieutort et al., 2014)

Figure 5 Les principaux systèmes fourragers français en élevages herbivores, en 2010 (extraite de Rieutort et al., 2014)

Figure 6 Les différentes étapes de la chaîne d'abattage de l'animal vivant à la carcasse

Figure 7 Les 5 classes de conformation du système EUROP (adaptée de Cartier et Moevi, 2009)

Figure 8 Echelle de 1 à 5 de la notation de l'état d'engraissement de la carcasse (adaptée de Cartier et Moevi, 2009)

Figure 9 Structure du muscle squelettique (adaptée de Bauchart et al., 2010)

Figure 10 Localisation des muscles squelettiques et leur correspondance en pièce bouchère

Figure 11 Evolution schématique de la tendreté de la viande sous l'effet de la maturation (adaptée de Cartier et Moevi, 2009)

Figure 12 Répartition du nombre d'expérimentations et d'animaux présents dans la base « application de gestion des troupeaux laitiers et allaitants des domaines Inra nouvelle version » (ALADIN) en fonction des 3 sites expérimentaux

Figure 13 Répartition des différents types d'animaux dans la base abattoir

Figure 14 Schéma de l'entrepôt de données faisant le lien entre les différentes bases sur données individuelles expérimentales de l'UMRH et de l'UE Herbipôle

Figure 15 Les différents opérateurs structurant l'association Fleur d'Aubrac

Figure 16 Localisation de la zone de l'IGP Fleur d'Aubrac, des différentes exploitations enquêtées et de l'abattoir

Figure 17 Répartition des élevages labélisés Fleur d'Aubrac en fonction de leur département

Figure 18 Points de vente de la viande de Fleur d'Aubrac

Figure 19 Périodes des enquêtes en élevage réalisées en fonction des périodes de vie des génisses Fleur d'Aubrac de l'étude

Figure 20 Exemple d'un schéma d'allotement

Figure 21 Représentation des zones du muscle Rectus abdominis utilisées pour les analyses rhéologiques, sensorielles et d'abondance des biomarqueurs

Figure 22 Plan de présentation des échantillons de viande durant une séance de dégustation

Figure 23 Schéma de la cellule de cisaillement décrite par Salé (1971)

Figure 24 Schéma du diagramme force de déplacement obtenu pour une carotte de viande

Figure 25 Schéma des différentes étapes pour réaliser l'extraction des protéines sur les échantillons de muscle Rectus abdominis (RA)

Figure 26 Schéma des principales étapes de la méthode reverse phase protein array (RPPA)

Figure 27 Schéma de la démarche pour répondre à la question générale de ce travail

Liste des annexes

Annexe 1 *Questionnaire d'enquêtes de l'étude en partenariat avec l'IGP Fleur d'Abrac*

Annexe 2 *Fiche d'évaluation des différents descripteurs sensoriels remplie par chaque juré pour chaque échantillon*

Annexe 3 *Calculs de la force et du travail à 1 cm*

Table des matières

<i>Introduction</i>	1
<i>Synthèse bibliographique</i>	5
1 L'élevage bovin allaitant en France	5
2 De la carcasse à la viande bovine	9
2.1 La carcasse	9
Description des principaux critères caractérisant la carcasse des bovins.....	9
2.2 Le muscle squelettique	13
2.2.1 Les propriétés contractiles, de structure et métaboliques du muscle squelettique.....	15
2.2.2 Variabilité des propriétés structurales, contractiles et métaboliques des fibres selon le type de muscle.....	17
2.2.3 La couleur du muscle squelettique.....	19
2.2.4 Les biomarqueurs du muscle squelettique : abondance de protéines et marqueurs de la tendreté	21
2.3 La viande bovine.....	23
2.3.1 La maturation de la viande.....	25
2.3.2 Les propriétés sensorielles et rhéologiques de la viande bovine.....	27
3 L'influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande ..	35
3.1 Effet individuel des propriétés intrinsèques de l'animal sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande	35
3.1.1 La race.....	35
3.1.2 Le type d'animal	41
3.2 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours des différentes phases de la vie de l'animal sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande	45
3.2.1 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours de la période avant sevrage de l'animal.....	45
3.2.2 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours de la période de croissance de l'animal	47
3.2.3 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours de la période de finition de l'animal.....	53
3.3 Effet des interactions entre 2 facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande	119
3.4 Les pratiques et les conduites d'élevage : effet de la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande.....	123
3.4.1 Effet des pratiques d'élevage au cours la période de finition.....	123
3.4.2 Effet des conduites d'élevage au cours de l'ensemble de la vie de l'animal	125
4 Prédiction des caractéristiques de la carcasse et de la viande	125

4.1	Prédiction des caractéristiques de la carcasse à partir de données sur animal vivant	127
4.1.1	Les modèles existants.....	127
4.1.2	Effets des facteurs d'élevage dans ces modèles	127
4.2	Prédire les propriétés de la viande bovine	129
4.2.1	Modèles de prédiction des propriétés de la viande développés	129
4.2.2	Le système Meat Standards Australia (MSA)	131
	<i>Objectifs du travail</i>	135
	<i>Matériel et méthodes</i>	139
5	Analyses des données individuelles d'expérimentations.....	139
5.1	Bases de données utilisées.....	139
5.1.1	La base « application de gestion des troupeaux laitiers et allaitants des domaines Inra Nouvelle version » (ALADIN)	139
5.1.2	La base « Abattoir ».....	141
5.1.3	La base « Biologie Intégrative et Fonctionnelle de la viande bovine » (Bif-Beef)	141
5.2	Mise en relation des trois bases de données	141
6	Etude terrain en partenariat avec l'IGP Génisse Fleur d'Aubrac.....	143
6.1	Présentation de la filière Fleur d'Aubrac.....	143
6.2	Protocole de l'étude en partenariat avec la filière Fleur d'Aubrac	145
6.2.1	Choix des élevages pour le suivi des génisses Fleur d'Aubrac.....	145
6.2.2	Enquêtes en exploitation.....	149
6.2.3	Analyses des fourrages et des concentrés	153
6.2.4	Informations sur les carcasses et prélèvements de muscles à l'abattoir.....	155
6.2.5	Mesures réalisées sur les échantillons de RA après maturation.....	159
7	Traitement statistique des données.....	169
7.1	Analyses factorielles de données mixtes (AFDM)	169
7.2	Modèles prédictifs.....	171
7.2.1	L'arbre de décision	171
7.2.2	La régression logistique binomiale et multinomiale	173
7.3	Modèle à effet aléatoire ou Modèle mixte	175
	<i>Résultats et Discussions</i>	177
8	Etude de l'influence des pratiques d'élevage mises en œuvre durant la période de finition sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande	177
8.1	Comparaison des effets de différentes pratiques d'élevage lors de la période de finition	177
	Valorisation scientifique 1.....	181
	Conclusion.....	187

8.2	Prédiction des caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande à partir de différents facteurs d'élevage appliqués au cours la période de finition.....	187
	Valorisation scientifique 2.....	191
	Valorisation scientifique 3.....	197
	Valorisation scientifique 4.....	215
	Conclusion	243
9	Etude de l'influence de la conduite d'élevage mise en œuvre tout au long de la vie de l'animal.....	243
9.1	Comparaison des effets de différentes conduites d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande	245
	Valorisation scientifique 5.....	247
	Valorisation scientifique 6.....	281
	Conclusion.....	295
9.2	Prédiction des caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir de différents facteurs d'élevage appliqués tout au long de la vie de l'animal	295
	Valorisation scientifique 7.....	299
	Conclusion.....	329
9.3	Explication des biomarqueurs à partir de différents facteurs d'élevage appliqués tout au long de la vie de l'animal.....	329
	Valorisation scientifique 8.....	331
	<i>Discussion générale</i>	365
10	La source des données utilisées : bases de données expérimentales et enquêtes en élevage.....	365
11	L'influence des pratiques d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande	369
12	Le développement de modèles pour prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir des facteurs d'élevage.....	371
13	A partir des pratiques d'élevage, le pilotage conjoint des caractéristiques de la carcasse et de la viande est-il possible ?.....	375
14	Les limites et les perspectives de ce travail.....	377
	<i>Conclusion générale</i>	381
	<i>Références bibliographiques</i>	383
	<i>Annexes</i>	403

Introduction

Dans le monde et en Europe, la consommation de viande bovine diminue depuis une vingtaine d'années (FranceAgriMer, 2016). En France, la consommation de viande bovine a connu une diminution à cause d'une augmentation de son prix d'achat par rapport à la viande de volaille et de porc et des crises sanitaires comme l'encéphalopathie spongiforme bovine. Mais depuis 2013, la consommation individuelle par an des français se stabilise.

Depuis plusieurs années, les demandes des consommateurs ont évolué. En plus de la tendreté de la viande qui reste le principal critère recherché, le consommateur est également devenu très sensible à l'origine des produits, au respect de l'environnement et aux modes de production des animaux (Gruffat et al., 2015).

Depuis les dernières décennies, la filière bovine a cherché à produire des carcasses plus lourdes avec une proportion de muscle plus importante. Les leviers pour atteindre ces objectifs sur la carcasse ont été la génétique, l'efficacité alimentaire des animaux et les systèmes d'élevage. Ces améliorations obtenues pour les caractéristiques de la carcasse ne garantissent pas une amélioration de la qualité de la viande (sensorielle et nutritionnelle) (Gruffat et al., 2015).

La filière bovine rencontre des difficultés pour répondre à la demande des marchés en termes de qualités. Ces difficultés sont dues à la variabilité non maîtrisée des caractéristiques de la carcasse et de la viande. Ces caractéristiques, qui permettent de définir la qualité de ces deux éléments (carcasse et viande) sont le résultat des variations de nombreux facteurs (de la ferme à la fourchette). Différents paramètres sont connus pour induire cette variabilité à chacune des étapes de la production de viande : les facteurs liés au type d'animal (race, sexe) et à ses conditions d'élevage (âge d'abattage, durée finition, composition de la ration, ...), le stress des animaux notamment avant l'abattage, les conditions d'abattage, la maturation et le mode de cuisson de la viande, ... (Ferguson et Warner, 2008; Watson et al., 2008; Gruber et al., 2010; Velarde Calvo et Dalmau, 2014; Aviles et al., 2015). Dans les élevages, les pratiques d'élevage appliquées par les éleveurs sont la combinaison complexe de plusieurs facteurs d'élevage qui évoluent au cours de la vie de l'animal. Peu d'études se sont intéressées à l'effet des pratiques d'élevage à la fois sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande en considérant une période longue de la vie de l'animal. Les études ont surtout considéré la période de finition.

Aussi l'objectif de ce travail est d'étudier **l'effet des combinaisons de pratiques d'élevage appliquées à différentes phases de la vie de l'animal, sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande** dans le but de réaliser le **pilotage conjoint** de ces deux composantes.

Pour atteindre cet objectif, une étude bibliographique sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle squelettique et de la viande, ainsi que leurs évolutions en fonction de différents facteurs d'élevage à différentes périodes de la vie de l'animal, a permis de faire le point sur l'état des connaissances. Les modèles de prédiction de ces différents critères ont été également recensés. Cette étude bibliographique a permis de proposer différentes hypothèses pour répondre à l'objectif général de ce travail. Pour répondre aux différentes hypothèses émises, une première approche a permis dans un premier temps d'expliquer les variations des caractéristiques de la carcasse et de la viande en fonction des pratiques d'élevage. La seconde approche a été de prédire à partir des facteurs d'élevage ces différentes caractéristiques. Ces deux approches ont été appliquées sur deux périodes de temps. La période de finition des animaux a été la première période étudiée à partir de l'analyse de données individuelles issues d'expérimentations stockées dans des bases de données. Ensuite, la vie entière des animaux a été considérée au travers d'une étude expérimentale s'appuyant sur des enquêtes en élevage.

Les différents dispositifs et analyses réalisés durant cette étude seront détaillés par la suite dans ce document. Enfin, les résultats obtenus seront exposés pour aboutir à la discussion et la conclusion générale de ce travail.

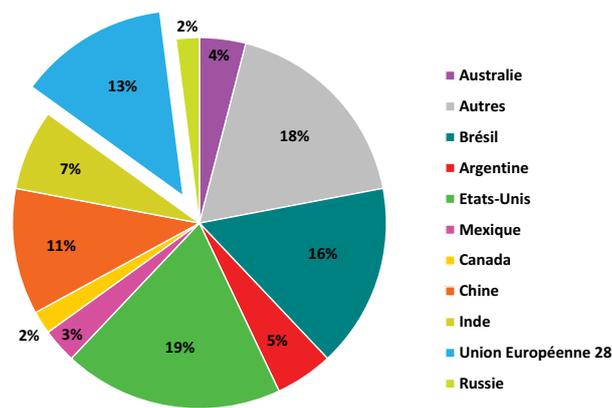


Figure 1 La production mondiale de viande bovine en 2015 (adaptée de FranceAgriMer, 2016)

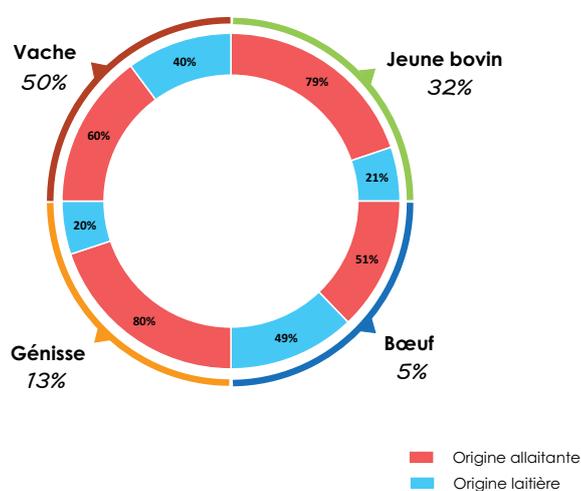


Figure 2 Répartition en pourcentage du nombre de bovins engraisés en France pour l'année 2014 (adaptée de Interbev, 2015 et de FranceAgriMer, 2015)

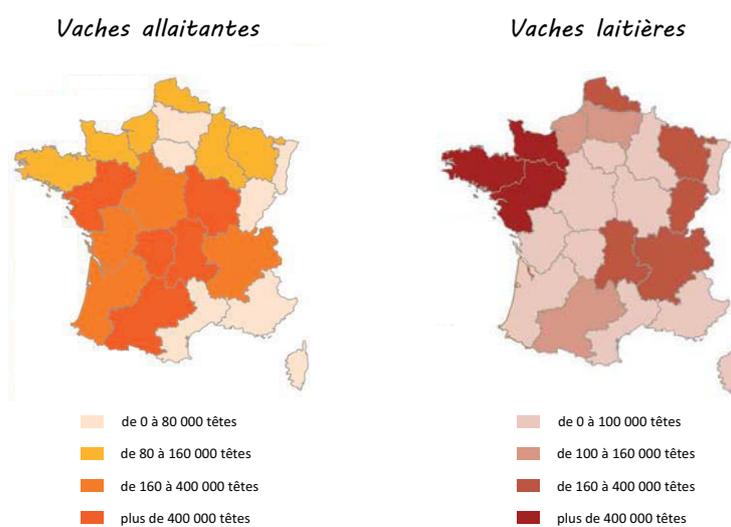


Figure 3 Cheptel français par région des vaches allaitantes et laitières, en 2013 (adaptée de FranceAgriMer, 2014)

Synthèse bibliographique

Dans le monde, en 2014, il y avait 1,5 milliards de bovins (Food and Agriculture Organization (FAO), 2016) et la production de viande bovine représentait, en 2015, 58,4 millions de tonnes équivalent carcasse (tec) (FranceAgriMer, 2016). L'Union Européenne (UE) à 27, avec ses 86,4 millions de bovins (FranceAgriMer, 2016), n'était en 2015, que le 3^{ème} producteur mondial de viande (Figure 1). Au niveau mondial, la consommation de viande bovine en 2015 était de 56,4 millions de tec représentant 21,5% de la consommation de viande totale. L'UE à 27 n'est que le 4^{ème} consommateur de viande bovine dans le monde, le premier pays étant les Etats Unis d'Amérique (FranceAgriMer, 2016). En 2014 dans l'UE à 27, la France est le premier producteur de bovins vivants avec 22,4% (19,4 millions de têtes) (Institut de l'élevage, 2015) et le premier consommateur de viande bovine avec 24,1 kg/habitant/an (Interbev, 2015).

La viande bovine produite en France est issue de différents types d'animaux conduits généralement en race pure (jeunes bovins, bœufs, génisses et vaches de réforme) (Figure 2) provenant des 2 principaux bassins de production : laitier et allaitant (Figure 3). La viande consommée en France est issue essentiellement de son troupeau allaitant (Figure 4). Par conséquent, nous nous sommes focalisés sur ce type d'élevage. Le principal objectif de l'élevage allaitant est la production de viande à l'aide des pratiques d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie pour les jeunes animaux (jeunes bovins, bœufs et génisses) et en fin de carrière pour les vaches.

1 L'élevage bovin allaitant en France

Les élevages de bovins allaitants permettent de valoriser des régions herbagères à faible potentiel agronomique en partie dû à leur localisation géographique (Veysset et al., 2005). Les principales zones de l'élevage allaitant sont le massif central incluant les piémonts limousin et bourguignon, les Pyrénées et les Pays de la Loire (Rieutort et al., 2014). Les caractéristiques majeures de l'élevage allaitant français sont sa diversité de systèmes de production par la multiplicité de types d'animaux produits (jeunes ou âgés, maigres ou lourds), le niveau d'intensification et les différentes utilisations du sol (terre labourable ou non) (Veysset et al., 2005).

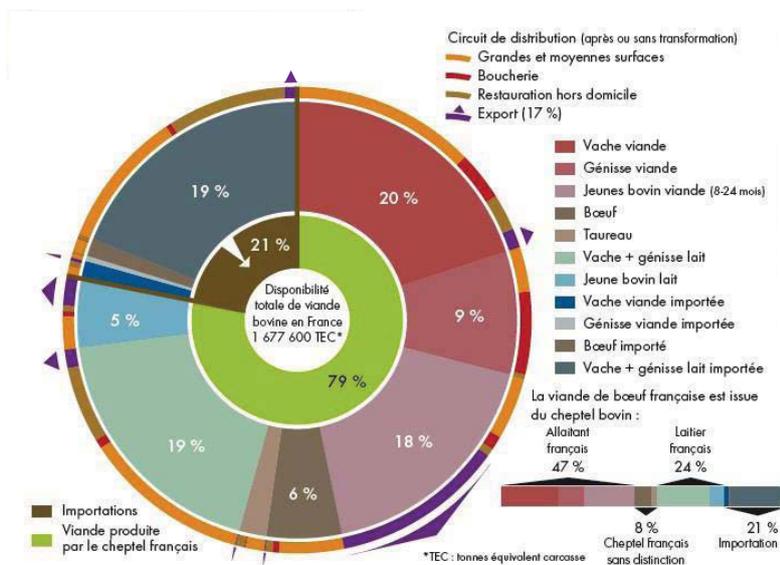
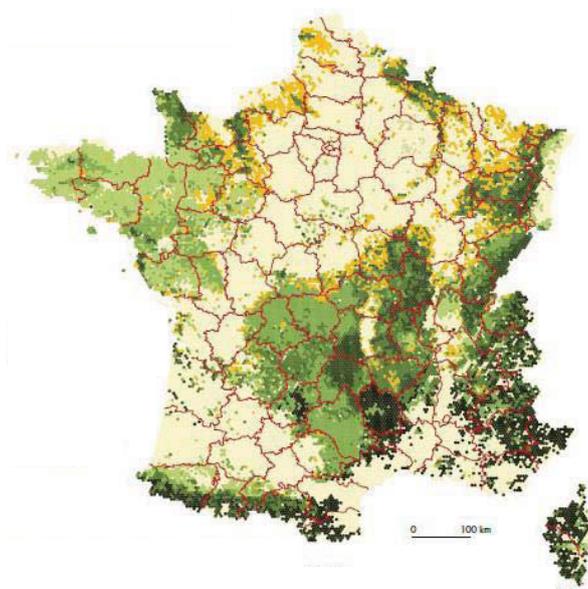


Figure 4 Origine de la viande consommée en France d'après les estimations de l'Institut de l'élevage en 2009-2010 (extraite de Rieutort et al., 2014)



La typologie présentée s'appuie sur les données du Registre parcellaire graphique de 2010 :

- Systèmes fourragers dominés par les landes et les estives
- Systèmes fourragers herbagers reposant sur la prairie permanente
- Systèmes fourragers associant des prairies permanentes et temporaires à des cellules de céréales et de maïs fourrage
- Systèmes fourragers reposant sur l'association de prairies temporaires et permanentes et de cultures céréalières
- Systèmes fourragers reposant sur un triptyque prairies temporaires, maïs fourrage et céréales
- Systèmes reposant sur l'association de cultures fourragères, de cultures céréalières et de prairies permanentes
- Systèmes associant cultures céréalières, oléo-protéagineux (colza) et prairies permanentes
- Autres systèmes de culture associés ponctuellement à l'élevage (surfaces fourragères < 10% des surfaces agricoles)

Figure 5 Les principaux systèmes fourragers français en élevages herbivores, en 2010 (extraite de Rieutort et al., 2014)

Cette diversité est un atout pour l'adaptation des systèmes afin de faire face à l'évolution de la demande du marché.

Dans certaines régions de France, l'herbe est la principale ressource des systèmes fourragers (Figure 5). Afin de limiter les coûts de production, les éleveurs allaitants cherchent à atteindre l'autonomie alimentaire (fourrages et concentrés) car leurs systèmes sont très sensibles à la hausse des prix des intrants (Réseaux d'élevage bovins viande et al., 2011). En élevage allaitant, les éleveurs peuvent être regroupés selon 3 grands types de système d'élevage : les naisseurs, les naisseurs-engraisseurs et les engraisseurs qui représentaient en 2013, respectivement, 69,4%, 20,6% et 10% des élevages allaitants (Interbev, 2015). Les coûts de production d'un élevage varient selon l'atelier de production (vente en maigre ou engraissement des jeunes bovins, par exemple) et sont liés aux pratiques d'élevage et au niveau de productivité de cet atelier (Réseaux d'élevage bovins viande et al., 2011).

Une augmentation du nombre de vaches et de génisses engraisées en France est observée depuis le début des années 2000 (Veysset et al., 2005). Historiquement, les jeunes bovins étaient exportés maigres (entre 160 et 300 kg) ou repoussés (+ 300 kg) principalement en Italie ou Espagne. Actuellement, l'export des jeunes bovins sur pied vers l'Europe, en particulier l'Italie et l'Espagne, diminue. Néanmoins, il existe toujours un marché pour ce type d'animaux vers le pourtour du bassin méditerranéen (Chotteau, 2014; FranceAgriMer, 2016). En 2014, l'export des bovins allaitants sur pied correspondait à 32% des veaux du troupeau allaitant (Interbev, 2015). Cette évolution actuelle du marché de l'exportation de gros bovins sur pied peut être une opportunité pour relancer l'engraissement des jeunes bovins en France. Le coût de production de l'engraissement français est inférieur à celui des feed-lots Espagnols et Italiens (Chotteau, 2014). De plus, la viande produite en France qui est appréciée sur le marché européen, s'exporte bien en Italie, Grèce et Allemagne. En fonction des années, la filière viande bovine allaitante peut exporter jusqu'à 24% de sa production (essentiellement de la viande de jeunes bovins) (Chotteau, 2014 ; Institut de l'élevage, 2015).

L'exportation à l'international d'animaux vivants ou de la viande issue du troupeau allaitant, n'est pas la seule stratégie des éleveurs allaitants pour valoriser leurs produits. Les éleveurs peuvent également s'orienter vers les circuits courts et adhèrent de plus en plus à des signes officiels de qualité et d'origine (SIQO).

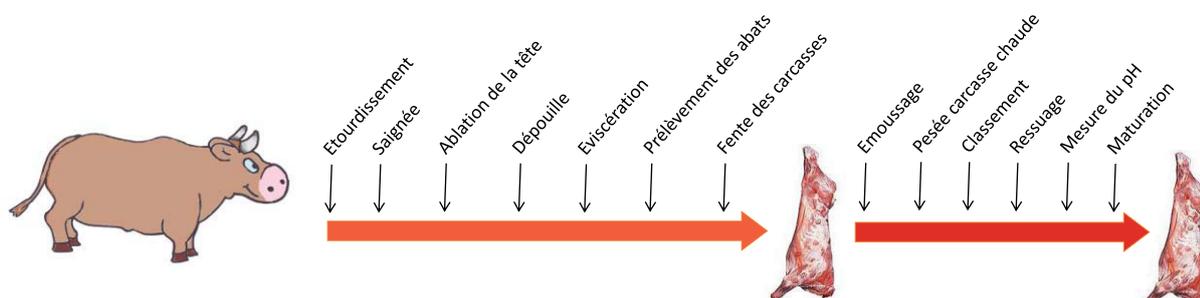


Figure 6 Les différentes étapes de la chaîne d'abattage de l'animal vivant à la carcasse

En France, il existe 45 SIQO pour la viande de gros bovins : 33 Labels Rouges (LR), 8 indications géographiques protégées (IGP) et 4 appellations d'origine protégée ou contrôlée (AOP et AOC) (INAO, 2016). Cela représente 3% des abattages des gros bovins. Ces SIQO sont un moyen de mieux valoriser et d'apporter une meilleure image la viande bovine (Lebret et al., 2015).

Pour conclure sur cette partie, la diversité des systèmes d'élevage allaitant et les propriétés intrinsèques des bovins (sexe, race) induisent une variabilité au niveau des caractéristiques de la carcasse et de la viande.

2 De la carcasse à la viande bovine

2.1 La carcasse

La carcasse est obtenue à la suite de différentes étapes opérées sur la chaîne d'abattage (Figure 6). Elle est essentiellement composée de muscles squelettiques et d'os. Les critères qui permettent de caractériser la carcasse sont nombreux (poids, conformation, persillé, surface de section du *Longissimus* (LM : noix d'entrecôte), couleur de la viande et du gras, ...) et sont différents selon les pays (Polkinghorne and Thompson, 2010; Allen, 2014). Dans cette partie, seront développés les critères qui sont le plus couramment utilisés en Europe.

Description des principaux critères caractérisant la carcasse des bovins

- Le poids de la carcasse

La carcasse est pesée à chaud durant la première heure après l'abattage de l'animal. Ensuite, vient l'étape de ressuage qui consiste à faire baisser progressivement la température de la carcasse afin d'atteindre une température de 7°C à cœur. Durant cette étape, le poids de la carcasse diminue de l'ordre de 2% à cause de la perte en eau. Le poids fiscal c'est-à-dire le poids de la carcasse froide représente approximativement 98% du poids de la carcasse chaude (Cartier et Moevi, 2009; Ockerman et Basu, 2014). Le poids de la carcasse est un critère très important pour l'éleveur puisqu'il constitue un des critères de sa rémunération.

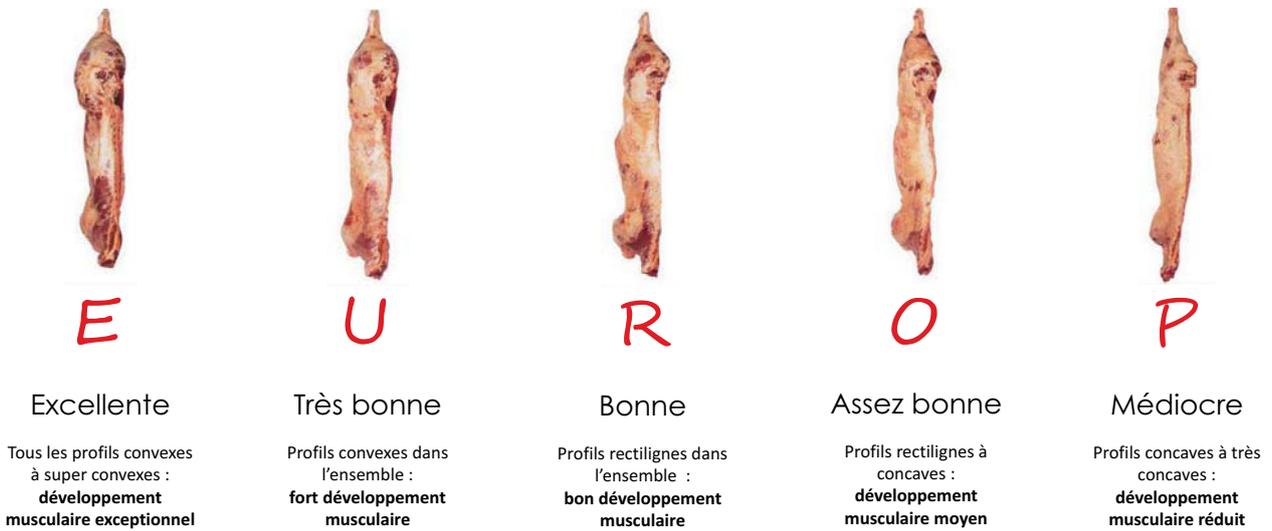


Figure 7 Les 5 classes de conformation du système EUROP (adaptée de Cartier et Moevi, 2009)



Figure 8 Echelle de 1 à 5 de la notation de l'état d'engraissement de la carcasse (adaptée de Cartier et Moevi, 2009)

- Le classement des carcasses : conformation et état d'engraissement de la carcasse

En Europe, le classement des carcasses est basé sur 3 critères : la catégorie, la conformation et l'état d'engraissement. Ces 3 critères sont également pris en compte pour la rémunération de l'éleveur. Le prix au kilo de la carcasse augmente avec la note de conformation alors qu'un état d'engraissement intermédiaire (note de 3) est le plus souvent recherché en France. La conformation de la carcasse est appréciée visuellement ou à l'aide d'une machine à classer utilisant l'analyse d'image (Craigie et al., 2012) afin d'évaluer l'importance de la part de muscle par rapport à celle du squelette. L'évaluation de la conformation se fait selon la grille du système EUROP (Figure 7) qui est divisée en 5 classes allant d'excellent (E) à médiocre (P). Chaque classe peut être également subdivisée en 3 sous-classes : -, = et + (Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, 2005: Textes généraux sec. Textes généraux; EC, 2006).

L'état d'engraissement de la carcasse est également apprécié à l'aide d'une grille permettant d'évaluer l'importance de la graisse sous-cutanée après émoussage. L'état d'engraissement est noté selon 5 classes d'engraissement (Figure 8) allant de 1 (peu de gras) à 5 (très forte présence de gras).

- Le rendement carcasse

Le rendement carcasse est le pourcentage indiquant la valeur bouchère d'un animal. Le rendement à l'abattage est le rendement le plus utilisé. C'est le rapport du poids de la carcasse sur le poids vif de l'animal (McKiernan et al., 2007; Aydin et al., 2013). Il existe également le rendement vrai qui est le rapport du poids de la carcasse sur le poids vif vide de l'animal (Geay et Beranger, 1969).

- Le pH ultime ou pH 24 heures

Le pH permet de mesurer l'acidité de la carcasse au niveau du LM. Après la mort de l'animal, la carcasse s'acidifie avec une diminution du pH. Si l'acidification de la carcasse n'est pas assez élevée cela aura des répercussions sur les propriétés de la viande (Purchas et Aungsupakorn, 1993; Wu et al., 2014). Il est admis qu'une bonne approximation du pH ultime puisse être obtenue au bout de 18 à 24 heures (Cartier et Moevi, 2009). Le pH ultime est la valeur stabilisée du pH de la carcasse. En règle générale, le pH ultime doit être compris entre 5,7 et 6 (Legifrance, 2012).

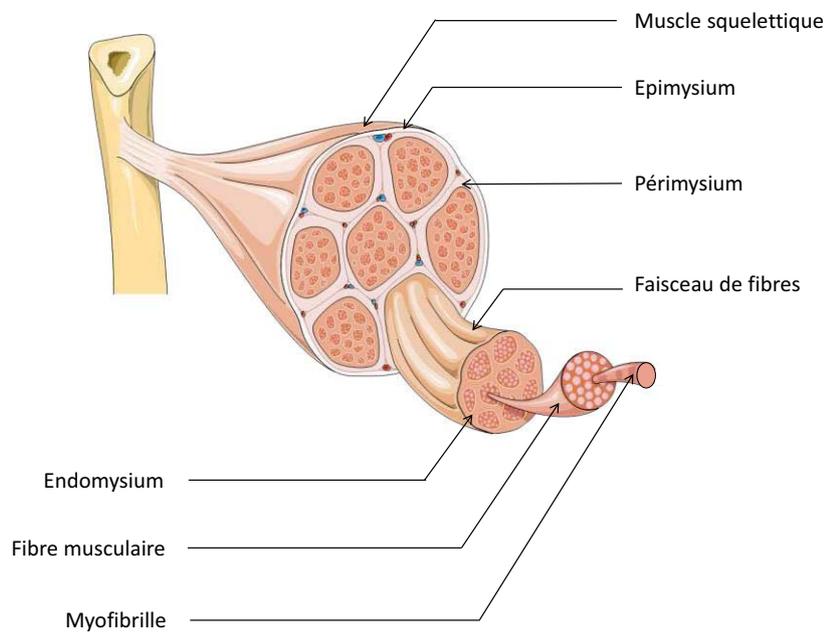


Figure 9 Structure du muscle squelettique (adaptée de Bauchart et al., 2010)

Tableau 1 Caractéristiques des principaux types de fibres du muscle squelettique

	Type de fibres			
Brooke et Kaiser, 1970	I	IIA	IIX	
Peter et al., 1972	SO ¹	FOG ²	FG ³	
Picard et Cassar-Malek, 2009	I	IIA	IIX	IIB
Couleur	Rouge	Rouge	Blanche	Blanche
Vitesse de contraction	Lente	Moyen	Rapide	Très rapide
Métabolisme majoritaire	Oxydatif	Oxydo-glycolytique	Glycolytique	Glycolytique

¹ Slow oxidative ; ² Fast oxido-glycolytic ; ³ Fast glycolytic

- La composition de la carcasse

La composition de la carcasse en muscles, tissu adipeux et squelette est une donnée qui est recueillie dans le cadre d'expérimentations. En effet, dans les études, la composition de la carcasse peut être estimée à partir de la dissection totale de la carcasse (Robelin et al., 1990; Shemeis et al., 1994) ou à partir de la dissection d'une côte et l'application de modèles de prédiction (Steen et Kilpatrick, 1995; Jurie et al., 2006a; Corazzin et al., 2012; do Prado et al., 2015). La composition de la carcasse est exprimée en kg (Dumont et al., 1991; Jurie et al., 2005) ou en % (Shemeis et al., 1994; do Prado et al., 2015). Bien que l'information concernant la composition de la carcasse soit intéressante, cette méthode est contraignante car elle nécessite une dépréciation de la carcasse et le prélèvement d'une pièce bouchère à haute valeur commerciale.

2.2 Le muscle squelettique

Le poids de la centaine de muscles qui constituent la carcasse représente 40% à 50% du poids vif des bovins (University of Nebraska-Lincoln). La composition des muscles squelettiques varie en fonction des caractéristiques intrinsèques de l'animal (type d'animal, race, âge, etc.) et du muscle considéré. Le muscle est essentiellement constitué de fibres musculaires et de tissu conjonctif auquel est associé le tissu adipeux (essentiellement composé de collagène) qui est un tissu de soutien. La transformation du muscle en viande et son appréciation par le consommateur va être dépendante des caractéristiques du muscle à l'abattage : surface de section et type de fibres, propriétés du collagène (Lepetit, 2008; Guillemin et al., 2009; Nishimura, 2010) et teneur en lipides intra-musculaires (Chambaz et al., 2003; Faucitano et al., 2008). Cette partie sera centrée sur les propriétés des fibres du muscle squelettique.

Tableau 2 Comparaison des propriétés contractiles et structurales de différents muscles squelettiques

Référence	Type d'animal	Race	Muscle	Type de fibre (%)			Surface ¹ (µm ²)			Surface moyenne ¹ (µm ²)			
				SO ² ou I	FOG ³ ou IIA	FG ⁴ ou IIX	SO ou I	FOG ou IIA	FG ou IIX	SO ou I	FOG ou IIA	FG ou IIX	
Schreurs et al., 2007	JB ⁵	Aubrac, Blond d'Aquitaine, Charolais, Montbéliard et Salers	LM ⁶									2931 ^b	***
			ST ⁷									3889 ^a	
			TB ⁸									2523 ^c	
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	LM	38,6	13,5	47,9	3055	3077	3821	3413			***
			ST	12,7	22,0	65,4	3822	4229	6383	5556			
			TB	28,5	24,4	47,1	2734	3875	5352	4190			
Oury et al., 2010	Bœuf	Charolais	RA ⁹	37,8	8,3	NS	3957	3414	2868	3324			***
			TB	28,0	19,6		1725	1961	2436	2142			
Oury et al., 2010	Génisse	Charolais	RA										***
			LM										
Jurie et al., 2007	Vache	Holstein et Salers	LM	24,6 ^a	18,6 ^b	56,8 ^b	2364 ^b		3816 ^b	3314 ^b			***
			SM ¹⁰	18,9 ^b	24,2 ^a	56,9 ^b	2423 ^b		3466 ^b	3107 ^b			
			ST	10,3 ^c	24,1 ^a	65,6 ^a	3074 ^a	*	4762 ^a	4250 ^a			
			TB	25,5 ^a	23,8 ^a	50,8 ^c	2510 ^b		3538 ^b	3175 ^b			
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	LM	29,7	14,6	55,0			3578	3122			***
			ST	10,7	25,7	63,6	NS	NS	4736	4012			
			TB	26,6	27,0	46,3			4262	3382			

¹ Surface moyenne de section des fibres ; ² Slow oxidative ; ³ Fast oxido-glycolytic ; ⁴ Fast glycolytic ; ⁵ Jeune bovin ; ⁶ Longissimus ; ⁷ Semitendinosus ; ⁸ Triceps brachii ; ⁹ Rectus abdominis ; ¹⁰ Semimembranosus

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

2.2.1 Les propriétés contractiles, de structure et métaboliques du muscle squelettique

Les muscles squelettiques sont essentiellement composés de faisceaux de fibres musculaires. Les fibres, les faisceaux musculaires et la périphérie du muscle sont entourés par du tissu conjonctif, respectivement l'endomysium, le périmysium et l'épimysium (Figure 9).

Les fibres musculaires sont des cellules plurinucléées constituées d'un grand nombre de myofibrilles. L'ultrastructure des myofibrilles est constituée de la répétition d'unités appelées sarcomères environ tous les 2,5 μm . Les sarcomères qui sont composés d'au moins 28 protéines différentes (Choi et Kim, 2009), ont une structure ordonnée. Les sarcomères sont alignés grâce aux filaments épais et fins majoritairement constitués respectivement d'actine et de myosine. La myosine est une protéine qui joue un rôle majeur dans la contraction musculaire.

Trois principaux types de fibres constituent le muscle squelettique et leur classification repose sur leur vitesse de contraction et leur métabolisme énergétique (Tableau 1). Les propriétés contractiles des fibres sont dépendantes de l'isoforme de chaîne lourde de myosine qu'elles expriment. Au cours de la vie de l'animal, les types de fibre au sein des muscles peuvent évoluer en suivant le schéma suivant : I \leftrightarrow IIA \leftrightarrow IIX \leftrightarrow IIB (Picard et al., 2002). Ces modifications des types de fibres sont réversibles et comme nous le verrons par la suite peuvent être impactées durant différentes périodes de la vie de l'animal et par différents facteurs d'élevage. En règle générale, la surface de section transversale des fibres (surface des fibres) varie en fonction du type de fibres (Tableau 2) selon le classement suivant : IIX > IIA > I (Tuma et al., 1962; Totland et Kryvi, 1991; Picard et al., 2002).

Les propriétés métaboliques (oxydatif et/ou glycolytique) des muscles sont déterminées à partir de l'activité d'enzymes spécifiques des différentes voies métaboliques telles que la lactate déshydrogénase (LDH, glycolytique) et l'isocitrate déshydrogénase (ICDH, oxydatif) (Jurie et al., 2006b).

Tableau 3 Comparaison des activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH) de différents muscles squelettiques

Référence	Type d'animal	Race	Muscle	ICDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)	LDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)
Schreurs et al., 2007	JB ¹	Aubrac, Blond d'Aquitaine, Charolais, Montbéliard et Salers	LT ²	1,6 ^b	1054 ^{ab}
			ST ³	1,2 ^c	1076 ^a
			TB ⁴	2,1 ^a	1019 ^b
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	LT	1,92	892
			ST	0,97	1060
			TB	1,77	926
Oury et al., 2010	Bœuf	Charolais	RA ⁵	1,27	617
			TB	2,35	753
Oury et al., 2010	Génisse	Charolais	RA	1,46	555
			LT	1,25	835
Jurie et al., 2007	Vache	Holstein et Salers	LT	1,37 ^b	835 ^b
			SM ⁶	1,76 ^a	821 ^b
			ST	0,79 ^c	893 ^a
			TB	2,01 ^a	757 ^c
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	LT	1,43	909
			ST	0,85	1014
			TB	1,91	863

¹ Jeune bovin ; ² *Longissimus thoracis* ; ³ *Semitendinosus* ; ⁴ *Triceps brachii* ; ⁵ *Rectus abdominis* ; ⁶ *Semimembranosus*

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

** = $P < 0,01$ *** = $P < 0,001$

2.2.2 Variabilité des propriétés structurales, contractiles et métaboliques des fibres selon le type de muscle

En fonction de leur localisation (Figure 10), les muscles n'ont pas les mêmes propriétés contractiles et métaboliques (Totland et Kryvi, 1991; Schreurs et al., 2007). Ces différences peuvent être expliquées par la sollicitation de ces muscles lors du mouvement de l'animal.

Selon les données bibliographiques, il est possible de classer les muscles selon leur profil métabolique (Tableau 3) et la taille de leurs fibres (Tableau 2). Parmi les comparaisons entre les muscles présentés dans les Tableau 2 et Tableau 3, quel que soit le type d'animal, les muscles LM et *Semitendinosus* (ST) sont toujours les muscles respectivement les plus oxydatifs et glycolytiques. Le *Rectus abdominis* (RA) est également un muscle oxydatif, d'après l'activité enzymatique de l'ICDH, Oury et al. (2010) observent qu'il est plus oxydatif que le LM. Concernant le muscle *Triceps brachii* (TB), il semblerait que son métabolisme varie selon le type d'animal considéré, en fonction de sa composition en fibres. Jurie et al. (2007) observent que chez la vache, le TB est plus oxydatif que le LM alors que, chez le jeune bovin aucune différence entre ces 2 muscles n'est observée (Jurie et al., 2005). En revanche dans plusieurs études, l'activité de la LDH montre que le TB est plus glycolytique que le ST quel que soit le type d'animal. Selon l'étude de Jurie et al. (2007), le muscle *Semimembranosus* (SM) est plus glycolytique et moins oxydatif que le LM. Ainsi, en fonction de l'activité enzymatique de l'ICDH, les muscles peuvent être classés de la manière suivante :

$$TB = SM > RA > LM > ST$$

Pour la surface moyenne des fibres, les études montrent que le ST a généralement des fibres plus larges que les autres muscles (Tableau 2). D'après les résultats de Jurie et al. (2007) et de Schreurs et al. (2007), les muscles en fonction de leur surface moyenne de fibres peuvent être classés de la manière suivante :

$$\text{Chez le jeune bovin et le bœuf : } ST > RA > LM > TB$$

$$\text{Chez la vache : } ST > LM = SM = TB$$

L'évolution de la surface des fibres selon le type d'animal sera abordée dans la partie 3.1.2.

Longissimus (lumborum et thoracis, LM)

Gluteus medius (GM)

Biceps femori (BF)

Semimembranosus (SM)

Semitendinosus (ST)

Quadriceps femoris (QF)

Rectus abdominis (RA)

Triceps brachii (TB)

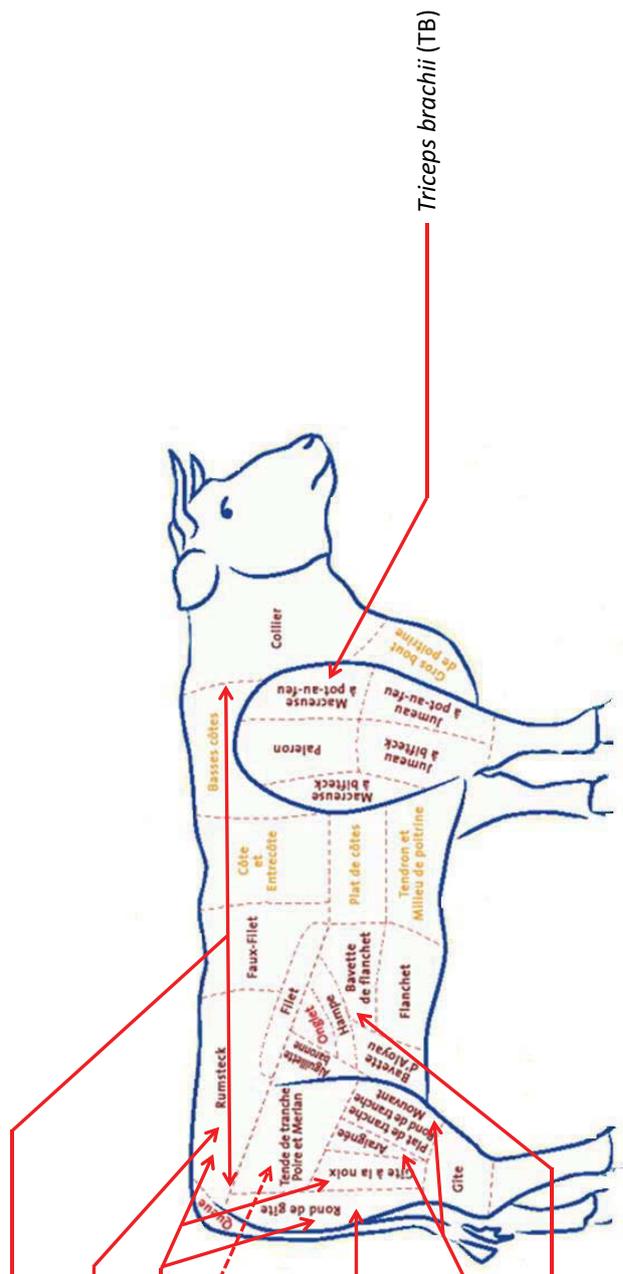


Figure 10 Localisation des muscles squelettiques et leur correspondance en pièce bouchère

La particularité du RA par rapport au LM est que ce muscle qui est oxydatif, a des fibres plus larges que celles du LM (Oury et al., 2010). De plus, les fibres oxydatives du RA ont une section plus large alors qu'habituellement dans les autres muscles, ce sont les fibres glycolytiques qui ont une section plus large.

Les études ont également montré qu'il existe des relations entre les caractéristiques contractiles, métaboliques et structurales du muscle et la tendreté de la viande (Tuma et al., 1962; Crouse et al., 1991; Guillemin et al., 2009). D'une manière générale, lorsque les fibres ont une section plus large, les auteurs observent que la viande est plus dure. De plus, lorsque le muscle LM est plus oxydatif, Maltin et al. (2003) observent qu'il est plus tendre. Ce résultat est confirmé par Picard et al. (2014a et 2006) pour le LM. En revanche, pour le muscle ST, les résultats sont opposés à ceux du LM car Picard et al. (2014a et 2006) observent que ce muscle est plus tendre lorsqu'il est plus glycolytique. Par ses propriétés contractiles, métaboliques et de structures, le type muscle est l'un des facteurs qui va induire de la variabilité sur la tendreté de la viande.

2.2.3 La couleur du muscle squelettique

La couleur rouge qui est due à un pigment : la myoglobine est le premier élément pris en compte par le consommateur pour la prise de décision d'achat de la viande (Carpenter et al., 2001). Que ce soit avant ou après la maturation, lorsque que la myoglobine qui se trouve à la surface du muscle est au contact de l'air, elle prend une forme oxygénée, l'oxymyoglobine. C'est cette forme oxygénée qui confère au muscle ou à la viande après maturation, cette couleur rouge vive. La couleur du muscle est en partie conditionnée par la valeur du pH 24h qui est en partie dépendante des propriétés contractiles et métaboliques du muscle. Les carcasses avec des pH 24h élevés conduisent à des viandes en règle générale plus sombres. L'influence des facteurs d'élevage sur la couleur de la viande sera abordée dans la partie 3. La couleur de la viande peut être évaluée par 2 principales techniques : par le jugement visuel d'un opérateur à l'aide des grilles de classement de couleur ou par spectrophotométrie. Cette mesure par colorimétrie utilise le système tridimensionnel de couleur de la commission internationale de l'éclairage (CIE) $L^*a^*b^*$ (Commission International de l'Eclairage, 1986).

Tableau 4 Présentation de différents biomarqueurs de la tendreté et l'effet du muscle, de la race, du type d'animal et les interactions sur leurs abondances relatives (partie 1)

Biomarqueurs	Muscle ¹ (M)		Race ² (R)	Type d'animal ³ (T)	TxM	RxM
	Guillemin et al. (2011)	Picard et al. (2014a)				
Heat shock proteins (HSP)						
α-Bcrystalline	***	***	LM : *** ST : ***	***	NS	*
Hsp20	***	***	LM : § ST : NS	***	***	NS
Hsp27	§	***	LM : ** ST : ***	***	*	NS
Hsp40	***	***	LM : ** ST : *	§	NS	NS
Hsp70-1A	***	***	LM : NS ST : NS	NS	NS	NS
Hsp70-8	***	**	LM : * ST : §	***	NS	NS
Hsp70/Grp75	NS	NS	LM : *** ST : NS	***	NS	***
Métabolisme						
Eno1	***			*	NS	
Eno3	§	*	LM : * ST : **	***	NS	NS
LDH-B	NS	§	LM : *** ST : ***	NS	NS	**
MDH1	NS	NS	LM : * ST : NS	NS	NS	*
PGM	***			NS	NS	

¹ Comparaison entre *Longissimus* (LM) et *Semitendinosus* (ST), ² comparaison entre les races Angus, Blonde d'Aquitaine et Limousine, ³ comparaison entre jeune bovin et bœuf, NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

L* est la clarté qui est mesurée à partir de la lumière réfléchie (100 = toute la lumière est réfléchie, couleur blanc ; 0 = toute la lumière est absorbée, couleur noire), a* (rouge en positif et vert en négatif) et b* (jaune en positif et bleu en négatif) sont les 2 autres indicateurs (Priolo et al., 2001).

2.2.4 Les biomarqueurs du muscle squelettique : abondance de protéines et marqueurs de la tendreté

Les biomarqueurs sont des caractéristiques biologiques mesurables liées à un ou plusieurs processus. Dans notre domaine, les biomarqueurs correspondent à certaines protéines présentes dans le muscle squelettique dont l'abondance relative est reliée à la tendreté mesurée par analyses sensorielles ou rhéologiques (Picard et al., 2010; Guillemin et al., 2011). Les aspects sur la tendreté de la viande bovine seront développés dans la partie « tendreté » (page 29). L'abondance de ces protéines est mesurée sur des échantillons de muscles prélevés au maximum 24 h après l'abattage. Les protéines qui sont identifiées dans les études comme des biomarqueurs de la tendreté sont impliquées dans différentes fonctions biologiques (Tableau 4 et Tableau 5) telles que le métabolisme, la structure, le stress thermique (heat shock proteins, HSP), la résistance oxydative et la protéolyse (Picard et al., 2015).

Des études du muscle LM mettent en évidence que dans les viandes bovines les plus dures, l'abondance des protéines du métabolisme glycolytique : la phosphoglucomutase (PGM), la lactate déhydrogénase-B sont plus abondantes, chez le jeune bovin et le bœuf. A l'inverse, dans les LM les plus tendres, ce sont les protéines du métabolisme oxydatif les plus abondantes. Les protéines de structure et contractiles : β -F-actine-capping protéine (CapZ β), chaîne légère de myosine 1F (MyLC-1F) et chaîne lourde IIX (MyHC-IIX) se retrouvent en plus forte abondance dans les viandes les plus tendres et peuvent être considérées comme indicateur de la tendreté (Guillemin et al., 2012). Les abondances des protéines HSP27, α -Bcrystalline et HSP20 ont été également identifiées comme des indicateurs de la tendreté. En revanche, les abondances de HSP40 et de HSP70 ont été identifiées comme des indicateurs de la dureté de la viande (Hocquette et al., 2007; Morzel et al., 2008; Guillemin et al., 2012). Une protéine impliquée dans la résistance oxydative, la cis-peroxyredoxine (PRDX6) a été identifiée également comme indicateur de dureté dans l'étude de Guillemin et al. (2012). La μ -calpaïne quant à elle, est une protéase et ne ressort pas dans les études comme un indicateur de la tendreté (Guillemin et al., 2012; Picard et al., 2014).

Tableau 5 Présentation de différents biomarqueurs de la tendreté et l'effet du muscle, de la race, du type d'animal et les interactions sur leurs abondances relatives (partie 2)

Biomarqueurs	Muscle (M)		Race	Type d'animal (T)	TxM	RxM
	Guillemin et al. (2011)	Picard et al. (2014a)				
Structure						
CapZ-β	NS	***	LM : ** ST : NS	**	**	*
Desmine	NS			NS	**	
α-actine		NS	LM : ** ST : NS			**
MLC-1F	NS	NS	LM : * ST : NS	***	NS	NS
MyBP-H	***	NS	LM : NS ST : NS	**	*	NS
MyHC-I	***	***	LM : NS ST : **	NS	NS	**
MyHC-II	***	***	LM : ** ST : NS	NS	NS	*
MyHC-IIx	***	***	LM : *** ST : ***	**	NS	**
Résistance oxydative						
DJ-1	NS	***	LM : NS ST : *	*	NS	NS
PRDX6	*	***	LM : *** ST : ***	***	§	NS
SOD1	NS	NS	LM : NS ST : NS	NS	NS	NS
Protéolyse						
m-Calpaïne	NS			***	NS	
μ-Calpaïne	NS	NS	LM : ** ST : *	***	NS	NS

¹ Comparaison entre *Longissimus* (LM) et *Semiteminosus* (ST), ² comparaison entre les races Angus, Blonde d'Aquitaine et Limousine, ³ comparaison entre jeune bovin et bœuf, NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

L'abondance de ces différentes protéines est dépendante du muscle, du type d'animal et de la race (Tableau 4 et Tableau 5). En effet, l'étude de Guillemin et al. (2011) montre que certaines protéines sont plus abondantes chez le jeune bovin par rapport au bœuf (jeune mâle castré) et inversement. L'abondance de ces biomarqueurs est également différente entre les muscles LM et ST (Guillemin et al., 2011). L'étude de Picard et al. (2014a) met également en évidence que pour la race Angus les abondances de α -Bcrystalline ou de HSP27 sont significativement différentes par rapport à celles observées pour les races Blonde d'Aquitaine et Limousine, pour les muscles LM et ST. En revanche, il n'y pas de différences d'abondance de ces 2 protéines entre Blonde d'Aquitaine et Limousine. Enfin l'étude de Picard et al. (2014a) met en évidence que les relations entre la tendreté de la viande et l'abondance de certaines protéines sont inversées en fonction des propriétés métaboliques du muscle. En effet, les abondances des protéines HSP27 et α -Bcrystalline qui sont corrélées positivement avec la tendreté du LM, sont en revanche corrélées négativement avec la tendreté du ST (Picard et al., 2014a).

Enfin, il a été montré que les pratiques d'élevage pouvaient impacter les expressions des gènes codant des protéines identifiées comme des biomarqueurs de tendreté (Cassar-Malek et al., 2008; Cassar-Malek et al., 2009).

2.3 La viande bovine

La viande bovine est le produit final obtenu après maturation des muscles squelettiques de la carcasse. Elle permet un très bon apport en protéines et en nutriments indispensables dans l'alimentation humaine. La « qualité » de la viande bovine est caractérisée par des critères intrinsèques : sécurité (qualité hygiénique), santé (qualité nutritionnelle), satisfaction (qualité organoleptique) et service (facilité à la transformation et prix) et des critères extrinsèques : régularité (homogénéisation et répétabilité des caractéristiques d'un produit au sein d'une même catégorie) et image (image du produit, dimension éthique, environnement, conditions de production) (Lebret et Picard, 2015). Seule la composante satisfaction de la « qualité » de la viande sera abordée par la suite.

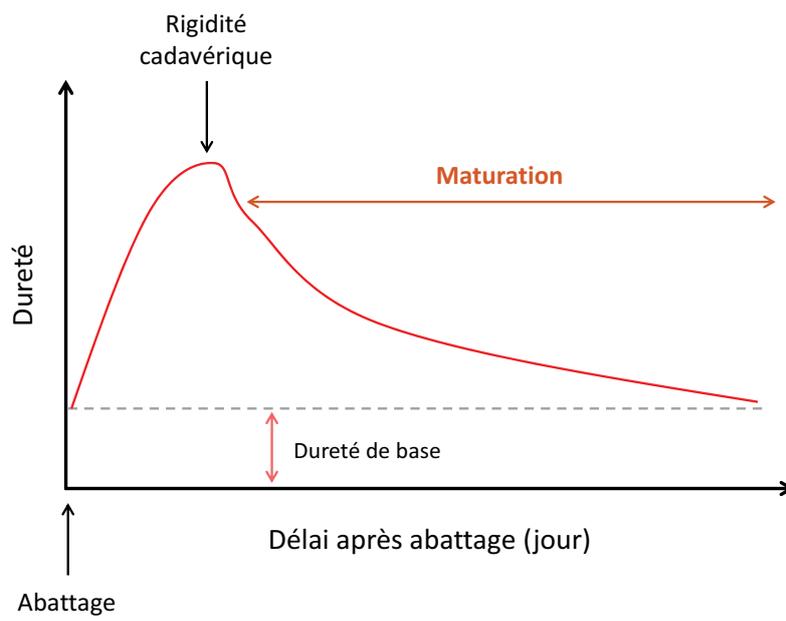


Figure 11 Evolution schématique de la tendreté de la viande sous l'effet de la maturation (adaptée de Cartier et Moevi, 2009)

2.3.1 La maturation de la viande

Après l'abattage des bovins, durant les 24 à 48 h qui suivent, la carcasse devient raide et inextensible, on parle alors de rigidité cadavérique (*rigor mortis*). Passé cette période, la phase *post mortem* qui suit est la maturation. Au cours de cette période, la carcasse s'attendrit grâce à des activités enzymatiques qui découpent progressivement les myofibrilles contenues dans le muscle, mais le collagène est très peu impacté. La quantité de collagène présente dans le muscle va donc définir la dureté de base qui sera le seuil de tendreté maximale de la viande (Figure 11). La maturation peut être réalisée sur demi-carcasse ou également sous vide après découpe. Selon la norme NF V 46-001, il est préconisé, pour une température de +4 °C, au moins 7 jours de maturation pour une maturation sur carcasse et 10 jours pour les morceaux conservés sous vide (Cartier et Moevi, 2009).

Plusieurs études mettent en évidence qu'un allongement de la durée de maturation est bénéfique à une diminution de la dureté de la viande mesurée mécaniquement (French et al., 2000; Moloney et al., 2008; Lucero-Borja et al., 2014; Aviles et al., 2015). Au niveau des propriétés sensorielles, une augmentation de la durée de maturation permet principalement un attendrissement de la viande (French et al., 2001; Moloney et al., 2008; Moloney et al., 2011) mais peut également avoir un effet sur la jutosité, l'intensité de la flaveur et l'appréciation globale (French et al., 2001 ; Vieira et al., 2006; Moloney et al., 2011). Pour les races Limousine et Retinta, Aviles et al. (2015) mettent en évidence qu'un allongement de la durée de maturation permet d'attendrir la viande (mesure rhéologique) avec une ration de finition composée de paille et de concentrés. Ces résultats montrent qu'il faut tenir compte de la durée de maturation car celle-ci peut contribuer à l'explication de la présence ou l'absence de l'effet d'un facteur d'élevage sur les propriétés de la viande.

2.3.2 Les propriétés sensorielles et rhéologiques de la viande bovine

2.3.2.1 Méthodes d'évaluation des propriétés de la viande

2.3.2.1.1 Evaluation sensorielle de la viande

L'évaluation sensorielle de la viande consiste à évaluer différents descripteurs caractérisant les morceaux de viande par un jury entraîné ou par un panel de consommateurs (non entraînés). Pour l'évaluation sensorielle de la viande (Evrat-Georgel, 2008), il existe 3 principaux tests :

- Test discriminatif : l'objectif est de repérer une différence entre 2 ou plusieurs produits.
- Test descriptif : c'est un test qui apporte plus d'information que le test discriminatif en évaluant les descripteurs sensoriels. Ce test est réalisé par un jury entraîné afin d'établir le profil sensoriel de chaque échantillon.
- Test hédonique : l'objectif est de réaliser l'évaluation objective du produit en s'attachant à la dimension de « plaisir » et aux ressentis personnels des testeurs. Cela permet de connaître la satisfaction d'un consommateur par rapport à un produit.

Le choix du test sensoriel est dépendant des objectifs de l'étude. Il existe également 2 types d'analyses (Evrat-Georgel, 2008) :

- L'analyse comparative permet de comparer les échantillons entre eux surtout lorsque les écarts supposés sont faibles. Cependant, dans ce type d'analyses les résultats obtenus sur un échantillon sont partiellement dépendants de celui des autres échantillons. Cette méthode s'applique essentiellement lorsque que le nombre de descripteurs est faible et nécessite parfois un dispositif expérimental complexe.
- L'analyse monadique est une méthode indiquée pour décrire une population et est simple dans sa mise en œuvre. Cette méthode est moins adaptée à la comparaison car *a priori* moins sensible que l'analyse comparative. Cela peut être amélioré en augmentant le nombre de descripteurs.

Tableau 6 Comparaison des propriétés sensorielles et mécaniques de différents muscles squelettiques

Référence	Type d'animal	Race	Muscle	Durée de maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur	Force de cisaillement (kg)
Bidher et al., 1986	Bœuf		LM ¹	5	70	LM > ST	LM > ST	LM > ST	
			ST						
Crouse et al., 1984	Génisse	Hereford x Angus	SM ²	7	70	*	*	*	*
			ST ³						
			LM						
Jurie et al., 2007	Vache	Holstein et Salers	LT	14	55	***	***	NS	NS
			SM						
			ST						
			TB						

¹ Longissimus ; ² Semimembranosus ; ³ Semitendinosus

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ; * = $P < 0,05$ *** = $P < 0,001$

Les principaux descripteurs sensoriels sont : la tendreté, la jutosité et la flaveur. Bien que l'évaluation sensorielle soit une méthode de référence, des études ont montré que le jury pouvait avoir un effet significatif quant à l'évaluation des descripteurs sensoriels de la viande (Serrano et al., 2007; Micol et al., 2011).

2.3.2.1.2 Présentation des principaux descripteurs sensoriels

2.3.2.1.2.1 La tendreté

Une viande est dite tendre lorsqu'elle est facile à couper et à mastiquer. C'est le descripteur auquel le consommateur attache une grande importance et qui lui procurera l'envie de consommer une nouvelle fois de la viande (Feuz et al., 2004; Brewer et Novakofski, 2008). Cependant, la tendreté de la viande est très variable en fonction des caractéristiques du muscle (propriétés structurales, contractiles et métaboliques), du pH (Maltin et al., 2003; Guillemin et al., 2009; Weglarz, 2010) et de la cuisson (Bauchart et Picard, 2010). Même au sein des muscles à griller, des différences de tendreté existent. Par exemple, la viande de LM (entrecôte ou faux-filet) est plus tendre que celle de ST (rond de gîte) et de SM (tende de tranche) (Tableau 6). Le stress du transport et avant abattage est connu également pour avoir des répercussions négatives sur la tendreté de la viande (Ferguson et Warner, 2008; Gruber et al., 2010).

2.3.2.1.2.2 La jutosité

La jutosité est la perception d'une viande plus ou moins sèche au cours de sa dégustation. L'origine de cette jutosité est double, la jutosité initiale qui est la jutosité qui est perçue au premier coup de dents, est due à la quantité de jus libérée par la viande (Bauchart et Picard, 2010). Ensuite, au cours de la mastication, la jutosité de la viande est liée à la teneur en lipides du morceau. En effet, les viandes grasses sont connues pour être plus juteuses. L'eau retenue dans le muscle est fortement liée au pH de la viande. Les viandes à pH élevé ont une meilleure rétention d'eau (Micol et Picard, 1997). En fonction du muscle, les études montrent que la viande est plus ou moins juteuse. Le LM ressort comme le plus juteux dans les études quel que soit le type d'animal (Tableau 6).

2.3.2.1.2.3 La flaveur

Comme pour la tendreté, la flaveur est une composante importante de la viande pour le consommateur (Brewer et Novakofski, 2008). La flaveur est une perception olfacto-gustative qui stimule simultanément des récepteurs au niveau du nez (odeur) et les papilles gustatives (goût). La flaveur de la viande se développe au cours de la cuisson. Le mode de cuisson va donc influencer la flaveur. Les composés aromatiques de la viande cuite sont obtenus grâce à la lipolyse et la réaction de Maillard (acides aminés et sucres). Il existe différents descripteurs de la flaveur qui sont principalement : intensité de flaveur, flaveur de bœuf, flaveur anormale. L'origine de la flaveur est essentiellement due aux types de fibres, à la composition et à la nature des acides gras contenus dans le muscle (Touraille, 1994; Kerth et al., 2007). La proportion et la nature des acides gras présents dans la viande sont en majorité liées au régime alimentaire de l'animal (Melton, 1990; Raes et al., 2003; Kerth et al., 2007; Huuskonen et al., 2010). Comme pour les autres descripteurs sensoriels de la viande, l'intensité de la flaveur pour une maturation et une cuisson similaires varie en fonction du muscle (Tableau 6).

2.3.2.1.3 Mesure rhéologique ou mécanique de la dureté de la viande

Les principales méthodes qui mesurent mécaniquement la dureté de la viande utilisent des instruments visant à simuler la résistance de la découpe de la viande lors de la mastication. Les mesures peuvent être réalisées sur viande crue ou cuite. Pour évaluer cette résistance, la force de cisaillement est mesurée. Elle représente la force nécessaire pour couper le morceau de viande en 2, perpendiculairement aux fibres musculaires (Evrat-Georgel, 2008). Plus la valeur de la force sera élevée plus la viande sera considérée comme dure. Actuellement, l'appareil le plus couramment utilisé pour mesurer cette force est la cellule de Warner-Bratzler (Bratzler, 1949; Warner, 1952) mais il existe également la cellule de Salé (Salé, 1971). Comme pour l'analyse sensorielle, la mesure de la force de cisaillement est également une méthode de référence. L'étude de Dumont (1974) met en évidence qu'il y a une très forte corrélation ($r= 0,93$) entre les méthodes Warner-Bratzler et Salé. Pour une grande majorité des muscles, ces 2 méthodes obtiennent des forces de cisaillement similaires. Entre les muscles, la dureté de la viande est différente (Dumont, 1974; Crouse et al., 1984; Hildrum et al., 2009), la principale source de ces différences est le type contractile de chaque muscle.

Tableau 7 Effet de la race sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
Pesonen et Huuskonen, 2015	JB ¹	Aberdeen Angus	368 ^a		6,95/15 ^a	3,29/5 ^a
		Blond d'Aquitaine	393 ^b		10,27/15 ^b	1,75/5 ^b
		Charolais	413 ^c		9,31/15 ^c	2,25/5 ^c
		Hereford	368 ^a	***	6,87/15 ^a	3,25/5 ^d
		Limousin	391 ^b		9,71/15 ^d	2,19/5 ^e
		Simmental	402 ^d		8,30/15 ^e	2,31/5 ^f
Aydin et al., 2013	JB	Brune Suisse	276,3	56,9	NS	NS
		Holstein	257,2	55,7		
Alberti et al., 2008	JB	Aberdeen Angus	335,7 ^{de}	56,2 ^{ef}	9,8/18 ^d	11,0/15 ^a
		Asturiana de los Valles	348,7 ^{cd}	62,6 ^{ab}	12,1/18 ^b	4,1/15 ^{gh}
		Avileña	324,7 ^{ef}	58,8 ^d	8,0/18 ^e	5,8/15 ^e
		Casina	244,7 ^h	56,2 ^e	7,6/18 ^e	5,9/15 ^e
		Charolaise	386,6 ^a	61,0 ^c	9,9/18 ^d	8,9/15 ^{bc}
		Highland	245,1 ^h	55,2 ^f	8,2/18 ^e	6,8/15 ^d
		Holstein	320,0 ^{efg}	55,7 ^g	4,6/18 ^f	8,2/15 ^e
		Jersey	189,7 ^h	50,1 ^h	4,4/18 ^f	4,5/15 ^{fg}
		Limousine	360,0 ^{bc}	63,7 ^a	10,2/18 ^d	8,4/15 ^c
		Marchigiana	307,5 ^g	58,8 ^d	11,1/18 ^c	5,0/15 ^f
		Piémontaise	335,9 ^{de}	63,7 ^a	14,6/18 ^a	3,6/15 ^h
		Pirenaica	371,5 ^{ab}	61,1 ^{bc}	11,5/18 ^{bc}	4,9/15 ^f
		Danish red	318,7 ^{fg}	54,9 ^f	5,1/18 ^f	9,1/15 ^b
		Simmental	346,9 ^{cd}	58,7 ^d	10,2/18 ^d	6,0/15 ^e
South Devon	344,4 ^{cd}	55,5 ^{ef}	8,4/18 ^e	7,2/15 ^d		

¹ Jeune bovin

^{a,b,c,d,e,f,g,h} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ; * = $P < 0,05$; *** = $P < 0,001$

Tableau 8 Effet de la race sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
Chambaz et al., 2003	Boeuf	Angus	275 ^c	54,3 ^c	3,5/5 ^b	4,6/5 ^a
		Simmental	339 ^b	54,1 ^c	3,7/5 ^b	4,1/5 ^b
		Charolais	395 ^a	57,9 ^b	4,7/5 ^a	3,9/5 ^b
		Limousin	405 ^a	61,5 ^a	5,0/5 ^a	4,1/5 ^b
Listrat et al., 2001	Boeuf	Blonde d'Aquitaine	NS	70,3		
		Charolais		68,7		
Pesonen et Huuskonen, 2015	Génisse	Aberdeen Angus	233 ^a		5,27/15 ^a	3,88/5 ^a
		Blond d'Aquitaine	252 ^{bc}		7,73/15 ^b	2,27/5 ^b
		Charolais	255 ^b		6,53/15 ^c	2,94/5 ^c
		Hereford	232 ^a		5,12/15 ^d	3,89/5 ^a
		Limousin	250 ^c		7,18/15 ^e	2,93/5 ^c
		Simmental	244 ^d		5,72/15 ^f	3,04/5 ^d
Zahradkova et al., 2010	Génisse	Limousin	296,3	60,6		3,30/5
		Charolais	281,8	57,7	NS	2,87/5
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac	399			
		Charolais	403			
		Limousin	410			
		Salers	395			
Schnell et al., 1997	Vache	Races laitières (Holstein, Brune Suisse)	285 ^a			
		Croisées Brahman	289 ^a			
		Races anglaises	250 ^b			
		Races continentales	300 ^a			
Agabriel et al., 1991	Vache	Salers	358			
		Limousin	327	NS		

^{a,b,c,d,e,f} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 9 Effet de la race sur la composition de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la carcasse (kg)			Composition de la carcasse (%)		
			Muscle	Tissu adipeux	Squelette	Muscle	Tissu adipeux	Squelette
Corazzin et al., 2012	JB ¹	Simmental				69	14	17
		Holstein				66	16	18
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac	340 ^b	86 ^b	65 ^b			
		Charolais	340 ^b	95 ^a	68 ^a			
		Limousin	358 ^a	82 ^b	62 ^c			
		Salers	317 ^c	95 ^a	68 ^a			
Bultot et al., 2002	JB	Blanc Bleu Belge				77 ^a	11 ^c	12 ^b
		Limousin				67 ^b	19 ^b	14 ^a
Listrat et al., 2001	Bœuf	Angus				62 ^c	24 ^a	14 ^a
		Blonde d'Aquitaine	355	80				
Steen et Kilpatrick, 1995	JB, bœuf et génisse	Charolais	308	97				
		Holstein						
		Limousine x Holstein						
		Blanc Bleu Belge x Holstein						
Jurie et al., 2007	Vache	Holstein	190		57			
		Salers	225		53			
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac	255	90	57			
		Charolais	257	82	63			
		Limousin	271	75	56			
		Salers	249	92	60			
Agabriel et al., 1991	Vache	Salers					20,1	
		Limousin					15,5	

¹ Jeune bovin

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Pour conclure sur cette partie, la carcasse, le muscle squelettique et la viande sont caractérisés par différents paramètres pour lesquels la variabilité est multifactorielle. Dans la partie suivante, seront abordés les effets des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande.

3 L'influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande

3.1 Effet individuel des propriétés intrinsèques de l'animal sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande

3.1.1 La race

De nombreuses études montrent que les caractéristiques de la carcasse sont impactées par la race quel que soit le type d'animal considéré (jeune bovin, bœuf, vache de réforme) (Tableau 7, Tableau 8 et Tableau 9). En règle générale, chez les jeunes bovins, les bœufs et les génisses, les races avec les meilleurs rendements et conformation, sont les races continentales à viande (Charolaise, Limousine, Blonde d'Aquitaine, etc.) alors que les races qui ont les carcasses les plus grasses sont les races Anglo-Saxonnes (Angus, Hereford) et les races laitières (Holstein, Danish Red, Brune Suisse). Les races dites mixtes et les races croisées ont des caractéristiques de carcasse intermédiaires. La précocité de la race est en partie l'élément expliquant les différences entre les races. Comme défini par Minchin et al., (2009) et Al-Jammas et al. (2016), une race est dite précoce lorsque les animaux ont un développement plus rapide par rapport à ceux d'une autre race. En race pure, les races laitières (Holstein, Danish Red) sont plus précoces que les races anglo-saxonnes (Angus, Hereford) qui le sont plus que les races continentales (Charolaise, Limousine). Pour les vaches, les comparaisons portent principalement sur le poids de la carcasse, montrant que la race a un impact significatif sur ce poids (Minchin et al., 2009). La race a également un impact sur la composition de la carcasse (Tableau 9). Néanmoins, les différences significatives observées entre les races sont à relativiser pour les compositions de carcasse exprimées en kilogramme car ces différences sont dépendantes du poids de la carcasse. Chez le jeune bovin, les études de Monsón et al. (2004) et de Nuernberg et al. (2005) n'ont pas mis en évidence d'effet significatif de la race sur le pH 24h.

Tableau 10 Effet de la race sur les propriétés contractiles et structurales du muscle squelettique

Référence	Type d'animal	Race	Muscle	Type de fibre (%)		Surface de fibre ¹ (µm ²)			Surface ¹ moyenne (µm ²)		
				SO ² ou I	FOG ³ ou IIA	FG ⁴ ou IIX	SO ou I	FOG ou IIA		FG ou IIX	
Schreurs et al., 2007	JB ⁵ et Bœuf	Aubrac	ST ⁶						NS		
		Blond d'Aquitaine									
		Charolais									
		Limousin									
		Montbéliard									
Salers											
Listrat et al., 2001	Bœuf	Blonde d'Aquitaine	ST			63,6 58,8	1919 2638	***	NS	NS	
		Charolais									
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac	Moyenne des 3 muscles : LM ⁷ , ST et TB ⁸		NS	NS	3187 ^b 3122 ^b 2926 ^b 3581 ^a	*	3870 ^b 3597 ^b 3365 ^b 4076 ^a	NS	NS
		Charolais									
		Limousin									
		Salers									
		Holstein									
Jurie et al., 2007	Vache	Salers	Moyenne des muscles : LM, SM ⁹ , ST et TB		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
		Aubrac									
Jurie et al., 2006a	Vache	Charolais	Moyenne des 3 muscles : LM, ST et TB		24,1 ^a 20,7 ^b 22,9 ^a 21,8 ^a	*	2428 ^a 2527 ^a 2038 ^b 2548 ^a	**	NS	NS	NS
		Limousin									
		Salers									
		Holstein									
		Salers									

¹ Surface moyenne de section des fibres ; ² Slow oxidative ; ³ Fast glycolytic ; ⁴ Fast oxido-glycolytic ; ⁵ Jeunes bovin ; ⁶ *Semiteminosus* ; ⁷ *Longissimus* ; ⁸ *Triceps brachii* ;

⁹ *Semimembranosus*

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

La race a des effets significativement différents sur les propriétés contractiles, métaboliques et de structure des muscles selon le type d'animal considéré. En effet, Jurie et al., (2006a) montrent que, sur la moyenne de 3 muscles (LT, ST et TB), seules les vaches de race Charolaise ont une proportion plus faible de fibres de type I (Tableau 10) alors que chez le jeune bovin, la race n'a pas d'effet significatif (Jurie et al., 2005). Chez le bœuf, Listrat et al. (2001) montrent que les répartitions des types de fibres sont significativement différentes entre Blonde d'Aquitaine et Charolaise sauf pour les fibres de type IIA. Plusieurs études montrent que la surface moyenne des fibres d'un muscle ou d'une moyenne de muscles n'est pas impactée par la race (Tableau 10). Les études de Jurie et al. (2005 et 2006a) montrent cependant qu'en fonction de la race, les fibres de type I sont significativement plus larges chez le jeune bovin Salers alors qu'elles sont significativement plus petites chez la vache Charolaise. Les activités enzymatiques de l'ICDH et de la LDH du muscle ST et de la moyenne des muscles (LT, ST et TB) sont significativement différentes en fonction de la race, chez les jeunes bovins, les bœufs et les vaches (Tableau 11).

D'après plusieurs études, la race ne semble pas d'avoir d'effet significatif sur la tendreté globale du LM, (Tableau 12), seuls Schnell et al. (1997), Chambaz et al. (2003) et Picard et al. (2014a) observent un effet significatif. Néanmoins, Jurie et al. (2007) n'observent pas d'effet de la race sur la moyenne de tendreté de 4 muscles (LT, SM, ST et TB) pour des vaches avec les mêmes conditions d'élevage et d'abattage. Contrairement aux jurys d'analyses sensorielles, chez les jeunes bovins, plusieurs études mettent en évidence un effet de la race sur la dureté de la viande de LM mesurée par analyses rhéologiques (Tableau 13). Chez les vaches et les bœufs, les études de Schnell et al. (1997) et de Chambaz et al. (2003) ne mettent pas en évidence d'effet de la race sur la dureté de la viande de LM, alors que Bidner et al. (1986) observent un effet de la race. Pour la jutosité de la viande, chez le bœuf, pour une même durée de maturation, Bidner et al. (1986) mettent en évidence un effet race pour le ST et pas d'effet sur le LM. En revanche, toujours chez le bœuf, Chambaz et al. (2003), avec une durée de maturation plus longue, observent un effet de la race sur le LM. Pour la viande issue de vaches, pour une même durée de maturation, la race n'a pas d'effet sur la jutosité (Schnell et al., 1997; Jurie et al., 2007). Tout comme sur la jutosité, il a été montré que la race avait un effet sur l'intensité de flaveur. Pour des faibles durées de maturation (≤ 5 jours), Bidner et al. (1986) et Bures et al. (2006) observent un effet significatif de la race sur le LM. Cependant, lorsque la durée de maturation est allongée, il semblerait que la race n'ait plus d'effet sur la jutosité du LM (Bidner et al., 1986; Schnell et al., 1997).

Tableau 11 Effet de la race sur les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH) du muscle squelettique

Référence	Type d'animal	Race	Muscle	ICDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)	LDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)
Schreurs et al., 2007	JB ¹ et bœuf	Aubrac	ST ²	0,9 ^{cd}	1126 ^{abcd}
		Blond d'Aquitaine		0,7 ^d	830 ^e
		Charolais		1,2 ^{bd}	1050 ^{bd}
		Limousin		1,2 ^c	1145 ^{ac}
		Montbéliard		2,3 ^a	1093 ^{bc}
		Salers		1,5 ^b	1111 ^{ad}
Listrat et al., 2001	Bœuf	Blonde d'Aquitaine	ST	1,11	1497
		Charolais		1,55	1351
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac	Moyenne des 3 muscles : LM ³ , ST et TB ⁴	1,60 ^a	959 ^b
		Charolais		1,52 ^a	932 ^b
		Limousin		1,41 ^b	1022 ^a
		Salers		1,68 ^a	926 ^b
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac	Moyenne des 3 muscles : LT, ST et TB	1,55 ^a	912 ^b
		Charolais		1,30 ^b	911 ^b
		Limousin		1,23 ^b	1007 ^a
		Salers		1,50 ^a	885 ^b
Jurie et al., 2007	Vache	Holstein	Moyenne des muscles : LT, SM ⁵ , ST et TB		
		Salers			

¹ Jeune bovin ; ² *Semitendinosus* ; ³ *Longissimus* ; ⁴ *Triceps brachii* ; ⁵ *Semimembranosus*

^{a,b,c,d} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 12 Effet de la race sur les propriétés sensorielles de la viande

Référence	Type d'animal	Race	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur	Appréciation globale
Bures et al., 2006	JB ¹	Aberdeen Angus	LM ²	4			5,20/7 ^a	5,75/7 ^a	
		Charolais					4,79/7 ^b	5,41/7 ^b	
		Simmental					4,68/7 ^b	5,28/7 ^b	
		Hereford					5,00/7 ^{ab}	5,46/7 ^b	
Nuernberg et al., 2005	JB	Simmental	LM	12			NS		
		Holstein							
Chambaz et al., 2003	Bœuf	Angus	LM	12	68	4,80/8 ^a	3,62/8 ^c	NS	§
		Simmental				3,98/8 ^b	3,85/8 ^{bc}		
		Charolais				4,59/8 ^{ab}	4,55/8 ^{ab}		
		Limousin				4,77/8 ^a	4,68/8 ^a		
Mandell et al., 1997	Bœuf	Limousin	LM	7	68				
		Charolais							
Jurie et al., 2007	Vache	Holstein	Moyenne des muscles : LM, SM ³ , ST ⁴ et TB ⁵	14	55-60	NS	NS	5,78/10	
		Salers						5,17/10	**
Schnell et al., 1997	Vache	Races laitières	LM	14	70	5,42/8 ^a	NS	NS	
		Croisées Brahman				4,67/8 ^{ab}			
		Races anglaises				4,29/8 ^b			
		Races continentales				4,70/8 ^{ab}			

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus ; ³ Semimembranosus ; ⁴ Semitendinosus ; ⁵ Triceps brachii

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 13 Effet de la race sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement

Référence	Type d'animal	Race	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)	Force de cisaillement (N)
Lafreniere et al., 2012	JB ¹	Croisés Angus	LM ²			4,61	
		Croisés Simmental				5,32	
		Simmental				***	
Nuernberg et al., 2005	JB	Holstein	LM	12		Effet significatif de la race (*). Les JB Holstein sont plus tendre que les JB Simmental.	
Bultot et al., 2002	JB	Blanc Bleu Belge	LM				29 ^b
		Limousin					34 ^a
		Angus					32 ^{ab}
Chambaz et al., 2003	Bœufs	Angus	LM	12	68		NS
		Simmental					
		Charolais					
		Limousin					
		Angus x Hereford x					
Bidner et al., 1986	Bœufs	Brahman	LM	5	70	3,9	
		Angus x Hereford				4,3	
		*					
Schnell et al., 1997	Vaches	Races laitières	LM	14	70		NS
		Croisées Brahman					
		Races anglaises					
		Races continentales					

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$; *** = $P < 0,001$

Jurie et al. (2007) observent pour une durée de maturation de 14 jours, un effet de la race sur la flaveur mais sur une note moyenne de 4 muscles. Sachant, que les muscles sont significativement différents, il est possible que la race n'ait pas le même effet sur chaque muscle pris individuellement.

Les études de Bultot et al. (2002) et de Chambaz et al. (2003) ont également montré que la race avait un effet significatif sur les composantes L* et a* caractérisant la couleur du LM, mais pas sur la composante b*.

En résumé, la race a un effet sur les caractéristiques de la carcasse, des muscles et de la viande. Il faut souligner que les effets de la race sur ces caractéristiques sont fortement liés au type d'animal et à la durée de maturation.

3.1.2 Le type d'animal

Il a été montré à travers différentes études que le type d'animal (jeunes bovins, bœufs, génisses et vaches de réforme) avait un effet significatif sur les caractéristiques de la carcasse. Différentes études ont montré que les jeunes bovins avaient des poids et des rendements plus élevés que les bœufs, les génisses et les vaches (Tableau 14). En revanche, les poids des carcasses entre des génisses et des bœufs (mêmes poids à l'abattage) ou des génisses et des primipares (mêmes âges à l'abattage), ne sont pas significativement différents. Le rendement de la carcasse d'une primipare est également significativement supérieur à celui d'une génisse. Néanmoins, lorsque les jeunes bovins et les bœufs sont abattus plus légers (450 kg vs 580 kg), le type d'animal n'a pas d'effet sur le rendement de la carcasse (Price et al., 1980). Les jeunes bovins ont également une meilleure conformation et une note d'état d'engraissement plus faible par rapport aux bœufs, aux génisses et aux vaches (Tableau 14). Steen et Kilpatrick (1995) mettent également en évidence que les génisses ont une carcasse mieux conformée et une note d'état d'engraissement plus élevée par rapport aux bœufs. La composition de la carcasse est également impactée par le type d'animal. En effet, les jeunes bovins ont une proportion de muscles plus élevée et de tissu adipeux plus faible dans leur carcasse par rapport aux bœufs, aux génisses et aux vaches (Steen et Kilpatrick, 1995; Fiems et al., 2003). Pacheco et al. (2011) n'observent pas de différences significatives de la proportion de chaque constituant de la carcasse (muscle, tissus adipeux et squelette) entre bœufs,

Tableau 14 Effet du type d'animal sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Référence	Race	Type d'animal	Poids carcasse (kg)		Rendement (%)		Conformation	Etat d'engraissement	
Juniper et al., 2007	Holstein and Simmental x Holstein	JB ¹	338,1	***	54,7	***	NS	5,64/15	***
		Boeuf	329,9		56,1			7,24/15	
Fortin et al., 1985	Hereford x Shorthorn	JB	252	**	58,3	*			
		Boeuf	234		57,5				
Price et al., 1980	Charolais et race anglaise	JB (abattage 450 kg) Boeufs (abattage 450 kg)	NS		NS				
Price et al., 1980	Charolais et race anglaise	JB (abattage 580 kg)	347,1	*	59,5	*			
		Boeufs (abattage 580 kg)	337,2		58,3				
Steen et Kilpatrick, 1995	Holstein Limousine x Holstein	JB	Effet significatif (***)		Effet significatif (*)		Effet du type d'animal (***) Les JB sont mieux conformés que les boeufs.	Effet du type d'animal (***) Les génisses ont un engraissement de la carcasse plus élevé que les boeufs qui est plus élevé que les JB.	
		Boeuf	plus lourds que les boeufs et les génisses. Il y a peu de différence entre les boeufs et les génisses.		Les JB sont plus légers que les boeufs.				
Bures et Barton, 2012	Charolais x Simmental	JB	Effet significatif (*)		Effet significatif (*)		NS	Effet significatif (*) Les génisses ont des notes plus élevées par rapport aux JB pour un même âge d'abattage.	
		Génisses	Les génisses sont plus légères que les JB.		Les JB ont un rendement carcasse plus élevé que les génisses.				
Fiems et al., 2003	Blanc Bleu Belge	JB	500,8	**	66,6	***	16,9/18	6,7/15	**
		Vache	469,7		63,8		14,8/18	7,5/15	
Field et al., 1996	Angus x Gelbvieh	Génisses	406 ^a		61,98 ^a				
		Génisses stériles	432 ^b	*	61,28 ^a	*			
		Primipares	414 ^{ab}		63,66 ^b				

¹ Jeune bovin ; ^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

génisses et vaches. Le pH 24h n'est pas significativement différent entre des mâles (jeunes bovins) et des femelles (génisses ou vaches) (Fiems et al., 2003; Bures et Barton, 2012).

Pour une race identique, l'évaluation sensorielle et rhéologique des propriétés de la viande de LM n'est pas significativement différente selon le type d'animal (Fortin et al., 1985; Field et al., 1996; Pacheco et al., 2011; Bures et Barton, 2012) à l'exception de la note de tendreté globale et de la force de cisaillement qui sont significativement différentes entre les jeunes bovins et les génisses (Bures et Barton, 2012). La viande issue de génisses est plus tendre que celle issue de jeunes bovins.

Enfin, Fiems et al., (2003) montrent que la viande de LM provenant d'une vache est significativement plus foncée par rapport à celle d'un jeune bovin.

3.1.2.1 Effet de l'âge à la castration

La castration des jeunes bovins a des effets significatifs sur les caractéristiques de la carcasse, de muscle et de la viande. Néanmoins d'après les résultats de différentes études, l'âge de l'animal lors de sa castration n'accroît pas les effets de la castration observés, au niveau de la carcasse (Lazzaroni et Biagini, 2008; Micol et al., 2009), des propriétés contractiles et métaboliques des muscles RA et TB et des propriétés organoleptiques des muscles LM, RA et TB (Micol et al., 2009; Prado et al., 2015).

3.1.2.2 Effet du rang de vêlage

Le rang de vêlage de la vache n'a pas d'effet significatif sur les caractéristiques de la carcasse (poids, rendement, conformation et état d'engraissement) à partir du 2^{ème} veau jusqu'au 5^{ème} veau (Fiems et al., 2003; Cabaraux et al., 2004). Le pH 24h n'est également pas impacté par la parité de la vache (Fiems et al., 2003). D'après les résultats de Couvreur et al. (2013), il semblerait que la parité des vaches n'a pas d'effet significatif sur les propriétés contractiles des muscles LM et RA. En revanche, pour des vaches jeunes avec moins de 2 vêlages, les proportions des types de fibres dans les muscles LM et RA sont significativement différentes en fonction de leur poids carcasse. Cependant, il y a un effet muscle sur la variation de la proportion de chaque type de fibres. Les vaches jeunes (4 ans) avec un poids carcasse plus faible par rapport aux jeunes vaches (4,5 ans)

avec des carcasses plus lourdes, ont leurs muscles LM et RA plus glycolytiques avec une proportion supérieure de fibres IIX. Entre ces 2 types de vaches, les surfaces moyennes des fibres ne sont pas significativement différentes, pour les 2 muscles. La parité des vaches ne semble également pas avoir d'effet sur les propriétés métaboliques (LDH et ICDH) des muscles LM et RA. Au niveau des propriétés sensorielles de la viande, à notre connaissance seule l'étude de Couvreur et al. (2013) a étudié l'effet de la parité des vaches. Pour le RA, elle ne semble pas avoir d'impact sur la note de tendreté. Néanmoins, les jeunes vaches abattues plus légères produisent une viande de RA significativement moins tendre. La mesure mécanique de la dureté de la viande montre également pour les muscles LM et RA que la parité des vaches n'a pas d'effet significatif (Fiems et al., 2003; Cabaraux et al., 2004; Couvreur et al., 2013).

En résumé, le type d'animal a principalement un impact sur les caractéristiques de la carcasse. Les différences observées pour la note de tendreté et la force de cisaillement entre les jeunes bovins et les génisses peuvent être expliquées par les différences hormonales de ces 2 types d'animaux.

3.2 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours des différentes phases de la vie de l'animal sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande

L'ensemble de la vie des bovins peut être divisé en 3 périodes clés : la période avant sevrage (de la naissance au sevrage), la période de croissance (du sevrage au début de l'engraissement) et la période de finition.

3.2.1 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours de la période avant sevrage de l'animal

D'après les données de la bibliographie, les périodes de naissance des veaux (automne et hiver) n'ont pas de répercussion significative sur le poids et le rendement de leurs carcasses (McIntyre et al., 2009; Durunna et al., 2014). D'après Durunna et al. (2014b), cette période n'a également pas d'effet significatif sur les notes des descripteurs sensoriels et les mesures rhéologiques de la dureté de la viande pour le muscle LM.

Tableau 15 Effet de l'âge au sevrage sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Age sevrage (jours)	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
Blanco et al., 2009	JB ¹	Prada de Montaña et Pirenaica	90	NS	NS	11,2	NS
			150			10,2	
Blanco et al., 2008	JB	Prada de Montaña	90	290	56,9	NS	NS
			180	270	55,2		
			78	351			
			186	336			
Shoup et al., 2015	Boeuf	Angus x Simmental					
Sexten et al., 2012	Boeuf	Angus et Charolais	210	324	61,6		
			300	348	62,6		
Fluharty et al., 2000	Boeuf	Angus	103	NS	NS		
			203				
Myers et al., 1999	Boeuf	Année 1 : Angus x Hereford et Année 2 : Angus x Simmental et Angus x Wagyu	Année 1 : 158 et Année 2 : 177	Pas d'effet de l'âge au sevrage l'année 1 (NS) et effet significatif (*) l'année 2			
			Année 1 : entre 177 et 231 jours et Année 2 : entre 158 et 213 jours				
			Entre 180 et 210				
Lambertz et al., 2015	JB et boeuf	Limousin x Blonde d'Aquitaine et Aubrac x Blonde d'Aquitaine	Entre 180 et 210 + 28	NS	NS	NS	NS

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; § = $P < 0.10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$

En revanche, lorsque des animaux ont une restriction alimentaire avant le sevrage et sont, par la suite, conduits de la même manière que les animaux non restreints du sevrage jusqu'à l'abattage, Hennessy et Morris (2003) observent que les carcasses sont significativement plus lourdes dans le groupe des animaux non restreints. Dans cette étude, la croissance compensatrice n'a pas permis d'atténuer l'effet de la restriction alimentaire avant le sevrage. Cependant, les auteurs n'observent pas d'effet significatif de cette restriction alimentaire sur les propriétés sensorielles de la viande. Grâce à la plasticité du muscle et aux conditions d'élevage qui suivent la restriction alimentaire, les effets de cette restriction sur les propriétés contractiles du muscle sont réversibles (Picard et al. 1995). Par conséquent, les pratiques d'élevage appliquées à la suite de la restriction alimentaire permettent aux animaux restreints de retrouver des propriétés musculaires similaires à celles des animaux non restreints. En revanche, Hennessy et al. (2001) observent qu'en augmentant uniquement la vitesse de croissance des animaux avant sevrage avec une supplémentation en concentrés, les poids des carcasses sont plus élevés par rapport à ceux des veaux non supplémentés, alors que pour la viande de LM, les notes de tendreté et de flaveur sont plus faibles.

En résumé, les pratiques d'élevage mises en œuvre avant le sevrage peuvent avoir des répercussions sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande quelles que soient les pratiques d'élevage appliquées au-delà du sevrage.

3.2.2 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours de la période de croissance de l'animal

En règle générale, l'âge au sevrage n'a pas d'effet significatif sur le poids de la carcasse (Tableau 15). Néanmoins bien que les résultats soient contradictoires, Shoup et al. (2015) avec des sevrages très précoces (78 jours) et Sexten et al. (2012) avec des sevrages très tardifs (300 jours) observent des poids de la carcasse significativement plus élevés. Comme pour le poids de carcasse, les études n'observent en général pas d'effet significatif de l'âge au sevrage sur le rendement, la conformation et la note d'engraissement de la carcasse (Tableau 15). A notre connaissance, seule l'étude de Blanco et al. (2008) a observé les effets de l'âge au sevrage sur les propriétés de la viande. Ces auteurs ne mettent pas en évidence de différence significative de la dureté de la viande de LM mesurée mécaniquement.

Différentes études portant sur cette période de la vie de l'animal ont regardé l'impact de la vitesse de croissance et d'une restriction alimentaire avant le début de la phase de finition. Dans la plupart des études, une croissance rapide durant la phase de croissance engendre des carcasses significativement plus lourdes (Tableau 16). Néanmoins, certaines études faisant également varier la vitesse de croissance ne mettent pas en évidence d'effet significatif de la vitesse de la croissance sur les poids de la carcasse. Dans ces études, il est probable que la pratique d'élevage appliquée durant la finition qui est similaire pour tous les groupes, ait atténué l'effet des pratiques mises en œuvre durant la période de croissance. Durunna et al. (2014a) quant à eux, observent des poids carcasses significativement plus élevés pour les animaux ayant eu une croissance lente. Ce résultat s'explique par le fait que les animaux devaient avoir une épaisseur de gras sous-cutanée de 8 mm pour être abattus et par conséquent les animaux étant dans le groupe de vitesse de croissance lente ont été abattus plus âgés. L'application d'une restriction alimentaire durant la période de croissance a également des effets variables sur le poids de la carcasse en fonction de la composition de la ration (Wertz et al., 2001a). Les croissances discontinues menées dans les études de Wertz et al. (2001a) et de McIntyre et al. (2009) ont conduit à des carcasses plus légères par rapport à celles issues d'animaux ayant eu une croissance continue. Dans la majorité des études, la vitesse de croissance (Tableau 16) et une croissance discontinue (Wertz et al., 2001) n'ont également pas d'effet significatif sur le rendement de la carcasse. McIntyre et al. (2009) observent, cependant, de meilleurs rendements lorsque les animaux ont eu une croissance rapide quelle que soit la période de vêlage. La vitesse de croissance n'a également pas d'effet sur la conformation de la carcasse. Cependant, la croissance la plus rapide conduit à des carcasses avec des notes d'engraissement significativement plus élevées (Guerrero et al., 2013). Enfin, les études ne mettent pas en évidence d'effets de la vitesse de croissance (Tomkins et al., 2006; Durunna et al., 2014b) ou d'une restriction alimentaire (Wertz et al., 2001b), sur la dureté de la viande mesurée mécaniquement sur le LM et le ST ainsi que sur les indicateurs sensoriels du LM. Durant cette période de la vie de l'animal, l'étude de Miller et al. (1987) ne met également pas en évidence un effet du niveau énergétique de la ration sur la dureté de la viande de LT, ST et SM.

En résumé, les résultats montrent que l'âge au sevrage, la vitesse de croissance des jeunes animaux (jeunes bovins, bœufs et génisses) ou une restriction alimentaire durant la période de croissance, peuvent avoir des répercussions sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande

Tableau 16 Effet de la vitesse de croissance avant la période de finition sur le poids et le rendement de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Vitesse de croissance avant la période de finition		Poids carcasse (kg)	Rendement (%)
Durunna et al., 2014	Boeuf		Période de croissance rapide (GMQ ¹ = 1 kg/j)		Effet de la vitesse de croissance (**). Les carcasses sont plus légères avec la croissance rapide	NS
			Période de croissance lente (GMQ = 0,7 kg/j) puis pâturage			
			Croissance lente (GMQ = 0,23 kg/j)	275 ^b		
Neel et al., 2007	Boeuf	Angus croisés	Croissance moyenne (GMQ = 0,45 kg/j)		**	*
			Croissance rapide (GMQ = 0,68 kg/j)	284 ^b		
			Croissance lente : GMQ = 0,2 kg/j pendant 120 j puis pâturage (600 j)	299 ^a		
Tomkins et al., 2006	Boeuf	Belmont Red	Croissance rapide : GMQ = ≥ 0,6 kg/j puis pâturage (600)		NS	NS
			Pas de période de croissance			
			Après sevrage, 3 à 4 mois de pâturage			
Sainz et Paganini, 2004	Boeuf	Angus x Hereford	Après sevrage, 2 phases de pâturage : 3 à 4 mois et 2 mois l'année suivante		NS	NS
			Croissance rapide (régime avec un haut niveau de concentrés + foin, poids abattage 500 kg, GMQ = 1 kg/j)	267,3		
			Croissance lente (au début jusqu'à 400 kg, GMQ de 0,6 kg/j ; puis de 400 à 500 kg, GMQ de 1 kg/j)	260,1		
McIntyre et al., 2009	Boeuf et génisse	Angus et Murray Grey			***	Effet significatif de la vitesse de croissance (***). La croissance rapide permet les meilleurs rendements

¹ Gain moyen quotidien

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 17 Effet de l'âge à l'abattage sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)		Conformation	Etat d'engraissement	
do Prado et al., 2015	JB ¹	Purună x Canchim	16 mois		55		NS		
			22 mois		53,7	§			
Aydin et al., 2013	JB	Brune Suisse et Holstein	17-18 mois	253,1 ^a	55,7 ^a	*	NS	NS	
			19-20 mois	263,9 ^a	55,9 ^a				
			21-22 mois	283,3 ^b	57,3 ^b				
Bures et Barton, 2012	JB	Charolais x Simmental	14 mois	302,3		NS	NS	4,8/15	*
			18 mois	388,2	*			6,8/15	
Sargentini et al., 2010	JB	Maremmana	18 mois			NS	NS		
			24 mois						
Marti et al., 2013	JB et bœuf	Holstein	10 mois	210 ^c	51,9 ^b	***	Effet significatif (**). ↗ de l'âge à l'abattage entraîne des meilleures conformations.	Effet significatif (***) ↗ de l'âge à l'abattage entraîne ↗ des notes d'état d'engraissement.	
			12 mois	252 ^b	53,0 ^a				
			14 mois	293 ^a	52,7 ^a				
Ahnstrom et al., 2012	Génisse	Angus	18 mois	199		***	NS	7,2/15	***
			22 mois	240				10,3/15	
Bures et Barton, 2012	Génisse	Charolais x Simmental	14 mois	256,1		*	NS	5,3/15	*
			18 mois	299,6				8,2/15	
Galli et al., 2008	Vache	Hereford	3 ans			NS	NS		
			4 - 5 ans						
			6 - 8 ans						
			12 ans						

¹ Jeune bovin ; ^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 18 Effet de l'âge à l'abattage sur le poids, le rendement, la conformation de la carcasse (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation
Sawyer et al., 2004	Vache	Hereford et Angus x Hereford	3 - 4 ans	329,8	53,67	Effet significatif (***) Le poids augmente avec l'âge en atteignant un poids max = 426 kg à 7 ans puis il décroît.
			5 - 6 ans	328,4	54,11	
			7 - 8 ans	311,7	52,73	
			9 ans et plus	287,9	50,6	
Pierret et al., 2002	Vache	Charolais	≥ 8 ans	Effet significatif (***) Le poids augmente avec l'âge en atteignant un poids max = 426 kg à 7 ans puis il décroît.	NS	Effet significatif (***) La conformation décroît régulièrement avec l'âge
			6 - 8 ans			
			4 - 6 ans			
			< 4 ans			
Muller et al., 1992	Vache	Angus	6 - 7 ans	NS	NS	
			8 - 9 ans			
			plus de 9 ans			
Muller et al., 1992	Vache	Charolais	6 - 7 ans	188,6 ^a	51,1 ^a	NS
			8 - 9 ans	193,8 ^b	51,2 ^a	
			plus de 9 ans	200,6 ^b	48,4 ^b	
			5 ans	NS	NS	
Dumont et al., 1991	Vache	Charolais	11 ans	NS	NS	
			31 mois	389 ^a	NS	
Field et al., 1996	Génisse et vache	Angus x Gelbvieh	33 mois	424 ^b		
			35 mois	439 ^b		

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($P > 0.05$); * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

3.2.3 Effet individuel des facteurs d'élevage au cours de la période de finition de l'animal

La période de finition est la période de la vie de l'animal pour laquelle le plus grand nombre de résultats est disponible.

3.2.3.1 Age à l'abattage

Plusieurs études ont mis en évidence que l'âge à l'abattage avait des effets sur les caractéristiques de la carcasse, cependant, ce facteur d'élevage a des effets différents en fonction du type d'animal considéré. Chez les jeunes bovins, l'augmentation de l'âge à l'abattage permet d'augmenter le poids de la carcasse. Cependant, d'après les résultats d'Aydin et al. (2013), entre 17 et 20 mois, une augmentation de l'âge à l'abattage des jeunes bovins de races laitières, ne permet pas d'augmenter significativement le poids de la carcasse.

Pour la race bouchère Maremmana, les animaux abattus entre 18 et 24 mois n'ont pas leurs poids de carcasse significativement différents (Sargentini et al., 2010). Pour les races laitières, une augmentation de l'âge à l'abattage permet d'améliorer significativement le rendement de la carcasse. Cependant, tout comme pour le poids de la carcasse, il semblerait qu'entre certains âges, le rendement de la carcasse ne soit pas significativement amélioré. En revanche, pour les races bouchères ou croisées avec une race bouchère, le rendement de la carcasse n'est pas impacté significativement par une augmentation de l'âge à l'abattage. Chez les jeunes bovins, l'âge à l'abattage n'a pas d'effet sur la conformation sauf pour des animaux abattus jeunes entre 10 et 14 mois où dans cette situation un animal abattu plus âgé aura une meilleure conformation (Marti et al., 2013). Jusqu'à l'âge de 18 mois, il semblerait qu'un abattage plus tardif du jeune bovin permette une note d'état d'engraissement de la carcasse plus élevée (Bures et Barton, 2012; Marti et al., 2013). Au-delà de 17 mois, Aydin et al. (2013) n'observent pas d'augmentation significative de la note d'état d'engraissement de la carcasse. Comme pour le jeune bovin, l'augmentation de l'âge d'abattage des génisses permet d'avoir des carcasses plus lourdes (Ahnstrom et al., 2012; Bures et Barton, 2012). Pour ce type d'animal, une augmentation de l'âge à l'abattage ne permet pas d'améliorer significativement le rendement et la conformation de la carcasse à l'exception de Pierret et al. (2002) qui observent une amélioration significative de la conformation de la carcasse lorsque les génisses sont abattues plus tardivement. Contrairement aux jeunes bovins, l'état d'engraissement de la carcasse augmente toujours significativement avec l'âge à l'abattage, chez la génisse (Tableau 18). Pour les vaches, l'effet de l'âge à l'abattage sur le poids de la carcasse est

Tableau 19 Effet de l'âge à l'abattage sur la composition de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Composition de la carcasse (kg)			Composition de la carcasse (%)		
				Muscle	Tissu adipeux	Squelette	Muscle	Tissu adipeux	Squelette
do Prado et al., 2015	JB ¹	Purunã x Canchim	16 mois				NS	NS	NS
			22 mois						
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	269 ^c	66 ^c	56 ^c			
			19 mois	342 ^b	83 ^b	67 ^b	***	***	***
			24 mois	406 ^a	119 ^a	75 ^a			
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	4 - 5 ans	NS	NS	NS	NS	NS	NS
			6 - 7 ans						
			8 - 9 ans						
Shemeis et al., 1994	Vache	Holstein	< 3 ans						
			3 - 4,5 ans						
			> 4,5				NS	NS	NS
Dumont et al., 1991	Vache	Charolais	5 ans	NS	NS	NS	NS	NS	
			11 ans						

¹ Jeune bovin

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; *** = $P < 0,001$

double dans certaines études. En effet le poids de la carcasse augmente avec l'âge à l'abattage ou reste stable (Muller et al., 1992; Field et al., 1996). A partir de 7 ans, dans certaines études, l'effet de ce facteur s'inverse (Pierret et al., 2002; Sawyer et al., 2004). En revanche, d'autres études ne mettent pas en évidence une évolution significative du poids de la carcasse avec l'âge à l'abattage (Muller et al., 1992; Field et al., 1996; Galli et al., 2008). La majorité des études réalisées sur les vaches montre qu'une augmentation de l'âge à l'abattage ne permet pas d'améliorer significativement le rendement de la carcasse (Dumont et al., 1991; Muller et al., 1992; Field et al., 1996; Galli et al., 2008) et la conformation (Muller et al., 1992). Cependant, d'autres études observent un effet négatif de l'âge à l'abattage sur le rendement (Muller et al., 1992; Sawyer et al., 2004) et la conformation (Pierret et al., 2002) de la carcasse lorsque les vaches sont abattues très tardivement. Les différentes études réalisées chez la vache ne mettent pas en évidence d'effet significatif de l'âge à l'abattage sur la composition de la carcasse (Tableau 19). Cette stabilité peut être expliquée par le fait que les vaches ont terminé leur croissance. Les résultats de Jurie et al. (2005) mettent en évidence que l'abattage des jeunes bovins plus âgés permet une augmentation significative du poids des muscles, du tissu adipeux et du squelette. A partir de ces résultats, il n'est pas possible de montrer si l'un de ces 3 compartiments de la carcasse a une évolution différente au cours du temps. Néanmoins, chez le jeune bovin entre 16 et 22 mois, Prado et al. (2015) ne mettent pas en évidence d'effet significatif de l'âge à l'abattage sur la proportion de chaque compartiment de la carcasse.

Plusieurs études ont observé une augmentation significative du pH 24h avec des animaux abattus relativement jeunes (< 18 mois), en revanche, il semblerait que le fait d'abattre les animaux plus âgés n'a pas d'effet sur le pH 24h (Tableau 20).

Au niveau des muscles LM et ST, la taille des fibres des jeunes bovins et des bœufs, devient plus large pour les animaux plus âgés (Tableau 21). Cependant, à partir de 19 mois, la surface moyenne des fibres du LM n'augmente plus significativement (Jurie et al., 2002) et celle du muscle ST commence à diminuer à partir de 16 mois (Brandstetter et al., 1998). Avec l'âge, les muscles des jeunes bovins deviennent plus oxydatifs et moins glycolytiques (Jurie et al., 2002 et 2005). Un abattage plus tardif chez les jeunes bovins a pour conséquence de rendre plus oxydatif le muscle LM et la moyenne des 3 muscles : LM, ST et TB (Jurie et al., 2002 et 2005). En revanche, chez les bœufs abattus plus jeunes que les jeunes bovins, Brandstetter et al. (1998) observent l'effet inverse. Une diminution de l'activité de l'ICDH est également observée pour les muscles TB et *Biceps femoris* (BF) alors que le ST ne semble pas être impacté. L'activité enzymatique de la LDH

Tableau 20 Effet de l'âge d'abattage sur le pH 24h de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Age d'abattage	pH 24h
Bures et Barton, 2012	JB ¹	Charolais x Simmental	14 mois	5,44
			18 mois	5,49
Marti et al., 2013	JB et boeuf	Holstein	10 mois	5,5 ^c
			12 mois	5,7 ^a
			14 mois	5,6 ^b
Ahnstrom et al., 2012	Génisse	Angus	18 mois	NS
			22 mois	
Bures et Barton, 2012	Génisse	Charolais x Simmental	14 mois	5,43
			18 mois	5,46
Galli et al., 2008	Vache	Hereford	3 ans	NS
			4 - 5 ans	
			6 - 8 ans	
			12 ans	

¹ Jeune bovin

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; *** = $P < 0,001$

Tableau 21 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés contractiles et structurales du muscle squelettique

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Muscle	Type de fibre (%)			Surface de fibre ¹ (µm ²)				Surface ¹ moyenne (µm ²)							
					SO ² ou I	FOG ³ ou IIA	FG ⁴ ou IIB	SO ou I	FOG ou IIA	FG ou IIX	SO ou I	FOG ou IIA	FG ou IIX	SO ou I	FOG ou IIA	FG ou IIX			
Jurie et al., 2002	JB ⁵	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	LM ⁶	37,8 ^a	15,4 ^a								2973 ^a			*		
			19 mois		35,9 ^a *	13,3 ^{ab}	*									3505 ^b			
			24 mois		42,1 ^b	11,7 ^b												3782 ^b	
Brandstetter et al., 1998	Bœuf	Montbéliard	4 mois	LM	24,5	32,2	43,3	417	727	1337					914				
			8 mois		22,2	34,1	43,7	916	1327	2092						1570			
			12 mois		24,6	18,9	56,5	1230	1661	2499						2020			
			16 mois		25,5	24,5	50	1899	2311	3182						2641			
Brandstetter et al., 1998	Bœuf	Montbéliard	4 mois	ST ⁷	7,7	32,1	42,1	677	1003	1980					1342				
			8 mois		17,9	30,3	51,8	1072	1250	1765						1473			
			12 mois		17,1	23,4	59,5	1480	1842	2876						2364			
			16 mois		22,3	27,7	50	1698	1951	2690						2271			
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	moyenne sur 3 muscles : LT, ST et TB ⁸	25,9 ^b	21,6 ^a		2372 ^c	2959 ^b	4480 ^b				3630 ^a			***		
			19 mois		24,5 ^b *	20,8 ^a *	3141 ^b *	3444 ^a *	5052 ^a *						4274 ^b				
			24 mois		29,4 ^a	17,4 ^b	NS	4099 ^a	4777 ^c	6024 ^c					5255 ^c				
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	4 - 5 ans	moyenne sur 3 muscles : LT, ST et TB	NS	NS	NS	NS	NS	NS				NS			NS		
			6 - 7 ans		NS	NS	NS	NS	NS										
			8 - 9 ans		NS	NS	NS	NS	NS										

¹ Surface moyenne de section des fibres ; ² Slow oxidative ; ³ Fast glycolytic ; ⁴ Fast oxido-glycolytic ; ⁵ Jeune bovin ; ⁶ Longissimus ; ⁷ Semitendinosus ; ⁸ Triceps brachii

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

* = $P < 0,05$; *** = $P < 0,001$

Tableau 22 Effet de l'âge à l'abattage sur les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH) du muscle squelettique

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Muscle	ICDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)	LDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)
Jurie et al., 2002	JB ¹	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	LM ²	1,8 ^a	977 ^a
			19 mois		1,9 ^a	891 ^b
			24 mois		2,1 ^b	826 ^b
Brandstetter et al., 1998	Bœuf	Montbéliard	4 mois	LM	0,4	330,9
			8 mois		0,6	411,6
			12 mois		0,5	412
			16 mois		0,4	451,6
Brandstetter et al., 1998	Bœuf	Montbéliard	4 mois	ST ³	1,0	306,0
			8 mois		0,7	380,2
			12 mois		0,7	439,4
			16 mois		0,6	342,9
Brandstetter et al., 1998	Bœuf	Montbéliard	4 mois	TB ⁴	0,8	293,1
			8 mois		1,6	340,2
			12 mois		1,3	303,9
			16 mois		1,0	419,0
Brandstetter et al., 1998	Bœuf	Montbéliard	4 mois	BF ⁵	0,6	294,9
			8 mois		0,8	375,8
			12 mois		0,7	367,1
			16 mois		0,4	393,4
Jurie et al., 2005	JB	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	Moyenne sur 3 muscles : LM, ST et TB	1,5	1003
			19 mois		1,5	961
			24 mois		1,7	914
Jurie et al., 2006a	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	4 - 5 ans	Moyenne sur 3 muscles : LM, ST et TB	NS	NS
			6 - 7 ans			
			8 - 9 ans			

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus ; ³ Semitendinosus ; ⁴ Triceps brachii ; ⁵ Biceps femoris

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$

n'est quant à elle pas trop impactée par le vieillissement de l'animal pour les muscles ST et BF, alors que pour le TB, elle augmente fortement à partir de 16 mois (Tableau 22). Chez les vaches, entre 5 et 10 ans, ce facteur d'élevage n'a pas d'effet significatif sur les propriétés musculaires, structurales et métaboliques de la moyenne des 3 muscles (LT, ST et TB) qui ont des caractéristiques individuellement différentes (Jurie et al., 2006a).

L'impact de l'âge à l'abattage sur les caractéristiques de la viande est variable en fonction du type d'animal et du muscle considérés (Tableau 23, Tableau 24 et Tableau 25). En effet, chez le jeune bovin, Bures et Barton (2012) observent un attendrissement de la viande de LM pour des abattages à 18 mois par rapport à des abattages à 14 mois avec une durée de maturation de 7 jours au maximum. En revanche, Powell (1991) observe un durcissement du LM pour les taureaux abattus à 54 mois par rapport à des jeunes bovins abattus à 18 mois. Dransfield et al. (2003) ne mettent pas évidence un effet significatif de l'âge à l'abattage des jeunes bovins entre 15, 19 et 24 mois sur la note de tendreté des muscles ST et TB. Contrairement aux jeunes bovins, quelle que soit la durée de maturation, Ahnstrom et al. (2012) (abattages 18 ou 22 mois) et Bures et Barton (2012) (abattages 14 ou 18 mois) observent une augmentation significative de la note de tendreté du LM lorsque les génisses sont abattues plus âgées. Dans la majorité des études (Tableau 23 et Tableau 24), les auteurs ne mettent pas en évidence d'effet significatif de l'âge à l'abattage des vaches sur la note de tendreté quel que soit le muscle étudié (LM, ST et TB). Cependant, Dumont et al. (1991) pour la race Charolaise et Dransfield et al. (2003) pour la race Salers observent un durcissement, respectivement, du LM et du TB lorsque les vaches sont abattues plus âgées. Avant maturation de la viande, Marti et al. (2013) mettent en évidence une diminution significative de la dureté de la viande de la viande mesurée mécaniquement avec une augmentation de l'âge à l'abattage. En revanche, après maturation de la viande, quel que soit le type d'animal étudié et l'âge à l'abattage, la force de cisaillement n'est pas significativement différente (Tableau 26). D'après les résultats obtenus chez le jeune bovin, la durée de maturation semble atténuer les effets de l'âge à l'abattage sur la dureté de la viande. Muller et al. (1992) observent, néanmoins, une augmentation significative de la dureté de la viande de LM pour des vaches de race Angus de plus de 9 ans. Cette même étude a été réalisée sur des vaches de race Charolaise et dans cette situation, Muller et al. (1992) ne montrent pas de différence significative. D'après ces résultats, il semblerait qu'il existe, pour les vaches, une relation entre la race et l'âge à l'abattage. La jutosité du LM augmente significativement avec l'âge d'abattage lorsque la maturation est de 7 jours au maximum, chez les jeunes bovins (Bures et Barton, 2012; Marti et al., 2013).

Tableau 23 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur
Bures et Barton, 2012	JB ¹	Charolais x Simmental	14 mois	LM ²	4 et 7	75	↗ note de tendreté quel que soit la durée de maturation (*)	↗ note de jutosité quel que soit la durée de maturation (*)	
			18 mois						
Dransfield et al., 2003	JB	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	LM	14	70	NS	NS	NS
			19 mois						
			24 mois						
Powell, 1991	JB	Hereford et croisés Hereford	18 mois	LM	24 h et 21 jours		Après maturation les notes de tendreté sont plus faibles. Les notes de tendreté sont également plus faibles pour les animaux abattus plus âgés.	NS	
			54 mois						
Marti et al., 2013	JB et bœuf	Holstein	10 mois	LM	7	60		2,5/10 ^b	NS
			12 mois					2,6/10 ^b	
			14 mois					2,7/10 ^a	
Ahnstrom et al., 2012	Génisse	Angus	18 mois	LM	14 jours	70	Effet significatif (***) Les génisses abattues les plus âgées sont plus tendre	NS	
			22 mois						
			4 - 5 ans						
			6 - 8 ans						
			12 ans						

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$; *** = $P < 0,001$

Tableau 24 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur
Bures et Barton, 2012	Génisse	Charolais x Simmental	14 mois	LM ¹	4 et 7	75	↗ note de tendreté (*)	↗ note de jutosité (*)	
			18 mois						
			3 ans						
Galli et al., 2008	Vache	Hereford	4 - 5 ans	LM		85		NS	NS
			6 - 8 ans						
			12 ans						
			14 ans						
Dransfield et al., 2003	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin	4 - 5 ans	LM	14	70	NS	NS	NS
			6 - 7 ans						
			8 - 9 ans						
Dransfield et al., 2003	Vache	Salers	4 - 5 ans	LM	14	70	NS	6,5/10	NS
			6 - 7 ans					6/10	
			8 - 9 ans					5,1/10	
Field et al., 1996	Génisse et vache	Angus x Gelbviech	31 mois	LM	14	74	NS		
			33 mois						
			35 mois						
Muller et al., 1992	Vache	Angus	6 - 7 ans	LM		70	NS	NS	
			8 - 9 ans						
			Plus de 9 ans						
Muller et al., 1992	Vache	Charolais	6 - 7 ans	LM		70	NS	NS	
			8 - 9 ans						
			Plus de 9 ans						
Dumont et al., 1991	Vache	Charolais	5 ans	LM	14	55 - 60	Effet significatif (*). Les vaches jeunes sont plus tendres que les âgées	NS	NS
			11 ans						

¹ Longissimus

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$

Tableau 25 Effet de l'âge à l'abattage sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 3)

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur
Dransfield et al., 2003	JB ¹	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	ST ²	14	70	NS	NS	NS
			19 mois						
			24 mois						
Dransfield et al., 2003	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	4 - 5 ans	ST	14	70	NS	NS	NS
			6 - 7 ans						
			8 - 9 ans						
Dransfield et al., 2003	JB	Aubrac, Charolais, Limousin et Salers	15 mois	TB ³	14	70	NS	NS	NS
			19 mois						
			24 mois						
Dransfield et al., 2003	Vache	Aubrac, Charolais, Limousin	4 - 5 ans	TB	14	70	NS	NS	NS
			6 - 7 ans						
			8 - 9 ans						
Dransfield et al., 2003	Vache	Salers	4 - 5 ans	TB	14	70	5,7/10	NS	NS
			6 - 7 ans				4,8/10		
			8 - 9 ans				4,4/10		

¹ Jeune bovin ; ² *Semiteminosus* ; ³ *Triceps brachii*

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$

Tableau 26 Effet de l'âge à l'abattage sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement

Référence	Type d'animal	Race	Age abattage	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)	Force de cisaillement (N)
Bures et Barton, 2012	JB ¹	Charolais x Simmental	14 mois 18 mois	LM ²	4 et 7	75		NS
Sargentini et al., 2010	JB	Maremmana	18 mois 24 mois	LM et TB ³			NS	
Powell, 1991	JB	Hereford et croisés Hereford	18 mois 54 mois	LM	24 h et 21 jours		Après maturation, la viande est moins dure. La force de cisaillement est plus faible pour les animaux plus âgés.	
Marti et al., 2013	JB et bœuf	Holstein	10 mois 12 mois 14 mois	LM	7	70	Effet significatif sans maturation (***) et avec maturation (NS). Les bœufs ont une force de cisaillement plus faible que les JB.	
Bures et Barton, 2012	Génisse	Charolais x Simmental	14 mois 18 mois	LM	4 et 7	75		NS
Galli et al., 2008	Vache	Hereford	3 ans 4 - 5 ans 6 - 8 ans 12 ans	LM		85		NS
Muller et al., 1992	Vache	Angus	6 - 7 ans 8 - 9 ans Plus de 9 ans	LM		70	7,9 ^a 7,7 ^a 10,0 ^b	*
Muller et al., 1992	Vache	Charolais	6 - 7 ans 8 - 9 ans Plus de 9 ans	LM		70		NS
Field et al., 1996	Génisse et vache	Angus x Gelbvieh	31 mois 33 mois 35 mois	LM	14	74		NS

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus, ³ Triceps brachii ; ^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$),

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; *** = $P < 0,001$

Tableau 27 Effet du poids avant abattage sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Poids abattage (kg)	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
do Prado et al., 2015	JB ¹	Purună x Canchim	422		NS	12,5/18 ^c	
			470			13,9/18 ^b	
			550			15,2/18 ^a	
Ellies-Oury et al., 2012	Bœuf	Charolais	674	403		NS	NS
			751	463			
McEwen et al., 2007	Bœuf	Angus	550	314,7	NS		
			600	342,7			
McEwen et al., 2007	Bœuf	Charolais	600	345,9	55,7		
			650	374,9	55,9		
			700	405,6	56,7		
Keane et Allen, 1998	JB et bœuf	Charolais x Holstein	640	347	NS	NS	3,39/5
			720	395			3,87/5

¹ Jeune bovin

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; *** = $P < 0,001$

En revanche, lorsque la durée de maturation est plus élevée, l'impact de ce facteur d'élevage disparaît (Powell, 1991; Dransfield et al., 2003). Pour les génisses, Bures et Barton (2012) observent qu'un abattage plus tardif a un effet significativement positif sur la jutosité du LM alors que Ahnstrom et al. (2012) n'observent pas d'effet. Dans cette situation, il est très difficile de trouver une explication à cette différence car entre ces 2 études, il y a de nombreux facteurs (race, âge d'abattage et durée de maturation) qui varient. Il est donc difficile de conclure sur les effets de l'âge à l'abattage sur la jutosité du muscle LM, chez la génisse. Pour une durée de maturation identique (14 jours), les études réalisées sur des vaches montrent que ce facteur d'élevage n'impacte pas significativement la jutosité du muscle LM. Il faut noter l'exception de la race Salers qui est moins juteuse lorsque la vache est abattue plus âgée. Avec une maturation de 14 jours, l'âge à l'abattage n'a pas d'effet significatif sur la jutosité des muscles ST et TB, chez les jeunes bovins et les vaches. Les études ne mettent également pas en évidence un effet significatif de l'âge à l'abattage sur l'intensité de flaveur (Tableau 23, Tableau 24 et Tableau 25) quels que soient le type, la race de l'animal et la durée de maturation de la viande.

Enfin, différentes études montrent que l'âge à l'abattage a un effet significatif sur certaines composantes de la couleur, chez les jeunes bovins. Cependant, comme peu d'études ont analysé cet effet, il est difficile de les comparer car il y a plusieurs paramètres qui diffèrent (la race, le muscle, les âges d'abattage, etc.), rendant difficile l'interprétation de l'effet seul de l'âge à l'abattage sur la couleur de la viande. Chez la vache, Galli et al. (2008) dans leur étude n'observent pas d'effet significatif de l'âge à l'abattage sur la couleur du LM.

En résumé, les effets de l'âge à l'abattage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande sont fortement liés au type d'animal.

3.2.3.2 Poids vif avant abattage

Les études recensées mettant en évidence des effets du poids vif avant l'abattage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande ont été réalisées majoritairement chez des bœufs et des jeunes bovins. Ces études montrent qu'une augmentation du poids avant abattage augmente significativement le poids de la carcasse (Tableau 27). En revanche, l'étude de McEwen et al. (2007) met en évidence une augmentation significative du rendement de la

Tableau 28 Effet du poids avant abattage sur les propriétés sensorielles de la viande

Référence	Type d'animal	Race	Poids abattage (kg)	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur	Appréciation globale
McEwen et al., 2007	Bœuf	Angus	550	LM ¹	14	70	NS	NS	NS	
			600							
Keane et Allen, 1998	JB ² et bœuf	Charolais x Holstein	640	LM	10	5,1/8	*	3,75/8	NS	NS
			720			5,62/8				
Lucero-Borja et al., 2014	Génisse	Angus	381- 420	LM	3, 7 et 14	71	NS	NS		
			300-340							
Ellies-Oury et al., 2012	Bœuf	Charolais	674	RA ³	14	55	6,22/10	NS	6,07/10	
			751				6,79/10		6,48/10	

¹ Longissimus ; ² Jeune bovin ; ³ Rectus abdominis

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$

carcasse avec une augmentation de ce poids. Peu d'études ont observé les effets de ce paramètre sur la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse. En effet, Keane et Allen (1998) et Ellies-Oury et al. (2012) ne mettent pas en évidence de variation significative de la conformation avec le poids avant abattage alors que do Prado et al. (2015) observent une amélioration significative de la conformation. Cette différence peut être expliquée par le fait que dans l'étude de do Prado et al. (2015), la race étudiée présente un patrimoine génétique de zébu (*bos indicus*) et que les animaux sont abattus plus légers. Concernant l'état d'engraissement de la carcasse, Ellies-Oury et al. (2012) ne mettent pas en évidence d'effet significatif d'une augmentation du poids avant abattage sur l'état d'engraissement de la carcasse. En revanche, Keane et Allen (1998) détectent une augmentation significative de l'engraissement de la carcasse avec l'augmentation de ce poids chez des animaux croisés race viande x race laitière. L'effet du poids avant abattage sur la composition de la carcasse a été également étudié. Do Prado et al. (2015) mettent en évidence des effets significatifs d'une augmentation du poids avant abattage sur la composition de la carcasse. La proportion de tissu adipeux augmente significativement alors que celles du muscle et du squelette diminuent significativement. En revanche, Ellies-Oury et al. (2012) ne mettent pas en évidence d'augmentation significative de la proportion du tissu adipeux lorsque le poids avant l'abattage augmente. Il semblerait que les effets du poids avant abattage sur les caractéristiques de la carcasse soient différents en fonction de la race étudiée. Enfin, l'étude de Ellies-Oury et al. (2012) ne met pas en évidence d'effet significatif du poids avant abattage sur le pH 24h.

Concernant les caractéristiques musculaires, à notre connaissance seule l'étude de Vestergaard et al. (2000) a étudié l'effet de ce facteur d'élevage, chez le jeune bovin. Pour les muscles LM et ST, lorsque les jeunes bovins sont abattus plus lourds, les auteurs mettent en évidence une diminution significative de la proportion de fibres IIA (rapides oxydo-glycolytiques). La surface moyenne des fibres augmente significativement avec l'augmentation du poids avant abattage de manière plus marquée dans le ST que dans le LM. Enfin, l'activité enzymatique de la LDH de ces 2 muscles n'est pas impactée significativement par une augmentation du poids avant abattage (Vestergaard et al., 2000).

Au niveau des propriétés de la viande de LM, seuls Keane et Allen, (1998) observent une augmentation significative de la note de tendreté et de jutosité avec une augmentation du poids avant abattage (Tableau 28). Par rapport aux autres études, les animaux de l'étude de Keane et Allen, (1998) sont abattus plus lourds. Ainsi, il semblerait que cette différence apparaisse uniquement pour des animaux abattus lourds (> 700 kg). Pour le muscle LM, comme pour la note

de tendreté, McEwen et al. (2007) et Lucero-Borja et al. (2014) n'observent pas de variation significative de la force de cisaillement lorsque les animaux sont abattus plus lourds. Pour la viande de RA, Ellies-Oury et al. (2012) observent également une tendance d'attendrissement de la viande lorsque les animaux sont abattus plus lourds mais pas d'effet sur la jutosité. Concernant, la flaveur de manière générale pour la viande de LM, les études ne mettent pas en évidence d'effet significatif de ce poids. Pour la viande de RA, Ellies-Oury et al. (2012) observent une tendance à une augmentation de l'intensité de la flaveur lorsque le poids à l'abattage augmente.

Enfin, Keane et Allen (1998) observent que la viande de LM est plus claire lorsque les animaux sont abattus plus lourds.

En résumé, l'abattage des animaux plus lourds semblent être favorable à l'amélioration des caractéristiques de la carcasse et de la tendreté de la viande. Cependant, ces conclusions ne s'appliquent qu'aux jeunes bovins et aux bœufs.

3.2.3.3 Note d'état corporel

La note d'état corporel (NEC) est un système de notation de 0 à 9 (Richards et al., 1986). La NEC permet d'évaluer l'état d'engraissement de l'animal vivant et plus la note est élevée plus l'animal est gras.

Les effets de la NEC des vaches de réforme avant abattage ont été étudiés sur les caractéristiques de la carcasse, dans peu d'étude. Ces effets sont différents en fonction du type de race : laitière vs viande. Pour des vaches de race laitière, Moreno et al. (2012) n'observent pas de différences significatives entre 2 groupes d'animaux avec des notes de NEC extrêmes (NEC < 5 vs NEC > 5). En revanche, Apple (1999) pour des races à viande, observe une augmentation significative du rendement de la carcasse associée à une augmentation de NEC lorsque les vaches ont une NEC > 7, et du poids de la carcasse lorsque les vaches ont une NEC > 6. Dans leur étude, Semeis et al. (1994) observent qu'une augmentation de la NEC induit une augmentation significative de la part de tissus adipeux dans la carcasse et une diminution significative de celles du muscle et du squelette.

Tableau 29 Effet de la durée de la finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Durée finition (jour)	Poids carcasse chaude (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement	
Oezluetuerk et al., 2008	JB ¹	Eastern Anatolian Red	168	207	NS			
			210	234,2				
Keane et al., 2006	Bœuf	Holstein et Holstein x Charolais	105	297,6		NS	3,36/5	
			175	331,1			3,55/5	
Sugimoto et al., 2012	Vache	Japanese Black	0	251,8	50,6			
			89	335,3	55,8			
			208	460	60,6			
			271	474	61,6			
			341	459,3	60,3			
Franco et al., 2009	Vache	Holstein	30	NS	43,4	NS	NS	
			60		49,4			
Vestergaard et al., 2007	Vache	Danish Holstein	7	248 ^a	45,1 ^a	2,28/5 ^a	1,99/5 ^a	
			60	295 ^b	47,3 ^b	3,40/5 ^b	3,02/5 ^b	
			120	337 ^c	48,5 ^c	4,43/5 ^c	3,69/5 ^c	
Dumont et al., 1997	Vache	Charolais	80	403,9	55	R ⁺		
			58	380,4	53,4	R ⁼		
Schnell et al., 1997	Vache	Races laitières, croisées Brahman, races anglaises et races continentales	0	256 ^b	49,50 ^b			
			14	237 ^b	49,41 ^b			
			28	295 ^a	53,14 ^a			
			42	298 ^a	52,64 ^a			
			56	319 ^a	52,66 ^a			
Dumont et al., 1991	Vache	Charolais	0	337				
			70	400				53,4
			109	429				54,0
Malterre et al., 1989	Vache	Limousine	0	297 ^a		NS		
			79	344 ^b				
			123	364 ^b				

¹ Jeune bovin ; ^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

3.2.3.4 *Durée de la finition*

La durée de finition est un facteur d'élevage qui est principalement étudié chez les vaches de réforme. En règle générale, quel que soit le type d'animal (vaches, jeunes bovins ou bœufs), un allongement de la durée de finition permet d'augmenter significativement le poids et le rendement de la carcasse (Tableau 29). Cependant, dans certaines études, l'allongement de la durée de finition n'a pas d'effet significatif sur le poids et le rendement de la carcasse (Malterre et al., 1989; Schnell et al., 1997). Dans les études de Dumont et al. (1991) et de Sugimoto et al. (2012), lorsque les vaches sont abattues lourdes (> 400 kg), le rendement de la carcasse reste stable quelle que soit la durée de finition. Peu de travaux ont étudié l'effet de la durée de finition sur la conformation. D'après les résultats de Dumont et al. (1997) et Vestergaard et al. (2007), un allongement de la durée de finition permet d'améliorer la conformation de la carcasse chez la vache (Tableau 29). En revanche, Keane et al. (2006) et Franco et al. (2009) ne mettent pas en évidence d'effet significatif de ce facteur d'élevage sur la conformation, chez le bœuf et la vache, respectivement. Concernant l'état d'engraissement de la carcasse, les résultats obtenus sur des races laitières montrent que les notes d'état d'engraissement augmentent également avec un allongement de la durée de finition (Keane et al., 2006; Vestergaard et al., 2007). En revanche, Franco et al. (2009) ne mettent pas en évidence cet effet. En accord avec les résultats observés sur l'état d'engraissement, la proportion de tissu adipeux dans la carcasse augmente avec un allongement de la période de finition chez la vache de race Charolaise (Dumont et al., 1991; Dumont et al., 1997) tandis que chez la vache de race Limousine, Malterre et al. (1989) ne mettent pas en évidence d'effet. La proportion de muscle quant à elle, semble diminuer ou n'est pas impactée par un allongement de la période de finition. Quelques études montrent également qu'une augmentation de la durée de finition induit une augmentation du pH 24 h de la carcasse (Vestergaard et al., 2007, Franco et al., 2009). Cependant, d'après les résultats de Vestergaard et al. (2007), à partir de 2 mois de finition, il semblerait que la valeur du pH 24 h n'augmente plus significativement.

A notre connaissance, l'effet de la durée de finition sur les propriétés musculaires n'a pas été étudié.

Dans plusieurs études utilisant principalement des races laitières ou mixtes, les auteurs ne mettent pas en évidence d'effet significatif d'une augmentation de la durée de finition sur la

Tableau 30 Effet de la durée de finition sur les propriétés sensorielles de la viande

Référence	Type d'animal	Race	Durée finition (jour)	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur
Oezluetuerk et al., 2008	JB ¹	Eastern Anatolian Red	168	Moyenne LM ² , GM ³ et QF ⁴		70	NS	5,39/9	NS
			210					6,10/9	
Camfield et al., 1997	Bœuf	Croisés races anglaises x continentales	0	LM		70	NS	NS	5,25/8 ^a
			30						5,40/8 ^{ab}
			60						5,41/8 ^{ab}
			90						5,58/8 ^b
Miller et al., 1987	Bœuf	Simmental	0	LM	7	70	NS	NS	NS
			56						
			112						
			168						
Vestergaard et al., 2007	Vache	Danish Holstein	7	LM	16	62-65	NS	10,2/15	§
			60					10,4/15	
			120					9,9/15	
								8,5/15	
Schnell et al., 1997	Vache	Races laitières, croisées Brahman, races anglaises et races continentales	0	LM	14	70	4,75/8 ^b	NS	NS
			14				3,87/8 ^c		
			28				5,16/8 ^{ab}		
			42				4,44/8 ^{bc}		
			56				5,61/8 ^a		
							*		
Dumont et al., 1991	Vache	Charolais	0	LM	14	55 - 60	4,13/10	**	5,01/10
			109				6,23/10		5,36/10
							NS		NS
Hawrysh et Price, 1981	Vache		0	LM	7	61	NS	NS	NS
			56						
			112						
Miller et al., 1987	Bœuf	Simmental	0	ST ⁵	7	70	NS	NS	NS
			56						
			112						
			168						

¹ Jeune bovin ; ² *Longissimus* ; ³ *Gluteus medius* ; ⁴ *Quadriceps femoris* ; ⁵ *Semitendinosus* ; ^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 31 Effet de la durée de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement

Référence	Type d'animal	Race	Durée finition (jour)	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)
Oezluetuerk et al., 2008	JB ¹	Eastern Anatolian Red	168	Moyenne LM ² , GM ³ et QF ⁴		70	NS
			210				
Miller et al., 1987	Bœuf	Simmental	0	LM	7	70	5,29 ^a
			56				4,16 ^b
			112				3,97 ^b
			168				3,96 ^b
Vestergaard et al., 2007	Vache	Danish Holstein	7	LM	16	62-65	5,93
			30				5,68
			120				5,13
Matulis et al., 1987	Vache	Angus et Hereford	0	LM	3	70	9,0 ^a
			28				10,4 ^a
			56				6,5 ^b
			84				6,4 ^b
Schnell et al., 1997	Vache	Races laitières, croisées Brahman, races anglaises et races continentales	0	LM	14	70	NS
			14				
			28				
			42				
			56				
Miller et al., 1987	Bœuf	Simmental	0	ST ⁵	7	70	NS
			56				
			112				
			168				
Miller et al., 1987	Bœuf	Simmental	0	SM ⁶	7	70	NS
			56				
			112				
			168				

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus ; ³ Gluteus medius ; ⁴ Quadriceps femoris ; ⁵ Semitendinosus ; ⁶ Semimembranosus ; ^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($P > 0.05$) ; § = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,10$; ** = $P < 0,05$; *** = $P < 0,01$

Tableau 32 Effet de la durée de la finition sur la couleur de la viande

Référence	Type d'animal	Race	Durée de finition (jour)	Muscle	Couleur		
					L*	a*	b*
Sugimoto et al., 2012	Vache	Japanese Black	0	LM	NS	NS	19,8
			89				13,7
			208				16,2
			271				15,4
			341				8,7
Franco et al., 2009	Vache	Holstein	30	LM	**	18,26	NS
			60		36,91	**	
Vestergaard et al., 2007	Vache	Danish Holstein	7	LM	***	20,6 ^a	9,5 ^a
			60			33,9 ^b	10,1 ^b
			120			34,3 ^b	10,4 ^b
						21,9 ^b	10,4 ^b
Hawrysh et Price, 1981	Vache		0	LM	NS	NS	NS
			56				
			112				

¹ Longissimus ; ^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; NS = non significatif ($P > 0.05$) ; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

tendreté du muscle LM (Tableau 30). Miller et al. (1987) sur le muscle ST et Oezluetuerk et al. (2008) sur la moyenne de plusieurs muscles obtiennent le même résultat. En revanche pour la race Charolaise (race à viande), Dumont et al. (1991) observent que les vaches ayant eu une période de finition, ont des notes de tendreté du LM plus élevées que celles n'ayant pas eu de finition. Schnell et al. (1997), en considérant plusieurs races, mettent en évidence un effet significatif de ce facteur d'élevage sur la note de tendreté du LM. Schnell et al. (1997) mettent également en évidence que l'évolution de la note de tendreté avec la durée de finition n'est pas linéaire (Tableau 30). En règle générale, les études montrent que la dureté de la viande mesurée mécaniquement n'est pas significativement différente lorsque la durée de finition augmente, quels que soient le type d'animal et le muscle considéré (Tableau 31). Cependant, Matulis et al. (1987) avec une durée de maturation de 3 jours observent un effet significatif d'un allongement de la durée de la période de finition. Globalement, comme pour la tendreté, chez le bœuf et la vache, les notes de jutosité et de flaveur du LM et du ST ne sont pas impactées significativement par une augmentation de la durée de la finition (Tableau 30). Oezluetuerk et al. (2008) mettent en évidence un effet significatif d'une augmentation de ce facteur d'élevage sur la note de jutosité. D'après les résultats de Dumont et al. (1991), la présence d'une période de finition permet d'augmenter significativement les notes de jutosité et de flaveur du LM.

De manière générale à quelques exceptions près, les composantes de la couleur ne sont pas impactées significativement par un allongement de la durée de finition, chez la vache (Tableau 32).

En résumé, l'augmentation de la durée de finition à un effet plus marqué sur les caractéristiques de la carcasse que sur les propriétés de la viande.

3.2.3.5 La composition de la ration de finition

La majorité des études chez le jeune bovin, le bœuf et la vache ne mettent pas en évidence de différences significatives du poids de la carcasse lorsque la composition de la ration est différente (Tableau 33, Tableau 34, Tableau 35, Tableau 36, Tableau 37 et Tableau 38).

Tableau 33 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
Aviles et al., 2015	JB ¹	Limousine et Retinta	10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine	NS	NS.	10,50/15 ^a	NS
			10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta			7,12/15 ^b	
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine			10,94/15 ^a	
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta			8,34/15 ^b	
Corazzin et al., 2012	JB	Simmental et Holstein	18 % ensilage de maïs + 25 % de foin + 0,6 % de paille + 49 % concentrés	NS	57,4	NS	NS
			19 % ensilage de maïs + 26 % de foin + 0,6 % de paille + 47 % concentrés (dont 0,8 % de lin)		55		
Hollo et al., 2008	JB	Simmental	66% ensilage de maïs + 33% concentrés + 10 kg foin/j	NS	NS		
			75% ensilage de maïs + 25% concentrés qui a une supplémentation de 25% de lin + 10 kg foin/j				
			80% ensilage de maïs + 20% concentrés qui a une supplémentation de 25% de lin + 10 kg foin/j				
Barton et al., 2007	JB	Czech Fleckvieh, Charolais et Charolais x Czech Fleckvieh	Ration <i>ad libitum</i> : 75,5% ensilage de maïs + 12,1% blé + 3,9% tourteau de soja + 6,6% foin de luzerne	NS	NS	NS	NS
			Ration <i>ad libitum</i> : 43,2% ensilage mélange céréale/légumineuse + 31,8% ensilage de luzerne + 14,4% blé + 7,2% foin de luzerne				
Cerdeño et al., 2006	JB	Brune Suisse x Limousine	Concentrés + paille <i>ad libitum</i> (60 jours)	NS	NS	NS	1,9/5 ^a
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (30 jours) puis concentrés + paille <i>ad libitum</i> (30 jours)				2,0/5 ^a
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (60 jours)				1,4/5 ^b

¹ Jeune bovin

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; *** = $P < 0,001$

Tableau 34 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Poids carcasse (kg)		Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement	
Keady et al., 2013	Boeuf		Ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés/j/animal [quantité de fourrages ingérés 4,99 kg/j]	351 ^a	La nature de la ration a un effet significatif (***)	NS	NS	3,01/5 ^a	La nature de la ration a un effet significatif (**)
			Ensilage d'herbe + 8 kg de concentrés/j/animal [quantité de fourrages ingérés 3,23 kg/j]	388 ^c	Le niveau de concentrés dans la ration d'ensilage d'herbe a un effet significatif (***)			3,73/5 ^c	Le niveau de concentrés dans la ration 100% ensilage d'herbe a un effet significatif (**)
			Ensilage de maïs (217 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés /j/animal [quantité de fourrages ingérés 5,56 kg/j]	364 ^{ab}				3,25/5 ^a	
			Ensilage de maïs (217 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés /j/animal [quantité de fourrages ingérés 4,87 kg/j]	348 ^a				3,08/5 ^{ab}	
			Ensilage de maïs (304 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés /j/animal [quantité de fourrages ingérés 5,86 kg/j]	363 ^{ab}	La nature de la ration a un effet significatif (***)			3,46/5 ^{bc}	La nature de l'ensilage de maïs n'a pas d'effet significatif
			Ensilage de maïs (304 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés /j/animal [quantité de fourrages ingérés 6,48 kg/j]	373 ^{bc}				3,28/5 ^a	
Wood et al., 2011	Boeuf	Angus et Charolais	83% Ensilage de maïs + 11% tourteau de soja	359,3 ^{ab}	*	NS			
			75% Ensilage de maïs + 20% drêche de maïs	363,8 ^a					
			75% Ensilage de maïs + 20% drêche de sorgho	335,4 ^b					
Roberts et al., 2009	Boeuf	Croisés	Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 0%	280	*	***			
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 0,5%	275					
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 1%	290					
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 1,5%	300					
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 2%	300					

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 35 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 3)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement	
Warren et al., 2008	Bœuf	Aberdeen Angus x Holstein et Holstein	Ration : concentrés (abattage 14 mois)			NS	↗ avec régime ensilage **	
			Ration : ensilage d'herbe (abattage 14 mois)					
			Ration : concentrés (abattage 19 mois)					
Warren et al., 2008	Bœuf	Aberdeen Angus x Holstein et Holstein	Ration : concentrés (abattage 24 mois)			NS	↗ avec régime ensilage ***	
			Ration : ensilage d'herbe (abattage 19 mois)					
			Ration : concentrés (abattage 24 mois)					
Warren et al., 2008	Bœuf	Aberdeen Angus x Holstein et Holstein	Ration : ensilage d'herbe (abattage 24 mois)			↗ avec régime ensilage **	↗ avec régime ensilage ***	
			Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i>	258,5				2,02/5
			Ensilage d'herbe + concentrés séparés (faible quantité, 37,5 % de la MSI ¹ ingérée)	312,5				2,25/5
			Ensilage d'herbe + concentrés mélangés (faible quantité, 37,5 % de la MSI ingérée)	316,5				2,34/5
			Ensilage d'herbe + concentrés séparés (quantité élevée, 75% de la MSI ingérée)	332,5				2,47/5
			Ensilage d'herbe + concentrés mélangés (faible quantité, 75% de la MSI ingérée)	328,8				2,43/5
Keane et al., 2006	Bœuf	Holstein et Holstein x Charolais	Concentrés <i>ad libitum</i> + 1kg MS/jour d'ensilage d'herbe	343,7		NS	↗ avec régime ensilage ***	
			Ensilage d'herbe	326 ^a				2,78/5
			Ensilage d'herbe + ensilage de maïs	334 ^b				3,51/5
			Ensilage d'herbe + ensilage de blé	325 ^a				3,54/5
			Quantité de concentrés distribué 3 kg/j					3,62/5
			Quantité de concentrés distribué 5 kg/j					3,59/5
Keady et al., 2007	Bœuf	Croisé	Ensilage d'herbe	326 ^a	54,3 ^b	NS	NS	
			Ensilage d'herbe + ensilage de maïs	334 ^b	53,9 ^b			
			Ensilage d'herbe + ensilage de blé	325 ^a	52,8 ^a			
Keady et al., 2007	Bœuf	Croisé	Quantité de concentrés distribué 3 kg/j		NS	NS	NS	
			Quantité de concentrés distribué 5 kg/j		NS			

¹ Matière sèche ingérée

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 36 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 4)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Poids carcasse (kg)		Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement	
McEwen et al., 2007	Boeuf	Angus	Pourcentage d'ensilage de maïs dans la ration = 50%	325,8	§	NS			
			Pourcentage d'ensilage de maïs dans la ration = 15%	331,6					
McEwen et al., 2007	Boeuf	Charolais	Pourcentage d'ensilage de maïs dans la ration = 50%	NS	NS	NS			
			Pourcentage d'ensilage de maïs dans la ration = 15%						
McEwen et al., 2007	Boeuf	Angus	Nature du concentré = Maïs	NS	NS	NS			
McEwen et al., 2007	Boeuf	Charolais	Nature du concentré = Orge	NS	NS	NS			
Juniper et al., 2005	Boeuf	Simmental x Holstein	Nature du concentré = Maïs	NS	NS	NS			
			Nature du concentré = Orge	NS	NS	NS			
			100 % ensilage d'herbe	314,5	***	NS	NS		
			67% ensilage d'herbe + 33 % ensilage de maïs	318,8					
			33% ensilage d'herbe + 67% ensilage de maïs	320,1					
			100% ensilage de maïs	321,9					
100% herbe coupée	330 ^a								
77% herbe coupée+ 23% concentrés	355 ^{cd}								
French et al., 2001	Boeuf	Charolais x Limousin	63% herbe coupée + 37% concentrés	363 ^{bc}	***	NS	NS	4,03/5 ^a	
			50% herbe coupée + 50% concentrés	352 ^{cd}					*
			75% herbe + 25% concentrés	348 ^d					
			100% concentrés	371 ^b					
French et al., 2000	Boeuf	Croisés	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 4 kg de concentrés	NS	NS	NS	NS	4,97/5 ^a	
			1kg de foin + 8 kg de concentrés						
			6 kg MS d'herbe + 5 kg de concentrés						
			12 kg MS d'herbe + 2,5 kg de concentrés						
			22 kg MS d'herbe						

^{a,b,c,d} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; *** = $P < 0,001$

Tableau 37 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 5)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
Steen et Kilpatrick, 2000	Bœuf	Simmental x Holstein	Quantité de concentrés dans la ration = 0 g/kg MS	NS	NS		NS
			Quantité de concentrés dans la ration = 120 g/kg MS				
			Quantité de concentrés dans la ration = 240 g/kg MS				
Mandell et al., 1997	Bœuf	Limousin et Charolais	Quantité de concentrés dans la ration = 360 g/kg MS	324	55,6		
			75% de concentrés (orge)	349	58		
Bowling et al., 1977	Bœuf		Finition avec fourrages	NS		8,3/14	
			Finition avec concentrés				
Juniper et al., 2007	JB ¹ et bœuf	Holstein et Simmental x Holstein	Ensilage de maïs + 60,6% de blé + 33,3% pois + 6,1% urée	NS	NS	NS	NS
			Ensilage de maïs + 87,3% de farine de soja + 12,7% de farine de colza				
			Ensilage de maïs + 33,3% de farine de soja + 33,7% de farine de colza + 33,3% de farine de poisson				
			20% foin de luzerne-brome + 79% d'orge (abattage 450 kg)				
Price et al., 1980	JB et bœuf	Charolais et race anglaise	50% foin de luzerne-brome + 49% d'orge (abattage 450 kg)	256,7 ^a	NS		
			80% foin de luzerne-brome + 19% d'orge (abattage 450 kg)	255,9 ^a			
			20% foin de luzerne-brome + 79% d'orge (abattage 580 kg)	246,5 ^b			
Price et al., 1980	JB et bœuf	Charolais et race anglaise	50% foin de luzerne-brome + 49% d'orge (abattage 580 kg)	356,8 ^a	60,3 ^a		
			80% foin de luzerne-brome + 19% d'orge (abattage 580 kg)	342,2 ^b	59,2 ^a		
			Ration <i>ad libitum</i> : ensilage de maïs + foin + concentré (blé et tourteau de soja) + lin extrudé	327,6 ^c	57,2 ^b		
Zahradkova et al., 2010	Génisse	Limousin et Charolais	Ration <i>ad libitum</i> : ensilage de maïs + foin + concentré (blé et tourteau de soja)	NS	NS	NS	NS
			23% ensilage d'herbe + 15% ensilage de maïs + 59% concentrés + 3% paille	268,6 ^a	NS	NS	NS
Cooke et al., 2004	Génisse	Croisée Charolais	23% ensilage d'herbe + 15% ensilage de maïs + 59% concentrés + 3% paille (la ration est broyée mécaniquement avant)	279,5 ^b	NS	NS	NS
			95% concentrés + 5% paille	288,1 ^b	NS	NS	NS

¹ Jeune bovin

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; *** = $P < 0,001$

Tableau 38 Effet de la composition de la ration de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 6)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
Moreno et al., 2012	Vache	Holstein	Ensilage de maïs + concentrés	NS	NS	NS	NS
			Ensilage d'herbe + Foin				
Sugimoto et al., 2012	Vache	Japanese Black	Nature du fourrage dans la ration : Foin	NS	NS		
			Nature du fourrage dans la ration : Paille de riz				
Sugimoto et al., 2012	Vache	Japanese Black	Proportion de concentrés (céréales) dans la ration = 60%	NS	NS		
			Proportion de concentrés (céréales) dans la ration = 40%				
Hernandez-Calva et al., 2011	Vache	Croisées	47,9% foin + 47,4% de concentrés (orge) + 4,7% complément	Effet significatif (***) de la nature du fourrage. La ration à base d'ensilage donne des carcasses plus lourdes.	NS		
			48,4% foin + 32,7% de concentrés (orge) + 14,1% graine de lin + 4,8% complément				
			67,8% d'ensilage d'orge + 29,3% concentrés (orge) + 2,9% complément				
			68,2% d'ensilage d'orge + 20,2% concentrés (orge) + 8,71% de graine de lin + 2,9% complément				
Holmer et al., 2009a	Vache	Races allaitantes	90% ensilage de maïs	278	NS		
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours	352,8			
Sawyer et al., 2004	Vache	Hereford et Angus x Hereford	Maximiser MSI ¹	298,3	NS		
			Maximiser le potentiel d'EN ² ingérée	317,3			
			Ration intermédiaire	327,8			
Dumont et al., 1997	Vache	Charolais	Ensilage de maïs + tourteau de soja (90 g de PDI ³ /UFL ⁴) + pulpe de betterave	NS	NS	NS	
			Ensilage de maïs + tourteau de lin (90 g de PDI/UFL) + pulpe de betterave				
			Ensilage de maïs + tourteau de soja (160 g de PDI/UFL)				
			Ensilage de maïs + tourteau de lin (110 g de PDI/UFL)				
Agabriel et al., 1991	Vache	Salers	Foin et/ou regain + 4,8 kg MS de concentrés	NS	NS		
			Foin et/ou regain + 2,6 kg MS de concentrés				

¹ Matière sèche ingérée ; ² Energie nette ; ³ Protéines digestibles dans l'intestin ; ⁴ Unité fourragère lait ; NS = non significatif (P > 0,05) ; * = P < 0,05 ; *** = P < 0,001

Zahradkova et al. (2010) observent également cela chez la génisse. Néanmoins, chez les bœufs, French et al. (2001) et Keady et al. (2013) obtiennent des différences significatives des poids de la carcasse en fonction de la composition de la ration (Tableau 35 et Tableau 36). D'après les résultats de plusieurs études, chez le jeune bovin et le bœuf, il semblerait que les carcasses significativement plus lourdes soient obtenues lorsque la quantité de maïs (ensilage essentiellement) dans la ration augmente (Juniper et al., 2005; Wood et al., 2011; Keady et al., 2013). Chez la génisse, Cooke et al. (2004) obtiennent des carcasses significativement plus lourdes à partir d'une ration avec une très forte proportion de concentrés et sans ensilage. Des résultats similaires sont obtenus pour les vaches, lorsqu'en fin de finition il y a une augmentation de la part de concentrés (Sawyer et al., 2004; Holmer et al., 2009a). En règle générale, quel que soit le type d'animal, la composition de la ration de finition et sa proportion en concentrés n'ont pas d'effet significatif sur le rendement de la carcasse. Néanmoins chez le jeune bovin et le bœuf, quelques études mettent en évidence des différences significatives de rendement de la carcasse dues à la composition de la ration (Tableau 33, Tableau 34, Tableau 35, Tableau 36 et Tableau 37). De manière générale, les études recensées ne mettent pas en évidence d'effet de la composition de la ration et de la nature du fourrage sur la conformation de la carcasse, chez le jeune bovin, la génisse et la vache. Seuls Aviles et al. (2015), chez le jeune bovin, observent des carcasses mieux conformées lorsque la ration contient de l'ensilage de maïs. Chez le bœuf, bien que certains auteurs n'observent pas d'effet significatif de la nature de la ration sur la conformation, certaines études montrent qu'une ration avec des concentrés *ad libitum* permet d'obtenir une conformation plus élevée (Bowling et al., 1977; Keane et al., 2006). Cependant, Warren et al. (2008) dans leur étude observent cela uniquement pour les animaux abattus les plus âgés. Un effet significatif de la composition de la ration de finition sur l'état d'engraissement de la carcasse est observé principalement pour les études portant sur les bœufs. Lorsqu'il y a un effet significatif au niveau de l'état d'engraissement de la carcasse, les carcasses les plus grasses sont obtenues à partir des rations avec une distribution de concentrés *ad libitum* (French et al., 2001; Cerdeño et al., 2006; Keane et al., 2006). Cependant, d'autres études obtiennent les carcasses les plus grasses avec des rations distribuées non *ad libitum* à base d'ensilage de maïs et de concentrés (Warren et al., 2008; Keady et al., 2013). Ces résultats montrent que des rations très différentes peuvent avoir la même répercussion sur l'état d'engraissement de la carcasse. A notre connaissance, l'influence de la composition de la ration sur la composition de la carcasse a été étudiée uniquement chez le jeune bovin et le bœuf (Tableau 39). D'après les résultats de plusieurs

Tableau 39 Effet de la composition de la ration de finition sur la composition de la carcasse

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Composition de la carcasse (kg)			Composition de la carcasse (%)		
				Muscle	Tissu adipeux	Squelette	Muscle	Tissu adipeux	Squelette
Corazzin et al., 2012	JB ¹	Simmental et Holstein	44% fourrages + 49 % concentrés	NS		NS	15,6	§	NS
			44% fourrages + 47 % concentrés (dont 0,8 % de lin)				14,6		
Listrat et al., 1999	JB	Salers	Ration foin	NS		NS	46,2	***	
			Ration maïs				55,6		
Keady et al., 2007	Bœuf	Croisé	Ensilage d'herbe						NS
			Ensilage d'herbe + ensilage de maïs						
			Ensilage d'herbe + ensilage de blé						
Juniper et al., 2005	Bœuf	Simmental x Holstein	100 % ensilage d'herbe	NS		NS	28,6	*	
			67% ensilage d'herbe + 33 % ensilage de maïs				30,5		
			33% ensilage d'herbe + 67% ensilage de maïs				33,1		
			100% ensilage de maïs				35,1		
Keady et al., 2007	Bœuf	Croisé	Quantité de concentrés 3 kg/				15,3	§	NS
			Quantité de concentrés 5 kg/				16,6		
Steen et Kilpatrick, 2000	Bœuf	Simmental x Holstein	Part de concentrés dans la ration = 0 g/kg MS				22,6 ^{abc}		NS
			Part de concentrés dans la ration = 120 g/kg MS				23,2 ^{abc}		
			Part de concentrés dans la ration = 240 g/kg MS				23,9 ^a		
			Part de concentrés dans la ration = 360 g/kg MS				23,5 ^{ab}		
Berge et al., 1993	Bœuf	Charolais	Faible niveau de protéines (tourteaux de soja)				67,0 ^a		NS
			Niveau intermédiaire de protéines (tourteaux de soja)				67,7 ^a		
			Niveau élevé de protéines (tourteaux de soja)				68,8 ^b		
			Niveau élevé de protéines (tourteaux de lin)				69,4 ^b		
Dumont et al., 1997	Vache	Charolais	Ensilage de maïs + tourteau de soja (90 g de PDI ² /UFL ³) + pulpe de betterave	NS		NS	79,8 ^a	*	
			Ensilage de maïs + tourteau de lin (90 g de PDI/UFL) + pulpe de betterave				82,4 ^{ab}		
			Ensilage de maïs + tourteau de soja (160 g de PDI/UFL)				76,3 ^a		
			Ensilage de maïs + tourteau de lin (110 g de PDI/UFL)				89,9 ^b		
Agabriel et al., 1991	Vache	Salers	Foin et/ou regain + 4,8 kg MS de concentrés	NS		NS	20,6 ^a		NS
			Foin et/ou regain + 2,6 kg MS de concentrés				63,2 ^{ab}		
							20,9 ^{ab}	*	
							19,4 ^a		
							22,7 ^b		

¹ Jeune bovin ; ² Protéines digestibles dans l'intestin ; ³ Unité fourragère lait

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 40 Effet de la composition de la ration de finition sur le pH 24h

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	pH 24h	
Aviles et al., 2015	JB ¹	Limousine et Retinta	10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine	5,63 ^{ab}	
			10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta	5,67 ^a	
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine	5,63 ^{ab}	
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta	5,55 ^b	
Cerdeño et al., 2006	JB	Brune Suisse x Limousine	Concentrés + paille <i>ad libitum</i> (60 jours)	NS	
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg de concentrés/j/animal (30 jours) puis concentrés +paille <i>ad libitum</i> (30 jours)		
Berge et al., 1993	Boeufs	Charolais	Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg de concentrés/j/animal (60 jours)	NS	
			Faible niveau de protéines (tourteaux de soja)		5,47 ^a
			Niveau élevé de protéines (tourteaux de soja)		5,47 ^a
			Niveau élevé de protéines (tourteaux de lin)		5,44 ^b
Cooke et al., 2004	Génisses	Croisée Charolais	23% ensilage d'herbe + 15% ensilage de maïs + 59% concentrés + 3% paille	NS	
			23% ensilage d'herbe + 15% ensilage de maïs + 59% Concentrés + 3% paille (la ration est broyée mécaniquement avant)		
			95% concentrés + 5% paille		
Holmer et al., 2009a	Vaches	Races allaitantes	90% ensilage de maïs	5,62	
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours	5,53	

¹ Jeune bovin

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$

Tableau 41 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés contractiles et structurales du muscle squelettique

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Type de fibre (%)			Surface de fibre ¹ (µm ²)			Surface ¹ moyenne (µm ²)
					SO ² ou I	FOG ³ ou IIA	FG ⁴ ou IIX	SO ou I	FOG ou IIA	FG ou IIX	
Listrat et al., 1999	JB ⁵	Salers	65% foin + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)	LM ⁶	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
			65% ensilage de maïs + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)								
Serrano et al., 2007	JB	Salers	50% <i>ad libitum</i> : foin + haut niveau de concentrés	RA ⁷							
			Foin + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)								
			50% <i>ad libitum</i> : herbe coupée + haut niveau de concentrés								
			Herbe coupée + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)								
Listrat et al., 1999	JB	Salers	Pâturage de montage + concentrés (<i>ad libitum</i>)	ST ⁸	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
			65% foin + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)								
Serrano et al., 2007	JB	Salers	65% ensilage de maïs + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)	ST							
			50% <i>ad libitum</i> : foin + haut niveau de concentrés								
			Foin + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)								
			50% <i>ad libitum</i> : herbe coupée + haut niveau de concentrés								
			Herbe coupée + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)								
			Pâturage de montage + concentrés (<i>ad libitum</i>)								

¹ Surface moyenne de section des fibres ; ² Slow oxidative ; ³ Fast oxido-glycolytic ; ⁴ Fast glycolytic ; ⁵ Jeunes bovin ; ⁶ *Longissimus* ; ⁷ *Rectus abdominis* ; ⁸ *Semitendinosus*

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; § = $P < 0,10$

Tableau 42 Effet de la composition de la ration de finition sur les activités enzymatiques de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et de la lactate déshydrogénase (LDH)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	ICDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)	LDH ($\mu\text{mol}/\text{mn}/\text{g}$)
Serrano et al., 2007	JB ¹	Salers	50% <i>ad libitum</i> : foin + haut niveau de concentrés	RA ²	NS	NS
			Foin + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)			
			50% <i>ad libitum</i> : herbe coupée + haut niveau de concentrés			
			Herbe coupée + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)			
Listrat et al., 1999	JB	Salers	Pâturage de montage + concentrés (<i>ad libitum</i>)	LM ³	NS	NS
			65% foin + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)			
			65% ensilage de maïs + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)			
			Herbe coupée fraîche			
Cassar-Malek et al., 2004b	Bœuf	Charolais	Ensilage de maïs <i>ad libitum</i>	RA	1,5	NS
					1,2	
Serrano et al., 2007	JB	Salers	50% <i>ad libitum</i> : foin + haut niveau de concentrés	ST ⁴	NS	NS
			Foin + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)			
			50% <i>ad libitum</i> : herbe coupée + haut niveau de concentrés			
			Herbe coupée + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)			
			Pâturage de montage + concentrés (<i>ad libitum</i>)			
			Herbe coupée fraîche			
Cassar-Malek et al., 2004b	Bœuf	Charolais	Ensilage de maïs <i>ad libitum</i>	ST	NS	NS
Jurie et al., 2006b	Bœuf	Charolais	Régime herbe : ensilage d'herbe (hiver) et pâturage	ST	NS	NS
			Régime maïs : ensilage de maïs			
Listrat et al., 1999	JB	Salers	65% foin + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)	ST	1,45	NS
			65% ensilage de maïs + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)		2,01	
Jurie et al., 2006b	Bœuf	Charolais	Régime herbe : ensilage d'herbe (hiver) et pâturage	RA	NS	NS
			Régime maïs : ensilage de maïs			

¹ Jeune bovin ; ² *Rectus abdominis* ; ³ *Longissimus* ; ⁴ *Semitendinosus*

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; ** = $P < 0,01$

études, le tissu adipeux de la carcasse est impacté significativement par la composition de la ration (Listrat et al., 1999; Juniper et al., 2005; Keady et al., 2013). En revanche, Keady et al. (2007) n'observent pas d'effet de la nature du fourrage sur la composition de la carcasse. Dumont et al. (1997) observent également que pour une même valeur alimentaire PDI/UFL, le tourteau de lin augmente significativement la proportion de tissu adipeux par rapport au tourteau de soja. Geay et Beranger (1969) observent également le même résultat sur le tissu adipeux lorsque la nature des concentrés distribués est différente. En revanche, Berge et al. (1993) montrent qu'un concentré avec des teneurs élevées en protéines augmente significativement la part de muscle et diminue significativement celle de tissu adipeux dans la carcasse. D'après les résultats de plusieurs études, une augmentation de la proportion de concentrés dans la ration n'a pas d'effet significatif sur la proportion de muscle et de tissu adipeux (Tableau 39). Dans la majorité des études, la composition de la ration n'a pas d'effet significatif sur le pH 24h (Tableau 40). Cependant, dans l'étude d'Aviles et al. (2015), la composition de la ration a un effet significatif pour la race Retinta avec une diminution du pH lorsqu'il y a de l'ensilage de maïs dans la ration alors qu'avec les mêmes rations, les auteurs n'observent pas de différences pour les jeunes bovins de la race Limousine. Chez la vache, Holmer et al. (2009a) obtiennent également des pH 24h significativement plus faibles avec une ration de finition uniquement composée d'ensilage de maïs. L'étude de Berge et al. (1993) montre également que la nature du concentré (tourteau de soja vs tourteau de lin) a un effet significatif sur le pH 24h.

A notre connaissance 2 études ont analysé l'influence de la composition de la ration sur les propriétés de différents muscles chez le jeune bovin : LT, RA et ST. Au final, les auteurs ne mettent pas en évidence d'effet significatif (Tableau 41), une tendance est observée par Serrano et al. (2007) pour la surface moyenne des fibres du muscle ST. Quel que soit le muscle étudié, l'activité enzymatique de la LDH (glycolytique) n'est pas impactée significativement par la nature de la ration, chez le jeune bovin et le bœuf (Tableau 42). En revanche, pour l'activité de l'ICDH (oxydative), les résultats des études de Listrat et al. (1999) et Cassar-Malek et al. (2004) montrent que l'impact de la nature de la ration est dépendant du muscle. Contrairement à Listrat et al. (1999), Serrano et al. (2007) n'observent pas de différences significatives de l'activité de l'ICDH pour le muscle ST. Il est possible que la présence d'ensilage de maïs dans la ration ait fait augmenter l'activité de l'ICDH dans l'étude de Listrat et al. (1999). Cependant, Cassar-Malek et al. (2004) n'observent pas de différence d'activité de l'ICDH pour le même muscle chez des bœufs.

Tableau 43 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale			Jutosité	Intensité de Flaveur	Appréciation globale
							4,6/15	5,2/15	5,1/15			
Faucitano et al., 2008	JB ¹	Angus	Ensilage d'herbe Ensilage d'herbe + 40% orge Ensilage d'herbe + 70% orge	LM ²		65			NS	NS		
Cerdeño et al., 2006	JB	Brune Suisse x Limousine	Concentrés + paille <i>ad libitum</i> (60 jours)	LM	7	70			NS	NS	NS	
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (30 jours) puis concentrés + paille <i>ad libitum</i> (30 jours)									
Geay et al., 1997	JB	Salers	Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (60 jours)	LM	14	55-60			NS	NS	NS	
			65% foin + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)									
			65% ensilage d'herbe + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)									
Panea et al., 2012	Bœuf	Parda de montaña	65% ensilage de maïs + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)	LM	8 et 14	70			NS	NS		
			97% de foin de luzerne + 3% de paille									
			62% de foin de luzerne + 3% de paille + 35% orge									

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; ** = $P < 0,01$

Tableau 44 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveurs
Roberts et al., 2009	Boeuf	Croisés	Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 0%	LM ¹	21	71	5,6/8	NS	5,7/8
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 0,5%				5,5/8		5,6/8
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 1%				4,9/8		5,6/8
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 1,5%				5,7/8		5,7/8
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 2%				5,6/8		5,9/8
			§				6,02/8 ^a		6,02/8 ^a
Kerth et al., 2007	Boeuf	Angus croisés	Régime avec 85% de concentrés (maïs)	LM	14	71	4,86/8 ^b	NS	5,48/8 ^b
			Régime ray-grass pendant, 125 jours puis 94 jours du régime avec 85% de concentrés (maïs)				4,67/8 ^b		5,44/8 ^b
			Régime 100% ray-grass (pendant 178 jours)				5,73/8		6,02/8 ^a
Kerth et al., 2007	Boeuf	Angus croisés	Régime avec 85% de concentrés (maïs)	LM	14	71	5/8	*	5,75/8 ^a
			Régime ray-grass pendant, 125 jours puis 94 jours du régime avec 85% de concentrés (maïs)				4,49/8		5,15/8 ^b
			Régime 100% ray-grass (pendant 178 jours)				5,38/8 ^{ab}		5,48/8 ^b
			§				6,02/8 ^a		6,02/8 ^a
McEwen et al., 2007	Boeuf	Angus	Nature du concentré = maïs	LM	14	70	NS	NS	NS
			Nature du concentré = orge				NS		NS
McEwen et al., 2007	Boeuf	Angus	50% d'ensilage de maïs dans la ration 15% d'ensilage de maïs dans la ration	LM	14	70	NS	NS	NS

¹ Longissimus

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; § = $P < 0,10$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 45 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 3)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur	Appréciation globale
Juniper et al., 2005	Bœuf	Simmental x Holstein	100 % ensilage d'herbe	LM	12	74		NS	NS	
			67% ensilage d'herbe + 33 % ensilage de maïs							
			33% ensilage d'herbe + 67% ensilage de maïs							
			100% ensilage de maïs							
French et al., 2001	Bœuf	Charolais x Limousin	100% herbe	LM	2, 7 et 14	70	NS	NS	NS	NS
			77% herbe + 23% concentrés							
			63% herbe + 37% concentrés							
			50% herbe + 50% concentrés							
			75% herbe + 25% concentrés							
100% concentrés										
French et al., 2000	Bœuf	Croisés	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 4 kg de concentrés	LM	2, 7 et 14	70	NS	NS	NS	NS
			1kg de foin + 8 kg de concentrés							
			6 kg MS d'herbe + 5 kg de concentrés							
			12 kg MS d'herbe + 2,5 kg de concentrés							
			22 kg MS d'herbe							
Mandell et al., 1997	Bœuf	Limousin et Charolais	Ration à 75% de concentrés (orge)	LM	7	68	NS			
			Ration à 75% de concentrés (maïs)							
Berge et al., 1993	Bœuf	Charolais	Faible niveau de protéines (tourteaux de soja)	LM	8	55-60	6,0/10 ^a	5,3/10 ^a	NS	
			Niveau élevé de protéines (tourteaux de soja)				5,6/10 ^b	5,1/10 ^a		
			Niveau élevé de protéines (tourteaux de lin)				5,9/10 ^a	4,6/10 ^b		
Bowling et al., 1977	Bœuf		Finition avec fourrages	LM	2	75		NS	NS	NS
			Finition avec concentrés							

¹ Longissimus

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$

Tableau 46 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 4)

Référence	Type animal	Race	Composition de la ration de finition				Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur				Appréciation globale
			Ensilage d'herbe	Ensilage d'herbe + 0,45 kg MS/100 kg de poids vif	Ensilage d'herbe + 0,9 kg MS/100 kg de poids vif	Ensilage d'herbe + 1,35 kg MS/100 kg de poids vif						7,88/15	8,06/15	8,32/15	8,52/15	
Fortin et al., 1985	JB ¹ et bœuf	Hereford x Shorthorn	Ensilage d'herbe	Ensilage d'herbe + 0,45 kg MS/100 kg de poids vif	Ensilage d'herbe + 0,9 kg MS/100 kg de poids vif	Ensilage d'herbe + 1,35 kg MS/100 kg de poids vif	LM ²	7	70	NS	NS	7,88/15	8,06/15	8,32/15	8,52/15	*
			100% ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés	50% ensilage d'herbe et 50% ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés	100% ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés	Ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 4 kg/animal/jour concentrés										
			Paille <i>ad libitum</i> + 8 kg/animal/jour concentrés	Ensilage d'herbe	Ensilage de blé (stade 83)	Ensilage de blé (stade 87)										
Moloney et al., 2013a	Génisse	Croisées Charolais	100% ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés	50% ensilage d'herbe et 50% ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés	100% ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés	LM	7	70	NS	NS	7,88/15	8,06/15	8,32/15	8,52/15	NS	
			Ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 4 kg/animal/jour concentrés	Paille <i>ad libitum</i> + 8 kg/animal/jour concentrés	Ensilage d'herbe											Ensilage de blé (stade 83)
Moloney et Drennan, 2013b	Génisse	Croisées	Ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 4 kg/animal/jour concentrés	Paille <i>ad libitum</i> + 8 kg/animal/jour concentrés	Ensilage d'herbe	LM	14	70	NS	NS	7,88/15	8,06/15	8,32/15	8,52/15	NS	
			Ensilage d'herbe	Ensilage de blé (stade 83)	Ensilage de blé (stade 87)											
Moloney et al., 2013a	Génisse	Croisées Charolais et croisées Limousin	Ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 4 kg/animal/jour concentrés	Paille <i>ad libitum</i> + 8 kg/animal/jour concentrés	Ensilage d'herbe	LM	7	70	NS	NS	7,88/15	8,06/15	8,32/15	8,52/15	NS	
			Ensilage d'herbe	Ensilage de blé (stade 83)	Ensilage de blé (stade 87)											

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$

Tableau 47 Effet de la composition de la ration de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 5)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur
Hernandez-Calva et al., 2011	Vache	Croisées	47,9% Foin + 47,4% de concentrés (orge) + 4,7% complément	LM ¹	6	70	NS	NS	
			48,4% Foin + 32,7% de concentrés (orge) + 14,1% graine de lin + 4,8% complément						
			67,8% d'ensilage d'orge + 29,3% concentrés (orge) + 2,9% complément						
Holmer et al., 2009b	Vache	Races allaitantes	68,2% d'ensilage d'orge + 20,2% concentrés (orge) + 8,71% de graine de lin + 2,9% complément	LM	13	70	NS	NS	
			90% ensilage de maïs						
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours						
Geay et al., 1997	JB ²	Salers	65% foin + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)	ST ³	14	55-60	NS	NS	
			65% ensilage d'herbe + 35% concentrés (maïs grain + tourteau soja)						
			65% ensilage de maïs + 35% de concentrés (maïs grain + tourteau soja)						
Holmer et al., 2009b	Vache	Races allaitantes	90% ensilage de maïs	SM ⁴	13	70	NS	NS	
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours						

¹ Longissimus ; ² Jeune bovin ; ³ Semitendinosus ; ⁴ Semimembranosus

^{a,b,c} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

D'après les résultats de plusieurs études quel que soit le type d'animal, la note de tendreté du LM n'est en règle générale pas significativement impactée par la composition de la ration de finition et la nature des fourrages et des concentrés (Tableau 43, Tableau 44, Tableau 45, Tableau 46 et Tableau 47). Cependant, Bunmee et al. (2015), chez la vache, observent un effet de la composition de la ration sur la note de tendreté du LM, mais cet effet est dépendant de la durée de maturation et n'est pas linéaire. Pour la viande de ST de jeunes bovins, Geay et al. (1997) montrent que la ration à base de foin permet d'obtenir les notes de tendreté les plus élevées. En revanche, pour le muscle SM de vache, Holmer et al. (2009b) n'observent pas d'effet significatif de la nature de la ration sur les notes de tendreté. Comme pour la note de tendreté, la dureté du LM mesurée mécaniquement, n'est pas impactée significativement par la composition de la ration et la nature du concentré, quel que soit le type d'animal (Tableau 48, Tableau 49, Tableau 50 et Tableau 51). Holmer et al. (2009b) n'observent également pas de différence de dureté de la viande de SM, chez la vache. Cependant, Lafreniere et al. (2012) mettent en évidence une différence significative en fonction de la composition floristique de l'ensilage d'herbe sur la dureté de la viande de LM crue mesurée mécaniquement. Il est possible que la cuisson de la viande atténue l'effet de la nature des fourrages sur la dureté de la viande. En revanche, dans l'étude de Moloney et al. (2008), bien que la viande soit de plus en plus tendre avec un allongement de la maturation, les auteurs observent que les viandes de LM sont plus dures lorsqu'elles proviennent d'animaux alimentés avec une ration composée de concentrés *ad libitum*. Dans leur étude chez le bœuf, Bowling et al. (1977) obtiennent des résultats opposés à ceux de Moloney et al. (2008). Pour la viande de LM, les notes de jutosité, d'intensité de flaveur, de flaveur de bœuf et d'appréciation globale ne sont en règle générale pas impactées par la composition de la ration de finition et la nature du concentré (Tableau 43, Tableau 44, Tableau 45, Tableau 46 et Tableau 47). Moloney et al. (2008) et Bunmee et al. (2015) montrent que pour la note de jutosité, l'effet de la nature de ration disparaît avec l'allongement de la durée de maturation de la viande, Bunmee et al. (2015) observent l'effet inverse pour la note d'intensité de flaveur. Les études de Geay et al. (1997) et de Holmer et al. (2009) ne mettent pas en évidence de différences significatives pour les notes de flaveur des muscles ST et SM.

Pour la couleur de la viande quels que soient le type d'animal et de muscle, les paramètres L^* et a^* ne sont pas impactés significativement par la nature de la ration (Tableau 52 et Tableau 53). En revanche, le paramètre b^* semble plus sensible aux variations de composition de la ration. Lorsque les auteurs mettent en évidence un effet significatif de la ration sur ce paramètre, ce sont

Tableau 48 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)	Force de cisaillement (N)
Aviles et al., 2015	JB ¹	Limousine et Retinta	10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine	LM ²	1, 7 et 21	70	NS	
			10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta					
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine					
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta					
Cerdeño et al., 2006	JB	Brune Suisse x Limousine	Concentrés + paille <i>ad libitum</i> (60 jours)	LM	7	70	NS	
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (30 jours) puis concentrés +paille <i>ad libitum</i> (30 jours)					
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (60 jours)					
Kerth et al., 2007	Bœuf	Angus croisés	Régime avec 85% de concentrés (maïs)	LM	14	71		NS
			Régime ray-grass pendant 125 jours puis 94 jours du régime avec 85% de concentrés (maïs)					
			Régime 100% ray-grass (pendant 178 jours)					
			Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + concentrés					
Moloney et al., 2008	Bœuf	Charolais x Holstein	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> pendant 35 jours puis concentrés <i>ad libitum</i>	LM	2, 7 et 14	70		NS
			Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + concentrés (154 jours)					
			Concentrés <i>ad libitum</i> (104 jours)					
Moloney et al., 2008	Bœuf	Charolais x Holstein et Holstein	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> pendant 112 jours puis concentrés <i>ad libitum</i> pendant (84 jours) (finition = 196 jours)	LM	2, 7 et 14	70		Effet significatif de la nature de la ration (***). On note également un attendrissement de la viande avec la maturation de la viande. La ration avec des concentrés <i>ad libitum</i> donne la viande la plus dure quel que soit la durée de maturation.

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; *** = $P < 0,001$

Tableau 49 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)	Force de cisaillement (N)
Keady et al., 2013	Bœuf		Ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés//animal [quantité de fourrages ingérée 4,99 kg/j]	LM ¹	21		NS	
			Ensilage d'herbe + 8 kg de concentré//animal [quantité de fourrages ingérée 3,23 kg/j]					
			Ensilage de maïs (217 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés //animal [quantité de fourrages ingérée 5,56 kg/j]					
			Ensilage de maïs (217 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés //animal [quantité de fourrages ingérée 4,87 kg/j]					
			Ensilage de maïs (304 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés //animal [quantité de fourrages ingérée 5,86 kg/j]					
			Ensilage de maïs (304 g/kg MS) + ensilage d'herbe (223 g/kg MS) + 4 kg de concentrés //animal [quantité de fourrages ingérée 6,48 kg/j]					
Roberts et al., 2009	Bœuf	Croisés	Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 0%	LM	21	71	NS	
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 0,5%					
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 1%					
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 1,5%					
			Supplémentation de concentrés (maïs) dans la ration = 2%					
Kerth et al., 2007	Bœuf	Angus croisés	Régime avec 85% de concentrés (maïs)	LM	14	71		NS
			Régime ray-grass pendant 125 jours puis 94 jours du régime avec 85% de concentrés (maïs)					
			Régime 100% ray-grass (pendant 178 jours)					
Kerth et al., 2007	Bœuf	Croisé	Quantité de concentrés distribuée : 3 kg/j	LM			NS	
			Quantité de concentrés distribuée : 5 kg/j					
Kerth et al., 2007	Bœuf	Croisé	Ensilage d'herbe	LM			NS	
			Ensilage d'herbe + ensilage de maïs					
McEwen et al., 2007	Bœuf	Angus	Ensilage d'herbe + ensilage de blé	LM	14	70	NS	
			50% ensilage de maïs dans la ration					
McEwen et al., 2007	Bœuf	Angus	15% ensilage de maïs dans la ration	LM	14	70	NS	
			Nature du concentré : Maïs					
			Nature du concentré : Orge	LM	14	70	NS	

¹ Longissimus

NS = non significatif (P > 0.05)

Tableau 50 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 3)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)	Force de cisaillement (N)
French et al., 2001	Bœuf	Charolais x Limousine	100% herbe	LM ¹	2, 7 et 14	70	NS	
			77% herbe + 23% concentrés					
			63% herbe + 37% concentrés					
			50% herbe + 50% concentrés					
			75% herbe + 25% concentrés					
100% concentrés								
French et al., 2000	Bœuf	Croisés	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 4 kg de concentrés	LM	2, 7 et 14	70	NS	
			1 kg MS de foin + 8 kg de concentrés					
			6 kg MS d'herbe + 5 kg de concentrés					
			12 kg MS d'herbe + 2,5 kg de concentrés					
			22 kg MS d'herbe					
Bowling et al., 1977	Bœuf		Finition avec fourrages	LM	2	75	8,4	
			Finition avec concentrés				5,6	
Moloney et al., 2013a	Génisse	Croisées Charolais	100% ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés	LM	7	70	NS	
			50% ensilage d'herbe et 50% ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés					
			100% ensilage de maïs <i>ad libitum</i> + 2,7 kg de concentrés					
Moloney et al., 2013a	Génisse	Croisées Charolais et croisées Limousine	Ensilage d'herbe	LM	7	70	NS	
			Ensilage de blé (stade 83)					
			Ensilage de blé (stade 87)					
Cooke et al., 2004	Génisse	Croisée Charolais	23% ensilage d'herbe + 15% ensilage de maïs + 59% concentrés + 3% paille	LM	18	72		NS
			23% ensilage d'herbe + 15% ensilage de maïs + 59% concentrés + 3% paille (la ration est broyée mécaniquement avant)					
			95% concentrés + 5% paille					
			95% concentrés + 5% paille puis 80% de concentrés pendant 57 jours					

¹ Longissimus

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$

Tableau 51 Effet de la composition de la ration de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 4)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)
Hernandez-Calva et al., 2011	Vache	Croisées	47,9% foin + 47,4% de concentrés (orge) + 4,7% complément	LM ¹	6	70	NS
			48,4% foin + 32,7% de concentrés (orge) + 14,1% graine de lin + 4,8% complément				
			67,8% d'ensilage d'orge + 29,3% concentrés (orge) + 2,9% complément				
			68,2% d'ensilage d'orge + 20,2% concentrés (orge) + 8,71% de graine de lin + 2,9% complément				
Holmer et al., 2009b	Vache	Races allaitantes	90% ensilage de maïs	LM	13	70	NS
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours				
Holmer et al., 2009b	Vache	Races allaitantes	90% ensilage de maïs	SM ²	13	70	NS
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours				

¹ Longissimus ; ² Semimembranosus

NS = non significatif (P > 0.05)

Tableau 52 Effet de la composition de la ration de finition sur la couleur de la viande (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Couleur		
					L*	a*	b*
Aviles et al., 2015	JB ¹	Limousine et Retinta	10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine	LM ²	39,9	11,32	6,06 ^b
			10% Paille + 90% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta		41,05	11,25	7,58 ^{ab}
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Limousine		38,5	10,11	8,20 ^a
			11% Paille + 31% ensilage de maïs + 58% mélange de concentrés <i>ad libitum</i> / Retinta		40,36	10,18	7,41 ^{ab}
Faucitano et al., 2008	JB	Angus	Ensilage d'herbe	LM	NS	NS	NS
			Ensilage d'herbe + 40% orge				
			Ensilage d'herbe + 70% orge				
Cerdeño et al., 2006	JB	Brune Suisse x Limousine	Concentrés + paille <i>ad libitum</i> (60 jours)	LM	NS	NS	NS
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (30 jours) puis concentrés + paille <i>ad libitum</i> (30 jours)				
			Foin de luzerne <i>ad libitum</i> + 4 kg concentré/j/animal (60 jours)				
Moloney et al., 2008	Bœuf	Charolais x Holstein	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + concentrés	LM	NS	NS	NS
			Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> pendant 35 jours puis concentrés <i>ad libitum</i>				
Kerth et al., 2007	Bœuf	Angus croisés	Régime avec 85% de concentrés (maïs)	LM	NS	8,13	18,32
			Régime ray-grass pendant 125 jours puis 94 jours du régime avec 85% de concentrés (maïs)			8,48	21,88
			Régime 100% ray-grass (pendant 178 jours)			9,47	24,36
Kerth et al., 2007	Bœuf	Angus croisés	Régime avec 85% de concentrés (maïs)	LM	NS	NS	18,14
			Régime ray-grass pendant 125 jours puis 94 jours du régime avec 85% de concentrés (maïs)				
			Régime 100% ray-grass (pendant 178 jours)				
			Régime 100% ray-grass (pendant 178 jours)				
French et al., 2001	Bœuf	Charolais x Limousine	100% herbe	LM	NS	NS	21,51
			77% herbe + 23% concentrés				
			63% herbe + 37% concentrés				
			50% herbe + 50% concentrés				
			75% herbe + 25% concentrés				
			100% concentrés				

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; \$ = $P < 0,10$; *** = $P < 0,001$

Tableau 53 Effet de la composition de la ration de finition sur la couleur de la viande (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Composition de la ration de finition	Muscle	Couleur			
					L*	a*	b*	
French et al., 2000	Bœuf	Croisés	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 4 kg de concentrés	LM ¹	NS	NS	NS	
			1kg MS de foin + 8 kg de concentrés					
			6 kg MS d'herbe + 5 kg de concentrés					
			12 kg MS d'herbe + 2,5 kg de concentrés					
			22 kg MS d'herbe					
Sugimoto et al., 2012	Vache	Japanese Black	60% de concentrés (céréales) dans la ration	LM	35,3	**	NS	
			40% de concentrés (céréales) dans la ration					
Sugimoto et al., 2012	Vache	Japanese Black	Nature du fourrage dans la ration : foin	LM	NS	NS	NS	
			Nature du fourrage dans la ration : paille de riz					
Holmer et al., 2009b	Vache	Races allaitantes	90% ensilage de maïs	LM	NS	NS	NS	
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours					
Holmer et al., 2009b	Vache	Races allaitantes	90% ensilage de maïs	SM ²	33,2	**	21,3	8,8
			90% ensilage de maïs puis 80% de concentrés pendant 57 jours					

¹ *Longissimus* ; ² *Semimembranosus*

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$

les rations avec un haut niveau de concentrés qui induisent la valeur la plus faible du paramètre b^* . Aviles et al. (2015) mettent également en évidence une dépendance du paramètre b^* avec la race car les auteurs observent un effet significatif de la ration sur ce paramètre uniquement pour la race Limousine. Pour la couleur du muscle SM, Holmer et al. (2009b) observent que la viande est plus sombre avec la ration composée uniquement d'ensilage de maïs.

En résumé, il semblerait que la composition de la ration de finition induise plus de variabilité sur les caractéristiques de carcasse par rapport à la tendreté de la viande. Néanmoins, ces différents résultats mettent en évidence que la diversité des rations de finition par les fourrages et les concentrés utilisés ainsi que la proportion de chacun, permettent d'obtenir des caractéristiques de carcasse et de viande équivalentes.

3.2.3.6 Croissance compensatrice

Pour des bœufs abattus au même âge, Cassar-Malek et al., (2004) montrent que la croissance compensatrice n'a pas eu d'effet significatif sur le poids de leur carcasse. Hornick et al. (1998) mettent également en évidence qu'un allongement de la restriction alimentaire suivi d'une même durée de réalimentation n'a pas d'effet sur le poids de la carcasse par rapport aux animaux n'ayant pas eu de restriction. Cependant, dans l'étude de Keogh et al. (2015), les animaux ayant effectué une croissance compensatrice ont des poids de carcasses plus faibles par rapport aux animaux non restreints sur la même durée de finition. D'après les résultats de Hornick et al. (1998) et de Keogh et al. (2015), le rendement de la carcasse apparaît équivalent que la croissance soit discontinuée ou continue. En revanche, Keogh et al. (2015) notent des conformations et des états d'engraissement des carcasses plus faibles pour les animaux ayant réalisé une croissance discontinuée par rapport à ceux ayant eu une croissance continue. Une croissance discontinuée au cours de la phase de finition ne semble pas avoir de répercussion sur la composition de la carcasse (Hornick et al., 1998; McGregor et al., 2012).

D'après les résultats de Hoch et al. (2005), les propriétés contractiles, métaboliques et de structure du muscle TB ne sont pas significativement impactées par le fait que les animaux aient une croissance discontinuée ou pas et des âges d'abattage différents.

La restriction alimentaire n'a pas le même impact sur les activités enzymatiques de l'ICDH et de la LDH en fonction du muscle et du type d'animal (Brandstetter et al., 1998). Chez le jeune bovin et le bœuf, la restriction alimentaire n'impacte pas ces 2 activités enzymatiques pour les muscles LM, ST et BF. En revanche, le muscle TB devient plus oxydatif avec la restriction alimentaire, chez le jeune bovin. Ces 2 activités sont plus impactées par une croissance discontinue mais de manière dépendante du muscle et du type d'animal. Pour le jeune bovin et le bœuf, après une croissance compensatrice, l'activité de la LDH augmente significativement pour les muscles LM et BF, et diminue significativement pour le muscle TB. En revanche, pour le muscle ST, la diminution de l'activité de la LDH n'est observée que chez le bœuf. Concernant l'activité de l'ICDH, pour les 2 types d'animaux, elle décroît uniquement au niveau des muscles TB et BF.

Peu d'études ont analysé l'impact de la croissance compensatrice durant la phase de finition sur les propriétés sensorielles de la viande. Pour la note de tendreté du muscle LM, Therkildsen et al. (2008) observent que les notes les plus élevées sont observées pour les jeunes bovins ayant eu une croissance continue, alors que Boleman et al. (1996) n'observent pas de différence significative des notes de tendreté, chez la vache. Pour le muscle SM, Therkildsen et al. (2008) n'observent pas de différence significative pour la note de tendreté. Ces 2 études obtiennent des résultats opposés lorsque la dureté de la viande de LM est mesurée mécaniquement. En effet, Therkildsen et al. (2008) ne mettent pas en évidence de différence de dureté à partir de la force de cisaillement sur de la viande cuite alors que sur de la viande crue, Boleman et al. (1996) notent que la viande est moins dure lorsque la réalimentation a duré au minimum 56 jours par rapport à une croissance continue. Dans l'étude de Boleman et al. (1996), les différences de résultats entre mesures rhéologiques et sensorielles de la tendreté peuvent être expliquées par la cuisson de la viande. La cuisson a pu atténuer les différences observées sur viande crue et par conséquent celles-ci n'ont pas été perçues par le jury d'analyses sensorielles. Enfin, Hornick et al. (1998) n'observent pas d'effet significatif de l'augmentation de la durée de restriction sur la dureté de la viande cuite mesurée mécaniquement par rapport à la dureté de la viande issue d'animaux non restreints.

Pour la couleur, que ce soit pour le muscle LM ou SM, McGregor et al. (2012) observent que la durée de la restriction alimentaire n'impacte que le paramètre b^* , chez des animaux abattus à des âges non significativement différents. Boleman et al. (1996) quant à eux montrent que la

croissance compensatrice permet d'obtenir une viande plus claire quelle que soit la durée de la réalimentation.

En résumé, une croissance discontinue peut avoir un effet négatif sur les caractéristiques de la carcasse par rapport à une croissance continue. La croissance compensatrice a essentiellement un effet sur les propriétés métaboliques du muscle. Selon le muscle considéré, la croissance compensatrice a des effets différents sur les propriétés de la viande.

3.2.3.7 Effet de l'activité physique et du type de stabulation

Le poids de la carcasse n'est pas impacté par le fait que les animaux se déplacent ou non, durant leur finition (Jurie et al., 1998; Dunne et al., 2005). En revanche, les animaux ayant effectué plus de déplacement produisent des carcasses moins bien conformées et avec des notes d'état d'engraissement plus faibles (Dunne et al., 2005). En accord avec les résultats de Dunne et al. (2005), Jurie et al. (1998) observent pour des poids de carcasses équivalents, que les animaux en stabulation libre ont une quantité de tissu adipeux dans la carcasse significativement plus faible que ceux en stabulation entravée, toutes choses égales par ailleurs.

Au niveau des propriétés contractiles, métaboliques et de structure du muscle, le type de stabulation n'a pas d'impact sur le muscle LM (Jurie et al., 1998). En revanche, lorsque l'animal est en stabulation libre, le muscle ST devient plus oxydatif avec une diminution significative de la proportion des fibres rapides glycolytiques. La localisation anatomique de ce muscle (Figure 10) au niveau de la cuisse arrière explique cela car le muscle ST est impliqué lors du mouvement de l'animal et pas le LM (Jurie et al., 1998; Cassar-Malek et al., 2004b). En revanche, pour le muscle RA, Cassar-Malek et al. (2004b) observent une diminution significative de l'activité de la LDH lorsque les animaux se déplacent plus mais sans répercussion sur l'activité de l'ICDH. En bâtiment, le type de stabulation n'a pas de répercussion sur la tendreté de la viande de différents muscles (Dunne et al., 2008; Brugiapaglia et Destefanis, 2012). Dunne et al. (2008) montrent également qu'une finition en extérieur mais sans pâturage ne modifie pas les propriétés de la viande de LM.

En résumé, le déplacement des animaux durant la finition a un impact essentiellement sur les caractéristiques de la carcasse et les propriétés métaboliques de certains muscles.

Tableau 54 Effet du type de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Type de finition	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement
Duckett et al., 2013	Bœuf	Angus croisés	Pâturage (132 jours)	252	54,3		
			Ensilage de maïs + concentrés (132 jours)	352	62,3		
Moloney et al., 2011	Bœuf	Charolais x Holstein	Ensilage d'herbe ad libitum + 6 kg de concentrés pendant 174 jours, abattage 25 mois	342		NS	4/5
			Pâturage (46 jours) puis ration hivernale (ensilage d'herbe) puis pâturage (167 jours), abattage 30 mois	376			3,59/5
Neel et al., 2007	Bœuf	Angus croisés	Pâturage	247	54		
			Feedlot	325	61,8		
Realini et al., 2004	Bœuf	Hereford	Pâturage (130 jours)	225,6		3/6	
			Ration : 50% ensilage de maïs + 50% concentrés (100 jours)	240,1			
Bidner et al., 1986	Bœuf	Angus x Hereford x Brahman et Angus x Hereford	Ration 100% concentrés	NS	55,3		
			100% Pâturage et pâturage puis paille ad libitum + tourteaux de coton		53,6		
Bowling et al., 1978	Bœuf	Santa Gertrudis	Ration de finition (125 jours)		62,3 ^a		
			Ration de finition (255 jours)		64,4 ^b		
			Ration : ensilage de sorgho + 1,9 kg de complément (210 jours) puis ration finition (53 jours)		61,9 ^a		
Bowling et al., 1978	Bœuf	Santa Gertrudis	Ration : foin et paille de riz (56 jours) puis pâturage (139 jours)		56,6 ^a		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés		58,9 ^a		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours) + 139 jours de pâturage (139 jours), ration de finition (130 jours)		64,5 ^b		

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Tableau 55 Effet du type de finition sur le poids, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Type de finition	Poids carcasse (kg)	Rendement (%)	Conformation	Etat d'engraissement	
Bowling et al., 1978	Bœuf	Santa Gertrudis	Ration : foin et paille de riz (56 j), pâturage (270 jours), ration hiver : ensilage de sorgho + compléments (80 jours), pâturage (119 jours)	NS	60,7 ^a	***	3,29/5 ^a	
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (207 jours), ration hiver : ensilage de sorgho + compléments (80 jours), pâturage (119 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés		61,7 ^b			3,74/5 ^b
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (270 jours), ration hiver : ensilage de sorgho + compléments (80 jours), pâturage (119 jours), ration de finition (98 jours)		63,0 ^b			3,86/5 ^b
Keane et Allen, 1998	JB et bœuf	Charolais x Holstein	Intensif : ensilage d'herbe + concentrés + Abattage 19 mois	NS	568 ^a	***	3,58/5 ^a	
			Conventionnel : 2 pâturages et 2 hivernages (ensilage d'herbe + concentrés) + abattage 24 mois		541 ^b			3,00/5 ^b
			Extensif : 3 pâturages et 2 hivernages (ensilage d'herbe mauvaise qualité + concentrés sauf 2ème hiver) + abattage 29 mois		535 ^b			2,83/5 ^b
Cozzi et al., 2010	Génisse	Limousine	Ration ad libitum (ensilage de maïs + foin + céréales) Pâturage plus supplémentation : céréales + tourteau de soja	NS	NS	NS	NS	

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

3.2.3.8 Le type de finition : pâturage vs indoor

Dans la littérature, les types de finition sont définis par un ensemble de critères qui sont déterminés au début de l'expérimentation. De ce fait, dans ce type d'étude, le type de finition peut être considéré comme monofactoriel. Les types de finition : au pâturage vs en bâtiment sont généralement comparés.

Souvent, les animaux ayant une période de pâturage durant la phase de finition produisent des carcasses plus légères (Tableau 54 et Tableau 55). Cependant, Keane et Allen (1998) et Cozzi et al. (2010) ne mettent pas en évidence cette différence de poids de carcasse. Pour l'étude de Keane et Allen (1998), l'âge d'abattage est un facteur qui varie en plus du type de finition. Comme il a été montré précédemment l'âge à l'abattage a un effet sur le poids de la carcasse. L'absence de différences entre les poids carcasse est fortement impactée par un allongement de la durée de la finition et un abattage plus âgé des animaux. Cette étude montre que les effets du type de finition peuvent être atténués en faisant varier d'autres facteurs d'élevage. L'impact du type de finition est similaire sur le rendement de la carcasse avec des rendements plus faibles lorsque les animaux réalisent leur finition au pâturage (Tableau 54 et Tableau 55). En accord avec les résultats obtenus par Cozzi et al. (2010) chez la génisse, une complémentation en concentrés durant une finition au pâturage des bœufs, permet d'obtenir des rendements carcasses équivalents par rapport à des bœufs réalisant la fin de leur finition en bâtiment (Bowling et al., 1978). D'après les résultats de différentes études, la conformation n'est pas impactée significativement par le type de finition. Cependant, dans l'étude de Keane et Allen (1998), bien que les animaux réalisant une finition au pâturage soient abattus plus âgés, les auteurs observent pour ces animaux des conformations plus faibles. Les études analysant l'influence du type de finition sur l'état d'engraissement, obtiennent des résultats contradictoires. Leur faible nombre rend difficile la compréhension de l'impact de ce facteur sur l'état d'engraissement de la carcasse. Néanmoins, la proportion de tissu adipeux est plus élevée pour les types de finition uniquement en bâtiment ou terminant la finition en bâtiment (Bowling et al., 1978; Duckett et al., 2013). Concernant la proportion de muscle, celle-ci est significativement plus élevée lorsque les animaux sont finis uniquement au pâturage par rapport aux animaux ayant reçu une complémentation en concentrés au pâturage ou une ration de finition en bâtiment (Bowling et al., 1978). D'après les résultats de Nuernberg et al. (2005), le type de finition n'a pas eu d'impact sur le pH 24h.

Tableau 56 Effet du type de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Type de finition	Muscle	Durée maturatio n (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur	Appréciation globale	
Serrano et al., 2007	JB ¹	Salers	Foin + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)	LM ²	8		5,17/10 ^a	4,60/10 ^a			
			Herbe coupée + haut niveau de concentrés (<i>ad libitum</i>)				**	4,79/10 ^a			**
			Pâturage de montage + concentrés (<i>ad libitum</i>)					3,63/10 ^b			
Duckett et al., 2013	Boeuf	Angus croisés	Pâturage (132 jours)	LM	14	71	NS	NS			
			Ensilage de maïs + concentrés (132 jours)								
			Ration 100% concentrés								
Bidner et al., 1986	Boeuf	Hereford x Brahman et Angus x Hereford	100% Pâturage puis paille <i>ad libitum</i> + tourteaux de coton	LM et ST ³	5	70	NS	NS		NS	
			Ration de finition (125 jours)								
			Ration de finition (255 jours)								
Bowling et al., 1978	Boeuf	Santa Gertrudis	Ration : foin et paille de riz (56 jours) puis pâturage (139 jours)	LM		75	6,3/10 ^b	5,6/10 ^a	5,8/10 ^b		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				5,9/10 ^b	6,2/10 ^{ab}	6,2/10 ^{ab}		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				4,9/10 ^c	4,0/10 ^b	4,4/10 ^d		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				4,4/10 ^c	4,2/10 ^b	4,9/10 ^c		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				5,8/10 ^b	5,8/10 ^a	5,8/10 ^b		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				6,9/10 ^a	6,2/10 ^a	4,6/10 ^{cd}		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				7,4/10 ^a	6,6/10 ^a	5,0/10 ^c		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				5,7/10 ^b	5,9/10 ^a	6,8/10 ^a		
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés								
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés								

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus ; ³ Semitendinosus

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$

Tableau 57 Effet du type de finition sur les propriétés sensorielles de la viande (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Type de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Tendreté globale	Jutosité	Intensité de Flaveur	Appréciation globale
Moloney et al., 2011	Bœuf	Charolais x Holstein	Ensilage d'herbe ad libitum + 6 kg de concentrés (174 jours), abattage 25 mois	LM ¹	2, 7 et 14	70	NS	NS	NS	§
			Pâturage (46 jours) puis ration hivernale (ensilage d'herbe) puis pâturage (167 jours), abattage 30 mois							
Bidner et al., 1981	Bœuf	Angus et Hereford x Angus	Pâturage (printemps et été) puis hiver (ration foin + tourteaux de coton) pendant 148 jours puis pâturage (3 mois)	Moyenne des muscles : LM ¹ et SM ²	6		NS	NS	NS	NS
			Pâturage puis pendant 284 jours Pâturage + concentrés							
			Pâturage puis pendant 60 jours Pâturage + concentrés puis pendant 70 jours : ration maïs grain en feedlot							
			Pâturage et poids de 385 kg puis pendant 74 jours : ration maïs grain en feedlot							
Keane et Allen, 1998	JB et bœuf	Charolais x Holstein	Intensif : ensilage d'herbe + concentrés + Abattage 19 mois	LM	10		NS	NS	NS	NS
			Conventionnel : 2 pâturages et 2 hivernages (ensilage d'herbe + concentrés) + abattage 24 mois							
			Extensif : 3 pâturages et 2 hivernages (ensilage d'herbe mauvaise qualité + concentrés sauf 2ème hiver) + abattage 29 mois							
			Ration finition : 40% foin de Luzerne + 60% concentrés (114 jours)							
Pordomingo et al., 2012	Génisse	Angus	Ration finition : 70% foin de Luzerne + 30% concentrés (114 jours)	LM	7	71	6,93/9 ^b	6,60/9 ^b	*	
			Ration finition : 100% foin de Luzerne (114 jours)							
			Pâturage (114 jours)							
Pordomingo et al., 2012	Génisse	Angus	Ration finition : 40% foin de Luzerne + 60% concentrés (114 jours), pâturage (132 jours)	LM	7	71	NS	6,33 ^b	6,48 ^b	*
			Ration finition : 70% foin de Luzerne + 30% concentrés (114 jours), pâturage (132 jours)							
			Ration finition : 100% foin de Luzerne (114 jours), pâturage (132 jours)							
			Pâturage (246 jours)							

¹ Longissimus ; ² Semitendinosus

^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

NS = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0,05$

Plusieurs études montrent des notes de tendreté du LM différentes en fonction du type de finition selon le type d'animal. En effet, chez le jeune bovin, Serrano et al. (2007) obtiennent des notes de tendreté plus faibles pour les animaux ayant eu une finition au pâturage. En revanche la majorité des études chez les bœufs ne détecte pas de différences significatives entre les types de finition (Tableau 56 et Tableau 57). Cependant, Bowling et al. (1978) obtiennent les notes de tendreté les plus élevées pour des bœufs terminant leur finition au pâturage avec 2 types de finition différents. Chez la génisse, d'après Pordomingo et al. (2012), la réalisation de la finition uniquement au pâturage ou en bâtiment, n'a pas d'impact sur la note de tendreté. De plus, un allongement de la durée de finition par du pâturage n'a pas de répercussion sur la note de tendreté toujours d'après Pordomingo et al. (2012). Les effets du type de finition sur la dureté du LM mesurée mécaniquement sont très variables. En effet, chez le bœuf et la génisse, des auteurs mettent en évidence que la viande est plus dure pour les animaux ayant réalisé du pâturage alors que d'autres auteurs n'observent pas de différences significatives (Tableau 58 et Tableau 59). L'étude de Pordomingo et al. (2012) montre qu'il est possible d'obtenir des notes de tendreté élevées et équivalentes avec une finition au pâturage et en bâtiment. Les différences entre résultats sont difficiles à interpréter car les types de finition sont différents entre les études, en particulier par leur durée. Il a été montré précédemment que la durée de finition était un facteur d'élevage pouvant impacter la dureté de la viande. Dans la majorité des études, les autres indicateurs sensoriels du LM ne sont pas impactés par le type de finition. Contrairement à Duckett et al. (2013) qui observent des notes de flaveur du LM plus faibles avec une finition au pâturage, Bowling et al. (1978) obtiennent les notes de flaveur les plus élevées à partir de 2 types de finition très différents dont l'un comprend une longue durée de pâturage. Dans l'étude de Bowling et al. (1978), les notes de jutosité sont également significativement différentes selon le type de finition. Cependant, les notes les plus élevées sont obtenues à partir de différents types de finition (Tableau 58 et Tableau 59). Dans la plupart des études, la viande de LM issue des animaux réalisant une finition au pâturage est plus sombre (Tableau 60).

En résumé, le type de finition réalisé peut avoir des répercussions défavorables sur les caractéristiques de la carcasse. Au niveau des propriétés de la viande, le type de finition impacte essentiellement la tendreté et la couleur avec une plus grande sensibilité des jeunes bovins par rapport aux bœufs et aux génisses.

Tableau 58 Effet du type de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 1)

Référence	Type d'animal	Race	Type de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)
Nuernberg et al., 2005	JB ¹	Simmental et Holstein	50% <i>ad libitum</i> : ensilage de maïs + concentrés (orge, tourteaux de soja) + foin + paille) Pâturage durant l'été puis durant l'hiver + 3 mois : foin + concentrés (orge et graine de lin) + ensilage d'herbe	LM ²	12		Effet significatif de la nature de la ration (*). Les animaux les plus tendres ont reçu la ration à base d'ensilage de maïs
Moloney et al., 2011	Bœuf	Charolais x Holstein	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 6 kg de concentrés (orge, tourteaux de soja, mélasse) pendant 174 jours, abattage 25 mois Pâturage (46 jours) puis ration hivernale (ensilage d'herbe) puis pâturage (167 jours), abattage 30 mois Pâturage (130 jours)	LM	2, 7 et 14	70	Le type de finition a un effet significatif (**). La ration avec concentrés donne des animaux moins durs.
Realini et al., 2004	Bœuf	Hereford	Ration : 50% ensilage de maïs + 50% concentrés (100 jours)	LM	1,7 et 14	71	A 7 (**) et à 14 (*) jours de maturation, la viande est plus tendre pour les animaux avec une finition au pâturage.
Bidner et al., 1986	Bœuf	Angus x Hereford x Brahman et Angus x Hereford	Ration 100% concentrés 100% Pâturage (animaux phase I) et pâturage puis paille <i>ad libitum</i> + tourteaux de coton (animaux phase II)	LM	5	70	NS
Bowling et al., 1978	Bœuf	Santa Gertrudis	Ration de finition (125 jours)	LM		75	4,45 ^a
			Ration de finition (255 jours)				3,68 ^b
			Ration : foin et paille de riz (56 jours) puis pâturage (139 jours)				4,91 ^a
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (139 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				5,09 ^a
			Ration : foin et paille de riz (56 jours) + 139 jours de pâturage (139 jours), ration de finition (130 jours)				4,82 ^a
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (270 jours), ration hiver : ensilage de sorgho + compléments (80 jours), pâturage (119 jours)				4,91 ^a
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (207 jours), ration hiver : ensilage de sorgho + compléments (80 jours), pâturage (119 jours) dont 60 jours avec un complément de concentrés				4,73 ^a
			Ration : foin et paille de riz (56 jours), pâturage (270 jours), ration hiver : ensilage de sorgho + compléments (80 jours), pâturage (119 jours), ration de finition (98 jours)				4,86 ^a

¹ Jeune bovin ; ² Longissimus ; ^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; NS = non significatif ($P > 0,05$) ; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$

Tableau 59 Effet du type de finition sur la dureté de la viande évaluée par la force maximale de cisaillement (partie 2)

Référence	Type d'animal	Race	Type de finition	Muscle	Durée maturation (jours)	T° cuisson à cœur (°C)	Force de cisaillement (kg)		Force de cisaillement (N)	
Pordomingo et al., 2012	Génisse	Angus	Ration finition : 40% foin de Luzerne + 60% concentrés (114 jours)	LM ¹	7	71			29,1 ^a	*
			Ration finition : 70% foin de Luzerne + 30% concentrés (114 jours)						29,7 ^{ab}	
			Ration finition : 100% foin de Luzerne (114 jours) Pâturage (114 jours)						32,7 ^b	
Pordomingo et al., 2012	Génisse	Angus	Ration finition : 40% foin de Luzerne + 60% concentrés (114 jours) + 132 jours de pâturage	LM	7	71				NS
			Ration finition : 70% foin de Luzerne + 30% concentrés (114 jours) + 132 jours de pâturage							
			Ration finition : 100% foin de Luzerne (114 jours) + 132 jours de pâturage Pâturage (246 jours)							
Cozzi et al., 2010	Génisse	Limousine	Bâtiment : ration <i>ad libitum</i> (ensilage de maïs + foin + céréales)	LM	8		3,24			*
			Pâturage plus supplémentation céréales + tourteau de soja				3,92			
Bidner et al., 1981	Bœuf	Angus et Hereford x Angus	Pâturage (printemps et été) puis hiver (ration foin + tourteaux de coton) pendant 148 jours puis pâturage (3 mois)	Moyenne des muscles : LM et SM ²	6					NS
			Pâturage puis pendant 284 jours Pâturage + concentrés							
			Pâturage puis pendant 60 jours Pâturage + concentrés puis pendant 70 jours : ration maïs grain en feedlot							
			Pâturage et poids de 385 kg puis pendant 74 jours : ration maïs grain en feedlot							
Crouse et al., 1984	Génisse	Hereford x Angus	Pâturage	LM, SM et ST ³	7	70				NS
			Ensilage de maïs + tourteau soja							

¹ Longissimus ; ² Semimembranosus ; ³ Semitendinosus ; ^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; S = non significatif ($P > 0.05$) ; * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$

Tableau 60 Effet du type de finition sur la couleur de la viande

Référence	Type d'animal	Race	Type de finition	Muscle	Couleur			
					L*	a*	b*	
Huuskonen et al., 2010	JB ¹	Hereford	Pâturage + 4,4 kg MS/j/animal de concentrés	LM ²	39,2	26,6	9,6	*
			Ration ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 4,4 kg MS/j/animal de concentrés		41	27,8	10,4	*
Duckett et al., 2013	Bœuf	Angus croisés	Pâturage (132 jours)	LM	40,05	23,81		NS
			Ensilage de maïs + concentrés (132 jours)		43,2	25,44	§	NS
Moloney et al., 2011	Bœuf	Charolais x Holstein	Ensilage d'herbe <i>ad libitum</i> + 6 kg de concentrés (orge, tourteaux de soja, mélasse) pendant 174 jours, abattage 25 mois	LM	36,9	16,4	9,6	*
			Pâturage (46 jours) puis ration hivernale (ensilage d'herbe) puis pâturage (167 jours), abattage 30 mois		35,6	15,8	9,1	§
Realini et al., 2004	Bœuf	Hereford	Pâturage (130 jours)	LM	33,8			NS
			Ration : 50% ensilage de maïs + 50% concentrés (100 jours)		35,56			NS
Keane et Allen, 1998	JB et bœuf	Charolais x Holstein	Intensif : ensilage d'herbe + concentrés + Abattage 19 mois	LM	36,5 ^a	19,2 ^a	11,2 ^a	
			Conventionnel : 2 pâturages et 2 hivernages (ensilage d'herbe + concentrés) + abattage 24 mois		35,8 ^a	17,9 ^a	8,1 ^b	***
			Extensif : 3 pâturages et 2 hivernages (ensilage d'herbe mauvaise qualité + concentrés sauf 2ème hiver) + abattage 29 mois		28,2 ^b	15,0 ^b	5,6 ^c	
			Bâtiment : ration <i>ad libitum</i> (ensilage de maïs + foin + céréales)		35,8	13,7	14,6	*
Cozzi et al., 2010	Génisse	Limousine	Pâturage plus supplémentation céréales + tourteau de soja	LM	33	15,4	15,6	
			Ration finition : 40% foin de Luzerne + 60% concentrés (114 jours)		38,2 ^b	16,8 ^a	14,8 ^a	
Pordomingo et al., 2012	Génisse	Angus	Ration finition : 70% foin de Luzerne + 30% concentrés (114 jours)	LM	37,3 ^a	17,0 ^a	15,2 ^{ab}	*
			Ration finition : 100% foin de Luzerne (114 jours)		37,2 ^a	17,7 ^b	15,3 ^b	
			Pâturage (114 jours)		37,9 ^b	17,1 ^a	15,6 ^b	
Pordomingo et al., 2012	Génisse	Angus	Ration finition : 40% foin de Luzerne + 60% concentrés (114 jours) puis pâturage (132 jours)	LM			15,4 ^a	
			Ration finition : 70% foin de Luzerne + 30% concentrés (114 jours) puis pâturage (132 jours)		NS	NS	15,8 ^a	*
			Ration finition : 100% foin de Luzerne (114 jours) puis pâturage (132 jours)				15,7 ^a	
			Pâturage (246 jours)				16,3 ^b	

¹ Jeune bovin ; ² *Longissimus* ; ^{a,b} Pour une même référence, les valeurs d'une colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$) ; NS = non significatif ($P > 0,05$) ; § = $P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$

Néanmoins, il est possible, avec des finitions comprenant du pâturage, d'aboutir à des viandes ayant les mêmes propriétés sensorielles qu'avec des finitions uniquement en bâtiment.

3.3 Effet des interactions entre 2 facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande

Les interactions, entre 2 facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande, se retrouvent principalement dans les études portant sur la période de finition.

Plusieurs études ont montré que quelle que soit la race, la composition de la ration a le même effet sur le poids de la carcasse (Corazzin et al., 2012; Costa et al., 2013; Pesonen et al., 2013). En revanche, Warren et al. (2008) et Aviles et al. (2015) observent que la composition de la ration a un effet différent sur le poids de la carcasse selon la race considérée. Néanmoins, dans l'étude de Warren et al. (2008), l'interaction n'est plus significative lorsque les animaux sont abattus plus âgés (24 mois). Dans la majorité des cas, quelle que soit la race, la composition de la ration n'a pas d'effet significatif sur le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse (Warren et al., 2008; Corazzin et al., 2012; Costa et al., 2013; Pesonen et al., 2013; Aviles et al., 2015). Toutefois, Aviles et al. (2015) et Pesonen et al. (2013) observent, que l'interaction race x composition de la ration, est significative respectivement pour l'état d'engraissement et la conformation de la carcasse. L'effet de l'âge à l'abattage quant à lui n'est pas le même sur le poids et le rendement de la carcasse selon la race (Bonaïti et al., 1988).

D'après l'étude de Bures et Barton (2012), l'interaction type d'animal x âge à l'abattage n'a pas d'effet sur le poids de la carcasse, le rendement, la conformation et l'état d'engraissement de la carcasse. Les interactions type d'animal x poids à l'abattage (Steen et Kilpatrick, 1995) et type de finition x poids à l'abattage (Keane et Allen, 1998) n'ont pas d'effet sur l'état d'engraissement de la carcasse. Cependant, Steen et Kilpatrick (1995) et Keane et Allen (1998) observent que selon le type d'animal, le poids d'abattage et le type de finition n'ont pas d'effet sur le poids et la conformation de la carcasse. Steen et Kilpatrick (1995) observent que l'interaction type d'animal x poids à l'abattage a un effet sur la proportion de muscle et de tissu adipeux dans la carcasse. En revanche, l'étude de Bures et Barton (2012) montre que l'interaction type d'animal x âge à l'abattage ne fait pas varier significativement la valeur du pH 24 h. Nuernberg et al. (2005) quant à eux mettent en évidence que selon la race, la composition de la ration a un effet sur le pH 24h.

A notre connaissance, des interactions n'ont été étudiées que sur les propriétés contractiles du muscle ST. Vestergaard et al. (2000), n'observent pas d'effet du poids à l'abattage sur les propriétés contractiles et de structure du ST quel que soit le type de finition. En revanche, selon la race, Schreurs et al. (2007) mettent en évidence un effet de l'âge d'abattage sur la surface moyenne des fibres de ce même muscle. Pour les activités métaboliques du muscle, des résultats différents sont observés pour les interactions étudiées en fonction du muscle et du type d'animal. Pour le muscle ST, quelle que soit la race, l'âge à l'abattage n'impacte pas significativement les activités de la LDH et de l'ICDH (Schreurs et al., 2007), alors que, selon le type de finition, le poids à l'abattage a un effet sur l'activité de la LDH (Vestergaard et al., 2000). Avec une finition de type intensif, les jeunes bovins abattus plus lourds ont une diminution significative de leur activité LDH par rapport aux jeunes bovins abattus plus légers. En revanche, dans le type de finition extensif, le poids à l'abattage n'a pas d'effet significatif sur l'activité de la LDH. Dans cette même étude, les auteurs n'observent pas d'effet de cette interaction sur le muscle LM. Enfin, chez le bœuf, pour les muscles LM, ST, TB et BF, Brandstetter et al. (1998) n'observent pas, de différence significative des activités de la LDH et de l'ICDH pour l'interaction entre âge d'abattage x restriction alimentaire. Cependant, chez le jeune bovin, les activités de la LDH et de l'ICDH sont significativement impactées par cette interaction pour les muscles ST et pas pour le muscle LM (Brandstetter et al., 1998).

D'après différentes études, quelle que soit la race, la composition de la ration de finition n'a pas d'effet sur les descripteurs sensoriels (Pesonen et al., 2013) et la dureté de la viande (LM) mesurée mécaniquement (Nuernberg et al., 2005; Costa et al., 2013). A l'inverse, Kamatara et al. (2013) mettent en évidence que selon la race considérée, le type de finition a un effet sur les descripteurs sensoriels et la dureté de la viande de LM. D'après les résultats de Fortin et al. (1985) et de Keane and Allen (1998), les interactions type d'animal x composition de la ration et type de finition x poids abattage n'induisent pas de variations significatives des descripteurs sensoriels de la viande de LM.

Enfin pour la couleur de la viande, l'interaction type de finition x poids à l'abattage a un effet sur les descripteurs a^* et b^* de la viande de LM (Keane et Allen, 1998; Vestergaard et al., 2000), alors qu'elle n'est pas significative pour la couleur de la viande de ST (Vestergaard et al., 2000).

En résumé, les effets simultanés de 2 facteurs d'élevage peuvent conduire à des réponses différentes de celles observées lorsque les 2 facteurs sont étudiés indépendamment. Cela montre qu'il est nécessaire de considérer les combinaisons de facteurs d'élevage pour expliquer les modifications observées sur la carcasse, le muscle ou la viande.

3.4 Les pratiques et les conduites d'élevage : effet de la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande

On entend par pratique d'élevage, la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage. Chaque facteur d'élevage a une variabilité propre. Pour définir une pratique d'élevage, il faut considérer l'ensemble des facteurs d'élevage appliqués de façon concomitante. On utilise le terme de conduite d'élevage lorsque l'on considère l'association de plusieurs pratiques d'élevage. La conduite d'élevage prend en compte une période plus longue de la vie de l'animal par rapport à une pratique d'élevage. A notre connaissance, il y a peu de résultats montrant l'impact des pratiques ou des conduites d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande.

3.4.1 Effet des pratiques d'élevage au cours la période de finition

Durant la période de finition, les différentes pratiques d'élevage définies par Couvreur et al. (2013) n'ont pas d'effet sur les propriétés métaboliques du muscle LM. Au niveau des propriétés contractiles de ce muscle, seules les vaches provenant de la finition avec le plus de pâturage ont une augmentation significative de la proportion de fibres IIA. Au niveau des propriétés de la viande, les pratiques d'élevage n'ont pas d'effet significatif sur la dureté du LM mesurée mécaniquement et également peu d'effet sur la note de tendreté du RA. Ces résultats montrent néanmoins, qu'il est possible d'obtenir une tendreté de viande équivalente à partir de pratiques d'élevage différentes durant la phase de finition. Bien que la note d'intensité de flaveur du RA ne soit pas différente entre les différentes pratiques, Couvreur et al. (2013) obtiennent des viandes de RA plus juteuses à partir des vaches issues de la pratique combinant essentiellement une durée de finition plus longue et une faible quantité de concentrés distribuée par jour par rapport aux autres pratiques définies.

3.4.2 Effet des conduites d'élevage au cours de l'ensemble de la vie de l'animal

Afin de considérer l'ensemble des pratiques reçues durant la vie de l'animal, Oury et al. (2007) ont défini différentes conduites d'élevage. Ces différentes conduites n'ont pas eu d'effet significatif sur les caractéristiques de la carcasse et les notes d'intensité de flaveur du RA. Entre les conduites d'élevage définies, Oury et al. (2007) n'observent des différences que pour les notes de tendreté du RA. Néanmoins, en accord avec les résultats de Couvreur et al. (2013), ces données montrent que plusieurs combinaisons de pratiques d'élevage permettent d'obtenir des caractéristiques de carcasse et de viande équivalentes.

Pour conclure sur cette partie, à différentes périodes de la vie de l'animal, les variations individuelles de certains facteurs d'élevage ont un effet sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande. La prise en considération d'un maximum de facteurs d'élevage qui caractérisent la pratique ou la conduite d'élevage est nécessaire pour expliquer les différences observées sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle ou de la viande.

4 Prédiction des caractéristiques de la carcasse et de la viande

Le caractère multifactoriel des caractéristiques de la carcasse et de la viande rend difficile la maîtrise de leurs variabilités. Or, il est important pour la filière bovine de pouvoir maîtriser cette variabilité afin de pouvoir répondre aux différentes demandes du marché. Il a été montré que la conduite d'élevage mise en œuvre par l'éleveur a un impact sur les critères caractérisant la carcasse, le muscle et la viande. Une prédiction de ces caractéristiques à partir des pratiques ou des conduites d'élevage peut donc être envisagée et permettrait un pilotage de la production en amont afin d'améliorer l'atteinte des objectifs de la filière. La partie suivante a pour but de présenter les modèles existants, chez le bovin, permettant de prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir de données sur animal vivant.

Tableau 61 Modèles de prédiction développés en régression linéaire pour prédire les caractéristiques de l'animal à partir des données sur l'animal vivant

Référence	Type animal	Variable dépendant	Variable indépendante	R ²
Minchin et al., 2009	Vache	Poids carcasse	Poids vif avant abattage+ NEC ¹	0,81 (race laitière) ; 0,85 (race à viande précoce) ; 0,79 (race à viande tardive)
Pogorzelska-Przybylek et al., 2014	JB ²	Poids carcasse	Poids vif avant abattage + critères morphologiques de l'animal (mesuré par échographie)	0,94
Pogorzelska-Przybylek et al., 2014	JB	Poids carcasse	Critères morphologiques de l'animal (mesuré par échographie)	0,89
Minchin et al., 2009	Vache	Conformation	NEC	0,49 (race à viande précoce) ; 0,43 (race à viande tardive)
Lambe et al., 2010	Boeuf	Conformation	Poids vif (début et fin de finition) + épaisseur de muscle et de gras (mesure par échographie en début et fin de finition)	0,56
Pogorzelska-Przybylek et al., 2014	JB	Conformation	Critères morphologiques de l'animal	0,78
Minchin et al., 2009	Vache	Etat d'engraissement	NEC	0,65 (race à viande précoce) ; 0,59 (race à viande tardive)
Lambe et al., 2010	Boeuf	Etat d'engraissement	Poids vif (début et fin de finition) + épaisseur de muscle et de gras (mesure par échographie en début et fin de finition)	0,6
Pogorzelska-Przybylek et al., 2014	JB	Etat d'engraissement	Age abattage + critères morphologiques de l'animal (mesuré par échographie)	0,63
Lambe et al., 2010	Boeuf	Tissu adipeux ³ (%)	Poids vif (début et fin de finition) + épaisseur de muscle et de gras (mesure par échographie en début et fin de finition)	0,85
De Paula et al., 2013	JB	Tissu adipeux (kg)	Poids vif + critères morphologiques de l'animal	> 0,8
Lambe et al., 2010	Boeuf	Tissu adipeux (kg)	Poids vif (début et fin de finition) + épaisseur de muscle et de gras (mesure par échographie en début et fin de finition)	0,84
Lambe et al., 2010	Boeuf	Muscle ⁴ (%)	Poids vif (début et fin de finition) + épaisseur de muscle et de gras (mesure par échographie en début et fin de finition)	0,81
Lambe et al., 2010	Boeuf	Muscle (kg)	Poids vif (début et fin de finition) + épaisseur de muscle et de gras (mesure par échographie en début et fin de finition)	0,81

¹ Note d'état corporel ; ² Jeune bovin ; ³ Tissu adipeux dans la carcasse ; ⁴ Muscle dans la carcasse

4.1 Prédiction des caractéristiques de la carcasse à partir de données sur animal vivant

4.1.1 Les modèles existants

Plusieurs études ont développé des modèles pour prédire les caractéristiques de la carcasse à partir de données mesurées sur animal vivant. Cependant, les variables considérées pour prédire un critère de la carcasse, ne sont principalement que des données propres à l'animal mesurées juste avant l'abattage (Tableau 61). Les modèles de prédiction du poids de la carcasse ont des coefficients de détermination élevés (R^2 proche de 0,8 au minimum). Ces résultats montrent que les modèles permettent une bonne prédiction du poids de la carcasse. Dans la plupart de ces modèles figurent le poids vif de l'animal avant abattage qui est fortement corrélé au poids de la carcasse ($R^2 = 0,96$ dans l'étude de Pogorzelska-Przybyłek et al. (2014)). Cependant, ces auteurs ont également construit un modèle permettant d'expliquer 78% de la variabilité du poids de la carcasse avec uniquement des critères morphologiques de l'animal. En revanche, les modèles de prédiction de la conformation et de l'état d'engraissement de la carcasse ne permettent qu'une prédiction plus faible avec des $R^2 < 0,7$. Le modèle de prédiction de la conformation à partir de critères morphologiques de l'animal mesurés par échographie proposé par Pogorzelska-Przybyłek et al., (2014) permet d'expliquer 78% de la variabilité de la conformation de la carcasse. Les travaux de Lambe et al., (2010) et de De Paula et al. (2013) ont établi des modèles de prédiction de la proportion ou de la quantité de muscle et de tissu adipeux de la carcasse à partir de mesures sur l'animal vivant. Cependant, dans le modèle développé par De Paula et al. (2013), les variables explicatives sont très corrélées entre elles ($r \geq 0.95$). Il y a un fort risque de multicolinéarité qui pourrait avoir un effet sur la qualité de prédiction du modèle bien que le R^2 soit élevé.

4.1.2 Effets des facteurs d'élevage dans ces modèles

D'après les coefficients des modèles utilisant le poids vif avant abattage, une augmentation de ce poids permet d'obtenir des carcasses plus lourdes (Minchin et al., 2009; Pogorzelska-Przybyłek et al., 2014) et plus conformées (Lambe et al., 2010). Dans les modèles De Paula et al. (2013) sur la quantité ou la proportion de muscle ou de tissu adipeux dans la carcasse, les coefficients associés au poids de début et fin de finition ont systématiquement des coefficients opposés. Dans la majorité des modèles, une augmentation du poids de début de finition a un effet négatif sur ces 2 éléments caractérisant la carcasse et inversement pour le poids de fin de finition. D'après les

Tableau 62 Modèles de prédiction développés pour prédire les propriétés de la viande à partir de données sur la carcasse et/ou le muscle

Référence	Type animal	Variable dépendante	Méthode Statistique	Variable indépendante	R ²
Prieto et al., 2009	Bœuf et génisse	Tendreté	Régression PLS	Spectre dans le visible et le proche infrarouge de la surface viande	0,51
Whipple et al., 1990		Tendreté	Régression linéaire	Activité de l'inhibiteur de protéase calcium dépendante + pH 6h + surface des fibres I	0,6
Prieto et al., 2009	Bœuf et génisse	Jutosité	Régression PLS	Spectre dans le visible et le proche infrarouge de la surface viande	0,45
Prieto et al., 2009	Bœuf et génisse	Flaveur	Régression PLS	Spectre dans le visible et le proche infrarouge de la surface viande	0,67
Goñi et al., 2007	JB ²	Force de cisaillement (maturation 7 jours)		b* du LM ¹ mesurée à 24h	0,19
		Force de cisaillement (maturation 14 jours)		a* du RA ³ mesurée à 45 min + L* du LM mesurée à 24h	0,23
				Animaux culards : poids carcasses + teneur en lipides intramusculaires du LM + clarté de la viande (L*)	0,1
				Animaux non culards = clarté de la viande (L*)	0,02
Fiems et al., 2000	JB	Force de cisaillement	Régression linéaire	Tous les animaux (culards et non culards) = poids carcasses + teneur en lipides intramusculaires du LM + clarté de la viande (L*)	0,13
Bowling et al., 1977	Bœuf	Force de cisaillement	Régression linéaire	Poids carcasses + épaisseur de gras sous cutané + note de persillé + surface du muscle LM	0,37
ElMasry et al., 2012		Force de cisaillement	Régression PLS	Spectre dans le proche infrarouge de la surface de la viande crue	0,83
Hill et al., 2000		Force de cisaillement	Réseau de neurone	Différentes données provenant de l'abattoir sur l'animal et la carcasse	Entre 0,37 et 0,45
Hill et al., 2000		Force de cisaillement	Régression linéaire	Différentes données provenant de l'abattoir sur l'animal et la carcasse	0,39
Whipple et al., 1990		Force de cisaillement	Régression linéaire	Activité de l'inhibiteur de protéase calcium dépendante + pH 6h + (cathepsines B + activité L) + surface des fibres I	0,76

¹ Longissimus ; ² Jeune bovin ; ³ Rectus abdominis

modèles développés par Minchin et al. (2009), une augmentation de la NEC permet également d'obtenir des carcasses plus lourdes et mieux conformées mais également un état d'engraissement plus élevé. Dans le modèle réalisé par Pogorzelska-Przybylek et al. (2014), d'après les coefficients du modèle, une augmentation de l'âge à l'abattage est liée à une diminution de l'état d'engraissement de la carcasse. En revanche, lorsque que l'épaisseur de gras sous-cutané augmente, des augmentations de la note d'état d'engraissement (Pogorzelska-Przybylek et al., 2014) et de la quantité de tissu adipeux (De Paula et al., 2013) sont observées.

4.2 Prédire les propriétés de la viande bovine

4.2.1 Modèles de prédiction des propriétés de la viande développés

Plusieurs modèles de prédiction ont été développés afin de prédire la tendreté de la viande (Tableau 62). Contrairement aux modèles de prédiction établis sur les caractéristiques de la carcasse, les critères de la viande prédits ne le sont qu'à partir de données mesurées sur la carcasse ou le muscle. A notre connaissance, des modèles de prédiction des propriétés de la viande établis à partir d'autres mesures (animal vivant ou facteur d'élevage) ne semblent pas exister. Dans l'ensemble, la prédiction de la tendreté de la viande s'avère difficile car dans la majorité des cas, les R^2 sont inférieurs à 0,7. Seuls les modèles développés par Whipple et al. (1990) et ElMasry et al. (2012) permettent d'expliquer, respectivement, 76% et 83% de la variabilité de la dureté de la viande (Tableau 62). Cependant, dans ces 2 études, les modèles ont été établis sur un faible nombre d'animaux ($n < 30$). Les modèles de prédiction de la jutosité et de la flaveur de la viande développés par Prieto et al. (2009) ne permettent pas une prédiction satisfaisante de ces 2 descripteurs sensoriels avec des $R^2 < 0,70$. Des modèles de prédiction ont également été établis à partir des biomarqueurs protéiques pour prédire la dureté de la viande de 2 muscles (LM et ST) mesurée mécaniquement (Guillemin et al., 2010) et les propriétés sensorielles du LM (Picard et al., 2014b). Les équations établies montrent qu'en considérant plusieurs protéines biomarqueurs, il est possible d'expliquer jusqu'à 87% de la variabilité de la dureté mécanique de la viande et 81% de la variabilité de la tendreté évaluée par un jury d'analyse sensorielle. Les équations établies montrent également qu'en fonction du muscle, ce ne sont pas les mêmes biomarqueurs qui sont retenus comme prédicteurs (Guillemin et al., 2010). De plus, d'après les résultats de Picard et al. (2014b), la précision des modèles est dépendante de la race et du descripteur sensoriel considéré. Néanmoins, ces modèles montrent que la prédiction des propriétés sensorielles et rhéologiques de la viande à partir de biomarqueurs est possible.

4.2.2 Le système Meat Standards Australia (MSA)

Le système MSA est un outil permettant à l'aide de modèles de prédiction de prévoir le « meat quality score » (MQ4) (Legrand et al., 2013) de la viande bovine (différentes pièces bouchères) en se basant sur l'appréciation sensorielle de consommateurs non entraînés (Watson et al., 2008; Polkinghorne et Thompson, 2010). Les éléments considérés dans ces modèles sont :

- Au niveau de l'animal : le pourcentage de sang *Bos indicus*, le type d'animal, l'utilisation d'implant d'hormone de croissance et le sevrage (présence d'alimentation lactée).
- Au niveau de la carcasse : le poids de la carcasse, le score d'ossification, la note de persillé du LM, l'épaisseur de gras sous cutané au niveau de la côte, le mode de suspension de la carcasse et le pH ultime.
- Au niveau du muscle : la nature du muscle, la couleur du LM, la durée de maturation et la méthode de cuisson.

Dans le système MSA, les modèles de prédiction établis ne tiennent pas compte des pratiques d'élevage et de critères morphologiques de l'animal vivant comme utilisés dans les modèles développés sur la carcasse.

A partir des modèles, des classes de qualité de la viande (non satisfaisante (déclassé), 3 étoiles : satisfaisant pour consommation de tous les jours, 4 étoiles : meilleur que les morceaux consommés quotidiennement, 5 étoiles : qualité supérieure) sont prédites en fonction de la pièce bouchère, de la durée de maturation et du mode de cuisson. Les classes de qualité prédites par le système MSA permettent d'indiquer aux consommateurs, la préparation optimale du morceau qu'ils viennent d'acheter. Grâce au système MSA, les éleveurs sont rémunérés selon la valorisation réelle de leurs carcasses c'est-à-dire sur la somme des prix de vente des différents morceaux pondérée par le poids de chaque morceau.

Pour conclure sur cette partie, différents modèles ont été développés afin de prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande. De plus, certains comme le système MSA sont appliqués sur le terrain. Néanmoins, ces différents modèles ne prennent en compte que des caractéristiques intrinsèques de l'animal, de la carcasse ou du muscle. D'autres facteurs d'élevage comme par exemple la composition de la ration et la durée de finition ont également un impact sur ces différentes caractéristiques et ne sont pas considérés dans ces modèles. De plus, les modèles sur la viande ne prennent pas en compte les pratiques d'élevage dans leurs

variables indépendantes (ou variables explicatives). Pour le moment, les modèles développés sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, ne permettent pas un éventuel réajustement durant la vie de l'animal des pratiques d'élevage de l'éleveur pour répondre aux évolutions des attentes de la filière bovine.

Objectifs de ce travail

Il ressort de l'étude bibliographique que les pratiques d'élevage ont un effet sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande. Cependant, ces connaissances portent essentiellement sur la période de finition des bovins. Il ressort également que les études observent généralement les effets individuels des facteurs d'élevage et que peu d'entre elles observent simultanément l'effet de plusieurs facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Enfin, les modèles de prédiction existants ne tiennent pas compte de la plupart des facteurs d'élevage influents évoqués dans cette étude bibliographique pour prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande.

Dans ce contexte, nous nous proposons de répondre à la question générale suivante : **Est-il possible de piloter conjointement les caractéristiques des carcasses et des viandes à partir des pratiques d'élevage ?**

Afin de répondre à cette question, nous avons décomposé ce travail en 2 parties.

Dans une première partie, nous nous sommes intéressés à la **période de finition** afin d'étudier l'influence des pratiques d'élevage appliquées durant cette période sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Les pratiques d'élevage sont systématiquement définies par plusieurs facteurs d'élevage.

Le premier objectif était d'expliquer les effets de différentes pratiques d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande.

Le second objectif était de définir des pratiques d'élevage permettant d'atteindre une viande de « qualité » supérieure définie *via* 3 indicateurs sensoriels (tendreté, jutosité et intensité de flaveur).

Le dernier objectif de cette partie a été de prédire différentes caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande à partir de différents facteurs d'élevage.

Pour cette première partie, des données individuelles expérimentales ont été utilisées.

La seconde partie de notre travail a consisté à considérer des conduites d'élevage appliquées tout au long de la **vie de l'animal** (de la naissance à l'abattage). Nous avons supposé que les périodes précédant la période de finition permettraient de mieux expliquer les variations observées au niveau de la carcasse et de la viande. De plus, nous supposons qu'en considérant l'ensemble de la vie de l'animal, nous arriverions à mieux prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Le premier objectif de cette partie a été d'expliquer les variations des caractéristiques de la carcasse et de la viande, ainsi que les variations des biomarqueurs de qualité de viande à partir des conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie de l'animal.

Le second objectif a été de prédire, à partir des facteurs d'élevage, les caractéristiques de la carcasse et de la viande en considérant soit uniquement la période de finition, soit la vie entière de l'animal afin de comparer les qualités de prédiction des modèles.

Le dernier objectif a été d'identifier les biomarqueurs de qualité de viande expliquant le plus les caractéristiques de la carcasse et de la viande, puis d'expliquer leur abondance à partir des facteurs d'élevage.

Pour cette seconde partie, nous avons travaillé en partenariat avec une filière de qualité, l'IGP Génisses Fleur d'Aubrac afin de réaliser le suivi en élevage d'animaux et de recueillir pour chaque animal, la conduite d'élevage mise en œuvre tout au long de sa vie.

Pour l'ensemble de notre étude, afin d'observer uniquement l'impact des pratiques ou des conduites d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande, nous avons travaillé en conditions contrôlées concernant les conditions d'abattage et les analyses sur la viande (durée de maturation, température de cuisson). De cette façon, nous nous affranchissons de certains facteurs pouvant avoir un effet sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Lorsque cela n'était pas possible, les facteurs pouvant avoir un impact sur ces différentes caractéristiques ont été pris en compte dans les analyses statistiques.

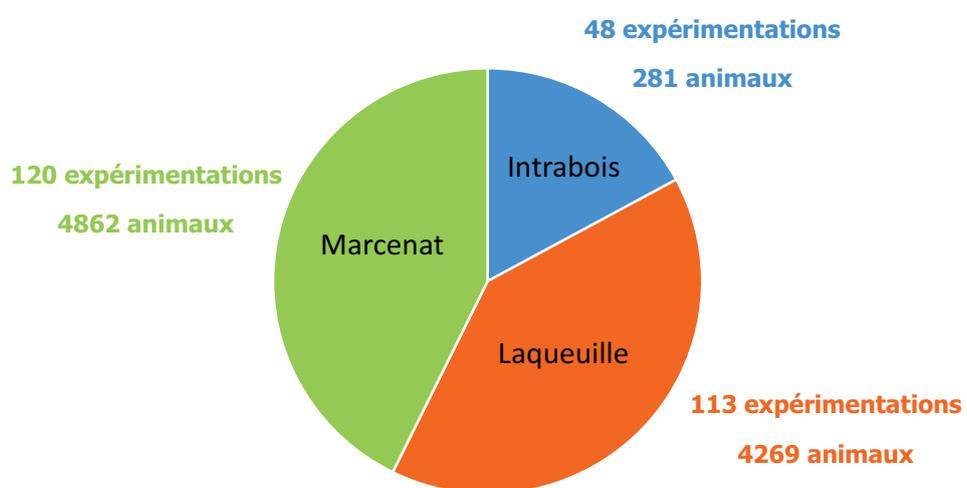


Figure 12 Répartition du nombre d'expérimentations et d'animaux présents dans la base « application de gestion des troupeaux laitiers et allaitants des domaines Inra nouvelle version » (ALADIN) en fonction des 3 sites expérimentaux

Matériel et méthodes

5 Analyses des données individuelles d'expérimentations

L'intérêt de travailler à partir de bases de données est d'avoir directement accès à un grand nombre d'informations et d'animaux. Grâce aux études présentes dans les bases, l'analyse des données permet d'avoir accès à une plus grande diversité de pratiques mises en œuvre durant la période de finition. Dans l'objectif d'établir des modèles de prédiction cela est également un atout permettant d'établir des modèles avec des plages de variation plus importantes. De plus, le nombre élevé d'individu permet d'une part d'établir des modèles robustes et d'autre part de les valider.

5.1 Bases de données utilisées

Lors d'expérimentations réalisées à l'institut national de la recherche agronomique (Inra), les données sont enregistrées dans différentes bases de données au niveau : de l'animal et des pratiques d'élevage, de la carcasse, du muscle et de la viande. Pour une même expérimentation, les mesures se retrouvent respectivement dans 3 bases de données, le numéro d'identification pérenne généralisée (IPG) des bovins permettant de faire le lien entre ces bases.

5.1.1 La base « application de gestion des troupeaux laitiers et allaitants des domaines Inra Nouvelle version » (ALADIN)

La base ALADIN est une base de données regroupant les données individuelles ou en lots, d'animaux provenant de 3 sites expérimentaux de l'Herbipôle du centre Inra Auvergne-Rhône-Alpes (ARA) : intrabois (Theix), Laqueuille et Marcenat. Entre 1999 et 2016, 281 expérimentations ont été conduites, générant des données individuelles de 9967 animaux (Figure 12). Différents types d'animaux (jeunes bovins, bœufs, génisses, veaux et vaches) et de races (Charolaise, Limousine, Holstein, Normande, ...) sont présents dans cette base. Pour les animaux en finition, les mesures réalisées portent essentiellement sur l'alimentation des animaux (composition de la

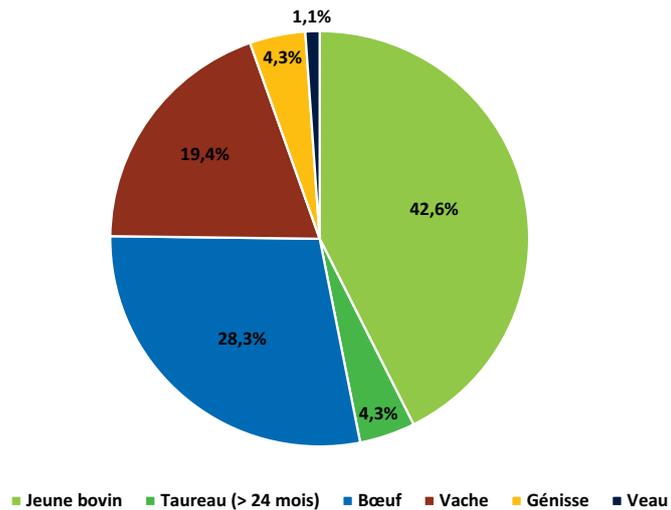


Figure 13 Répartition des différents types d'animaux dans la base abattoir

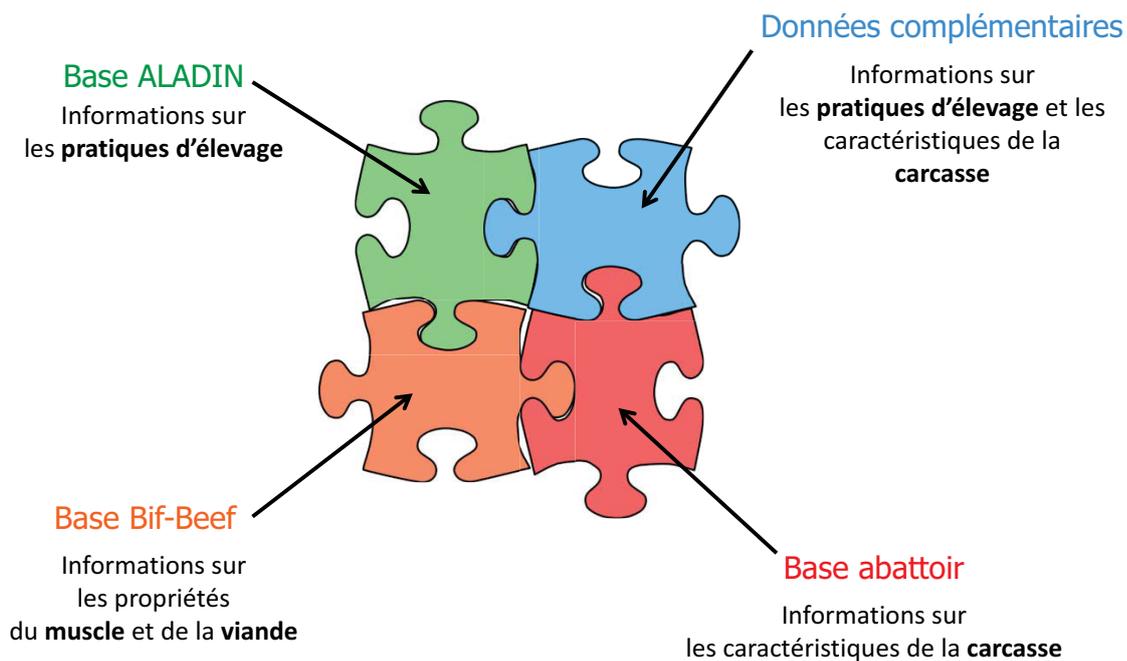


Figure 14 Schéma de l'entrepôt de données faisant le lien entre les différentes bases sur données individuelles expérimentales de l'UMRH et de l'UE Herbipôle

ration et la composition chimique de chaque aliment), leur ingestion, leur croissance, la date du sevrage, la durée d'application de chaque ration, Dans cette base, toutes les mesures de quantité ingérée par aliment (fourrages et concentrés) sont journalières.

5.1.2 La base « Abattoir »

La base Abattoir est une base de données rassemblant l'ensemble des données individuelles des animaux qui ont été abattus à l'Abattoir Expérimental du Centre Inra ARA. Cette base regroupe les données d'abattage de 8285 animaux provenant de différentes expérimentations. Différents types d'animaux sont présents dans cette base (Figure 13). Les carcasses sont caractérisées par plus de 100 mesures (nombre variable selon les objectifs de l'expérimentation) comme le poids et le classement des carcasses, le pH 24h, les poids des différents abats, la composition de la 6^{ème} côte obtenue par dissection, la composition de la carcasse, des mesures morphologiques,

5.1.3 La base « Biologie Intégrative et Fonctionnelle de la viande bovine » (Bif-Beef)

La base Bif-Beef regroupe en 2015 les données individuelles d'environ 5800 animaux issus de 55 expérimentations (Chriki et al., 2013). Dans cette base de données, les mesures renseignées portent sur les propriétés contractiles, de structure et métaboliques de différents muscles, les activités de différentes enzymes, des mesures de couleur, teneurs en collagènes, en lipides intramusculaires, des profils en acides gras, des mesures rhéologiques et sensorielles, Plus de 600 mesures différentes sont renseignées dans cette base.

5.2 Mise en relation des trois bases de données

L'objectif de nos travaux était d'observer l'effet des pratiques d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande. Pour réaliser cela, la mise en relation des 3 bases de données a permis d'aboutir à la création de l'entrepôt de données ABBA (ALADIN, Bif-Beef, Abattoir) (Figure 14). Cet entrepôt rassemble les données sur les caractéristiques intrinsèques de l'animal (sexe, âge, poids, race, ...), les pratiques d'élevage, la carcasse, le muscle et la viande, sur

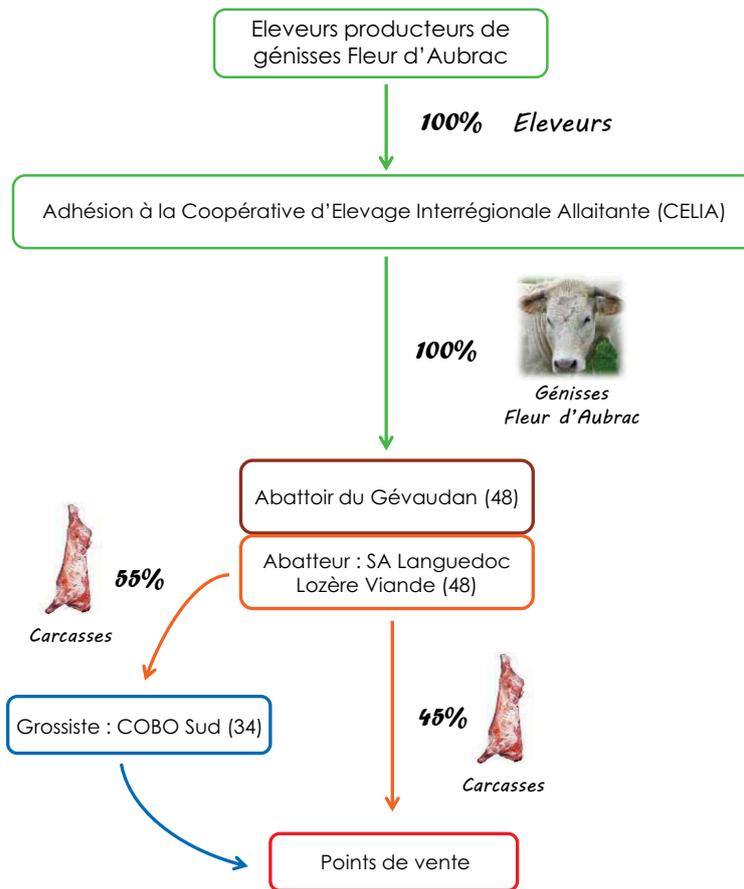


Figure 15 Les différents opérateurs structurant l'association Fleur d'Aubrac

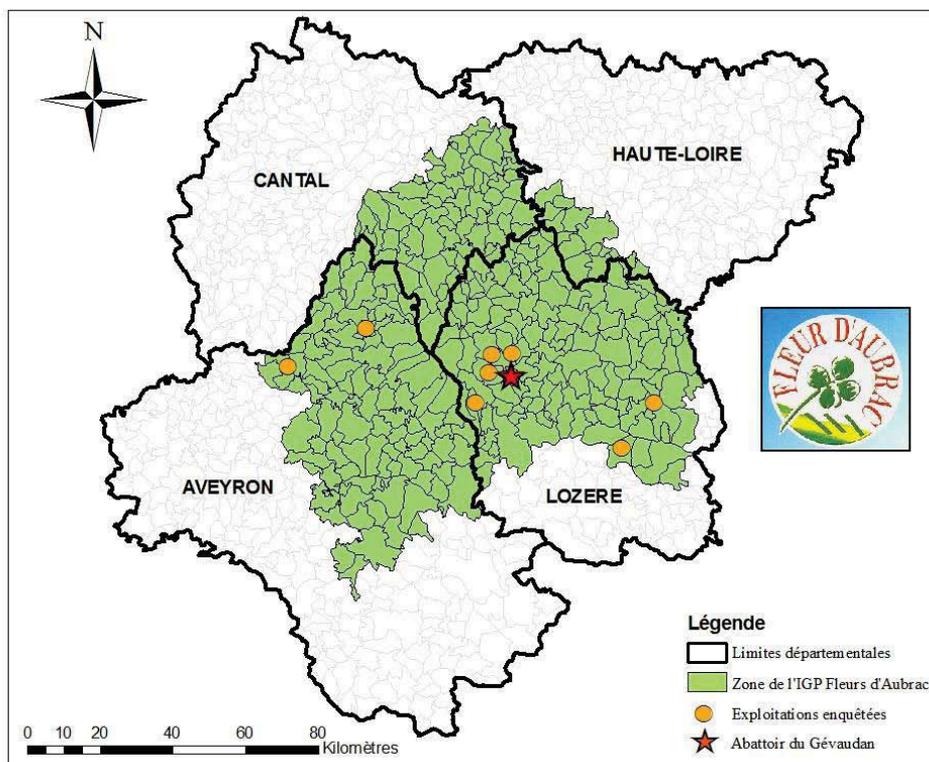


Figure 16 Localisation de la zone de l'IGP Fleur d'Aubrac, des différentes exploitations enquêtées et de l'abattoir

la période de finition pour chaque animal. Dans l'entrepôt, seules les expérimentations avec des animaux de race allaitantes ont été retenues. Cela représentait 49 expérimentations (environ 2000 animaux) dont les animaux étaient présents dans au moins deux bases des trois bases Inra présentées précédemment. Cet entrepôt de données a été construit par l'équipe pôle informatique de l'unité mixte de recherches sur les herbivores (UMRH).

6 Etude terrain en partenariat avec l'IGP Génisse Fleur d'Aubrac

6.1 Présentation de la filière Fleur d'Aubrac

L'IGP Génisse Fleur d'Aubrac est une filière de qualité produisant exclusivement des génisses croisées Charolais x Aubrac depuis 2010. Depuis 2011, cette filière est gérée par l'Association Fleur d'Aubrac (AFA), présidée par M. Vincent GRANIER (Figure 15). Actuellement, plusieurs structures sont adhérentes à l'AFA : la coopérative d'Élevage Interrégionale Allaitante (CELIA) qui est un groupement de producteurs, un abatteur : SA Languedoc Lozère Viande et la coopérative des bouchers de l'Hérault (COBO Sud).

La zone de production de cette de cette IGP couvre 4 départements français (l'Aveyron, le Cantal, la Haute-Loire et la Lozère) (Figure 16). Pour produire des génisses Fleur d'Aubrac, les éleveurs doivent respecter le cahier des charges de la filière (Legifrance, 2008) et être adhérents à CELIA. En 2016, 191 éleveurs sont adhérents à CELIA pour produire des génisses Fleur d'Aubrac dont 183 sont des naisseurs-engraisseurs. Les éleveurs adhérents sont principalement localisés dans les départements de l'Aveyron et de la Lozère (Figure 17).

Depuis 2014, l'ensemble des génisses Fleur d'Aubrac est abattu à l'abattoir du Gévaudan (48). Cet abattoir se situe dans la zone de l'IGP (Figure 16). L'abatteur des génisses Fleur d'Aubrac est la société Languedoc Lozère Viande qui est localisée au sein de l'abattoir du Gévaudan. Les carcasses sont principalement revendues en boucherie traditionnelle (Figure 18).

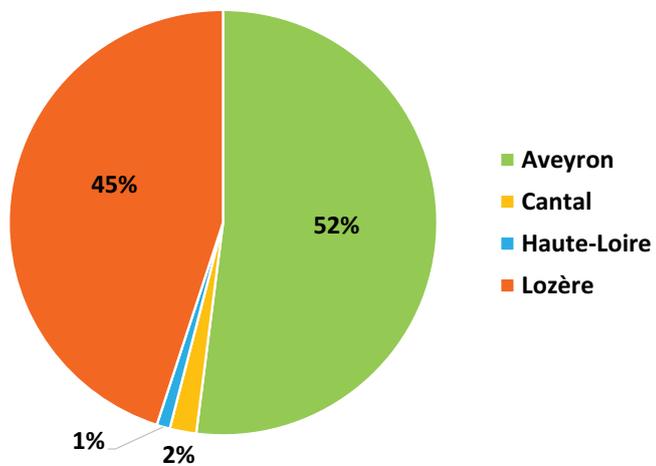


Figure 17 Répartition des élevages labélisés Fleur d'Aubrac en fonction de leur département

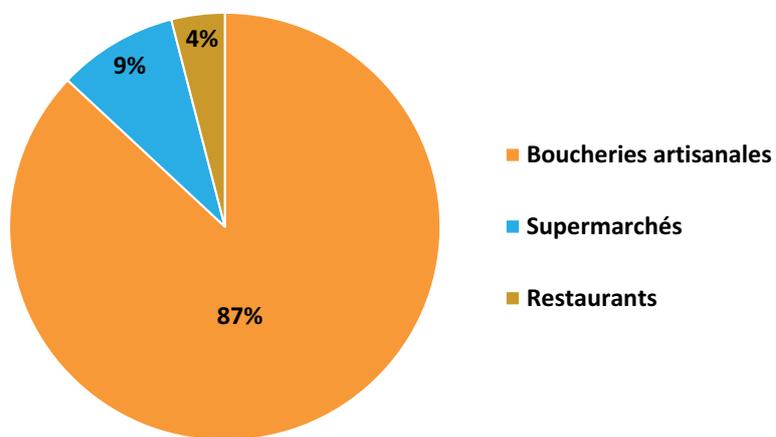


Figure 18 Points de vente de la viande de Fleur d'Aubrac

6.1.1 Les principaux éléments du cahier des charges pour labéliser les carcasses

- Caractéristiques des animaux

Bien qu'en règle générale, les génisses sont élevées et engraisées chez leur éleveur naisseur, une cession est possible entre deux éleveurs adhérents à l'AFA.

Le sevrage des futures génisses Fleur d'Aubrac ne peut se faire avant l'âge de 6 mois. A partir de 18 mois, les génisses ne reçoivent plus de maïs quelle que soit sa forme. Ces animaux doivent avoir une durée de pâturage de 4 mois minimum par an et une phase de finition de 4 mois minimum

Les génisses doivent être abattues entre 26 et 42 mois d'âge.

- Caractéristiques des carcasses

Pour être labélisée, la carcasse doit peser minimum 330 kg, avoir une note d'état d'engraissement de 2 ou 3 et avoir une conformation entre E⁺ et R⁺.

6.2 Protocole de l'étude en partenariat avec la filière Fleur d'Aubrac

L'objectif de l'étude était de mettre en relation les conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie de l'animal, et les caractéristiques de la carcasse et de 2 pièces bouchères : la bavette de flanchet (RA) et la basse côte (différents muscles dont le LM).

6.2.1 Choix des élevages pour le suivi des génisses Fleur d'Aubrac

Les élevages ont été sélectionnés dans les 2 départements les plus représentatifs de la filière : l'Aveyron et la Lozère. La sélection des élevages a été effectuée sur la base de différents critères :

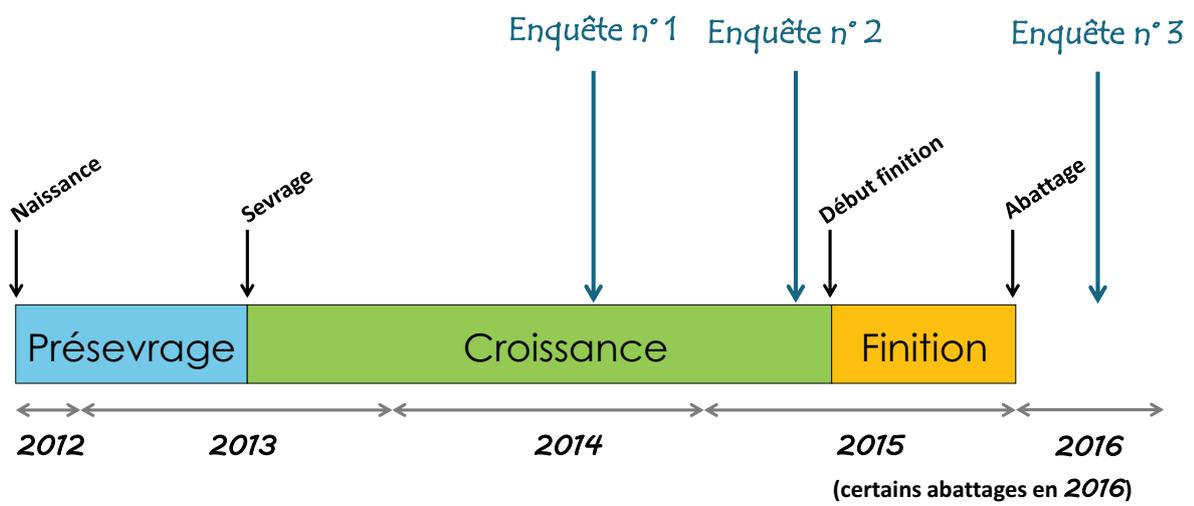


Figure 19 Périodes des enquêtes en élevage réalisées en fonction des périodes de vie des génisses Fleur d'Aubrac de l'étude

- Les génisses devaient être abattues sur la période juin – décembre 2015, en adéquation avec le calendrier du travail de thèse.

Cette période d'abattage a été choisie à cause de la contrainte de temps de l'analyse des échantillons et des données. La seconde contrainte était de recueillir les informations sur les pratiques d'élevage réellement effectuées, il fallait donc également une courte période depuis la naissance des animaux. Le calendrier d'abattage réellement appliqué sur la période de l'étude a permis de valider la sélection des élevages.

- Dans chaque élevage sélectionné et sur la période ciblée, il fallait qu'il y ait au moins 5 génisses prévues pour l'AFA.

L'objectif des 5 génisses à suivre était d'une part ne pas avoir les pratiques d'un éleveur faiblement représentées dans la base de données et également de limiter le nombre d'éleveurs à enquêter pour atteindre la centaine d'animaux suivis afin de limiter le nombre total d'enquêtes. Pour connaître les périodes d'abattage et le nombre d'animaux durant ces périodes, nous nous sommes basés sur le nombre de carcasses labellisées Fleur d'Aubrac durant les années antérieures (2007 à 2013) des différents éleveurs.

- L'élevage devait être suivi en contrôle de performances (VA4)

Le fait que l'élevage soit en contrôle de performances VA4 permettait de collecter des informations supplémentaires sur les index des mères, des pesées et des pointages avant sevrage,

- La génisse devait être née sur l'exploitation ou issue d'une exploitation en VA4

L'objectif était de collecter l'ensemble des pratiques d'élevage que la génisse avait eues de sa naissance à son abattage.

- L'éleveur devait posséder une bascule

L'objectif était de récupérer des poids des génisses suivies durant leur vie afin d'avoir une cinétique des poids.

Seulement 7 élevages correspondaient à l'ensemble de ces critères ce qui permettait le suivi de 89 génisses. Afin d'augmenter le nombre de génisses suivies, nous avons renoncé à n'avoir que des élevages en contrôle de performance VA4. Au final, 8 élevages (Figure 16) ont participé à cette étude, permettant le suivi de 109 génisses. La répartition des élevages était la suivante : 6 en Lozère (76 génisses) et 2 en Aveyron (33 génisses).

6.2.2 Enquêtes en exploitation

Afin de recenser au mieux les pratiques d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie des génisses, une série de trois enquêtes en exploitation a été effectuée auprès de chaque éleveur (Figure 19).

Le questionnaire (Annexe 1), qui au préalable a été testé auprès de 2 éleveurs, a permis de recueillir des informations concernant :

- La génisse
 - Numéro IPG
 - Date de naissance
 - Date sevrage
 - Date d'achat (si acheté et numéro de l'éleveur naisseur)
 - Lieu de naissance
 - Condition de vêlage
 - Poids
 - Pointage (si éleveur VA4)

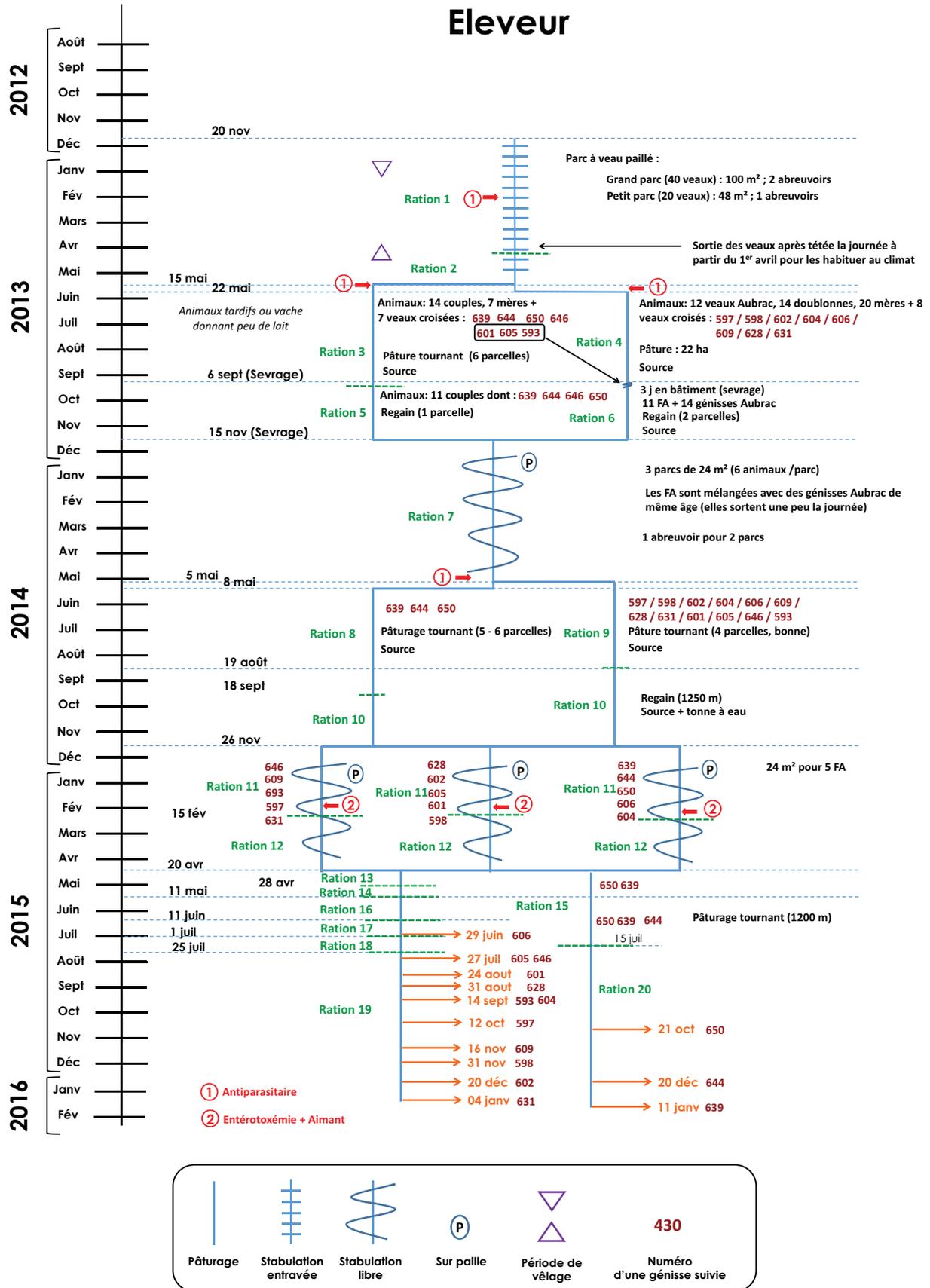


Figure 20 Exemple d'un schéma d'allotement

- La mère de la génisse
 - Numéro IPG
 - Date de naissance
 - Age du premier vêlage
 - Rang de vêlage
 - Type d'insémination
 - Index (si éleveur VA4)

- Le père de la génisse
 - Numéro d'IPG
 - Date de naissance
 - Index (si taureau d'insémination de catalogue)

Pour le mode d'élevage, l'ensemble des informations recueillies concernent :

- Les rations
 - Nature des fourrages et des concentrés pour chaque ration
 - Quantité et/ou proportion de chaque aliment dans la ration
 - Durée de distribution de chaque ration
 - Les fiches de composition des aliments achetés et leur valeur alimentaire
 - Les analyses des fourrages réalisés par les éleveurs

- L'alternance des périodes (date de la mise à la pâture ou de la rentrée en bâtiment) et leurs durées
- Le logement (stabulation libre, à l'attache, pâture)
- Surface disponible pour l'animal dans le bâtiment
- Les traitements sanitaires réalisés

Lors de chaque enquête, en parallèle du questionnaire, le schéma d'allotement (Ingrand et Dedieu, 1996) des génisses suivies a été construit avec l'éleveur en remontant dans le temps par rapport au jour de l'enquête (Figure 20). Lorsque ce schéma est complet, il permet d'avoir pour chaque génisse sur l'ensemble de sa vie, les périodes en bâtiment et au pâturage, les changements de ration, les périodes de traitements sanitaires.

6.2.3 Analyses des fourrages et des concentrés

Les résultats d'analyses des fourrages (foin, regain, enrubannage et ensilage d'herbe) distribués aux génisses Fleur d'Aubrac durant la période de finition ont été recueillis lors des enquêtes, en cas d'absence de ces données, des échantillons ont été prélevés pour être analysés.

Pour chaque échantillon, 2 sous échantillons ont été constitués. Le premier sous-échantillon a été utilisé pour mesurer la matière sèche (MS). Pour cela, le sous échantillon a été pesé en frais puis placé à l'étuve à 80°C (Dulphy et al., 1975) pendant une durée minimum de 48 h.

Le second sous-échantillon, a été séché à l'étuve à 60 °C pendant 72 h en vue de déterminer les valeurs fourragères (énergétiques et azotées). Ensuite, les sous-échantillons ont été broyés avec un tamis de 1 mm.

En fonction de la nature du fourrage, différentes méthodes d'analyse ont été utilisées.

Les foins et les regains de prairie permanente ont été analysés par spectroscopie proche infrarouge (SPIR) à l'Inra de Theix au sein de l'UMRH selon la méthode de Andueza et al. (2016). Les caractéristiques des fourrages en constituants pariétaux (neutral detergent fiber, NDF et d'acid detergent fiber, ADF), matière azotée totale (MAT), matière minérale (MM), et digestibilité de la matière organique (dMO) ont été estimées à partir des équations de prédiction établies par Andueza et al. (2016).

Les ensilages d'herbe, les enrubannages et les foins de luzerne ont quant à eux été analysés en utilisant des méthodes chimiques décrites par Aufrère et Michalet-Doreau (1983), Association of Official Analytical Chemists (1990) et Van Soest et al. (1991) pour déterminer les valeurs de MAT, de NDF, d'ADF, de MM et de dMO.

Enfin, les valeurs d'unité fourragère viande (UFV) et des protéines digestibles dans l'intestin (PDI) ont été estimées à l'aide du logiciel Prev@lim (<http://www.inration.fr/Prevalim>) (Baumont et al., 1999) en fonction de la nature et du mode de conservation du fourrage et des valeurs obtenues par SPIR ou par méthodes chimiques.

La composition en matières premières et les valeurs nutritives des concentrés achetés par les éleveurs ont été recueillies durant les enquêtes à partir des données des fabricants d'aliments. En complément, les compositions chimiques de ces différents concentrés ont été obtenues auprès des fournisseurs d'aliments.

6.2.4 Informations sur les carcasses et prélèvements de muscles à l'abattoir

Les génisses Fleur d'Aubrac ont toutes été abattues à l'abattoir du Gévaudan (48). Les génisses arrivaient la veille du jour d'abattage au centre d'allotement où elles ont été pesées. Cette pesée correspond au poids vif de la génisse avant l'abattage.

6.2.4.1 Informations recueillies sur les carcasses

Les informations recueillies auprès de l'abattoir sur les carcasses sont : la date d'abattage, le poids de la carcasse froide, la conformation et l'état d'engraissement selon la grille EUROP, le pH à 24 h et la température de la carcasse également mesurée à 24 h. Le pH et la température de la carcasse sont mesurés au niveau de l'épaule par le personnel de l'abattoir. Le rendement de la carcasse a été calculé en faisant le rapport du poids de la carcasse froide sur le poids vif de la génisse avant abattage.

6.2.4.2 Prélèvements et mesures sur les pièces bouchères avant maturation

6.2.4.2.1 Choix des pièces bouchères

Sur 77 génisses Fleur d'Aubrac, 2 pièces bouchères ont été prélevées sur le côté droit de la carcasse 24 h après l'abattage : la bavette de flanchet (RA) et les 4^{ème} et 5^{ème} basses côtes entières (pièce multi musculaire avec la présence du LM). L'aponévrose de la bavette de flanchet est retirée par les bouchers après le prélèvement sur carcasse.

Ces 2 pièces bouchères ont été choisies en fonction de leur différente localisation sur la carcasse (Figure 10) et de leurs propriétés contractiles, de structure et métaboliques.



Figure 21 Représentation des zones du muscle *Rectus abdominis* utilisées pour les analyses rhéologiques, sensorielles et d'abondance des biomarqueurs

Ces 2 pièces bouchères sont des viandes à cuisson rapide. La bavette de flanchet (RA) est facile d'accès et donc prélevée sans dépréciation de la carcasse. Bien que le prélèvement des basses côtes soit couteux et ait un fort impact sur la dépréciation de la carcasse, ces échantillons contiennent du LM. Avec les nombreux résultats sur le LM, ce muscle peut être considéré comme muscle de référence. Enfin, comme montré dans l'étude bibliographique, les variations de certains facteurs d'élevage peuvent modifier les propriétés du RA et du LM.

Durant le trajet entre l'abattoir et l'Inra de Theix (environ 2 h), les bavettes et les basses côtes étaient maintenues à +4°C.

6.2.4.2.2 Les échantillons

Dans le but de mesurer l'abondance relative de protéines biomarqueurs de tendreté, 1 échantillon d'environ 5 g a été prélevé aussitôt après le prélèvement des pièces bouchères sur la carcasse. Cet échantillon a été découpé en petit morceau avant d'être congelé dans l'azote liquide et maintenu par la suite à -80°C. La localisation de ce prélèvement pour la bavette est présentée sur la Figure 21 Le prélèvement de cet échantillon sur le train de basses côtes a été réalisé au niveau de la noix d'entrecôte (muscle LM) du côté de la 4^{ème} côte. Durant le trajet entre l'abattoir et l'Inra de Theix, ces échantillons ont été transportés dans de la carboglace afin de les maintenir à -80°C.

6.2.4.2.3 Mesure de la couleur des muscles RA et LM

Après le transport des échantillons et une réoxygénation à l'air pendant environ 20 min à +6 °C, la prise de couleur a été effectuée sur le RA et le LM à l'aide d'un chromamètre Konica Minolta CM-600d. Les mesures de couleur ont été réalisées selon le système CIE L*a*b* (Commission Internationale de l'Eclairage, 1986). Sur l'ensemble du RA et du LM côté 5^{ème} côte, 5 prises de couleur ont été réalisées, afin d'avoir une représentativité de l'ensemble de la surface de l'échantillon.

6.2.4.2.4 Maturation et conservation

Les bavettes et les trains de basses côtes ont mûri sous vide à +4°C pendant 14 jours. Lorsque la maturation était terminée les bavettes et les basses côtes ont été congelées à -20°C.

6.2.5 Mesures réalisées sur les échantillons de RA après maturation

Les analyses sensorielles et rhéologiques ont été réalisées à l'école d'ingénieur de Bordeaux Sciences Agro et l'analyse de l'abondance relative des protéines a été mesurée par la plateforme de l'institut Pierre et Marie Curie (département de recherche translationnelle, Paris). L'ensemble de ces analyses a été réalisé uniquement sur le muscle RA. En effet, des contraintes de temps et de budget n'ont pas permis d'analyser les échantillons de basses côtes (LM) dans le temps imparti de la thèse. Ces analyses sont prévues au cours de l'année 2017.

6.2.5.1 *Analyses sensorielles*

L'analyse sensorielle a été réalisée sur les 77 RA prélevés par un test monadique consistant à classer sur une échelle d'intensité différents descripteurs des propriétés sensorielles de la viande (Evrat-Georgel, 2008). Les analyses sensorielles des échantillons ont eu lieu entre décembre 2015 et janvier 2016.

6.2.5.1.1 Le jury de dégustation et sa formation

Le jury de dégustation était composé de 16 personnes. Les membres du jury ont effectué une quinzaine de séances de formation durant lesquelles ils se sont appropriés les différents descripteurs, et ont appris à bien classer chaque descripteur sur la fiche d'évaluation par exemple en dégustant différents morceaux de viande plus ou moins dures. Ces séances ont également permis de rendre la notation des différents jurés répétable à chaque séance.

Juré	Service				
	I	II	III	IV	V
1	A	B	C	D	E
2	E	A	B	C	D
3	D	E	A	B	C
4	C	D	E	A	B
5	B	C	D	E	A
6	A	B	C	D	E
7	E	A	B	C	D
8	D	E	A	B	C
9	C	D	E	A	B
10	B	C	D	E	A
11	A	B	C	D	E
12	E	A	B	C	D
13	D	E	A	B	C
14	C	D	E	A	B
15	B	C	D	E	A
16	A	B	C	D	E

A **Echantillon A**

B **Echantillon B**

C **Echantillon C**

D **Echantillon D**

E **Echantillon E**

Figure 22 Plan de présentation des échantillons de viande durant une séance de dégustation

6.2.5.1.2 Préparation des échantillons de RA

La veille de chaque séance de dégustation, les RA surgelés (- 20°C) étaient placés à +4°C afin de les décongeler. Le matin de la séance, la partie du RA utilisée pour l'analyse sensorielle (Figure 21) est découpée en steak d'épaisseur homogène et conservé à +4°C jusqu'au moment de la séance de dégustation. Une heure avant la séance de dégustation, les steaks sont conservés à température ambiante. Ensuite, les steaks sont cuits entre 2 feuilles d'aluminium sur un grill double face à 300 °C durant 1 minute 45 afin d'atteindre une température de 55 °C à cœur. Les feuilles d'aluminium ont pour but d'éviter de donner un goût de grill à la viande. Une fois cuits les steaks sont coupés en cubes de 2 cm de côtés de manière à ce qu'un cube soit consommé en une seule bouchée.

Au cours de chaque service, 3 à 4 cubes d'un même échantillon sont servis dans une assiette en plastique à chaque juré pour que celui-ci puisse déguster plusieurs fois l'échantillon sans avoir à le couper. Les échantillons sont découpés pour que les jurés n'aient pas d'a priori sur la tendreté de la viande en la découpant. La présentation des cubes de viande aux différents jurés se fait dans des conditions homogènes (température, cuisson, forme et quantité).

6.2.5.1.3 Présentation des échantillons durant la séance de dégustation

Durant chaque séance, 5 échantillons sont évalués par le jury de dégustation. Ces échantillons ont été sélectionnés aléatoirement afin de créer de la variabilité en ajoutant les contraintes de l'élevage de l'animal et de la date de prélèvement. Le but est d'avoir à chaque séance des échantillons ne provenant pas de la même exploitation et qui n'ont pas été prélevés au même moment de l'année.

Durant chaque séance de dégustation d'une durée d'1 h, les 5 échantillons sont présentés à l'aveugle à chaque juré en respectant le plan de présentation qui est un carré latin incomplet (Figure 22). Le plan de présentation permet d'avoir une dégustation des 5 échantillons à chaque service et ainsi avoir une présentation à une période différente de la séance.

6.2.5.1.4 Les descripteurs sensoriels utilisés

Pour chaque échantillon de RA, 11 descripteurs des propriétés de la viande ont été évalués sur une échelle linéaire non structurée (Annexe 2) et ont été définis de la manière suivante :

→ **Tendreté initiale** : facilité de rupture lors de la première mastication

Evaluation : 0 = très dure – 10 = très tendre

→ **Tendreté globale** : facilité de rupture lors de la mastication après plusieurs coups de dents

Evaluation : 0 = très dure – 10 = très tendre

→ **Jutosité initiale** : jus libéré en bouche lors de la 1ère mastication.

Evaluation : 0 = sèche – 10 = très juteuse

→ **Jutosité globale** : aptitude du morceau à faire saliver et à entretenir la jutosité initiale

Evaluation : 0 = morceau perdant rapidement sa jutosité – 10 = morceau restant juteux au cours de la mastication

→ **Intensité de flaveur** : intensité de la flaveur de la viande de bœuf

Evaluation : 0 = goût intense et désagréable / anormal (mauvais goût, arrière-goût, goût de rance)
– 5 = échantillon insipide – 10 = goût intense de viande de bœuf / goût typique

→ **Flaveur anormale** :

Evaluation : 0 = pas de goût désagréable / anormal – 10 = goût intense et désagréable / anormal

→ **Flaveur agréable** :

Evaluation : 0 = pas de goût agréable lors de la dégustation – 10 = goût agréable lors de la dégustation

→ **Résidu de mastication** : évaluation du volume du morceau de viande difficile à avaler. Agglomérat qui reste après plusieurs coups de dents que l'on ne parvient pas à réduire pour pouvoir l'avalier

Evaluation : 0 = aucun – 10 = très important

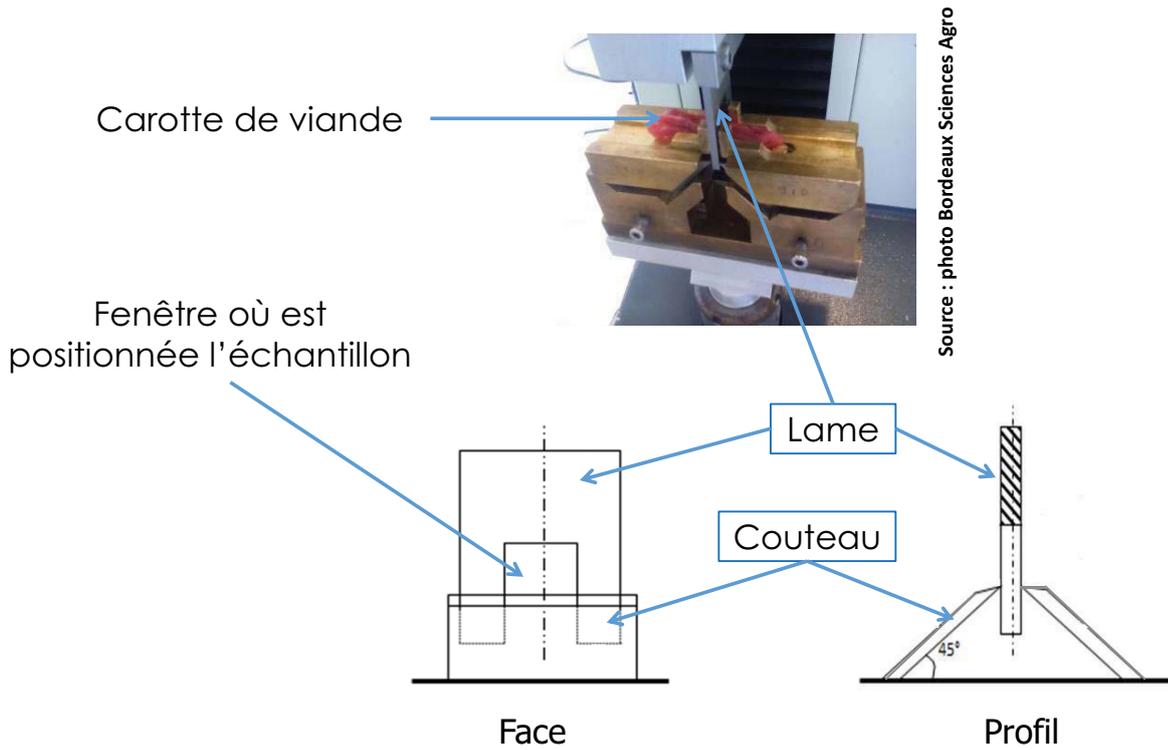


Figure 23 Schéma de la cellule de cisaillement décrite par Salé (1971)

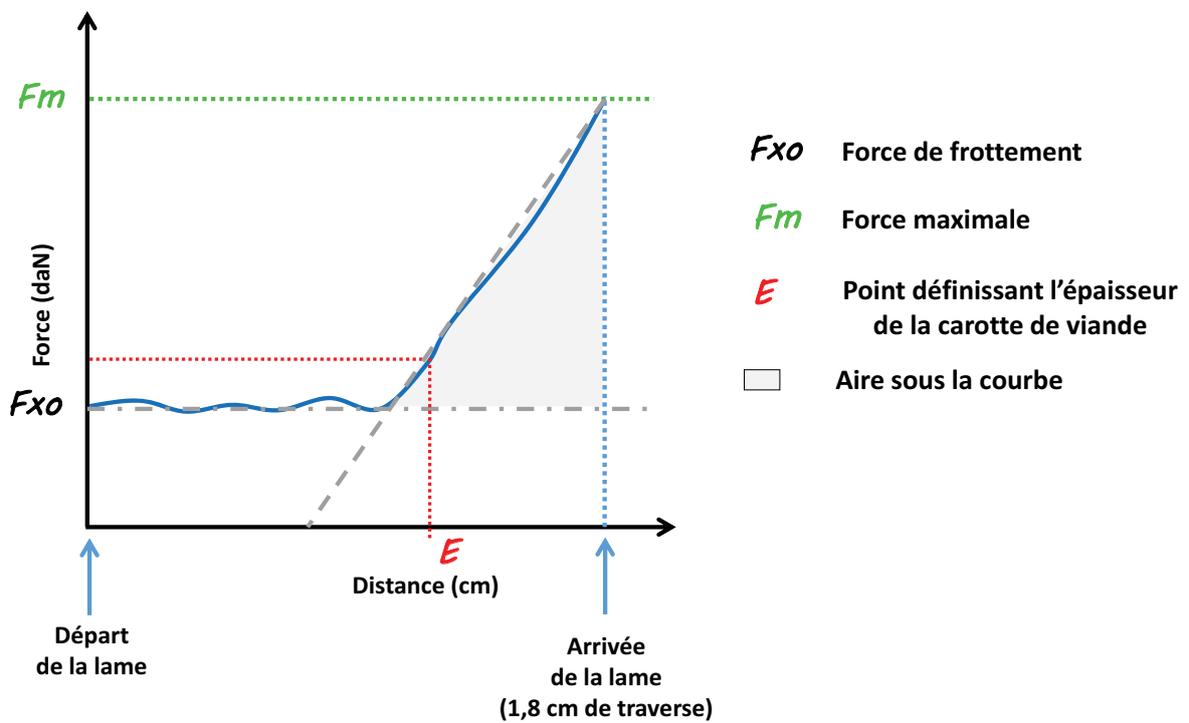


Figure 24 Schéma du diagramme force de déplacement obtenu pour une carotte de viande

→ **Appréciation globale** : appréciation dans son ensemble du morceau viande, bon équilibre entre tendreté, jutosité et flaveur – combinaison des différents descripteurs évalués précédemment

Evaluation : 0 = mauvais – 10 = qualité supérieure/qui correspondrait à un morceau susceptible d'être acheté cher

→ **Présence de gras** : la présence de gras ressentie dans le morceau lors de la dégustation.

Evaluation : 0 = viande trop maigre ou trop grasse – 10 = présence de gras optimale

→ **Homogénéité des morceaux** : 0 = les morceaux proposés semblaient tous avoir été cuits différemment – 10 = l'ensemble des morceaux dégustés étaient de même cuisson)

Si la note d'un juré est < 5 alors l'ensemble de ses notes sont retirées pour cet échantillon.

6.2.5.2 Analyses rhéologiques

Le principe de l'analyse rhéologique a été présenté dans la partie « Mesure rhéologique ou mécanique de la dureté de la viande » (page 31).

Les analyses rhéologiques des échantillons de RA (Figure 23) ont été réalisées sur viande crue d'après la méthode décrite par Salé (1971). Pour ces analyses une cellule de cisaillement (Figure 23) décrite par Salé (1971) a été adaptée sur une machine d'essais de matériaux MTS Synergie 200. L'ensemble est associé au logiciel Testworks 4.

Pour chaque échantillon, des morceaux de viande d'épaisseurs différentes (entre 0,2 et 1,5 cm) sont découpés dans le sens des fibres. Puis ils sont placés dans la cellule de cisaillement afin que la coupure réalisée par la lame se fasse perpendiculairement aux sens des fibres. Pour chaque échantillon, en moyenne 25 mesures sont réalisées.

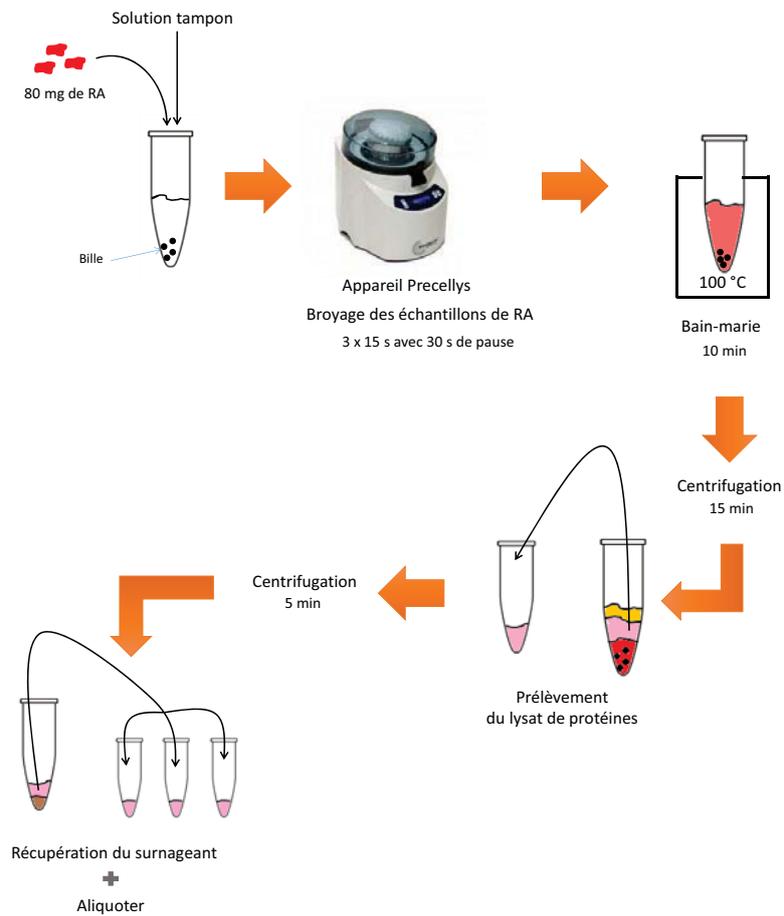


Figure 25 Schéma des différentes étapes pour réaliser l'extraction des protéines sur les échantillons de muscle Rectus abdominis (RA)

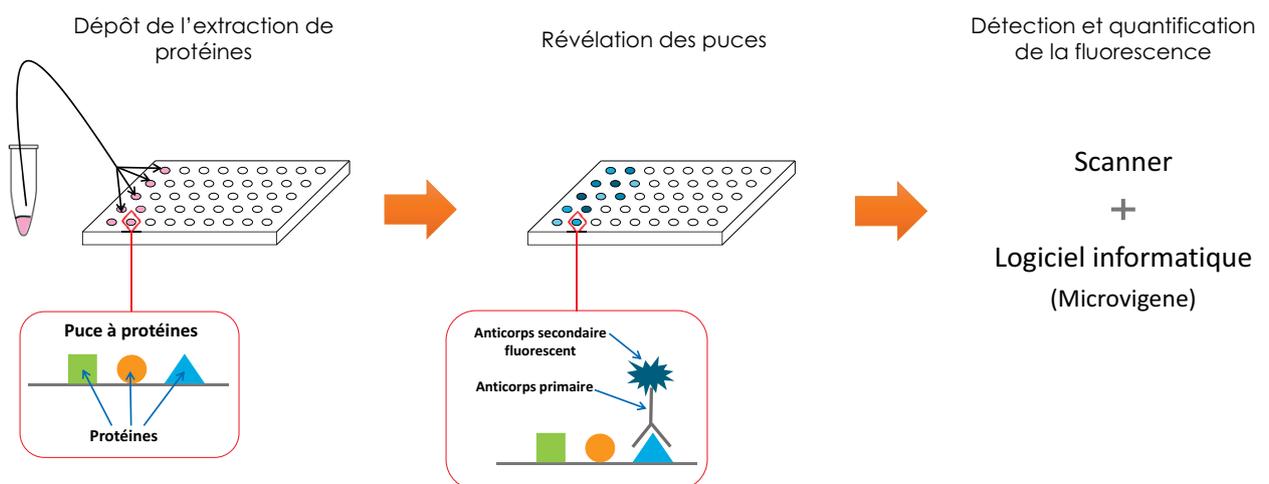


Figure 26 Schéma des principales étapes de la méthode reverse phase protein array (RPPA)

Pour chaque mesure, un diagramme de la force de déplacement est obtenu (Figure 24) avec un pic correspondant à la force maximum (en daN). Les mesures réalisées indiquent pour chaque échantillon, la force maximale (F_m) et l'épaisseur (E) du morceau de viande analysé. Pour une épaisseur de 1 cm, la valeur finale de la force (Oury et al., 2009) et du travail sont calculés par régression linéaire (Annexe 3). La force à 1 cm montre la résistance du tissu conjonctif (présence de collagène plus ou moins importante). Le travail à 1 cm (en dJ) met en évidence la résistance de la structure myofibrillaire. Enfin le rapport entre le travail et la force est calculé (dJ/daN).

6.2.5.3 Evaluation de l'abondance des protéines : les biomarqueurs

L'abondance relative de protéines biomarqueurs de tendreté ou d'adiposité de la viande dans le muscle est reliée à la tendreté de la viande (Picard et al., 2015).

La première étape a consisté à extraire les protéines des échantillons de RA à partir de 80 mg de muscle (Figure 25).

L'abondance relative de 20 protéines préalablement identifiées comme des biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité (Tableau 63), a été mesurée à l'aide d'anticorps primaires et secondaires spécifiques. Les conditions d'utilisation de ces anticorps (spécificité dans le muscle bovin, et dilutions) ont été au préalable définies par western blot. Cette abondance est évaluée selon la méthode de Reverse Phase Protein Array (RPPA). Le principe et les principales étapes de la méthode RPPA sont présentés sur la Figure 26 (Akbani et al., 2014).

Avant de réaliser l'analyse RPPA, un dosage de bicinchoninic acid assay (BCA) sur chaque échantillon est réalisé afin de s'assurer qu'il y ait une quantité suffisante de protéines dans l'échantillon pour évaluer l'abondance des protéines.

Sur les plaques sont déposés les échantillons de RA et des échantillons contrôles.

Une fois les abondances des protéines quantifiées, les résultats sont normalisés de 2 manières par la plateforme de RPPA. La première consiste à utiliser la méthode de « normacurve » présenté par

Tableau 63 Liste des biomarqueurs dont l'abondance relative a été mesurée selon la méthode reverse phase protein array et leurs fonctions dans le muscle squelettique

Biomarqueurs		Fonction
<i>Adiposité</i>		
TBA4A	α -tubuline	Structure
ALDH 1A1	Aldéhyde deshydrogenase 1	Métabolisme
PGK1 (131-145)	Phosphoglycérate kinase 1	Métabolisme
ALDOA	Aldolase A	Métabolisme
PYGB/L/M (N-20)	Glycogen Phosphorylase, Brain	Métabolisme
FHL1	four and a half LIM domains 1	Canal ionique
<i>Tendreté</i>		
CRYAB	α B-Crystalline	HSP
HS71A	HSP70-1A	HSP
HSPB1	HSP27	HSP
HSPB2	HSP20	HSP
DNAJA1	HSP40	HSP
ENOB	Enolase 3	Métabolisme
MDHC	Malate deshydrogenase 1	Métabolisme
MYHI	Myosin Heavy Chain IIX (MyHC IIX)	Structure
MYL1	Myosin Light chain1F (MyLC 1F)	Structure
TTN	Titine	Structure
TNNT1	Troponine T1	Structure
PRDX6 (3A10-2A11)	Peroxyredoxine 6	Stress oxydant
TRIM72	Tripartite motif protein 72	Transport cellulaire
<i>Tendreté & Adiposité</i>		
TPI 1	Triosephosphate isomerase 1	Métabolisme

Troncale et al. (2012). Après avoir tracé la courbe de l'abondance de chaque protéine de tous les échantillons et dilutions, les échantillons sont alignés sur la courbe et une « concentration relative » est lue pour la dilution moyenne. La seconde normalisation consiste à utiliser une lame de contrôle négatif (sans anticorps primaire) et une lame avec un marquage de protéines totales pour faire une normalisation spot par spot.

7 Traitement statistique des données

L'analyse statistique de données individuelles d'animaux provenant d'études expérimentales ou du terrain a permis de mettre en œuvre tout au long de cette étude différentes méthodes statistiques adaptées pour répondre aux questions de recherches que nous nous posions. L'ensemble des traitements statistiques a été réalisé avec le logiciel R 3.2.3. (R core Team, 2016) avec l'appui d'une référente statistique du laboratoire de mathématiques de l'Université Clermont Auvergne. Dans la suite de cette partie, ne seront développés que les traitements statistiques les moins couramment utilisés dans les domaines de la zootechnie et de la qualité des produits.

7.1 Analyses factorielles de données mixtes (AFDM)

Les bases de données sont souvent composées de variables quantitatives et qualitatives (données dites mixtes). Nous avons pour objectif de prendre en compte ces 2 types de variables en tant qu'éléments actifs pour une même analyse factorielle.

Les analyses factorielles représentent la plupart des analyses descriptives de données. L'objectif de ce type d'analyse est de décrire un grand nombre de variables observées sans perte d'informations. Pour cela, des variables latentes (combinaisons linéaires des variables observées) sont créées pour réduire le nombre de variables et ainsi faciliter la représentation graphique du jeu de données. Le choix de la méthode est dépendant de la nature des données. En présence de variables quantitatives et qualitatives, sont réalisées respectivement, une analyse en composantes principales (ACP) et une analyse factorielle des correspondances (AFC). Lorsque la base de données était constituée de données mixtes (quantitatives et qualitatives), les variables

quantitatives étaient transformées en variables qualitatives et une AFC était mise en œuvre. Les problèmes rencontrés étaient de bien définir et justifier les groupes définis et la perte d'informations lors de la transformation en données qualitatives.

Afin de pallier ce problème, l'AFDM a été développée (Pagès, 2004). En résumé, cette méthode statistique réalise simultanément une ACP sur les variables quantitatives et une AFC sur les variables qualitatives afin de considérer ces 2 types de variables actives. Enfin, à la suite d'une AFDM, comme pour l'ACP et l'AFC, il est possible de réaliser une classification hiérarchique ascendante (CHA).

7.2 Modèles prédictifs

Les modèles prédictifs ont pour but de prédire une variable dépendante (ou variable à prédire) Y à l'aide de variables indépendantes (ou variables explicatives) X_i . Il existe de nombreuses méthodes statistiques qui peuvent être mises en œuvre afin de prédire une variable dépendante. Le choix de la méthode statistique à mettre en œuvre pour construire un modèle prédictif dépend de la question de recherche posée mais aussi de la nature de la variable à prédire. Dans la suite de cette partie, 2 méthodes de prédiction mises en œuvre durant ce travail seront développées.

7.2.1 L'arbre de décision

L'arbre de décision est une méthode statistique non-paramétrique aboutissant à un modèle non-linéaire. Cette méthode ne nécessite pas d'hypothèse *a priori* concernant la distribution des données et est peu sensible aux données atypiques (Rakotomalala, 2005).

Les arbres de décision sont utilisés dans un processus de prédiction et d'explication. La discrimination des différents groupes d'individus est réalisée à l'aide de variables discrètes ou continues. Ces variables sont les descripteurs dans l'arbre.

L'avantage de cette méthode statistique est la simplicité et la rapidité de lecture de l'arbre. En effet, il suffit de lire chaque branche pour établir les différentes règles permettant d'aboutir aux différentes feuilles terminales. Les branches de l'arbre sont les combinaisons entre les différentes variables indépendantes permettant d'atteindre la variable dépendante à prédire (feuille

terminale). Néanmoins, l'un des inconvénients de cette méthode statistique est qu'elle nécessite un échantillon de grande taille. La construction de l'arbre qui est descendante c'est-à-dire qu'initialement tous les individus sont tous ensemble puis à partir des variables indépendantes les individus sont scindés en groupes afin de mieux les caractériser. Pour réaliser cela, cette méthode nécessite de la paramétrisation afin d'obtenir une profondeur d'arbre adaptée à la taille du jeu de données afin de ne pas réaliser du sur- ou du sous-apprentissage. La qualité de l'arbre est évaluée principalement grâce au taux d'erreur de classification des individus dont l'objectif est d'obtenir la valeur la plus faible possible, c'est la règle de la majorité, ou des feuilles terminales « pures ».

7.2.2 La régression logistique binomiale et multinomiale

La régression logistique est une méthode statistique visant à construire à partir d'une ou plusieurs variables indépendantes (quantitatives et/ou qualitatives), un modèle afin de prédire une variable dépendante qualitative avec 2 modalités (par exemple 0 et 1) pour la régression logistique binomiale, ou 3 modalités et plus pour la régression logistique multinomiale (Chesneau, 2015; Rakotomalala, 2014).

Dans cette partie, seul le principe de la régression logistique binomiale sera présenté sachant que celui de la régression logistique multinomiale est similaire.

En régression logistique binomiale, la variable dépendante n'est pas modélisée en fonction des variables indépendantes comme en régression linéaire. C'est la probabilité p d'avoir l'une des 2 modalités de la variable dépendante en fonction des variables indépendantes qui est modélisée. Le type de modèle mis en œuvre pour cette méthode statistique est le modèle logarithme of inverse transformation (LogIT) qui est le plus souvent utilisé.

En régression logistique, ce sont les odds-ratios qui permettent l'interprétation du modèle de prédiction établi en sachant qu'il y aura autant d'odds-ratios qu'il y a de variables indépendantes X_i dans le modèle. Les odds-ratio permettent d'évaluer la chance de changer de modalité de la variable dépendante lorsque l'une des variables indépendantes X_i augmente d'une unité et les autres X_i restent identiques (Chesneau, 2015; Rakotomalala, 2014).

La matrice de confusion a pour but d'évaluer la robustesse du modèle de prédiction. Cette matrice permet de comparer les valeurs observées de la variable dépendante avec celles prédites.

A partir de cette matrice, différents critères de qualité du modèle peuvent être calculés : le taux d'erreur, la spécificité et la sensibilité. Un dernier élément spécifique à la régression logistique binomiale est l'aire sous la courbe : receiver operating system (ROC) qui permet d'évaluer la qualité du modèle. Lorsque l'aire sous la courbe ROC est proche de 1, la discrimination du modèle entre les 2 modalités de la variable dépendante sera considérée comme satisfaisante (Chesneau, 2015; Rakotomalala, 2014).

7.3 Modèle à effet aléatoire ou Modèle mixte

Un modèle mixte est un modèle comprenant simultanément 2 types de variables indépendantes : à effet fixe et à effet aléatoire. Une variable à effet fixe est un facteur contrôlé dont la variation est également contrôlée. Une variable à effet aléatoire est un facteur contrôlé dont la variation n'est pas contrôlée. Un facteur aléatoire est nécessairement une variable qualitative. Il permet de modéliser le fait que l'échantillon provient d'un ensemble plus important. Dans les modèles, les facteurs qui peuvent être placés en effet aléatoire sont par exemple l'individu, le lieu, l'espèce végétale, etc. Pour savoir si une variable doit être considérée en effet fixe ou en effet aléatoire, il faut se poser la question suivante : souhaite-t-on comparer les moyennes des groupes du facteur ? Si la réponse est non, la variable doit être considérée en effet aléatoire. L'objectif de prendre en compte une variable en effet aléatoire est de considérer la variabilité induite par ce facteur et de la retrancher à la variabilité résiduelle. Les facteurs à effet aléatoire portent uniquement sur la variance de la variable dépendante Y.

La mise en œuvre de modèles mixtes se fait lorsque les mesures sont répétées, que les données sont hiérarchisées, qu'il y a un effet aléatoire ou qu'il y a des données manquantes.

Des effets aléatoires peuvent être rajoutés dans différentes méthodes statistiques comme l'ANOVA, la régression linéaire, la régression logistique, etc. dans le but d'expliquer un phénomène ou de prédire.

Est-il possible de **piloter conjointement**
les caractéristiques
de la **carcasse** et de la **viande**
à partir des **pratiques d'élevage** ?

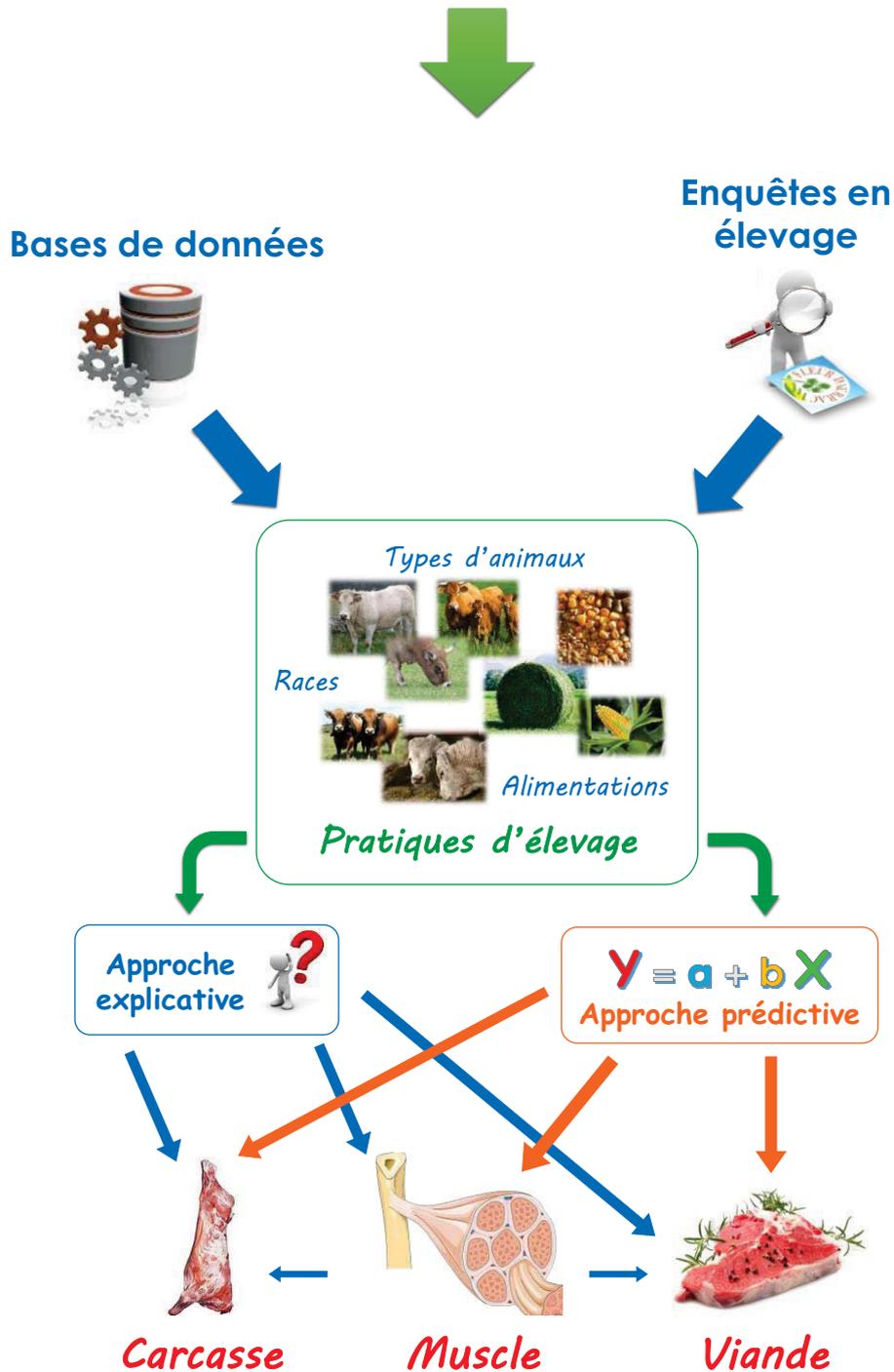


Figure 27 Schéma de la démarche pour répondre à la question générale de ce travail

Résultats et Discussions

La filière bovine cherche à maîtriser les caractéristiques de la carcasse et de la viande afin de répondre à la demande du marché et aux attentes des consommateurs. Comme montré dans la partie synthèse bibliographique, durant la vie de l'animal, les pratiques d'élevage sont les premiers éléments ayant un impact sur la carcasse, le muscle et la viande (Lebret et Picard, 2015). Une connaissance du potentiel de l'animal en termes de propriétés de sa carcasse et de la viande, le plus tôt possible, serait un atout afin de pouvoir piloter les pratiques d'élevage si cela est nécessaire avant que l'animal ne soit abattu. La difficulté est que les pratiques d'élevage sont multifactorielles et pour le moment la majorité des études sont réalisées en conditions maîtrisées afin de ne faire varier qu'un à deux facteurs d'élevage à la fois. Les études qui ont été menées durant ce travail ont tout d'abord été centrées sur la période de finition puis sur l'ensemble de la vie de l'animal. Dans ces 2 étapes du travail, plusieurs facteurs d'élevage ont été considérés simultanément afin d'avoir une approche multifactorielle pour caractériser les pratiques d'élevage. L'analyse des données a consisté dans un premier temps en une approche descriptive, pour ensuite aboutir à une approche prédictive (Figure 27).

8 Etude de l'influence des pratiques d'élevage mises en œuvre durant la période de finition sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande

8.1 Comparaison des effets de différentes pratiques d'élevage lors de la période de finition

L'objectif de cette première étude était de montrer l'impact de pratiques d'élevage appliquées au cours de la période de finition chez des génisses de race Charolaise, sur les critères caractérisant la carcasse et les propriétés sensorielles de la viande, dans un but de pilotage simultané des caractéristiques de la carcasse et de la viande. L'hypothèse proposée est qu'une même pratique d'élevage pouvait avoir un effet bénéfique à la fois sur les propriétés de la carcasse et de la viande.

Différentes pratiques d'élevage mises en œuvre durant la période de finition ont été étudiées afin d'observer leurs effets sur la carcasse et la viande. Au niveau de la viande, cette étude a porté sur les propriétés sensorielles de la bavette de flanchet (RA). Le RA présente 2 avantages, tout d'abord un aspect pratique car il est facile d'accès sur la carcasse entraînant une faible dépréciation, ensuite c'est un muscle à griller qui au niveau de la tendreté est proche du muscle LM qui est la référence.

**Est-il possible de piloter conjointement les qualités
de la carcasse et de la bavette de flanchet
par les pratiques d'élevage, chez la génisse
de race Charolaise en finition ?**

SOULAT Julien¹ ; MONTEILS Valérie¹ ; LEGER Stéphanie^{2,3} ; ELLIES-OURY Marie-Pierre^{1,4}
and PICARD Brigitte¹

1 UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

2 Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

3 CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

4 Bordeaux Science Agro, 1 cours du général de Gaulle, CS 40201, F-33175 Gradignan, France

Ce travail a été valorisé par une communication orale lors des 22^{ème} Rencontres Recherches Ruminants, les 2 et 3 décembre 2015 à Paris.

Est-il possible de piloter conjointement les qualités de la carcasse et de la bavette de flanchet par les pratiques d'élevage, chez la génisse de race Charolaise en finition ?

SOULAT J. (1, 2), MONTEILS V. (1, 2), LEGER S. (3, 4), ELLIES-OURY M.P. (5, 2, 1), PICARD B. (2, 1)

(1) Clermont Université, VetAgro-Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

(2) INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(3) Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

(4) CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

(5) Bordeaux Science Agro, 1 cours du Général de Gaulle, CS 40201, F-33175 Gradignan, France

RESUME

Les objectifs de cette étude étaient d'identifier, chez la génisse de race Charolaise, les pratiques d'élevage en période de finition influençant le plus la qualité des carcasses et la qualité sensorielle de la viande dans le but de pouvoir piloter conjointement ces deux qualités. Une difficulté rencontrée est qu'une pratique d'élevage correspond à la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage. L'étude a porté sur les données individuelles de 111 génisses en phase de finition. Les données à disposition concernent les données d'élevage ($p=12$), les caractéristiques de la carcasse ($p=6$) et les propriétés sensorielles ($p=3$) de la bavette de flanchet (*Rectus Abdominis*). Quatre classes, représentant quatre pratiques d'élevage différentes : **J_leg**, **Fini_long**, **A_lourde** et **Conc_leg**, ont été définies à partir de deux classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) établies sur des données d'élevage quantitatives ($p=7$) et qualitatives ($p=5$). La classe **J_leg** ($n=29$) est caractérisée principalement par des génisses abattues jeunes (27,8 mois), légères (635 kg) et ingérant des quantités de concentrés (CONC), d'UFL et de PDI faibles. La ration a tendance à être principalement à base de foin. La classe **Fini_long** ($n=26$) se caractérise par une durée de finition longue (220 j), des génisses abattues plus lourdes (700 kg) et des ingestions faibles de CONC, d'UFL et de PDI. Cette classe se caractérise également par une finition au pâturage. La classe **A_lourde** ($n=32$) est caractérisée par des génisses abattues plus âgées (36,3 mois) et plus lourdes (726 kg). Une finition en bâtiment et une ration à base d'ensilage et/ou de paille caractérisent également cette pratique. Enfin, la classe **Conc_leg** ($n=24$) est caractérisée par des génisses abattues légères (661 kg) et ingérant des quantités élevées de CONC, d'UFL et de PDI. Les effets des différentes classes de pratiques sur les caractéristiques de la carcasse et les propriétés sensorielles de la bavette de flanchet ont été évalués par analyse de la variance. La pratique d'élevage de la classe **A_lourde** permet d'atteindre une qualité de carcasse plus élevée selon les critères de rémunération de l'éleveur (poids, conformation, état). La pratique de la classe **J_leg** permet une qualité sensorielle de la bavette plus élevée. Ces deux pratiques d'élevage assez antagonistes montrent qu'un pilotage conjoint de la qualité des carcasses et des viandes, chez la génisse de race Charolaise, s'avère difficile. Des compromis durant la phase de finition doivent donc être trouvés pour ne pas privilégier l'une de ces deux qualités.

Is it possible to simultaneously pilot carcass and flank steak qualities by breeding practices, among Charolais heifers during fattening?

SOULAT J. (1, 2), MONTEILS V. (1, 2), LEGER S. (3), ELLIES-OURY M.P. (4, 2, 1), PICARD B. (2, 1)

(1) Clermont Université, VetAgro-Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000, Clermont-Ferrand, France

(2) INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

SUMMARY

The aims of this study were to identify breeding practices during the fattening period that have the highest influence on carcass and beef meat sensory qualities in order to pilot simultaneously these two qualities, in Charolais heifers. One difficulty is that breeding practice is a combination of different livestock factor combinations. This study was performed on individual data from 111 heifers, during the fattening period. Available data concern livestock data ($p=12$), carcass characteristics ($p=6$) and flank steak (*Rectus Abdominis*) sensory properties. Four clusters representing four different breeding practices (**J_leg**, **Fini_long**, **A_lourde** and **Conc_leg**), were identified from two hierarchical ascendant classifications (HAC) established on quantitative ($p=7$) and qualitative ($p=5$) breeding data. These four clusters represent four different breeding practices. **J_leg** cluster ($n=29$) was mainly characterized by young slaughtered heifers (27.8 months), lightweight (635 kg) and low quantities of concentrates (CONC), UFL and PDI intake. Diet tended to be mainly based on hay. **Fini_long** cluster ($n=26$) was characterized by a long fattening period duration (220 days), heavier slaughtered heifers (700 kg) and low CONC, UFL and PDI intake. This cluster was also characterized by fattening grazing. **A_lourde** cluster ($n=32$) was characterized by older (36.3 months) and heavier (726 kg) slaughtered heifers. Fattening housing and diet with silage and/or straw characterized this breeding practice. Finally, the **Conc_leg** cluster ($n=24$) was characterized by lightweight slaughtered heifers (661 kg) and high CONC, UFL and PDI intake. The effects of the different breeding practice cluster on carcass characteristics and flank steak sensory properties were estimated by analysis of variance. Higher carcass quality was reached by breeding practice of the **A_lourde** cluster according to remuneration criteria (weight, conformation and fattening carcass) of the farmer. The breeding practice of the **J_leg** cluster enabled higher flank steak sensory properties. These two antagonist breeding practices show that it is difficult to simultaneously pilot carcass and beef meat quality, among Charolais heifers. During the fattening period, compromises should be found to avoid favoring one of these two qualities.

INTRODUCTION

De nombreux travaux chez le jeune bovin et le bœuf ont permis d'évaluer les effets d'un ou plusieurs facteurs d'élevage en situation contrôlée (âge et/ou poids à l'abattage, nature de la ration, etc.) sur les caractéristiques de la carcasse et les propriétés sensorielles de la viande (Bures et Barton, 2012, Oury *et al.*, 2007a, Serrano *et al.*, 2007, Jurie *et al.*, 2006). Cependant, peu d'études abordent simultanément les relations entre pratiques d'élevage, qualité des carcasses et qualité sensorielle des viandes, en considérant les pratiques d'élevage comme l'effet combiné de plusieurs facteurs d'élevage (âge à l'abattage, poids de l'animal, nature de la ration, etc.). L'objectif de cette étude était, chez la génisse de race Charolaise, de caractériser les pratiques d'élevage menées durant la période de finition (1 à 3 derniers mois de la vie de l'animal) et de voir leurs impacts sur la qualité des carcasses et de la bavette de flanchet. Le but était d'apporter des éléments permettant un pilotage conjoint de ces deux qualités.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNEES

Cette étude a porté sur les données individuelles de 111 génisses de race Charolaise en période de finition provenant de 51 élevages avec des pratiques d'élevage diversifiées (Oury *et al.*, 2006 ; Oury *et al.*, 2007b). La période de finition a été définie à dire d'éleveur (généralement sur la base du changement de la composition de la ration). Pour chaque génisse, les données recueillies concernent les pratiques d'élevage, les caractéristiques de la carcasse et les propriétés sensorielles de la bavette de flanchet (*Rectus Abdominis*, RA). Les pratiques d'élevage appliquées aux génisses se caractérisent par la combinaison de facteurs d'élevage (données quantitatives ou qualitatives). Les données d'élevage quantitatives sont : l'âge à l'abattage (mois), la durée de finition (jours), le poids vif avant abattage (kg), les quantités ingérées moyennes de concentrés durant la phase de finition (CONC, kg MS/j), de PDIE et PDIN (g/j) et d'UFL (UFL/j). Les UF et PDI ingérés ont été calculés à partir des données disponibles en élevage (hauteur d'herbe, analyses d'aliments) ou estimés en fonction de la capacité d'ingestion des animaux. Les données d'élevage qualitatives correspondent à la présence ou l'absence des différents fourrages (foin, paille, ensilage et herbe) dans la ration de finition et au type de finition (pâturage et bâtiment). Il est à noter que la conduite des génisses au pâturage a été perturbée par une période prolongée de sécheresse altérant largement la pousse de l'herbe. Ces conditions ont engendré une modification de composition des rations de finition basées majoritairement sur des concentrés (avec ajout de quantités limitées de paille). Les carcasses sont caractérisées par le poids de la carcasse froide (kg), la conformation (note système EUROP avec le tiers de classe « -, =, + »), l'état d'engraissement (note de 1 à 5) et la composition de la carcasse (muscles, tissu adipeux et squelette, % du poids de la carcasse froide). La composition de la carcasse a été estimée à partir de la dissection de la 6^{ème} côte prélevée 24h *post-mortem* et d'une adaptation des équations de prédiction présentées par Robelin et Geay (1976). Les bavettes de flanchet ont également été prélevées 24h *post-mortem*, maturées sous vide pendant 14 j à +4°C, puis congelées à -20°C. Pour les analyses sensorielles, les bavettes ont été cuites à 55°C à cœur sur un grill double face après décongélation. Une présentation monadique séquentielle a été proposée au jury préalablement entraîné. Chaque échantillon a été noté entre 0 et 10 pour les critères de tendreté globale, jutosité et flaveur (Dransfield *et al.*, 2003).

1.2. ANALYSES STATISTIQUES

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé avec le logiciel R (R core Team, 2014).

Une typologie des pratiques d'élevage appliquées durant la phase de finition a été obtenue à partir des données d'élevage. Tout d'abord, les données d'élevage quantitatives ont été analysées par analyse en composante principale (ACP) suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH). Cette étape a permis de déterminer des classes de pratiques d'élevage. Pour compléter la caractérisation de chaque classe, les données d'élevage qualitatives ont été analysées par analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) suivie d'une CAH, en intégrant dans l'analyse l'affectation des génisses dans les classes. L'ensemble des analyses a été réalisé à l'aide du package FactoMineR (Husson *et al.*, 2015). Les effets des pratiques d'élevage durant la phase de finition sur les caractéristiques de la carcasse et les propriétés sensorielles de la bavette de flanchet ont été analysés par analyse de la variance (ANOVA). Lorsque les résultats de l'ANOVA étaient significatifs, une comparaison multiple de moyenne par la méthode de Tukey a été réalisée pour mettre en évidence les différences entre les pratiques d'élevage obtenues. Les notes de conformation ont été transformées en valeurs numériques pour réaliser l'ANOVA. Pour la conformation, les lettres E à P ont été transformées par des notes de 1 à 5 et les tiers de classe de la manière suivante : « - » : -0,33 ; « = » : 0, « + » : 0,33.

2. RESULTATS

2.1. TYPOLOGIES DES PRATIQUES D'ELEVAGE

Quatre classes d'effectifs proches : jeunes légères (**J_leg** : n=29), finition longue (**Fini_long** : n=26), âgées lourdes (**A_lourde** : n=32) et concentrés légères (**Conc_leg** : n=24) (Tableau 1), ont été déterminées par la CAH établie sur les données d'élevage quantitatives. La caractérisation de ces classes a été complétée par la CAH réalisée sur les données d'élevage qualitatives. Au final, quatre pratiques d'élevage ont été définies, la pratique d'élevage de chaque classe étant la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage.

La classe **J_leg** se caractérise en moyenne par un abattage des génisses plus jeunes (27,8 mois) par rapport à celui des autres classes. Ces génisses sont également abattues en moyenne plus légères (635 kg) par rapport aux classes **Fini_long** et **A_lourde**. Les quantités ingérées moyennes de concentrés, d'UFL et de PDI sont plus faibles par rapport aux classes **A_lourde** et **Conc_leg**. La ration de cette classe est constituée d'un seul fourrage dans 89 % des cas, avec du foin et sans paille.

La classe **Fini_long** se caractérise en moyenne par une durée de finition plus longue (220 jours) par rapport aux pratiques des autres classes et un poids avant abattage plus élevé en moyenne que les classes **J_leg** et **Conc_leg**. Comme pour la classe **J_leg**, les quantités moyennes ingérées de concentrés, d'UFL et de PDI sont plus faibles et non significativement différentes de celles reçues par les génisses de la classe **J_leg**. Cette classe se caractérise également par une finition au pâturage avec une ration composée d'herbe et une absence de foin. De plus, pour 73 % des génisses, la ration de finition est basée sur l'association des deux fourrages.

La classe **A_lourde** se caractérise en moyenne par un abattage des génisses plus âgées (36,3 mois) par rapport à celui des autres classes. Tout comme la classe **Fini_long**, les génisses sont abattues plus lourdes, les poids sont non significativement différents entre ces deux classes. Pour cette classe, la tendance est une finition en bâtiment avec une ration composée d'ensilage et/ou de paille.

La classe **Conc_leg** se caractérise par des quantités moyennes ingérées de concentrés, d'UFL et de PDI plus élevées par rapport aux autres classes de pratiques d'élevage. La durée de finition est en moyenne plus faible par rapport à la classe **Fini_long**, sans différences significatives avec les classes **J_leg** et **A_lourde**. Dans cette classe, la ration de finition a tendance à ne pas contenir d'ensilage.

Tableau 1 : Caractéristiques des quatre pratiques d'élevage déterminées pour les facteurs d'élevage quantitatifs

	J_leg	Fini_long	A_lourde	Conc_leg		
n =	29	26	32	24		
	Moy ± σ	Moy ± σ	Moy ± σ	Moy ± σ	SEM	p-value
Age abattage (mois)	27,8 ± 1,5 ^d	33,5 ± 3,3 ^b	36,3 ± 3,0 ^a	30,9 ± 3,4 ^c	0,41	***
Durée de finition (j)	134 ± 51 ^b	220 ± 28 ^a	117 ± 38 ^b	143 ± 53 ^b	5,54	***
Poids avant abattage (kg)	635 ± 34 ^b	700 ± 41 ^a	726 ± 71 ^a	661 ± 37 ^b	5,78	***
Concentrés (kg MS/j)	2,6 ± 2,7 ^c	3,6 ± 2,3 ^c	6,6 ± 2,5 ^b	9,7 ± 2,3 ^a	0,34	***
UFL ingérées (UFL/j)	6,0 ± 2,4 ^c	6,4 ± 1,6 ^c	10,4 ± 1,4 ^b	12,5 ± 3,0 ^a	0,32	***
PDIN ingérés (g/j)	592 ± 241 ^c	717 ± 219 ^c	1030 ± 184 ^b	1520 ± 266 ^a	39,06	***
PDIE ingérés (g/j)	662 ± 263 ^c	704 ± 175 ^c	1111 ± 170 ^b	1476 ± 272 ^a	36,94	***

Moy : moyenne, σ : écart-type, ^{a, b, c, d} : différences significatives au seuil 5 %, SEM : standard error of the mean ; NS = non significatif, * = P < 0,05, ** = P < 0,01, *** = P < 0,001

1.1. INFLUENCE DES PRATIQUES D'ELEVAGE SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA CARCASSE

Dans cette étude, les caractéristiques de la carcasse impactées par les pratiques d'élevage définies dans les classes sont le poids de la carcasse froide et la conformation. En revanche, ces mêmes pratiques n'ont pas d'impact significatif sur la composition de la carcasse (muscle, tissu adipeux, squelette). L'état d'engraissement des carcasses quant à lui n'a pas été étudié par manque de variabilité (87 % des génisses avaient une note de 3). Les classes **Fini_long** et **A_lourde** conduisent à des carcasses plus lourdes par rapport aux classes **J_leg** et **Conc_leg** (Tableau 2). La classe **J_leg** tendrait à produire des carcasses mieux conformées que celle de la classe **A_lourde** (p < 0.05). Cependant, les intervalles de confiance montrent que cet impact est relativement faible avec un écart de 0,18. Cette diminution sera difficile à apprécier avec le système de notation habituel EUROP.

1.2. INFLUENCE DES PRATIQUES D'ELEVAGE SUR LES PROPRIETES SENSORIELLES DE LA BAVETTE DE FLANCHET

La tendreté globale de la bavette de flanchet est significativement impactée par les pratiques d'élevage (Tableau 2). Les bavettes issues des génisses de la classe **J_leg** sont significativement plus tendres que celles de la classe **A_lourde**. Un écart de notes de 0,6 est observé en moyenne entre ces deux classes. La jutosité de la bavette est également impactée par les pratiques d'élevage (Tableau 2). Les bavettes issues de génisses de la classe **J_leg** sont significativement plus juteuses que celles issues des autres classes. L'écart de notes le plus élevé en moyenne est celui entre les classes **J_leg** et **Conc_leg**, avec 0,8. Pour les deux autres classes l'écart de note est en moyenne de 0,6 avec la classe **J_leg**. La saveur de la bavette est impactée par les pratiques d'élevage. Les notes moyennes de saveur des bavettes issues de génisses de la classe **J_leg** ont tendance à être significativement plus élevées par rapport à celles des classes **Fini_long** et **Conc_leg**.

2. DISCUSSION

En ce qui concerne les caractéristiques des carcasses, le poids de la carcasse froide est le seul paramètre dans cette étude portant sur la phase de finition qui diffère véritablement selon les pratiques d'élevage. Ceci confirme les résultats de Lucero-Borja *et al.*, (2014) et Pierret *et al.*, (2002) qui ont montré que l'âge à l'abattage et le poids des génisses avaient des effets positifs sur le poids des carcasses. Cependant, pour un même poids avant abattage, la pratique d'élevage de la classe **A_lourde** est plus avantageuse pour l'éleveur que celle de la classe **Fini_long** (Tableau 1). En effet, dans la classe

A_lourde, les génisses reçoivent plus de concentrés que dans la classe **Fini_long** mais avec une durée de finition plus courte. Cependant, elles ont consommé en moyenne environ 20 kg de concentrés de moins au cours de la période de finition par rapport à celles de la classe **Fini_long**. De plus, dans la classe **A_lourde**, les génisses effectuent principalement leur finition en bâtiment, leur permettant une dépense énergétique plus faible par rapport à celles de la classe **Fini_long** qui ont une finition principalement au pâturage. Dans cette étude, la conformation et la composition de la carcasse ne sont pas impactées par les pratiques d'élevage (Tableau 2). De plus, la rémunération de l'éleveur dans le système français est principalement basée sur le poids, la conformation et l'engraissement de la carcasse et l'âge à l'abattage pour certain label. La pratique **A_lourde** est associée à une consommation moindre de concentrés et elle permet d'aboutir à des carcasses plus lourdes sans dégradation de la conformation et de l'état d'engraissement de la carcasse. Néanmoins, cette pratique nécessite que les génisses restent plus longtemps sur l'exploitation car abattues plus âgées. Pour l'éleveur, cela représente donc un besoin alimentaire plus important durant la phase d'élevage des génisses. Les propriétés sensorielles de la bavette de flanchet sont davantage influencées par les pratiques d'élevage que les caractéristiques de la carcasse. Les bavettes issues des génisses de la classe **J_leg** (Tableau 1) obtiennent en moyenne les notes les plus élevées pour la tendreté globale, la jutosité et la saveur (Tableau 2). Pour la tendreté, des études chez la génisse ont montré que l'âge à l'abattage pouvait avoir un effet négatif au-delà de 35 mois (Oury *et al.*, 2007a ; Shackelford *et al.*, 1995). En revanche, le poids à l'abattage n'a pas d'impact sur la tendreté de la noix d'entrecôte (*Longissimus Thoracis*) et le rumsteack (*Gluteus medius*), chez la génisse de race Aberdeen Angus (Lucero-Borja *et al.*, 2014). De plus, le RA (muscle interne) n'est pas un muscle locomoteur, par sa localisation dans la carcasse, le type de finition ne devrait pas avoir d'impact sur la note de tendreté globale de la bavette de flanchet (Oury *et al.*, 2007a). Il a été également observé qu'une augmentation de la valeur énergétique de la ration de finition n'impactait pas la note de tendreté. Les différences significatives de la note moyenne de tendreté globale entre les classes **J_leg** et **A_lourde** semblent être principalement expliquées par la différence de l'âge à l'abattage (Tableau 1). Les notes moyennes de saveur et de jutosité les plus élevées sont attribuées à des bavettes issues de génisses ayant reçues la pratique d'élevage de la classe **J_leg**. Or, il a été montré que la saveur et la jutosité augmentent avec l'âge de l'animal (Touraille, 1994). Il semblerait que la saveur et la jutosité soient impactées par un facteur autre que l'âge à l'abattage dans notre étude. Ce facteur pourrait être la nature de la ration.

Tableau 2 : Effet des quatre pratiques d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et les propriétés sensorielles de la bavette de flanchet

	J_leg	Fini_long	A_lourde	Conc_leg		
n =	29	26	32	24		
	Moy ± σ	Moy ± σ	Moy ± σ	Moy ± σ	SEM	p-value
Caractéristiques de la carcasse						
Poids de la carcasse froide (kg)	349 ± 19 ^b	385 ± 22 ^a	399 ± 39 ^a	363 ± 20 ^b	3,73	***
Conformation (note)	3,2 ± 0,1 ^a	3,1 ± 0,2 ^{ab}	3,1 ± 0,2 ^b	3,1 ± 0,3 ^{ab}	0,02	*
% Muscles (%)	66,8 ± 2,6	65,5 ± 4,6	66,1 ± 3,6	66,9 ± 3,4	0,34	NS
% Tissu adipeux (%)	17,9 ± 3,4	18,1 ± 4,8	18,3 ± 3,8	17,3 ± 3,8	0,36	NS
% Squelette (%)	15,3 ± 1,9	16,3 ± 2,6	15,6 ± 2,5	15,8 ± 1,9	0,24	NS
Analyses sensorielles de la bavette de flanchet (note de 1 à 10)						
Tendreté globale	5,8 ± 1,0 ^a	5,4 ± 0,8 ^{ab}	5,2 ± 0,9 ^b	5,2 ± 1,0 ^{ab}	0,09	*
Jutosité	5,9 ± 0,8 ^a	5,3 ± 0,8 ^b	5,2 ± 0,8 ^b	5,1 ± 0,6 ^b	0,08	***
Flaveur	6,1 ± 0,6 ^a	5,7 ± 0,4 ^b	5,8 ± 0,4 ^{ab}	5,6 ± 0,3 ^b	0,04	***

Moy : moyenne, σ : écart-type, ^{a, b, c, d} : différences significatives au seuil 5 %, SEM : standard error of the mean ; NS = non significatif, * = P < 0,05, ** = P < 0,01, *** = P < 0,001

Dans la classe **J_leg**, les génisses ont reçu une ration avec principalement du foin et peu de concentrés alors que dans les trois autres classes, la ration est composée d'une part plus importante de concentrés et/ou de fourrages différents (paille, herbe et ensilage). Bidner *et al.*, (1986), chez le bœuf croisé, ont montré que la jutosité de l'entrecôte était plus faible lorsque le régime était riche en concentrés. En revanche, aucun impact de la nature de la ration n'a été observée sur les propriétés sensorielles de la noix d'entrecôte (*longissimus*), du tendre de tranche (*semimembranosus*) et du rond de gîte (*semitendinosus*) de génisses croisées Hereford x Angus (Crouse *et al.*, 1984). Il est donc difficile de conclure sur les facteurs des pratiques d'élevage ayant un fort impact sur les propriétés sensorielles de la bavette car les études portent sur des races et des muscles différents. Toutefois, il ressort de notre étude que la pratique permettant d'atteindre la qualité de bavette la plus élevée sur le plan sensoriel est la pratique de la classe **J_leg**. Au final, cette étude montre que la pratique d'élevage permettant d'atteindre la meilleure qualité de carcasse (**A_lourde**) est différente de celle qui engendre la qualité sensorielle de la bavette la plus élevée. Par leurs différences, ces deux pratiques montrent qu'un pilotage conjoint de la qualité de la carcasse et de la viande s'avère difficile. Cette difficulté est accentuée par le fait que l'éleveur est rémunéré uniquement sur des critères liés à la carcasse (poids carcasse, conformation, engraissement). Actuellement, il est donc plus avantageux pour lui de privilégier la qualité de la carcasse. Dans le système de rémunération de l'éleveur, il serait intéressant de développer une nouvelle grille de paiement considérant des aspects de qualité de la viande en plus de ceux de la carcasse.

CONCLUSION

Dans cette étude, à la différence des propriétés sensorielles de la bavette de flanchet, les caractéristiques de la carcasse sont faiblement impactées par les pratiques d'élevage appliquées durant la phase de finition. Un pilotage conjoint de la qualité des carcasses et de la viande s'avère donc difficile. Des compromis doivent être trouvés pour ne pas privilégier chez la génisse de race Charolaise la qualité de la carcasse ou celle de la viande de manière générale. Cependant, ces résultats sont à relativiser par rapport à la conduite de certaines génisses en période prolongée de sécheresse. Cela a eu pour conséquence une modification de la nature de la

ration habituellement distribuée durant cette période de l'année. Pour confirmer ces résultats, il est nécessaire de renouveler ce type d'étude afin de vérifier l'impact des pratiques d'élevage sur d'autres morceaux de viande, d'autres types d'animaux et d'autres races. Il serait également intéressant de prendre en compte l'ensemble des pratiques reçues au cours de la vie de l'animal ainsi que la génétique des animaux.

- Bidner, T. D., A. R. Schupp, A. B. Mohamad, N. C. Rumore, R. E. Montgomery, C. P. Bagley, and K. W. McMillin.** 1986. *J. Anim. Sci.*, 62, 381–387.
- Bures, D., and L. Barton.** 2012. *Czech J. Anim. Sci.*, 57, 34–43.
- Crouse, J., H. Cross, and S. Seideman.** 1984. *J. Anim. Sci.*, 58, 619–625.
- Dransfield, E., J. F. Martin, D. Bauchart, S. Abouelkaram, J. Lepetit, J. Culioli, C. Jurie, and B. Picard.** 2003. *Anim. Sci.*, 76, 387–399.
- Husson, F., J. Josse, S. Le, and J. Mazet.** 2015., from: <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>
- Jurie, C., I. Ortigues-Marty, B. Picard, D. Micol, and J. F. Hocquette.** 2006. *Livest. Sci.*, 104, 182–192.
- Lucero-Borja, J., L. B. Pouzo, M. S. de la Torre, L. Langman, F. Carduza, P. M. Corva, F. J. Santini, and E. Pavan.** 2014. *Livest. Sci.*, 163, 140–149.
- Oury, M.-P., R. Dumont, C. Agabriel, J. Agabriel, J. Blanquet, E. Dransfield, L. Istasse, D. Micol, B. Picard, and M. Roux.** 2006. *Renc. Rech. Rum.*, 13, 313–316.
- Oury, M.-P., B. Picard, L. Istasse, D. Micol, and R. Dumont.** 2007a. *INRA Prod. Anim.*, 20, 309–326.
- Oury, M. P., J. Agabriel, B. Picard, R. Jailler, H. Dubroeuq, D. Egal, and D. Micol.** 2007b, EAAP meeting Dublin, 26-29 August 2007. *Sustain. Anim. Prod. - Biol. (aspects related to milk and meat quality)*, 1–8.
- Pierret, P., A. Breuvar, and C. Eisenzaemmer.** 2002. *Renc. Rech. Rum.*, 9, 272.
- R core Team.** 2014., from: <http://www.R-project.org/>
- Robelin, J., and Y. Geay.** 1976., *Ann Zootech.*, 25, 259–272.
- Serrano, E., P. Pradel, R. Jailler, H. Dubroeuq, D. Bauchart, J.-F. Hocquette, A. Listrat, J. Agabriel, and D. Micol.** 2007., *Animal*, 1, 1068–1079.
- Shackelford, S., M. Koohmaraie, and T. Wheeler.** 1995., *J. Anim. Sci.*, 73, 3304–3309.
- Touraille, C.** 1994., *Renc. Rech. Rum.*, 1, 169–176.

Conclusion

Cette étude a mis en évidence que les pratiques d'élevage menées au cours de la période de finition avaient un impact sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Il apparaît qu'une pratique plutôt favorable aux caractéristiques de la carcasse ne l'est pas forcément pour les propriétés sensorielles de viande. Ces résultats confirment les résultats d'autres études de la littérature (Oury et al., 2007; Couvreur et al., 2013). Ils montrent que des pratiques d'élevage avec des caractéristiques différentes permettent d'obtenir des carcasses de poids, de conformation et de composition (muscle, tissu adipeux et squelette) équivalentes. Cette observation est également vraie pour les propriétés sensorielles du RA.

Après avoir montré que les pratiques d'élevage ont un impact sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, nous nous sommes orientés vers la mise en œuvre de modèles de prédiction afin de pouvoir prévoir un potentiel de la carcasse et de la viande et de pouvoir piloter les pratiques reçues par l'animal durant la période de finition.

8.2 Prédiction des caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande à partir de différents facteurs d'élevage appliqués au cours la période de finition

Notre étude bibliographique a montré qu'il existait des modèles permettant de prédire des caractéristiques de la carcasse et de la viande. Cependant, ces modèles ne considèrent pas de facteurs d'élevage pouvant être modifiés par l'éleveur au cours de la période de finition, ce qui permettrait de piloter sa pratique d'élevage en fonction des prévisions des modèles pour les différents paramètres de la carcasse et de la viande. **L'objectif général était de prédire à partir de facteurs d'élevage spécifiques à la période de finition, les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande.** Dans cette partie, deux approches de prédiction ont été mises en œuvre.

Dans une première étude (valorisation scientifique 2), l'objectif était de définir des combinaisons de facteurs d'élevage permettant d'atteindre un objectif de « qualité supérieure » de la viande selon des critères sensoriels, chez des jeunes bovins en finition. Lors de cette étude, nous avons émis l'hypothèse que différentes combinaisons de facteurs d'élevage permettaient d'atteindre une « qualité supérieure » de la viande. Nous avons également supposé que les combinaisons favorables de facteurs d'élevage pouvaient varier selon le type de la race (viande vs rustique).

Dans deux autres études (valorisations scientifique 3 et 4), l'objectif était de prédire les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande à partir de facteurs d'élevage caractérisant la période de finition en établissant les modèles les plus génériques possibles. Nous avons voulu établir un modèle pour différents paramètres caractérisant la carcasse, le muscle et la viande, commun à deux types d'animaux (jeunes bovins et vaches de réforme), à partir des facteurs d'élevage. Dans ces deux études, en fonction du paramètre à prédire (variables quantitatives continues ou variables qualitatives à deux ou trois modalités), le choix de la méthode statistique à mettre en œuvre a été différent pour aboutir aux modèles de prédiction.

Pour l'ensemble de ces études, nous avons travaillé sur les données individuelles d'animaux en finition provenant de différentes expérimentations stockées dans les bases de données évoquées dans la partie « Bases de données utilisées » du Matériel et Méthodes (page 5). Au niveau du muscle et de la viande, nous avons travaillé exclusivement sur les propriétés musculaires et sensorielles du muscle LM (noix d'entrecôte). L'intérêt de travailler sur le muscle LM est que ce muscle est le muscle de référence car il est le plus étudié dans la littérature.

**Improving beef sensory quality through
breeding practices management**

SOULAT Julien¹ ; LEGER Stéphanie^{2,3} ; PICARD Brigitte¹ and MONTEILS Valérie¹

1 UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

2 Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

3 CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

Ce travail a été valorisé par une affiche lors du 61^{ème} International Congress of Meat Science & Technologie, du 23 au 28 août 2015 à Clermont Ferrand.

Résumé

Afin d'identifier durant la phase de finition les effets bénéfiques des pratiques d'élevage sur les propriétés sensorielles du muscle *Longissimus Thoracis*, une base de données regroupant les données de 329 jeunes bovins (2 types de race : viande et rustique) a été analysée. Les animaux ont été classés selon 2 groupes : qualité sensorielle de la viande élevée ou faible. L'application d'arbres de décision a mis en évidence qu'en fonction du type de race, différentes associations au sein des pratiques d'élevage permettent d'atteindre une qualité sensorielle élevée. Une qualité supérieure de viande est obtenue avec à une ingestion de fourrages $\geq 1,95$ kg/j dans la ration de finition et une durée de la période de finition < 178 j, pour des jeunes bovins de races à viande. L'âge d'abattage des jeunes bovins a un effet positif sur la qualité de la viande des races rustiques ($\geq 17,2$ mois) et des races à viande (entre 15,4 et 16,8 mois) si celui-ci est combiné avec une période de finition plus longue et un GMQ plus élevé, pour les races type viande, et avec un poids vif plus élevé en plus, pour les races rustiques.

IMPROVING BEEF SENSORY QUALITY THROUGH BREEDING PRACTICES MANAGEMENT

J. Soulat^{1,2}, S. Léger³, B. Picard^{2,1} and V. Monteils^{1,2}

¹ Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000, Clermont-Ferrand, France

² INRA UMR1213 Herbivores, 63122 Saint Genes Champanelle, France

³ Laboratoire de Mathématiques, Université de Clermont Ferrand II, 63177 Aubière, France

Abstract – To identify the benefic effects of breeding practices, for the fattening period, on the *Longissimus Thoracis* sensory properties, a dataset obtained from 329 young bulls (2 breed types: beef and hardy) was analyzed. Animals were classified in 2 clusters: high and low sensory quality of beef meat. Different breeding practices combinations driven to high sensory quality were highlighted with decision trees, according to breed types. A higher beef quality is possible with a forage intake ≥ 1.95 kg DM/d in the fattening diet and a fattening period duration < 178 d for young beef breed bulls. The slaughter age of young bulls had a positive impact on beef quality of hardy breeds (≥ 17.2 mo) and beef breeds (between 15.4 and 16.8 mo) if it was combined with a longer fattening period duration and a higher average daily gain, for beef breeds and in addition with a heavier weight for hardy breeds.

Key Words – breed types, fattening period, young bull

I. INTRODUCTION

In France, bovine breeds were selected according to production system. Three breed types are identified: dairy, beef and hardy breeds. Besides the breed, the bovine production used diversified breeding practices (animal type, gender, age, diet, etc.) which influence the quality of beef meat [1]. Furthermore, the principal valuable quality trait for consumers is tenderness [2]. The aim of this study was to determine which breeding practices had a positive impact on the sensory quality of beef meat. This study was carried out during the fattening period of young bulls according two breed types (beef and hardy).

II. MATERIALS AND METHODS

Dataset

This study was realized on the individual data of 329 young bulls. For each young bull, breeding practices for the fattening period and *Longissimus*

Thoracis (LT) sensory properties were available. The dataset was divided according to the breed types: beef breeds (BB) with Charolaise (n = 116), Limousine (n = 74) and Blonde d'Aquitaine (n = 25) breeds and hardy breeds (HB) with Salers (n = 93) and Aubrac (n = 21) breeds.

Animals were from 6 different National Institute for Agricultural Research (INRA) published projects [3-8]. In each project, the aim was to study the characteristics of beef meat according to breeding practices for the fattening period (diet, slaughter age, slaughter live weight, period duration). In this dataset, the breeding practices for the fattening period were characterized by 13 variables: slaughter age (mo), fattening period duration (d), live weight at the beginning of fattening period (kg), final live weight before transportation for slaughterhouse (kg), final live weight before slaughter (kg), forage and concentrate intakes (kg DM/d), total dry matter intake (DMI, kg DM/d), net energy intake (Mcal/d), percentage of forage and concentrate intakes (%), average daily gain for the fattening period (ADG, kg/d) and efficiency (ADG/DMI ratio, kg/kg DM). Breeding practices for each breed type were presented in Table 1.

All animals were slaughtered at the experimental slaughterhouse of INRA, Auvergne/Rhône-Alpes Research Center (France).

Sensory analysis

LT samples taken 24h *post-mortem* were matured during 14 d at 4°C. The samples were grilled (55-60°C), tenderness, flavor and juiciness were scored between 0 and 10 by trained taste panels (Table 1) [6].

Statistical analysis

All statistical analyses were realized with R 3.1.1 [9]. Decision trees enabled to determine breeding practices combinations to obtain a higher beef

meat quality. For sensory data from the 329 young bulls, a cluster analysis with kmeans method, was performed with linear model residuals of sensory data (tenderness, juiciness and flavor). Working with residuals allowed to take off effects of evaluation variability between sensory panels. Residual sensory data were clustered into 2 classes. Student test were realized to compare significance and breeds, breed types and projects repartition between the 2 classes. Then, the 13 breeding practices variables, for each “Beef” and “Hardy” breed types, were used to establish decision trees with the package rpart [10] in R logical witch use CART method. To evaluate decision tree, a classification error was calculated.

Table 1 Dataset description

	Breed types	
	Beef (n = 215)	Hardy (n = 114)
	Mean ± sd	Mean ± sd
Breeding practices		
Slaughter age (mo)	16.6 ± 2,6	17.5 ± 2.7
Beginning live weight (kg)	400 ± 63	386 ± 35
Final live weight (kg)	668 ± 107	659 ± 128
Slaughter live weight (kg)	650 ± 103	645 ± 127
Fattening period duration (d)	166 ± 63	163 ± 25
Forage intake (kg DM/d)	4.3 ± 3.1	5.7 ± 1.6
Concentrate intake (kg DM/d)	4.5 ± 2.7	2.5 ± 1.1
Dry matter intake (kg DM/d)	8.9 ± 1.2	8.2 ± 0.9
% Forage (% of the DMI)	47.4 ± 32.6	68.5 ± 14.8
% Concentrate (% of the DMI)	52.6 ± 32.6	31.5 ± 14.8
Energy intake (Mcal/d)	14.1 ± 2.3	15.0 ± 3.3
Average daily gain (kg/d)	1.7 ± 0.8	1.8 ± 1.0
Efficiency (kg/kg DM)	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1
LT sensory analysis (scale: 1-10)		
Tenderness	5.4 ± 1.2	5.7 ± 1.1
Juiciness	5.3 ± 1.0	5.3 ± 1.0
Flavor	5.1 ± 1.1	5.3 ± 0.9

sd: standard deviation, LT: *Longissimus Thoracis*, n: number of animals

I. RESULTS AND DISCUSSION

Sensory data were classified in 2 clusters “high sensory quality” (HSQ) and “low sensory quality” (LSQ) of respectively 163 and 166 young bulls. The 2 clusters were significantly different ($p <$

0.001) for each sensory properties (Table 2). Each breed and project were represented in each cluster. The HSQ cluster contained 102 BB and 61 HB young bulls. The LSQ cluster contained 113 BB and 53 HB young bulls.

Table 2 Sensory clusters description on all animals

	Sensory quality	
	High (n = 163)	Low (n = 166)
	Mean ± sd	Mean ± sd
Sensory (scale: 1-10)		
Tenderness	6.1 ^a ± 1.0	4.9 ^b ± 0.9
Juiciness	5.7 ^a ± 1.0	4.9 ^b ± 0.8
Flavor	5.4 ^a ± 1.1	5.0 ^b ± 1.0

n: number of animals, a,b ($p < 0.001$)

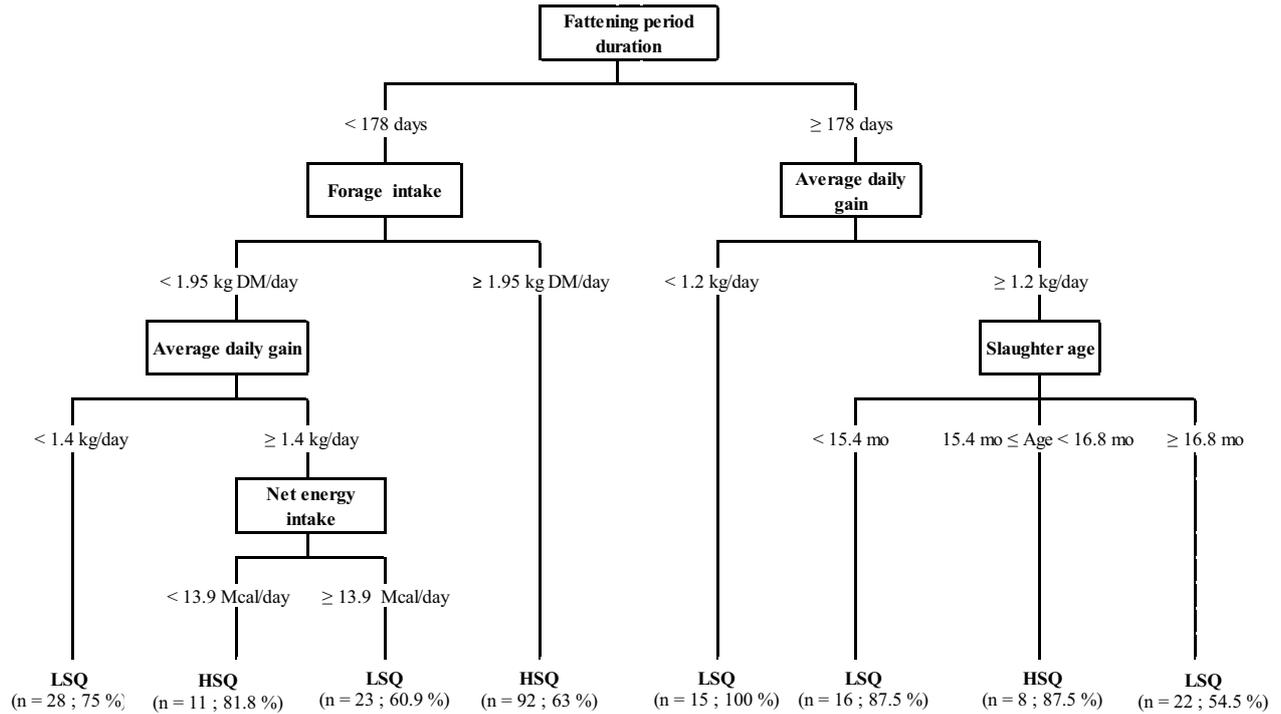
The decision tree, obtained on all BB young bulls ($n = 215$), retained 5 breeding practices variables: fattening period duration, forage quantities intake, ADG, slaughter age and net energy intake (Fig. 1) to allocate young bulls in 8 terminal sheets divided into 3 HSQ and 5 LSQ. The classification error of this tree was 30.2%. Three breeding practices combinations drive to a high sensory quality:

- 1:** A fattening period duration < 178 d and a forage intake ≥ 1.95 kg DM/d.
- 2:** A fattening period duration < 178 d, a forage intake < 1.95 kg DM/d, an ADG ≥ 1.4 kg/d and a net energy intake < 13.9 MCal/d.
- 3:** A fattening period duration ≥ 178 d, an ADG ≥ 1.2 kg/d and slaughter between 15.4 and 16.8 mo.

When the fattening period duration was shorter, the forage intake had a positive impact on the beef meat quality.

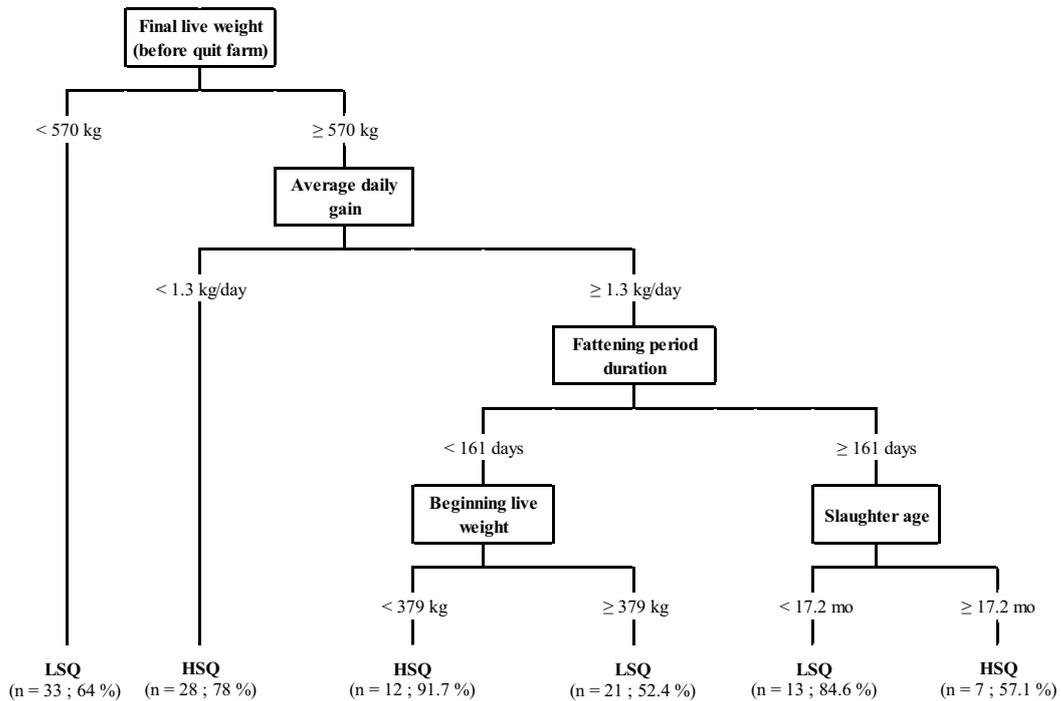
The decision tree obtained on all HB young bulls ($n = 114$), retained 5 breeding practices variables: final live weight before animal quit farm, ADG, fattening period duration, beginning live weight and slaughter age (Fig. 2) to allocate young bulls in 6 terminal sheets divided into 3 HSQ and 3 LSQ. The classification error of this tree was 42.5%. Three breeding practices combinations drive to a high sensory quality:

Figure 1. Decision tree for Beef Breeds



n: number of animal in the terminal sheet, %: animal percentage in the good cluster, **HSQ**: high sensory quality, **LSQ**: low sensory quality

Figure 2. Decision tree for Hardy Breeds



n: number of animal in the terminal sheet, %: animal percentage in the good cluster, **HSQ**: high sensory quality, **LSQ**: low sensory quality

- 1:** A final live weight before transportation for slaughterhouse ≥ 570 kg and an ADG < 1.3 kg/d.
2: A final live weight before transportation for slaughterhouse ≥ 570 kg, ADG ≥ 1.3 kg/d, a fattening period duration < 161 d and a start live fattening weight < 379 kg.
3: A final live weight before transportation for slaughterhouse ≥ 570 kg, an ADG ≥ 1.3 kg/d, a fattening period duration ≥ 161 d and a slaughter age ≥ 17.2 mo.

Despite, relatively high classification errors of trees, the percentage of good animals classified in the terminal HSQ sheets was high.

Data highlight different breeding practices combinations to manage meat quality of young bulls. Some practices were common among these combinations for both breed types (fattening period duration, ADG, slaughter age) but with different levels of intervention within the decision trees. Other practices impact only one breed type (forage intake and net energy for BB, and live weights at the beginning and the end of the fattening period for HB). The implication of some dietary variables in the BB decision tree can be explained by more variability among the diets for the BB than the HB.

In the literature, few studies, concerning the breeding practices of young bulls, showed a link with the sensory properties of LT [1].

I. CONCLUSION

The breeding practices combinations to manage the sensory quality of beef meat need to be adapted according to the breed types. The HB young bulls can be slaughtered older than the BB, if they had a final weight ≥ 570 kg, an ADG ≥ 1.3 kg/d and a fattening period ≥ 161 d. Further studies with numerous animals must be conducted to confirm the identified combinations.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors thank all research project responsible (Jacques Agabriel, Yves Geay, Jean-François Hocquette, Didier Micol, Gilles Renand & Bernard Sepchat) to make available the data used for this study and the different person involved in the data base management in the INRA herbivores research joint unit.

REFERENCES

- Oury, M.-P., Picard, B., Istasse, L., Micol, D. & Dumont, R. (2007). Mode de conduite en élevage et tendreté de la viande bovine. INRA Productions Animales 20: 309-326.
- Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J.-F. & Culioli, J. (2001). Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction Nutrition Development* 41: 1-26.
- Picard, B., Jurie, C., Duris, M.-P. & Renand, G. (2006). Consequences of selection for higher growth rate on muscle fibre development in cattle. *Livestock Science* 102: 107-120.
- Sepchat, B., Lherm, M., Agabriel, J., Micol, D., Cirie, C., Egal, D. & Garcia-Launay, F. (2011). En production de taurillons Salers, la complémentation en concentré des brouards pénalise les performances zootechniques et économiques, l'apport supplémentaire de lait les améliore. In *Proceedings 18th Rencontres Recherches Ruminants* (pp. 221-224), Paris, France.
- Levéziel, H., Amerger, V., Delourne, D., Julien, R., Renand, G., Jailler, R. & Hocquette, J.-F. (2002). Gènes bovins et qualité des viands : présentation du programme européen GemQual. *Viandes et Produits Carnés* 151-152.
- Dransfield, E., Martin, J. F., Bauchard, 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. *Animal Science* 76: 387-399.
- Listrat, A., Rakadjiyski, N., Juire, C., Picard, B., Touraille, C. & Geay, Y. (1999). Effect of the type of diet on muscle characteristics and meat palatability of growing Salers bulls. *Meat Science* 53: 115-124.
- Picard, B., Gagaoua, M., Micol, D., Cassar-Malek, I., Hocquette, J.-F. & Terlouw, C. E. M. (2014). Inverse relationships between biomarkers and beef tenderness according to contractile and metabolic properties of the muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62: 9808-9818.
- R Core Team (2014). R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Therneau, T., Atkinson, B. & Ripley, B. (2015). rpart: Recursive partitioning and regression trees. R package version 4.1-9. <http://CRAN.R-project.org/package=rpart>.

**Prediction of beef carcass and meat traits
from rearing factors in young bulls and cull cows**

SOULAT Julien¹ ; PICARD Brigitte¹ ; LEGER Stéphanie^{2,3} and MONTEILS Valérie¹

1 UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

2 Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

3 CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

Ce travail a été valorisé par un article scientifique publié dans Journal of Animal Science 2016 (94:1712-1726).

Résumé

L'objectif de cette étude était de prédire les caractéristiques de la carcasse, du muscle *Longissimus* (partie *thoracis*) et les propriétés sensorielles de ce même muscle à partir de facteurs d'élevage mesurés durant la période de finition. Les données individuelles de 995 animaux (688 jeunes bovins et 307 vaches de réforme) provenant de 15 expérimentations ont été utilisées pour établir les modèles de prédiction. Les données présentes dans la base comprenaient des facteurs d'élevage (13 variables), les caractéristiques de la carcasse (5 variables), les caractéristiques du muscle *Longissimus* (2 variables) et les propriétés sensorielles de ce même muscle (3 variables). Dans cette étude, 8 modèles de prédiction ont été obtenus pour : le rendement carcasse, les proportions de tissu adipeux et de muscle dans la carcasse afin de caractériser la carcasse des bovins, la surface de section transversale des fibres (surface moyenne des fibres) et l'activité de l'isocitrate déshydrogénase afin de caractériser le muscle, et enfin, les notes de tendreté globale, de jutosité et d'intensité de flaveur pour caractériser les propriétés sensorielles du muscle *Longissimus*. Un effet aléatoire a été pris en compte dans chaque modèle : la race pour les modèles portant sur les caractéristiques de la carcasse et du muscle, et le jury d'analyses sensorielles pour la prédiction des propriétés sensorielles de la viande. Pour évaluer la qualité des modèles de prédiction, 3 critères ont été mesurés : la robustesse, la précision et la prédiction. Le modèle a été considéré robuste lorsque les erreurs moyennes de prévision des sous-jeux de données de calibration et de validation étaient proches l'un de l'autre. A l'exception du modèle surface de fibre, les modèles obtenus étaient robustes. Les modèles de prédiction ont été considérés précis lorsque l'erreur de prédiction moyenne (MPE) était $\leq 0,10$ et ayant une bonne prédiction lorsque le r^2 était proche de 1. Les caractéristiques de la carcasse à partir des facteurs d'élevage était bien prédite ($r^2 > 0,70$) et précise (MPE $< 0,10$), à l'exception du modèle pourcentage de gras ($r^2 = 0,67$; MPE = 0,16). En revanche, les prédictions des caractéristiques du muscle et des propriétés sensorielles de la viande à partir des facteurs d'élevage, ne permettaient pas une prédiction ($r^2 < 0,50$) et une précision (MPE $> 0,10$) satisfaisantes. Seule la note d'intensité de la flaveur était prédite de manière satisfaisante à partir des facteurs d'élevage avec une prédiction ($r^2 = 0,70$) et une précision (MPE = 0,10). Tous les modèles de prédiction mettaient en évidence des effets différents des facteurs d'élevage en fonction du type d'animal (jeunes bovins ou vaches de réforme). Par conséquent, ces modèles montrent qu'il est important d'adapter les facteurs d'élevage durant la période de finition en fonction du type d'animal pour optimiser les caractéristiques de la carcasse.

Prediction of beef carcass and meat traits from rearing factors in young bulls and cull cows

J. Soulat,*† B. Picard,*† S. Léger,‡§ and V. Monteils*†¹

*Clermont Université, VetAgro-Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France; †INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France;

‡Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France; and §CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

ABSTRACT: The aim of this study was to predict the beef carcass and LM (thoracic part) characteristics and the sensory properties of the LM from rearing factors applied during the fattening period. Individual data from 995 animals (688 young bulls and 307 cull cows) in 15 experiments were used to establish prediction models. The data concerned rearing factors (13 variables), carcass characteristics (5 variables), LM characteristics (2 variables), and LM sensory properties (3 variables). In this study, 8 prediction models were established: dressing percentage and the proportions of fat tissue and muscle in the carcass to characterize the beef carcass; cross-sectional area of fibers (mean fiber area) and isocitrate dehydrogenase activity to characterize the LM; and, finally, overall tenderness, juiciness, and flavor intensity scores to characterize the LM sensory properties. A random effect was considered in each model: the breed for the prediction models for the carcass and LM characteristics and the trained taste panel for the prediction of the meat sensory properties. To evaluate the quality of prediction models, 3 criteria were measured: robustness, accuracy, and precision. The model was robust when the root mean square errors of prediction

of calibration and validation sub-data sets were near to one another. Except for the mean fi area model, the obtained predicted models were robust. The prediction models were considered to have a high accuracy when the mean prediction error (MPE) was ≤ 0.10 and to have a high precision when the r^2 was the closest to 1. The prediction of the characteristics of the carcass from the rearing factors had a high precision ($r^2 > 0.70$) and a high prediction accuracy (MPE < 0.10), except for the fat percentage model ($r^2 = 0.67$, MPE = 0.16). However, the predictions of the LM characteristics and LM sensory properties from the rearing factors were not sufficiently precise ($r^2 < 0.50$) and accurate (MPE > 0.10). Only the flavor intensity of the beef score could be satisfactorily predicted from the rearing factors with high precision ($r^2 = 0.72$) and accuracy (MPE = 0.10). All the prediction models displayed different effects of the rearing factors according to animal categories (young bulls or cull cows). In consequence, these prediction models display the necessary adaptation of rearing factors during the fattening period according to animal categories to optimize the carcass traits according to animal categories.

Key words: carcass composition, fattening period, meat sensory properties, prediction model

© 2016 American Society of Animal Science. All rights reserved.

J. Anim. Sci. 2016.94:1712–1726
doi:10.2527/jas2015-0164

INTRODUCTION

Optimizing beef carcass and meat characteristics is important for farmer remuneration and consumer satisfaction. The evaluation of carcass quality and subsequent payment framework depend on different criteria

according to the grading schemes (Polkinghorne and Thompson, 2010). For the consumer, tenderness is the main characteristic used to define beef meat (Grunert et al., 2004). To reach the expectations of the actors at each end of the meat chain, it is important to manage simultaneously the beef carcass and the meat characteristics. Different works studied the individual effects of different rearing factors on beef carcass and meat characteristics, usually during the fattening period: slaughter weight (Lucero-Borja et al., 2014), slaughter

¹Corresponding author: valerie.monteils@vetagro-sup.fr

Received December 4, 2015.

Accepted February 19, 2016.

Table 1. Summary of 15 experiments, the source of all data, which had different breeds, animal categories, and variation factors studied

Experiment	<i>n</i>	Animal categories ¹	Breeds ²	Studied factors	References
Exp. 1	18	Cows	Lim	Slaughter age, pregnancy, and calving	Micol et al. (1992)
Exp. 2	34	Bulls	Lim and Sal	Method of housing bulls	Jurie et al. (1998)
Exp. 3	71	Cows	Nor	Diet	Gobert et al. (2010)
Exp. 4	84	Bulls	Aub, Cha, Lim, and Sal	Breeds and slaughter age	Jurie et al. (2005)
Exp. 5	43	Bulls	Sal	Diet	Geay et al. (1997)
Exp. 6	46	Bulls	Lim	Genetic line	Jurie et al. (1995)
Exp. 7	57	Cows	Aub, Cha, Lim, and Sal	Breeds and slaughter age	Dransfield et al. (2003)
Exp. 8	50	Bulls	BA and Lim	Breeds	Picard et al. (2014)
Exp. 9	24	Bulls	BA	Diet	Micol et al. (2008)
Exp. 10	317	Bulls	Cha	Slaughter age and genetic line	Picard et al. (2006)
Exp. 11	57	Cows	Cha	Genetic line	Dozias et al. (2006)
Exp. 12	15	Cows	Cha	Diet	De La Torre et al. (2006)
Exp. 13	29	Bulls	Sal	Feeding management before weaning	Sepchat et al. (2011)
Exp. 14	90	Cows	Cha	Genetic line	Vinet et al. (2008) and Aviles et al. (2014)
Exp. 15	61	Bulls	Cha and Lim	Breeds and genetic line	Levezuel et al. (2002)

¹“Bulls” represents young bulls and “Cows” represents cull cows.

²Aub = Aubrac; BA = Blond d’Aquitaine; Cha = Charolais; Lim = Limousine; Nor = Normande; Sal = Salers.

age (Jurie et al., 2006a; Bures and Barton, 2012), fattening period duration (Schnell et al., 1997; Vestergaard et al., 2007), nature of the diet (French et al., 2000; Duckett et al., 2013), etc. Moreover, few authors simultaneously studied the carcass, muscle properties, and beef meat sensory properties. However, rearing practices are the combination of many rearing factors, each with its own variability. The variability of each rearing factor made it difficult to simultaneously analyze their impacts on both the carcass and the meat. The aim of the current study was to establish prediction models based on many rearing factors during the fattening period to characterize the carcass and the physicochemical and sensory properties of the LM (thoracis part). The LM serves as a reference as it is the most studied muscle for beef meat qualities (French et al., 2001; Renand et al., 2001; Bunmee et al., 2015). The originality of this study is based on the analyses of a large data set, including a large diversity of rearing factors and individual cattle data from different experiments.

MATERIALS AND METHODS

Data Set

The data set was composed of data from 15 published experiments performed by the French National Institute for Agricultural Research (INRA, France). Individual data from 995 animals, including information about the carcass, the physicochemical and sensory properties of the LM, and the rearing factors during the fattening period, were used to establish prediction models. In this work, the sex and age combination were studied

through young bulls ($n = 688$) and cull cows ($n = 307$). The term “sex and age” (**S&A**) was used to define this factor for the study. In the data set, 6 pure breeds were represented: Aubrac, Charolais, Blonde d’Aquitaine, Limousine, Normande, and Salers. Each project systematically studied the effect of at least 1 rearing factor on carcass characteristics and also on the muscle characteristics or meat sensory properties (Table 1).

Rearing Factors Data

The rearing practices were characterized by 13 rearing factors: slaughter age (mo), fattening period duration (d), live weight at the beginning of fattening period (“initial weight,” kg), final live weight before transport to the slaughterhouse (“final weight,” kg), final live weight before slaughter (“slaughter weight,” kg), DMI (kg DM/d), forage and concentrate intakes (kg DM/d), percentages of forages and concentrates in the DM diet, NE intake (**NEI**; Mcal/d), ADG for the fattening period (kg/d), and dietary efficiency (ADG:DMI ratio, kg/kg DM). Different forages were included in the forage variables—straw, hay, grass silage, corn silage, and beet pulp silage—and the concentrate variables included dehydrated alfalfa, grain corn, soybean, urea, wheat, and rapeseed.

Carcass Characteristics Data

All the animals were slaughtered in the same conditions at the experimental slaughterhouse of INRA at the Auvergne/Rhône-Alpes Research Center (Theix, France). The carcass was characterized (Table 2) by

Table 2. Description of rearing factors, carcass, and meat characteristic variables in the 2 sub-data sets (calibration and validation)

Item	Animal categories ¹	Calibration				Validation			
		<i>n</i>	Mean (SD)	Minimum	Maximum	<i>n</i>	Mean (SD)	Minimum	Maximum
Rearing factors									
Slaughter age, mo	Bulls	516	16.6 (2.3)	13.0	24.6	172	16.7 (2.4)	13.1	25.6
	Cows	230	71.4 (18.8)	34.1	133.8	77	71.5 (16.4)	34.3	108.0
Initial weight, ² kg	Bulls	516	369 (56)	188	567	172	376 (60)	236	545
	Cows	230	678 (74)	505	899	77	658 (66)	531	810
Fattening period duration, d	Bulls	516	196 (62)	105	328	172	196 (66)	105	328
	Cows	230	75 (23)	7	114	77	73 (26)	12	119
Concentrates percentage, ³ % of the DMI	Bulls	516	35.7 (24.0)	14.2	93.5	172	35.2 (23.8)	14.2	91.2
	Cows	230	24.4 (24.7)	4.6	77.8	77	26.0 (24.5)	4.6	85.6
DMI, kg DM/d	Bulls	516	9.4 (2.1)	4.8	14.6	172	9.8 (2.1)	5.1	14.3
	Cows	230	12.3 (2.2)	7.2	17.0	77	12.2 (2.1)	8.8	16.8
Energy intake, Mcal/d	Bulls	516	14.8 (2.7)	7.5	20.6	172	15.1 (2.7)	9.3	20.6
	Cows	230	18.9 (3.5)	11.2	32.1	77	19.2 (3.9)	12.6	33.0
Carcass characteristics									
Dressing percentage, ⁴ %	Bulls	516	58.9 (3.1)	49.5	68.0	172	58.7 (3.1)	52.2	67.2
	Cows	230	53.4 (2.4)	48.1	61.2	77	53.7 (2.5)	47.0	60.2
Fat tissue percentage, ⁵ % of cold carcass wt	Bulls	516	14.7 (2.9)	7.3	25.9	172	15.0 (2.9)	7.9	24.7
	Cows	230	22.3 (4.9)	10.4	41.4	77	21.7 (4.9)	9.0	36.7
Muscle percentage, ⁶ % cold carcass wt	Bulls	516	71.0 (3.3)	61.1	79.5	172	70.7 (3.2)	60.8	78.5
	Cows	230	63.2 (4.6)	46.8	74.8	77	63.7 (3.8)	50.6	75.0
LM characteristics									
ICDH, ⁷ $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$	Bulls	460	1.5 (0.6)	0.4	3.4	159	1.5 (0.6)	0.5	3.2
	Cows	85	1.3 (0.4)	0.7	2.4	34	1.3 (0.3)	0.7	2.3
Mean fiber area, ⁸ μm^2	Bulls	372	3,258 (681)	1,729	5,689	127	3,310 (656)	2,086	5,484
	Cows	50	3,273 (574)	2,227	4,991	19	3,157 (699)	2,101	4,803
Sensory analysis of LM, scale 0–10⁹									
Overall tenderness	Bulls	247	5.5 (1.1)	2.4	9.2	82	5.4 (1.2)	1.8	8.5
	Cows	107	4.9 (1.1)	2.6	7.5	33	5.1 (1.2)	2.7	7.3
Juiciness	Bulls	247	5.3 (1.0)	2.6	8.1	82	5.2 (1.0)	3.5	7.5
	Cows	107	4.7 (1.1)	3.1	7.7	33	5.2 (0.3)	3.4	6.7
Flavor intensity	Bulls	247	5.2 (1.1)	2.9	7.4	82	5.0 (1.0)	3.1	7.1
	Cows	107	5.0 (0.4)	3.8	7.1	33	5.4 (0.8)	3.8	7.1

¹“Bulls” represents young bulls and “Cows” represents cull cows.

²Initial weight is the live weight at the beginning of the fattening period.

³Concentrates percentage is the percentage of concentrates in the fattening diet.

⁴Dressing percentage is the cold carcass weight:final live weight before transportation to slaughterhouse ratio. The cold carcass weight was estimated from HCW (cold carcass weight = 0.98 × HCW).

⁵Fat tissue percentage is the percentage of fat tissue in the carcass (% of cold carcass weight).

⁶Muscle percentage is the percentage of muscle in carcass (% of cold carcass weight).

⁷ICDH = isocitrate dehydrogenase.

⁸Mean fiber area is mean cross-sectional area of fiber.

⁹Scale for overall tenderness, juiciness, and flavor intensity: 0 = very tough, dry, and slight and 10 = very tender, juicy, and strong.

5 variables: cold carcass weight (HCW × 0.98, kg), dressing percentage (cold carcass weight:final weight ratio, %), and carcass composition (% of cold carcass weight), that is, muscle percentage, fat tissue percentage, and bone percentage. The carcass composition was estimated from the composition of the sixth rib determined after dissection and by the prediction equations from Robelin and Geay (1976).

Longissimus Muscle Characteristics Data

Longissimus muscle samples were collected 24 h postmortem and frozen in liquid nitrogen until use. This muscle was collected from the 6th and 11th rib (thoracic part) according to the experiments. In the data set used, the mean cross-sectional area of the fibers (“mean fiber area,” μm^2) and the isocitrate dehydrogenase (ICDH) activity ($\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) characterized the LM. The

mean fiber area of 3 types of fibers (slow twitch oxidative, fast twitch oxidative glycolytic, and fast twitch glycolytic) were analyzed by histochemical and image (using Visilog 6.7 Professional Software; Noesis, Gif sur Yvette, France) analysis as describe by Picard et al. (1998) and Meunier et al. (2010). The mean fiber area represents the overall mean of cross-sectional area for all fibers types in each LM sample. The mean fiber area trait was used in this study because it has been shown to be negatively correlated with tenderness in LM independent of the type of fibers (Picard et al., 2007; Chriki et al., 2012a). Isocitrate dehydrogenase activity represents the oxidative metabolism of the LM and was correlated with tenderness (Chriki et al., 2012a). Isocitrate dehydrogenase activity was spectrophotometrically quantified in each LM sample by the method developed by Jurie et al. (2006b; Table 2).

Longissimus Muscle Sensory Analysis Data

For the sensory analysis, the LM (thoracis part) samples were collected 24 h postmortem from the 6th and 11th rib according to the experiments and aged under vacuum for 14 d at 4°C. The LM samples were cut into steaks, which were grilled to reach an internal temperature of approximately 55°C, according to the cooking procedures described by Dransfield et al. (2003). Overall tenderness (tenderness), flavor intensity (flavor) and juiciness scores (from 0 = very tough, slight, and dry to 10 = very tender, strong, and juicy) were attributed (Table 2) by trained taste panels (Dransfield et al., 2003). The panelists were different in each considered experiment.

Statistical Analyses

The statistical analyses were performed using R 3.1.1 (R Core Team, 2014).

Before establishing the models of prediction, a preliminary step was performed on the rearing factors to test and reduce the multicollinearity among these variables. This was based on the Pearson correlation (r) and the variance inflation factors (Tufféry, 2012) calculated from the package “car” (Fox and Weisberg, 2011) in the R software. Finally, 6 rearing factors were retained: slaughter age, fattening period duration, initial weight, DMI, concentrates percentage, and NEI. These rearing factors used to establish the prediction model are presented in Table 2.

First, a random selection of data was used to create 2 sub-data sets, that is, a calibration data set (75% of the initial data set size) and a validation data set (25%), with the package “sampling” (Tille and Matei, 2013) in R. The description and effectiveness of each sub-data set are presented in Table 2. During the random selec-

tion, we attempted to conserve in each sub-data set the same breed proportions and the same young bull and cull cow proportions presented in the initial data set. Moreover, for each dependent and independent variable, t tests were performed between the calibration and validation data sets to verify the nonsignificant difference (t test > 0.05) between both sub-data sets.

To predict the carcass and LM characteristics and beef meat sensory properties, 8 different linear mixed models were developed: dressing percentage, muscle percentage, and fat percentage for the carcass; mean fiber area and ICDH for the properties of the LM; and tenderness, flavor, and juiciness for the meat sensory characteristics. At the beginning, each complete prediction model was composed of 13 independent variables: the 6 selected rearing factors, the S&A factor, and the interactions between the S&A factor and each rearing factor. The breed was considered a random effect for the prediction models of the carcass and LM characteristics, with the goal to produce a generic model, because the data set included the variability of 6 breeds and the breed was also known to impact the carcass (Monsón et al., 2004; Jurie et al., 2006a) and LM characteristics (Jurie et al., 2006a, 2007; Chriki et al., 2012b). The trained taste panel was considered a random effect in the prediction models of the meat sensory properties to consider the overall tenderness, juiciness, and flavor intensity score variability among the taste panels (Micol et al., 2011). These linear mixed models were established from calibration data set with the package “lmerTest” (Kuznetsova et al., 2014).

Finally, complete linear mixed models could be written as follows:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_j + \alpha_1 \text{slaughter age}_{ijk} + \alpha_2 \text{fattening period duration}_{ijk} + \alpha_3 \text{initial weight}_{ijk} + \alpha_4 \text{DMI}_{ijk} + \alpha_5 \text{concentrates percentage}_{ijk} + \alpha_6 \text{NEI}_{ijk} + (\gamma_{1j} \text{slaughter age}_{ijk} + \gamma_{2j} \text{fattening period duration}_{ijk} + \gamma_{3j} \text{initial weight}_{ijk} + \gamma_{4j} \text{DMI}_{ijk} + \gamma_{5j} \text{concentrates percentage}_{ijk} + \gamma_{6j} \text{NEI}_{ijk}) + a_k + \varepsilon_{ijk}$$

in which β_0 , β_j , α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , α_5 , α_6 , γ_{1j} , γ_{2j} , γ_{3j} , γ_{4j} , γ_{5j} , and γ_{6j} are fixed effects of the model; a_k is the random effect associated with k th breed (or trained taste panel); and ε_{ijk} is the random error associated with animal i , S&A factor j , and breed (or trained taste panel) k .

Random effect hypothesis were as follows:

- breed effect: $a_k \sim N(0, \sigma^2_{\text{breed}})$ independent and identically distributed (**iid**),
- trained taste panel effect: $a_k \sim N(0, \sigma^2_{\text{trained taste panel}})$ iid, and
- $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2_{\varepsilon})$ iid.

Then, the model reduction stages were performed to remove the nonsignificant independent variables and to obtain the most simple prediction model. Following each

Table 3. The prediction models of carcass characteristics and their statistical criteria

Item	Equation	RMSEP _{cal} ¹	RMSEP _{val} ²	r ²	MPE ³
Dressing percentage ⁴	= 54.67*** - 1.58 ^{NS} S&A ⁶ + 0.25*** slaughter age - 0.000566 ^{NS} initial weight + 0.02*** concentrates percentage - 0.28*** slaughter age × S&A + 0.00732** initial weight × S&A - 0.05* concentrates percentage × S&A	1.87	1.91	0.74	0.03
Young bulls	= 54.67 + 0.25 slaughter age - 0.000566 initial weight + 0.02 concentrates percentage				
Cull cows	= 53.09 - 0.03 slaughter age + 0.00676 initial weight - 0.02 concentrates percentage				
Fat tissue percentage ⁷	= 10.00*** + 0.60 ^{NS} S&A + 0.29*** slaughter age - 0.01*** fattening period duration - 6.81* initial weight + 0.26* DMI + 0.00916 ^{NS} concentrates percentage + 0.10 ^{NS} NEI ⁸ - 0.27*** slaughter age × S&A + 0.03*** fattening period duration × S&A + 0.01** initial weight × S&A - 0.28* DMI × S&A + 0.15*** concentrates percentage × S&A	2.66	2.80	0.67	0.16
Young bulls	= 10.00 + 0.29 slaughter age - 0.01 fattening period duration - 0.00681 initial weight + 0.26 DMI + 0.00916 concentrates percentage + 0.10 NEI				
Cull cows	= 10.60 + 0.02 slaughter age + 0.02 fattening period duration + 0.00408 initial weight - 0.02 DMI + 0.16 concentrates percentage + 0.10 NEI				
Muscle percentage ⁹	= 71.46*** + 0.05 ^{NS} S&A - 0.04*** slaughter age + 0.00938*** fattening period duration + 0.00399* initial weight - 0.21** DMI - 0.89 ^{NS} concentrates percentage - 0.02* fattening period duration × S&A - 0.16*** concentrates percentage × S&A	2.59	2.69	0.71	0.04
Young bulls	= 71.46 - 0.04 slaughter age + 0.00938 fattening period duration + 0.00399 initial weight - 0.21 DMI - 0.00889 concentrates percentage				
Cull cows	= 71.51 - 0.04 slaughter age - 0.01 fattening period duration + 0.00399 initial weight - 0.21 DMI - 0.17 concentrates percentage				

¹RMSEP_{cal} = root mean square error of prediction on the calibration data set.

²RMSEP_{val} = root mean square error of prediction on the validation data set.

³MPE = mean prediction error.

⁴Dressing percentage is the cold carcass weight:final live weight before transport to slaughterhouse (%). The cold carcass weight was estimated from HCW (cold carcass weight = 0.98 × HCW).

⁵NS = nonsignificant.

⁶S&A = “sex and age”: a factor in prediction models (1 = young bulls and 2 = cull cows). Coefficients of models were established on the young bull data. For cull cows, a delta was calculated compared with young bulls.

⁷Fat tissue percentage is the percentage of fat tissue in carcass (% of cold carcass weight).

⁸NEI = NE intake.

⁹Muscle percentage is the percentage of muscle in carcass (% of cold carcass weight).

*P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001.

withdrawal, a new model analysis was performed. In the model, if the interaction between a rearing factor and the S&A factor was significant this rearing factor was systematically conserved among the independent variables even if this rearing factor alone was not significant. Post hoc analysis of the prediction models was graphically performed with a quantile-quantile plot (Azaïs and Bardet, 2006). The contribution of the considered independent variables in the linear mixed model was displayed using ANOVA Type II with the package “car” (Fox and Weisberg, 2011). Moreover, when the S&A factor was present in the prediction models, distinct equations could be considered for young bulls and cull cows.

Finally, for each linear mixed prediction model, an external validation was performed using the validation data set. To evaluate the mixed prediction model equations, root mean square errors of prediction (RMSEP; Kobayashi and Salam, 2000) were calculated for both sub-data sets to describe the robustness of the model. A

high robustness of the prediction model was considered when both RMSEP (calibration and validation) were near to one another. The mean prediction error (MPE; Yan et al., 2007) was calculated only from the validation data set to describe the prediction accuracy. In this study, we considered a high accuracy to be indicated when the prediction model had an MPE ≤ 0.10. From the validation data set, the coefficient of determination r² was used to describe the mixed prediction model precision. The closer the r² is to 1, the greater the model precision.

RESULTS AND DISCUSSION

Prediction Models of Carcass Characteristics from Rearing Factors

Dressing Percentage. The independent variables of the considered rearing factors in the dressing percentage prediction model were slaughter age, initial

Table 4. Contribution of independent variables in all linear mixed models established, obtained by ANOVA Type II

Independent variable	Linear mixed models							
	Dressing percentage ¹	Fat tissue percentage ²	Muscle percentage ³	ICDH ⁴	Mean fiber area ⁵	Tenderness ⁶	Juiciness ⁷	Flavor ⁸
Slaughter age	†	**	***					
Fattening period duration		***	***	**		*		
Initial weight ⁹	*		*					
DMI		†	**	***	***		***	
Concentrates percentage ¹⁰	***	*	**	***	***			*
NEI ¹¹		†		***	***		†	
S&A ¹²	***	***	***	***				
Slaughter age × S&A	***	***			*			
Fattening period duration × S&A		***	*	*				*
Initial weight × S&A	**	**			*	*		
DMI × S&A		*						
Concentrates percentage × S&A	*	***	***	***				
NEI × S&A					*		*	

¹Dressing percentage is the cold carcass weight:final live weight before transport to slaughterhouse (%). The cold carcass weight was estimated from HCW (cold carcass weight = 0.98 × HCW).

²Fat tissue percentage is the percentage of fat tissue in carcass (% of cold carcass weight).

³Muscle percentage is the percentage of muscle in carcass (% of cold carcass weight).

⁴ICDH = isocitrate dehydrogenase ($\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$).

⁵Mean fiber area is the mean cross-sectional area of fiber (μm^2).

⁶Tenderness is the overall tenderness score (scale: 0 = very tough and 10 = very tender).

⁷Juiciness is the juiciness score (scale: 0 = dry and 10 = juicy).

⁸Flavor is the flavor intensity score (scale: 0 = slight and 10 = strong).

⁹Initial weight is the live weight at the beginning of fattening period (kg).

¹⁰Concentrates percentage is the percentage of concentrate in the fattening diet (%).

¹¹NEI = NE intake (Mcal/d).

¹²S&A = “sex and age”: a factor in prediction models (1 = young bulls and 2 = cull cows). Coefficients of models were established on the young bull data. For cull cows, a delta was calculated compared with young bull coefficients.

† $P < 0.10$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

weight, concentrates percentage, and the interaction between S&A and slaughter age, between S&A and initial weight, and between S&A and concentrates percentage (Table 3). The independent variables of the rearing factors that contributed the most ($P < 0.001$) in this model were concentrates percentage, S&A, and the interaction between S&A and slaughter age (Table 4). The low difference between the RMSEP on the calibration data set ($\text{RMSEP}_{\text{cal}}$) and the RMSEP on the validation data set ($\text{RMSEP}_{\text{val}}$) proved the robustness of the dressing percentage model. From the validation data set, the dressing percentage model had a high precision, explaining 74% of the dressing percentage variability observed, and high prediction accuracy. The scatter plot displayed a high relationship between the predicted and observed dressing percentage data (Fig. 1). The effect of the S&A factor on the dressing percentage was observed in this scatter plot. The young bulls and cull cows did not have the same variation range of dressing percentage, with the cull cows showing a lower dressing percentage than the young bulls (Table 2). The coefficients of the dressing percentage model

and the equations for young bulls and cull cows are described in Table 3. In the young bulls, the slaughter age and concentrates percentage had positive effects on the dressing percentage, whereas the initial weight had a negative effect. The effects of these rearing factors were the opposite in the cull cows. In this study, the effect of slaughter age on the dressing percentage in young bulls was contrary to Sargentini et al. (2010) and Bures and Barton (2012). Other studies in young bulls and steers showed that slaughter age had different impacts on the dressing percentage (negative, positive, or no effect) according to the range of age considered (Aydin et al., 2013; do Prado et al., 2015). In cull cows, several authors found that increased slaughter age had a negative effect on the dressing percentage (Fiems et al., 2003; Sawyer et al., 2004). These results are in accordance with the effect of this rearing factor in the cull cow equation of the dressing percentage model in the present study. However, other studies showed that slaughter age had no impact on the dressing percentage in cull cows (Dumont et al., 1991; Jurie et al., 2006a; Galli et al., 2008; Malterre et al., 2011).

The positive impact of the concentrates percentage in the young bull equation is in accordance with results published for young bulls (Pesonen et al., 2013) and steers (Kerth et al., 2007). In the cull cow equation, the concentrates percentage had a negative impact on the dressing percentage. To our knowledge, only Sawyer et al. (2004) and Moreno et al. (2012) had studied the effect of diet composition on the dressing percentage, which was non-significant. These results were not in accordance with the effect of the concentrates percentage observed in the cull cow equation of the dressing percentage model. However, these 2 studies were performed on breed categories (dairy and early-maturing breeds) that are different from the breed category (late maturing) used in our data set.

Initial weight was also considered in the dressing percentage prediction model. In the equations, the initial weight had a negative effect in young bulls and a positive effect in cull cows (Table 3). However, to our knowledge, in culls cows, no work had studied the effect of initial weight on dressing percentage. In young bulls, only Yerturk et al. (2011) had studied this effect and did not show a significant effect of this rearing factor on the dressing percentage. To confirm the effect of this rearing factor in the equations for young bulls and cull cows in the dressing percentage model, new studies will have to be performed.

Carcass Composition: Percentage of Fat Tissue and Muscle. In the fat tissue percentage and muscle percentage prediction models, common independent variables of the rearing factors were slaughter age, initial weight, fattening period duration, concentrates percentage, DMI, and the interactions between S&A and fattening, between S&A and period duration, and between S&A and concentrates percentage (Table 3). In the fat tissue percentage model, the independent variables of the rearing factors also considered were NEI and the interactions between S&A and slaughter age, between S&A and initial weight, and between S&A and DMI. In these models, the independent variables that contributed the most ($P < 0.001$) were the fattening period duration, S&A, and the interaction between S&A and concentrates percentage (Table 4). Slaughter age was also an independent variable of the rearing factors that contributed the most ($P < 0.001$) to the muscle percentage model. In the fat tissue percentage model, there were also interactions between S&A and slaughter age and between S&A and fattening period duration ($P < 0.001$). For both models, external validation showed that these models were robust with low differences between the $RMSEP_{cal}$ and the $RMSEP_{val}$. From the validation data set, the fat tissue percentage and muscle percentage models had a high precision and they explained 67% of the fat tissue percentage variability and 71% of the muscle percentage variability observed, re-

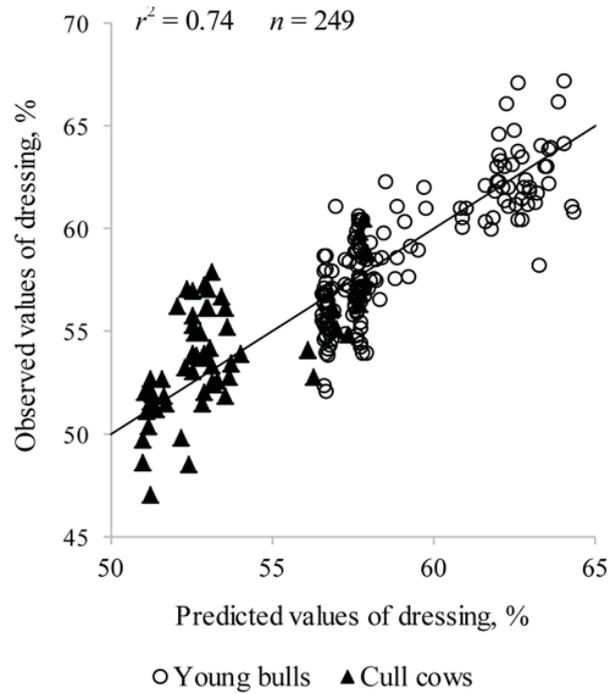


Figure 1. Scatter plot of predicted dressing percentage against observed dressing percentage of the dressing percentage linear mixed model by linear regression, from the validation data set (n).

spectively. The prediction accuracy was higher in the muscle percentage prediction model (MPE = 0.04) than in the fat tissue percentage prediction (MPE = 0.16). The coefficients of both prediction models for carcass composition are presented in Table 3, with equations for young bulls and cull cows. The slaughter age and concentrates percentage had a positive effect on the fat tissue percentage in the carcass and had an opposite effect on the muscle percentage in young bulls and cull cows. The NEI had also a positive effect on the fat tissue percentage in both animal categories. The initial weight and fattening period duration had positive effects on the fat tissue percentage in the cull cows and negative effects on the young bulls. In young bulls and cull cows, the initial weight had a positive effect on the muscle percentage in the carcass. However, the fattening period duration had a positive effect on the muscle percentage in the carcass in the young bulls and an opposite effect in the cull cows. The DMI had a negative effect on the muscle percentage in the carcass in both animal categories. This rearing factor had a positive effect on the fat tissue percentage in the carcass in young bulls and an opposite effect in cull cows.

In accordance with our results, different studies showed that an increase in concentrate quantities in the fattening diet induced an increase of fat tissue percentage and a decrease of muscle percentage in the carcass of young bulls (Geay and Beranger, 1969; Geay et al.,

1976; Bowling et al., 1978; Mandell et al., 1998) and cull cows (Dumont et al., 1997; Cabaraux et al., 2005).

In previous published studies, the effect of slaughter age was principally observed on the weights of the carcass component. Jurie et al. (2005) displayed a significant increase in the weights of the fat tissue and muscles (kg) in the carcass with an increase in slaughter age, but the carcass weight also increased. However, the results of Jurie et al. (2005), calculated in percentage for fat tissue percentage and muscle percentage between 19 and 24 mo, are in accordance with the effect of this rearing factor observed in the young bull equation for both prediction models for carcass composition. In contrast, do Prado et al. (2015) did not show a significant effect of slaughter age on the fat tissue percentage and muscle percentage in the carcass of crossed young bulls. Few published experiments studied the effect of this rearing factor in cull cows to confirm our results. In cull cows, Jurie et al. (2006a) did not show a significant effect of slaughter age on the weights of the tissues in the carcass. We did not observe any modification of fat tissue percentage and muscle percentage (calculated from carcass weight present in publication) with an increase of slaughter age.

The fattening period duration was also an important rearing factor in the fat tissue percentage and muscle percentage prediction models. In published studies, slaughter age and fattening period were often confounded (Jurie et al., 2005); consequently, it was difficult to determine the specific or individual impact of these rearing factors on the carcass composition. In young bulls, Jurie et al. (2005) showed an increase in the weights of the tissues (fat and muscle) in the carcass with an increase in fattening period duration. If the data from Jurie et al. (2005) were considered fat tissue percentage and muscle percentage between 3 fattening period durations, its results are in accordance with the observed effect of this rearing factor in the young bull equation for muscle percentage between the fattening periods of 6 and 10 mo. However, for a fattening period of 15 mo, the fat tissue percentage seemed to increase and the muscle percentage seemed to slightly decrease in young bulls.

In cull cows, the positive effect of the fattening period duration on the fat tissue percentage in the carcass and the opposite effect on the muscle percentage in the carcass were observed in different studies (Dumont et al., 1991; Vestergaard et al., 2007; Malterre et al., 2011). These observations are in accordance with the effects of this rearing factor in the cull cow equation in the present study. The observed differences in the published studies, in particular in young bulls, could be explained by no consideration of the interaction between slaughter age and fattening period in our models.

Previously observed effects of DMI (Cabaraux et al., 2005; Juniper et al., 2005) and NEI (Beranger and Robelin, 1977; Malterre et al., 2011) are in accordance with the impact of these rearing factors in the equations for both animal categories for fat tissue percentage and muscle percentage prediction models.

In conclusion, for this section, the considered carcass characteristics could be predicted with the considered rearing factors together with a satisfactory accuracy and precision. Three rearing factors were common among the 3 prediction models proposed: slaughter age, initial weight, and concentrates percentage. In young bulls, slaughter age and concentrate percentage had a positive impact and initial weight had a negative impact on dressing percentage and fat tissue percentage whereas their effects were the reverse on muscle percentage. However, in cull cows, slaughter age and concentrate percentage had a negative impact and initial weight had a positive impact on dressing percentage and muscle percentage. These 3 rearing factors were positively correlated with fat tissue percentage in cull cows and promoted fat deposition in the carcass. In consequence, it will be necessary to make trade-offs between the carcass characteristics to drive them from the rearing factors and to adapt the rearing practices to the animal categories.

Prediction Models of LM Characteristics from Rearing Factors

Isocitrate Dehydrogenase (Oxidative Metabolism).

The independent variables of the considered rearing factors in the ICDH prediction model were fattening period duration, concentrates percentage, DMI, NEI, and the interactions between S&A and fattening period duration and between S&A and concentrates percentage (Table 5). The independent variables of the rearing factors that contributed the most ($P < 0.001$) were concentrates percentage, DMI, NEI, S&A, and the interaction between S&A and concentrates percentage (Table 4). This model was robust with a low difference between the $RMSEP_{cal}$ and the $RMSEP_{val}$. However, the model had a low precision, explaining 40% of the ICDH observed variability from the validation data set. The accuracy of this model was also low, with an $MPE > 0.10$. The scatter plot (Fig. 2) confi this low relationship between the predicted and observed values of ICDH activity. The coefficients of the ICDH model and the equations for both animal categories are described in Table 5. The DMI and NEI had a negative and a positive effect, respectively, on ICDH activity in young bulls and cull cows. The concentrates percentage and fattening period duration had negative effects on ICDH activity in young bulls but not in cull cows.

Few studies in cattle had studied the effect of the selected rearing factors in the prediction of ICDH activity.

Table 5. The prediction models of LM characteristics and their statistical criteria

	Equation	RMSEP _{cal} ¹	RMSEP _{val} ²	r ²	MPE ³
ICDH ⁴	= 2.42*** - 1.25*** S&A ⁵ - 0.00115** fattening period duration - 0.12*** DMI - 0.01*** concentrates percentage + 0.06*** NEI ⁶ + 0.00530* fattening period duration × S&A + 0.02** concentrates percentage ×	0.43	0.43	0.40	0.29
Young bulls	= 2.42 - 0.00115 fattening period duration - 0.12 DMI - 0.01 concentrates percentage + 0.06 NEI				
Cull cows	= 1.17 + 0.00415 fattening period duration - 0.12 DMI + 0.01 concentrates percentage + 0.06 NEI				
Mean fiber area ⁷	= 1,270.32** + 916.11 ^{NS} S&A + 36.71* slaughter age - 0.45 ^{NS} initial weight - 102.83*** DMI + 29.09*** concentrates percentage + 126.88*** NEI - 38.79* slaughter age × S&A + 3.60* initial weight × S&A - 128.77* NEI × S&A	614.38	637.29	0.08	0.19
Young bulls	= 1,270.32 + 36.71 slaughter age - 0.45 initial weight - 102.83 DMI + 29.09 concentrates percentage + 126.88 NEI				
Cull cows	= 2,186.44 - 2.08 slaughter age + 3.15 initial weight - 102.83 DMI + 29.09 concentrates percentage - 1.89 NEI				

¹RMSEP_{cal} = root mean square error of prediction on the calibration data set.

²RMSEP_{val} = root mean square error of prediction on the validation data set.

³MPE = mean prediction error.

⁴ICDH = isocitrate dehydrogenase (μmol·min⁻¹·g⁻¹).

⁵S&A = “sex and age”: a factor in prediction models (1 = young bulls and 2 = cull cows). Coefficients of models were established on the young bull data. For cull cows, a delta was calculated compared with young bull coefficients.

⁶NEI = NE intake.

⁷Mean fiber area is the mean cross-sectional area of fiber (μm²).

⁸NS = nonsignificant.

*P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001.

Different studies did not display a significant variation in ICDH activity in LM with a variation in DMI in young bulls (Geay et al., 1997; Brandstetter et al., 1998). In cull cows, Couvreur et al. (2013), using a combination of different rearing factors, did not display a significant effect of these rearing practices on the ICDH activity of the LM. To our knowledge, the effect of fattening period duration on ICDH activity, without slaughter age interaction, had never been studied in young bulls and cull cows. In consequence, the effects of the considered independent variables in our equations for young bulls and cull cows cannot be discussed using the current literature.

Mean Cross-Sectional Area of Fiber. The independent variables of the considered rearing factors in the mean fiber area prediction model were slaughter age, initial weight, concentrates percentage, DMI, NEI, and the interactions between S&A and slaughter age, between S&A and initial weight, and between S&A and NEI (Table 5). The independent variables that contributed the most (P < 0.001) in this model were concentrates percentage, DMI, and NEI (Table 4). The robustness of this model was low (the RMSEP_{val} and the RMSEP_{cal} were different). Moreover, this model had a very low precision, explaining only 8% of the LM mean fi area variability from the validation data set. The prediction accuracy of this model was also low (MPE > 0.10).

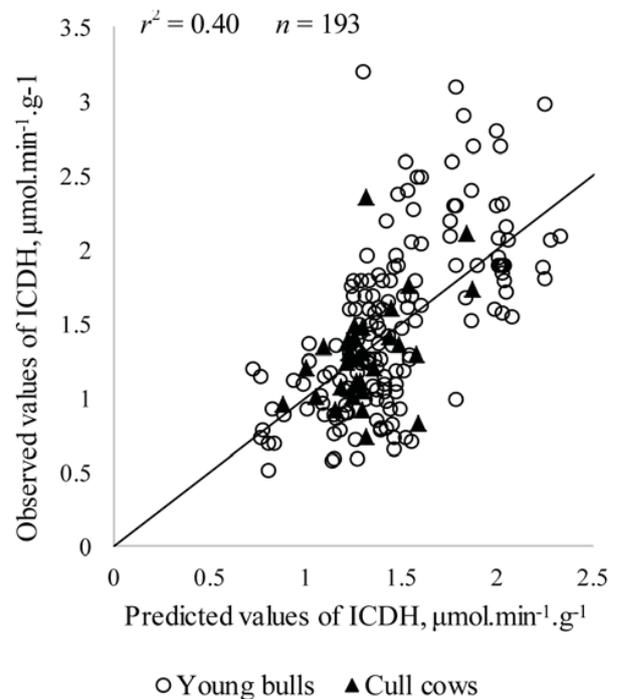


Figure 2. Scatter plot of predicted isocitrate dehydrogenase (ICDH) activity in the LM against observed ICDH activity of the ICDH linear mixed model by linear regression, from the validation data set (n).

Table 6. The prediction models of sensory meat properties of LM and their statistical criteria

	Equation	RMSEP _{cal} ¹	RMSEP _{val} ²	r ²	MPE ³
Tenderness ⁴	= 7.89*** - 2.66* S&A ⁵ - 0.00383* fattening period duration - 0.00454** initial weight + 4.75* initial weight × S&A	0.86	0.97	0.33	0.18
Young bulls	= 7.89 - 0.00383 fattening period duration - 0.00454 initial weight				
Cull cows	= 5.23 - 0.00383 fattening period duration + 0.000211 initial weight				
Juiciness ⁶	= 6.32*** - 1.63 ^{NS} 7 S&A - 0.21*** DMI + 0.05 ^{NS} NEI ⁸ + 0.11* NEI × S&A	0.71	0.73	0.44	0.14
Young bulls	= 6.32 - 0.21 DMI + 0.04 NEI				
Cull cows	= 4.69 - 0.21 DMI + 0.16 NEI				
Flavor ⁹	= 6.03*** - 0.95 ^{NS} S&A - 0.000814 ^{NS} fattening period duration - 0.02* concentrates percentage + 0.00772* fattening period duration × S&A	0.57	0.54	0.72	0.10
Young bulls	= 6.03 - 0.000814 fattening period duration - 0.02 concentrates percentage				
Cull cows	= 5.09 + 0.00690 fattening period duration - 0.02 concentrates percentage				

¹RMSEP_{cal} = root mean square error of prediction on the calibration data set.

²RMSEP_{val} = root mean square error of prediction on the validation data set.

³MPE = mean prediction error.

⁴Tenderness is the overall tenderness score (scale: 0 = very tough and 10 = very tender).

⁵S&A = “sex and age”: a factor in prediction models (1 = young bulls and 2 = cull cows). Coefficients of models were established on the young bull data. For cull cows, a delta was calculated compared with young bull coefficients.

⁶Juiciness is the juiciness score (scale: 0 = dry and 10 = juicy).

⁷NS = nonsignificant.

⁸NEI = NE intake.

⁹Flavor is the flavor intensity score (scale: 0 = slight and 10 = strong).

*P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001.

The coefficients of this model are presented in Table 5 with their equations for young bulls and cull cows.

In conclusion, for this section, the mean fiber area could not be predicted from the considered rearing factors and these rearing factors did not allow high predictions of ICDH. To improve the prediction of the LM characteristics with rearing factors, other indicators (dependent and independent variables) will be necessary.

Prediction Models of Sensory Properties (Overall Tenderness, Juiciness, and Flavor Intensity) of LM from Rearing Factors

The independent variables of the considered rearing factors on the overall tenderness score of the LM prediction model were initial weight, fattening period duration, and the interaction between S&A and initial weight (Table 6). For the flavor intensity score of the LM, the independent variables of the considered rearing factors were fattening period duration, concentrates percentage, and the interaction between S&A and fattening period duration. Finally, the considered independent variables in the juiciness prediction model were DMI, NEI, and the interaction between S&A and NEI. Fattening period duration was the only rearing factor that was present in 2 prediction models for the sensory LM properties. For the tenderness prediction model, the independent variables that contributed the most (Table

4) were the fattening period duration and the interactions between initial weight and S&A (P < 0.05). For the juiciness prediction model, the independent variable that contributed the most was the DMI (P < 0.001). For the flavor prediction model, the independent variables that contributed the most were concentrates percentage and the interaction between S&A and fattening period duration (P < 0.05). For these 3 models, external validation showed that these models were robust, with low differences between the RMSEP_{cal} and the RMSEP_{val}. However, from the validation data set, the prediction models established for tenderness and juiciness had low precision, explaining 33 and 44% of the observed overall tenderness and juiciness variabilities, respectively. These 2 models had also relatively low prediction accuracy, with MPE > 0.10 (Table 6). The prediction model for flavor had a high precision, explaining 72% of the flavor intensity variability observed, and had a high prediction accuracy (MPE = 0.10). The scatter plot for the flavor intensity score displayed a higher linear relationship between predicted and observed data than the overall tenderness score (Fig. 3). Moreover, in these 2 scatter plots, the young bulls and the cull cows had the same variation range (Table 2). The coefficients of these 3 models are presented in Table 6 with their equations for young bulls and cull cows.

For the overall tenderness score of the LM, the fattening period duration had a negative effect on both

animal categories (Table 6) whereas the initial weight had a negative effect in young bulls and a positive effect in cull cows. In accordance with the observed effect of the fattening period duration on overall tenderness score in young bull equation, several studies demonstrated a negative impact of a longer fattening period on the overall tenderness score of the LM in young bulls and steers (Arthaud et al., 1977; May et al., 1992). However, the authors did not show a significant effect of the fattening period on the overall tenderness score of the LM with different aging durations in cull cows (Boleman et al., 1996; Vestergaard et al., 2007). Initial weight was also considered in the tenderness prediction model; however, no studies in cattle had studied this effect, to our knowledge. In previous published studies, the meat was aged generally between 7 and 10 d and the internal temperature of the grilled steak was approximately 70°C. These conditions were different from those of our study (aging duration of 14 d and internal cooked temperature of approximately 55°C). The studied breeds were also different. These factors are known to have a great effect on overall tenderness score (Schnell et al., 1997; French et al., 2001; Chambaz et al., 2003; Pesonen et al., 2013; Lucero-Borja et al., 2014), nevertheless, it is difficult to compare our results with published results. The prediction of the LM overall tenderness score from the rearing factors was low, in agreement with the results of Moloney et al. (2001).

The juiciness score was positively impacted by NEI and negatively impacted by DMI in the young bull and cull cow equations. Few studies had analyzed the effect of different DMI on juiciness. Unlike our results, Juniper et al. (2005) and Sami et al. (2004), with 2 different aging durations, did not find an effect of DMI on the juiciness score of the LM in steers and young bulls, respectively. To our knowledge, the effects of DMI on the juiciness score of the LM in cull cows and of NEI in both animal categories had never been studied. The impacts of these rearing factors observed in our equations of the juiciness prediction model need to be confi

The flavor intensity score was negatively impacted by the concentrates percentage in young bulls and cull cows. The fattening period duration had a negative effect on this dependent variable in young bulls and a positive effect in cull cows. In accordance with the effect of the concentrates percentage observed in the cull cow equation of the prediction model for flavor intensity score, Hernandez-Calva et al. (2011) displayed a decrease in beef flavor intensity ($P < 0.05$) with a grass hay-based diet that had a higher concentrates percentage than a barley silage-based diet. In young bulls and steers, different authors observed an increase of beef flavor intensity score for the LM with an increase of concentrates percentage in the fattening diet (Fortin et

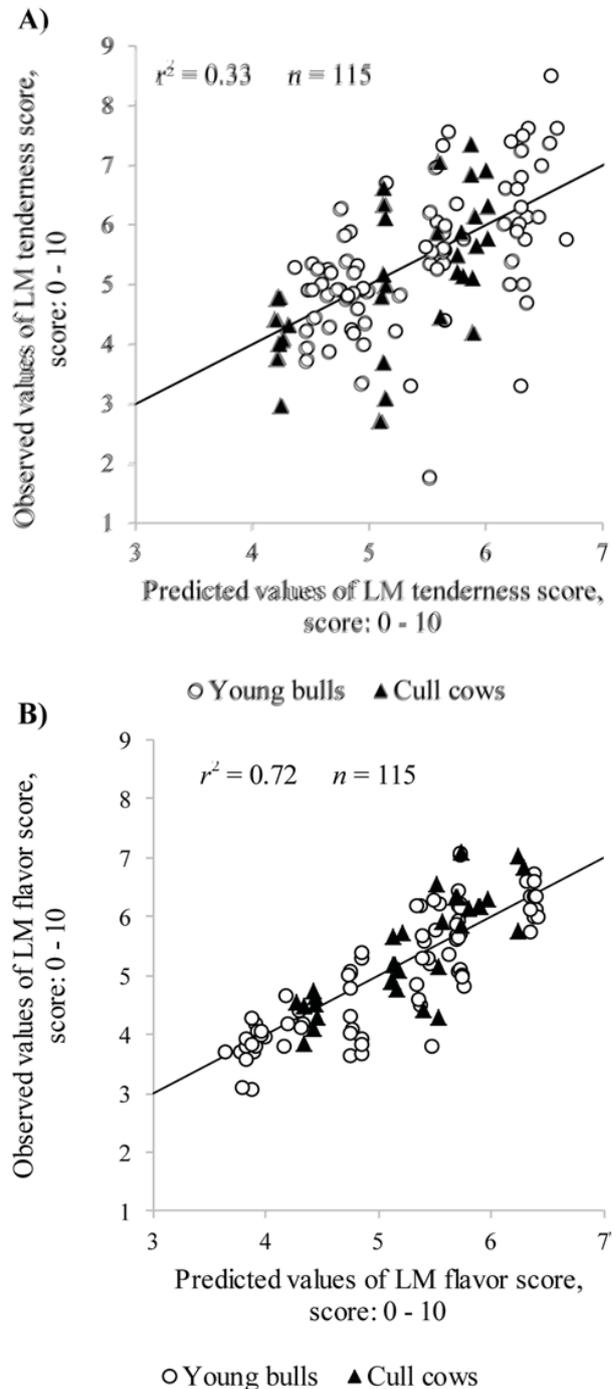


Figure 3. Scatter plots of A) predicted overall tenderness score of the LM against observed overall tenderness of the tenderness linear mixed model and B) predicted flavor intensity score of the LM against observed flavor intensity of the flavor linear mixed model, by linear regression from the validation data set (n).

al., 1985; Mandell et al., 1998; Roberts et al., 2009). However, Faucitano et al. (2008) did not find a significant effect of an increase of concentrate percentage on the flavor intensity score of LM in young bulls. These results disagreed with the effect of the concentrates percentage observed in the young bull equation of the

flavor model. This difference could suggest that the nature and the physicochemical characteristics of forages and concentrates presents in the fattening diet had an effect on the flavor intensity of LM. In steers, Kerth et al. (2007) found a significant effect of the nature of the fattening diet (forages + concentrates) on the flavor intensity of LM, whereas many studies did not display a significant effect (Moloney et al., 2011, 2008; French et al., 2000). The presence of the concentrates percentage in the flavor prediction model was coherent because the main precursor of meat flavor is fatty acid composition, which is linked to the diet composition (Melton, 1990). Furthermore, Bunmee et al. (2015) displayed a significant relationship between nature of diet and meat ageing in cull cows whereas Moloney et al. (2011) displayed a tendency in steers.

In accordance with the impact of the fattening period duration observed in the cull cow equation for the flavor prediction model, different studies showed an increase in beef flavor intensity in the LM with a lengthening of the fattening period (Boleman et al., 1996; Vestergaard et al., 2007). However, May et al. (1992) did not show this effect in steers.

To sum up this section, meat flavor intensity was the only sensory parameter that was predicted with a high precision and prediction accuracy from the rearing factors. Other pre- and postslaughter parameters impacting the sensory properties of the LM could improve the precision and the prediction accuracy of these 3 models (Hocquette et al., 1998; Silva et al., 1999; Renand et al., 2001; Ferguson and Warner, 2008; Weglarz, 2010).

In conclusion, the originality of this study is to establish, through the analysis of metadata from individuals, prediction models for the carcass characteristics and physicochemical and sensory properties of the LM from rearing factors. Unlike published studies, in our prediction models, the variability of many rearing factors has been considered to take into account a diversity of rearing practices. The proposed models for the prediction of carcass characteristics were robust and had high precision and prediction accuracy. The LM characteristics and its sensory properties appeared to be difficult to predict from the rearing factors except for the beef flavor intensity score. All the prediction models showed different effects of the rearing factors according to animal category (young bull or cull cow). A difficulty of this study was to confirm the biological effect of each considered rearing factor in the prediction models because published studies were generally performed in other conditions and with few studied factors. To improve our prediction models, it will be interesting to consider other parameters and to have a more accurate characterization of the fattening diet. To characterize the global sensory meat properties, other

models from other muscle data must be established. It will also be interesting to increase the number of animals in the data set to consider interactions between some rearing factors. These prediction models could be used to provide advice to farmers to adapt their rearing practices according to animal category during the fattening period to optimize carcass traits. Our prediction models also contribute to the simultaneous management of beef carcass and meat traits.

LITERATURE CITED

- Arthaud, V., R. Mandigo, R. Koch, and A. Kotula. 1977. Carcass composition, quality and palatability attributes of bulls and steers fed different energy levels and killed at four ages. *J. Anim. Sci.* 44:53–64.
- Aviles, C., A. Vinet, R. Saintilan, B. Picard, M. P. Oury, R. Dumont, D. Krauss, D. Maupetit, and G. Renand. 2014. Relations génétiques entre qualités bouchères de vaches adultes et celles de taurillons en race bovine charolaise. (In French.) In: Proc. 15th Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont-Ferrand, France. p. 133–134.
- Aydin, R., M. Yanar, A. Diler, H. Kocyigit, and N. Tuzemen. 2013. Effects of different slaughter ages on the fattening performance, slaughter and carcass traits of Brown Swiss and Holstein Friesian young bulls. *Indian J. Anim. Res.* 47:10–16.
- Azaïs, J.-M., and J.-M. Bardet. 2006. Le modèle linéaire par l'exemple Régression, Analyse de la Variance et Plans d'Expériences Illustrations numériques avec les logiciels R, SAS et Splus. (In French.) Dunod, Paris, France.
- Beranger, C., and J. Robelin. 1977. Infl. du mode d'élevage, de la sélection et de l'alimentation sur l'état d'engraissement des bovins. (In French.) *Ann. Biol. Anim., Biochim., Biophys.* 17:905–921.
- Boleman, S. J., R. K. Miller, M. J. Buyck, H. R. Cross, and J. W. Savell. 1996. Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. *J. Anim. Sci.* 74:2187–2194.
- Bowling, R., J. Riggs, G. Smith, Z. Carpenter, R. Reddish, and O. Butler. 1978. Production, carcass and palatability characteristics of steers produced. *J. Anim. Sci.* 46:333–340.
- Brandstetter, A. M., B. Picard, and Y. Geay. 1998. Muscle fibre characteristics in four muscles of growing male cattle – II. Effect of castration and feeding level. *Livest. Prod. Sci.* 53:25–36. doi:10.1016/S0301-6226(97)00147-4
- Bunmee, T., S. Jaturasitha, M. Wicke, and M. Kreuzer. 2015. Effects of different finishing feeding strategies for culled cows on lipid and organoleptic characteristics of the meat. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 37:109–117.
- Bures, D., and L. Barton. 2012. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech J. Anim. Sci.* 57:34–43.
- Cabaraux, J. F., I. Dufrasne, M. Roux, L. Istasse, and J. L. Hornick. 2005. La production de viande bovine à partir de femelles de réforme. (In French.) *INRA Prod. Anim.* 18:37–48.
- Chambaz, A., M. R. L. Scheeder, M. Kreuzer, and P. A. Dufey. 2003. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Sci.* 63:491–500. doi:10.1016/S0309-1740(02)00109-2
- Chriki, S., G. E. Gardner, C. Jurie, B. Picard, D. Micol, J.-P. Brun, L. Journaux, and J.-F. Hocquette. 2012a. Cluster analysis application identifi muscle characteristics of importance for beef tenderness. *BMC Biochem.* 13:29. doi:10.1186/1471-2091-13-29

- Chriki, S., B. Picard, C. Jurie, M. Reichstadt, D. Micol, J.-P. Brun, L. Journaux, and J.-F. Hocquette. 2012b. Meta-analysis of the comparison of the metabolic and contractile characteristics of two bovine muscles: Longissimus thoracis and semitendinosus. *Meat Sci.* 91:423–429. doi:10.1016/j.meatsci.2012.02.026
- Couvreur, S., G. Le Bec, D. Micol, G. Aminot, and B. Picard. 2013. Les caractéristiques des vaches de réforme de l’AOP Maine Anjou et les pratiques de finition influencent leur qualité de viande. (In French.) In: Proc. 20th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, France. p. 165–168.
- De La Torre, A., D. Gruffat, D. Durand, D. Micol, A. Peyron, V. Scislowski, and D. Bauchart. 2006. Factors influencing proportion and composition of CLA in beef. *Meat Sci.* 73:258–268. doi:10.1016/j.meatsci.2005.11.025
- do Prado, I. N., C. E. Eiras, C. A. Fugita, R. A. Cortez Passetti, M. G. Ormaghi, D. C. Rivaroli, A. A. Pinto, and J. L. Moletta. 2015. Animal performance and carcass characteristics of bulls (1/2 Puruna vs 1/2 Canchim) slaughtered at 16 and 22 months old, and three different weights. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28:612–619. doi:10.5713/ajas.14.0793
- Dozias, D., J. Agabriel, J. R. Peccatte, and M. Petit. 2006. Influence du profil de croissance des génisses des troupeaux allaitants sur leurs performances ultérieures. (In French.) In: Journées Nationales Groupements Techniques Vétérinaires 2006, Dijon, France. p. 145–154.
- Dransfield, E., J. F. Martin, D. Bauchart, S. Abouelkaram, J. Lepetit, J. Culioli, C. Jurie, and B. Picard. 2003. Meat quality and composition of three muscles from French cull cows and young bulls. *Anim. Sci.* 76:387–399.
- Duckett, S. K., J. P. S. Neel, R. M. Lewis, J. P. Fontenot, and W. M. Clapham. 2013. Effects of forage species or concentrate finishing on animal performance, carcass and meat quality. *J. Anim. Sci.* 91:1454–1467. doi:10.2527/jas.2012-5914
- Dumont, R., M. Roux, J. Agabriel, C. Touraille, J. Bonnemaire, C. Malterre, and J. Robelin. 1991. Engraissement des vaches de réforme de race charolaise. Facteurs de variation des performances zootechniques, de la composition tissulaire des carcasses et de la qualité organoleptique de la viande. (In French.) *INRA Prod. Anim.* 4:271–286.
- Dumont, R., M. Roux, C. Touraille, J. Agabriel, and D. Micol. 1997. Engraissement des vaches de réforme de race Charolaise. Effet d’un apport de tourteau de lin sur les performances d’engraissement et les propriétés physico-chimiques et sensorielles de la viande. (In French.) *INRA Prod. Anim.* 10:163–174.
- Faucitano, L., P. Y. Chouinard, J. Fortin, I. B. Mandell, C. Lafreniere, C. L. Girard, and R. Berthiaume. 2008. Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 2. Meat quality, fatty acid composition, and overall palatability. *J. Anim. Sci.* 86:1678–1689. doi:10.2527/jas.2007-0756
- Ferguson, D. M., and R. D. Warner. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* 80:12–19. doi:10.1016/j.meatsci.2008.05.004
- Fiems, L. O., S. De Campeneere, W. Van Caelenbergh, J. L. De Boever, and J. M. Vanacker. 2003. Carcass and meat quality in double-muscled Belgian Blue bulls and cows. *Meat Sci.* 63:345–352. doi:10.1016/S0309-1740(02)00092-X
- Fortin, A., D. Veira, D. Froehlich, G. Butler, and J. Proulx. 1985. Carcass characteristics and sensory properties of Hereford × Shorthorn bulls and steers fed different levels of grass-silage and high moisture barley. *J. Anim. Sci.* 60:1403–1411.
- Fox, J., and S. Weisberg. 2011. *An R companion to applied regression*. 2nd ed. Sage, Thousand Oaks, CA.
- French, P., E. G. O’Riordan, F. J. Monahan, P. J. Caffrey, M. T. Mooney, D. J. Troy, and A. P. Moloney. 2001. The eating duality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Sci.* 57:379–386. doi:10.1016/S0309-1740(00)00115-7
- French, P., E. G. O’Riordan, F. J. Monahan, P. J. Caffrey, M. Vidal, M. T. Mooney, D. J. Troy, and A. P. Moloney. 2000. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Sci.* 56:173–180. doi:10.1016/S0309-1740(00)00037-1
- Galli, I., G. Teira, F. Perlo, P. Bonato, O. Tisocco, A. Monje, and S. Vittone. 2008. Animal performance and meat quality in cull cows with early weaned calves in Argentina. *Meat Sci.* 79:521–528. doi:10.1016/j.meatsci.2007.10.007
- Geay, Y., and C. Beranger. 1969. Influence de la proportion de céréales dans la ration sur l’état d’engraissement des carcasses de taurillons de 15 mois. (In French.) *Ann. Zootech.* 18:79–81. doi:10.1051/animres:19690107
- Geay, Y., B. Picard, R. Jailler, R. T. Jailler, A. Listrat, C. Jurie, M. C. Bayle, and C. Touraille. 1997. Effets de la nature de la ration sur les performances, les caractéristiques musculaires et la qualité de la viande de taurillons salers. (In French.) In: Proc. 4th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, France. p. 307–310.
- Geay, Y., J. Robelin, and C. Beranger. 1976. Influence of feeding level on live weight-gain and carcass composition. *Ann. Zootech.* 25:287–298. doi:10.1051/animres:19760301
- Gobert, M., D. Gruffat, M. Habeanu, E. Parafi D. Bauchart, and D. Durand. 2010. Plant extracts combined with vitamin E in PUFA-rich diets of cull cows protect processed beef against lipid oxidation. *Meat Sci.* 85:676–683. doi:10.1016/j.meatsci.2010.03.024
- Grunert, K. G., L. Bredahl, and K. Brunsø. 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—A review. *Meat Sci.* 66:259–272. doi:10.1016/S0309-1740(03)00130-X
- Hernandez-Calva, L. M., M. He, M. Juarez, J. L. Aalhus, M. E. R. Dugan, and T. A. McAllister. 2011. Effect of flaxseed and forage type on carcass and meat quality of finishing cull cows. *Can. J. Anim. Sci.* 91:613–622. doi:10.4141/cjas2011-030
- Hocquette, J. F., I. Ortigues-Marty, D. Pethick, P. Herpin, and X. Fernandez. 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. *Livest. Prod. Sci.* 56:115–143. doi:10.1016/S0301-6226(98)00187-0
- Juniper, D. T., E. M. Browne, A. V. Fisher, M. J. Bryant, G. R. Nute, and D. E. Beever. 2005. Intake, growth and meat quality of steers given diets based on varying proportions of maize silage and grass silage. *Anim. Sci.* 81:159–170. doi:10.1079/ASC41340159
- Jurie, C., I. Cassar-Malek, M. Bonnet, C. Leroux, D. Bauchart, P. Boulesteix, D. W. Pethick, and J. F. Hocquette. 2007. Adipocyte fatty acid-binding protein and mitochondrial enzyme activities in muscles as relevant indicators of marbling in cattle. *J. Anim. Sci.* 85:2660–2669. doi:10.2527/jas.2006-837
- Jurie, C., J. F. Martin, A. Listrat, R. Jailler, J. Culioli, and B. Picard. 2005. Effects of age and breed of beef bulls on growth parameters, carcass and muscle characteristics. *Anim. Sci.* 80:257–263. doi:10.1079/ASC40710257
- Jurie, C., J.-F. Martin, A. Listrat, R. Jailler, J. Culioli, and B. Picard. 2006a. Carcass and muscle characteristics of beef cull cows between 4 and 9 years of age. *Anim. Sci.* 82:415–421. doi:10.1079/ASC200644
- Jurie, C., I. Ortigues-Marty, B. Picard, D. Micol, and J. F. Hocquette. 2006b. The separate effects of the nature of diet and grazing mobility on metabolic potential of muscles from Charolais steers. *Livest. Sci.* 104:182–192. doi:10.1016/j.livsci.2006.04.016

- Jurie, C., B. Picard, and Y. Geay. 1998. Influences of the method of housing bulls on their body composition and muscle fibre types. *Meat Sci.* 50:457–469. doi:10.1016/S0309-1740(98)00059-X
- Jurie, C., J. Robelin, B. Picard, G. Renand, and Y. Geay. 1995. Inter-animal variation in the biological characteristics of muscle-tissue in male Limousin cattle. *Meat Sci.* 39:415–425. doi:10.1016/0309-1740(95)90393-N
- Kerth, C. R., K. W. Braden, R. Cox, L. K. Kerth, and D. L. Rankins Jr. 2007. Carcass, sensory, fat color, and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass (*Lolium multiflorum*) forage or on a high-concentrate diet. *Meat Sci.* 75:324–331. doi:10.1016/j.meatsci.2006.07.019
- Kobayashi, K., and M. U. Salam. 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92:345–352. doi:10.2134/agronj2000.922345x
- Kuznetsova, A., P. B. Brockhoff, and R. H. B. Christensen. 2014. lmerTest: Tests in linear mixed effects models. R package 20-20. <https://cran.r-project.org/web/packages/lmerTest/index.html>. (Accessed 11 June 2016.)
- Leveziel, H., V. Amarger, D. Delourme, R. Julien, G. Renand, R. Jailler, and J. F. Hocquette. 2002. Gènes bovins et qualité des viandes- présentation du programme européen GemQual. (In French.) *Viandes et Produits Carnés* 22:151–152.
- Lucero-Borja, J., L. B. Pouzo, M. S. de la Torre, L. Langman, F. Carduza, P. M. Corva, F. J. Santini, and E. Pavan. 2014. Slaughter weight, sex and age effects on beef shear force and tenderness. *Livest. Sci.* 163:140–149. doi:10.1016/j.livsci.2014.02.003
- Malterre, C., J. Robelin, J. Agabriel, and P. Bordes. 2011. Engraissement des vaches de réforme de race Limousine. (In French.) *INRA Prod. Anim.* 2:325–334.
- Mandell, I. B., J. G. Buchanan-Smith, and C. P. Campbell. 1998. Effects of forage vs grain feeding on carcass characteristics, fatty acid composition, and beef quality in Limousin-cross steers when time on feed is controlled. *J. Anim. Sci.* 76:2619–2630.
- May, S., H. Dolezal, D. Gill, F. Ray, and D. Buchanan. 1992. Effects of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal. *J. Anim. Sci.* 70:444–453.
- Melton, S. L. 1990. Effects of feeds on flavor of red meat: A review. *J. Anim. Sci.* 68:4421–4435.
- Meunier, B., B. Picard, T. Astruc, and R. Labas. 2010. Development of image analysis tool for the classification of muscle fibre type using immunohistochemical staining. *Histochem. Cell Biol.* 134:307–317. doi:10.1007/s00418-010-0733-7
- Micol, D., D. Bauchart, C. Jurie, R. Jailler, B. Picard, and J. Agabriel. 2008. Utilisation de rations de valeur contrastée sur les caractéristiques des muscles de jeunes bovins de race Blonde d'Aquitaine. (In French.) In: *Proc. 12th Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes*, Tours, France. p. 181–182.
- Micol, D., P. Berge, D. Dozias, J. Lepetit, G. Lienard, B. Picard, M. Renner, J. Robelin, C. Touraille, and Y. Geay. 1992. Effect of pregnancy and calving on muscle characteristics in cattle. In: *Meat science and technology. Proc. 38th Intl. Congr., Clermont-Ferrand, France*. p. 93–96.
- Micol, D., R. Jailler, C. Jurie, K. Meteau, H. Juin, G. R. Nute, R. I. Richardson, and J. F. Hocquette. 2011. Evaluation sensorielle de la viande bovine en France et au Royaume Uni selon deux températures de cuisson. (In French.) In: *Proc. 18th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 208.
- Moloney, A. P., M. G. Keane, P. G. Dunne, M. T. Mooney, and D. J. Troy. 2008. Effect of concentrate feeding pattern in a grass silage/concentrate beef finishing system on performance, selected carcass and meat quality characteristics. *Meat Sci.* 79:355–364. doi:10.1016/j.meatsci.2007.10.018
- Moloney, A. P., M. T. Mooney, J. P. Kerry, and D. J. Troy. 2001. Producing tender and flavoursome beef with enhanced nutritional characteristics. *Proc. Nutr. Soc.* 60:221–229. doi:10.1079/PNS200077
- Moloney, A. P., M. T. Mooney, D. J. Troy, and M. G. Keane. 2011. Finishing cattle at pasture at 30 months of age or indoors at 25 months of age: Effects on selected carcass and meat quality characteristics. *Livest. Sci.* 141:17–23. doi:10.1016/j.livsci.2011.04.011
- Monsón, F., C. Sañudo, and I. Sierra. 2004. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Sci.* 68:595–602. doi:10.1016/j.meatsci.2004.05.011
- Moreno, T., A. Botana, E. Bispo, L. Gonzalez, C. Garcia, and J. Mesas. 2012. High-energy forage feeding diets and body condition on the finishing of cull dairy cows. *Animal* 6:1634–1641. doi:10.1017/S1751731112000171
- Pesonen, M., M. Honkavaara, H. Kamarainen, T. Tolonen, M. Jaakkola, V. Virtanen, and A. Huuskonen. 2013. Effects of concentrate level and rapeseed meal supplementation on performance, carcass characteristics, meat quality and valuable cuts of Hereford and Charolais bulls offered grass silage-barley-based rations. *Agric. Food Sci.* 22:151–167.
- Picard, B., M. P. Duris, and C. Jurie. 1998. Classification of bovine muscle fibres by different histochemical techniques. *Histochem. J.* 30:473–477. doi:10.1023/A:1003207922944
- Picard, B., M. Gagaoua, D. Micol, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, and C. E. M. Terlouw. 2014. Inverse relationships between biomarkers and beef tenderness according to contractile and metabolic properties of the muscle. *J. Agric. Food Chem.* 62:9808–9818. doi:10.1021/jf501528s
- Picard, B., C. Jurie, D. Bauchart, E. Dransfield, A. Ouali, J.-F. Martin, R. Jailler, J. Lepetit, and J. Culioli. 2007. Muscle and meat characteristics from the main beef breeds of the Massif Central. *Sci. Aliments* 27:168–180. doi:10.3166/sda.27.168-180
- Picard, B., C. Jurie, M. P. Duris, and G. Renand. 2006. Consequences of selection for higher growth rate on muscle fibre development in cattle. *Livest. Sci.* 102:107–120. doi:10.1016/j.livsci.2005.12.001
- Polkinghorne, R. J., and J. M. Thompson. 2010. Meat standards and grading. *Meat Sci.* 86:227–235. doi:10.1016/j.meatsci.2010.05.010
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. (Accessed 11 May 2016.)
- Renand, G., B. Picard, C. Touraille, P. Berge, and J. Lepetit. 2001. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Sci.* 59:49–60. doi:10.1016/S0309-1740(01)00051-1
- Robelin, J., and Y. Geay. 1976. Estimation de la composition des carcasses de jeunes bovins à partir de la composition d'un morceau monostal prélevé au niveau de la 11e côte. II. Composition chimique de la carcasse. (In French.) *Ann. Zootech.* 25:259–272. doi:10.1051/animres:19760209
- Roberts, S. D., C. R. Kerth, K. W. Braden, D. L. Rankins, L. Kriese-Anderson, and J. W. Prevatt. 2009. Finishing steers on winter annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) with varied levels of corn supplementation I: Effects on animal performance, carcass traits, and forage quality. *J. Anim. Sci.* 87:2690–2699. doi:10.2527/jas.2008-1704
- Sami, A. S., C. Augustini, and F. J. Schwarz. 2004. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Sci.* 67:195–201. doi:10.1016/j.meatsci.2003.10.006

- Sargentini, C., R. Bozzi, G. Lorenzini, P. Degl'Innocenti, A. Martini, and A. Giorgetti. 2010. Productive performances of Maremmana young bulls reared following organic rules and slaughtered at 18 and 24 months of age. *Ital. J. Anim. Sci.* 9:163–168. doi:10.4081/ijas.2010.e31
- Sawyer, J. E., C. P. Mathis, and B. Davis. 2004. Effects of feeding strategy and age on live animal performance, carcass characteristics, and economics of short-term feeding programs for culled beef cows. *J. Anim. Sci.* 82:3646–3653.
- Schnell, T. D., K. E. Belk, J. D. Tatum, R. K. Miller, and G. C. Smith. 1997. Performance, carcass, and palatability traits for cull cows fed high-energy concentrate diets for 0, 14, 28, 42, or 56 days. *J. Anim. Sci.* 75:1195–1202.
- Sepchat, B., M. Lherm, J. Agabriel, D. Micol, C. Cirie, D. Egal, and F. Garcia-Launay. 2011. En production de taurillons Salers, la complémentation en concentré des broutards pénalise les performances zootechniques et économiques, l'apport supplémentaire de lait les améliore. (In French.) In: Proc. 18th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, France. p. 221–224.
- Silva, J. A., L. Patarata, and C. Martins. 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Sci.* 52:453–459. doi:10.1016/S0309-1740(99)00029-7
- Tille, Y., and A. Matei. 2013. *sampling: Survey sampling. R package version 26.* <https://cran.r-project.org/web/packages/sampling/index.html>. (Accessed 11 June 2015.)
- Tufféry, S. 2012. *Data mining et statistique décisionnelle L'intelligence des données.* 4th ed. (In French.) Editions technip. Paris, France.
- Vestergaard, M., N. T. Madsen, H. B. Bligaard, L. Bredahl, P. T. Rasmussen, and H. R. Andersen. 2007. Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Sci.* 76:635–643. doi:10.1016/j.meatsci.2007.02.001
- Vinet, A., D. Krauss, C. Andre, and G. Renand. 2008. Relations génétiques entre les capacités d'ingestion de taurillons, boeufs, génisses et vaches. (In French.) In: Proc. 15th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, France. p. 267–270.
- Weglarz, A. 2010. Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech J. Anim. Sci.* 55:548–556.
- Yan, T., J. P. Frost, T. W. J. Keady, R. E. Agnew, and C. S. Mayne. 2007. Prediction of nitrogen excretion in feces and urine of beef cattle offered diets containing grass silage. *J. Anim. Sci.* 85:1982–1989. doi:10.2527/jas.2006-408
- Yerturk, M., O. Kaplan, and M. Avci. 2011. Fattening performance and dressing percentage of Holstein crossbred bulls at different initial weights in Southeastern Anatolia region. *J. Anim. Vet. Adv.* 10:606–609. doi:10.3923/javaa.2011.606.609

**Prediction of conformation and fat score
of cattle carcass characteristics from rearing factors**

SOULAT Julien¹ ; MONTEILS Valérie¹ ; LEGER Stéphanie^{2,3} and PICARD Brigitte¹

1 UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

2 Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

3 CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

Ce travail est en préparation pour une soumission dans *Agricultural Systems*.

Résumé

La carcasse des bovins est caractérisée par l'état d'engraissement et la conformation dans le système EUROP. Le pilotage des caractéristiques de la carcasse est un objectif des acteurs de la filière viande bovine et il est lié aux facteurs d'élevage. L'objectif de cette étude était de prédire des groupes d'état d'engraissement et de conformation à partir de facteurs d'élevage mesurés durant la période de finition. Une régression logistique a été réalisée pour analyser la base de données qui était composée des données individuelles de 233 vaches de réforme et 565 jeunes bovins provenant de différentes expérimentations. Dans cette base de données, la période de finition des animaux était caractérisée par 12 facteurs d'élevage. Des modèles de prédiction robustes ont été obtenus, cependant, les prédictions permettent une meilleure discrimination des groupes chez les vaches de réforme par rapport aux jeunes bovins. Les facteurs d'élevage retenus dans les modèles sont différents selon le type d'animal, cela suggère que le pilotage des caractéristiques de la carcasse durant la période de finition doit être spécifique à chaque type de bovin.

Prediction of the conformation and fat score of cattle carcass characteristics from rearing factors

Julien Soulat^a, Valérie Monteils^{a,*}, Stéphanie Léger^{b,c}, Brigitte Picard^a

^a UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

^b Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

^c CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

* Corresponding author. Tel.: +33 4 73 98 13 45; fax: +33 4 73 98 13 80

E-mail: valerie.monteils@vetagro-sup.fr (V. Monteils)

Abstract

Cattle carcasses are characterized by their fat score and conformation in the EUROP system. The management of carcass characteristics is a goal of all stakeholders of the meat chain and is linked to rearing factors. The aim of this study was to predict clusters of fat score and conformation based on rearing factors applied during the fattening period. A logistic regression was used to analyse a dataset of individual data that was collected from different experiments involving 233 cull cows and 565 young bulls comprising 12 rearing factors characterizing the fattening period. Robust prediction models were obtained; however, the prediction allowed for a better discrimination of the clusters in the cull cows than in the young bulls. The considered rearing factors were different for both of the animal categories in the models, suggesting that carcass characteristics management during the fattening period must be specific for each cattle category.

Keywords: Cattle management, EUROP system, Fattening period, Logistic regression, Prediction model

1. Introduction

In cattle, many studies reported that carcass characteristics, such as the conformation and the fat score are, impacted by rearing factors, especially during the fattening period as follows: the slaughter age (Marti et al., 2013; Sawyer et al., 2004); the fattening period duration (Franco et al., 2009; Dumont et al., 1997); the composition of the fattening diet (Aviles et al., 2015; French et al., 2001) and the type of fattening system, i.e., housing vs. pasture (Keane and Allen, 1998). The breed is also a rearing factor that has an impact on these 2 carcass characteristics (Pesonen and Huuskonen, 2015; Corazzin et al., 2012). All of these rearing factors have individual impacts on the carcass characteristics, but their effects might also be the results of interactions between them. The effects of the combination of several rearing factors on the fat scores and the conformation during the fattening period have been reported for the composition of the diet and the fattening period duration (Sami et al., 2004), the composition of the diet and the breed (Pesonen et al., 2013), and the composition of the diet and the slaughter age (Costa et al., 2015).

In the European system, the fat score and the conformation defined using the EUROP systems are the principal criteria used to evaluate the characteristics of the carcass (EC, 2006). These criteria are used with other criteria to determine the economic value of the carcass. All meat sector stakeholders have an interest in achieving the optimum fat score and conformation to reach a maximal valuation of the carcass. In consequence, the management of the characteristics of the carcass is a major goal for all stakeholders of the meat chain. The rearing factors applied during the fattening period could drive the characteristics of the carcass and allow for the adaption of their properties to meet the market expectations, maximize the valuation of the carcass and maximize the payment to the farmer.

The fattening of cull cows and young bulls represents, 50% and 32% of the fattening cattle production in France and 37% and 34% of the fattening cattle production in the European Union, respectively (FranceAgriMer, 2015). The aim of the present study was to predict the fat scores and the conformation of carcasses of these two categories of cattle from several rearing factors of the fattening period. The originality of this study is based on the analysis of a large dataset of individual cattle data with a diversity of rearing factors. Because the fat scores and the conformation are ordinated data, a statistical method was adapted for this situation that is rarely used in the agronomic sector, i.e., the logistic regression was applied to predict clusters of fat scores and conformation.

Table 1 Description of the dataset used: the sources of all of the data with the experiments used (Exp), the number of animals (n), the breed, and the variation factors studied for the cull cows and the young bulls.

Animal category	Experiments	n	Breed ^a	Studied rearing factors	References
Cull cows					
	Exp 1	18	Lim	Slaughter age, pregnancy, and calving	Micol et al. (1992)
	Exp 2	56	Aub, Cha, Lim and Sal	Breed and slaughter age	Dransfield et al. (2003)
	Exp 3	57	Cha	Genetic line	Dozias et al. (2006)
	Exp 4	15	Cha	Diet	De La Torre et al. (2006)
	Exp 5	87	Cha	Genetic line	Vinet et al. (2008) and Aviles et al. (2014)
Young bulls					
	Exp 6	84	Aub, Cha, Lim and Sal	Breeds and slaughter age	Jurie et al. (2005)
	Exp 7	50	BA and Lim	Breed	Picard et al. (2014)
	Exp 8	24	BA	Diet	Micol et al. (2008)
	Exp 9	317	Cha	Slaughter age and genetic line	Picard et al. (2006)
	Exp 10	29	Sal	Feeding management before weaning	Sepchat et al. (2011)
	Exp 11	61	Char and Lim	Breeds and genetic line	Leveziel et al. (2002)

^a Aub = Aubrac, BA = Blonde d'Aquitaine, Cha = Charolais, Lim = Limousin, Sal = Salers.

2. Material methods

2.1. Dataset

The dataset described in Table 1 was composed of individual data from 798 cattle (233 cull cows and 565 young bulls). The cull cows were represented by 4 pure breeds (Aubrac, Charolais, Limousine and Salers) and the young bulls by 5 pure breeds (Aubrac, Blonde d'Aquitaine, Charolais, Limousine and Salers). These data came from several published experiments (5 for the cull cow data and 6 for the young bull data) by the National Institute for Agricultural Research (INRA) in France. In the present study, for each animal, the dataset included information about the rearing factors during the fattening period and the carcass characteristics to establish the prediction models.

2.1.1 Rearing factors

The fattening period was characterized by a combination of several rearing factors, such as slaughter age (mo); live weight at the beginning of the fattening period (initial weight, kg); live weight at the end of the fattening period before the transport to the slaughterhouse (final weight, kg); period duration (d); forages and concentrates intake (kg of dry matter (DM)/d); percentages of forages and concentrates in the diet (%); dry matter intake (DMI, kg DM/d); net energy intake (NEI, Mcal/d); average daily gain (ADG, kg/d); and feed conversion efficiency (FCE, ADG:DMI ratio, kg/kg DM). The forage and concentrate variables gathered included different forages (hay, straw, grass silage, corn silage, and beet pulp silage) and different concentrates (grain corn, soybean, urea, grain corn, and barley).

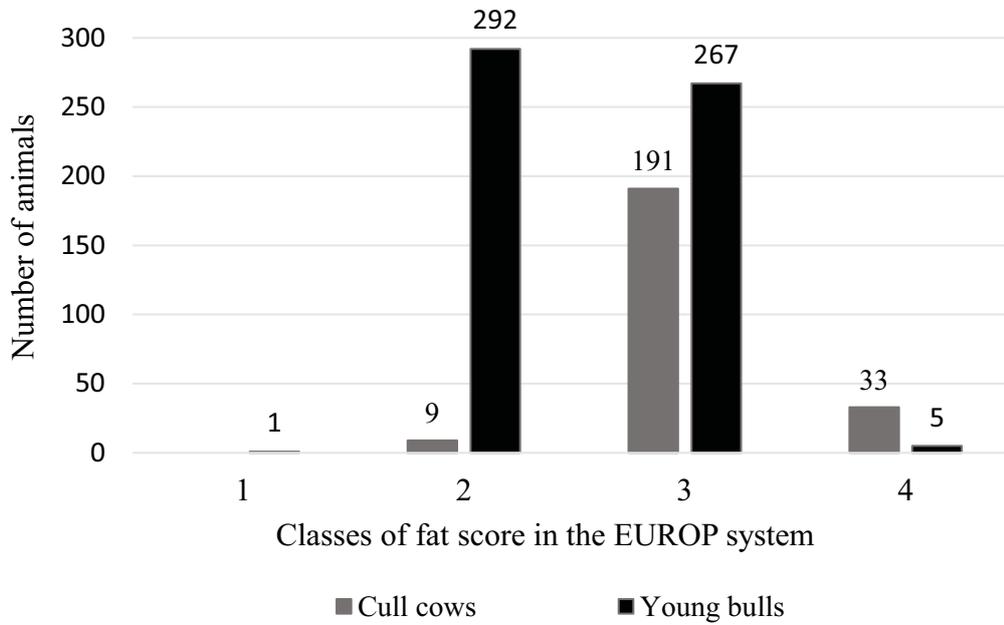
2.1.2 Carcass characteristics

Each animal was slaughtered at the experimental slaughterhouse of the INRA at the Auvergne/Rhône-Alpes research Centre (Theix, France). The animals were slaughtered in the same conditions in compliance with the ethical guidelines for animal care. In this study, the following 2 carcass characteristics were considered: fat score and conformation. The fat score of the carcass, which is divided into 5 fat score classes, was evaluated with a grade between 1 and 5 (1 = lean and 5 = very fat). The carcasses were classified in 5 conformation classes with the EUROP grid (E represent an excellent conformation and P a poor conformation). Each conformation class was divided into 3 subclasses of "+", "=", and "-"; therefore, the conformation was divided into 15

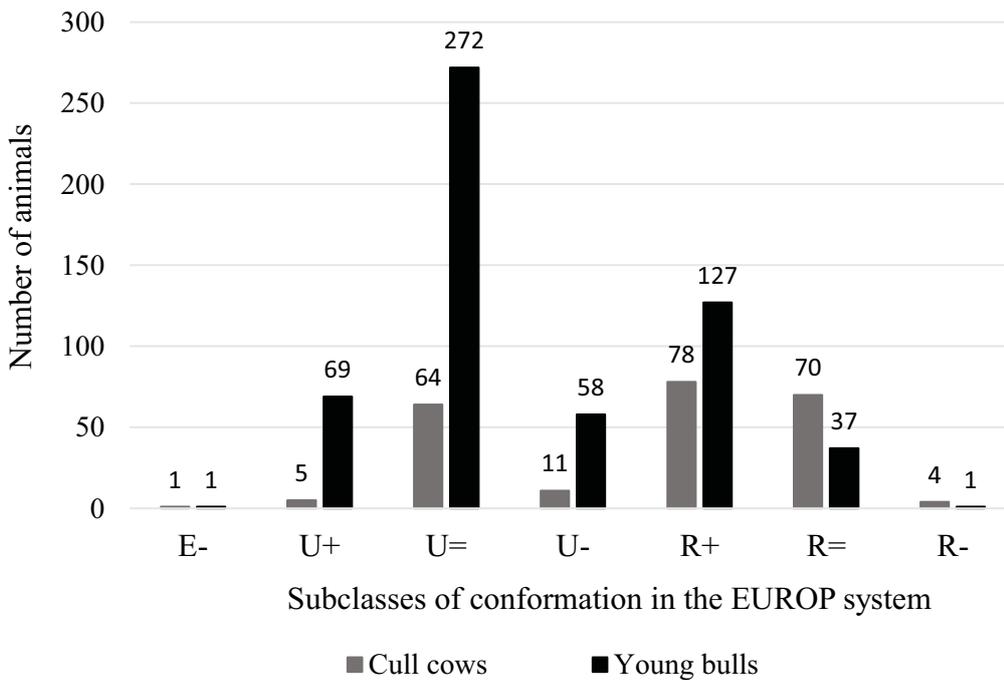
subclasses (EC, 2006). For the cull cows and the young bulls, the distribution of the conformation and fat scores is illustrated in Fig1.

Fig 1. Repartition of the cull cows and the young bulls in the different classes of the fat score (A) and the subclasses of the conformation (B) in the EUROP system.

A)



B)



2.2 Statistical analyses

Data from the literature revealed significant differences between cull cows and young bulls in the conformation and fat scores of carcasses (Fiems et al., 2003). Moreover, in our dataset, these 2 cattle categories did not have the same distribution of fat scores and conformations. Therefore, the cull cows and the young bulls were analysed separately to realize the prediction models.

2.2.1 Determination of the clusters for fat score and conformation

The fat score and conformation were qualitative stratified and ordered variables with 5 classes and 15 subclasses, respectively (Fig 1). In the both animal categories, some classes of fat score and subclasses of conformation were few or not represented. To establish valid prediction models, clusters with a biological sense were defined to have the most animals in each cluster. For the fat score, three clusters were considered matching to the fat score classes (Table 2) and for the conformation, the near subclasses of the EUROP system had to be grouped in 3 clusters: Conf-A = modality E⁻ and U⁺, Conf-B = U⁻ and U⁻ and Conf-C = R⁺, R⁻ and R⁻ (Table 3). The 3 clusters defined for the fat score and the conformation were the same for the both animal categories. Because of the low number of animals in some clusters defined of the fat score (Table 2) and the conformation (Table 3), all clusters were not considered to establish the prediction models in each animal category. Finally, to predict the fat score, the clusters considered in cull cows were C-fat-II (n = 191) and C-fat-III (n = 33) and in young bulls were YB-fat-I (n = 292) and YB-fat-II (n = 267). To predict the conformation, the clusters considered in cull cows were C-conf-B (n = 75) and C-conf-C (n = 152) and in young bulls, were YB-conf-A (n = 70), YB-conf-B (n = 330) and YB-conf-C (n = 165).

The statistical analyses were performed using R 3.2.3 (R core Team, 2015).

2.2.2 Production of a calibration and validation dataset for fat score and conformation

As the fat score and the conformation were analysed separately for each animal category, there were 2 datasets for the fat score and also 2 datasets for the conformation.

Before establishing prediction models, the first step was to realize a random selection of each datasets to create 2 sub-datasets (calibration and validation). Each calibration and validation dataset

represented 75% and 25%, respectively of the initial dataset. At the time of the random selections, we attempted to conserve the same breed and experiment proportions as the initial dataset in each

Table 2 Fat score clusters defined for the cull cows and the young bulls.

	Fat score clusters defined		
	Fat-I	Fat-II	Fat-III
EUROP fat score ^a	2	3	4
Number of cull cows	9 (NC ^b)	191	33
Number of young bulls	292	267	5 (NC)

^a EUROP fat score = 5 classes 1 (leanest) to 5 (fattest).

^b NC = Not considered

Table 3 Conformation clusters defined for the cull cows and the young bulls.

	Conformation clusters defined		
	Conf-A	Conf-B	Conf-C
EUROP conformation ^a	E ⁻ and U ⁺	U ⁼ and U ⁻	R ⁺ , R ⁼ and R ⁻
Numbers of cull cows	6 (NC ^b)	75	152
Numbers of young bulls	70	330	165

^a EUROP conformation = 15 subclasses P⁻ (poor conformation) to E⁺ (excellent conformation).

^b NC = Not considered

couple calibration and validation dataset. Finally, to predict the fat score and the conformation per animal category, 4 different couple calibration and validation datasets were obtained. The descriptions and effectiveness of each coupled calibration/validation are presented in Table 4 for the fat score and in Table 5 for the conformation. Moreover, *t*-tests for each rearing factor and each animal category were performed to verify the nonsignificant differences ($P > 0.05$) between each calibration and validation datasets. To obtain the calibration and validation datasets, the package “sampling” (Tille and Matei, 2015) in R was used.

2.2.3. Selection of rearing factors

To have a robust model at the end, the aim of this step was, first, to limit the number of rearing factors can be considered in the model to predict the fat score or the conformation. Then, the aim was to check the non-collinearity between the rearing factors selected.

From each calibration dataset, linear discriminant analyses (LDA) were realized to select among the 12 rearing factors, the ones that explained the fat score and the conformation in each animal category. We retained the rearing factors which had a sufficient discriminant power on the axes of the LDA (coordinates $> |0.2|$). After this first selection, the multicollinearity between the rearing factors was evaluated from the variance inflation factors (VIF, Tufféry, 2012) values. The rearing factors non-correlated (VIF < 10) were selected.

At the end, for fat scores of the cull cows, the following 6 rearing factors were selected: slaughter age, fattening period duration, forages intake, DMI, ADG and NEI; for fat scores of the young bulls, the following 5 rearing factors were selected in young bulls: final weight, concentrates intake, DMI, NEI and FCE. For conformation in the cull cows, the following 6 rearing factors were selected: slaughter age, final weight, fattening period duration, concentrates percentage, NEI and FCE; for conformation in the young bulls, the following 7 rearing factors were selected: slaughter age, final weight, fattening period duration, concentrates percentage, DMI, NEI and FCE.

The LDA and the VIF evaluation were realized using the “MASS” (Venables and Ripley, 2002) and “car” (Fox and Weisberg, 2011) packages in R.

2.2.4 Prediction models of fat score and conformation of the carcass

The aim was to predict the fat score and the conformation from the rearing factors selected, for each animal category. As the fat score and the conformation were qualitative variables, the linear regression could not be used, therefore the logistic regression was used.

Table 4 Initial rearing factors in the calibration and validation datasets used to establish the carcass fat score for the cull cows and the young bulls.

	Calibration				Validation			
	Mean	± SD ^a	Min	Max	Mean	± SD	Min	Max
Cull cows	n = 166				n = 58			
Slaughter age (mo)	76.7	± 16.8	34.1	119.9	74.6	± 18.5	35.3	133.8
Initial weight (kg) ^b	68	± 77	523	899	669	± 82	526	858
Final weight (kg) ^c	754	± 83	582	985	742	± 86	593	923
Fattening period duration (d)	66.7	± 21.5	7.0	119.0	67.7	± 19.9	31.0	112.0
Forage intake (kg DM/d)	10.2	± 1.5	6.7	13.9	10.3	± 1.3	8.3	13.5
Concentrate intake (kg DM/d)	1.4	± 0.9	0.4	4.4	1.5	± 1.0	0.5	4.6
Forage percentage (% of the DMI) ^d	88.3	± 6.1	68.7	95.4	87.7	± 6.9	68.3	95.4
Concentrate percentage (% of the DMI) ^e	11.7	± 6.1	4.6	31.3	12.3	± 6.9	4.6	31.7
DMI (kg MS/d) ^f	11.6	± 1.8	7.2	15.1	11.8	± 1.6	8.8	15.5
NEI (Mcal/d) ^g	18.7	± 4.1	11.9	33.0	18.6	± 3.3	14.2	28.2
ADG (kg/d) ^h	1.1	± 0.5	0.1	3.1	1.1	± 0.5	0.2	3.2
FCE (kg/kg DM) ⁱ	0.1	± 0.04	0.01	0.3	0.1	± 0.05	0.03	0.4
Young bulls	n = 416				n = 143			
Slaughter age (mo)	16.8	± 2.4	13.0	25.6	16.8	± 2.4	13.4	24.6
Initial weight (kg)	407	± 113	259	877	410	± 113.8	260	878
Final weight (kg)	684	± 98	479	1055	685	± 96.1	481	1032
Fattening period duration (d)	200.0	± 67.0	105.0	328.0	199.0	± 67.5	105.0	328.0
Forage intake (kg DM/d)	6.7	± 3.2	0.4	11.7	6.8	± 3.2	0.6	11.6
Concentrate intake (kg DM/d)	3.2	± 2.0	1.1	8.8	3.3	± 2.2	1.2	8.3
Forage percentage (% of the DMI)	64.7	± 26.4	6.5	85.8	64.9	± 26.3	8.8	85.7
Concentrate percentage (% of the DMI)	35.3	± 26.4	14.2	93.5	35.1	± 26.3	14.3	91.2
DMI (kg MS/d)	9.9	± 2.0	5.5	14.6	10.1	± 2.0	6.1	14.5
NEI (Mcal/d)	15.5	± 2.5	7.5	20.7	15.7	± 2.4	10.1	20.7
ADG (kg/d)	1.4	± 0.2	0.5	2.1	1.4	± 0.2	0.8	2.0
FCE (kg/kg DM)	0.1	± 0.04	0.06	0.3	0.1	± 0.04	0.1	0.2

^a SD = standard deviation, ^b Initial weight = live weight at the beginning of fattening period, ^c Final weight = live weight before transport to the slaughterhouse, ^d Forage percentage = percentage of forages in the DM diet, ^e Concentrate percentage = percentage of concentrates in the DM diet, ^f DMI = dry matter intake, ^g NEI = net energy intake, ^h ADG = average daily gain, ⁱ FCE = feed conversion efficiency.

Table 5 Initial rearing factors in the calibration and validation datasets used to establish the carcass conformation for the cull cows and the young bulls.

	Calibration				Validation			
	Mean	± SD ^a	Min	Max	Mean	± SD	Min	Max
Cull cows	n = 167				n = 59			
Slaughter age (mo)	77.7	± 17.3	34.3	121.3	75.1	± 17.3	34.1	133.8
Initial weight (kg) ^b	676	± 86	526	899	689	± 86	523	896
Final weight (kg) ^c	746	± 91	582	985	762	± 91.5	583	948
Fattening period duration (d)	65.6	± 22.0	7.0	119.0	67.0	± 22.2	14.0	112.0
Forage intake (kg DM/d)	10.2	± 1.3	6.7	13.9	10.3	± 1.3	7.6	12.7
Concentrate intake (kg DM/d)	1.4	± 0.9	0.4	4.6	1.4	± 0.9	0.4	4.3
Forage percentage (% of the DMI) ^d	88.3	± 6.4	68.3	95.4	88.6	± 6.4	69.1	95.4
Concentrate percentage (% of the DMI) ^e	11.7	± 6.4	4.6	31.7	11.4	± 6.4	4.6	30.8
DMI (kg MS/d) ^f	11.6	± 1.7	7.2	15.5	11.6	± 1.7	8.3	14.7
NEI (Mcal/d) ^g	18.9	± 3.4	12.1	33.0	18.5	± 3.4	11.9	28.2
ADG (kg/d) ^h	1.1	± 0.5	0.1	3.2	1.1	± 0.5	0.1	2.4
FCE (kg/kg DM) ⁱ	0.1	± 0.04	0.01	0.4	0.1	± 0.04	0.01	0.2
Young bulls	n = 419				n = 146			
Slaughter age (mo)	16.8	± 2.4	13.0	25.6	16.7	± 2.5	13.1	24.6
Initial weight (kg)	412	± 119	259	877	410	± 116	259	878
Final weight (kg)	687	± 101	479	1066	686	± 102	504	1030
Fattening period duration (d)	198.1	± 66.4	105.0	328.0	201.7	± 68.5	105.0	314.0
Forage intake (kg DM/d)	6.7	± 3.2	0.4	11.7	6.7	± 3.3	0.6	11.2
Concentrate intake (kg DM/d)	3.2	± 2.0	1.1	8.8	3.4	± 2.2	1.2	8.8
Forage percentage (% of the DMI)	65.0	± 26.3	6.5	85.8	64.4	± 26.5	8.8	85.8
Concentrate percentage (% of the DMI)	35.0	± 26.3	14.2	93.5	35.6	± 26.5	14.2	91.2
DMI (kg MS/d)	9.9	± 2.0	5.5	14.6	10.1	± 2.0	6.5	14.0
NEI (Mcal/d)	15.5	± 2.5	7.5	20.7	15.7	± 2.4	9.6	20.7
ADG (kg/d)	1.4	± 0.2	0.7	2.1	1.4	± 0.2	0.5	1.8
FCE (kg/kg DM)	0.1	± 0.04	0.1	0.3	0.1	± 0.04	0.06	0.2

^a SD = standard deviation, ^b Initial weight = live weight at the beginning of fattening period, ^c Final weight = live weight before transport to the slaughterhouse, ^d Forage percentage = percentage of forages in the DM diet, ^e Concentrate percentage = percentage of concentrates in the DM diet, ^f DMI = dry matter intake, ^g NEI = net energy intake, ^h ADG = average daily gain, ⁱ FCE = feed conversion efficiency.

In logistic regression, the model predicts the likelihood that an animal increase in the superior cluster of the predicted variable rather than the reference cluster. For this regression, the logit model was used (Rakotomalala, 2014) and was written as follows:

$$\log (p/1-p) = \alpha + \beta_i X_i + \varepsilon$$

$$p = P(Y=1) \text{ where } p \in]0,1[$$

in which, α and β_i are fixed effects of the model, X_i are the rearing factors i , ε is the model error, p is the probability that Y (the predicted variable) was equal to 1.

According to the number of clusters of the predicted variable, two logistic regression were used:

- The binomial logistic regression was used when the predicted variable had two clusters. In this study, three prediction models were established with this statistical method: the fat prediction model in the both animal categories and the conformation prediction model in the cull cows. The binomial logistic regression was realized from the “lmerTest” package (Kuznetsova et al., 2016) in R.
- The multinomial logistic regression was used when the predicted variable had three or more clusters. As the predicted variables were qualitative ordered variables, the cumulative multinomial logistic regression was used to predict the conformation in the young bulls. The cumulative logistic regression was realized from the “ordinal” package (Christensen, 2015) in R.

For all the prediction models, the same approach was followed. Each complete prediction model considered the previously selected rearing factors and the following random effects: the breed and the experiment on the intercept. Indeed, many studies report a breed effect on the fat score and the conformation of the carcass in cattle (Pesonen and Huuskonen, 2015; Corazzin et al., 2012). This argues for the consideration of the breed as a random effect to obtain a prediction model available for the different breeds. The effect of the experiment was also considered as a random effect to remove the variability of rearing factors introduced by the different experiments used in our dataset (Table 1). The different prediction models were established from the calibration datasets. Then, to obtain the simplest prediction model, the nonsignificant rearing factors were individually removed. After each withdrawal, the new model was compared with the precedent by a likelihood ratio test to determine, if the rearing factors and the random effects were maintained in the prediction model.

With the logistic regression, it was necessary to define a reference cluster of the predicted variable in order to estimate the probability to increase in another cluster. For the prediction fat score models, C-fat-II in the cull cows and YB-fat-I in the young bulls were considered as the reference cluster; when the carcass change to the superior cluster the carcass was fatter. For the prediction conformation models, C-conf-C in the cull cows and YB-conf-C in the young bulls were considered as the reference clusters; when the carcass changed to the superior cluster the carcass had a better conformation.

The odd ratios (OR) of each prediction model were calculated and used to interpret the model. According to the reference cluster, the OR evaluates the chance that a change in the cluster of fat score or conformation will occur when a single rearing factor, considered in the model, increases by of one unit while the other considered rearing factors are fixed at the means values. For a rearing factor in the prediction models, if the $OR = 1$, it has no impact, and if the $OR > 1$, the rearing factor has a better chance of changing the carcass to the superior cluster relative to the reference cluster. If the $OR < 1$, an increase of the rearing factor will strengthen the cluster placement in which the carcass is classified (Rakotomalala, 2014; Nakache and Confais, 2003). According to the unit of the variables, for the OR interpretation of the rearing factors impact in our prediction models, an increase of 1 was not adapted. For example, an increase in the fattening period by 1 day does not have biological meaning. Therefore, for each rearing factors, a variation range (Δ) was defined to consider a biological explanation for the variation. Calculating the chance to change classes was as follows: OR^{Δ} .

Finally, each established prediction model was validated with the validation dataset.

Post hoc analyses of the prediction models were realized to evaluate the prediction quality of each model. For all of the models realized, the considered parameters were as follows: the success rate, the sensitivity and the accuracy. The success rate was defined as the percentage of animals correctly classified. The sensitivity was defined as the ability of the model to find the right values. The sensitivity calculation was the number of animals from the cluster i predicted in cluster i divided by the number of animals from the cluster i . The accuracy was defined as the ability of the model to predict the right values. The accuracy calculation was the number of animals from cluster i predicted in the cluster i divided by the number of animals predicted in the cluster i . These different parameters are calculated from the confusion matrix. For the models realized with the binomial logistic regression, the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) was measured with the package “ROCR” (Sing et al., 2005) in R. The AUC indicates the discrimination quality of the model being close to 1 (Nakache and Confais, 2003; Rakotomalala, 2014).

Table 6 Description of the coefficients and the odd ratios of the fat score and the conformation prediction models from the calibration datasets for the cull cows and the young bulls.

Model	Independent variables	Coefficients	SE ^a	P value ^b	Odds ratios	95% CI ^c
Fat score cull cow	Intercept	-2.83	3.81	NS		
	DMI ^d	3.02	1.00	**	20.47	[2.85;147.25]
	Fattening period duration	0.05	0.03	*	1.05	[1.0;1.11]
	NEI ^e	1.17	0.36	**	0.31	[0.15;0.63]
	Forage intake	-1.66	0.60	**	0.19	[0.02;0.62]
	Intercept	-5.12	2.07	*		
Fat score young bull	Intercept	-5.12	2.07	*		
	FCE ^f	10.53	5.34	*	3.73 x 10 ⁴	[1.07;1.30 x 10 ⁹]
	DMI	0.19	0.09	*	1.21	[1.01;1.45]
	Final weight ^g	0.003	0.001	*	1.003	[1.00007;1.006]
	Intercept	-17.76	4.34	***		
Conformation cull cow	Intercept	-17.76	4.34	***		
	NEI	0.19	0.07	**	1.21	[1.04;1.40]
	Initial weight ^h	0.02	0.004	***	1.02	[1.01;1.03]
Conformation young bull	Intercept					
	YB-conf-C vs YB-conf-B	-12.30	1.75			
	YB-conf-B vs YB-conf-A	-16.14	1.85			
	FCE	15.04	4.44	***	3.4 x 10 ⁶	[546.84;>999.99]
	DMI	0.19	0.09	*	1.21	[1.01;1.45]
	Final weight	0.01	0.002	***	1.01	[1.01;1.02]
	Intercept					

^a SE = standard error, ^b NS = not significant (P > 0.05), *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001, ^c CI = confidence interval of odds ratios, ^d DMI = dry matter intake, ^e NEI = net energy intake, ^f FCE = feed conversion efficiency, ^g Final weight = live weight before slaughter, ^h Initial weight = live weight at the beginning of fattening period.

Table 7 Goodness of fit measures for the prediction models established with the binomial logistic regression.

Model	Measure				
	AUC _{cal} ^a	AUC _{val} ^b	Success rate (%)	Sensitivity (%)	Accuracy (%)
Fat score cull cow	0.90	0.86	93.1		
C-fat-II				100	92.4
C-fat-III				55.5	100
Fat score young bull	0.80	0.78	72.7		
YB-fat-I				83.8	69.7
YB-fat-II				60.9	77.8
Conformation cull cow	0.92	0.88	79.7		
C-conf-B				70.0	70.0
C-conf-C				84.6	84.6

^a AUC_{cal} = area under the cover from the calibration dataset, ^b AUC_{val} = area under the cover from the validation dataset

3. Results and discussion

3.1. Fat score prediction models for the cull cows and the young bulls

For the cull cows, the rearing factors considered in the fat score prediction model were the DMI, NEI, fattening period duration and forage intakes. The coefficients of this model are presented in Table 6. The low difference between the AUC in the calibration dataset (AUC_{cal}) and the AUC in the validation dataset (AUC_{val}) highlighted the robustness of this model (Table 7). This prediction model had a high prediction quality with a high AUC_{val} , success rate, sensitivity of the C-fat-II cluster and accuracy of both fat score clusters. However, this model had difficulty in correctly classifying the cull cows from the C-fat-III cluster (sensitivity = 55.5%), whereas all of the cull cows from the C-fat-II cluster were correctly classified. Furthermore, some the cull cows from the C-fat-III cluster were underestimated.

The rearing factors considered in the prediction model were presented by decreasing order of the OR. The interpretation of the OR allowed us to display the impact of the considered rearing factors on the fat scores of the carcasses (Table 6). When the DMI increase was 2 kg DM/j, the cull cows were $20.47^2 = 419$ times more likely to change to the superior cluster (here C-fat-III). An increase in the DMI induces an increase in the fat scores for the cull cows. To the best of our knowledge, in cull cows, there are no published studies demonstrating the effect of this rearing factor on the fat score of the carcass. In steers, published data displayed an increased carcass fat score with an increased DMI with the same forage base diet and an increased concentrate level (Keady et al., 2013; Keane et al., 2006). In addition, another rearing factor considered in the model was the fattening period duration. In the cull cows, by increasing the fattening period to a duration of 10 d, the chance of changing to the superior cluster was $1.05^{10} = 1.63$. A longer fattening period duration, therefore increased the fat score of the carcass. This result is in accordance with the results in the cull cows, displayed by Vestergaard et al. (2007). Another rearing factor considered was the NEI.

When the NEI increased to 2.5 Mcal/d, the chances that a cull cow moved to the superior cluster was $0.31^{2.5} = 0.05$. The last rearing factor considered in the model was forage intake. By increasing the quantity of forage intake to 2 kg DM/j, the cull cows had a chance of $0.19^2 = 0.04$ to move to C-fat-III cluster. During the fattening period, increasing the NEI and the forages intake maintained the cull cows in the cluster C-fat-II. This cluster corresponded to a fat score of 3 in the EUROP system, which is the desired aim of the main market in France. To the best of our knowledge, there were no published data studying the effects of the NEI and forage intake in the cull cows.

For the young bulls, the rearing factors considered in the fat score prediction model were the FCE, DMI and final weight (Table 6). The small difference between the AUC_{cal} and the AUC_{val} highlighted the robustness of this model (Table 7). This model better classified the young bulls in the YB-fat-I cluster (sensitivity = 83.8%) than the young bulls in the YB-fat-II cluster (sensitivity = 60.9%). This model had a higher accuracy for predicting the young bulls in the YB-fat-II cluster (accuracy = 77.8%) than the young bulls in the YB-fat-III cluster (accuracy = 69.7%). The success rate of this model was 72.7%.

The FCE was considered in this model and had a very high OR (Table 6), displaying that this rearing factor has a high chance to increase the fat score of the carcass. During the fattening period, if the FCE of the young bulls increased by 0.05 kg/kg DM, the chance to move to the superior cluster was $(3.73 \times 10^4)^{0.05} = 1.69$. This result is in accordance with Barton et al. (2007) and Keogh et al. (2015) who displayed a significant increase of the fat score with an increase of the FCE. The most efficient animals had the higher fat scores. However, Keogh et al. (2015) also displayed the opposite effect for the FCE on the fat scores when the young bulls had a feed restriction during the fattening period. Another rearing factor considered in this model was the DMI. When the DMI increased by 2 kg DM/d, the young bulls were $1.21^2 = 1.46$ times more likely to have a fatter carcass. This result is in accordance with Sami et al. (2004), who observed an increase in the carcass fat score when the DMI increased. The last rearing factor considered in this model was the final weight with an OR near 1. By increasing the final weight by 50 kg, the young bulls were $1.003^{50} = 1.16$ times more likely to move to the superior cluster (here YB-fat-II). The small impact of the final weight in our model was in accordance with the study by Steen and Kilpatrick (1995), who also displayed very small increase in the fat score when the slaughter weight increased by 100 kg.

Both of the fat score prediction models appeared robust for both animal categories. The quality of the prediction of the fat score was better for the cull cows than for the young bulls with a better success rate and accuracy. However, the fatter cull cow carcasses from the C-fat-III cluster were more difficult to classify (sensitivity = 55.5%) with our model. Some other easily measurable rearing factors must be found to improve the discrimination of the fat score clusters defined in our model. Conversely, in the young bulls, the fat score model had a little more difficulty to correctly classify the animals from the YB-fat-II cluster. This cluster represented the young bulls with a fat score of 3 in the EUROP system, and this score is the main goal researched by the beef sector stakeholders. A carcass predicted to be in the YB-fat-I cluster but actually classified in the YB-fat-II cluster after slaughter will result in a larger pay to the farmer compared to the prevision by the

Table 8 Goodness of fit measures for the prediction models established with the cumulative logistic regression

Measure	Conformation young bull	
	Calibration	Validation
Success rate (%)	61.8	61.6
Sensitivity (%)		
Mean	44.6	46.2
YB-conf-A		15.8
YB-conf-B		83.3
YB-conf-C		39.5
Accuracy (%) ^a		
Mean	52.5	57.2
YB-conf-A		50.0
YB-conf-B		63.1
YB-conf-C		58.6

prediction model. In both of the prediction models, the DMI was the only common rearing factor considered. An increase in the DMI during the fattening period had the same effect in both of the animal categories; nevertheless, for the cull cows, the probability to move to the superior cluster was higher than for the young bulls. This difference between these animal categories could be explained by the fact that the young bulls are growing animals.

3.2. Conformation prediction models for the cull cows and the young bulls

For the cull cows, the rearing factors considered in the conformation prediction model were the NEI and initial weight (Table 6). The low difference between the AUC_{cal} and the AUC_{val} proved the robustness of this model (Table 7). This prediction model discriminated between the defined conformation clusters of the cull cows with high AUC_{val} , sensitivity and accuracy values. From the validation dataset, the cull cows from the defined 2 conformation clusters were relatively well classified with a success rate of 79.7%.

The NEI was considered in this model and if the NEI increased by 2.5 Mcal/d, the chance that the cull cows were classified in the superior cluster (here C-conf-B cluster) was $1.21^{2.5} = 1.61$. An increase in the NEI by the animal slightly improved the carcass conformation. To the best of our knowledge, there are not published studies analyzing the effect of this rearing factor on the conformation of cull cows. In steers, Keane et al. (2006) displayed that the conformation of the carcass was better when the NEI increased; nevertheless, this improvement was very low. The initial weight was the last rearing factor considered in this model (Table 6). Although the OR was near 1, with an increase of the initial weight by 50 kg, the chance that the cull cows moved to the superior cluster was $1.02^{50} = 2.69$. To the best of our knowledge, there are no data in the literature studying the impact of the initial weight on the carcass conformation of cull cows.

For the young bulls, the rearing factors considered in the conformation prediction model were the FCE, DMI and final weight. For the cumulative logistic regression method, two comparisons were realized, the first was between the YB-conf-C vs. the YB-conf-B clusters, and the second was between the YB-conf-B vs. the YB-conf-A clusters (Table 6). The success rate obtained from the calibration and the validation datasets were very similar (Table 8). This similarity indicates that this prediction model is robust. There were also few differences between the means of the sensitivity and accuracy calculated from the confusion matrix in the calibration and validation datasets. From the validation dataset, the sensitivity of each conformation cluster defined was very different. The conformation prediction model correctly classified most of the young bulls to the YB-conf-B cluster

with a sensitivity of 83.3%. However, only 15.8% and 39.5% of the young bulls from the YB-conf-A and YB-conf-C clusters were correctly classified, respectively. This model overestimated the young bulls with a carcass conformation scored R in the EUROP system and underestimated the better conformation (E⁻ and U⁺). Between the 3 conformation clusters defined in the young bulls, the accuracy varied less than the sensitivity (Table 8). The model was most accurate for the young bulls from the YB-conf-B cluster. The accuracy for the YB-conf-C cluster was close to that of the YB-conf-B cluster. The low percentages of accuracy displayed the low classification accuracy of this model. The conformation model in the young bulls had more difficulty correctly classifying the best carcass conformation.

The first rearing factor considered in this model was the FCE which had a very high OR (Table 6), preventing the young bulls from moving to the superior conformation cluster. With an increased FCE by 0.05 kg/kg MS, the young bulls were $(3.4 \times 10^6)^{0.05} = 2.12$ times more likely to change conformation clusters. An increase in the FCE improved the conformation of the carcass, and the young bulls had a greater chance of moving to the superior conformation cluster. Our results were not in accordance with the results of Barton et al. (2007) and Juniper et al. (2007), who did not display a significant impact of the FCE on the carcass conformation. These differences could be explained by the fact that, in these studies, the FCE was not the only rearing factor which varied. Interactions between the FCE and other rearing factors could explain these differences. Another rearing factor considered was the DMI; with an increase in DMI of 2 kg MS/d, the young bulls were $1.21^2 = 1.5$ times more likely to change conformation clusters. An increase of the DMI slightly improved the carcass conformation. These results are in accordance with those of Pesonen et al. (2013), who displayed an improvement in the carcass conformation by increasing the DMI, and of Sami et al. (2004), who displayed the same effect of the DMI on the conformation with a fattening period of 138 d. However, Sami et al. (2004) did not display an effect of the DMI on the conformation with a fattening period duration of 100 d. The last rearing factor considered in the model was the final weight. With an OR near 1, this rearing factor had little impact on the conformation. However, if the final weight increased by 50 kg, the chance that for the young bulls changed conformation clusters was $1.01^{50} = 1.6$. An increase of the final weight slightly improved the carcass conformation. Our results are in accordance with the results obtained by Steen and Kilpatrick (1995) and do Prado et al. (2015), who displayed a significant improvement of the carcass conformation when the slaughter weight increased.

Finally to improve, our prediction model, it would be interesting to consider the interactions between the rearing factors and other rearing factors to improve the discrimination between the conformation clusters.

The conformation prediction models were robust for both animal categories. The conformation model for the cull cows allowed a better discrimination than for the young bulls with a success rate in the validation dataset of 79.7% in the cull cows and 61.6% in the young bulls. In these 2 models, a common rearing factor was not considered. This suggests that the management of the carcass conformation during the fattening period must be specific for each animal category.

4. Conclusion

To conclude, with the proposed models, it was possible to predict the conformation and the fat score of the carcass from the rearing factors measured during the fattening period in the cull cows and the young bulls. The originality of this study is that the statistical method used allowed, for the first time the prediction of the fat score and the conformation clusters from rearing factors. The prediction models of the fat score and the conformation better discriminated the cull cows than the young bulls. This study displayed that, in the cull cows, some of the rearing factors having an impact just on the fat score of the carcass (fattening period duration, DMI and forages intake) or the carcass conformation (initial weight). Only the NEI was retained in both of the prediction models. For the young bulls, in both models, the same rearing factors were present (final weight, DMI and FCE). The proposed prediction models could be improved to better discriminate between the clusters, particularly in the young bulls, by considering other rearing factors that were absent in the used dataset. It will also be interesting to increase the number of animals in each class of fat score and subclass of conformation of the EUROP system to predict these different classes and refine the prediction of these carcass characteristics. Finally, these models will help farmers in the management of rearing practices during the fattening period to better reach the market expectations by foreseeing the potential carcass characteristics of their animals.

Acknowledgements

The authors thank the researchers who allowed us to use their data for this study and the database managers of the INRA Auvergne-Rhône-Alpes Centre.

References

- Aviles, C., Vinet, A., Saintilan, R., Picard, B., Oury, M.P., Dumont, R., Krauss, D., Maupetit, D., Renand, G., 2014. Relations génétiques entre qualités bouchères de vaches adultes et celles de taurillons en race bovine charolaise. Presented at the 15ème Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont-Ferrand, pp. 133–134.
- Aviles, C., Martinez, A.L., Domenech, V., Pena, F., 2015. Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. *Meat Sci.* 107, 94–103. doi:10.1016/j.meatsci.2015.04.016
- Barton, L., Kudrna, V., Bures, D., Zahradkova, R., Teslik, V., 2007. Performance and carcass quality of Czech Fleckvieh, Charolais and Charolais x Czech Fleckvieh bulls fed diets based on different types of silages. *Czech J. Anim. Sci.* 52, 269–276.
- Christensen, R.H.B., 2015. ordinal - Regression Models for Ordinal Data.
- Corazzin, M., Bovolenta, S., Sepulcri, A., Piasentier, E., 2012. Effect of whole linseed addition on meat production and quality of Italian Simmental and Holstein young bulls. *Meat Sci.* 90, 99–105. doi:10.1016/j.meatsci.2011.06.008
- Costa, P., Simoes, J.A., Costa, A.S.H., Lemos, J.P.C., Navas, D., Hocquette, J.F., Calkins, C.R., Bessa, R.J.B., 2015. Repercussions of growth path on carcass characteristics, meat colour and shear force in Alentejana bulls. *Animal* 9, 1414–1422. doi:10.1017/S1751731115000427
- De La Torre, A., Gruffat, D., Durand, D., Micol, D., Peyron, A., Scislowski, V., Bauchart, D., 2006. Factors influencing proportion and composition of CLA in beef. *Meat Sci.* 73, 258–268. doi:10.1016/j.meatsci.2005.11.025
- do Prado, I.N., Eiras, C.E., Fugita, C.A., Cortez Passeti, R.A., Ornaghi, M.G., Rivaroli, D.C., Pinto, A.A., Moletta, J.L., 2015. Animal Performance and Carcass Characteristics of Bulls (1/2 Puruna vs 1/2 Canchim) Slaughtered at 16 and 22 Months Old, and Three Different Weights. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28, 612–619. doi:10.5713/ajas.14.0793
- Dozias, D., Agabriel, J., Peccatte, J.R., Petit, M., 2006. Influence du profil de croissance des génisses des troupeaux allaitants sur leurs performances ultérieures. Presented at the Journées Nationales GTV, Dijon, pp. 145–154.
- 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.
- Dumont, R., Roux, M., Touraille, C., Agabriel, J., Micol, D., 1997. Engraissement des vaches de réforme de race Charolaise. Effet d'un apport de tourteau de lin sur les performances

- d'engraissement et les propriétés physico-chimiques et sensorielles de la viande. *INRA Prod. Anim.* 10, 163–174.
- EC, 2006. Concil Regulation (EC) No 1183/2006 of 24 July 2006 concerning the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. *Off. J. Eur. Union* 214, 1–6.
- Fiems, L.O., De Campeneere, S., Van Caelenbergh, W., De Boever, J.L., Vanacker, J.M., 2003. Carcass and meat quality in double-muscled Belgian Blue bulls and cows. *Meat Sci.* 63, 345–352. doi:10.1016/S0309-1740(02)00092-X
- Fox, J., Weisberg, S., 2011. *An R Companion to Applied Regression, Second Edition.* ed. Sage, Thousand Oaks CA.
- FranceAgriMer, 2015. Données et bilans. Les produits carnés, avicoles et laitiers. Viandes rouges, viandes blanches, produits laitiers. (Données statistiques 2014 France / Union Européenne / Monde), Les données statistiques de FranceAgriMer. FranceAgriMer, Montreuil, France.
- Franco, D., Bispo, E., Gonzalez, L., Antonio Vazquez, J., Moreno, T., 2009. Effect of finishing and ageing time on quality attributes of loin from the meat of Holstein-Fresian cull cows. *Meat Sci.* 83, 484–491. doi:10.1016/j.meatsci.2009.06.030
- French, P., O’Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J., Mooney, M.T., Troy, D.J., Moloney, A.P., 2001. The eating duality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Sci.* 57, 379–386. doi:10.1016/S0309-1740(00)00115-7
- Juniper, D.T., Bryant, M.J., Beever, D.E., Fisher, A.V., 2007. Effect of breed, gender, housing system and dietary crude protein content on performance of finishing beef cattle fed maize-silage-based diets. *Animal* 1, 771–779. doi:10.1017/S175173110770352X
- Jurie, C., Martin, J.F., Listrat, A., Jailler, R., Culioli, J., Picard, B., 2005. Effects of age and breed of beef bulls on growth parameters, carcass and muscle characteristics. *Anim. Sci.* 80, 257–263. doi:10.1079/ASC40710257
- Keady, T.W.J., Gordon, A.W., Moss, B.W., 2013. Effects of replacing grass silage with maize silages differing in inclusion level and maturity on the performance, meat quality and concentrate-sparing effect of beef cattle. *Animal* 7, 768–777. doi:10.1017/S1751731112002364
- Keane, M.G., Allen, P., 1998. Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 56, 203–214. doi:10.1016/S0301-6226(98)00155-9
- Keane, M.G., Drennan, M.J., Moloney, A.P., 2006. Comparison of supplementary concentrate levels with grass silage, separate or total mixed ration feeding, and duration of finishing in beef steers. *Livest. Sci.* 103, 169–180. doi:10.1016/j.livsci.2006.02.008

- Keogh, K., Waters, S.M., Kelly, A.K., Kenny, D.A., 2015. Feed restriction and subsequent realimentation in Holstein Friesian bulls: I. Effect on animal performance; muscle, fat, and linear body measurements; and slaughter characteristics. *J. Anim. Sci.* 93, 3578–3589. doi:10.2527/jas2014-8470
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P.B., Christensen, R.H.B., 2016. lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models. *R Package* 20-30.
- Leveziel, H., Amarger, V., Delourme, D., Julien, R., Renand, G., Jailler, R., Hocquette, J.F., 2002. Genes bovins et qualité des viandes-présentation du programme européen GemQual. *VIANDES Prod. CARNES* 22, 151–152.
- Marti, S., Realini, C.E., Bach, A., Perez-Juan, M., Devant, M., 2013. Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 91, 1129–1140. doi:10.2527/jas.2012-5717
- Micol, D., Berge, P., Dozias, D., Lepetit, J., Lienard, G., Picard, B., Renerre, M., Robelin, J., Touraille, C., Geay, Y., 1992. Effect of pregnancy and calving on muscle characteristics in cattle, in: *Growth and Meat Quality*. Presented at the 38th International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand.
- Micol, D., Bauchart, D., Jurie, C., Jailler, R., Picard, B., Agabriel, J., 2008. Utilisation de rations de valeur contrastée sur les caractéristiques des muscles de jeunes bovins de race blonde d'aquitaine. Presented at the 12e Journée des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande, Tours, pp. 181–182.
- Nakache, J.P., Confais, J., 2003. Modèle Logistique, in: *Statistique Explicative Appliquée*. pp. 77–168.
- Pesonen, M., Honkavaara, M., Kamarainen, H., Tolonen, T., Jaakkola, M., Virtanen, V., Huuskonen, A., 2013. Effects of concentrate level and rapeseed meal supplementation on performance, carcass characteristics, meat quality and valuable cuts of Hereford and Charolais bulls offered grass silage-barley-based rations. *Agric. Food Sci.* 22, 151–167.
- Pesonen, M., Huuskonen, A.K., 2015. Production, carcass characteristics and valuable cuts of beef breed bulls and heifers in Finnish beef cattle population. *Agric. Food Sci.* 24, 164–172.
- Picard, B., Jurie, C., Duris, M.P., Renand, G., 2006. Consequences of selection for higher growth rate on muscle fibre development in cattle. *Livest. Sci.* 102, 107–120. doi:10.1016/j.livsci.2005.12.001
- Picard, B., Gagaoua, M., Micol, D., Cassar-Malek, I., Hocquette, J.-F., Terlouw, C.E.M., 2014. Inverse Relationships between Biomarkers and Beef Tenderness According to Contractile and Metabolic Properties of the Muscle. *J. Agric. Food Chem.* 62, 9808–9818. doi:10.1021/jf501528s

- R core Team, 2015. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rakotomalala, R., 2014. Pratique de la Régression Logistique. Régression Logistique Binaire et Polytomique. Lyon.
- Sami, A.S., Augustini, C., Schwarz, F.J., 2004. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Sci.* 67, 195–201. doi:10.1016/j.meatsci.2003.10.006
- Sawyer, J.E., Mathis, C.P., Davis, B., 2004. Effects of feeding strategy and age on live animal performance, carcass characteristics, and economics of short-term feeding programs for culled beef cows. *J. Anim. Sci.* 82, 3646–3653. doi:/2004.82123646x
- Sepchat, B., Lherm, M., Agabriel, J., Micol, D., Cirie, C., Egal, D., Garcia-Launay, F., 2011. En production de taurillons Salers, la complémentation en concentré des broutards pénalise les performances zootechniques et économiques, l'apport supplémentaire de lait les améliore. *Rencontres Rech. Rumin.* 18, 221–224.
- Sing, T., Sander, O., Beerenwinkel, N., Lengauer, T., 2005. ROCr: visualizing classifier performance in R. *Bioinformatics* 21, 7881.
- Steen, R., Kilpatrick, D., 1995. Effects of Plane of Nutrition and Slaughter Weight on the Carcass Composition of Serially Slaughtered Bulls, Steers and Heifers of 3 Breed Crosses. *Livest. Prod. Sci.* 43, 205–213. doi:10.1016/0301-6226(95)00046-N
- Tille, Y., Matei, A., 2015. *sampling: Survey Sampling*. R Package Version 27.
- Tufféry, S., 2012. *Data mining et statistique décisionnelle. L'intelligence des données*, 4e édition. ed. Editions technip.
- Venables, W.N., Ripley, B.D., 2002. *Modern Applied Statistics with S*, Fourth Edition. ed. Springer, New York.
- Vestergaard, M., Madsen, N.T., Bligaard, H.B., Bredahl, L., Rasmussen, P.T., Andersen, H.R., 2007. Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Sci.* 76, 635–643. doi:10.1016/j.meatsci.2007.02.001
- Vinet, A., Krauss, D., Andre, C., Renand, G., 2008. Relations génétiques entre les capacités d'ingestion de taurillons, boeufs, génisses et vaches. Presented at the Rencontres Recherches Ruminants, Paris, France, pp. 267–270.

Conclusion

Ces 3 études ont mis en évidence qu'en fonction du type de race (viande vs rustique) ou d'animal (jeunes bovins vs vaches de réforme), les pratiques d'élevage appliquées durant la période de finition doivent être adaptées. En effet, en fonction de ces 2 facteurs (race et type d'animal), les facteurs d'élevage caractérisant la période de finition peuvent avoir des effets opposés sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle ou de la viande. De plus, au niveau de la carcasse, un même facteur d'élevage peut également avoir un effet opposé en fonction du paramètre à prédire, pour un même type d'animal. Il y a donc des compromis à définir sur les pratiques d'élevage mises en œuvre durant la phase de finition afin de ne pas favoriser des paramètres de la carcasse au détriment d'autres et ainsi obtenir une carcasse permettant la meilleure plus-value possible. A partir des modèles obtenus, nous observons que des compromis doivent être également réalisés afin de piloter conjointement les caractéristiques de la carcasse et de la viande. En effet, l'allongement d'une durée ou l'augmentation d'une quantité peuvent favoriser la carcasse au détriment de la viande. Enfin, la qualité des prédictions des modèles est plus faible pour les caractéristiques du muscle et de la viande par rapport à celles de la carcasse. Afin d'améliorer nos prédictions, nous avons fait le choix de considérer une période de vie de l'animal plus importante.

9 Etude de l'influence de la conduite d'élevage mise en œuvre tout au long de la vie de l'animal

L'étude bibliographique a montré que des pratiques d'élevage appliquées avant la période de finition peuvent avoir des répercussions sur les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande. Nous avons également vu dans la partie précédente avec les modèles de prédiction, qu'en considérant uniquement la période de finition, les propriétés du muscle et de la viande étaient faiblement expliquées par les facteurs d'élevage de cette période. Nous avons donc fait l'hypothèse qu'en étudiant les conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie des animaux, les propriétés de la carcasse et de la viande seraient davantage expliquées. Pour cela, une étude terrain en partenariat avec l'IGP Fleur d'Aubrac a été réalisée. Comme pour la partie concernant la période de finition, nous avons eu, dans un premier temps une approche explicative pour terminer sur l'élaboration de modèles de prédiction.

9.1 Comparaison des effets de différentes conduites d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande

Dans cette partie, l'objectif de notre étude était de caractériser des conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie de génisses Fleur d'Aubrac afin de mettre en évidence l'impact de ces différentes conduites sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Nous avons émis l'hypothèse que des différences au niveau des propriétés de la carcasse et de la viande apparaîtraient en fonction de la conduite d'élevage mise en œuvre tout au long de la vie de l'animal. Au niveau de la viande, nous avons uniquement travaillé sur la bavette de flanchet (RA). En plus, des avantages du RA présentés précédemment, nous avons choisi de travailler sur un seul muscle afin de pouvoir faire dans le temps imparti l'ensemble des analyses sur les échantillons avant le traitement des données.

Effect of overall farm management systems on the characteristics of the carcass and the *rectus abdominis* meat in heifers

SOULAT Julien¹ ; PICARD Brigitte¹ ; LEGER Stéphanie^{2,3} ; ELLIES-OURY Marie-Pierre^{1,4} and MONTEILS Valérie¹

1 UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

2 Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

3 CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

4 Bordeaux Science Agro, 1 cours du général de Gaulle, CS 40201, F-33175 Gradignan, France

Ce travail a été soumis à The Journal of Agricultural Science.

Résumé

L'objectif de cette étude était de prendre en compte l'ensemble des conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie de génisses afin d'observer leur impact sur les caractéristiques de la carcasse et les propriétés de la viande du *rectus abdominis* (RA). Dans cette étude, les conduites d'élevage appliquées à 96 génisses dans 8 exploitations ont été identifiées à l'aide d'enquêtes en élevage. L'ensemble de la vie des génisses a été défini selon 3 périodes clés : pré-sevrage, croissance et finition. A partir des pratiques d'élevage définies pour chaque période de la vie, ce travail s'est concentré sur l'étude de 4 conduites d'élevage. Les différentes conduites d'élevage étudiées ont un impact sur le poids, le rendement et la conformation de la carcasse, alors qu'elles n'ont pas d'impact sur les descripteurs sensoriels, la force de cisaillement ou la couleur de la viande du RA. Cette étude met en évidence qu'il est possible d'obtenir des carcasses plus lourdes, avec un rendement et une conformation plus élevés à partir de différentes conduites d'élevage sans modifier les propriétés de la viande.

Effect of overall farm management systems on the characteristics of the carcass and the *rectus abdominis* meat in heifers

Short title: Farm management effects on carcass and beef

Julien Soulat¹, Brigitte Picard¹, Stéphanie Léger^{2,3}, Marie-Pierre Ellies-Oury^{4,1}, Valérie Monteils¹

¹ *UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France*

² *Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France*

³ *CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France*

⁴ *Bordeaux Science Agro, 1 cours du Général de Gaulle, CS 40201, F-33175 Gradignan, France*

Correspondence: Valérie Monteils, UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France. (E-mail: valerie.monteils@vetagro-sup.fr)

Tel.: +33 4 73 98 13 45; fax: +33 4 73 98 13 80

VetAgro-Sup, BP 35, 89 Avenue de l'Europe, 63370 Lempdes, France.

ABSTRACT

The aim of this study was to consider all farm management systems that can be applied, during the full life cycle of heifers in order to observe their impact on carcass characteristics and *rectus abdominis* (RA) meat properties. For this study, all farm management systems applied by 8 farmers were identified by conducting surveys on 96 heifers. The full life cycle of the heifers was defined by 3 key periods: pre-weaning, growth and fattening. Based on the farm management systems defined for each key period, this study was focused on 4 overall farm management systems. The different management systems considered had an impact on the weight, the dressing percentage (dressing%) and the conformation of the carcass, whereas, they had no impact on the sensory descriptors, the shear force or the color of the RA meat. This study illustrated that it is possible to obtain carcasses with higher weight, conformation or dressing% through different overall rearing management systems without modifying the meat characteristics.

Keywords: *pre-weaning period, fattening period, growth period, meat sensory properties, farm surveys.*

INTRODUCTION

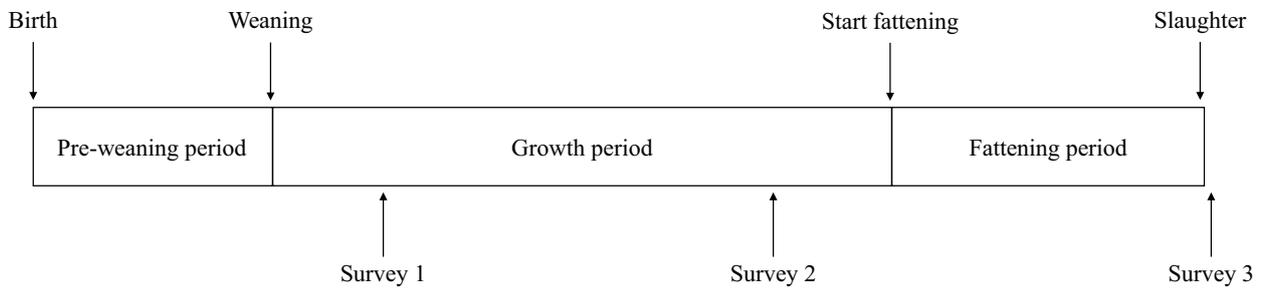
The characteristics of beef carcasses and meat are impacted by the animal type (sex and breed) (Chambaz *et al.* 2003; Bures & Barton 2012; Pesonen & Huuskonen 2015). Farm management systems were also shown to have an effect on these characteristics, with the fattening period (FP) identified as the main period of the life of the animal studied. The fattening period was mainly studied using experimental devices by controlling 1 or 2 rearing factors. The most frequent rearing factors studied during this period were the slaughter age (Muller *et al.* 1992; Ahnstrom *et al.* 2012; Bures & Barton 2012; Marti *et al.* 2013), the slaughter weight (McEwen *et al.* 2007; Lucero-Borja *et al.* 2014), the fattening duration (Matulis *et al.* 1987; Dumont *et al.* 1997; Vestergaard *et al.* 2007), the fattening diet (Zahradkova *et al.* 2010; Moloney & Drennan 2013; Aviles *et al.* 2015) and the fattening system i.e. period of grazing during the fattening period or only fattening in housing (Keane & Allen 1998; Cozzi *et al.* 2010; Moloney *et al.* 2011; Pordomingo *et al.* 2012). However, the farm management systems applied by the farmers are a complex combination of many rearing factors to achieve the properties of the carcasses expected by the target market and to maximize their value. Very few studies have analyzed the influence of farm management systems on the characteristics of the carcass and the beef during the fattening period or during the full life of the animal (Oury *et al.* 2007; Couvreur *et al.* 2013; Guerrero *et al.* 2013). These studies were based on survey data which provide access to information on many farm management systems. The aim of the present study was therefore to illustrate the effect of different farm management systems on the characteristics of the carcass and the sensory properties of the beef considering the full life of the animal. From the data obtained from rearing surveys, the key periods of the full life cycle (pre-weaning period, PWP; growth period, GP and fattening period) of the animals were characterized in order to determine the farm management systems. This study was undertaken using fixed post-slaughter conditions which are known to have an impact on the properties of the meat (Vieira *et al.* 2006; Ferguson & Warner 2008; Micol *et al.* 2011).

MATERIALS & METHODS

Animals and farms

The study was conducted on 96 heifers within the “Fleur d’Aubrac” French protected geographical indication (PGI) which is a quality beef sector with a design brief (Legifrance 2008). The cross Aubrac x Charolais heifers from 8 farms with a different number of animals per farm, born between December 2012 and May 2013, were studied. For analytical reasons, only the data of the heifers slaughtered between February 2015 and June 2016 were collected for this study.

Fig. 1. Distribution of the 3 farm surveys conducted over time and description of the 3 key rearing periods in the full life cycle of the heifers.



Identification of farm management systems by surveys

In order to characterize the farm management systems adopted during the full life cycle of the heifers (overall farm management system), 3 key periods were defined: the pre-weaning period, the growth period (period between weaning and start of fattening) and the fattening period. Three surveys per farm (Fig. 1), distributed over time, provided quantitative and qualitative data on the management systems applied by the farmers. The surveys were carried out by interviewing the farmers using questionnaires and establishing the batch management practices of the farmer (Ingrand & Dedieu 1996). The forage composition used in the fattening diet were collected from the farmer forage analyzes or analyzed by the French National Institute for Agricultural Research (INRA, France) at the Auvergne/Rhône-Alpes Research Center (Theix, France) and the concentrate compositions were obtained from the manufacturers. In our study, the forage and concentrate composition data used were the crude protein, net energy (NE) and neutral detergent fiber (NDF) contents. Hay was analyzed in laboratory by near-infrared spectroscopy (Andueza *et al.* 2016) while others types of forage were analyzed by means of numerous chemical methods (Aufrère & Michalet-Doreau 1983; Association of Official Analytical Chemists 1990; Van Soest *et al.* 1991).

Many rearing factors were identified to characterize each key rearing period during the heifers' life:

- Live weight (kg) of the animal at different times: birth weight, weaning weight, weight at the beginning of the fattening period (initial weight) and weight before slaughter (slaughter weight).
- Age of the animal (months) at different times: age at weaning, age at the beginning of the fattening period (age early fattening) and slaughter age.
- The common rearing factors between the 3 key rearing periods of the animal's life: the period duration (days), the grazing duration (days), the average daily gain (ADG, kg/d), the crude protein and the NE content in the average concentrate during the full period (concentrate crude protein content, g/kg DM, concentrate NE content, Mcal, respectively).
- The common rearing factors between the pre-weaning and growth period: the number of days when the animal received concentrates in their diet (concentrate duration, days).
- The common rearing factors between the growth and the fattening period: the concentrate quantity intake during the period per heifer (concentrate quantity intake, kg), the average proportion (%) of hay, grass silage and grass wrapping (hay, grass silage and grass wrapping, respectively) in the indoor diet for all period.
- The specific rearing factors for the pre-weaning period: age of the cow when the heifer was born (age of the cow, years), age of the cow when it had her first calf (age at the first

Table 1. Description of the rearing factors characterizing the pre-weaning period (where SD, Standard Deviation; ADG, Average Daily Gain; Duration_day_CC, Time spent per day by the calf with its mother during the housing; Tot_duration_CC, Total time spent by the calf with its mother; DM, Dry Matter; NE, Net Energy; Easy, Natural Calving; Help, Farmer Intervention; Bull-3y, 3-year-old bulls; Bull-+3y, Bull more than 3 years old belonging to the farmer; Bull-IA-CE, Insemination bull for calving ease; Bull-IA-EM, Insemination bull for early muscularity; Bull-IA-CE&EM, Insemination bull for calving ease and early muscularity)

Quantitative rearing factors	Mean	±	SD	Min	Max
Birth weight (kg)	42	±	4.2	28	53
ADG (kg/day)	1.0	±	0.1	0.6	1.3
Age of the cow (year)	6.9	±	2.9	2.6	14.3
Age at the first calving (month)	34.5	±	3.0	25.2	39.1
Duration_day_CC (hour/day)	11.9	±	11.3	0.3	24.0
Tot_duration_CC (day)	192.0	±	67.8	110.9	305.0
Concentrate duration (day)	81.4	±	61.5	0.0	236.0
Concentrate crude protein content (g/kg DM)	100.0	±	55.0	0.0	264.0
Concentrate NE content (Mcal)	0.8	±	0.5	0.0	1.9
Grazing duration (day)	140.3	±	23.6	107.0	174.0
Period duration (day)	253.9	±	34.9	119.0	306.0
Qualitative rearing factors		n			
Insemination type	Artificial	51			
	Natural	45			
Calving	Easy	75			
	Help	21			
	Bull-3y	33			
	Bull-+3y	26			
	Bull-IA-CE	12			
	Bull-IA-EM	11			
	Bull-IA-CE&EM	14			
Concentrate housing	Yes	85			
	No	11			
Concentrate grazing	Yes	20			
	No	76			

Table 2. Description of the rearing factors characterizing the growth period (where SD, Standard Deviation; ADG, Average Daily Gain; DM, Dry Matter; NE, Net Energy; Grass, > 75% of the grazing period with only grass; Grass & Hay, > 75% of the grazing period with grass and a hay complement)

Quantitative rearing factors	Mean	±	SD	Min	Max
Age at weaning (month)	8.5	±	1.1	5.2	10.1
Weaning weight (kg)	296	±	47	159	405
ADG (kg/day)	0.6	±	0.1	0.3	0.8
Concentrate duration (day)	206.4	±	118.1	51.0	407.0
Concentrate quantity intake (kg)	293.4	±	249.5	45.9	1267.6
Concentrate crude protein content (g/kg DM)	99.0	±	59.0	12.0	187.0
Concentrate NE content (Mcal)	0.9	±	0.5	0.2	1.9
Grazing duration (day)	272.5	±	51.1	197.0	349.0
Qualitative rearing factors		n			
Hay (%)	> 80%	23			
	[40%; 80%]	21			
	[20%; 40%]	36			
	< 20%	16			
Grass silage (%)	> 50%	28			
	< 50%	15			
	0%	53			
Grass wrapping (%)	> 60%	15			
	[40%; 60%]	15			
	< 40%	16			
	0%	50			
Period duration (day)	> 500 d	73			
	< 500 d	23			
Nature of grazing [†]	Grass	76			
	Grass & Hay	20			

Table 3. Description of the rearing factors characterizing the fattening period (where SD, Standard Deviation; ADG, Average Daily Gain; DM, Dry Matter; NDF, Neutral Detergent Fiber; NE, Net Energy)

Quantitative rearing factor	Mean	±	SD	Min	Max
Age early fattening (month)	26.9	±	2.6	20.4	30.3
Slaughter age (month)	33.0	±	3.0	26.6	41.0
Initial weight (kg)	607	±	56	448	779
Slaughter weight (kg)	734	±	62	590	873
ADG (kg/day)	0.7	±	0.3	0.2	2.4
Hay (%)	55.6	±	34.3	0.5	100.0
Grass silage (%)	22.5	±	23.0	0.0	82.8
Grass wrapping (%)	18.5	±	23.4	0.0	64.6
Forage crude protein content (g/kg DM)	106.0	±	31.0	14.0	145.0
Forage NE content (Mcal)	1.2	±	0.1	1.0	1.3
Forage NDF content (g/kg DM)	577.0	±	43.5	510.2	642.3
Concentrate quantity intake (kg)	823.1	±	486.0	97.3	1967.4
Concentrate NE content (Mcal)	1.9	±	0.1	1.6	2.0
Grazing duration (day)	50.4	±	74.0	0.0	199.0
Period duration (day)	207.4	±	125.9	47.0	605.0
Qualitative rearing factors		n			
Concentrate crude protein content (g/kg DM)	> 250 g/kg DM	25			
	< 250 g/kg DM	71			
Fattening system	Grazing	15			
	Outside	16			
	Grazing & housing	18			
	Housing	47			

- calving, months), time spent per day by the calf with its mother during the housing (duration-day-CC, hours), total time spent by the calf with its mother (tot-duration-CC, days), the calving type: natural calving (easy) or farmer intervention (help), the insemination type: artificial or natural, the bull type: 3-year-old bulls belonging to the farmer (bull-3y), bull more than 3 years old belonging to the farmer (bull-+3y), insemination bull for calving ease (bull-IA-CE), insemination bull for early muscularity (bull-IA-EM) and insemination bull for calving ease and early muscularity (bull-IA-CE&EM), and the distribution of concentrate during housing and during grazing (concentrate housing and concentrate grazing, respectively).
- The specific rearing factor for the growth period was the nature of the grazing: > 75% of the grazing period with only grass (grass) or > 75% of the grazing period with grass and a hay complement (grass & hay).
- The specific rearing factors for the fattening period: the crude protein, EN and NDF content in the average forage (hay + grass silage + grass wrapping) during the full period (forage crude protein content (g/kg DM), forage NE content (Mcal) and forage NDF content (g/kg DM), respectively) and the fattening system: only grazing (pasture), finishing outside without grass (outside), grazing period followed by housing period (grazing & housing) or only housing (housing).

All these rearing factors used to characterize each of the three periods studied were presented in Table 1, 2 and 3, respectively.

Animal slaughtering, carcass data and muscle sampling

All heifers were slaughtered in the same industrial slaughterhouse (Abattoir du Gévaudan, Antrenas, France), which is the only official slaughterhouse for the “Fleur d’Aubrac” PGI. This ensured standardized conditions for slaughtering, chilling and storing procedures.

After slaughter, the cold carcasses were weighed before, the conformation and the fat score were evaluated by an official judge in accordance with the EUROP grid system (EC 2006). The EUROP system is applied in France with conformation divided into 5 classes: E (extremely muscled), U, R, O and P (very poorly muscled). Each class of conformation was divided into 3 sub-categories using “+” (high), “=” (average), and “-” (low), such that, conformation was divided into a total of 15 subclasses. A scale ranging from 1 (very poorly muscled) to 15 (extremely muscled) corresponding to each conformation sub-categories was considered. In this study, all carcasses had an identical fat score. Consequently, this property of the carcasses was not studied. The dressing percentage of the

carcass was calculated (dressing% = ratio of cold carcass weight to live weight before slaughter ratio as a %).

Of the 96 heifers slaughtered, only 77 carcasses had the full *rectus abdominis* (RA) muscle which was removed from the right-hand side of the carcass for organizational aspects of the meat samples analyses. The RA muscles were removed 24 h *post mortem*, for color, sensory properties and shear force measurement.

Characterization of RA samples

The color was measured using a spectrophotometer (Konica Minolta CM-600d, Osaka, Japan) expressed in CIE L*a*b* units, 2 hours after excision from the carcass on the fresh RA samples (Commission International de l'Eclairage 1986). To characterize the color of the whole RA muscle, 5 measures per RA muscle were taken.

The RA muscles were then weighted and were vacuum-packaged and chilled for 14 days at 4°C for ageing. After ageing, the meat was frozen at -20°C until the analyses.

The sensory evaluation of the meat was conducted by 16 members of a trained tasting panel. The aim of the sensory evaluation was to classify the meat descriptors of the 77 heifers by means of a monadic test. The members of the tasting panel had attended 15 training sessions before starting the sensory evaluation of the meat samples' study. The samples were selected at random, avoiding meat samples from the same farm and different frozen durations. Before the tasting session, the meat samples were thawed for 24 hours at 4°C and cut into 2 sub-samples: the first for the sensory evaluation and the second for the shear force measurement. The meat samples used for the sensory evaluation were cut into even, 15 mm thick steaks. These steaks were cooked in a double-face grill at a temperature of 300°C during 1 min 45 seconds in aluminum foil to remove the roasted taste (i.e. up to an internal temperature of 55°C). After cooking, the steaks were cut into 20 mm cubes that were served in batches of 3 or 4 on a plastic plate to the trained panel. During each tasting session, 5 samples were evaluated by the trained panel in accordance with the defined sample presentation plan.

Six sensory descriptors were evaluated by the panelists: initial tenderness, overall tenderness, overall juiciness, flavor intensity, fat presence and overall appreciation. Initial tenderness was defined as the tenderness at the first bite whereas overall tenderness was defined as an evaluation of the tenderness before swallowing the meat sample. Each sensory descriptor was rated on a 10-point

non-graduated scale with a score of 0 (tough, dry, slight, too lean and highly disliked) and a score of 10 (very tender, very juicy, strong, highly fat and highly liked).

The shear force was measured according to the method described by Salé (Salé 1971) on raw meat using material testing equipment (MTS Synergie 200). Per sample, 25 meat portions with different thicknesses (max 18 mm) were cut perpendicular to the fibers. From the different measures obtained the force (daN) and the work (dJ) at 10 mm were determined. The shear force was then calculated (ratio of work to force, dJ/daN).

Statistical analyses

The statistical analyses were performed using R 3.2.3 (R core Team 2016).

After a descriptive analysis of the dataset, some quantitative parameters characterizing the rearing practices were converted into qualitative parameters because these parameters were discontinuous with few values. The graph distribution of the data for these parameters allowed them to be grouped into homogeneous modality classes that could be processed statistically. These parameters were hay, grass silage, grass wrapping for the growth period and period duration and the concentrate crude protein content for the fattening period.

According to the rearing factors applied, the 3 key periods of life of the heifers were defined in the dataset by different active quantitative or qualitative rearing factors (Tables 1, 2 and 3). To characterize the farm management system applied during each key period of rearing, clusters were constructed using a factor analysis for mixed data (FAMD) which simultaneously considers the quantitative and qualitative variables, followed by a hierarchical clustering on principal components (HCPC). The FAMD and HCPC were implemented using the “FactoMineR” package (Husson *et al.* 2015) in R. An analysis of variance (ANOVA) and χ^2 test were then conducted for each quantitative and qualitative rearing factor respectively in order to evaluate the dependence of the rearing factors on the clusters for each key rearing period. If there was a significant difference in ANOVA, a *post hoc* analysis designed, to compare the average pairwise, with a Tuckey test was conducted using the “agricolae” package in R (de Mendiburu 2016).

Cluster combinations between the 3 key rearing periods (cluster from the pre-weaning period x cluster from the growth period x cluster from the fattening period) served to characterize the overall farm management systems applied during the full life cycle of the heifers. Only management systems with at least 8 heifers for carcass and meat data were considered in the following study. In the ANOVA, the fixed effect of the farm was tested on all parameters characterizing the carcass and

Table 4. Description of the 3 clusters of farm managements obtained for the pre-weaning period (PWP) (where SD, Standard Deviation; ADG, Average Daily Gain; Duration_day_CC, Time spent per day by the calf with its mother during the housing; Tot_duration_CC, Total time spent by the calf with its mother; DM, Dry Matter; NE, Net Energy; Easy, Natural Calving; Help, Farmer Intervention)

	Clust PWP-1			Clust PWP-2			Clust PWP-3			
	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	P value
Quantitative rearing factors	37			39			20			
Birth weight (kg)		42	± 4		41	± 4		41	± 5	0.80
ADG (kg/day)		0.9 ^b	± 0.2		1.1 ^a	± 0.1		1.0 ^a	± 0.1	< 0.001
Age of the cow (year)		7.5	± 3.2		6.0	± 2.3		7.5	± 3.0	0.04
Age at the first calving (month)		33.7	± 3.3		34.9	± 2.8		35.2	± 2.4	0.09
Duration_day_CC (hour/day)		22.8 ^a	± 1.6		4.1 ^b	± 8.6		7.2 ^b	± 10.4	< 0.001
Tot_duration_CC (day)		252.6 ^a	± 38.2		144.3 ^b	± 44.0		173.0 ^b	± 64.5	< 0.001
Concentrate duration (day)		53.6 ^b	± 36.0		71.3 ^b	± 41.6		152.4 ^a	± 77.5	< 0.001
Concentrate crude protein content (g/kg DM)		64.0 ^c	± 41.0		93.0 ^b	± 18.0		178.0 ^a	± 46.0	< 0.001
Concentrate NE content (Mcal)		0.5 ^c	± 0.3		0.8 ^b	± 0.2		1.5 ^a	± 0.3	< 0.001
Grazing duration (day)		163.0 ^a	± 14.7		122.0 ^c	± 11.2		133.9 ^b	± 19.5	< 0.001
Period duration (day)		257.6	± 39		251.3	± 28.4		252.1	± 39.4	0.72
Qualitative rearing factors										
Calving	Easy	86.5%			66.7%			85.0%		
	Help	13.5%			33.3%			15.0%		
Concentrate housing	Yes	81.1%			100%			80.0%		0.01
	No	18.9%			0%			20.0%		
Concentrate grazing	Yes	0%			0%			100%		< 0.001
	No	100%			100%			0%		

^{a,b,c} Values on the same line which had different letter were significantly different ($\alpha = 5\%$).

the meat. If the effect of the farm was significant, the farm was considered in random effect for the analysis. For each sensory parameter of the RA muscle, the score given by each member of a trained tasting panel was used in the analysis. The fixed effect of the member of the trained tasting panel and the effect of the animal were tested in the ANOVA, if they were significant, these factors were made in random effect. An ANOVA was conducted on the parameters characterizing the carcass and the meat when there was not random effect. For the analyses with random effect, mixed models were developed using the “lmerTest” package (Kuznetsova *et al.* 2016) in R. If the mixed models were significant, a *post hoc* Tuckey tests was conducted to compare the average pairwise, for the mixed models using the package “multcomp” (Hothorn *et al.* 2008) in R.

RESULTS

Characterization of the farm management systems

After the HCPC, 3 different clusters were defined for each key period of rearing (pre-weaning period, growth period and fattening period).

Description of the 3 clusters obtained for the pre-weaning period

In cluster PWP-1 (n = 37), the calves had an ADG significantly lower than both other clusters (Table 4). This cluster was also characterized by a longer grazing duration. The concentrate crude protein and NE contents were lower than the other clusters. During the housing, the feed system was free for all calves present in this cluster (duration-day-CC was longer than both other clusters). The calves were permanently with their mothers. Finally, not all calves had concentrates during the grazing period.

Cluster PWP-2 (n = 39) was characterized by a shorter grazing duration than both other clusters. The concentrate crude protein and NE contents were moderate in relation to both other clusters. In this cluster, all calves only received concentrates during the housing period. Finally, in this cluster, 66.7% of the calves had an easy calving (Table 4). However, the majority of the calves with a help calving were in this cluster.

Cluster PWP-3 (n = 20) was characterized by a longer concentrate duration and a moderate grazing duration (with a concentrate complement for all calves) in relation to both other clusters. Moreover,

Table 5. Description of the 3 clusters of the farm managements obtained for the growth period (GP) (where SD, Standard Deviation; ADG, Average Daily Gain; DM, Dry Matter; NE, Net Energy; Grass & Hay, > 75% of the grazing period with only grass; Grass & Hay, > 75% of the grazing period with grass and a hay complement)

	Clust GP-1			Clust GP-2			Clust GP-3			P value
	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	
n			21			46			29	
Quantitative rearing factors										
Age at weaning (month)	8.5	± 1.4		8.5	± 0.7		8.3	± 1.3		0.75
Weaning weight (kg)	260 ^b	± 53		311 ^a	± 29		299 ^a	± 52		<0.001
ADG (kg/day)	0.6	± 0.1		0.5	± 0.1		0.7	± 0.1		0.60
Concentrate duration (day)	133.0 ^b	± 0.0		150.9 ^b	± 80.4		347.6 ^a	± 84.7		<0.001
Concentrate quantity intake (kg)	166.3 ^b	± 0.0		140.0 ^b	± 95.2		628.7 ^a	± 190.5		<0.001
Concentrate crude proteins content (g/kg DM)	44.4 ^c	± 0.0		95.6 ^b	± 56.2		145.6 ^a	± 48.1		<0.001
Concentrate NE content (Mcal)	0.5 ^b	± 0.0		0.6 ^b	± 0.3		1.5 ^a	± 0.4		<0.001
Grazing duration (day)	349.0 ^a	± 0.0		241.3 ^c	± 24.8		266.4 ^b	± 33.2		<0.001
Qualitative rearing factors										
Hay (%)			> 80%			50.0%				0%
			[40% ; 80%]			32.6%				20.7%
			[20% ; 40%]			17.4%				24.1%
			< 20%			0%				55.2%
Grass silage (%)			> 50%			0%				24.1%
			< 50%			13.0%				31.0%
			0%			87.0%				44.9%
			> 60%			4.4%				44.8%
			[40% ; 60%]			32.6%				0%
			< 40%			13.0%				34.5%
Grass wrapping (%)			0%			50.0%				20.7%
			> 500 d			50.0%				100%
			< 500 d			50.0%				0%
Period duration (day)			Grass			100%				100%
			Grass & Hay			0%				0%

^{a,b,c} Values on the same line which had different letter were significantly different ($\alpha = 5\%$).

the concentrate crude protein and NE contents were significantly higher than the other 2 clusters. The ADG of the calves from clusters PWP-2 and PWP-3 was higher than the ADG of the calves from cluster PWP-1. In clusters PWP-2 and PWP-3, the farmers implemented an accompanied feed system (short duration-day-CC during housing).

Description of the 3 clusters obtained for the growth period

In cluster GP-1 (n = 21), the heifers had a weaning weight significantly lower than both other clusters (Table 5). This cluster was also characterized by a longer grazing duration and a lower concentrate duration. The concentrate crude protein content was lower than the both other clusters. During all the housing of the growth period, all heifers received an average a diet consisting of hay (between 20% and 40%) and grass silage (> 50%). For the heifers present in this cluster the growth period duration was more than 500 days. During the full grazing duration in the growth period, 95·2% of the heifers present in this cluster also received hay.

Cluster GP-2 (n = 46) was characterized by a significantly shorter grazing duration than both other clusters and, as for cluster GP-1, the concentrate duration and the concentrate quantity intake were lower than cluster GP-3. During the full housing period in the growth period, 82·6% of the heifers received an average diet consisting mostly of hay (> 80% or between 40% and 80%) and 32·6% of the heifers also received grass wrapping (between 40% and 60%). Then, 87·0% of the heifers had no grass silage in their diet. During the full grazing duration in the GP, the grazing was not supplemented with hay.

Cluster GP-3 (n = 29) was characterized by a longer concentrate duration and a higher concentrate quantity intake than both other clusters. The concentrate crude protein and NE contents were significantly higher than both other clusters. The duration of the growth period was longer than 500 days. During the full grazing duration in the growth period, the grazing was not supplemented with hay.

Description of the 3 clusters obtained for the fattening period

In cluster FP-1 (n = 20), the heifers had a longer fattening period and were slaughtered at a younger age than in both other clusters (Table 6). As with cluster FP-2, the ADG of this cluster was higher.

Table 6. Description of the 3 clusters of the farm managements obtained for the fattening period (FP) (where SD, Standard Deviation; ADG, Average Daily Gain; DM, Dry Matter; NDF, Neutral Detergent Fiber; NE, Net Energy)

	Clust FP-1			Clust FP-2			Clust FP-3			P value
	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	
Quantitative rearing factors			20			21			49	
Age early fattening (month)	23.9 ^b	± 2.1		28.2 ^a	± 0.8		28.7 ^a	± 1.4		< 0.001
Slaughter age (month)	30.7 ^b	± 2.4		34.5 ^a	± 2.9		33.3 ^a	± 2.0		< 0.001
Initial weight (kg)	585 ^b	± 66		621 ^a	± 47		613 ^{ab}	± 46		0.02
Slaughter weight (kg)	745 ^a	± 41		747 ^a	± 68		691 ^b	± 58		0.001
ADG (kg/day)	0.8 ^a	± 0.3		0.7 ^{ab}	± 0.4		0.5 ^b	± 0.2		0.01
Hay (%)	36.9 ^b	± 23.7		87.8 ^a	± 14.9		18.3 ^c	± 0.8		< 0.001
Grass silage (%)	20.4 ^b	± 12.9		9.3 ^c	± 13.2		52.7 ^a	± 23.6		< 0.001
Grass wrapping (%)	36.5 ^a	± 23.6		0.7 ^b	± 4.6		27.4 ^a	± 20.3		< 0.001
Forage crude protein content (g/kg DM)	108.0 ^b	± 5.0		88.0 ^c	± 36.0		139.0 ^a	± 5.0		< 0.001
Forage NE content (Mcal)	1.2	± 0.1		1.2	± 0.1		1.2	± 0.1		0.10
Forage NDF content (g/kg DM)	579.5 ^b	± 28.7		606.6 ^a	± 26.1		512.5 ^c	± 1.5		< 0.001
Concentrate quantity intake (kg)	954.4 ^a	± 539.9		970.2 ^a	± 383.1		321.6 ^b	± 153.2		< 0.001
Concentrate NE content (Mcal)	1.9 ^b	± 0.1		1.9 ^a	± 0.0		1.9 ^a	± 0.0		< 0.001
Period duration (day)	273.8 ^a	± 168.9		192.3 ^b	± 84.8		137.0 ^b	± 57.5		< 0.001
Grazing duration (day)	0.0 ^c	± 0.0		57.3 ^b	± 88.5		113.3 ^a	± 34.6		< 0.001
Qualitative rearing factors										
Concentrate crude protein content (g/kg DM)			> 250 g/kg DM	78.1%			0%			< 0.001
			< 250 g/kg DM	21.9%			100%			
			Grazing	0%			9.3%			52.4%
			Outside	0%			34.9%			4.8%
			Grazing & housing	0%			20.9%			42.8%
			Housing	100%			34.9%			0%
Fattening system										< 0.001

^{a,b,c} Values on the same line which had different letter were significantly different ($\alpha = 5\%$).

Table 7. Description of the overall farm management systems obtained, which were the cluster combinations between the 3 key rearing periods in the full life cycle of the heifers (where PWP, Pre-Weaning Period; GP, Growth Period; FP, Fattening Period)

Overall rearing management systems	Key period rearing			Number of heifers	
	PWP	GP	FP	Carcass data	Beef meat data
A	PWP-1	GP-1	FP-3	19	18
B	PWP-1	GP-2	FP-2	1	1
C	PWP-1	GP-3	FP-1	6	6
D	PWP-1	GP-3	FP-2	11	8
E	PWP-2	GP-2	FP-1	19	12
F	PWP-2	GP-2	FP-2	13	10
G	PWP-2	GP-3	FP-1	1	1
H	PWP-2	GP-3	FP-2	6	4
I	PWP-3	GP-1	FP-3	2	2
J	PWP-3	GP-2	FP-1	6	6
K	PWP-3	GP-2	FP-2	7	6
L	PWP-3	GP-3	FP-2	5	3

The heifers started their fattening period younger and lighter than in both other clusters. The fattening diet dispensed on average consisted of 36·9% hay, 36·5% grass wrapping and 20·4% grass silage. The forage crude protein and NDF contents were moderate compared to both other clusters. The concentrate quantity intake was higher than cluster 3 but it was no different from cluster FP-2. In this cluster FP-1, the concentrate NE content was higher than both other clusters and the concentrate crude protein content was more than 40 g/kg for 78·1% of the heifers in this cluster. Finally, the fattening system was 100% housing.

Cluster FP-2 (n = 21) was characterized by an initial weight higher than cluster FP-1. Like the heifers from cluster FP-3, these heifers were slaughtered at an older age than cluster FP-1. The fattening diet mostly consisted of hay (87·8%). Grass silage and grass wrapping in the diet were lower than both other clusters at 9·3% and 0·7% respectively. The forage crude protein and NDF contents were lower and higher, respectively, than both other clusters. All heifers received a concentrate crude protein content of less than 250 g/kg. The primary fattening systems were housing (34·9%) and outside (34·9%).

In cluster FP-3 (n = 49), the heifers had a significantly lower ADG than cluster FP-1 and had a lower slaughter weight than both other clusters. The heifers started their fattening at an older age. The fattening diet dispensed mostly consisted of a higher proportion of grass silage (52·7%) and a lower proportion of hay (18·3%) than both other clusters. The forage crude protein and NDF contents were higher and lower, respectively, than the both other clusters. The concentrate quantity intake was lower than the both other clusters. As with cluster FP-2, the fattening duration was shorter than cluster FP-1. However, the heifers had a longer grazing duration than both other clusters. The concentrate crude protein content was under 250 g/kg for all heifers. Finally, the primary fattening systems were: grazing (52·4%) and grazing & housing (42·8%).

Description of the overall farm management systems and their impact on the carcass and beef characteristics

The combination of the 3 clusters defined per key rearing period allowed us to establish 12 different overall farm management systems (Table 7). For the rest of the study, only management systems A, D, E and F were considered in order to have at least 8 heifers for the carcass and the beef data.

Table 8. Impact of the overall farm management systems on carcass characteristics (where SD, Standard Deviation)

	Overall rearing management systems														
	All		A		D		E		F						
	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	P value		
	62			19			11			19			13		
Carcass weight (kg)	422	± 41		393 ^b	± 36		422 ^{ab}	± 46		435 ^a	± 21		446 ^a	± 43	<0.001
Dressing% (%)	58.3	± 1.7		57.3 ^b	± 1.6		59.1 ^a	± 2.2		58.6 ^{ab}	± 1.3		58.5 ^{ab}	± 1.3	0.01
Conformation (scale 1-15)	10.9	± 0.9		10.3 ^b	± 0.9		10.8 ^{ab}	± 0.9		11.3 ^a	± 0.6		11.2 ^a	± 0.8	0.002
Conformation (per EUROP class)															
E ⁻	1			0			0			1			0		
U ⁺	14			1			3			4			6		
U ⁼	28			8			3			13			4		
U ⁻	15			6			5			1			3		
R ⁺	4			4			0			0			0		

^{a,b,c} Values on the same line which had different letter were significantly different ($\alpha = 5\%$).

Farm management systems E and F exhibited the same rearing managements before the fattening period. Management systems D and F adopted the same rearing management during the fattening period. Management system A and D had only the pre-weaning period in common. Management systems A and D were mostly characterized by a lower ADG than management systems E and F during the pre-weaning period, then, during the following period, the heifers ingested higher quantities of concentrate. However, the heifers in management systems E and F only ingested higher concentrate quantities during the fattening period. The heifers from the management system E had a longer fattening duration and were slaughtered at a younger age than the others. During the same period, the heifers from management systems D and F received more hay in the fattening diet. Management system A exhibited with the longest grazing duration over the full life cycle. The heifers from management system A enjoyed a longer grazing duration, received a lower concentrate intake during the fattening period and were lighter when slaughtered compared to the 3 other management systems. The heifers from the management systems A, D and F were slaughtered at the same age.

Impact of the overall farm management systems on carcass characteristics

Overall farm management systems E and F produced heavier and higher conformation carcasses than management system A (Table 8). The management system D produced carcasses with a weight and a conformation which were no significantly than both management systems E and F. This difference, between these management systems (E and F vs A), could be explained by the distribution of the different conformation classes according to the EUROP grid. In management system A, the conformation of the carcasses was mostly U⁻, although, carcasses with R⁺ conformation (21%) were also obtained. In this management system, over half of the carcass conformations (52.6%) were U⁻ and R⁺. In contrast, no carcasses with R⁺ conformation were obtained in the management system E. Management system E primarily produced carcasses with U⁻ conformation (68.4%), although 26.3% of the carcasses were conformed U⁺ and E⁻. Management system F produced mostly carcasses with U⁺ and U⁼ conformations (46.1% and 30.8%, respectively). The carcasses from the overall farm management system D improved the dressing% of carcasses in comparison to overall farm management system A while no differences of this carcass characteristic were observed between the management systems D, E and F.

Table 9. Impact of the overall farm management systems on *rectus abdominis* (RA) meat properties (where SD, Standard Deviation)

	Overall rearing management systems															
	All		A		D		E		F							
	n	Mean	± SD	18	Mean	± SD	8	Mean	± SD	12	Mean	± SD	10	Mean	± SD	P value
RA weight (kg)	49	1.5	± 0.2	1.4	± 0.2	1.5	± 0.2	1.6	± 0.2	1.7	± 0.2	1.7	± 0.2	0.35		
Sensory analysis of RA muscle (scale 0-10)*																
Initial tenderness		6.3	± 1.9	6.4	± 1.9	6.2	± 1.9	6.2	± 1.7	6.2	± 1.7	6.2	± 1.9	0.90		
Overall tenderness		6.0	± 1.9	6.2	± 2.0	6.0	± 1.9	5.9	± 1.8	5.9	± 1.8	5.9	± 1.9	0.89		
Overall juiciness		6.5	± 1.7	6.5	± 1.7	6.4	± 1.6	6.6	± 1.7	6.6	± 1.7	6.7	± 1.7	0.47		
Flavor intensity		4.5	± 2.3	4.6	± 2.3	4.7	± 2.4	4.5	± 2.3	4.5	± 2.3	4.3	± 2.2	0.48		
Fat presence		7.5	± 2.3	7.5	± 2.3	7.8	± 2.3	7.5	± 2.4	7.5	± 2.4	7.5	± 2.2	0.68		
Overall appreciation		6.4	± 1.7	6.5	± 1.6	6.6	± 1.7	6.2	± 1.8	6.2	± 1.8	1.7	± 1.6	0.42		
Shear force (dJ/daN)		0.5	± 0.1	0.5	± 0.1	0.5	± 0.1	0.5	± 0.1	0.5	± 0.1	0.5	± 0.1	0.24		
Color																
L*		26.4	± 2.8	26.3	± 2.5	27.9	± 3.4	26.8	± 2.7	25.1	± 2.9	0.20				
a*		14.8	± 2.4	15.0	± 2.4	13.9	± 2.0	15.4	± 2.1	14.4	± 3.1	0.50				
b*		10.9	± 2.8	11.6	± 3.1	10.2	± 2.0	10.3	± 1.6	10.7	± 3.9	0.52				

* Scale for initial tenderness, overall tenderness, overall juiciness, flavor intensity, fat presence and overall appreciation: 0 = tough, dry, slight, too lean and highly disliked and 10 = very tender, juicy, strong, highly fat and highly liked.

Impact of the overall farm management systems on RA meat characteristics

The 4 overall farm management systems considered did not display significant differences for RA meat, be it in terms of RA weight, all sensory descriptors, shear force or color (Table 9). Consequently, in light of the different farm management systems considered, similar characteristics of RA meat were obtained, although differences were observed for carcass characteristics.

DISCUSSION

Carcass characteristics

Concerning the carcass characteristics, the results of this study match those of Hennessy and Morris (2003) and Greenwood *et al.* (2009) illustrating that animals with faster growth during the pre-weaning period were slaughtered with a heavier carcass weight when the growth and fattening periods were similar. Although the farm management systems implemented during the pre-weaning period were different between management system D and systems E and F, the carcass weights were not significantly different. The farm management systems applied during the growth and fattening periods could minimize the effect of the farm management systems applied before weaning. To the best of our knowledge, the effect of rearing factors before weaning on conformation and dressing% had not previously been studied in cattle.

During the growth period, Guerrero *et al.* (2013) did not observe any significant impact of farm management systems (intensive and extensive) on carcass characteristics (carcass weight, dressing% and conformation) in young bulls with the same fattening system. The absence of significant differences observed for carcass characteristics between the management systems D and F is in accordance with these results. The fattening period could mitigate the rearing effect of the growth period on the carcass characteristics. During the fattening period, the heifers from management system E were slaughtered at a younger age than in other management systems. In the literature, the fattening period was the most frequently studied period and many rearing factors were known to influence carcass characteristics. Our result disagrees with the results of many studies which displayed that the heifers slaughtered at an older age were heavier (Ahnstrom *et al.* 2012; Bures & Barton 2012). The heavier carcass from management system E could be explained by a longer fattening period. This result agrees with many studies indicating an increase in the carcass weight of cull cows with an extension of the fattening period duration (Dumont *et al.* 1997; Vestergaard *et al.* 2007; Sugimoto *et al.* 2012). However, the management systems D and F, with a shorter fattening duration, obtained a similar carcass weight than management system E. In our study, the heifers which had a higher concentrate quantity intake during the fattening period also

produced heavier carcasses. This result confirms the results found by Cooke *et al.* (2004) in heifers. However, carcass weights were not significantly different between management systems A and D, despite the fact that the concentrate quantity intake in management system A was lower. Although management systems D and F had a higher hay content in the fattening diet than management system E, the composition of the diet for the same concentrate quantity intake had no impact on carcass weight. This result is in accordance with many studies which did not find evidence for an impact of the fattening diet composition on carcass weight, in the young bulls (Barton *et al.* 2007; Aviles *et al.* 2015). Furthermore, management system A involved a grazing period that lasted for all or a part of the fattening period. The fattening systems adopted in management system A produced lighter carcasses than the other management systems. This result confirms the results of Keane and Allen (1998) and Neel *et al.* (2007) who observed lighter carcass in steers from the fattening systems involving grazing. The long grazing period of heifers, before fattening in management system A could therefore increase the observed carcass weight differences. However, in our study, it was difficult to explain the carcass weight obtained considering only one rearing factor.

The dressing% of the carcasses from management systems E and D were not significantly different although the slaughter ages were different. This result disagrees with the results of many studies which observed a higher dressing% when the young bulls were slaughtered at an older age (Aydin *et al.* 2013; Marti *et al.* 2013). However, for a similar slaughter age, the carcasses from management systems A and D demonstrated a significantly different dressing%. According to our results, a longer fattening period duration had no impact on the dressing%. This result disagrees with the results of many studies indicating an increase in the dressing% when the fattening duration was longer (Vestergaard *et al.* 2007; Sugimoto *et al.* 2012). The dressing% was higher for carcasses from management system D than for those from system A. In management system A, the heifers were slaughtered at a lighter weight than in system D. This result confirms the results of McEwen *et al.* (2007) who observed an increase in the dressing% when steers were slaughtered at a heavier weight. However, although the heifers were heavier when slaughtered in management systems E and F compared to the management system A, the dressing% of the carcasses from these 3 management systems were not significantly different. This result illustrated that the variation in the dressing% was not explained only by the variation in the animal's weight in our study. In contrast to the results of Price *et al.* (1980) for young bulls and steers, the combination of a higher hay proportion in the fattening diet and heavier slaughter weight did not lead to lower dressing% in our study. As demonstrated in many studies, the fattening diet composition had no impact on the dressing% (Cooke *et al.* 2004; Barton *et al.* 2007; Hernandez-Calva *et al.* 2011; Keady *et al.* 2013). These published results could explain the few differences observed between the 4 management systems

considered. Finally, the carcasses from management system A had a lower dressing%. As with carcass weight, the fattening system involving a grazing period could explain this difference compared to the other management systems considered. This observation agrees with the results of Keane and Allen (1998) and Neel *et al.* (2007).

In our study, the heifers slaughtered at a younger age had a similar conformation to those slaughtered at an older age. This result complies with the studies of Ahnstrom *et al.* (2012) and Bures and Barton (2012). However, with a similar slaughter age, the carcasses from management system A had a lower conformation score than the carcasses from management system F. In management system E, a longer fattening period gave rise to higher conformation. This result is confirmed by similar results observed in cull cows (Dumont *et al.* 1997; Vestergaard *et al.* 2007; Sugimoto *et al.* 2012). However, while the fattening period was shorter in management systems D and F, the carcass conformations from both these management systems were similar to the carcass conformations from management system E. In our study, conformation was not affected by slaughter weight. This result corresponds to the results obtained by Keane and Allen (1998) and Ellies-Oury *et al.* (2012) in steers. According to the published study, the fattening diet composition would not seem to have any impact on conformation in heifers and steers (Price *et al.* 1980; Cooke *et al.* 2004; Keady *et al.* 2013). On the other hand, management system A produced the lowest conformation score (R^+). As for the carcass weight and dressing%, the grazing duration during the fattening period could explain the conformation variation between the management systems considered. This result confirms the results observed by Keane and Allen (1998) and Neel *et al.* (2007) in steers. However, the carcass conformations were similar in both management systems A and D. The result of Cozzi *et al.* (2010) for heifers indicated that the fattening system had no impact on carcass conformation.

The observed differences in carcass characteristics could not be explained considering only one rearing factor and one period of the life of the heifers. These differences were explained by the combinations of all rearing factors which characterized the overall farm management systems considered. Based on these results, it was difficult to characterize the management system that should best be applied to obtain carcasses with a higher weight, conformation and dressing% because the same carcass characteristics could be obtained with different combinations of rearing factors.

Meat characteristics

Concerning the meat characteristics, few studies in the literature had previously studied the effect of the periods prior to fattening on the beef properties.

In accordance with the results of Hennessy and Morris (2003), the variations in the growth rate during the pre-weaning period observed between our management systems did not seem to have any impact on the meat's sensory properties. However, in the study conducted by Hennessy and Morris (2003), the steers and heifers were subjected to the same rearing management after weaning in contrast to our study. Our results also comply with the study of Picard *et al.* (1995), showing that modifications in farm management during pre-weaning period had no impact on the fiber properties measured at slaughter on 18-month-old bulls. Considering the farm rearing management system, the possible effect of the pre-weaning period on the sensory properties of the RA could be minimized during both the subsequent periods of the animal's life. To the best of our knowledge, the impact of the pre-weaning period on the shear force and the color of the meat has never previously been studied.

Our results also match the results of Durunna *et al.* (2014) obtained on the *longissimus* muscle (LM) in steers. They showed that modifications in the farm management systems applied during the growth period only had no impact on the sensory and rheological properties or on the color of the meat. The design brief of the "Fleur d'Aubrac" PGI imposes a minimum carcass weight and conformation and a maximum fat score in order to label of the heifers. To achieve these aims, the farm management systems applied by the farmers during the fattening period could mitigate a possible negative impact on the beef resulting from the farm management systems applied during the previous periods of the animals' life. Thanks to the plasticity of the muscle properties, this could explain the absence of differences between the management systems considered with regard to meat properties.

In contrast to our results, Oury *et al.* (2007) observed an impact of the farm management systems defined on RA tenderness in heifers. This difference could be explained by the fact that the carcasses were lighter than in our study but were slaughtered at a similar age. Furthermore, Ellies-Oury *et al.* (2012) demonstrated that an increase in slaughter weight only tended to increase the tenderness and flavor intensity scores of RA meat in steers. It is possible that the effect of an increase in the slaughter weight in heifers reduced the differences in the sensory properties of the RA meats from the farm management systems we considered. Couvreur *et al.* (2013) also illustrated an impact of the farm management adopted during the fattening period on the tenderness and juiciness of RA meat, in cull cows. For the rheological analysis, our results comply with those

obtained by Couvreur *et al.* (2013). However, the difference between our results and those of Oury *et al.* (2007) and Couvreur *et al.* (2013) for RA meat could be explained by the fact that the types of cattle (breed, age, sex) and the farm management systems were different. All these differences in relation to our study made it difficult to compare the results. With regard to the RA color, Serrano *et al.* (2007) did not demonstrate any effect of the fattening diet in young bulls.

The different combinations of many rearing factors during the different key periods of life of the heifers resulted in the same RA meat properties, in contrast to the results obtained for carcass characteristics. These results confirmed the results of Soulat *et al.* (2015) obtained for LM sensory properties in young bulls. The “Fleur d’Aubrac” design brief allows farmers to choose from a range of farm management systems resulting in similar meat properties.

CONCLUSIONS

To conclude, the originality of this study was to consider the overall farm management system adopted during the full life cycle of heifers and to study its impact on carcass and meat characteristics. This study showed that the farm management systems applied seemed to have more impact on carcass characteristics than on RA meat properties. From the results obtained, it can be seen that different overall rearing management systems led to carcasses with a higher weight, conformation or dressing% without modifying the RA meat properties. To complete this study, it would be interesting to increase the number of farmers surveyed and to renew this over several years in order to increase the number of heifers per overall farm management systems and determine if the management systems considered can be reproduced over time. It would also be interesting to study other muscles to evaluate whether the effects of the farm management systems are similar regardless of the muscles considered. Finally, a consideration of the production costs and carcass valorization per management systems would help meat sector stakeholders to reduce costs without modifying the carcass characteristics expected by the target market.

REFERENCES

- Ahnstrom M. L., Hessle A., Johansson L., Hunt M. C. & Lundstrom K. (2012). Influence of slaughter age and carcass suspension on meat quality in Angus heifers. *Animal* **6**, 1554–1562.
- Andueza D., Picard F., Martin-Rosset W. & Aufrère J. (2016). Near-infrared spectroscopy calibrations performed on oven-dried green forages for the prediction of chemical composition and nutritive value of preserved forage for ruminants. *Applied Spectroscopy* **70**, 1321–1327.
- Association of Official Analytical Chemists, AOAC). (1990). *Official Methods of Analysis* 15th edn. AOAC International, Arlington.
- Aufrère, J. & Michalet-Doreau, B. (1983). In Vivo Digestibility and Prediction of Digestibility of Some By-Products. In: Boucqué ChV, Fiems LO, Cottyn BG (eds), Feeding values of by-products and their use by beef cattle, pp. 25-33. Communities Publishing, Belgium; Luxembourg.
- Aviles, C., Martinez, A. L., Domenech, V. & Pena, F. (2015). Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. *Meat Science* **107**, 94–103.
- Aydin, R., Yanar, M., Diler, A., Kocyigit, H. & Tuzemen, N. (2013). Effects of Different Slaughter Ages on the Fattening Performance, Slaughter and Carcass Traits of Brown Swiss and Holstein Friesian Young Bulls. *Indian Journal of Animal Research* **47**, 10–16.
- Barton, L., Kudrna, V., Bures, D., Zahradkova, R. & Teslik, V. (2007). Performance and carcass quality of Czech Fleckvieh, Charolais and Charolais x Czech Fleckvieh bulls fed diets based on different types of silages. *Czech Journal of Animal Science* **52**, 269–276.
- Bures, D. & Barton, L. (2012). Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech Journal of Animal Science* **57**, 34–43.
- Chambaz, A., Scheeder, M. R. L., Kreuzer, M. & Dufey, P. A. (2003). Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Science* **63**, 491–500.
- Commission International de l’Eclairage. (1986). *Colorimetry* (2nd Eds Commission International de l’Eclairage), Vienna: Austria.
- Cooke, D. W. I., Monahan, R., Brophy, P. O. & Boland, M. P. (2004). Comparison of concentrates or concentrates plus forages in a total mixed ration or discrete ingredient format: effects on beef

production parameters and on beef composition, colour, texture and fatty acid profile. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* **43**, 201–216.

Couvreur, S., Le Bec, G., Micol, D., Aminot, G. & Picard, B. (2013). Les caractéristiques des vaches de réforme de l'AOP Maine Anjou et les pratiques de finition influencent leur qualité de viande. *Rencontres Recherches Ruminants* **20**, 165–168. (In French)

Cozzi, G., Brscic, M., Da Ronch, F., Boukha, A., Tenti, S. & Gottardo, F. (2010). Comparison of two feeding finishing treatments on production and quality of organic beef. *Italian Journal of Animal Science* **9**, 404–409.

Dumont, R., Roux, M., Touraille, C., Agabriel, J. & Micol, D. (1997). Engraissement des vaches de réforme de race Charolaise. Effet d'un apport de tourteau de lin sur les performances d'engraissement et les propriétés physico-chimiques et sensorielles de la viande. *INRA Productions Animales* **10**, 163–174. (In French)

Durunna, O. N., Block, H. C., Lwaasa, A. D., Scott, S. L., Robins, C., Khakbazan, M., Dugan, M. E. R., Aalhus, J.L., Aliani, M. & Lardner, H.A. (2014). Impact of calving seasons and feeding systems in western Canada. II. Meat composition and organoleptic quality of steaks. *Canadian Journal of Animal Science* **94**, 583–593.

Concil Regulation, EC. (2006). No 1183/2006 of 24 July 2006 concerning the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. *Official Journal of the European Union* **214**, 1–6. (In French)

Ellies-Oury, M. P., Renand, G., Perrier, G., Krauss, D., Dozias, D., Jailler, R. & Dumont, R. (2012). Influence of selection for muscle growth capacity on meat quality traits and properties of the rectus abdominis muscle of Charolais steers. *Livestock Science* **150**, 220–228.

Ferguson, D. M. & Warner, R. D. (2008). Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science* **80**, 12–19.

Greenwood, P. L., Café, L. M., Hearnshaw, H., Hennessy, D. W. & Morris, S. G. (2009). Consequences of prenatal and preweaning growth for yield of beef primal cuts from 30-month-old Piedmontese- and Wagyu-sired cattle. *Animal Production Science* **49**, 468–478.

Guerrero, A., Sanudo, C., Alberti, P., Ripoll, G., Campo, M. M., Olleta, J. L., Panea, B., Khlijji, S. & Santolaria, P. (2013). Effect of production system before the finishing period on carcass, meat and fat qualities of beef. *Animal* **7**, 2063–2072.

- Hennessy, D. W. & Morris, S. G. (2003). Effect of a preweaning growth restriction on the subsequent growth and meat quality of yearling steers and heifers. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **43**, 335–341.
- Hernandez-Calva, L. M., He, M., Juarez, M., Aalhus, J. L., Dugan, M. E. R. & McAllister, T. A. (2011). Effect of flaxseed and forage type on carcass and meat quality of finishing cull cows. *Canadian Journal of Animal Science* **91**, 613–622.
- Hothorn, T., Bretz, F. & Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal* **50**, 346–363.
- Husson, F., Josse, J., Le, S. & Mazet, J. (2015). *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining*. R package version 129 [cited 19 October 2016]. Available from URL:<http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>
- Ingrand, S. & Dedieu, B. (1996). Diversité des formules d'allotement en élevage bovin viande. Le cas d'exploitations du Limousin. *Inra Productions Animales* **9**, 189–199. (In French)
- Keady, T. W. J., Gordon, A. W. & Moss, B. W. (2013). Effects of replacing grass silage with maize silages differing in inclusion level and maturity on the performance, meat quality and concentrate-sparing effect of beef cattle. *Animal* **7**, 768–777.
- Keane, M. G. & Allen, P. (1998). Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. *Livestock Production Science* **56**, 203–214.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B. & Christensen, R. H. B. (2016). *lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models*. R package 20-32; [cited 19 October 2016]. Available from URL:<https://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>
- Legifrance J n°0249. 2008. Arrêté du 13 octobre 2008 portant homologation du cahier des charges de l'indication géographique protégée (IGP) « Génisse fleur d'Aubrac ». Legifrance.gouv.fr, le service public de la diffusion du droit [homepage on the Internet]. Legifrance, France; [cited 19 October 2016]. Available from URL:<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2008/10/13/AGRP0823338A/jo/texte> (In French)
- Lucero-Borja, J., Pouzo, L. B., de la Torre, M. S., Langman, L., Carduza, F., Corva, P. M., Santini, F. J. & Pavan, E. (2014). Slaughter weight, sex and age effects on beef shear force and tenderness. *Livestock Science* **163**, 140–149.

- Marti, S., Realini, C. E., Bach, A., Perez-Juan, M. & Devant, M. (2013). Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal Science* **91**, 1129–1140.
- Matulis, R. J., McKeith, F. K., Faulkner, D. B., Berger, L. L. & George, P. (1987). Growth and Carcass Characteristics of Cull Cows after Different Times-on-Feed. *Journal of Animal Science* **65**, 669–674.
- McEwen, P. L., Mande, I. B., Brien, G. & Campbell, C. P. (2007). Effects of grain source, silage level, and slaughter weight endpoint on growth performance, carcass characteristics, and meat quality in Angus and Charolais steers. *Canadian Journal of Animal Science* **87**, 167–180.
- de Mendiburu, F. (2016). *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 12-4; [cited 19 October 2016]. Available from URL:<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Micol, D., Jailler, R., Jurie, C., Meteau, K., Juin, H., Nute, G. R., Richardson, R. I. & Hocquette, J. F. (2011). Evaluation sensorielle de la viande bovine en France et au Royaume Uni selon deux températures de cuisson. *Rencontres Recherches Ruminants* **18**, 208. (In French)
- Moloney, A. P., Mooney, M. T., Troy, D. J. & Keane, M. G. (2011). Finishing cattle at pasture at 30 months of age or indoors at 25 months of age: Effects on selected carcass and meat quality characteristics. *Livestock Science* **141**, 17–23.
- Moloney, A. P. & Drennan, M. J. (2013). Characteristics of fat and muscle from beef heifers offered a grass silage or concentrate-based finishing ration. *Livestock Science* **152**, 147–153.
- Muller, L., Perobelli, Z., Feijo, G. L. D. & Grassi, C. (1992). Cull cow physiological maturity and its effect on carcass and meat quality. In: *38th International Congress of Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, France, 101–104.
- Neel, J. P. S., Fontenot, J. P., Clapham, W. M., Duckett, S. K., Felton, E. E. D., Scaglia, G. & Bryan, W. B. (2007). Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: I. Animal performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science* **85**, 2012–2018.
- Oury, M. P., Agabriel, J., Agabriel, C., Micol, D., Picard, B., Blanquet, J., Labouré, H., Roux, M. & Dumont, R. (2007). Relationship between rearing practices and eating quality traits of the muscle rectus abdominis of Charolais heifers. *Livestock Science* **111**, 242–254.

- Pesonen, M. & Huuskonen, A. K. (2015). Production, carcass characteristics and valuable cuts of beef breed bulls and heifers in Finnish beef cattle population. *Agricultural and Food Science* **24**, 164–172.
- Picard, B., Robelin, J. & Geay, Y. (1995). Influence of Castration and Postnatal Energy Restriction on the Contractile and Metabolic Characteristics of Bovine Muscle. *Annales De Zootechnie* **44**, 347–357.
- Pordomingo, A. J., Grigioni, G., Carduza, F. & Volpi Lagreca, G. (2012). Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Science* **90**, 939–946.
- Price, M., Jones, S., Mathison, G. & Berg, R. (1980). The Effects of Increasing Dietary Roughage Level and Slaughter Weight on the Feedlot Performance and Carcass Characteristics of Bulls and Steers. *Canadian Journal of Animal Science* **60**, 345–358.
- R core Team. (2016). *R. A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; [cited 19 October 2016]. Available from URL:<http://www.R-project.org/>
- Salé, P. (1971). Evolution de quelques propriétés mécaniques du muscle pendant la maturation. *Bulletin Technique C.R.Z.V.* **6**, 35–44.
- Serrano, E., Pradel, P., Jailler, R., Dubroeuq, H., Bauchart, D., Hocquette, J-F., Listrat, A., Agabriel, J. & Micol, D. (2007). Young Salers suckled bull production: effect of diet on performance, carcass and muscle characteristics and meat quality. *Animal* **1**, 1068–1079.
- Soulat, J., Léger, S., Picard, B. & Monteils, V. (2015). Improving beef sensory quality through breeding practices management. In *61th International Congress of Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, France, 1–4.
- Sugimoto, M., Saito, W., Ooi, M. & Oikawa, M. (2012). Effects of days on feed, roughage sources and inclusion levels of grain in concentrate on finishing performance and carcass characteristics in cull beef cows. *Animal Science Journal* **83**, 460–468.
- Van Soest, P. J. V., Robertson, J. B. & Lewis, B.A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science* **74**, 3583–3597.

Vestergaard, M., Madsen, N. T., Bligaard, H. B., Bredahl, L., Rasmussen, P. T. & Andersen HR. 2007. Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Science* **76**, 635–643.

Vieira, C., Garcia-Cachan, M. D., Recio, M. D., Dominguez, M. & Sanudo, C. (2006). Effect of ageing time on beef quality of rustic type and rustic x Charolais crossbreed cattle slaughtered at the same finishing grade. *Spanish Journal of Agricultural Research* **4**, 225–234.

Zahradkova, R., Barton, L., Bures, D., Teslik, V. & Kudrna, V. (2010). Comparison of growth performance and slaughter characteristics of Limousin and Charolais heifers. *Archiv Fur Tierzucht-Archives of Animal Breeding* **53**, 520–528.

Valorisation scientifique 6

**Influence des conduites d'élevage sur l'abondance de
20 protéines du muscle *rectus abdominis***

SOULAT Julien¹ ; PICARD Brigitte¹ et MONTEILS Valérie¹

¹ UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

Ce travail est en préparation pour une communication orale à l'International Congress of Meat Science & Technology 2017.

Influence des conduites d'élevage sur l'abondance de 20 protéines du muscle *rectus abdominis*

Julien Soulat^a, Valérie Monteils^a, Brigitte Picard^a

^a UMR 1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

Résumé

L'objectif de cette étude était d'observer l'effet de 4 conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie de génisses sur l'abondance relative de protéines biomarqueurs de l'adiposité ou de la tendreté dans le muscle *rectus abdominis* (RA). Les abondances relatives de 20 biomarqueurs (adiposité = 6, tendreté = 13 et adiposité & tendreté = 1) ont été mesurées dans le muscle RA de 77 génisses. Seule l'alpha-tubuline, qui est un biomarqueur de l'adiposité, présente des abondances relatives significativement différentes en fonction de la conduite d'élevage. Cette étude montre également que les conduites d'élevage caractérisées par des pratiques d'élevage différentes à chaque période clé (avant sevrage, croissance et finition) de la vie des génisses permettent d'obtenir des abondances relatives pour les biomarqueurs étudiés similaires. Les différences entre ces 4 conduites d'élevage ne sont pas assez importantes pour induire des différences significatives au niveau de l'abondance des protéines. Un résultat équivalent a été obtenu pour la tendreté de ces RA.

Mots clés : Adiposité, Biomarqueurs, Conduites d'élevage, Génisses, Tendreté

Introduction

Les muscles squelettiques chez le bovin représentent de 40% à 50% du poids vif de l'animal. Environ 20 % de leur composition chimique est constituée de protéines : myofibrillaires, sarcoplasmiques, et du tissu conjonctif (Jurie and Listrat, 2010). Parmi ces protéines, des études ont mis en évidence que les abondances de certaines étaient liées à la tendreté ou à l'adiposité de la viande bovine (Picard et al., 2015; Cassar-Malek and Picard, 2016). Elles constituent ainsi des candidats biomarqueurs de tendreté ou d'adiposité. Les études réalisées sur les biomarqueurs ont montré que l'abondance des protéines était dépendante du muscle, de la race et du type d'animal (Guillemin et al., 2011; Picard et al., 2014). Bien que plusieurs études aient montré que certains facteurs d'élevage (Serrano et al., 2007; Ahnstrom et al., 2012; Pordomingo et al., 2012) ou pratiques d'élevage (combinaison de plusieurs facteurs d'élevage) (Oury et al., 2007; Couvreur et al., 2013) avaient un impact sur les propriétés sensorielles de la viande, très peu d'études ont étudié l'influence des pratiques d'élevage sur l'abondance de ces biomarqueurs. Néanmoins, des études ont mis en évidence que l'expression des gènes codant pour certaines protéines ou que l'abondance de certaines protéines étaient impactées par une restriction alimentaire (Cassar-Malek et al., 2008; Almeida et al., 2016; Keogh et al., 2016) ou par la nature du régime alimentaire (herbe vs ensilage de maïs) et par l'activité physique des animaux (Cassar-Malek et al., 2009). L'objectif de notre étude était de tester l'effet de la conduite d'élevage mise en œuvre sur l'ensemble de la vie des génisses de l'indication géographique protégée (IGP) Fleur d'Aubrac sur l'abondance de plusieurs biomarqueurs provenant du muscle *rectus abdominis* (RA), correspondant à la bavette de flanchet.

2. Matériel et méthodes

2.1. Animaux et conduites d'élevage

Le dispositif expérimental est le même que celui présenté dans Soulat et al. (2016, en préparation pour une soumission à The Journal of Agricultural Science). Les animaux (n = 96) étudiés étaient des génisses croisées Charolais x Aubrac provenant de 8 exploitations. Ces génisses étaient élevées en respectant le cahier des charges de l'indication géographique

Tableau 1. Liste des 20 biomarqueurs de tendreté et d'adiposité étudiés et leur fonction biologique

Biomarqueurs	Nom complet de la protéine	Fonction
<i>Adiposité</i>		
TBA4A	α -tubuline	Structure
ALDH 1A1	Aldéhyde deshydrogenase 1	Métabolisme
PGK1 (131-145)	Phosphoglycérate kinase 1	Métabolisme
ALDOA	Aldolase A	Métabolisme
PYGB/L/M (N-20)	Glycogen Phosphorylase, Brain	Métabolisme
FHL1	four and a half LIM domains 1	Canal ionique
<i>Tendreté</i>		
CRYAB	α B-Crystalline	HSP ¹
HS71A	HSP70-1A	HSP
HSPB1	HSP27	HSP
HSPB2	HSP20	HSP
DNAJA1	HSP40	HSP
ENOB	Enolase 3	Métabolisme
MDHC	Malate deshydrogenase 1	Métabolisme
MYHI	Myosin Heavy Chain IIX	Structure
MYL1	Myosin Light chain1F	Structure
TTN	Titine	Structure
TNNT1	Troponine T1	Structure
PRDX6 (3A10-2A11)	Peroxyredoxine 6	Stress oxydant
TRIM72	Tripartite motif protein 72	Transport cellulaire
<i>Tendreté & Adiposité</i>		
TPI 1	Triosephosphate isomerase 1	Métabolisme

¹ Heat shock protein.

protégée (IGP) « Fleur d'Aubrac ». Dans cette étude, l'ensemble de la vie des génisses a été considéré selon 3 périodes clés : pré-sevrage, croissance et finition. Les informations pour caractériser les conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie de ces génisses ont été recueillies par enquêtes auprès d'éleveurs. Dans cette étude, seules les conduites d'élevage A, D, E et F (Figure 1) décrites par Soulat et al. (2016, en préparation pour une soumission à The Journal of Agricultural Science) ont été considérées.

2.2. Abattage et prélèvement des échantillons

Les génisses ont toutes été abattues dans le même abattoir dans l'aire de production de l'IGP « Fleur d'Aubrac » (Abattoir du Gévaudan, Antrenas, France). Parmi les 96 génisses suivies, le RA a été prélevés sur 77 demi-carcasses droites à 24 heures *post mortem*. Juste après le prélèvement du RA, un cube de RA d'environ 5 gramme a été prélevé (zone caudale du RA) après le retrait de l'aponévrose. Chaque cube de RA a été découpé en petits morceaux et congelé dans l'azote liquide. Les morceaux de RA congelés ont ensuite été placés dans des tubes et maintenus à -80°C jusqu'à l'analyse.

2.3. Mesure de l'abondance des biomarqueurs

Dans cette étude, les abondances de 20 biomarqueurs (Tableau 1) identifiés comme des indicateurs de tendreté ou d'adiposité de la viande ont été étudiées.

Après décongélation, 80 mg de RA ont été broyés et une extraction de protéines a été réalisée selon la méthode décrite par (Michaut et al., 2016). Les extractions de protéines ont ensuite été aliquotées et congelées à -20°C jusqu'à utilisation. Le jour de la mesure de l'abondance des protéines, les échantillons étaient décongelés. Les abondances des protéines ont été mesurées selon la méthode de Reverse Phase Protein Array (RPPA) décrite par Akbani et al. (2014). Les résultats d'abondances relatives ont été normalisés selon la méthode décrite par Troncale et al. (2012).

Tableau 2. Impact des conduites d'élevage sur l'abondance relative de 20 biomarqueurs de tendreté et d'adiposité

Biomarqueurs	Conduite d'élevage										P-value			
	A		D		E		F							
	n	18	8	8	12	10	Moy	±	σ	±		σ		
<i>Adiposité</i>		Moy ¹	±	σ ²	Moy	±	σ	Moy	±	σ	Moy	±	σ	
TBA4A		0,11 ^a	±	0,28	-0,26 ^b	±	0,24	-0,07 ^{ab}	±	0,32	-0,09 ^{ab}	±	0,30	*
ALDH 1A1		0,02	±	0,48	-0,10	±	0,63	0,05	±	0,70	0,08	±	0,45	NS
PGK1 (131-145)		-0,53	±	0,54	-0,28	±	0,47	-0,23	±	0,40	-0,22	±	0,41	NS
ALDOA		0,01	±	0,42	0,05	±	0,35	0,04	±	0,36	0,02	±	0,31	NS
PYGB/LM (N+20)		0,03	±	0,53	-0,05	±	0,65	0,01	±	0,44	0,35	±	0,69	NS
FHL1		-0,19	±	0,54	0,15	±	0,46	0,00	±	0,48	0,00	±	0,34	NS
<i>Tendreté</i>														
CRYAB		0,33	±	0,32	0,09	±	0,47	0,35	±	0,44	0,15	±	0,59	NS
HS71A		0,13	±	0,47	0,03	±	0,38	-0,01	±	0,38	0,13	±	0,39	NS
HSPB1		0,20	±	0,60	-0,04	±	0,44	0,25	±	0,38	0,25	±	0,55	NS
HSPB2		0,15	±	0,37	0,20	±	0,33	0,19	±	0,31	0,17	±	0,28	NS
DNAJA1		0,20	±	0,34	0,25	±	0,22	0,13	±	0,44	0,21	±	0,23	NS
ENOB		-0,60	±	0,57	-0,60	±	0,73	-0,39	±	0,60	-0,28	±	0,58	NS
MDHC		0,22	±	0,21	0,14	±	0,34	-0,03	±	0,21	0,12	±	0,31	NS
MYHI		-0,06	±	0,84	-0,17	±	0,89	0,22	±	0,43	0,37	±	0,82	NS
MYL1		-0,52	±	0,77	-0,23	±	0,71	-0,28	±	0,65	-0,49	±	0,59	NS
TTN		-0,57	±	0,67	-0,08	±	0,53	-0,45	±	0,72	-0,26	±	0,76	NS
TNNT1		0,42	±	1,02	-0,06	±	1,08	-0,14	±	1,06	0,06	±	0,98	NS
PRDX6 (3A10-2A11)		-0,09	±	0,45	0,08	±	0,47	0,15	±	0,39	0,13	±	0,37	NS
TRIM72		0,14	±	0,88	-0,08	±	0,71	-0,20	±	0,45	-0,16	±	0,49	NS
<i>Tendreté & Adiposité</i>														
TPI 1		-0,68	±	0,43	-0,34	±	0,72	-0,33	±	0,67	-0,40	±	0,84	NS

¹ Moyenne, ² Ecart-type, ^{a,b} Les valeurs d'une même ligne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$), * = $P < 0,05$

2.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel R 3.3.1 (R core Team, 2016).

Des analyses de la variance (ANOVA) ont été réalisées sur l'abondance de chaque protéine pour tester l'effet des conduites d'élevage. Dans l'ANOVA, le facteur « exploitation » était testé dans un premier temps en effet fixe. Lorsque ce facteur était significatif, il était finalement considéré en facteur aléatoire dans l'ANOVA. Si le résultat de l'ANOVA était significatif, une post analyse était réalisée en utilisant le test de Tuckey. Les ANOVA avec un facteur aléatoire ont été réalisées à l'aide du package « lmerTest » (Kuznetsova et al., 2016) sous R. Les tests de Tuckey ont été effectués à l'aide des package « agricolae » (de Mendiburu, 2016) ou lorsqu'il y avait un effet aléatoire, avec le package « multcomp » (Hothorn et al., 2008) sous R.

3. Résultats et discussion

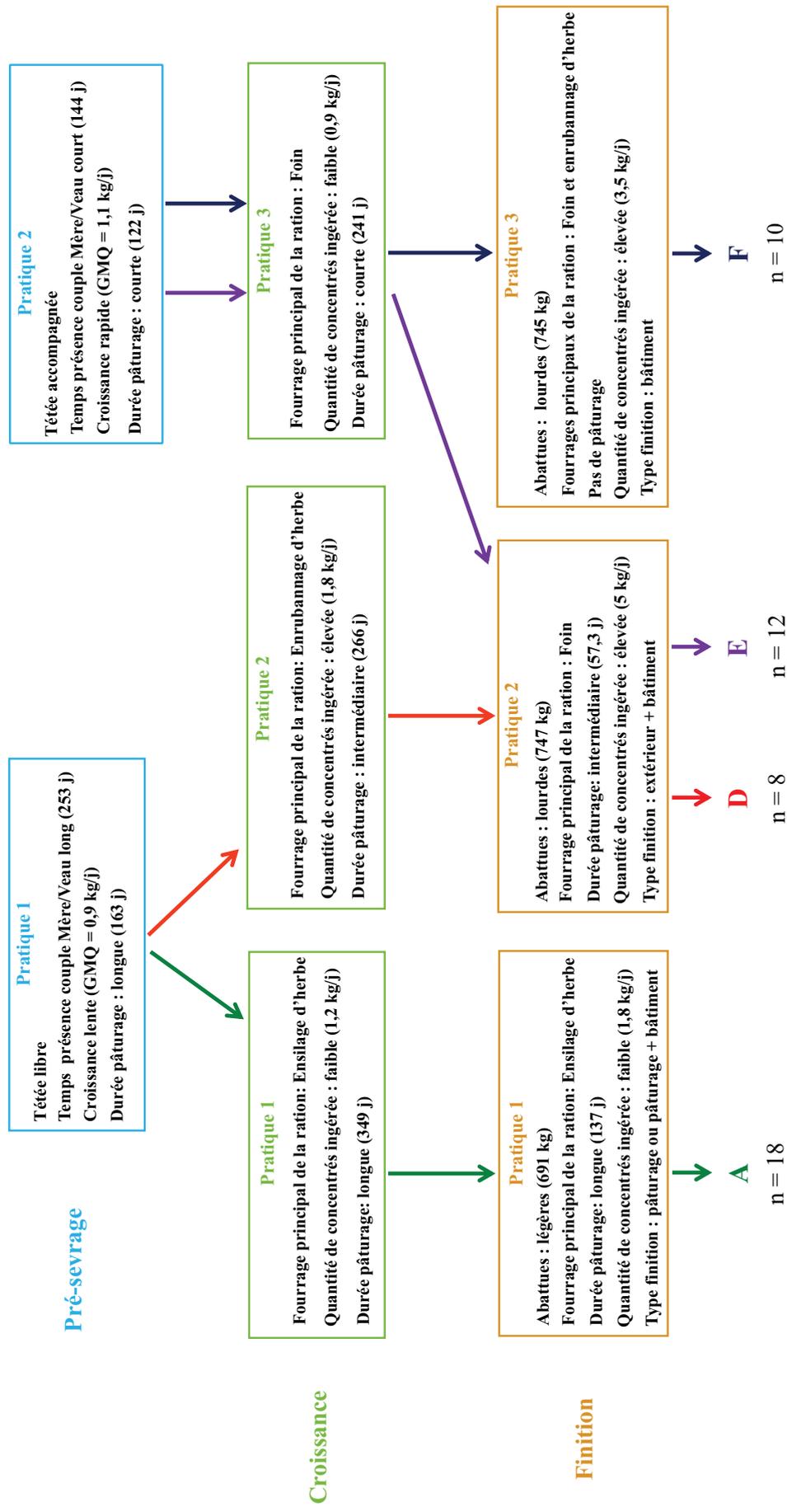
Les 4 conduites d'élevage étudiées n'induisaient pas de différences significatives de l'abondance relative des biomarqueurs d'adiposité, sauf pour l'alpha-tubuline (Tableau 2). Cette protéine a été identifiée comme un biomarqueur de l'adiposité de la viande bovine (Bonnet et Picard, communication personnelle).

L'alpha-tubuline est l'une des 2 sous-unités protéiques structurales des microtubules. Les microtubules dans le muscle squelettique sont impliqués dans la mobilité cellulaire, le transport intracellulaire, la mitose et la détermination de la morphologie des cellules (Tassin et al., 1985; Erickson, 1998).

Dans notre étude, l'alpha-tubuline est significativement plus abondante dans les RA des génisses ayant suivi la conduite d'élevage A par rapport à ceux provenant de génisses ayant suivies la conduite d'élevage D (Tableau 2).

Durant la période de pré-sevrage, les génisses des conduites A et D avaient une croissance plus lente et un temps de présence avec leur mère plus important par rapport aux conduites E et F (Figure 1). Durant la période de croissance par rapport aux 3 autres conduites, les génisses de la conduite A avaient une durée de pâturage plus longue et celles de la conduite D avaient consommé plus de concentrés. Durant cette même période, le fourrage principal de la ration

Figure 1. Description schématique des conduites d'élevage étudiées provenant de Soulat et al. (2016, en préparation pour une soumission à The Journal of Agricultural Science)



pour les génisses des conduites E et F était le foin, alors que pour les conduites A et D, le fourrage principal était, respectivement l'ensilage d'herbe et l'enrubannage d'herbe. Durant la période de finition, les génisses de la conduite A avaient pâturé plus, consommé moins de concentrés et avaient été abattues plus légères par rapport aux génisses des 3 autres conduites d'élevage. Les génisses des conduites D et E ont une ration dont le fourrage principal est le foin, alors que pour les conduites A et F, le fourrage principal de la ration de finition est respectivement, l'ensilage d'herbe et l'association foin et enrubannage d'herbe.

L'association de l'ensemble de ces différences entre les conduites d'élevage A et D (Figure 1) pourrait expliquer les variations d'abondance de l'alpha-tubuline. Cependant, avec des combinaisons de pratiques d'élevage différentes pour les conduites E et F, les abondances relatives d'alpha-tubuline des RA des génisses issues de ces 2 conduites ne sont pas significativement différentes de celles de la conduite A et de la conduite D. Ce résultat montre qu'il est important de considérer l'association des pratiques d'élevage mises en œuvre au cours de la vie de la génisse pour interpréter cet impact sur l'abondance de l'alpha-tubuline.

D'après les résultats de Taga et al. (2012), l'abondance relative de l'alpha-tubuline est inversement proportionnelle à une augmentation de l'adiposité des animaux. Cela est expliqué par l'expression du gène SIRT2 codant pour une tubuline déacétylase qui inhibe l'adipogénèse. Gui et al. (2014) ont montré que l'adiposité de la viande bovine (muscle *longissimus*) variait en fonction de ce gène, pour la race Quinchuan. Cependant, dans Soulat et al. (2016, en préparation pour une soumission à The Journal of Agricultural Science), la note du descripteur sensoriel « présence de gras » du RA, attribuée par le jury d'analyse sensorielle, n'était pas significativement différente quelle que soit la conduite d'élevage reçue par les génisses. Ce résultat ne permet pas de confirmer l'influence de l'abondance de l'alpha-tubuline sur l'adiposité de la viande de RA.

Les 4 conduites d'élevage étudiées n'ont pas eu de répercussion significative sur l'abondance des biomarqueurs de tendreté (Tableau 2). Ce résultat est cohérent avec les résultats de Soulat et al. (2016, en préparation pour une soumission à The Journal of Agricultural Science) qui ne montraient pas de différences significatives entre les conduites d'élevage pour la tendreté globale et la force de cisaillement du RA.

Les résultats de cette étude montrent que les différences existantes entre ces 4 conduites d'élevage ne semblaient pas être suffisamment élevées pour induire des différences significatives au niveau de l'abondance des biomarqueurs d'adiposité et de tendreté à l'exception de l'alpha-tubuline. Cependant, d'après les écart-types de chaque abondance de biomarqueurs (Tableau 2), il existe une

grande variabilité intra conduite d'élevage. Il semblerait que d'autres facteurs puissent induire cette variabilité. Les caractéristiques propres à l'animal (Renand et al., 1995; Renand et al., 2007) ou la période pré-abattage avec le stress (Ferguson and Warner, 2008; Gruber et al., 2010) pourraient être des éléments pouvant influencer l'abondance de ces biomarqueurs.

4. Conclusion

Ce travail est original par son étude de l'impact de 4 conduites d'élevage sur l'abondance de différents biomarqueurs d'adiposité et de tendreté de la viande. Parmi l'ensemble des biomarqueurs étudiés, seule l'alpha-tubuline a été impactée par les conduites d'élevage. Les différentes combinaisons de pratiques d'élevage mises en œuvre au cours de la vie des génisses permettent d'obtenir des abondances de biomarqueurs équivalentes. Dans la continuité de cette étude, il serait intéressant d'étudier l'effet des conduites d'élevage sur les abondances de ces mêmes biomarqueurs dans d'autres muscles. En effet, l'impact d'une augmentation de l'abondance de certaines protéines sur la tendreté de la viande est différent selon le muscle considéré. Il serait également intéressant d'étudier les effets d'autres conduites d'élevage sur ces biomarqueurs dans un but de prévoir le potentiel des propriétés sensorielles de la viande 24 h après l'abattage.

Références

- Ahnstrom, M. L., A. Hesse, L. Johansson, M. C. Hunt, and K. Lundstrom. 2012. Influence of slaughter age and carcass suspension on meat quality in Angus heifers. *Animal* 6:1554–1562.
- Akbani, R., K.-F. Becker, N. Carragher, T. Goldstein, L. de Koning, U. Korf, L. Liotta, G. B. Mills, S. S. Nishizuka, M. Pawlak, E. F. Petricoin, H. B. Pollard, B. Serrels, and J. Zhu. 2014. Realizing the Promise of Reverse Phase Protein Arrays for Clinical, Translational, and Basic Research: A Workshop Report. *Mol. Cell. Proteomics* 13:1625–1643.
- Almeida, A. M., P. Nanni, A. M. Ferreira, C. Fortes, J. Grossmann, R. J. Bessa, and P. Costa. 2016. The longissimus thoracis muscle proteome in Alentejana bulls as affected by growth path. *J. Proteomics*.

- Cassar-Malek, I., S. Guilloud, J. F. Hocquette, D. Micol, B. Picard, and C. Jurie. 2008. Effet de la conduite d'élevage sur l'expression du marqueur de tendreté de la viande bovine DNAJA1. In: Vol. 15. p. 446.
- Cassar-Malek, I., C. Jurie, C. Bernard, I. Barnola, D. Micol, and J.-F. Hocquette. 2009. Pasture-Feeding of Charolais Steers Influences Skeletal Muscle Metabolism and Gene Expression. *J. Physiol. Pharmacol.* 60:83–90.
- Cassar-Malek, I., and B. Picard. 2016. Expression marker-based strategy to improve beef quality. *Sci. World J.* 2016. Available from: <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2016/2185323/abs/>
- Couvreur, S., G. Le Bec, D. Micol, G. Aminot, and B. Picard. 2013. Les caractéristiques des vaches de réforme de l'AOP Maine Anjou et les pratiques de finition influencent leur qualité de viande. In: Vol. 20. p. 165–168.
- Erickson, H. P. 1998. Atomic structures of tubulin and FtsZ. *Trends Cell Biol.* 8:133–137.
- Ferguson, D. M., and R. D. Warner. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* 80:12–19.
- Gruber, S. L., J. D. Tatum, T. E. Engle, P. L. Chapman, K. E. Belk, and G. C. Smith. 2010. Relationships of behavioral and physiological symptoms of preslaughter stress to beef longissimus muscle tenderness. *J. Anim. Sci.* 88:1148–1159.
- Gui, L. S., W. C. Yang, C. P. Zhao, S. J. Wei, Z. D. Zhao, and L. S. Zan. 2014. Association of SIRT2 gene polymorphisms with body measurement and growth traits of Qinchuan cattle. *Genet. Mol. Res.* 13:8834–8844.
- Guillemin, N., C. Jurie, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, G. Renand, and B. Picard. 2011. Variations in the abundance of 24 protein biomarkers of beef tenderness according to muscle and animal type. *Animal* 5:885–894.
- Hothorn, T., F. Bretz, and P. Westfall. 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biom. J.* 50:346–363.
- Jurie, C., and A. Listrat. 2010. Structure et fonction des constituant du muscle squelettique. In: *Muscle et viande de ruminant*. Quae. D. Bauchart and B. Picard, Versailles, France. p. 61–70.

Keogh, K., D. A. Kenny, P. Cormican, M. S. McCabe, A. K. Kelly, and S. M. Waters. 2016. Effect of Dietary Restriction and Subsequent Re-Alimentation on the Transcriptional Profile of Bovine Skeletal Muscle. *Plos One* 11:e0149373.

Kuznetsova, A., P. B. Brockhoff, and R. H. B. Christensen. 2016. lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models. R Package 20-32. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>

de Mendiburu, F. 2016. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R Package Version 12-4. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

Michaut, M., S.-F. Chin, I. Majewski, T. M. Severson, T. Bismeyer, L. de Koning, J. K. Peeters, P. C. Schouten, O. M. Rueda, A. J. Bosma, F. Tarrant, Y. Fan, B. He, Z. Xue, L. Mittempergher, R. J. C. Kluin, J. Heijmans, M. Snel, B. Pereira, A. Schlicker, E. Provenzano, H. R. Ali, A. Gaber, G. O'Hurley, S. Lehn, J. J. F. Muris, J. Wesseling, E. Kay, S. J. Sammut, H. A. Bardwell, A. S. Barbet, F. Bard, C. Lecerf, D. P. O'Connor, D. J. Vis, C. H. Benes, U. McDermott, M. J. Garnett, I. M. Simon, K. Jirström, T. Dubois, S. C. Linn, W. M. Gallagher, L. F. A. Wessels, C. Caldas, and R. Bernards. 2016. Integration of genomic, transcriptomic and proteomic data identifies two biologically distinct subtypes of invasive lobular breast cancer. *Sci. Rep.* 6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4700448/>

Oury, M.-P., B. Picard, L. Istasse, D. Micol, and R. Dumont. 2007. Effect of rearing management practices on tenderness of bovine meat. *Prod. Anim.* 20:309–325.

Picard, B., M. Gagaoua, D. Micol, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, and C. E. M. Terlouw. 2014. Inverse Relationships between Biomarkers and Beef Tenderness According to Contractile and Metabolic Properties of the Muscle. *J. Agric. Food Chem.* 62:9808–9818.

Picard, B., B. Lebret, I. Cassar-Malek, L. Liaubet, C. Berri, E. Le Bihan-Duval, J. F. Hocquette, and G. Renand. 2015. Recent advances in omic technologies for meat quality management. *Meat Sci.* 109:18–26.

Pordomingo, A. J., G. Grigioni, F. Carduza, and G. Volpi Lagreca. 2012. Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Sci.* 90:939–946.

R core Team. 2016. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org/>

- Renand, G., A. Bonnot, H. Leveziel, N. Payet, A. Malafosse, J. F. Hocquette, J. Lepetit, S. Rousset, C. Denoyelle, and V. Dodelin. 2007. Teneur en lipides du muscle et adiposité des carcasses en races bovines à viande : variabilité génétique et effets de marqueurs dans les gènes DGAT1 et Thyroglobuline. In: Vol. 14. p. 113–116.
- Renand, G., C. Jurie, J. Robelin, B. Picard, Y. Geay, and F. Menissier. 1995. Genetic-Variability of Muscle Biological Characteristics of Young Limousin Bulls. *Genet. Sel. Evol.* 27:287–298.
- Serrano, E., P. Pradel, R. Jailler, H. Dubroeuq, D. Bauchart, J.-F. Hocquette, A. Listrat, J. Agabriel, and D. Micol. 2007. Young Salers suckled bull production: effect of diet on performance, carcass and muscle characteristics and meat quality. *Animal* 1:1068–1079.
- Soulat, J., B. Picard, S. Léger, and V. Monteils. 2016. Prediction of clusters of beef carcass and meat traits from factors characterizing the rearing management system applied during the whole life of heifers. (en préparation pour une soumission à *Journal of Animal Science*)
- Taga, H., Y. Chilliard, B. Meunier, C. Chambon, B. Picard, M. C. Zingaretti, S. Cinti, and M. Bonnet. 2012. Cellular and molecular large-scale features of fetal adipose tissue: Is bovine perirenal adipose tissue Brown1685. *J. Cell. Physiol.* 227:1688–1700.
- Tassin, A. M., B. Maro, and M. Bornens. 1985. Fate of microtubule-organizing centers during myogenesis in vitro. *J. Cell Biol.* 100:35–46.
- Troncale, S., A. Barbet, L. Coulibaly, E. Henry, B. He, E. Barillot, T. Dubois, P. Hupe, and L. de Koning. 2012. NormaCurve: A SuperCurve-Based Method That Simultaneously Quantifies and Normalizes Reverse Phase Protein Array Data. *Plos One* 7:e38686.

Conclusion

Ces études ont mis en évidence que les conduites mises en œuvre tout au long de la vie des génisses Fleur d'Aubrac avaient un impact sur les caractéristiques de la carcasse. En revanche, ces mêmes conduites n'ont pas d'effets sur l'abondance relative des biomarqueurs de la tendreté et de l'adiposité, à l'exception de l'alpha-tubuline, ainsi que la couleur, les descripteurs sensoriels et la dureté de la viande de RA. De plus, comme observé précédemment avec les pratiques d'élevage de la période de finition, des conduites d'élevage qui sont des combinaisons de pratiques d'élevage différentes durant la vie des génisses, permettent d'obtenir des carcasses plus lourdes, mieux conformées (conduites d'élevage E et F) ou avec un meilleur rendement (conduite d'élevage D). Néanmoins, ces deux études montrent que les périodes qui précèdent la période de finition participent à l'explication des variations observées au niveau des caractéristiques de la carcasse. Il est donc possible que les prédictions des caractéristiques de la carcasse et de la viande soient améliorées en considérant la conduite d'élevage dans sa globalité sur l'ensemble de la vie de l'animal.

9.2 Prédiction des caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir de différents facteurs d'élevage appliqués tout au long de la vie de l'animal

Précédemment, nous avons montré qu'il était possible de prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir de facteurs d'élevage spécifiques de la période de finition. Cependant, les prédictions de la plupart des descripteurs sensoriels ne sont pas satisfaisantes. Nous avons supposé qu'il fût possible d'améliorer la qualité de prédiction des modèles en considérant les conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie des animaux.

Dans cette étude, l'objectif était de prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande à l'aide de modèles considérant, dans un premier temps, des facteurs spécifiques à la période de finition, puis dans un second temps, l'ensemble des facteurs caractérisant l'ensemble de la conduite d'élevage (de la naissance à l'abattage). En faisant des modèles sur deux périodes de temps différents, nous supposons que les modèles auraient une meilleure qualité de prédiction lorsque la période étudiée était plus longue.

Comme la qualité de prédiction des descripteurs sensoriels individuels était très faible, nous avons fait le choix de prédire des classes de viandes. Afin de rester homogène, nous avons également défini des classes pour la carcasse. Ces classes sont définies grâce à des critères propres à la carcasse et aux propriétés sensorielles de la viande. Pour réaliser cette étude, les données issues de l'étude Fleur d'Aubrac ont été remobilisées.

**Prediction of clusters of beef carcass and meat traits
from factors characterizing
the full farm management system applied during
the whole life of heifers**

SOULAT Julien¹ ; PICARD Brigitte¹ ; LEGER Stéphanie^{2,3} ;et MONTEILS Valérie¹

¹ UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

² Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

³ CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

Ce travail est en préparation pour une soumission dans Meat Science.

Résumé

L'objectif de cette étude était de prédire des classes de la carcasse et de la viande à partir de facteurs d'élevage. Les classes de la carcasse et de la viande ont été définies à partir des critères propres à la carcasse (poids, rendement et conformation) et à la viande (tendreté globale, jutosité globale, intensité de flaveur et présence de gras). Deux modèles ont été établis en utilisant la régression logistique multinomiale pour prédire les classes de la carcasse. Le premier a été établi à partir des facteurs d'élevage caractérisant la période de finition et le second, à partir de l'ensemble des facteurs d'élevage caractérisant les conduites d'élevage appliquées tout au long de la vie des animaux. Il a été fait de même pour prédire les classes de la viande. Dans cette étude, les données individuelles de 96 génisses ont été utilisées pour réaliser les modèles de prédiction. Les conduites d'élevage étaient caractérisées par plusieurs facteurs d'élevage sur trois périodes clés de l'ensemble de la vie des génisses : la période de pré-sevrage (18 variables), la période de croissance (14 variables) et la période d'engraissement (19 variables). Les informations sur les conduites d'élevage ont été recueillies à partir d'enquêtes en élevage. Pour la carcasse et la viande, les modèles de prédiction établis à partir de facteurs d'élevage sur l'ensemble de la vie des animaux (modèle « vie entière ») avaient des valeurs de critère d'information d'Akaike et de déviance plus faible par rapport aux modèles établis seulement à partir de facteurs d'élevage caractérisant la période de finition. Les modèles « vie entière » permettent une meilleure discrimination des classes de la carcasse et de la viande, avec respectivement, des taux de bien classés de 69,8% et de 68,8%. Pour ces deux modèles de prédiction, les valeurs moyennes de la sensibilité et de la précision sont > 70% à l'exception de la sensibilité du modèle prédisant les classes de la viande (sensibilité = 66,5%). Dans les deux modèles « vie entière », les facteurs d'élevage de la période de croissance des génisses ne sont pas significatifs. Le type de vêlage et l'âge à l'abattage sont les seuls facteurs d'élevage en commun dans ces deux modèles.

Prediction of clusters of beef carcass and meat traits from factors characterizing the rearing management system applied during the whole life of heifers

Running head: Prediction of beef carcass and meat clusters

J. Soulat*, B. Picard*, S. Léger†‡, V. Monteils*

* UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

† Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

‡ CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

ABSTRACT

The aim of this study was to predict carcass and meat clusters from the rearing factors. The carcass and meat clusters were defined from specific parameters of the carcass (weight, dressing percentage and conformation) and the meat (overall tenderness, overall juiciness, flavor intensity and fat presence). Two models were established using the multinomial logistic regression to predict the carcass clusters. The first one was developed from the specific rearing factors of the fattening period and the second one, from the whole rearing factors characterizing the rearing management system applied during the whole life of the animals. The same procedure was applied for the prediction of the meat clusters. In this study, the individual data of 96 heifers were used to establish the prediction models. The rearing management systems were characterized by many rearing factors on three key periods of the whole life of the heifers: the pre-weaning period (18 variables), the growth period (14 variables) and the fattening period (19 variables). The rearing management system data were collected from rearing surveys. For the carcass and the meat, the prediction models established from the rearing factors of whole life (model whole life) had lower Akaike information criterion and deviance values than the prediction models only established from the specific rearing factors of the fattening period. The models whole life allowed higher discrimination of the carcass and meat clusters with success rate of 69.8% and 68.8%, respectively. For these two prediction models, the means of sensitivity and accuracy were > 70% except for the sensitivity of the model which predicted meat clusters (sensitivity = 66.5%). In the both models whole life, the rearing factors of the growth period of the heifers were not significant. The calving type and the slaughter age were the only common rearing factors in the both models.

Key words: carcass composition, rearing surveys, logistic regression, meat sensory properties, rearing practices

INTRODUCTON

The simultaneous management of the properties of the carcass and beef meat is a main objective of the beef meat sector. It would allow to ensure a high remuneration for the farmer which is based on the properties of the carcasses (Polkinghorne and Thompson, 2010; Allen, 2014) and to satisfy the consumer expectations whose the beef tenderness is the main criteria (Grunert et al., 2004). Many studies displayed that different rearing factors applied during the fattening period (fattening duration, diet composition, slaughter age, etc.) had an impact on the properties of the carcass and/or the meat (Vestergaard et al., 2007; Marti et al., 2013; Aviles et al., 2015). A previous study of Soulat et al. (2016) displayed predictive models of the potential properties of the carcass and meat from the fattening rearing factors. However, the prediction quality of the meat tenderness was not satisfactory from only the fattening rearing factors with the post-slaughter conditions controlled. Other studies displayed that rearing managements during the periods before the fattening period (with different weaning age or growth rate for example) could have an impact on the carcass properties (Wertz et al., 2001; Neel et al., 2007; McIntyre et al., 2009; Sexten et al., 2012). Consequently a talking into consideration of a broader period than the only fattening period could present an interest to improve the prediction of the carcasses and meat properties. The aim of this study was to establish models to predict clusters of the carcass and meat properties from rearing factors characterizing i/ the fattening period and ii/ the whole life of the animals to estimate the improvement of the prediction with a broader study period. The predicted carcass and meat clusters were defined from different parameters characterizing the carcass and the sensory properties of the meat, respectively. The originality of this study was to develop prediction models using the logistic regression and to study the rearing factors applied during the whole life of the animals.

Table 1. Means of the rearing factors characterizing the pre-weaning period applied in the 8 studied farms

Rearing factors of the pre-weaning period			
Quantitative rearing factor	Mean (SD)	Min	Max
Birth weight, kg	42 (4)	28	53
ADG, kg/d	1.0 (0.1)	0.6	1.3
Age of the cow ¹ , year	6.9 (2.9)	2.6	14.3
Cow parity ²	5.0 (2.9)	1.0	13.0
Age at the first calving ³ , mo	34.5 (3.0)	25.2	39.1
Duration_day_CC ⁴ , h/d	11.9 (11.3)	0.3	24.0
Tot_duration_CC ⁵ , d	192.0 (67.8)	110.9	305.0
Concentrate duration ⁶ , d	81.4 (61.5)	0.0	236.0
Concentrate crude protein content ⁷ , g/kg DM	100.0 (55.0)	0.0	264.0
Concentrate EN content ⁸ , Mcal	0.8 (0.5)	0.0	1.9
Grazing duration, d	140.3 (23.6)	107.0	174.0
Period duration, d	253.9 (34.9)	119.0	306.0
Qualitative rearing factor		n	
Insemination type	Artificial	51	
	Natural	45	
Calving type ⁹	Easy	75	
	Help	21	
Type of calf feed ¹⁰	Free	49	
	Accompanied	47	
Bull type ¹¹	Bull-3y	33	
	Bull-+3y	26	
	Bull-IA-CE	12	
	Bull-IA-EM	11	
Concentrate housing	Bull-IA-CE&EM	14	
	Yes	85	
Concentrate grazing	No	11	
	Yes	20	
	No	76	

¹ Age of the cow is the age of the cow when the heifer was born, ² Cow parity is the number of calf for the mother of the heifer when the heifer was born, ³ Age at the first calving is the age of the mother of the heifer at first calving, ⁴ Duration_day_CC is the time spent per day by the calf with its mother during the housing, ⁵ Tot_duration_CC is the total time spent by the calf with its mother, ⁶ Concentrate duration is the number of days when the animal received concentrates in their diet, ⁷ Concentrate crude protein content is the crude protein content in the average concentrate during the period, ⁸ Concentrate EN content is the net energy content in the average concentrate during the period, ⁹ Calving type is: Easy for natural calving and Help for farmer intervention, ¹⁰ Type of calf feed is: Free when the calf was always with its mother and Accompanied when the farmer put in the presence the calf with its mother, ¹¹ Bull type is: Bull-3y for 3 year old bulls belonging to the farmer, Bull-+3y for bull more than 3 years old belonging to the farmer, Bull-IA-CE for insemination bull for calving ease, Bull-IA-EM for insemination bull for early muscularity and Bull-IA-CE&EM for insemination bull for calving ease and early muscularity.

Table 2. Means of the rearing factors characterizing the growth period applied in the 8 studied farms

Rearing factors of the growth period			
Quantitative rearing factor	Mean (SD)	Min	Max
Age at weaning, mo	8.5 (1.1)	5.2	10.1
Weaning weight, kg	296 (47)	159	405
ADG, kg/j	0.6 (0.1)	0.3	0.8
Concentrate duration, d	206.4 (118.1)	51	407
Concentrate quantity intake ¹ , kg	293.4 (249.5)	45.9	1267.6
Concentrate quantity intake per day, kg/d	0.5 (0.4)	0.1	2.1
Concentrate crude protein content ² , g/kg DM	99.0 (59.0)	12.0	187.0
Concentrate EN content ³ ,Mcal	0.9 (0.5)	0.2	1.9
Grazing duration, d	272.5 (51.1)	197.0	349.0
Qualitative rearing factor		n	
Hay, %	> 80%	23	
	[40% ; 80%]	21	
	[20% ; 40%[36	
	< 20%	16	
Grass silage, %	> 50%	28	
	< 50%	15	
	0%	53	
Grass wrapping, %	> 60%	15	
	[40% ; 60%]	15	
	< 40%	16	
	0%	50	
Period duration, d	> 500 d	73	
	< 500 d	23	
Nature of grazing ⁴	Grass	76	
	Grass & Hay	20	

¹ Concentrate quantity intake is the concentrate quantity intake during the whole period per heifer, ² Concentrate crude protein content is the crude protein content in the average concentrate during the period, ³ Concentrate EN content is the NE content in the average concentrate during the period, ⁴ Nature of grazing is: Grass for > 75% of the grazing period with grass and Grass & Hay for > 75% of the grazing period with grass and a hay complement.

Table 3. Means of the rearing factors characterizing the fattening period applied in the 8 studied farms

Rearing factors of the fattening period			
Quantitative rearing factor	Mean (SD)	Min	Max
Age early fattening ¹ , mo	26.9 (2.6)	20.4	30.3
Slaughter age, mo	33.0 (3.0)	26.6	41.0
Initial weight ² , kg	607 (56)	448	779
Slaughter weight, kg	734 (62)	590	873
ADG, kg/j	0.7 (0.3)	0.2	2.4
Hay, %	55.6 (34.3)	0.5	100
Grass silage, %	22.5 (23.0)	0.0	82.8
Grass wrapping, %	18.5 (23.4)	0.0	64.6
Forage crude protein content ³ , g/kg DM	106.0 (31.0)	14.0	145.0
Forage EN content ⁴ , Mcal	1.2 (0.1)	1.0	1.3
Forage NDF content ⁵ , g/kg DM	577.0 (43.5)	510.2	642.3
Forage ADF content ⁶ , g/kg DM	324.1 (22.6)	277.0	351.9
Concentrate quantity intake ⁷ , kg	823.1 (486.0)	97.3	1967.4
Concentrate quantity intake per day, kg/d	4.0 (1.5)	2.1	7.4
Concentrate NE content ⁸ , Mcal	1.9 (0.1)	1.6	2.0
Grazing duration, d	50.4 (74.0)	0.0	199.0
Period duration, d	207.4 (125.9)	47.0	605.0
Qualitative rearing factor		n	
Concentrate crude protein content ⁹ , g/kg DM	> 250 g/kg DM	25	
	< 250 g/kg DM	71	
Fattening system ¹⁰	Grazing	15	
	Outside	16	
	Grazing & Housing	18	
	Housing	47	

¹ Age early fattening is the age at the beginning of the fattening period, ² Initial weight is the weight at the beginning of the fattening period, ³ Forage crude protein content is the crude protein content in the average forage (hay + silage + wrapping) during the period, ⁴ Forage EN content is the net energy content in the average forage (hay + silage + wrapping) during the period, ⁵ Forage NDF content is the NDF content in the average forage (hay + silage + wrapping) during the period, ⁶ Forage ADF content is the ADF content in the average forage (hay + silage + wrapping) during the period, ⁷ Concentrate quantity intake is the concentrate quantity intake during the whole period per heifer, ⁸ Concentrate EN content is the net energy content in the average concentrate during the period, ⁹ Concentrate crude protein content is the crude protein content in the average concentrate during the period, ¹⁰ Fattening system is: Grazing for only grazing during the fattening, Outside for finishing outside without grass, Grazing & Housing for during the fattening period a grazing period followed by housing period and Housing for only housing during the fattening.

MATERIALS AND METHODS

Animals

This study considered 96 crossed Aubrac x Charolais heifers from 8 commercial farms with different rearing management systems. These heifers were born between December 2012 and May 2013. All the rearing management systems respected the “Fleur d’Aubrac” design brief (Legifrance, 2008). The “Fleur d’Aubrac” label is an European protected geographical indication of heifer production. In this study, the whole life cycles of the heifers was considered in 3 key periods: the pre-weaning period (**PWP**), the growth period (between weaning and start of fattening, **GP**), the fattening period (**FP**).

Rearing Factors Data

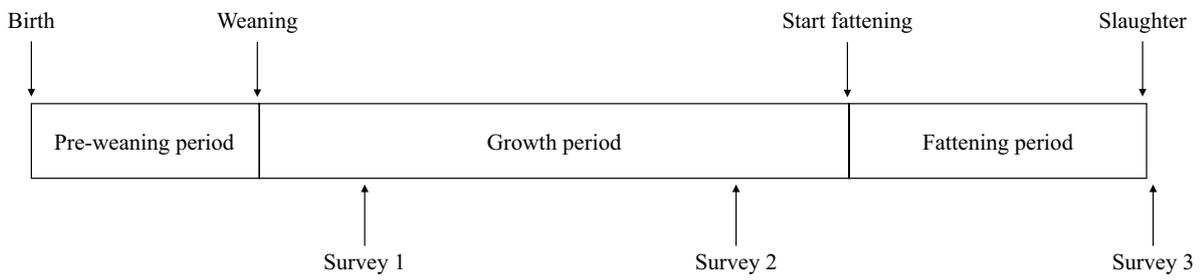
The 3 key periods were characterized by different rearing factors which were quantitative or qualitative data. The pre-weaning (Table 1), growth (Table 2) and fattening periods (Table 3) were characterized by 18, 14 and 19 rearing factors, respectively.

The rearing factors data applied by the farmers during the whole life of the heifers were collected by 3 surveys per farm distributed over time (Fig. 1). For each farm, an interviewing of the farmer was realized using survey questionnaires and the management practices batch was established together (Ingrand and Dedieu, 1996). The compositions of feedstuffs used in the fattening diet were collected from the farmer analyses for the forages and with the manufacturers for the concentrates. However, when a forage was not analyzed by the farmer, a sample was withdrawn and analyzed at the French National Institute for Agricultural Research (INRA, France) at the Auvergne/Rhône-Alpes Research Center (Theix, France). In this case, hays were analyzed by near-infrared spectroscopy (Andueza et al., 2016) and grass silages and wrappings were analyzed by chemical methods (Aufrère and Michalet-Doreau, 1983; Association of Official Analytical Chemists, AOAC, 1990; Van Soest et al., 1991).

Carcass Characteristics Data

All the heifers were slaughtered in the same slaughterhouse (Abattoir du Gévaudan, Antrenas, France), the only slaughterhouse identified in the “Fleur d’Aubrac” design brief to establish labeling

Fig 1 Presentation of the 3 key periods characterizing the whole life cycle of the heifers and the distribution of the rearing surveys conducted over time.



of the carcasses. This specificity ensured standardized conditions for slaughtering, chilling and storing procedures for our study.

The carcass was characterized by 3 variables: cold carcass weight (HCW x 0.98, kg), dressing percentage (dressing% = ratio of cold carcass weight to live weight before slaughter, %) and conformation score. The conformation score, was evaluated by an official judge which using the EUROP grid system (EC, 2006). In the EUROP system, the conformation score of the carcass was divided into 5 classes: E (very high muscle development), U, R, O and P (very poor muscle development). Three subcategories (high: “+”, average: “=” and low: “-”) divided each class of conformation. Finally in this system, the conformation score was allocated into a total of 15 subclasses. A scale between 1 and 15 could be used, 1 represent P⁻ (very poor muscle development) and 15 represent E⁺ (very high muscle development).

Rectus Abdominis Muscle Sensory Analysis Data

The full rectus abdominis (**RA**) were collected from the right-hand side of the carcass 24 h postmortem. For sensory analyses 77 samples were collected among the 96 heifers of the study for organizational aspects. The RA were aged under vacuum for 14 days at 4°C and after were frozen at -20°C until the sensory analyses.

The RA meat was characterized by 4 sensory descriptors: overall tenderness, overall juiciness, flavor intensity and fat presence. These sensory descriptors were evaluated by a trained tasting panel (16 members) by a monadic test on a 10-point non-graduated scale from a score of 0 (tough, dry, slight and too lean) to a score of 10 (very tender, very juicy, strong and highly fat). The RA samples were randomly selected for the sensory sessions to avoid samples from the same farm or the same frozen durations. The RA samples were thawed the eve of the sensory sessions at 4°C and cut into steaks (1.5 cm thick). These steaks, placed in aluminum foil to remove the roasted taste, were cooked in a double-double grill at a temperature of 300°C during 1 min 45 seconds to reach an internal temperature of 55°C. During each sensory session, 5 RA samples were tested by at each member of the tasting panel according to a partial Latin square design. Beforehand, the trained tasting panel used, had attended 15 training sensory sessions before starting the tastings of the study's RA samples.

Statistical Analyses

The statistical analyses were performed using R 3.3.1 (R core Team, 2016).

Rearing factor transformation

The descriptive analysis of the quantitative rearing factors showed any rearing factors with a discontinuous distribution with few values. The rearing factors concerned were i/ for the growth period, the percentages of hay, grass silage and grass wrapping in the housing diet and the period duration, ii/ for the fattening period, the crude protein content in the concentrate. Based on their distribution, these rearing factors were converted into qualitative parameters. The modality classes for each rearing factor concerned were defined using their graphic distribution. The aim was to define homogeneous modality classes which could be processed statistically.

Determination of the clusters for carcass and RA meat properties

The clusters of carcass and meat properties were defined from the variables characterizing each of them respectively. First, from the carcass data which were quantitative and qualitative, a factor analysis for mixed data (**FAMD**) was realized. A principal component analysis (**PCA**) were realized for the meat data because all were quantitative. Then, the FAMD and the PCA were followed by a hierarchical clustering on principal components (**HCPC**) for obtain the clusters of the carcass and those of the meat. ANOVA and X^2 test were conducted respectively for each quantitative or qualitative parameters characterizing the carcass or the meat to evaluate their dependence on the clusters defined. When the result of the ANOVA was significant, a post hoc analysis to compare the average pairwise was conducted using Tuckey test. In R, the FAMD, PCA and HCPC were conducted using the “FactoMineR” package (Le et al., 2008) and Tuckey test was conducted using the “agricolae” package (de Mendiburu, 2016).

Selection of the rearing factors for the establishment of the prediction models

First step, a multinomial logistic regression was done on each rearing factor according to the carcass clusters. The tested rearing factor with $P \leq 0.15$ were retained. The second step was to test and to reduce the multicollinearity among the rearing factors retained, using the variance inflation factors (VIF). The rearing factors with the greatest VIF were removed one after another to ultimately obtain $VIF < 10$. The same procedure was conducted on the meat clusters.

At the end of this selection, 20 rearing factors were selected to predict the carcass clusters. However, among these 20 rearing factors, we made the choice to withdraw the weight and ADG variables because there was the carcass weight in the parameters which characterizes the carcass clusters. Finally for the carcass prediction model, 14 rearing factors were retained: 4 for the pre-weaning period (age of the cow at the first calving (**age at the first calving**), the total time spent by the calf with its mother (**tot_duration_CC**), calving type and concentrate grazing), 2 for the growth period (concentrate quantity intake per day and grazing duration) and 8 for the fattening period (slaughter age, grazing period, proportion of hay, grass silage and grass wrapping in the diet (respectively, **hay_FP**, **grass_silage_FP** and **grass_wrapping_FP**), the ADF and crude protein content in the average forage (respectively, **forage_ADF_content_FP** and **forage_crude_protein_content_FP**), the NE content in the average concentrate (**concentrate_NE_content_FP**)). For the prediction of the meat clusters, 7 rearing factors were selected: 2 for the pre-weaning (calving and bull type) and 5 for the fattening period (slaughter age, slaughter weight, **grass_wrapping_FP**, fattening duration and fattening system).

Prediction models of carcass and meat clusters

Two models were developed to predict the carcass clusters, the first from only the rearing factors selected and characterizing the fattening period (fattening period model) and the second from the whole rearing factors selected (whole life model). The same step was realized to predict the meat clusters.

As the carcass and meat clusters were qualitative variables, the logistic regression was used. In this study, the multinomial logistic regression with logit model was used. A logistic model predicts the likelihood that an animal in the superior cluster of the predicted variable rather than the reference

cluster (Rakotomalala, 2014). It was necessary to determine the reference cluster in each prediction model.

According to the link between the clusters defined, 2 multinomial logistic regressions could be used. When the clusters are hierarchized with an improvement of the studied element (in this study the carcass or the meat) during the transition through the superior cluster, the cumulative multinomial logistic regression is used. On the other hand, the classic multinomial logistic regression is used if there is not hierarchy between the clusters defined.

- The cumulative multinomial logistic models were written as follows:

$$\ln \frac{P(Y \leq (K - 1) / X)}{P(Y > (K - 1) / X)} = a_{0,k} + a_1 X_1 + \dots + a_J X_J + \varepsilon$$

in which, $a_{0,k}$, a_1 and a_J are fixed effect of the model, X_1 and X_J are de rearing factors J , ε is the model error and K is the cluster number of Y (the predicted variable).

- The classic multinomial logistic models were written as follows:

$$\ln \frac{P(Y = (K - 1) + 1 / X)}{P(Y = (K - 1) / X)} = a_{0,k} + a_{1,k} X_1 + \dots + a_{J,k} X_J + \varepsilon$$

in which, $a_{0,k}$, $a_{1,k}$ and $a_{J,k}$ are fixed effect of the model, X_1 and X_J are de rearing factors J , ε is the model error and K is the cluster number of Y (the predicted variable).

For the establishment of the prediction models, the same approach was followed. For each complete prediction (i.e. early, all rearing factors selected were included in the model), the factor “farm” was tested as fixed effect, if it had a significant effect in the model, the “farm” was placed as random effect in the model. Then, to obtain the simplest prediction model, the nonsignificant rearing factors were remove one after the other. After each withdrawal, the new model was compared with the preceding model by a likelihood ratio test. In the prediction model, the rearing factors and the random effect were conserved in the model if the result of the comparison between the both models was $P < 0.10$.

The logistic regression model was realized using the “VGAM” package (Yee and Wild, 1996; Yee, 2015) for the classic multinomial logistic regression and the “ordinal” package (Christensen, 2015), in R.

To interpret the prediction models obtained with a logistic regression, the odds ratios (**OR**) were calculated. The OR determine the chance which had the carcasses and the meat to change of superior carcass or meat cluster when a single rearing factor present in the model increases of one unit while the other rearing factors are fixed at the means values in the model.

For the quantitative rearing factors, the OR interpretations are the following one, if the $OR = 1$, the rearing factor had no impact on the change of cluster, while, if the $OR > 1$, there is a higher chance that the carcasses or the meat were classified in the superior cluster relative to the reference cluster. At last, if the $OR < 1$, an increase of the rearing factor will strengthen the cluster placement in which the carcass or the meat is classified (Nakache and Confais, 2003; Rakotomalala, 2014). As the quantitative rearing factors included in the prediction models had not the same unit, an increase of 1 unit does not have all the time the same biological meaning (for example: an increase by 1 kg the slaughter weight had not sense whereas an increase by 1 kg the quantity of concentrate intakes had a biological meaning). Therefore, variation ranges (Δ) of the quantitative rearing factors were defined to consider a biological a biological explanation for the variation. The chance to change clusters was calculated as follows: OR^{Δ} .

For the qualitative rearing factors, the value of the OR represents the chance for a modality of the variable to change carcass or meat clusters relative to a reference modality of this variable. For example, the variable calving type which had 2 modalities easy and help. In the prediction model the reference modality was help and if the $OR = 2$, the interpretation was the easy calving had 2 times more likely than the help calving to change to the superior cluster of the carcass.

Table 4. Description of the carcass clusters

	Carcass clusters			<i>P</i>
	Overall	CARC-1	CARC-2	
<i>n</i>	96	25	36	35
Carcass parameters	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)
Cold carcass weight, kg	430 (42)	382 ^c (34)	431 ^b (22.9)	462 ^a (27)
Dressing percentage ¹ , %	58.5 (2.0)	57.1 ^c (2.1)	58.3 ^b (1.2)	59.7 ^a (1.8)
Conformation, scale 1-15	11.1 (1.0)	9.8 ^c (0.4)	11 ^b (0.0)	12.1 ^a (0.32)
Number of carcasses per EUROP classes ²				
E ⁻	4			4
U ⁺	31			31
U ⁼	36		36	
U ⁻	19	19		
R ⁺	6	6		

^{a,b,c} Means with superscripts differ ($P < 0.05$), ¹ Dressing percentage is the cold carcass weight:final live weight before slaughter. The cold carcass weight was estimated from HCW (cold carcass weight = 0.98 x HCW), ² The EUROP classes are E⁺ (extremely muscled), E⁻, E, [...], P⁺, P⁼ and P⁻ (very poorly muscled), *** $P < 0.001$.

Table 5. Description of the meat clusters

	Overall	Meat clusters			P
		MEAT-1	MEAT-2	MEAT-3	
n	77	17	30	30	
Sensory descriptors of RA, scale 0-10 ¹	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	
Overall tenderness	6.1 (0.8)	5.5 ^b (0.8)	6.5 ^a (0.6)	5.9 ^b (0.6)	***
Overall juiciness	6.4 (0.5)	5.9 ^c (0.6)	6.3 ^b (0.3)	6.7 ^a (0.4)	***
Flavor intensity	4.5 (0.7)	3.7 ^b (0.5)	4.9 ^a (0.5)	4.7 ^a (0.5)	***
Fat presence	7.6 (0.6)	7.4 ^b (0.6)	7.2 ^b (0.5)	8.0 ^a (0.4)	***

^{a,b,c} Means with superscripts differ ($P < 0.05$), ¹ Scale for overall tenderness, overall juiciness, flavor intensity and fat presence: 0 = tough, dry, slight and too lean and 10 = very tender, very juicy, strong and highly fat, *** $P < 0.001$.

Comparison between prediction models and prediction quality

Post analyses of the prediction models were realized to compare, for the same dependent variable, the model fattening period with the model whole-life, and to evaluate their prediction quality. Two parameters were observed to compare 2 models, the Akaike information criterion (AIC) and the deviance (deviance = $-2 \times \log\text{-likelihood}$). A model had a better prediction quality than another when their AIC and deviance values are lower.

To evaluate the prediction quality of the models, 3 parameters were observed: the success rate, the sensitivity and the accuracy. The success rate was the percentage of animals correctly classified in the confusion matrix of the model. The sensitivity of the model was the ability of the model to find the right value. The calculation of this parameter was the number of carcasses or meat from the cluster i predicted in the same cluster divided by the number of carcasses or meat from the cluster i . The accuracy of the model was the ability of the model to predict the right values. The calculation of this parameter was the number of animals from cluster i predicted in the cluster i divided by the number of animals predicted in the cluster i . The sensitivity and the accuracy of the prediction model were also calculated from the confusion matrix.

RESULTS AND DISCUSSION

Characterization of the Carcass and Meat Clusters

After the HCPC, 3 ordered clusters were defined for the carcass (Table 4). The cluster CARC-1 had the lower cold carcass weight, dressing% and conformation score, whereas the cluster CARC-3 had the higher cold carcass weight, dressing% and conformation. The cluster CARC-2 was significantly different from both cluster with intermediate cold carcass weight, dressing% and conformation.

Three clusters were also defined after the HCPC for the meat (Table 5) and these clusters were not ordered. The cluster MEAT-1 was characterized by the lower score for the 3 sensory descriptors (overall juiciness, flavor intensity and fat presence) than the cluster MEAT-3. The cluster MEAT-2 was characterized by the higher overall tenderness score and an intermediate score for the overall juiciness than both clusters. The cluster MEAT-2 was not significantly different for the fat presence score and the flavor intensity than the clusters MEAT-1 and MEAT-3, respectively. The cluster

Table 6. Description of the coefficients and the odds ratios of the carcass cluster prediction models fattening period and whole life

Model	Independent variables	Coefficients	SE	P	OR ¹	95% CI ²
Fattening period						
	Intercept					
	CARC-1 vs CARC-3	38.9	17.7			
	CARC-2 vs CARC-3	41.2	17.8			
	Concentrate_NE_content_FP ³	14.1	8.8	†	1.3 x10 ⁶	[0.04; 3.8 x10 ¹³]
	Slaughter age	0.4	0.1	***	1.5	[1.2; 1.9]
Whole life						
	Intercept					
	CARC-1 vs CARC-3	12.9	15.6			
	CARC-2 vs CARC-3	15.8	15.8			
	Age at the first calving ⁴	0.1	0.1	NS	1.1	[1.0; 1.4]
	Slaughter age	0.4	0.3	NS	1.5	[0.9; 2.7]
	Hay_FP ⁵	-0.03	0.05	NS	1.0	[0.9; 1.1]
	Calving_Easy (reference modality: Help)	-2.5	0.8	***	0.1	[0.02; 0.3]
	Concentrate pasture_Yes_PWP (reference modality: No) ⁶	1.4	0.7	*	4.0	[1.09; 14.9]

¹ OR = odds ratios, ² CI = confidence interval of odd ratios, ³ Concentrate EN content is the net energy content in the average concentrate during the fattening period, ⁴ Age of the cow is the age of the cow when the heifer was born, ⁵ Hay_FP is the percentage of hay in the fattening diet, ⁶ Concentrate supply (yes or no) of the calves during the grazing period of the pre-weaning period, NS = nonsignificant; † $P < 0.10$; * $P < 0.05$; *** $P < 0.001$.

Table 7. Goodness of fit measures for the prediction models fattening period and whole life of the carcass clusters

Measure	Prediction model of carcass clusters	
	Fattening period	Whole life
AIC ¹	191.8	178.5
Deviance	181.8	162.5
Success rate, %	63.5	69.8
Sensitivity, %		
	Mean	70.8
	CARC-1	80.0
	CARC-2	61.1
	CARC-3	71.4
Accuracy, %		
	Mean	70.3
	CARC-1	74.1
	CARC-2	61.1
	CARC-3	75.8

¹ AIC = Akaike information criterion.

MEAT-3 was characterized by the higher scores for overall juiciness, flavor intensity and fat presence, whereas, this cluster had no significant difference with the overall tenderness score of MEAT-1.

Prediction Models of Carcass Clusters

The 3 clusters of the carcass were hierarchized because when the carcass pass to the superior cluster it had higher weight, dressing% and conformation. The cumulative multinomial logistic regression was used to predict the carcass clusters and the cluster CARC-1 was the reference cluster. In these models, 2 comparisons were performed CARC-1 *vs* CARC-2 and CARC-2 *vs* CARC-3.

In the prediction fattening period model, 2 rearing factors were considered: concentrate_NE_content_FP and slaughter age. In the prediction whole life model, 5 rearing factors were considered whose 3 characterizing the pre-weaning period: age at the first calving, calving type and concentrate grazing and 2 characterizing the fattening period: slaughter age and hay_FP (Table 6). In the both models, the farm was put into random effect. The model whole life with lower AIC and deviance values was better than the model fattening period (Table 7). Then, the whole model life had a better prediction quality with a higher success rate, sensitivity and accuracy than the fattening period model. As the whole life model allowed the higher prediction quality of the carcass clusters, only the description and interpretation of this model had been studied. In the whole life model, the sensitivity and the accuracy for each carcass cluster were higher (> 60%). The CARC-2 cluster which is the intermediate cluster had nevertheless a sensitivity and an accuracy slightly lower than the both other clusters. The interpretation of the OR allows to illustrate the impact of the considered rearing factors on the parameters characterizing the carcass (Table 6).

The carcass of the heifers had $1.1^2 = 1.2$ times more likely to change to the superior carcass cluster with higher weight, dressing% and conformation if the first calving of their mothers was extended of 2 months. The age of the cow at its first calving had very few impact to improve the carcass traits its progeny and in our knowledge, that had never been studied. The carcasses had 4.0 likely to change to the superior carcass cluster, if the heifers ingested concentrates during the grazing of the pre-weaning period. On the other hand, the easy calving did not allowed to improve the carcass traits (weight, the dressing% and the conformation) (OR = 0.1). This result disagrees with the results of Eriksson et al. (2004) which illustrated with genetic relationships, an impact on the weight, the conformation and the fatness of the carcass after a difficult calving. The supply of concentrates during the grazing before the weaning allowed to improve the carcass traits. The concentrates are used for increasing the growth rate of the animal. The positive effect of the supply

of concentrates during the pre-weaning period on the carcass was in accordance with the results of Hennessy et al. (2001). In their study, these authors displayed that a rapid growth before the weaning allowed to obtain the heavier carcass

In the same study, the authors observed also that concentrate intake by younger calves (75 vs 150 d post-birth) allowed to improve the dressing% of the carcass when the rearing practices were the same during the growth and the fattening period. In our study, during the fattening period, an increase of the percentage of hay in the fattening of the heifers did not allowed to improve the characteristics of the carcasses because the OR = 1. Finally, if the slaughter age increased by 2 months, the chance to move to the superior cluster was $1.5^2 = 2.2$. An increase of the slaughter age allowed to improve the weight, the dressing% and the conformation of the carcasses. Some studies which observed the effect of an increase of the slaughter age on the weight and the conformation, in the heifers, were in accordance with our results (Pierret et al., 2002; Ahnstrom et al., 2012). Field et al. (1996) displayed also an increase of the carcass weight when the heifers were slaughter older, nevertheless, the authors did not displayed a significant increase of the carcass weight when the heifers were slaughtered at 33 and 35 months. Contrary to our results, in the heifers, Field et al. (1996) and Bures and Barton (2012) did not observed a significant effect of the slaughter age on the dressing%. However, on the young bulls a positive effect on the dressing was observed when the slaughter age increase (Aydin et al., 2013; Marti et al., 2013).

In conclusion, for this section, these results confirmed those of Soulat et al. (2016) who observed the possibility to predict the carcass characteristic from rearing factors. Then, the prediction models obtained in the present study had a higher prediction quality of the carcass characteristics considering the whole rearing management system in particular rearing factors from the pre-weaning period in addition to the rearing factors from the fattening period.

Prediction Models of Meat Clusters

The classic multinomial logistic regression without random effect was used to predict the meat clusters because the clusters were not hierarchized. In the models established, the cluster MEAT-1 was the reference cluster because the meat in this cluster had the lower scores for all sensory

Table 8. Description of the coefficients and the odds ratios of the meat cluster prediction models fattening period and whole life

Model	Independent variables	Coefficients	SE	P	OR ¹	95% CI ²
Fattening period MEAT-2 vs MEAT-1	Intercept	-8.7	5.1	†		
	Slaughter age	0.3	0.2	†	1.3	[1.0; 1.8]
	Grass_wrapping_FP ³	0.03	0.01	*	1.0	[1.0; 1.1]
MEAT-3 vs MEAT-1	Intercept	-12.0	5.1	*		
	Slaughter age	0.4	0.2	*	1.5	[1.1; 2.0]
	Grass_wrapping_FP	0.01	0.01	NS	1.0	[0.98; 1.04]
Whole life MEAT-2 vs MEAT-1	Intercept	-23.5	8.4	**		
	Slaughter age	0.3	0.2	†	1.4	[1.0; 1.9]
	Slaughter weight	0.02	0.01	*	1.0	[1.003; 1.029]
	Calving_Easy (reference modality: Help)	3.4	1.4	*	29.9	[2.0; 440.8]
	Bull->3y (reference modality: Bull-3y) ⁴	-0.7	1.0	NS	0.5	[0.1; 3.2]
	Bull-IA-CE (reference modality: Bull-3y) ⁴	-0.1	1.1	NS	0.4	[0.05; 3.6]
	Bull-IA-EM (reference modality: Bull-3y) ⁴	-1.1	1.1	NS	0.03	[0.03; 3.1]
	Bull-IA-CE&EM (reference modality: Bull-3y) ⁴	15.5	1070.0	NS	5.3 x10 ⁶	[0.0; + Inf]
	Intercept	-20.5	8.3	*		
	Slaughter age	0.4	0.2	*	1.6	[1.1; 2.2]
	Slaughter weight	0.01	0.01	NS	1.0	[0.996; 1.024]
MEAT-3 vs MEAT-1	Calving_Easy (reference modality: Help)	-0.1	1.0	NS	0.9	[0.1; 5.9]
	Bull->3y (reference modality: Bull-3y)	1.8	1.0	†	0.2	[0.02; 1.2]
	Bull-IA-CE (reference modality: Bull-3y)	-3.6	1.7	*	0.03	[0.001; 0.7]
	Bull-IA-EM (reference modality: Bull-3y)	-3.1	1.5	*	0.04	[0.002; 0.8]
	Bull-IA-CE&EM (reference modality: Bull-3y)	15.3	1070.0	NS	4.3 x10 ⁶	[0.0; + Inf]

¹ OR = odds ratios, ² CI = confidence interval of odd ratios, ³ Grass wrapping_FP is the percentage of grass wrapping in the fattening diet, ⁴ Bull-3y for 3 year old bulls belonging to the farmer, Bull->3y for bull more than 3 years old belonging to the farmer, Bull-IA-CE for insemination bull for calving ease, Bull-IA-EM for insemination bull for early muscularity and Bull-IA-CE&EM for insemination bull for calving ease and early muscularity.

Table 9. Goodness of fit measures for the prediction models fattening period and whole life of the meat clusters

Measure	Prediction model of meat clusters	
	Fattening period	Whole life
AIC ¹	162.4	154.0
Deviance	150.4	122.0
Success rate, %	45.4	68.8
Sensitivity, %		
	Mean	40.6
	MEAT-1	11.8
	MEAT-2	56.7
	MEAT-3	53.3
Accuracy, %		
	Mean	39.9
	MEAT-1	22.2
	MEAT-2	53.1
	MEAT-3	44.4

¹ AIC = Akaike information criterion.

descriptors. In these models, 2 comparisons were performed MEAT-1 vs MEAT-2 and MEAT-1 vs MEAT-3.

In the prediction fattening period model, 2 rearing factors were considered: slaughter age and grass_wrapping_FP. In the prediction whole life model, 4 rearing factors were considered whose 2 characterizing the pre-weaning period: calving and bull types and 2 characterizing the fattening period: slaughter age and slaughter weight (Table 8). For the whole life model, the values of AIC and deviance were lower than the model fattening period, and this model had also a higher success rate, sensitivity and accuracy (Table 9). The whole life model allowed a higher prediction quality of the meat clusters, consequently only the description and interpretation of this model had been studied. The model whole life allowed a high discrimination of the meat clusters with a success rate of 68.8%. The sensitivity and the accuracy for each meat cluster were high (> 60%) except the sensitivity of the MEAT-1 cluster. The interpretation of the OR allows us to illustrate the impact of the considered rearing factors on the parameters characterizing the meat (Table 8).

The RA meat from the heifers would have 29.9 and 0.9 times more likely to change to the superior meat cluster, respectively, MEAT-2 and MEAT-3, if the calving was easy. A calf which had an easy calving had more likely to be in the MEAT-2 cluster which had higher tenderness score than the MEAT-3 cluster. In our knowledge, the impact of the calving during the born of the calf had never been studied. However, Eriksson et al. (2004) observed genetic relationships between calving and carcass traits, possible relationships are possible between the calving and the meat properties. According to the OR of the whole life model, only a calf born to an insemination bull for calving ease and early muscularity (**Bull-IA-CE&EM**) compared to a 3-year-old bulls belonging to the farmer (**Bull-3y**), had more likely to change to the superior meat cluster MEAT-2 (OR = 5.3×10^6) or MEAT-3 (OR = 4.3×10^6). According to the genetic properties of the bull, the RA meat would more likely to be tender. This result was in accordance with the published results which illustrated that the genetic heritability had an impact on the muscle characteristics and consequently on the sensory properties of the meat (Renand et al., 1995; Renand et al., 2001; Hocquette et al., 2005). As the OR of the slaughter weight = 1, an increase of this rearing factor did not allowed to the RA meat to change to the MEAT-2 or MEAT-3 cluster. Finally, if the slaughter age increased by 2 months, the chance to move to the superior cluster MEAT-2 and MEAT-3 was, respectively, $1.4^2 = 2.0$ and $1.6^2 = 2.6$. The RA meat from the heifers had more likely to be classified in the MEAT-3 cluster if the heifers were slaughter older. In the cluster MEAT-3, the scores of overall juiciness and fat presence were higher than the MEAT-2 cluster but the tenderness score was lower. Our results are in accordance with those of Ahnstrom et al. (2012) and Bures and Barton (2012) which observed an increase of the overall tenderness and juiciness of the LM when the heifers were slaughter older.

These results illustrated, as for the model carcass clusters, that it is possible to predict meat properties from rearing factors. The prediction of meat clusters allowed to obtain a higher prediction quality compared to the meat prediction models developed by Soulat et al. (2016). The results of this study illustrated that a higher prediction quality to predict the carcass and meat traits was obtained considering the whole rearing factors characterizing the rearing management system received by the heifers during their whole life cycle. In the both developed models whole life no rearing factors characterizing the growth period were retained. During the growth period of the heifers, it is possible that there were few differences between the rearing practices of the farmers because of the “Fleur d’Aubrac” design brief. In the both whole life models to predict the clusters of the carcass and the meat, only the calving type and the slaughter age were the rearing factors in common. The change of the carcass and the meat to the superior cluster was similar for the slaughter age, whereas, the calving type had only a positive impact to improve the meat properties.

In conclusion, the originality of this study is to establish prediction models for the clusters of carcass and meat traits with a high prediction quality, from rearing factors characterizing the rearing management systems applied during the whole life of heifers. To generalize these models, it will be interesting to consider more animal categories, breeds and more varied rearing management systems. For the prediction of the meat, it will be also interesting to consider other muscles. Finally, a prediction repeatability study of these both models will be necessary, before considering it to decision support tool to adapt the rearing management.

LITERATURE CITED

- Ahnstrom, M. L., A. Hesse, L. Johansson, M. C. Hunt, and K. Lundstrom. 2012. Influence of slaughter age and carcass suspension on meat quality in Angus heifers. *Animal* 6:1554–1562. doi:10.1017/S1751731112000109
- Allen, P. 2014. Classification of carcasses. In: *Encyclopedia of meat sciences*. Vol. 1. second edition. Michael Dikeman & Carrick Devine. p. 307–315.
- Andueza, D., F. Picard, W. Martin-Rosset, and J. Aufrère. 2016. Near-infrared spectroscopy calibrations performed on oven-dried green forages for the prediction of chemical composition and nutritive value of preserved forage for ruminants. *Appl. Spectrosc.* 70:1321–1327. doi: 10.1177/0003702816654056

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Aufrère, J., and B. Michalet-Doreau. 1983. In Vivo Digestibility and Prediction of Digestibility of Some By-Products. In: Ch.V. Boucqué, L.O. Fiems, B.G. Cottyn, editor, Feeding Value of By-Products and their use by Beef Cattle. Brussels, Commission of the European Communities Publishing, Belgium; Luxembourg. p. 25–33.
- Aviles, C., A. L. Martinez, V. Domenech, and F. Pena. 2015. Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. *Meat Sci.* 107:94–103. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.04.016
- Aydin, R., M. Yanar, A. Diler, H. Kocyigit, and N. Tuzemen. 2013. Effects of Different Slaughter Ages on the Fattening Performance, Slaughter and Carcass Traits of Brown Swiss and Holstein Friesian Young Bulls. *Indian J. Anim. Res.* 47:10–16.
- Bures, D., and L. Barton. 2012. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech J. Anim. Sci.* 57:34–43.
- Christensen, R. H. B. 2015. ordinal - Regression Models for Ordinal Data. Available from: <http://www.cran.r-project.org/package=ordinal/>. (Accessed 20 October 2016.)
- EC. 2006. Concil Regulation (EC) No 1183/2006 of 24 July 2006 concerning the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. *Off. J. Eur. Union* 214:1–6.
- Eriksson, S., A. Näsholm, K. Johansson, and J. Philipsson. 2004. Genetic relationships between calving and carcass traits for Charolais and Hereford cattle in Sweden. *J. Anim. Sci.* 82:2269. doi: 10.2527/2004.8282269x
- Field, R., R. McCormick, V. Balasubramanian, D. Sanson, J. Wise, D. Hixon, M. Riley, and W. Russell. 1996. Growth, carcass, and tenderness characteristics of virgin, spayed, and single-calf heifers. *J. Anim. Sci.* 74:2178–2186. doi: doi:10.2527/1996.7492178x
- Fox, J., and S. Weisberg. 2011. An R Companion to Applied Regression. Second Edition. Sage, Thousand Oaks CA. Available from: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>. (Accessed 20 October 2016.)
- Grunert, K. G., L. Bredahl, and K. Brunsø. 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—a review. *Meat Sci.* 66:259–272. doi: 10.1016/S0309-1740(03)00130-X

- Hennessy, D. W., S. G. Morris, and P. G. Allingham. 2001. Improving the pre-weaning nutrition of calves by supplementation of the cow and/or the calf while grazing low quality pastures - 2. Calf growth, carcass yield and eating quality. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:715–724. doi: 10.1071/EA00153
- Hocquette, J. F., G. Renand, H. Levéziel, B. Picard, and I. Cassar-Malek. 2005. Genetic effects on beef meat quality. *Sci. Beef Qual.*:13–19.
- Ingrand, S., and B. Dedieu. 1996. Diversité des formules d'allotement en élevage bovin viande. Le cas d'exploitations du Limousin. (In French.) *Inra Prod. Anim.* 9:189–199.
- Le, S., J. Josse, and F. Husson. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stat. Softw.* 21:1–18.
- Legifrance, J. n°0249. 2008. Arrêté du 13 octobre 2008 portant homologation du cahier des charges de l'indication géographique protégée (IGP) «Génisse fleur d'Aubrac». (In French.) Available from: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2008/10/13/AGRP0823338A/jo/texte>. (Accessed 20 October 2016.)
- Marti, S., C. E. Realini, A. Bach, M. Perez-Juan, and M. Devant. 2013. Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 91:1129–1140. doi: 10.2527/jas.2012-5717
- McIntyre, B. L., G. D. Tudor, D. Read, W. Smart, T. J. Della Bosca, E. J. Speijers, and B. Orchard. 2009. Effects of growth path, sire type, calving time and sex on growth and carcass characteristics of beef cattle in the agricultural area of Western Australia. *Anim. Prod. Sci.* 49:504–514. doi: 10.1071/EA08180
- de Mendiburu, F. 2016. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R Package Version 12-4. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>. (Accessed 20 October 2016.)
- Nakache, J. P., and J. Confais. 2003. Modèle Logistique. In: *Statistique Explicative Appliquée*. Vol. Partie 2. (In French.) Technip. p. 77–168.
- Neel, J. P. S., J. P. Fontenot, W. M. Clapham, S. K. Duckett, E. E. D. Felton, G. Scaglia, and W. B. Bryan. 2007. Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: I. Animal performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 85:2012–2018. doi: 10.2527/jas.2006-735

- Oury, M. P., J. Agabriel, C. Agabriel, D. Micol, B. Picard, J. Blanquet, H. Labouré, M. Roux, and R. Dumont. 2007. Relationship between rearing practices and eating quality traits of the muscle rectus abdominis of Charolais heifers. *Livest. Sci.* 111:242–254. doi: 10.1016/j.livsci.2007.01.154
- Pierret, P., A. Breuvar, and C. Eisenzaemmer. 2002. Variabilité des poids et des conformations de carcasses de femelles bovines Charolaise d'un groupement de producteurs de Bourgogne. (In French.) In: *Proc. 9th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 272.
- Polkinghorne, R. J., and J. M. Thompson. 2010. Meat standards and grading. *Meat Sci.* 86:227–235. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.05.010
- R core Team. 2016. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org>. (Accessed 20 October 2016.)
- Rakotomalala, R. 2014. *Pratique de la Régression Logistique. Régression Logistique Binaire et Polytomique*. (In French.) Lyon.
- Renand, G., C. Jurie, J. Robelin, B. Picard, Y. Geay, and F. Menissier. 1995. Genetic-Variability of Muscle Biological Characteristics of Young Limousin Bulls. *Genet. Sel. Evol.* 27:287–298. doi: 10.1051/gse:19950306
- Renand, G., B. Picard, C. Touraille, P. Berge, and J. Lepetit. 2001. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Sci.* 59:49–60. doi: 10.1016/S0309-1740(01)00051-1
- Sexten, A. K., C. R. Krehbiel, J. W. Dillwith, R. D. Madden, C. P. McMurphy, D. L. Lalman, and R. G. Mateescu. 2012. Effect of muscle type, sire breed, and time of weaning on fatty acid composition of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 90:616–625. doi: 10.2527/jas.2011-4218
- Soulat, J., B. Picard, S. Leger, and V. Monteils. 2016. Prediction of beef carcass and meat traits from rearing factors in young bulls and cull cows. *J. Anim. Sci.* 94:1712–1726. doi: 10.2527/jas2015-0164
- Van Soest, P. J. V., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Vestergaard, M., N. T. Madsen, H. B. Bligaard, L. Bredahl, P. T. Rasmussen, and H. R. Andersen. 2007. Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Sci.* 76:635–643. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.02.001

Wertz, E., L. L. Berger, P. M. Walker, D. B. Faulkner, F. K. McKeith, and S. Rodriguez-Zas. 2001. Early weaning and postweaning nutritional management affect feedlot performance of Angus x Simmental heifers and the relationship of 12th rib fat and marbling score to feed efficiency. *J. Anim. Sci.* 79:1660–1669. doi:10.2527/2001.7971660x

Yee, T. W. 2015. *Vector Generalized Linear and Additive Models: With an Implementation in R*. USA: Springer, New York.

Yee, T. W., and C. J. Wild. 1996. Vector Generalized Additive Models. *J. R. Stat. Soc.* 58:481–493.

Conclusion

Cette étude a montré le fait qu'il était possible de prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir des pratiques d'élevage. Elle montre également que la qualité de prédiction est meilleure lorsque des classes de qualité de viande sont prédits par rapport à la prédiction individuelle des descripteurs sensoriels. Enfin, cette étude confirme l'hypothèse d'étudier l'ensemble de la vie des animaux pour expliquer les caractéristiques de la carcasse et de la viande. En effet, la qualité de prédiction des modèles est améliorée lorsque des facteurs d'élevage caractérisant les périodes de pré-sevrage et de finition sont considérés.

9.3 Explication des biomarqueurs à partir de différents facteurs d'élevage appliqués tout au long de la vie de l'animal

L'étude bibliographique a montré que certaines protéines du muscle squelettique avaient été identifiées comme des biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité de la viande de bœuf. Sachant que les facteurs d'élevage permettent d'expliquer les caractéristiques de la carcasse et de la viande, nous avons supposé qu'il était possible d'expliquer à partir de ces mêmes facteurs, les variations des abondances relatives des biomarqueurs. Dans un premier temps, à partir de l'abondance relative des biomarqueurs, nous avons cherché à prédire les caractéristiques (paramètres individuels ou groupes) de la carcasse et de la viande. Dans un second temps, nous avons cherché à expliquer les variations d'abondance de certains biomarqueurs à partir de facteurs d'élevage.

Ce travail a été réalisé en utilisant les données provenant de l'étude à l'IGP Fleur d'Aubrac.

**Explication, à partir des facteurs d'élevage,
de l'abondance des principales protéines impliquées dans
l'explication des caractéristiques
de la carcasse et de la viande**

SOULAT Julien¹ ; MONTEILS Valérie¹ ; LEGER Stéphanie^{2,3} ;et PICARD Brigitte¹

¹ UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

² Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

³ CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

Ce travail est en préparation pour une soumission dans Journal of Agricultural and Food Chemistry.

Explication, à partir des facteurs d'élevage, de l'abondance des principales protéines impliquées dans l'explication des caractéristiques de la carcasse et de la viande

J. Soulat¹, V. Monteils¹, S. Léger^{2,3}, B. Picard¹

¹ UMR1213 Herbivores, INRA, VetAgro Sup, Clermont université, université de Lyon, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

² Université de Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Laboratoire de Mathématiques, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand, France

³ CNRS, UMR 6620, Laboratoire de Mathématiques, F-63171 Aubière, France

Résumé

L'objectif de cette étude était, dans un premier temps, d'expliquer individuellement ou par groupes, les caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir de l'abondance relative de protéines biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité. Dans un deuxième temps, les variations d'abondance de certains biomarqueurs ont été expliquées à partir de facteurs d'élevage caractérisant la conduite d'élevage appliquée tout au long de la vie de génisses. Pour cette étude, les données sur la carcasse, l'abondance relative de 20 biomarqueurs et les propriétés sensorielles du muscle *rectus abdominis* (RA) de 77 génisses ont été mesurées. Parmi ces 20 biomarqueurs, l'énolase 3 et l'heat shock protein (HSP) 27 sont les 2 seules pour lesquelles les caractéristiques de la carcasse (poids, rendement et conformation) sont améliorées lorsque leurs abondances augmentent. Les améliorations de l'appréciation globale et du « meat quality score » (MQ4) des RA sont associées à une augmentation de l'abondance de HSP70 principalement, de la titine et de la myosin light chain 1F. Les facteurs d'élevage n'expliquent qu'une faible part de la variabilité de ces biomarqueurs, bien que les pratiques d'élevage appliquées aux différentes phases de la vie, en particulier la vitesse de croissance de l'animal, aient un impact sur leur abondance.

Mots clés : Conduites d'élevage, Biomarqueurs, Propriétés sensorielles, *Rectus abdominis*, Régression linéaire et logistique

1. Introduction

La tendreté de la viande bovine est le principal critère recherché par le consommateur (Grunert et al., 2004). Une difficulté rencontrée par la filière viande bovine est que la tendreté est très variable. Aussi, un objectif de la filière est de pouvoir maîtriser cette variabilité. Au cours des dix dernières années, différentes études ont identifié des protéines du muscle squelettique dont l'abondance relative est liée à la tendreté ou à l'adiposité de la viande bovine (Picard et al., 2015; Cassar-Malek and Picard, 2016). Ces protéines ont été utilisées afin de prédire les propriétés de la viande (sensorielles et rhéologiques). Plusieurs modèles de prédiction ont ainsi été établis pour les muscles *longissimus thoracis* (LM) et de *semitendinosus* (ST), chez le jeune bovin et la vache de réforme (Guillemin et al., 2010; Picard et al., 2014). Cependant, bien que différentes études aient montré que plusieurs facteurs d'élevage avaient un impact sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande (Oury et al., 2007; Couvreur et al., 2013; Soulat et al., 2016a), il existe très peu d'information concernant l'impact de ces facteurs sur l'abondance relative des protéines biomarqueurs. Quelques études ont toutefois mis en évidence qu'une restriction alimentaire (Cassar-Malek et al., 2008), la nature du régime alimentaire (herbe vs ensilage de maïs) et l'activité physique des animaux (Cassar-Malek et al., 2009) avaient un impact sur les gènes codant certaines protéines. Les deux principaux objectifs de cette étude ont été, d'une part, d'identifier les biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité permettant d'expliquer la variabilité des caractéristiques de la carcasse et de la viande du muscle *rectus abdominis* (RA), chez la génisse, grâce à la construction de modèles de prédiction. D'autre part, le second objectif a été d'expliquer les variations d'abondance relative de ces biomarqueurs à partir de facteurs d'élevage caractérisant la conduite d'élevage appliquée tout au long de la vie de génisses. Des modèles de prédiction ont également été établis pour expliquer ces variations. L'originalité de cette étude a été d'étudier simultanément, les effets des biomarqueurs sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande et, les effets des facteurs d'élevage sur l'abondance de ces biomarqueurs.

2. Matériel et méthodes

2.1. Animaux et conduites d'élevage

Les données de 75 génisses croisées Charolais x Aubrac sont été utilisées dans cette étude. Ces génisses provenaient de 8 exploitations et ont été élevées dans le respect du cahier des charges de l'indication géographique protégée (IGP) « Fleur d'Aubrac » (Legifrance, 2008).

Les conduites d'élevage mises en œuvre tout au long de la vie des génisses par les éleveurs ont été recueillies à l'aide d'enquêtes en élevage afin de caractériser 3 périodes de vie clés (avant sevrage, croissance et finition). Les différents facteurs d'élevage caractérisant chaque période clé ont été décrits dans Soulat et al. (2016b, en préparation pour The Journal of Agricultural Science). Par la suite, ne seront décrits que les facteurs d'élevage qui ont été utilisés dans cette étude.

2.2. Abattage et prélèvement des échantillons

Sur la demi-carcasse droite de chaque génisse, le RA entier a été prélevé, 24 heures *post mortem*. Les 75 génisses ont toutes été abattues dans l'abattoir du Gévaudan (Antrenas, France).

Un cube d'environ 5 g a été prélevé sur chaque RA (zone caudale) juste après leur prélèvement. Après avoir découpé les cubes de RA en petits morceaux, ils sont congelés dans l'azote liquide. Puis ces échantillons de RA sont placés dans des tubes et maintenus à -80°C en attendant l'analyse de l'abondance des protéines. Les RA sont ensuite mis sous vide et maturés pendant 14 jours à 4°C puis congelés à -20°C en attendant que les analyses sensorielles et rhéologiques soient effectuées.

Les paramètres caractérisant la carcasse ont été décrits dans Soulat et al. (2016b, en préparation pour The Journal of Agricultural Science). Ces paramètres sont le poids, le rendement et la conformation de la carcasse.

2.3. Analyses sensorielles et rhéologiques

L'analyse sensorielle des échantillons de RA a été effectuée par un jury entraîné de 16 personnes grâce à un test monadique. Dans cette étude, 4 descripteurs sensoriels ont été évalués par chaque juré sur une échelle non graduée de 0 à 10. Les descripteurs sensoriels étudiés sont : la tendreté globale, la jutosité globale, l'intensité de flaveur et l'appréciation globale où 0 correspond à un échantillon dur, sec, fade et peu apprécié et 10 correspond à un échantillon très tendre, juteux, fort et très apprécié.

Lors de chaque séance de dégustation, les 5 échantillons de RA analysés ont été sélectionnés aléatoirement, en veillant à ne pas faire déguster des échantillons provenant de la même exploitation et ayant différentes durées de congélation. Les échantillons de RA sont dégustés par chaque membre du jury en respectant un carré latin incomplet.

Les échantillons de RA sont décongelés 24 h avant le jour de la séance, une partie de l'échantillon est prélevée pour l'analyse rhéologique, le reste est découpé en steak de 1,5 cm d'épaisseur. Les steaks sont cuits entre une feuille d'aluminium sur un grill double face à une température de 300°C pendant 1 min 45 s pour atteindre 55°C à cœur. Ensuite, les steaks sont découpés en cube de 20 mm et 3 à 4 de ces cubes sont présentés sur une assiette en plastique à chaque membre du jury pour l'évaluation sensorielle.

A partir des descripteurs sensoriels mesurés, le meat quality score (MQ4) est calculé en appliquant la formule proposée par Legrand et al. (2013) adaptée aux conditions françaises : $MQ4 = 0,31 \times \text{tendreté globale} + 0,04 \times \text{jutosité globale} + 0,30 \times \text{intensité de flaveur} + 0,36 \times \text{appréciation globale}$.

En parallèle de l'analyse sensorielle, la force de cisaillement est mesurée sur l'échantillon de RA conservé pour cette analyse. La mesure de la force de cisaillement sur chaque échantillon de RA cru a été réalisée selon la méthode décrite par Salé (Salé, 1971) à l'aide d'un appareil d'essai des matériaux (MTS Synergie 200). Pour chaque échantillon de RA, 25 bandes de viande sont découpées dans le sens des fibres d'épaisseurs différentes (max 18 mm). Puis chaque bande est découpée perpendiculairement aux fibres afin de déterminer la force (daN) et le travail (dJ) à 1 cm. Enfin la force de cisaillement est calculée en faisant le rapport entre le travail et la force (dJ/daN).

Tableau 1 Description des descripteurs sensoriels, du MQ4 et de la force de cisaillement mesurée sur les *rectus abdominis* (RA)

	Moy ¹	±	σ ²	Min ³	Max ⁴
<i>Indicateurs sensoriels, note de 0 à 10⁵</i>					
Tendreté globale	6,07	±	0,77	3,58	7,63
Jutosité globale	6,39	±	0,55	4,90	7,77
Intensité de flaveur	4,53	±	0,67	2,87	6,04
Appréciation globale	6,41	±	0,53	4,40	7,40
MQ4 ⁶	5,80	±	0,51	4,38	6,78
Force de cisaillement, dJ/daN	0,50	±	0,07	0,33	0,74

¹ Moyenne, ² Ecart type, ³ Minimum, ⁴ Maximum, ⁵ Echelle pour tendreté globale, jutosité globale, intensité de flaveur et appréciation globale où 0 = très dure, sec, insipide et peu apprécié et 10 = très tendre, très juteux, intense et très apprécié, ⁶ Meat quality score.

Tableau 2 Description des 20 biomarqueurs de la tendreté et de l'adiposité et de leur fonction biologique

Biomarqueurs	Fonction		Moy ¹	±	σ ²	Min ³	Max ⁴					
<i>Adiposité</i>												
TBA4A	α-tubuline	Structure	-0,05	±	0,29	-0,65	0,67					
ALDH 1A1	Aldéhyde deshydrogenase 1	Métabolisme	0,04	±	0,53	-1,51	1,29					
PGK1 (131-145)	Phosphoglycérate kinase 1	Métabolisme	-0,28	±	0,4	-1,21	0,75					
ALDOA	Aldolase A	Métabolisme	0,03	±	0,38	-0,80	1,20					
PYGB/L/M (N-20)	Glycogen Phosphorylase, Brain	Métabolisme	0,03	±	0,52	-0,75	1,63					
FHL1	Four and a half LIM domains 1	Canal ionique	-0,07	±	0,42	-1,39	0,82					
<i>Tendreté</i>												
CRYAB	αB-Crystalline	HSP	0,24	±	0,42	-0,96	1,03					
HS71A	HSP ⁵ 70-1A	HSP	0,05	±	0,39	-0,82	0,91					
HSPB1	HSP27	HSP	0,22	±	0,42	-0,6	1,14					
HSPB2	HSP20	HSP	0,16	±	0,30	-0,53	0,78					
DNAJA1	HSP40	HSP	0,15	±	0,30	-0,54	1,07					
ENOB	Enolase 3 (ENO3)	Métabolisme	-0,39	±	0,58	-2,2	1,18					
MDHC	Malate deshydrogenase 1	Métabolisme	0,11	±	0,27	-0,5	0,83					
MYHI	Myosin Heavy Chain IIX (MyHC IIX)	Structure	0,15	±	0,73	-1,74	1,68					
MYL1	Myosin Light chain IF (MyLC 1F)	Structure	-0,30	±	0,57	-1,57	0,87					
TTN	Titine	Structure	-0,41	±	0,64	-2,46	1,05					
TNNT1	Troponine T1	Structure	-0,07	±	1,05	-2,58	2,04					
PRDX6 (3A10-2A11)	Peroxyredoxine 6	Stress oxydant	0,006	±	0,51	-1,25	1,30					
TRIM72	Tripartite motif protein 72	Transport cellulaire	0,01	±	0,71	-1,26	2,44					
<i>Tendreté & Adiposité</i>												
TPI 1	Triosephosphate isomerase 1	Métabolisme	-0,42	±	0,60	-1,94	1,32					
¹	Moyenne,	²	Ecart	type,	³	Minimum,	⁴	Maximum,	⁵	Heat	shock	protein.

Les descripteurs sensoriels dont les modèles de prédiction ont été établis, le MQ4 et la force de cisaillement sont présentés dans le Tableau 1.

2.4. Mesure de l'abondance relative des protéines

Les abondances relatives de 20 protéines (Tableau 2) identifiées comme des biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité ont été mesurées selon la méthode de Reverse Phase Protein Array (RPPA) décrite par Akbani et al. (2014). Les abondances sont mesurées à l'aide d'anticorps spécifiques à partir d'une extraction de protéines de 80 mg de chaque échantillon de RA qui était conservé à -80°C. L'extraction des protéines est réalisée selon la méthode décrite par Michaut et al. (2016).

Enfin, les résultats d'abondances sont normalisés selon la méthode décrite par Troncale et al. (2012) avant leur utilisation.

2.5. Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel R.3.3.1 (R core Team, 2016).

2.5.1. Prédiction des caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir des biomarqueurs

Une première étape a consisté à prédire les classes de carcasse et de viande précédemment définies dans Soulat et al. (2016c, en préparation pour Journal of Animal Science) à partir des biomarqueurs. Au préalable, la multicolinéarité entre les 20 biomarqueurs a été testée en considérant les facteurs d'inflation de la variance (VIF). Pour prédire ces classes, la démarche et les méthodes statistiques mises en œuvre par Soulat et al. (2016c, en préparation pour Journal of Animal Science) ont été remobilisées. La régression logistique multinomiale ordonnée et la régression multinomiale classique ont été utilisées respectivement, pour prédire les classes « carcasse » et « viande ».

Tableau 3 Description des classes des descripteurs synthétiques appréciation globale et meat quality score (MQ4)

	Classes						
	Faible			Elevée			
n	16			16			
	Moy ¹	±	σ ²	Moy	±	σ	<i>P</i>
Appréciation globale, note de 0 à 10 ³	5,65	±	0,42	7,02	±	0,18	***
MQ4	5,03	±	0,35	6,39	±	0,15	***

¹ Moyenne, ² Ecart type, ³ Echelle pour appréciation globale où 0 = peu apprécié et 10 = très apprécié.

*** $P < 0,001$

Tableau 4 Description des facteurs d'élevage considérés après l'étude de la multicolinéarité

Facteurs d'élevage	Moy ¹	±	σ ²	Min ³	Max ⁴
Période pré-sevrage					
<i>Facteurs quantitatifs</i>					
Rang de vêlage ⁵	4,95	±		1,00	13,00
Age 1er vêlage ⁶ , mois	34,42	±	2,86	26,00	38,05
Poids naissance, kg	41	±	4,30	28	53
GMQ ⁷ sevrage, kg/j	0,67	±	0,15	0,59	1,34
Durée pâturage, j	143,10	±	24,21	107,00	174,00
Tps_tot_MV ⁸ , j	193,70	±	68,5	110,90	305,00
Durée période, j	255,20	±	31,51	156,00	306,00
Teneur en protéines brutes des concentrés de la ration ⁹ , g/kg MS	99,25	±	57,59	0	264,30
Durée distribution des concentrés dans la ration ¹⁰ , j	84,41	±	64,15	0	236,00
<i>Facteurs qualitatifs</i>					
	n				
Type d'insémination					
	Monte naturel				
	IA ¹¹				
	Aidé ¹²				
Type de vêlage					
	Facile				
	Ferme_3ans				
	Ferme_+3ans				
Type de taureaux¹³					
	IA_facil-nais				
	IA_conf				
	IA_facil-nais&conf				
Distribution de concentrés en bâtiment					
	oui				
	non				
Distribution de concentrés au pâturage					
	oui				
	non				
Période croissance					
<i>Facteurs quantitatifs</i>					

Age sevrage, mois	8,50	±	1,01	5,16	10,09
GMQ croissance, kg/j	0,56	±	0,08	0,30	0,85
Quantité de concentrés ingérée par jour, kg/j	0,51	±	0,40	0,08	1,37
Durée pâturage, jour	274,10	±	54,30	197,00	349,00
Teneur en protéines brutes des concentrés de la ration, g/kg MS	99,3	±	59,45	12,62	187,58

Période finition

Facteurs quantitatifs

Age d'abattage, mois	32,88	±	2,28	28,27	37,28
Poids vif avant abattage	728	±	60,84	590	873
GMQ finition	0,69	±	0,32	0,19	2,43
Poids début finition	607	±	59,90	448	779
Pourcentage d'ensilage d'herbe dans la ration, %	21,51	±	23,75	0	82,84
Pourcentage d'enrubannage d'herbe dans la ration, %	22,24	±	24,44	0	64,63
Teneur en énergie nette des fourrages de la ration ¹⁴ , Mcal	1,19	±	0,08	1,02	1,33
Teneur en protéines brutes des fourrages de la ration ¹⁴ , g/kg MS	109,95	±	27,81	14,44	143,73
Quantité de concentrés ingérée par jour, kg/j	3,94	±	1,58	2,07	7,42
Durée pâturage, jour	53,75	±	73,8	0	199,00
Teneur en énergie nette des concentrés de la ration ¹⁵ , Mcal	1,92	±	0,06	1,65	2,02

¹ Moyenne, ² Ecart type, ³ Minimum, ⁴ Maximum, ⁵ Rang de vêlage de la mère de la génisse, ⁶ Age de la mère de la génisse lors de son premier vêlage, ⁷ Gain moyen quotidien, ⁸ Temps de présence du veau auprès de sa mère au cours de la période pré-sevrage, ⁹ Teneur moyenne en protéines brutes des concentrés distribués sur l'ensemble de la période, ¹⁰ Nombre de jours durant lesquels les animaux reçoivent des concentrés dans leur ration, ¹¹ Insémination artificielle, ¹² Intervention de l'éleveur durant le vêlage, ¹³ Type de taureaux : Ferme_3ans = taureau de l'exploitation de 3 ans, Ferme_+3ans = taureaux de l'exploitation de plus de 3 ans, IA_facil-nais = taureaux d'insémination vêlage facile, IA_conf = taureaux d'insémination bonne conformation et IA_facil-nais&conf = taureaux d'insémination vêlage facile & bonne conformation, ¹⁴ Teneur moyenne en protéines brutes et en énergie nette des fourrages (foin, ensilage d'herbe, enrubannage d'herbe) distribués sur l'ensemble de la période, ¹⁵ Teneur moyenne en énergie nette des concentrés distribués sur l'ensemble de la période.

Une seconde étape a consisté à prédire chaque descripteur sensoriel : tendreté globale, jutosité globale, intensité de flaveur et appréciation globale, le score MQ4 et la force de cisaillement, à partir des biomarqueurs. Ces modèles ont été établis par régression linéaire en utilisant la même procédure que celle mis en œuvre dans Soulat et al. (2016a).

Une dernière étape a consisté à obtenir des classes ($n = 16$) extrêmes des 2 descripteurs sensoriels synthétiques : l'appréciation globale et le score MQ4 (Tableau 3). Pour cette étape, nous nous sommes intéressés à ces 2 descripteurs car ils permettent une évaluation globale des propriétés de la viande. Pour l'appréciation globale, 2 classes sont obtenues : la classe « élevée » (regroupe les 16 individus qui ont les notes d'appréciation globale les plus élevées) et la classe « faible » (regroupe les 16 individus qui ont les notes d'appréciation globale les plus faibles). Il est fait de même pour le MQ4. La régression logistique binomiale est utilisée pour prédire les classes de chaque descripteur à partir des biomarqueurs, comme présenté dans Soulat et al. (2016d, en préparation pour une soumission à Agricultural Systems).

2.5.2. Explication des biomarqueurs à partir des facteurs d'élevage

- Sélection des facteurs d'élevage

La multicollinéarité sur les 51 facteurs d'élevage caractérisant la conduite d'élevage appliquée tout au long de la vie de l'animal (période pré-sevrage = 18 variables, période de croissance = 14 variables et période de finition = 19 variables) a été testée. L'étude des VIF a permis de sélectionner les facteurs d'élevage. Seuls les facteurs d'élevage avec des VIF < 10 ont été retenus. Au final pour cette étude, 30 facteurs d'élevage ont été retenus (période pré-sevrage = 14 variables, période de croissance = 5 variables et période de finition = 11 variables). Ces facteurs d'élevage sont présentés dans le Tableau 4.

- Elaboration des modèles de prédiction

A partir des facteurs d'élevage retenus, des modèles explicatifs ont été établis pour chaque biomarqueur considéré dans les modèles prédisant les caractéristiques de la carcasse et de la viande.

Ces modèles ont été établis par régression linéaire en utilisant la même procédure que celle mise en œuvre dans Soulat et al. (2016a). Dans tous les modèles développés pour cette étude, l'exploitation est testée en effet fixe puis mise en effet aléatoire si ce facteur a un effet significatif sur le modèle.

Sous R, les VIF ont été calculés à partir du package « car » (Fox and Weisberg, 2011). Les modèles établis en régression linéaire et en régression logistique binomiale l'ont été en utilisant le package « lmerTest » (Kuznetsova et al., 2016). Les modèles établis en régression multinomiale classique et ordonnée ont été obtenus en utilisant respectivement les packages « VGAM » (Yee and Wild, 1996; Yee, 2015) et « ordinal » (Christensen, 2015).

2.5.3. Evaluation de la qualité des modèles

En régression linéaire, 2 paramètres sont observés pour évaluer la qualité du modèle. Le premier est l'erreur moyenne de prédiction (MPE) qui informe sur la précision du modèle (Yan et al., 2007). Nous considérons que le modèle est précis lorsque $|MPE| \leq 0,10$ (Soulat et al., 2016a). Le second paramètre est le coefficient de détermination (R^2) qui informe sur la prédiction du modèle. La qualité du modèle explicatif est élevée lorsque le R^2 est proche de 1.

En régression logistique, l'interprétation des modèles est réalisée en observant les odds ratios (OR) comme décrit par Soulat et al. (2016d, en préparation pour une soumission à Agricultural Systems e). A partir des matrices de confusion, 3 paramètres sont observés pour évaluer la qualité de prédiction du modèle : le taux de bien classé, la sensibilité et la précision (Soulat et al. 2016d, soumis à Agricultural Systems). En régression logistique binomiale, l'aire sous la courbe (AUC) ROC pour Receiver Operating Characteristic est également observée. Le modèle discrimine mieux les classes lorsque l'AUC est proche de 1 (Nakache and Confais, 2003; Rakotomalala, 2014).

Tableau 5 Description des classes de la carcasse déterminée dans Soulat et al. (2016, en préparation pour Meat Science)

	Carcasse					
	Classe 1	Classe 2		Classe 3		
n	21	27	27	Moyenne	±	σ
Poids, kg	382 ^c	428 ^b	460 ^a	±	21,61	± 25,21
Rendement ² , %	57,16 ^b	58,39 ^b	59,76 ^a	±	1,36	± 1,98
Conformation	9,76 ^c	11 ^b	12,11 ^a	±	0	± 0,32
Note de conformation (EUROP) ³						
E ⁻						3
U ⁺						24
U ⁼					27	
U ⁻	16					
R ⁺	5					

¹ Ecart type, ² Rapport du poids de la carcasse froide et du poids vif avant abattage, ³ Sous-classes de conformation de la grille EUROP ou E⁺ (très bon développement musculaire) et P⁻ (très mauvais développement musculaire).

^{a,b,c} Les valeurs d'une même ligne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$)

Tableau 6 Description des coefficients et des odds ratios (OR) du modèle prédisant les classes de la carcasse définies dans Soulat et al. (2016, en préparation pour Meat science

Variables explicatives	Coefficient	OR	IC OR ¹
Ordonnée à l'origine			
Classe 1 vs Classe 2	-1,03		
Classe 2 vs Classe 3	0,92		
HSP27	0,01*	5,45	[1,44 ; 20,57]
ENO3	0,34 ^{NS}	1,57	[0,62 ; 3,98]

¹ Intervalle confiance des odds ratios.

NS = non significatif, * P < 0,05.

Tableau 7 Paramètres décrivant la qualité des modèles obtenus en régression logistique multinomiale

	Modèle carcasse	Modèle viande
Taux de succès, %	57,3	58,7
Sensibilité, %		
Moyenne	57,7	38,5
Classe 1	61,9	25,0
Classe 2	51,8	17,2
Classe 3	59,3	73,3
Précision, %		
Moyenne	59,4	40,3
Classe 1	72,2	33,3
Classe 2	46,7	45,4
Classe 3	59,2	42,3

Tableau 8 Description des classes de la viande déterminée dans Soulat et al. (2016, en préparation pour Meat Science)

	Viande						
	Classe 1		Classe 2		Classe 3		
	n	16	29	30	Moyenne	± σ	
<i>Indicateurs sensoriels, note de 0 à 10²</i>							
Tendreté globale		5,50 ^b	± 0,82	6,57 ^a	± 0,58	5,88 ^b	± 0,62
Jutosité globale		5,34 ^c	± 0,6	6,34 ^b	± 0,3	6,74 ^a	± 0,44
Intensité de flaveur		3,64 ^b	± 0,46	4,84 ^a	± 0,45	4,71 ^a	± 0,52
Présence de gras		7,34 ^b	± 0,65	7,18 ^b	± 0,5	8,04 ^a	± 0,39

¹ Ecart type, ² Echelle pour tendreté globale, jutosité globale, intensité de flaveur et appréciation globale où 0 = très dure, sec, insipide et peu apprécié et 10 = très tendre, très juteux, intense et très apprécié.

^{a,b,c} Les valeurs d'une même ligne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($\alpha = 5\%$).

3. Résultats

3.1. Prédiction des classes « carcasse » et « viande » définies dans Soulat et al. (2016, en préparation pour soumission à Journal of Animal Science) à partir des biomarqueurs

La régression logistique multinomiale ordonnée a été appliquée pour prédire les 3 classes de carcasse définies dans Soulat et al. (2016c, en préparation pour Meat Science). Cette méthode statistique est utilisée car les classes « carcasse » sont ordonnées avec une évolution croissance des caractéristiques de la carcasse de la classe 1 vers la classe 3 (Tableau 5). La classe 1 a été choisie comme classe de référence dans ce modèle car les carcasses de cette classe sont moins bien conformées et plus légères.

Dans ce modèle, seulement 2 biomarqueurs HSP27 et ENO3 sont retenus pour discriminer les 3 classes « carcasse » (Tableau 6). Au niveau de la qualité de prédiction, tous les indicateurs sont < 60% (Tableau 7). D'après la valeur des OR, une augmentation de l'abondance relative de HSP27 et d'ENO3 permet d'améliorer les caractéristiques de la carcasse. En effet, ces augmentations permettent d'obtenir des carcasses plus lourdes, avec un meilleur rendement et une meilleure conformation.

Pour prédire les 3 classes « viande » définies dans Soulat et al. (2016c, en préparation pour Meat Science), la régression logistique multinomiale classique a été utilisée car dans cette situation les classes n'étaient pas ordonnées. La classe 1 regroupe les RA avec les notes des 4 descripteurs sensorielles les plus faibles (Tableau 8). Cette classe a été considérée comme classe de référence dans le modèle. Cependant, pour la note de tendreté globale, les classes 1 et 3 ne sont pas significativement différentes. La classe 2 se caractérise par des notes de tendreté significativement plus élevées et des notes de jutosité intermédiaires par rapport aux 2 autres classes. La classe 3 se caractérise par des notes de jutosité et de présence de gras significativement plus élevées par rapport aux 2 autres classes. Dans ce modèle, deux comparaisons sont réalisées, classe 1 vs classe 2 et classe 1 vs classe 3. Dans ce modèle, la protéine MyHC IIX est l'unique biomarqueur retenu pour répartir les RA dans les 3 classes « viande » (Tableau 9). Avec un OR < 1, une augmentation de l'abondance relative de ce biomarqueur renforce le fait que la viande soit maintenue dans la classe dans laquelle le modèle l'a classée. Une augmentation de l'abondance de cette protéine ne contribue

Tableau 9 Description des coefficients et des odds ratios (OR) du modèle prédisant les classes de la viande définies dans Soulat et al. (2016, en préparation pour Meat science

	Variable explicative	Coefficient	OR	IC OR ¹
Classe 1 vs Classe 2	Ordonnée à l'origine	0,89*		
	MyHC IIx	-0,98 [†]	0,37	[0,14 ; 1,04]
Classe 1 vs Classe 3	Ordonnée à l'origine	0,93*		
	MyHC IIx	-1,04*	0,35	[0,13 ; 0,97]

¹ Intervalle confiance des odds ratios.

[†] $P < 0,10$, * $P < 0,05$.

Tableau 10 Description des modèles explicatifs des descripteurs sensoriels, du MQ4 et de la force de cisaillement ainsi que leurs critères statistiques

	Equation	R ²	MPE ¹
<i>Descripteurs sensoriels, note de 0 à 10²</i>			
Tendreté globale	6,07*** + 0,47* HSP70 + 0,29 [†] TTN + 0,41 [†] HSP27	0,09	0,12
Jutosité globale	6,35*** + 0,24 [†] PYGB/L/M - 0,48** ALDOA - 0,25* MyLC 1F -0,20* MyHC IIx	0,18	0,08
Intensité de flaveur	4,67*** + 0,27 [†] ENO3 - 0,23* MyHC IIx	0,08	0,14
Appréciation globale	6,55*** + 0,58** HSP70 - 0,44 [†] ALDOA + 0,44* PGK1 - 0,33 [†] PRDX6 - 0,22* MyHC IIx	0,16	0,07
MQ4 ³	5,90*** + 0,26 [†] HSP70 + 0,29 [†] PGK1 - 0,18* MyHC IIx	0,10	0,08
Force de cisaillement, dJ/daN	0,51*** + 0,04* TPI 1 - 0,04 [†] ENO3	0,06	0,13

¹ Mean prediction error, ² Echelle pour tendreté globale, jutosité globale, intensité de flaveur et appréciation globale où 0 = très dure, sec, insipide et peu apprécié et 10 = très tendre, très juteux, intense et très apprécié, ³ Meat quality score.

[†] $P < 0,10$, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

Tableau 11 Description des coefficients, des odds ratios (OR) et des paramètres de qualité des modèles de l'appréciation globale et de établis en régression logistique binomiale

	Sensibilité, %	Précision, %	AUC ¹	Taux de succès, %	Variables explicatives	Coefficient	OR	IC OR ²
Appréciation globale					Ordonnée à l'origine	0,44 ^{NS}		
					HSP70	3,71*	41,02	[1,50 ; 1119,29]
	60	93,3	0,78	73,3	TTN	1,54 [†]	4,66	[0,85 ; 25,61]
MQ4					Ordonnée à l'origine	0,62 ^{NS}		
					HSP70	4,27*	71,21	[2,09 ; 2421,14]
					TTN	0,85 ^{NS}	2,35	[0,55 ; 10,00]
	86,7	66,7	0,82	70	MyLC 1F	1,49 ^{NS}	4,45	[0,74 ; 26,71]

¹ Aire sous la courbe, ² Intervalle confiance des odds ratios.

NS = non significatif, † $P < 0,10$, * $P < 0,05$.

pas à améliorer les propriétés sensorielles de la viande. En revanche, l'abondance de cette protéine permet de bien classer les RA de la classe 3 (plus gras et plus juteux) avec une sensibilité de 73,3%. Néanmoins, la précision du modèle par classe qui est moins de 50% n'est pas satisfaisante.

3.2. Prédiction individuelle des descripteurs sensoriels à partir des biomarqueurs

D'après les résultats des différents modèles, les biomarqueurs expliquent seulement moins de 20% de la variabilité des différents descripteurs sensoriels, du score MQ4 et de la force de cisaillement (Tableau 10). Seuls les modèles : jutosité globale, appréciation globale et MQ4 ont une précision satisfaisante avec un $|MPE| \leq 0,10$. Dans ces 5 modèles, les biomarqueurs qui sont le plus souvent considérés sont : HSP70 et MyHC IIX. Lorsque l'abondance relative de HSP70 augmente des augmentations de la note de tendreté globale et de l'appréciation globale et du score MQ4 sont observées. En revanche, lorsque l'abondance relative de MyHC IIX augmente, des diminutions des notes de jutosité globale, d'intensité de flaveur et d'appréciation globale et du score de MQ4 sont observées.

3.3. Prédiction de classes d'appréciation globale et du score MQ4 à partir des biomarqueurs

Les modèles prédisant les classes d'appréciation globale et de MQ4 ont été établis par régression logistique binomiale car pour chaque modèle, il n'y avait que 2 classes à discriminer (Tableau 3). Dans ces 2 modèles, ce sont les classes « faible » qui sont les classes de références. Ces 2 modèles ont 2 biomarqueurs en commun HSP70 et TTN (Tableau 11). Dans le modèle MQ4, il y a en plus le biomarqueur MyLC 1F. Les modèles, établis en régression logistique binomiale, ont une qualité de prédiction satisfaisante avec des taux de succès de 73,3% et 70% et des AUC de 0,78 et 0,82, pour respectivement, l'appréciation globale et le MQ4. Le modèle prédisant les classes d'appréciation globale à une précision plus élevée que celui pour le score de MQ4 et inversement pour la sensibilité. Dans ces 2 modèles, avec des OR >1, une augmentation de l'abondance des différents biomarqueurs permet de faire passer les RA dans la classe supérieure. L'augmentation de l'abondance des protéines présentes dans les modèles permet d'obtenir des RA avec des notes d'appréciation globale et des scores MQ4 plus élevés. D'après ces modèles, une augmentation de l'abondance de HSP70 a un impact plus important que les autres protéines pour atteindre une appréciation globale et un score MQ4 plus élevés.

Tableau 12 Description des modèles explicatifs des biomarqueurs ainsi que leurs critères statistiques

Item	Equation	R ²	MPE ¹
ENO3	$-0,33^{NS} - 0,008^{**} \text{Durée_pâturage_pré-sevrage} + 0,37^{*} \text{Vêlage_facile}^{\Delta} + 1,42^{\dagger} \text{GMQ}^2 \text{croissance}$	0,13	-1,37
HSP70	$4,13^{***} + 0,003^{**} \text{Tps_tot_MV}^3 - 0,33^{**} \text{Vêlage_facile}^{\Delta} - 0,007^{**} \text{Durée_pâturage_croissance} - 0,002^{*} \text{Prot_CONC_croissance}^4 + 0,41^{*} \text{GMQ_finition} - 0,3$ $0,04^{***} \text{Poids_deb_finition}^{14} - 0,007^{*} \% \text{Enrubannage_Herbe}^5 + 0,006^{\dagger} \text{Prot_FOURRAGES_finition}^6 - 0,13^{**} \text{CONC_jour_finition}^7$	0,3	5,88
HSP27	$-0,50^{NS} + 0,85^{*} \text{GMQ_sevrage} - 0,27^{*} \text{Vêlage_facile}^{\Delta} - 0,28^{*} \text{CONC_jour_croissance}^8 + 0,008^{***} \% \text{Enrubannage_Herbe} + 0,01^{\dagger} \text{Durée_pâturage_finition}$	0,29	1,64
MyHC	$-5,45^{\dagger} - 4,18^{***} \text{GMQ_pré-sevrage} + 0,006^{**} \text{Prot_CONC_pré-sevrage}^9 - 0,37^{**} \text{Age_sevrage} - 8,64^{***} \text{GMQ_croissance} + 0,01^{***} \text{Prot_CONC_croissance}$	0,38	3,83
Iix	$+ 0,01^{***} \text{Poids_deb_finition}^{10} + 0,01^{**} \% \text{Ensilage_Herbe}^{11} - 2,30^{\dagger} \text{EN_FOURRAGES_finition}^{12} - 0,01^{***} \text{Durée_pâturage_finition} + 6,44^{***}$ $\text{EN_CONC_finition}^{13}$		
MyLC1F	$0,40^{NS} - 0,02^{***} \text{Durée_pâturage_pré-sevrage} + 0,005^{*} \text{Durée_CONC_pré-sevrage}^{14} + 0,75^{***} \text{Vêlage_facile}^{\Delta} - 1,72^{**} \text{Pres_CONC_bat_pré-sevrage}^{15} - 0,58^{\dagger} 0,43$ $\text{CONC_jour_croissance} + 0,01^{**} \text{Durée_pâturage_croissance} + 0,003^{*} \text{Prot_CONC_croissance} - 0,079^{*} \text{Age_abattage} + 0,003^{**} \text{Poids_av_abat}^{16} + 0,003^{\dagger}$	0,43	-1,44
TTN	$\text{Durée_pâturage_finition}$ $- 1,70^{**} - 0,008^{***} \text{Prot_CONC_pré-sevrage} + 0,007^{***} \text{Durée_CONC_pré-sevrage} + 0,39^{*} \text{Vêlage_facile}^{\Delta} + 2,41^{**} \text{GMQ_croissance} - 0,007^{*} 0,36$ $\% \text{Ensilage_Herbe}$	0,36	-1,25

¹ Mean prediction error, ² Gain moyen quotidien, ³ Temps de présence du veau auprès de sa mère au cours de la période pré-sevrage, ⁴ Teneur moyenne en protéines brutes des concentrés distribués au cours de la période de croissance, ⁵ Pourcentage d'enrubannage d'herbe dans la ration de finition, ⁶ Teneur moyenne en protéines brutes des fourrages (foin, ensilage d'herbe et enrubannage d'herbe) distribués au cours de la période de finition, ⁷ Quantité de concentrés ingérée par jour au cours de la période de finition, ⁸ Quantité de concentrés ingérée par jour au cours de la période de croissance, ⁹ Teneur moyenne en protéines brutes des concentrés distribués au cours de la période de pré-sevrage, ¹⁰ Poids vif au début de la finition, ¹¹ Pourcentage d'ensilage d'herbe dans la ration de finition, ¹² Teneur moyenne en énergie nette des fourrages (foin, ensilage d'herbe et enrubannage d'herbe) distribués au cours de la période de finition, ¹³ Teneur moyenne en énergie nette des concentrés distribués au cours de la période de finition, ¹⁴ Nombre de jours durant lesquels les animaux reçoivent des concentrés dans leur ration pendant la période de pré-sevrage, ¹⁵ Distribution de concentrés en bâtiment durant la période de pré-sevrage, ¹⁶ Poids vif avant abattage.

Vêlage_facile^Δ = 1 si le vêlage a été facile et 0 sinon.

NS = non significatif, † $P < 0,10$, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

Il ressort de cette partie que 6 biomarqueurs de la tendreté : HSP70, HSP27, MyHC IIx, MyLC 1F, TTN, ENO3 sont principalement impliqués pour expliquer les variations des caractéristiques de la carcasse et de la viande.

3.4. Explication de l'abondance relative des biomarqueurs à partir des facteurs d'élevage

L'influence des facteurs d'élevage caractérisant la conduite d'élevage mise en œuvre tout au long de la vie des génisses Fleur d'Aubrac sur l'abondance des 6 biomarqueurs évoqués précédemment a été analysée (Tableau 12). Dans les 6 modèles, l'exploitation est placée en effet aléatoire.

D'après les résultats des modèles, les facteurs d'élevage expliquent moins de 50% de la variabilité de l'abondance relative des biomarqueurs de la tendreté (Tableau 12). Les modèles établis ont une précision insuffisante ($|MPE| > 0,10$), à l'exception d'ENO3. Des facteurs d'élevage caractérisant les 3 périodes de vie définies sont considérés.

Parmi l'ensemble des facteurs initialement disponibles pour réaliser les modèles, seulement 10 sont retenus au moins une fois dans l'un des 6 modèles (Tableau 13). Les facteurs qui se retrouvent le plus souvent dans les modèles sont : facilité vêlage, GMQ croissance, teneur en protéines brutes des concentrés distribués durant la période de croissance et durée de pâturage. Le GMQ se retrouve dans tous les modèles sauf celui de MyLC 1F. L'abondance des différentes protéines est dépendante de la vitesse de croissance des animaux mais pas à la même période de vie selon la protéine étudiée. En fonction de la période de la vie des génisses, la durée de pâturage a également un effet sur l'abondance des protéines sauf pour TTN. La durée de pâturage semble avoir un rôle important sur l'abondance de la protéine MyLC 1F car les périodes de pâturage des 3 périodes de vie des génisses sont considérées dans le modèle de prédiction.

4. Discussion

Les principaux biomarqueurs impliqués dans l'explication des caractéristiques de la carcasse

Nos résultats sont originaux, car à notre connaissance, il n'existe pas de données faisant le lien entre ces protéines biomarqueurs et les propriétés des carcasses.

Tableau 13 Impact des facteurs d'élevage sur l'abondance relative de 6 biomarqueurs en fonction du signe de leur coefficient dans les modèles

Facteur d'élevage	Biomarqueurs					
	ENO3	HSP27	HSP71A	MyHC IIx	MyLC 1F	TTN
<i>Période de pré-sevrage</i>						
Vêlage facile	+	-	-		+	+
Tps_tot_MV ¹			+			
GMQ ²		+		-		
Durée pâturage	-				-	
Durée distribution des concentrés dans la ration					+	+
Distribution de concentrés en bâtiment					-	
Teneur en protéines brutes des concentrés de la ration				+		-
<i>Période de croissance</i>						
Age sevrage				-		
GMQ	+			-		+
Durée pâturage			-		+	
Quantité de concentrés ingérée par jour		-			-	
Teneur en protéines brutes des concentrés de la ration			-	+	+	
<i>Période de finition</i>						
Age abattage					-	
Poids au début de la finition			-	+		
Poids avant abattage					+	
GMQ			+			
Durée pâturage		+		-	+	
%Ensilage d'herbe dans la ration				+		-
%Enrubannage d'herbe dans la ration		+	-			
Teneur en protéines brutes des fourrages de la ration			+			
Teneur en énergie nette des fourrages de la ration				-		
Quantité de concentrés ingérée par jour			-			
Teneur en énergie nette des concentrés de la ration				+		

1 Temps de présence du veau auprès de sa mère au cours de la période pré-sevrage, 2 Gain moyen quotidien

+ Effet positif du facteur d'élevage sur l'abondance du biomarqueur considérée

- Effet négatif du facteur d'élevage sur l'abondance du biomarqueur considérée

D'après les modèles de prédiction, ENO3 et HSP27 sont les 2 biomarqueurs dont l'abondance est associée positivement à une amélioration des caractéristiques de la carcasse (poids, rendement et conformation). ENO3 est une enzyme glycolytique dont l'augmentation d'abondance relative est liée à une augmentation du métabolisme glycolytique (Guillemin et al., 2012). Les travaux de Listrat et al. (2001) et de Picard et al. (2010) montrent que les animaux de la race Blonde d'Aquitaine ou les bovins culards (Blanc Bleu Belge) ont des muscles plus glycolytiques. De plus, ces 2 races sont connues pour produire des carcasses lourdes et très bien conformées avec des masses musculaires élevées. Ces différents résultats sont cohérents avec la relation positive de l'abondance d'ENO3 sur les caractéristiques de la carcasse observée dans cette étude.

La protéine HSP27, également retenue dans le modèle « carcasse », est impliquée dans les processus de développement et de différenciation cellulaire, et de la survie cellulaire. A notre connaissance, le lien entre l'abondance de HSP27 et les caractéristiques de la carcasse, n'a pas été étudié. Néanmoins, chez les souris, Kammoun et al. (2016) observent que les souris KO HSP27 ont des retards de développement avec des formats plus petits par rapport aux témoins au début de leur croissance mais qui sont rattrapés avec l'âge. Ce résultat montre que cette protéine joue un rôle dans la vitesse de croissance des souris. On peut supposer que cette protéine a le même impact chez le bovin.

Les principaux biomarqueurs impliqués dans l'explication des propriétés sensorielles de la viande

Concernant la prédiction des propriétés sensorielles de la viande de RA, la prédiction de classes permet une meilleure qualité de prédiction par rapport à la prédiction individuelle d'indicateurs. Ce résultat est en accord avec ce qui a été observé par Soulat et al. (2016c, en préparation pour une soumission à Meat Science) pour les qualités sensorielles.

Dans les différents modèles, la protéine MyCH IIX est présente pour discriminer les classes « viande » et également prédire les paramètres globaux individuels de la viande dont l'appréciation globale et le MQ4. Dans le modèle en régression linéaire bien que la qualité de prédiction soit insuffisante, une augmentation de l'abondance de MyCH IIX a un effet négatif sur l'appréciation globale et le score MQ4 de la viande. La protéine MyCH IIX est une protéine de structure et a été identifiée comme un marqueur de dureté de la viande de LM (Picard et al., 2014). Les LM ayant les tendretés les plus élevées ont des abondances de MyHC IIX plus faibles par rapport à des LM plus dures. Au contraire, le muscle ST, MyHC IIX est un marqueur de tendreté. Picard et al. (2014) proposent que dans les muscles de type glycolytique tels que le ST, plus l'abondance de MyHC IIX

est élevée plus le muscle a de chance d'être tendre, au contraire dans les muscles plus oxydatifs, tels que le LM, plus l'abondance de MyHC IIX est élevée plus le muscle a de chance d'être dur. Or, les muscles LM et RA sont des muscles oxydatifs et leurs propriétés structurales et métaboliques sont assez proches contrairement à d'autres muscles comme le ST (Oury et al., 2010). Aussi, l'impact négatif d'une augmentation de l'abondance de MyHC IIX sur les propriétés sensorielles du RA observé dans notre étude est en accord avec les résultats obtenus par Picard et al. (2014) sur le LM.

Les 3 protéines : TTN, HSP 70 et MyLC 1F sont également retenues dans les modèles prédisant des groupes « élevé » et « faible » d'appréciation globale et de MQ4. Dans ces 2 modèles, une augmentation de l'abondance de chaque protéine joue un rôle favorable sur ces 2 indicateurs génériques des propriétés de la viande avec un plus fort impact de HSP 70.

La protéine HSP 70 est une protéine de la famille des protéines de choc thermique qui a une activité anti-apoptotique ralentissant le processus de mort cellulaire (Ouali et al., 2006). Picard et al. (2014) observent que cette protéine est positivement associée à la tendreté dans le muscle LM. Ce résultat est en accord avec l'effet de cette protéine sur les 2 descripteurs sensoriels synthétiques.

La protéine TTN (présente dans les 2 modèles) et MyLC 1F (présente uniquement dans le modèle appréciation globale) sont des protéines de structure. MyLC 1F joue un rôle dans la contraction du muscle mais son abondance est peu sensible au type de muscle (Guillemin et al., 2011). Nos résultats obtenus pour des descripteurs synthétiques sont différents avec ce qui est observé dans la littérature pour la note de tendreté globale. En effet, il a été observé qu'une diminution de l'abondance de TTN ou de MyLC 1F est liée à un attendrissement de la viande (Bouley et al., 2004; Picard et al., 2010). Cependant, dans notre étude, bien que la tendreté soit prise en compte ce n'est pas le seul élément qui varie dans les descripteurs synthétiques étudiés. Les différences observées peuvent être dus à la variation d'autres descripteurs (jutosité, flaveur) qui vont avoir un impact dans l'appréciation du morceau de viande par le jury d'analyses sensorielles et dans le calcul du MQ4.

Impact des facteurs d'élevage sur l'abondance relative des biomarqueurs

Il ressort de notre étude que les pratiques d'élevage à différentes périodes de la vie des génisses permettent d'expliquer une partie de la variabilité de l'abondance des biomarqueurs. Ce résultat confirme les résultats de certaines études montrant par exemple qu'une restriction alimentaire a un impact sur les abondances de certaines protéines (Almeida et al., 2016; Keogh et al., 2016). Dans les modèles établis, le GMQ et la durée de pâturage sont les 2 facteurs d'élevage qui sont le plus

souvent retenus. Les variations de GMQ et de durée de pâturage sont connues pour avoir un impact sur la vitesse de croissance des animaux. Un parallèle peut être fait avec les études sur la croissance discontinue de l'animal avec un GMQ plus faible en période hivernale quand l'alimentation est plus coûteuse. Il ressort de cette étude, que la conduite d'élevage mise en œuvre tout au long de la vie des génisses a un impact sur l'abondance des différents biomarqueurs. Ce résultat est également en adéquation avec ce qui a été montré au niveau de la carcasse et de la viande par Soulat et al. (2016b, soumis à *The Journal of Agricultural Science*).

5. Conclusion

Cette étude a mis en évidence que, parmi la liste à disposition de 20 protéines identifiées comme biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité, les abondances relatives d'ENO3 et d'HSP27 sont principalement associées aux caractéristiques de la carcasse. Les propriétés sensorielles de la viande de RA sont quant à elles essentiellement liées aux abondances de HSP70, TNN, MyLC 1F et MyCH IIx. Parmi ces 4 protéines, HSP70 est la protéine la plus influente. Cette étude a également montré que la qualité de prédiction des caractéristiques de la carcasse et de la viande était le plus souvent insuffisante. Enfin, il ressort également de cette étude que la conduite d'élevage appliquée tout au long de la vie des animaux avait un impact sur l'abondance de ces protéines en expliquant une faible part de cette variabilité. Globalement, il semblerait que la vitesse de croissance des animaux soit reliée aux variations des abondances des biomarqueurs. Afin de confirmer nos résultats, il serait intéressant d'augmenter le nombre d'animaux afin d'améliorer la qualité de prédiction des différents modèles et de valider les protéines permettant de discriminer les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Afin de mieux comprendre les variations d'abondances relatives de ces protéines, il serait intéressant de prendre en compte des éléments liés à la génétique de l'animal et au stress en complément des facteurs d'élevage.

Références

Akbani, R., K.-F. Becker, N. Carragher, T. Goldstein, L. de Koning, U. Korf, L. Liotta, G. B. Mills, S. S. Nishizuka, M. Pawlak, E. F. Petricoin, H. B. Pollard, B. Serrels, and J. Zhu. 2014. Realizing the Promise of Reverse Phase Protein Arrays for Clinical, Translational, and Basic Research: A Workshop Report. *Mol. Cell. Proteomics* 13:1625–1643.

- Almeida, A. M., P. Nanni, A. M. Ferreira, C. Fortes, J. Grossmann, R. J. Bessa, and P. Costa. 2016. The longissimus thoracis muscle proteome in Alentejana bulls as affected by growth path. *J. Proteomics. In Press.*
- Bouley, J., B. Meunier, J. Culioli, and B. Picard. 2004. Analyse protéomique du muscle de Bovin appliquée à la recherche de marqueurs de la tendreté de la viande. In: Vol. 11. p. 87–89.
- Cassar-Malek, I., S. Guilloud, J. F. Hocquette, D. Micol, B. Picard, and C. Jurie. 2008. Effet de la conduite d'élevage sur l'expression du marqueur de tendreté de la viande bovine DNAJA1. In: Vol. 15. p. 446.
- Cassar-Malek, I., C. Jurie, C. Bernard, I. Barnola, D. Micol, and J.-F. Hocquette. 2009. Pasture-Feeding of Charolais Steers Influences Skeletal Muscle Metabolism and Gene Expression. *J. Physiol. Pharmacol.* 60:83–90.
- Cassar-Malek, I., and B. Picard. 2016. Expression marker-based strategy to improve beef quality. *Sci. World J.* 2016. Available from: <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2016/2185323/abs/>
- Christensen, R. H. B. 2015. ordinal - Regression Models for Ordinal Data. Available from: <http://www.cran.r-project.org/package=ordinal/>
- Couvreur, S., G. Le Bec, D. Micol, G. Aminot, and B. Picard. 2013. Les caractéristiques des vaches de réforme de l'AOP Maine Anjou et les pratiques de finition influencent leur qualité de viande. In: Vol. 20. p. 165–168.
- Fox, J., and S. Weisberg. 2011. *An R Companion to Applied Regression*. Second Edition. Sage, Thousand Oaks CA. Available from: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Grunert, K. G., L. Bredahl, and K. Brunsø. 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—a review. *Meat Sci.* 66:259–272.
- Guillemin, N., C. Jurie, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, G. Renand, and B. Picard. 2011. Variations in the abundance of 24 protein biomarkers of beef tenderness according to muscle and animal type. *Animal* 5:885–894.
- Guillemin, N., C. Jurie, D. Micol, G. Renand, J. F. Hocquette, and B. Picard. 2010. Vers la mise au point d'équations de prédiction de la tendreté de la viande bovine. In: Clermont-Ferrand. p. 233–234.

- Guillemin, N. P., C. Jurie, G. Renand, J. F. Hocquette, D. Micol, J. Lepetit, and B. Picard. 2012. Different phenotypic and proteomic markers explain variability of beef tenderness across muscles. *Int. J. Biol.* 4:26–38.
- Kammoun, M., B. Picard, T. Astruc, M. Gagaoua, D. Aubert, M. Bonnet, V. Blanquet, and I. Cassar-Malek. 2016. The Invalidation of HspB1 Gene in Mouse Alters the Ultrastructural Phenotype of Muscles. *Plos One* 11:e0158644.
- Keogh, K., D. A. Kenny, P. Cormican, M. S. McCabe, A. K. Kelly, and S. M. Waters. 2016. Effect of Dietary Restriction and Subsequent Re-Alimentation on the Transcriptional Profile of Bovine Skeletal Muscle. *Plos One* 11:e0149373.
- Kuznetsova, A., P. B. Brockhoff, and R. H. B. Christensen. 2016. lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models. R Package 20-32. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>
- Legifrance, J. n°0249. 2008. Arrêté du 13 octobre 2008 portant homologation du cahier des charges de l'indication géographique protégée (IGP) «Génisse fleur d'Aubrac». Available from: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2008/10/13/AGRP0823338A/jo/texte>
- Legrand, I., J.-F. Hocquette, R. J. Polkinghorne, and D. W. Pethick. 2013. Prediction of beef eating quality in France using the Meat Standards Australia system. *Animal* 7:524–529.
- Listrat, A., B. Picard, R. Jailler, H. Collignon, J. R. Peccatte, D. Micol, Y. Geay, and D. Dozias. 2001. Grass valorisation and muscular characteristics of blonde d'Aquitaine steers. *Anim. Res.* 50:105–118.
- Michaut, M., S.-F. Chin, I. Majewski, T. M. Severson, T. Bismeijer, L. de Koning, J. K. Peeters, P. C. Schouten, O. M. Rueda, A. J. Bosma, F. Tarrant, Y. Fan, B. He, Z. Xue, L. Mittempergher, R. J. C. Kluin, J. Heijmans, M. Snel, B. Pereira, A. Schlicker, E. Provenzano, H. R. Ali, A. Gaber, G. O'Hurley, S. Lehn, J. J. F. Muris, J. Wesseling, E. Kay, S. J. Sammut, H. A. Bardwell, A. S. Barbet, F. Bard, C. Lecerf, D. P. O'Connor, D. J. Vis, C. H. Benes, U. McDermott, M. J. Garnett, I. M. Simon, K. Jirström, T. Dubois, S. C. Linn, W. M. Gallagher, L. F. A. Wessels, C. Caldas, and R. Bernards. 2016. Integration of genomic, transcriptomic and proteomic data identifies two biologically distinct subtypes of invasive lobular breast cancer. *Sci. Rep.* 6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4700448/>
- Nakache, J. P., and J. Confais. 2003. Modèle Logistique. In: *Statistique Explicative Appliquée*. Vol. Partie 2. Technip. p. 77–168.

- Ouali, A., C. H. Herrera-Mendez, G. Coulis, S. Becila, A. Boudjellal, L. Aubry, and M. A. Sentandreu. 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Sci.* 74:44–58.
- Oury, M. P., J. Agabriel, C. Agabriel, D. Micol, B. Picard, J. Blanquet, H. Labouré, M. Roux, and R. Dumont. 2007. Relationship between rearing practices and eating quality traits of the muscle rectus abdominis of Charolais heifers. *Livest. Sci.* 111:242–254.
- Oury, M.-P., R. Dumont, C. Jurie, J.-F. Hocquette, and B. Picard. 2010. Specific fibre composition and metabolism of the rectus abdominis muscle of bovine Charolais cattle. *Bmc Biochem.* 11:12.
- Picard, B., C. Berri, L. Lefaucheur, C. Molette, T. Sayd, and C. Terlouw. 2010. Skeletal muscle proteomics in livestock production. *Brief. Funct. Genomics:elq005*.
- Picard, B., M. Gagaoua, D. Micol, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, and C. E. M. Terlouw. 2014. Inverse Relationships between Biomarkers and Beef Tenderness According to Contractile and Metabolic Properties of the Muscle. *J. Agric. Food Chem.* 62:9808–9818.
- Picard, B., B. Lebret, I. Cassar-Malek, L. Liaubet, C. Berri, E. Le Bihan-Duval, J. F. Hocquette, and G. Renand. 2015. Recent advances in omic technologies for meat quality management. *Meat Sci.* 109:18–26.
- Picard, B., D. Micol, N. Dunoyer, V. Harbit, C. Denoyelle, G. Renand, I. Cassar-Malek, L. Journeaux, and C. Capel. 2014. Des biomarqueurs aux équations de prédiction des qualités sensorielles de la viande de vaches de réforme. In: Clermont-Ferrand, France. p. 123–124.
- R core Team. 2016. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org/>
- Rakotomalala, R. 2014. *Pratique de la Régression Logistique. Régression Logistique Binaire et Polytomique.* Lyon.
- Salé, P. 1971. Evolution de quelques propriétés mécaniques du muscle pendant la maturation. *Bull. Tech. CRZV* 6:35–44.
- Soulat, J., B. Picard, S. Leger, and V. Monteils. 2016a. Prediction of beef carcass and meat traits from rearing factors in young bulls and cull cows. *J. Anim. Sci.* 94:1712–1726.

- Soulat, J., B. Picard, S. Léger, M.-P. Elies-Oury, and V. Monteils. 2016b. Effect of overall rearing management systems on the characteristics of the carcass and the *rectus abdominis* meat in heifers. (*en préparation pour une soumission à The Journal of Agricultural Science*)
- Soulat, J., B. Picard, S. Léger, and V. Monteils. 2016c. Prediction of clusters of beef carcass and meat traits from factors characterizing the rearing management system applied during the whole life of heifers. (*en préparation pour une soumission à Journal of Animal Science*)
- Soulat, J., V. Monteils, S. Léger, and B. Picard. 2016d. Prediction of the conformation and fat score of cattle carcass characteristics from rearing factors. (*soumis à Livestock Science*)
- Troncale, S., A. Barbet, L. Coulibaly, E. Henry, B. He, E. Barillot, T. Dubois, P. Hupe, and L. de Koning. 2012. NormaCurve: A SuperCurve-Based Method That Simultaneously Quantifies and Normalizes Reverse Phase Protein Array Data. *Plos One* 7:e38686.
- Yan, T., J. P. Frost, T. W. J. Keady, R. E. Agnew, and C. S. Mayne. 2007. Prediction of nitrogen excretion in feces and urine of beef cattle offered diets containing grass silage. *J. Anim. Sci.* 85:1982–1989.
- Yee, T. W. 2015. *Vector Generalized Linear and Additive Models: With an Implementation in R*. USA: Springer, New York.
- Yee, T. W., and C. J. Wild. 1996. Vector Generalized Additive Models. *J. R. Stat. Soc.* 58:481–493.

Discussion générale

A partir de deux sources de données : bases de données expérimentales et enquêtes en élevage, l'originalité de ce travail a été d'expliquer et de prédire la variabilité des caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir des pratiques ou des conduites d'élevage appliquées, durant la période de finition ou tout au long de la vie des animaux, respectivement. La finalité de ce travail a été de montrer s'il était possible de piloter conjointement ces différentes caractéristiques à l'aide des pratiques ou des conduites d'élevage (Figure 27).

10 La source des données utilisées : bases de données expérimentales et enquêtes en élevage

L'une des particularités de ce travail a été l'utilisation d'une part de bases de données regroupant les mesures d'un grand nombre d'expérimentations réalisées en conditions contrôlées et d'autre part, des données recueillies lors d'une étude terrain à l'aide d'enquêtes en élevage. A l'inverse des études par méta-analyses basées sur des données moyennes de lots d'animaux, notre travail a porté exclusivement sur les données individuelles des animaux. Ces deux sources de données ont été complémentaires pour répondre aux différentes hypothèses émises tout au long de ce travail.

L'un des principaux intérêts de réinvestir les données issues des bases de données et qu'à un instant t , l'ensemble des mesures individuelles de l'animal vivant jusqu'à la viande, sont directement accessibles pour un grand nombre d'animaux. La diversité des expérimentations renseignées dans les bases de données permet de pouvoir disposer d'une variabilité importante pour les types d'animaux, les races, les facteurs d'élevage, les caractéristiques de la carcasse, du muscle et de la viande. Les données issues des bases de données utilisées dans ce travail provenaient en grande majorité d'expérimentations réalisées au centre ARA de l'Inra avec l'ensemble des abattages réalisés dans le même abattoir expérimental. Cependant, les données disponibles dans les bases de données sont issues d'expérimentations conduites essentiellement sur la période de finition des animaux. Notre étude en partenariat avec l'IGP Génisse Fleur d'Aubrac a permis de lever cette limite car grâce aux enquêtes en suivi, la collecte d'un grand.

nombre d'informations sur l'ensemble de la vie des génisses a pu être réalisée mais sur un nombre limité de génisses

Les informations recueillies durant ces enquêtes reflètent ce qui est réellement accessible sur le terrain. Cependant, les données concernant certains facteurs d'élevage, recueillies lors des enquêtes s'avèrent moins précises (estimations à dire d'éleveur) ou ne sont pas accessibles par rapport aux données issues des expérimentations. Par exemple, l'ingestion journalière individuelle des génisses n'est pas mesurée par l'éleveur. L'éleveur ne peut qu'estimer la quantité de fourrages ou de ration distribuée à un groupe d'animaux. De plus, le plus souvent les fourrages sont à volonté, rendant l'estimation plus difficile. L'incertitude était trop importante, cette information n'a pas été prise en compte dans les analyses. Au contraire, tout au long des expérimentations, les quantités offertes et les refusées de chaque aliment composant la ration sont mesurées. La composition de la ration et la valeur nutritionnelle de chaque aliment sont également renseignées dans les bases de données. Sur le terrain, les éleveurs sont plus précis sur la quantité distribuée de concentrés. Toutefois, contrairement aux expérimentations, l'éleveur raisonne la distribution des concentrés à l'échelle du lot de génisses. Pour les analyses, l'hypothèse faite était que chaque génisse consommait la même quantité de concentrés.

Au niveau de la carcasse, il existe également des différences d'accessibilité pour certaines mesures. En effet, les données de carcasses issues d'expérimentations permettent d'accéder à un plus grand nombre d'informations par rapport aux données carcasses recueillies sur le terrain. Il est plus facile de prélever dans un abattoir expérimental des échantillons qui induisent une importante dépréciation de la carcasse par rapport à un abattoir industriel. Cette difficulté est liée à la commercialisation des carcasses dépréciées. Par conséquent, les bases de données permettaient d'avoir accès à la composition de la carcasse grâce au prélèvement et à la dissection de la 6^{ème} côte. A cause de la dépréciation et de la valeur marchande de cette pièce bouchère, le prélèvement de la 6^{ème} côte n'a pas pu être réalisé sur les carcasses des animaux de notre étude terrain.

11 L'influence des pratiques d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande

A la différence de ce qui est habituellement étudié dans la littérature, l'originalité de ce travail a été de considérer les pratiques et les conduites d'élevage comme un ensemble de facteurs d'élevage ayant leur propre variabilité. Cette approche correspond plus à ce qui est observé sur le terrain. Au cours de la période de finition ou tout au long de la vie des animaux, par leurs pratiques ou conduites d'élevage, les éleveurs font varier simultanément plusieurs facteurs d'élevage.

Quelle que soit la période de la vie de l'animal considérée (finition ou vie entière), notre travail montre que les variations observées au niveau des caractéristiques de la carcasse et de la viande ne peuvent pas être expliquées par la variation d'un seul facteur d'élevage. Il est préférable de prendre en considération un maximum de facteurs d'élevage pour pouvoir expliquer davantage les différences observées en termes de caractéristiques de la carcasse et de la viande. De plus, ce travail a montré qu'il y avait un intérêt à tenir compte des facteurs d'élevage caractérisant les périodes qui précèdent la période de finition en particulier la période de pré-sevrage afin de mieux expliquer les différences observées au niveau de la carcasse ou de la viande. L'état dans lequel l'animal a débuté sa finition est lié aux pratiques d'élevage qu'il a reçu depuis sa naissance. Il est possible que la pratique mise en œuvre lors de la phase de finition ne permette pas d'atténuer totalement les différences entre les animaux au début de cette période.

Un autre résultat important de ce travail est que des pratiques ou des conduites d'élevage différentes par les combinaisons des facteurs d'élevage qui les définissent permettent d'obtenir des carcasses ou de la viande ayant des caractéristiques équivalentes. Ce travail a également mis en évidence qu'une pratique ou une conduite d'élevage pouvait être favorable pour la carcasse et sans effet voire défavorable pour la viande. Cela est observé, chez la génisse, dans les résultats de l'étude avec l'IGP Fleur d'Aubrac qui ne mettent pas en évidence d'effet des conduites d'élevage sur les propriétés sensorielles de la viande alors qu'elles en ont sur les caractéristiques de la carcasse. Les éleveurs de l'IGP Fleur d'Aubrac suivent un cahier des charges afin que les carcasses des génisses soient labélisées. Leur volonté est de produire de la viande liée au terroir qui se démarque du standard. Dans ce contexte, bien que les conduites d'élevage appliquées tout au long de la vie des génisses présentent des différences, elles sont modérées. Il est possible que ces

Tableau 64 Effet des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, chez le jeune bovin, d'après les résultats de Soulat et al. (2016b) et de Soulat et al. (2016c, en préparation pour une soumission à Agricultural Systems)

	Age d'abattage	Poids début finition	Poids avant abattage	Durée finition	MSI ¹ Concentrés% ²	ENI ³	Efficiace alimentaire ⁴
Carcasse							
Rendement	+	-				+	
% Tissu adipeux	+	-		-	+	+	
% Muscle	-	+		+	-	-	
Conformation ⁵			+		+		+
Etat d'engraissement ⁵			∅		+		+
Viande							
Tendreté globale		-		-			
Jutosité					-		+
Intensité de flaveur				-		-	

¹ Matière sèche ingérée ; ² Pourcentage de concentrés dans la ration de finition ; ³ Energie nette ingérée ; ⁴ Rapport entre le gain moyen quotidien et MSI ; ⁵ les symboles : ∅, -, + pour la conformation et l'état d'engraissement correspondent à l'interprétation des odds ratios pour passer dans la classe supérieure.

Influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande :

∅ : pas d'effet ; - : diminution ou ne permet pas de passer dans la classe supérieure ; + : augmentation ou permet de faire passer dans la classe supérieure

différences n'induisent pas une variabilité assez importante des propriétés sensorielles de la viande pour qu'elle soit perçue par le jury de dégustation.

Le dernier point qui ressort de ce travail est que pour atteindre l'optimum, que ce soit pour les caractéristiques de la carcasse ou de la viande, la pratique d'élevage doit être adaptée au type d'animal et à la race. Ce constat n'a été fait que pour la pratique d'élevage mise en œuvre durant la période de finition. En effet, selon le type d'animal (jeunes bovins vs vaches de réforme) ou la race, un même facteur d'élevage peut avoir un impact différent sur un paramètre caractérisant la carcasse ou la viande. De plus, l'impact de certains facteurs d'élevage sur la carcasse ou la viande peut être observé uniquement chez un type d'animal, comme par exemple, l'efficacité alimentaire pour les jeunes bovins ou la quantité journalière de fourrages ingérée pour les vaches de réformes (Tableaux 64 et 65). Le même constat est fait pour la race.

En conclusion, pour obtenir les caractéristiques de carcasse ou de viande les plus favorables, il n'existe pas une seule pratique ou conduite d'élevage. Il faut adapter celle-ci en fonction du type et de la race de l'animal. Ce résultat peut être positif pour l'éleveur, si celui-ci, suite à des aléas, doit modifier ses conduites d'élevage. En effet, à cause de conditions climatiques défavorables sur la pousse des fourrages et des céréales ou d'une inflation des prix des intrants, l'éleveur a la possibilité d'apporter des modifications à ses pratiques habituelles. Ces modifications des pratiques n'induiront pas forcément un impact négatif sur les caractéristiques de la carcasse ou de la viande, si un bon équilibre est trouvé entre les différents facteurs d'élevage après les modifications apportées à la pratique d'élevage.

12 Le développement de modèles pour prédire les caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir des facteurs d'élevage

Des prédictions de paramètres caractérisant la carcasse et la viande sont disponibles dans la littérature (Minchin et al., 2009; Prieto et al., 2009; ElMasry et al., 2012; Pogorzelska-Przybylek et al., 2014). L'apport de notre travail a été de développer des modèles prédisant conjointement les caractéristiques de la carcasse et de la viande à partir des mêmes facteurs d'élevage en vue d'un pilotage de la production en amont. Au-delà de la qualité de prédiction des modèles développés, un objectif était de développer les modèles les plus génériques possibles et dont les informations sur les facteurs d'élevage considérés étaient facilement accessibles.

Tableau 65 Effet des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, chez la vache de réforme, d'après les résultats de Soulat et al. (2016b) et de Soulat et al. (2016c, en préparation pour une soumission à Agricultural Systems)

	Age d'abattage	Poids début finition	Durée finition	MSI ¹	Fourrage ingéré ²	Concentrés% ³	ENI ⁴
Carcasse							
Rendement	-	+				-	
% Tissu adipeux	+	+	+			+	
% Muscle	-	+	-			-	
Conformation ⁵		+					+
Etat d'engraissement ⁵			+	+	-		-
Viande							
Tendreté globale		+					
Jutosité							
Intensité de flaveur			+				-

¹ Matière sèche ingérée ; ² Quantité de fourrages ingérée par jour ; ³ Pourcentage de concentrés dans la ration de finition ; ⁴ Energie nette ingérée ; ⁵ les symboles : -, + pour la conformation et l'état d'engraissement correspondent à l'interprétation des odds ratios pour passer dans la classe supérieure.

Influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande :

- : diminution ou ne permet pas de passer dans la classe supérieure ; + : augmentation ou permet de faire passer dans la classe supérieure.

Notre travail a confirmé qu'il était possible de prédire à partir de facteurs d'élevage les caractéristiques de la carcasse et de la viande.

Il ressort de nos résultats que la prédiction individuelle des caractéristiques de la carcasse à partir de facteurs d'élevage spécifiques de la période de finition est supérieure par rapport aux descripteurs sensoriels de la viande LM. La prédiction des descripteurs sensoriels à l'exception de la flaveur était insuffisante pour envisager une utilisation des modèles. Les mêmes constatations ont été faites pour les descripteurs sensoriels du RA. Cette difficulté à prédire les descripteurs sensoriels pourrait être expliquée par la non maîtrise de certains éléments à l'intérieur du muscle squelettique (par exemple : la protéolyse) lors de sa transformation en viande.

Pour pallier cette difficulté, des classes de qualité de viande ont été définies pour le LM et le RA. Des modèles ont été établis pour prédire ces différents groupes et il ressort de nos résultats qu'il est possible de discriminer plus facilement à partir de facteurs d'élevage spécifiques à la période de finition ou à la conduite d'élevage appliquée tout au long de la vie des animaux, les groupes de qualité de la viande définis.

Ce travail a également mis en évidence, pour la viande de RA, qu'en utilisant des facteurs d'élevage caractérisant la conduite d'élevage appliquée tout au long de la vie des génisses, que la qualité de prédiction des groupes de qualité de viande définis était améliorée. Le même constat est fait concernant le modèle prédisant des groupes de qualité de carcasse. Ce résultat montre une nouvelle fois l'intérêt de prendre en compte l'ensemble de la vie de l'animal pour expliquer la variabilité de la carcasse et de la viande. Bien que ces résultats soient encourageants, il est important que ces modèles soient validés afin de vérifier leur robustesse.

Enfin, nous avons essayé d'expliquer l'abondance relative de certains biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité à partir des facteurs d'élevage de la conduite d'élevage mise en œuvre tout au long de la vie de l'animal. Bien que toutes les périodes de la vie de l'animal soient considérées dans les modèles établis, les facteurs d'élevage n'expliquent qu'une faible part de la variabilité de ces abondances, contrairement aux caractéristiques de la carcasse et de la viande. Ce résultat est en accord avec ce que nous avons observé concernant l'abondance relative de ces biomarqueurs entre différentes conduites d'élevage. De plus, nous avons observé qu'il y avait une variabilité

Tableau 66 Effet des facteurs d'élevage sur les classes carcasse et viande définie dans Soulat et al. (2016a, en préparation pour une soumission à Meat Science), chez des génisses

	Classe carcasse	Classe viande
<i>Facteurs d'élevage</i>		
Age_1_vêlage ¹	+	+
Type vêlage	+	+ (vers classe MEAT-2) ² et - (vers classe MEAT-3) ²
Type taureau : taureau d'IA ³ avec facilité vêlage et muscularité précoce		+
Pâturage avec concentrés avant sevrage		∅
Age d'abattage	∅	
Poids avant abattage		+
%Foin_fini ⁴	-	

¹ Age de la vache à son premier vêlage ; ² Classe viande définie dans Soulat et al. (2016a, en préparation pour soumission à Journal of Animal Science), la classe MEAT-2 se caractérise par une tendreté du *rectus abdominis* (RA) plus élevée et la classe MEAT-3 se caractérise par des RA plus juteux et plus gras ; ³ Insémination artificielle ; ⁴ Pourcentage de foin dans la ration de finition.

∅, -, + : Effet du facteur d'élevage selon la valeur de l'odds ratio (∅ : pas d'effet ; - : ne permet pas de passer dans la classe supérieure ; + : permet de faire passer dans la classe supérieure)

importante de ces abondances entre les animaux ayant reçu la même conduite d'élevage. Il semblerait que le profil génétique des animaux soit un élément à considérer en plus des facteurs d'élevage pour améliorer les variations des abondances relatives des biomarqueurs.

13 A partir des pratiques d'élevage, le pilotage conjoint des caractéristiques de la carcasse et de la viande est-il possible ?

L'ensemble des résultats obtenus au cours de ce travail permet d'apporter des éléments pour répondre à notre question générale : Est-il possible de piloter conjointement les caractéristiques des carcasses et des viandes à partir des pratiques d'élevage ? Il ressort de ce travail qu'il est possible avec la conduite d'élevage d'améliorer les caractéristiques de la carcasse sans répercussion sur les propriétés de la viande (Soulat et al., 2016a, soumis à *The Journal of Agricultural Science*). Les résultats d'une autre étude montrent que ce pilotage est également possible car peu de facteurs d'élevage sont communs dans les modèles prédisant des classes de carcasse et de viande de RA (Soulat et al., 2016a, en préparation pour une soumission à *Meat Science*). Seuls l'âge à l'abattage et le type de vêlage sont en commun dans les 2 modèles établis (Tableau 66). Dans cette étude, un abattage des génisses Fleur d'Aubrac plus âgées permet d'améliorer simultanément les caractéristiques de la carcasse et de la viande. En revanche, une génisse qui est née avec un vêlage facile aura plus de chance d'être classée dans la classe de viande caractérisée par une tendreté plus élevée du RA, alors que ce même type de vêlage ne contribue pas à classer la carcasse dans une meilleure classe. Les résultats de modèles de prédiction établis uniquement sur la période de finition montrent que certains facteurs d'élevage ont le même effet sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande (Soulat et al., 2016b; Soulat et al., 2016c, en préparation pour une soumission à *Agricultural Systems*). C'est le cas de l'énergie nette (EN) ingérée par jour chez les jeunes bovins (Tableau 64) et du poids en début de finition chez les vaches de réforme (Tableau 65). En revanche, que ce soit chez le jeune bovin ou la vache de réforme, une augmentation de certains facteurs d'élevage va favoriser certains paramètres caractérisant la carcasse au détriment d'autres paramètres de la carcasse et de la viande (Tableau 64 et Tableau 65). Prenons différents exemples pour étayer cela. Chez le jeune bovin, une augmentation de l'âge à l'abattage permet d'augmenter la part de tissu adipeux au détriment de celle du muscle. Cependant, une modification de ce facteur ne semble pas avoir d'impact sur les

propriétés sensorielles du LM (Tableau 64). En revanche, le rendement de la carcasse est pénalisé lorsque les vaches de réforme sont abattues plus âgées (Tableau 65). Chez le jeune bovin, pour un animal plus lourd au début de la finition et avec une durée de finition plus longue, la carcasse aura une proportion plus importante de muscle mais la viande de LM sera plus dure et avec moins de flaveur. Une augmentation de la matière sèche ingérée des jeunes bovins permet d'obtenir des carcasses mieux conformées mais cela a pour conséquence de rendre la viande moins juteuse. Chez la vache de réforme, une augmentation de la durée de finition va conduire à des carcasses plus grasses et à de la viande plus dure mais avec plus de flaveur. Ces résultats montrent que les effets positifs de certains facteurs d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse ne le sont pas forcément sur les propriétés de la viande. Ce travail met en évidence qu'il est envisageable de piloter conjointement les caractéristiques de la carcasse et de la viande mais cela nécessite toutefois des compromis à 2 niveaux : le premier est intra entre les différents paramètres caractérisant la carcasse ou la viande, le second est inter entre les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Ces compromis sont indispensables pour ne pas trop favoriser certaines caractéristiques de la carcasse ou de la viande, et également ne pas favoriser la qualité de la carcasse au détriment de celle de la viande ou inversement.

14 Les limites et les perspectives de ce travail

Bien que ce travail ait apporté des éléments de réponses à notre question générale, il présente des limites qui peuvent être des pistes à explorer pour apporter de nouveaux éléments à ce travail. Dans chacune de nos études, nous avons travaillé sur un seul muscle à la fois. Il aurait été intéressant de comparer les effets des pratiques ou des conduites d'élevage sur plusieurs muscles. Nous supposons qu'en fonction du type de muscle et des pratiques ou des conduites d'élevage, qu'il puisse exister des différences au niveau des propriétés sensorielles et de l'abondance relative des biomarqueurs (Raes et al., 2003; Jurie et al., 2007; Oury et al., 2010; Picard et al., 2010; Guillemain et al., 2011; Couvreur et al., 2013; Costa et al., 2015; Keogh et al., 2016). De nouveaux compromis pourraient être envisagés dans le pilotage de la production pour favoriser les propriétés sensorielles des pièces bouchères avec une valeur marchande plus importante si toutefois les éleveurs avaient une incitation financière pour le faire.

Une autre limite de ce travail est que nous avons étudié les effets de la conduite d'élevage tout au long de la vie de l'animal sur un seul type d'animal, de type croisé et conduit selon un cahier des charges particulier. A la suite de ce partenariat avec l'IGP Génisse Fleur d'Aubrac, il serait intéressant de renouveler ce type d'étude à une plus grande échelle (plus de types d'animaux, de races, de diversités de conduites d'élevage, etc.) afin d'aboutir à des modèles de prédiction applicables dans un plus grand nombre de situations. Cette étude terrain a montré qu'il était important de suivre un grand nombre d'animaux d'une part pour avoir une diversité de conduites d'élevage plus importante et pour valider les modèles établis. Il serait également intéressant de renouveler ce type d'étude sur plusieurs années afin de s'assurer que les prédictions des modèles sont reproductibles dans le temps.

Une autre limite de notre travail a été l'interprétation des résultats de nos modèles de prédiction. Il a été parfois difficile d'expliquer biologiquement certains effets d'une part parce que nous avons étudié des facteurs d'élevage qui semblaient avoir été peu ou pas étudiés chez certains types de bovins. De plus, ce type de travail en multifactoriel rend difficile la comparaison de nos résultats avec ceux des quelques études similaires de la littérature. Les comparaisons sont rendues difficiles par le fait que les pratiques ou les conduites d'élevage sont définies par des facteurs d'élevage différents selon les études.

Une autre limite à ce travail est que les aspects économiques liés aux coûts de production n'ont pas été abordés. Par ce travail, nous avons recherché les pratiques ou les conduites d'élevage permettant d'obtenir les meilleures caractéristiques de la carcasse et de la viande. Par la suite, afin d'aboutir à des conseils en élevage pour le choix des pratiques d'élevage en fonction des objectifs de production des éleveurs, il serait nécessaire d'ajouter un volet économique afin de préciser les coûts de production de chaque pratique ou conduite identifiée. En fonction des coûts de production, l'éleveur adapte ses pratiques d'élevage tout au long de la vie de l'animal pour atteindre ses objectifs de caractéristiques de carcasse. Le compromis entre le coût de production et le prix de vente des carcasses est également à considérer afin de tirer de plus grand bénéfice pour l'éleveur.

Conclusion générale

Ce travail a mis en évidence qu'il était possible de prévoir les caractéristiques de la carcasse et de la viande bovine à partir des facteurs d'élevage. Il montre également qu'il y a un intérêt à considérer l'ensemble de la conduite d'élevage appliquée tout au long de la vie des animaux pour expliquer les variations des caractéristiques de la carcasse et de la viande et que ces variations ne peuvent pas être expliquées par l'évolution d'un seul facteur d'élevage. Il faut considérer la conduite d'élevage comme la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage évoluant indépendamment, au cours de différentes périodes de la vie de l'animal. Ce travail a également mis en évidence qu'un pilotage conjoint des caractéristiques de la carcasse et de la viande peut être envisageable mais que cela nécessite de faire des compromis entre les caractéristiques de la carcasse et la viande à atteindre. Cependant, dans le contexte français actuel, la rémunération de l'éleveur est en fonction des caractéristiques de la carcasse. Par conséquent, il est plus avantageux financièrement pour lui de privilégier les caractéristiques de la carcasse. Pour remédier à cela, il faudrait que le système de paiement de l'éleveur ne se limite plus uniquement à des critères liés aux caractéristiques de la carcasse mais intègre des critères liés aux potentiels sensoriels et nutritionnelles des différents muscles squelettiques en considérant par exemple les abondances de certains biomarqueurs et la durée de maturation.

Références bibliographiques

- Agabriel, J., J. P. Garel, J. Lassalas, and M. Petit. 1991. Engraissement des vaches de réforme du troupeau allaitant en conditions de montagne. *INRA Prod. Anim.* 4:389–397.
- Ahnstrom, M. L., A. Hessle, L. Johansson, M. C. Hunt, and K. Lundstrom. 2012. Influence of slaughter age and carcass suspension on meat quality in Angus heifers. *Animal* 6:1554–1562.
- Akbani, R., K.-F. Becker, N. Carragher, T. Goldstein, L. de Koning, U. Korf, L. Liotta, G. B. Mills, S. S. Nishizuka, M. Pawlak, E. F. Petricoin, H. B. Pollard, B. Serrels, and J. Zhu. 2014. Realizing the Promise of Reverse Phase Protein Arrays for Clinical, Translational, and Basic Research: A Workshop Report. *Mol. Cell. Proteomics* 13:1625–1643.
- Albertí, P., B. Panea, C. Sañudo, J. L. Olleta, G. Ripoll, P. Ertbjerg, M. Christensen, S. Gigli, S. Failla, S. Concetti, J. F. Hocquette, R. Jailler, S. Rudel, G. Renand, G. R. Nute, R. I. Richardson, and J. L. Williams. 2008. Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livest. Sci.* 114:19–30.
- Al-Jammas, M., J. Agabriel, J. Vernet, and I. Ortigues-Marty. 2016. The chemical composition of carcasses can be predicted from proxy traits in finishing male beef cattle: A meta-analysis. *Meat Sci.* 119:174–184.
- Allen, P. 2014. Classification of carcasses. In: *Encyclopedia of meat sciences*. Vol. 1. Second edition. Michael Dikeman & Carrick Devine. p. 307–315.
- Andueza, D., F. Picard, W. Martin-Rosset, and J. Aufrère. 2016. Near-infrared spectroscopy calibrations performed on oven-dried green forages for the prediction of chemical composition and nutritive value of preserved forage for ruminants. *Appl. Spectrosc.* 70:1321–1327.
- Apple, J. K. 1999. Influence of body condition score on live and carcass value of cull beef cows. *J. Anim. Sci.* 77:2610–2620.
- Association of Official Analytical Chemists, AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th edition. Arlington.
- Aufrère, J., and B. Michalet-Doreau. 1983. In Vivo Digestibility and Prediction of Digestibility of Some By-Products. In: *Feeding Value of By-Products and their use by Beef Cattle*. Ch.V. Boucqué, L.O. Fiems, B.G. Cottyn. Commission of the European Communities Publishing, Belgium; Luxembourg. p. 25–33.
- Aviles, C., A. L. Martinez, V. Domenech, and F. Pena. 2015. Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. *Meat Sci.* 107:94–103.
- Aydin, R., M. Yanar, A. Diler, H. Kocyigit, and N. Tuzemen. 2013. Effects of Different Slaughter Ages on the Fattening Performance, Slaughter and Carcass Traits of Brown Swiss and Holstein Friesian Young Bulls. *Indian J. Anim. Res.* 47:10–16.

- Barton, L., V. Kudrna, D. Bures, R. Zahradkova, and V. Teslik. 2007. Performance and carcass quality of Czech Fleckvieh, Charolais and Charolais x Czech Fleckvieh bulls fed diets based on different types of silages. *Czech J. Anim. Sci.* 52:269–276.
- Bauchart, D., and B. Picard, eds. 2010. *Muscle et viande de ruminant*. Quae. Versailles.
- Baumont, R., P. Champciaux, J. Agabriel, J. Andrieu, J. Aufrère, B. Michalet-Doreau, and C. Demarquilly. 1999. Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants : PrévAlim pour INRAtion. *INRA Prod. Anim.* 12:183–194.
- Berge, P., J. Culioli, M. Renner, C. Touraille, D. Micol, and Y. Geay. 1993. Effect of Feed Protein on Carcass Composition and Meat Quality in Steers. *Meat Sci.* 35:79–92.
- Bidner, T. D., A. R. Schupp, A. B. Mohamad, N. C. Rumore, R. E. Montgomery, C. P. Bagley, and K. W. McMillin. 1986. Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all-forage or a high-energy diet. *J. Anim. Sci.* 62:381–387.
- Bidner, T. D., A. R. Schupp, R. E. Montgomery, and J. C. Carpenter Jr. 1981. Acceptability of beef finished on all-forage, forage-plus-grain or high energy diets. *J. Anim. Sci.* 53:1181-1187.
- Blanco, M., G. Ripoll, P. Alberti, A. Sanz, R. Revilla, D. Villalba, and I. Casaus. 2008. Effect of early weaning on performance, carcass and meat quality of spring-born bull calves raised in dry mountain areas. *Livest. Sci.* 115:226–234.
- Blanco, M., D. Villalba, G. Ripoll, H. Sauerwein, and I. Casaus. 2009. Effects of early weaning and breed on calf performance and carcass and meat quality in autumn-born bull calves. *Livest. Sci.* 120:103–115.
- Boleman, S. J., R. K. Miller, M. J. Buyck, H. R. Cross, and J. W. Savell. 1996. Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. *J. Anim. Sci.* 74:2187–2194.
- Bonaïti, B., B. Bibé, A. Havy, and F. Ménessier. 1988. Comparaison des races bovines Charolaise, Limousine et Maine-Anjou en race pure et en intercroisement 3. Performances d'abattage des taurillons purs et F1. *Genet. Sel. Evol.* 20:461-476.
- Bowling, R., G. Smith, Z. Carpenter, T. Dutson, and W. Oliver. 1977. Comparison of Forage-Finished and Grain-Finished Beef Carcasses. *J. Anim. Sci.* 45:209–215.
- Bowling, R., J. Riggs, G. Smith, Z. Carpenter, R. Reddish, and O. Butler. 1978. Production, Carcass and Palatability Characteristics of Steers Produced. *J. Anim. Sci.* 46:333–340.
- Brandstetter, A. M., B. Picard, and Y. Geay. 1998. Muscle fibre characteristics in four muscles of growing male cattle - II. Effect of castration and feeding level. *Livest. Prod. Sci.* 53:25–36.
- Bratzler, L. J. 1949. Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. *Proc 2nd Reciprocal Meat Conf.* 117–121.
- Brewer, S., and J. Novakofski. 2008. Consumer sensory evaluations of aging effects on beef quality. *J. Food Sci.* 73:S78–S82.

- Brooke, M., and K. Kaiser. 1970. Muscle Fiber Types - How Many and What Kind. *Arch. Neurol.* 23:369-379.
- Brugiapaglia, A., and G. Destefanis. 2012. Influence of the housing system on meat quality of double muscled Piemontese young bulls. *Livest. Sci.* 145:73–78.
- Bultot, D., I. Dufrasne, A. Clinquart, J. F. Hocquette, and L. Istasse. 2002. Performances zootechniques et qualité de la viande de taurillons Blanc Bleu Belge, Limousins et Aberdeen Angus engraisés avec deux types de rations. In: *Proc. 9th Rencontres autour des recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 271.
- Bunmee, T., S. Jaturasitha, M. Wicke, and M. Kreuzer. 2015. Effects of different finishing feeding strategies for culled cows on lipid and organoleptic characteristics of the meat. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 37:109–117.
- Bures, D., and L. Barton. 2012. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech J. Anim. Sci.* 57:34–43.
- Bures, D., L. Barton, R. Zahradkova, V. Teslik, and M. Krejcova. 2006. Chemical composition, sensory characteristics, and fatty acid profile of muscle from Aberdeen Angus, Charolais, Simmental, and Hereford bulls. *Czech J. Anim. Sci.* 51:279–284.
- Cabaraux, J. F., J. L. Hornick, O. Dotreppe, I. Dufrasne, A. Clinquart, and L. Istasse. 2004. Effects of the calving number on animal performance, carcass and meat composition in finishing Belgian Blue double-muscled culled females. *Livest. Prod. Sci.* 87:161–169.
- Camfield, P. K., A. H. Brown, P. K. Lewis, L. Y. Rakes, and Z. B. Johnson. 1997. Effects of frame size and time-on-feed on carcass characteristics, sensory attributes, and fatty acid profiles of steers. *J. Anim. Sci.* 75:1837–1844.
- Carpenter, C. E., D. P. Cornforth, and D. Whittler. 2001. Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. *Meat Sci.* 57:359–363.
- Cartier, P., and I. Moevi. 2009. La qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. Institut de l'élevage. Institut de l'élevage, Paris.
- Cassar-Malek, I., C. Jurie, C. Bernard, I. Barnola, G. Gentes, N. Guivier, D. Dozias, D. Micol, and J. F. Hocquette. 2004. La conduite des boeufs au pâturage modifie les caractéristiques métaboliques des muscles et l'expression de certains gènes musculaires.
- Cassar-Malek, I., S. Guilloud, J. F. Hocquette, D. Micol, B. Picard, and C. Jurie. 2008. Effet de la conduite d'élevage sur l'expression du marqueur de tendreté de la viande bovine DNAJA1. In: *Vol. 15.* p. 446.
- Cassar-Malek, I., C. Jurie, C. Bernard, I. Barnola, D. Micol, and J.-F. Hocquette. 2009. Pasture-Feeding of Charolais Steers Influences Skeletal Muscle Metabolism and Gene Expression. *J. Physiol. Pharmacol.* 60:83–90.
- Cerdeño, A., C. Vieira, E. Serrano, P. Lavín, and A. R. Mantecón. 2006. Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls. *Meat Sci.* 72:719–726.

- Chambaz, A., M. R. L. Scheeder, M. Kreuzer, and P. A. Dufey. 2003. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Sci.* 63:491–500.
- Chesneau, C. 2015. Modèles de régression. Université de Caen, Basse Normandie. p. 1-115 (consulté le 20/11/2016).
- Choi, Y. M., and B. C. Kim. 2009. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livest. Sci.* 122:105–118.
- Chotteau, P. 2014. La filière viande bovine française. *Viandes Prod. Carnés*:1–5.
- Chriki, S., B. Picard, Y. Faulconnier, D. Micol, J.-P. Brun, M. Reichstadt, C. Jurie, D. Durand, G. Renand, L. Journaux, and J.-F. Hocquette. 2013. A data warehouse of muscle characteristics and beef quality in France and a demonstration of potential applications. *Ital. J. Anim. Sci.* 12:e41.
- Commission Internationale de l’Eclairage. 1986. Colorimetry. 2nd edition CIE publication no. 15.2. Commission Internationale de l’Eclairage, Vienna, Austria.
- Cooke, D. W. I., R. Monahan, P. O. Brophy, and M. P. Boland. 2004. Comparison of concentrates or concentrates plus forages in a total mixed ration or discrete ingredient format: effects on beef production parameters and on beef composition, colour, texture and fatty acid profile. *Ir. J. Agric. Food Res.* 43:201–216.
- Corazzin, M., S. Bovolenta, A. Sepulcri, and E. Piasentier. 2012. Effect of whole linseed addition on meat production and quality of Italian Simmental and Holstein young bulls. *Meat Sci.* 90:99–105.
- Costa, A. S. H., P. Costa, R. J. B. Bessa, J. P. C. Lemos, J. A. Simoes, J. Santos-Silva, C. M. G. A. Fontes, and J. A. M. Prates. 2013. Carcass fat partitioning and meat quality of Alentejana and Barrosa young bulls fed high or low maize silage diets. *Meat Sci.* 93:405–412.
- Costa, P., J. A. Simoes, A. S. H. Costa, J. P. C. Lemos, D. Navas, J. F. Hocquette, C. R. Calkins, and R. J. B. Bessa. 2015. Repercussions of growth path on carcass characteristics, meat colour and shear force in Alentejana bulls. *Animal* 9:1414–1422.
- Couvreur, S., G. Le Bec, D. Micol, G. Aminot, and B. Picard. 2013. Les caractéristiques des vaches de réforme de l’AOP Maine Anjou et les pratiques de finition influencent leur qualité de viande. In: Vol. 20. p. 165–168.
- Cozzi, G., M. Brscic, F. Da Ronch, A. Boukha, S. Tenti, and F. Gottardo. 2010. Comparison of two feeding finishing treatments on production and quality of organic beef. *Ital. J. Anim. Sci.* 9:404–409.
- Craigie, C. R., E. A. Navajas, R. W. Purchas, C. A. Maltin, L. Bünger, S. O. Hoskin, D. W. Ross, S. T. Morris, and R. Roehe. 2012. A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. *Meat Sci.* 92:307–318.
- Crouse, J., H. Cross, and S. Seideman. 1984. Effects of a Grass or Grain Diet on the Quality of 3 Beef Muscles. *J. Anim. Sci.* 58:619–625.

- Crouse, J., M. Koohmaraie, and S. Seideman. 1991. The Relationship of Muscle-Fiber Size to Tenderness of Beef. *Meat Sci.* 30:295–302.
- De Paula, N. F., L. O. Tedeschi, M. F. Paulino, H. J. Fernandes, and M. A. Fonseca. 2013. Predicting carcass and body fat composition using biometric measurements of grazing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 91:3341–3351.
- Dransfield, E., J. F. Martin, D. Bauchart, S. Abouelkaram, J. Lepetit, J. Culioli, C. Jurie, and B. Picard. 2003. Meat quality and composition of three muscles from French cull cows and young bulls. *Anim. Sci.* 76:387–399.
- Duckett, S. K., J. P. S. Neel, R. M. Lewis, J. P. Fontenot, and W. M. Clapham. 2013. Effects of forage species or concentrate finishing on animal performance, carcass and meat quality. *J. Anim. Sci.* 91:1454–1467.
- Dulphy, J. P., C. Demarquilly, and M. Henry. 1975. Perte de composés volatils lors de la détermination à l'étuve de la teneur en matière sèche des ensilages. *Ann Zootech* 24:757–763.
- Dumont, B.-L. 1974. Etude de la tendreté de la viande. III. Variation de la dureté des viandes de taurillons en fonction de leur durée de conservation. *Ann. Zootech.* 23:227–230.
- Dumont, R., M. Roux, J. Agabriel, C. Touraille, J. Bonnemaire, C. Malterre, and J. Robelin. 1991. Engraissement des vaches de réforme de race charolaise. Facteurs de variation des performances zootechniques, de la composition tissulaire des carcasses et de la qualité organoleptique de la viande. *INRA Prod. Anim.* 4:271–286.
- Dumont, R., M. Roux, C. Touraille, J. Agabriel, and D. Micol. 1997. Engraissement des vaches de réforme de race Charolaise. Effet d'un apport de tourteau de lin sur les performances d'engraissement et les propriétés physico-chimiques et sensorielles de la viande. *INRA Prod. Anim.* 10:163–174.
- Dunne, P. G., F. P. O'Mara, F. J. Monahan, P. French, and A. P. Moloney. 2005. Colour of muscle from 18-month-old steers given long-term daily exercise. *Meat Sci.* 71:219–229.
- Dunne, P. G., J. Rogalski, T. Moreno, F. J. Monahan, P. French, and A. P. Moloney. 2008. Colour, composition and quality of *M. longissimus dorsi* and *M. extensor carpi radialis* of steers housed on straw or concrete slats or accommodated outdoors on wood-chips. *Meat Sci.* 79:700–708.
- Durunna, O. N., H. C. Block, A. D. Iwaasa, L. C. Thompson, S. L. Scott, C. Robins, M. Khakbazan, and H. A. Lardner. 2014a. Impact of calving seasons and feeding systems in western Canada. I. Postweaning growth performance and carcass characteristics of crossbred steers. *Can. J. Anim. Sci.* 94:571–582.
- Durunna, O. N., H. C. Block, A. D. Lwaasa, S. L. Scott, C. Robins, M. Khakbazan, M. E. R. Dugan, J. L. Aalhus, M. Aliani, and H. A. Lardner. 2014b. Impact of calving seasons and feeding systems in western Canada. II. Meat composition and organoleptic quality of steaks. *Can. J. Anim. Sci.* 94:583–593.
- EC. 2006. Concil Regulation (EC) No 1183/2006 of 24 July 2006 concerning the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. *Off. J. Eur. Union* 214:1–6.

- Ellies-Oury, M. P., G. Renand, G. Perrier, D. Krauss, D. Dozias, R. Jailler, and R. Dumont. 2012. Influence of selection for muscle growth capacity on meat quality traits and properties of the rectus abdominis muscle of Charolais steers. *Livest. Sci.* 150:220–228.
- ElMasry, G., D.-W. Sun, and P. Allen. 2012. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef. *J. Food Eng.* 110:127–140.
- Evrat-Georgel. 2008. Bibliographie critique des méthodes instrumentales de mesure de la tendreté de la viande bovine. Institut de l'élevage Service qualité des viandes.
- Faucitano, L., P. Y. Chouinard, J. Fortin, I. B. Mandell, C. Lafreniere, C. L. Girard, and R. Berthiaume. 2008. Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 2. Meat quality, fatty acid composition, and overall palatability. *J. Anim. Sci.* 86:1678–1689.
- Ferguson, D. M., and R. D. Warner. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* 80:12–19.
- Feuz, D. M., W. J. Umberger, C. R. Calkins, and B. Sitz. 2004. US consumers' willingness to pay for flavor and tenderness in steaks as determined with an experimental auction. *J. Agric. Resour. Econ.* 29:501–516.
- Field, R., R. McCormick, V. Balasubramanian, D. Sanson, J. Wise, D. Hixon, M. Riley, and W. Russell. 1996. Growth, carcass, and tenderness characteristics of virgin, spayed, and single-calf heifers. *J. Anim. Sci.* 74:2178–2186.
- Fiems, L. O., S. D. Campeneere, S. De Smet, G. Van de Voorde, J. M. Vanacker, and C. V. Boucqué. 2000. Relationship between fat depots in carcasses of beef bulls and effect on meat colour and tenderness. *Meat Sci.* 56:41–47.
- Fiems, L. O., S. De Campeneere, W. Van Caelenbergh, J. L. De Boever, and J. M. Vanacker. 2003. Carcass and meat quality in double-musled Belgian Blue bulls and cows. *Meat Sci.* 63:345–352.
- Fluharty, F. L., S. C. Loerch, T. B. Turner, S. J. Moeller, and G. D. Lowe. 2000. Effects of weaning age and diet on growth and carcass characteristics in steers. *J. Anim. Sci.* 78:1759–1767.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2016. FAOSTAT. FAOSTAT. Available from: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/F> (consulté le 20/11/2016).
- Fortin, A., D. Veira, D. Froehlich, G. Butler, and J. Proulx. 1985. Carcass Characteristics and Sensory Properties of Hereford X Shorthorn Bulls and Steers Fed Different Levels of Grass-Silage and High Moisture Barley. *J. Anim. Sci.* 60:1403–1411.
- FranceAgriMer. 2014. Les filières de l'élevage français. Montreuil, France.
- FranceAgriMer. 2015. Données et bilans. Les produits carnés, avicoles et laitiers. Viandes rouges, viandes blanches, produits laitiers. FranceAgriMer, Montreuil, France.
- FranceAgriMer. 2016. Les produits carnés, avicoles et laitiers. Filières bovin viande.

- Franco, D., E. Bispo, L. González, J. A. Vázquez, and T. Moreno. 2009. Effect of finishing and ageing time on quality attributes of loin from the meat of Holstein–Fresian cull cows. *Meat Sci.* 83:484–491.
- French, P., E. G. O’Riordan, F. J. Monahan, P. J. Caffrey, M. Vidal, M. T. Mooney, D. J. Troy, and A. P. Moloney. 2000. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Sci.* 56:173–180.
- French, P., E. G. O’Riordan, F. J. Monahan, P. J. Caffrey, M. T. Mooney, D. J. Troy, and A. P. Moloney. 2001. The eating duality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Sci.* 57:379–386.
- Galli, I., G. Teira, F. Perlo, P. Bonato, O. Tisocco, A. Monje, and S. Vittone. 2008. Animal performance and meat quality in cull cows with early weaned calves in Argentina. *Meat Sci.* 79:521–528.
- Geay, Y., and C. Beranger. 1969. Influence de la proportion de céréales dans la ration sur l’état d’engraissement des carcasses de taurillons de 15 mois. *Ann Zootech* 18:79–81.
- Geay, Y., B. Picard, R. Jailler, R. T. Jailler, A. Listrat, C. Jurie, M. C. Bayle, and C. Touraille. 1997. Effets de la nature de la ration sur les performances, les caractéristiques musculaires et la qualité de la viande de taurillons salers. In: *Proc. 4th Rencontres autour des recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 307–310.
- Goñi, M. V., M. J. Beriain, G. Indurain, and K. Insausti. 2007. Predicting longissimus dorsi texture characteristics in beef based on early post-mortem colour measurements. *Meat Sci.* 76:38–45.
- Gruber, S. L., J. D. Tatum, T. E. Engle, P. L. Chapman, K. E. Belk, and G. C. Smith. 2010. Relationships of behavioral and physiological symptoms of preslaughter stress to beef longissimus muscle tenderness. *J. Anim. Sci.* 88:1148–1159.
- Gruffat, D., B. Picard, D. Bauchart, and D. Micol. 2015. La viande bovine : les principales qualités recherchées. *INRA Prod. Anim.* 28:99–104.
- Guerrero, A., C. Sanudo, P. Alberti, G. Ripoll, M. M. Campo, J. L. Olleta, B. Panea, S. Khliji, and P. Santolaria. 2013. Effect of production system before the finishing period on carcass, meat and fat qualities of beef. *Animal* 7:2063–2072.
- Guillemin, N., I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, C. Jurie, D. Micol, A. Listrat, H. Leveziel, G. Renand, and B. Picard. 2009. La maîtrise de la tendreté de la viande bovine : identification de marqueurs biologiques. *INRA Prod. Anim.* 22:331–344.
- Guillemin, N., C. Jurie, D. Micol, G. Renand, J. F. Hocquette, and B. Picard. 2010. Vers la mise au point d’équations de prédiction de la tendreté de la viande bovine. In: *Proc. 13th Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la viande*, Clermont-Ferrand, France. p. 233–234.
- Guillemin, N., C. Jurie, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, G. Renand, and B. Picard. 2011. Variations in the abundance of 24 protein biomarkers of beef tenderness according to muscle and animal type. *Animal* 5:885–894.

- Guillemin, N. P., C. Jurie, G. Renand, J. F. Hocquette, D. Micol, J. Lepetit, and B. Picard. 2012. Different phenotypic and proteomic markers explain variability of beef tenderness across muscles. *Int. J. Biol.* 4:26–38.
- Hawrysh, Z., and M. Price. 1981. The Effect of Grain Feeding on the Eating Quality of Beef from Culled Cows. *Can. J. Anim. Sci.* 61:581–592.
- Hennessy, D. W., and S. G. Morris. 2003. Effect of a preweaning growth restriction on the subsequent growth and meat quality of yearling steers and heifers. *Aust. J. Exp. Agric.* 43:335–341.
- Hennessy, D. W., S. G. Morris, and P. G. Allingham. 2001. Improving the pre-weaning nutrition of calves by supplementation of the cow and/or the calf while grazing low quality pastures - 2. Calf growth, carcass yield and eating quality. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:715–724.
- Hernandez-Calva, L. M., M. He, M. Juarez, J. L. Aalhus, M. E. R. Dugan, and T. A. McAllister. 2011. Effect of flaxseed and forage type on carcass and meat quality of finishing cull cows. *Can. J. Anim. Sci.* 91:613–622.
- Hildrum, K. I., R. Rødbotten, M. Høy, J. Berg, B. Narum, and J. P. Wold. 2009. Classification of different bovine muscles according to sensory characteristics and Warner Bratzler shear force. *Meat Sci.* 83:302–307.
- Hill, B. D., S. D. M. Jones, W. M. Robertson, and I. T. Major. 2000. Neural network modeling of carcass measurements to predict beef tenderness. *Can. J. Anim. Sci.* 80:311–318.
- Hoch, T., C. Jurie, P. Pradel, I. Cassar-Malek, R. Jailler, B. Picard, and J. Agabriel. 2005. Effects of hay quality on intake, growth path, body composition and muscle characteristics of Salers heifers. *Anim. Res.* 54:241–257.
- Hocquette, J.-F., I. Cassar-Malek, A. Listrat, C. Jurie, R. Jailler, and B. Picard. 2005. Évolution des recherches sur le muscle des bovins et la qualité sensorielle de leur viande. *Cah. Agric.* 14:365–372.
- Hocquette, J. F., C. Bernard, I. Cassar-Malek, J. Lepetit, D. Micol, C. Jurie, B. Meunier, G. Renand, and B. Picard. 2007. Mise en évidence de marqueurs de tendreté de la viande bovine par des approches de génomique fonctionnelle (projet MUGENE). In: *Proc. 14th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 117–120.
- Hollo, G., K. Ender, K. Loki, J. Seregi, I. Hollo, and K. Nuernberg. 2008. Carcass characteristics and meat quality of Hungarian Simmental young bulls fed different forage to concentrate ratios with or without linseed supplementation. *Arch. Tierz.-Arch. Anim. Breed.* 51:517–530.
- Holmer, S. f., J. w. Homm, L. l. Berger, M. s. Brewer, F. k. Mckeith, and J. Killefer. 2009a. Realimentation of Cull Beef Cows. I. Live Performance, Carcass Traits and Muscle Characteristics. *J. Muscle Foods* 20:293–306.
- Holmer, S. F., J. W. Homm, L. L. Berger, A. J. Stetzer, M. S. Brewer, F. K. Mckeith, and J. Killefer. 2009b. Realimentation of Cull Beef Cows. II. Meat Quality of Muscles from the Chuck, Loin and Round in Response to Diet and Enhancement. *J. Muscle Foods* 20:307–324.

- Hornick, J. L., C. Van Eenaeme, A. Clinquart, M. Diez, and L. Istasse. 1998. Different periods of feed restriction before compensatory growth in Belgian Blue Bulls: I. Animal performance, nitrogen balance, meat characteristics, and fat composition. *J. Anim. Sci.* 76:249–259.
- Huuskonen, A., S. Jansson, M. Honkavaara, L. Tuomisto, R. Kauppinen, and E. Joki-Tokola. 2010. Meat colour, fatty acid profile and carcass characteristics of Hereford bulls finished on grazed pasture or grass silage-based diets with similar concentrate allowance. *Livest. Sci.* 131:125–129.
- INAO. 2016. Institut National de l'Origine et de la Qualité. INAO. Available from: <http://www.inao.gouv.fr/> (consulté le 20/11/2016).
- Ingrand, S., and B. Dedieu. 1996. Diversité des formules d'allotement en élevage bovin viande. Le cas d'exploitations du Limousin. *Inra Prod. Anim.* 9:189–199.
- Institut de l'élevage. 2015. Chiffres clé 2015. Productions bovines lait et viande. Institut de l'élevage.
- Interbev, I. bétail & viande. 2015. L'essentiel de la filière viande bovine française 2015. Interbev Interprofession bétail & viande, France.
- Juniper, D. T., E. M. Browne, A. V. Fisher, M. J. Bryant, G. R. Nute, and D. E. Beever. 2005. Intake, growth and meat quality of steers given diets based on varying proportions of maize silage and grass silage. *Anim. Sci.* 81:159–170.
- Juniper, D. T., M. J. Bryant, D. E. Beever, and A. V. Fisher. 2007. Effect of breed, gender, housing system and dietary crude protein content on performance of finishing beef cattle fed maize-silage-based diets. *Animal* 1:771–779.
- Jurie, C., B. Picard, and Y. Geay. 1998. Influences of the method of housing bulls on their body composition and muscle fibre types. *Meat Sci.* 50:457–469.
- Jurie, C., D. Bauchart, J. Culioli, E. Dransfield, R. Jailler, J. Lepetit, A. Listrat, J.-F. Martin, A. Ouali, Y. Geay, and B. Picard. 2002. Modifications des caractéristiques du muscle Longissimus thoracis chez les taurillons entre 15 et 24 mois d'âge. In: *Proc. 9th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 265.
- Jurie, C., J. F. Martin, A. Listrat, R. Jailler, J. Culioli, and B. Picard. 2005. Effects of age and breed of beef bulls on growth parameters, carcass and muscle characteristics. *Anim. Sci.* 80:257–263.
- Jurie, C., J.-F. Martin, A. Listrat, R. Jailler, J. Culioli, and B. Picard. 2006a. Carcass and muscle characteristics of beef cull cows between 4 and 9 years of age. *Anim. Sci.* 82:415–421.
- Jurie, C., I. Ortigues-Marty, B. Picard, D. Micol, and J. F. Hocquette. 2006b. The separate effects of the nature of diet and grazing mobility on metabolic potential of muscles from Charolais steers. *Livest. Sci.* 104:182–192.
- Jurie, C., B. Picard, J.-F. Hocquette, E. Dransfield, D. Micol, and A. Listrat. 2007. Muscle and meat quality characteristics of Holstein and Salers cull cows. *Meat Sci.* 77:459–466.
- Kamatara, K., D. Mpairwe, M. Christensen, D. Mutetikka, and J. Madsen. 2013. Sensory characteristics and tenderness of meat from Ankole bulls: Influence of crossbreeding and feeding system. *South Afr. J. Anim. Sci.* 43:S107–S110.

- Keady, T. W. J., F. O. Lively, D. J. Kilpatrick, and B. W. Moss. 2007. Effects of replacing grass silage with either maize or whole-crop wheat silages on the performance and meat quality of beef cattle offered two levels of concentrates. *Animal* 1:613–623.
- Keady, T. W. J., A. W. Gordon, and B. W. Moss. 2013. Effects of replacing grass silage with maize silages differing in inclusion level and maturity on the performance, meat quality and concentrate-sparing effect of beef cattle. *Animal* 7:768–777.
- Keane, M. G., and P. Allen. 1998. Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 56:203–214.
- Keane, M. G., M. J. Drennan, and A. P. Moloney. 2006. Comparison of supplementary concentrate levels with grass silage, separate or total mixed ration feeding, and duration of finishing in beef steers. *Livest. Sci.* 103:169–180.
- Keogh, K., S. M. Waters, A. K. Kelly, and D. A. Kenny. 2015. Feed restriction and subsequent realimentation in Holstein Friesian bulls: I. Effect on animal performance; muscle, fat, and linear body measurements; and slaughter characteristics. *J. Anim. Sci.* 93:3578–3589.
- Keogh, K., D. A. Kenny, P. Cormican, M. S. McCabe, A. K. Kelly, and S. M. Waters. 2016. Effect of Dietary Restriction and Subsequent Re-Alimentation on the Transcriptional Profile of Bovine Skeletal Muscle. *Plos One* 11:e0149373.
- Kerth, C. R., K. W. Braden, R. Cox, L. K. Kerth, and D. L. Rankins Jr. 2007. Carcass, sensory, fat color, and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass (*Lolium multiflorum*) forage or on a high-concentrate diet. *Meat Sci.* 75:324–331.
- Lafreniere, C., R. Berthiaume, C. Campbell, B. Potter, and I. Mandell. 2012. Effect of forage silage species and beef sire breed on steer performance, carcass and meat quality using a forage-based beef production system. (K. Kuoppala, M. Rinne, and A. Vanhatalo, editors.).
- Lambe, N. R., D. W. Ross, E. A. Navajas, J. J. Hyslop, N. Prieto, C. Craigie, L. Bunger, G. Simm, and R. Roehe. 2010. The prediction of carcass composition and tissue distribution in beef cattle using ultrasound scanning at the start and/or end of the finishing period. *Livest. Sci.* 131:193–202.
- Lambertz, C., A. Farke-Roever, E. Moors, and M. Gauly. 2015. Effects of castration and weaning conducted concurrently or consecutively on behaviour, blood traits and performance in beef calves. *Animal* 9:122–129.
- Lazzaroni, C., and D. Biagini. 2008. Effect of pre- and post-pubertal castration on Piemontese male cattle. II: Carcass measures and meat yield. *Meat Sci.* 80:442–448.
- Lebret, B., and B. Picard. 2015. Les principales composantes de la qualité des carcasses et des viandes dans les différentes espèces animales. *INRA Prod. Anim.* 28:91–98.
- Lebret, B., S. Prache, C. Berri, F. Lefèvre, D. Bauchart, B. Picard, G. Corraze, F. Médale, J. Faure, and H. Alami-Durante. 2015. Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 28:151–168.
- Legifrance. 2012. Arrêté du 19 décembre 2012 fixant les exigences et recommandations en matière de certification de conformité de la viande bovine. (consulté 10/1/2016).

- Legifrance, J. n°0249. 2008. Arrêté du 13 octobre 2008 portant homologation du cahier des charges de l'indication géographique protégée (IGP) « Génisse fleur d'Aubrac ». Available from: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2008/10/13/AGRP0823338A/jo/texte> (consulté 10/1/2016).
- Legrand, I., J.-F. Hocquette, R. J. Polkinghorne, and D. W. Pethick. 2013. Prediction of beef eating quality in France using the Meat Standards Australia system. *Animal* 7:524–529.
- Lepetit, J. 2008. Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. *Meat Sci.* 80:960–967.
- Listrat, A., B. Picard, R. Jailler, H. Collignon, J. R. Peccatte, D. Micol, Y. Geay, and D. Dozias. 2001. Grass valorisation and muscular characteristics of blonde d'Aquitaine steers. *Anim. Res.* 50:105–118.
- Listrat, A., N. Rakadjiyski, C. Jurie, B. Picard, C. Touraille, and Y. Geay. 1999. Effect of the type of diet on muscle characteristics and meat palatability of growing Salers bulls. *Meat Sci.* 53:115–124.
- Lucero-Borja, J., L. B. Pouzo, M. S. de la Torre, L. Langman, F. Carduza, P. M. Corva, F. J. Santini, and E. Pavan. 2014. Slaughter weight, sex and age effects on beef shear force and tenderness. *Livest. Sci.* 163:140–149.
- Malterre, C., J. Robelin, J. Agabriel, and P. Bordes. 1989. Engraissement des vaches de réforme de race Limousine. *INRA Prod. Anim.* 2:325–334.
- Maltin, C., D. Balcerzak, R. Tilley, and M. Delday. 2003. Determinants of meat quality: tenderness. *Proc. Nutr. Soc.* 62:337–347.
- Mandell, I. B., E. A. Gullett, J. G. Buchanan-Smith, and C. P. Campbell. 1997a. Effects of diet and slaughter endpoint on carcass composition and beef quality in Charolais cross steers. *Can. J. Anim. Sci.* 77:403–414.
- Mandell, I. B., E. A. Gullett, J. W. Wilton, O. B. Allen, and V. R. Osborne. 1997b. Effects of diet, breed and slaughter endpoint on growth performance, carcass composition and beef quality traits in Limousin and Charolais steers. *Can. J. Anim. Sci.* 77:23–32.
- Marti, S., C. E. Realini, A. Bach, M. Perez-Juan, and M. Devant. 2013. Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 91:1129–1140.
- Matulis, R. J., F. K. McKeith, D. B. Faulkner, L. L. Berger, and P. George. 1987. Growth and Carcass Characteristics of Cull Cows after Different Times-on-Feed. *J. Anim. Sci.* 65:669–674.
- McEwen, P. L., I. B. Mande, G. Brien, and C. P. Campbell. 2007. Effects of grain source, silage level, and slaughter weight endpoint on growth performance, carcass characteristics, and meat quality in Angus and Charolais steers. *Can. J. Anim. Sci.* 87:167–180.
- McGregor, E. M., C. P. Campbell, S. P. Miller, P. P. Purslow, and I. B. Mandell. 2012. Effect of nutritional regimen including limit feeding and breed on growth performance, carcass characteristics and meat quality in beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 92:327–341.

- McIntyre, B. L., G. D. Tudor, D. Read, W. Smart, T. J. Della Bosca, E. J. Speijers, and B. Orchard. 2009. Effects of growth path, sire type, calving time and sex on growth and carcass characteristics of beef cattle in the agricultural area of Western Australia. *Anim. Prod. Sci.* 49:504–514.
- McKiernan, B., B. Gaden, and B. Sundstrom. 2007. Dressing percentages for cattle. *NSW Dep. Prim.* (340):1–3.
- Melton, S. L. 1990. Effects of feeds on flavor of red meat: a review. *J. Anim. Sci.* 68:4421–4435.
- Micol, D., and B. Picard. 1997. Beef production on grass and quality of meat. *Fourrages*:417–428.
- Micol, D., M. P. Oury, B. Picard, J. F. Hocquette, M. Briand, R. Dumont, D. Egal, R. Jailler, H. Dubroeuq, and J. Agabriel. 2009. Effect of age at castration on animal performance, muscle characteristics and meat quality traits in 26-month-old Charolais steers. *Livest. Sci.* 120:116–126.
- Micol, D., R. Jailler, C. Jurie, K. Meteau, H. Juin, G. R. Nute, R. I. Richardson, and J. F. Hocquette. 2011. Evaluation sensorielle de la viande bovine en France et au Royaume Uni selon deux températures de cuisson. In: *Proc. 18th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 208.
- Miller, R., H. Cross, J. Crouse, and J. Tatum. 1987. The Influence of Diet and Time on Feed on Carcass Traits and Quality. *Meat Sci.* 19:303–313.
- Minchin, W., F. Buckley, D. A. Kenny, M. G. Keane, L. Shalloo, and M. O'Donovan. 2009. Prediction of Cull Cow Carcass Characteristics from Live Weight and Body Condition Score Measured Pre Slaughter. *Ir. J. Agric. Food Res.* 48:75–86.
- Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 2005. Arrêté du 18 novembre 2005 relatif à la grille de classement des gros bovins. (consulté le 20/10/2016).
- Moloney, A. P., M. G. Keane, P. G. Dunne, M. T. Mooney, and D. J. Troy. 2008. Effect of concentrate feeding pattern in a grass silage/concentrate beef finishing system on performance, selected carcass and meat quality characteristics. *Meat Sci.* 79:355–364.
- Moloney, A. P., M. T. Mooney, D. J. Troy, and M. G. Keane. 2011. Finishing cattle at pasture at 30 months of age or indoors at 25 months of age: Effects on selected carcass and meat quality characteristics. *Livest. Sci.* 141:17–23.
- Moloney, A. P., M. T. Mooney, J. P. Kerry, C. Stanton, and P. O'Kiely. 2013a. Colour of fat, and colour, fatty acid composition and sensory characteristics of muscle from heifers offered alternative forages to grass silage in a finishing ration. *Meat Sci.* 95:608–615.
- Moloney, A. P., and M. J. Drennan. 2013b. Characteristics of fat and muscle from beef heifers offered a grass silage or concentrate-based finishing ration. *Livest. Sci.* 152:147–153.
- Monsón, F., C. Sañudo, and I. Sierra. 2004. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Sci.* 68:595–602.
- Moreno, T., A. Botana, E. Bispo, L. Gonzalez, C. Garcia, and J. Mesas. 2012. High-energy forage feeding diets and body condition on the finishing of cull dairy cows. *Animal* 6:1634–1641.

- Muller, L., Z. Perobelli, G. L. D. Feijo, and C. Grassi. 1992. Cull cow physiological maturity and its effect on carcass and meat quality. In: Proc. 38th International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, France. p. 101–104.
- Myers, S. E., D. B. Faulkner, F. A. Ireland, L. L. Berger, and D. F. Parrett. 1999. Production systems comparing early weaning to normal weaning with or without creep feeding for beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:300–310.
- Neel, J. P. S., J. P. Fontenot, W. M. Clapham, S. K. Duckett, E. E. D. Felton, G. Scaglia, and W. B. Bryan. 2007. Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: I. Animal performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 85:2012–2018.
- Nishimura, T. 2010. The role of intramuscular connective tissue in meat texture. *Anim. Sci. J.* 81:21–27.
- Nuernberg, K., D. Dannenberger, G. Nuernberg, K. Ender, J. Voigt, N. D. Scollan, J. D. Wood, G. R. Nute, and R. I. Richardson. 2005. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. *Livest. Prod. Sci.* 94:137–147.
- Ockerman, H. W., and L. Basu. 2014. Carcass chilling and boning. In: *Encyclopedia of meat sciences*. Vol. 1. Second edition. Michael Dikeman & Carrick Devine. p. 142–147.
- Oezluetuerk, A., N. Esenbuga, M. Yanar, N. Uenlue, M. Macit, and S. Kopuzlu. 2008. The Effect of Duration of Finishing Period on the Performance, Slaughter, Carcass, and Beef Quality Characteristics of Eastern Anatolian Red Bulls. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 32:441–448.
- Oury, M. P., J. Agabriel, C. Agabriel, D. Micol, B. Picard, J. Blanquet, H. Labouré, M. Roux, and R. Dumont. 2007. Relationship between rearing practices and eating quality traits of the muscle rectus abdominis of Charolais heifers. *Livest. Sci.* 111:242–254.
- Oury, M. P., B. Picard, M. Briand, J. P. Blanquet, and R. Dumont. 2009. Interrelationships between meat quality traits, texture measurements and physicochemical characteristics of M. rectus abdominis from Charolais heifers. *Meat Sci.* 83:293–301.
- Oury, M.-P., R. Dumont, C. Jurie, J.-F. Hocquette, and B. Picard. 2010. Specific fibre composition and metabolism of the rectus abdominis muscle of bovine Charolais cattle. *Bmc Biochem.* 11:1-12.
- Pacheco, P. S., J. Restle, D. C. Alves Filho, I. L. Brondani, L. L. Pascoal, F. Kuss, L. F. Glasenapp de Menezes, and J. N. Miranda Neiva. 2011. Carcass physical composition and meat quality of Charolais cattle of different categories. *Rev. Bras. Zootec.-Braz. J. Anim. Sci.* 40:2597–2605.
- Pagès, J. 2004. Analyse factorielle de données mixtes. *Rev. Stat. Appliquée* 52:93–111.
- Panea, B., I. Casaus, M. Joy, S. Carrasco, G. Ripoll, P. Alberti, and M. Blanco. 2012. Effect of the winter diet on meat quality traits of steers finished on mountain pasture with a barley supplement. *Span. J. Agric. Res.* 10:1037–1047.
- Pesonen, M., M. Honkavaara, H. Kamarainen, T. Tolonen, M. Jaakkola, V. Virtanen, and A. Huuskonen. 2013. Effects of concentrate level and rapeseed meal supplementation on

- performance, carcass characteristics, meat quality and valuable cuts of Hereford and Charolais bulls offered grass silage-barley-based rations. *Agric. Food Sci.* 22:151–167.
- Pesonen, M., and A. K. Huuskonen. 2015. Production, carcass characteristics and valuable cuts of beef breed bulls and heifers in Finnish beef cattle population. *Agric. Food Sci.* 24:164–172.
- Peter, J., Gillespie, R. Barnard, K. Stempel, and V. Edgerton. 1972. Metabolic Profiles of 3 Fiber Types of Skeletal-Muscle in Guinea-Pigs and Rabbits. *Biochemistry (Mosc.)* 11:2627-2633.
- Picard, B., J. Robelin, and Y. Geay. 1995. Influence of Castration and Postnatal Energy Restriction on the Contractile and Metabolic Characteristics of Bovine Muscle. *Ann. Zootech.* 44:347–357.
- Picard, B., L. Lefaucheur, C. Berri, and M. J. Duclos. 2002. Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. *Reprod. Nutr. Dev.* 42:415–431.
- Picard, B., C. Jurie, M. P. Duris, and G. Renand. 2006. Consequences of selection for higher growth rate on muscle fibre development in cattle. *Livest. Sci.* 102:107–120.
- Picard, B., and I. Cassar-Malek. 2009. Evidence for expression of IIb myosin heavy chain isoform in some skeletal muscles of Blonde d'Aquitaine bulls. *Meat Sci.* 82:30–36.
- Picard, B., C. Berri, L. Lefaucheur, C. Molette, T. Sayd, and C. Terlouw. 2010. Skeletal muscle proteomics in livestock production. *Brief. Funct. Genomics*:1-20.
- Picard, B., M. Gagaoua, D. Micol, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette, and C. E. M. Terlouw. 2014a. Inverse Relationships between Biomarkers and Beef Tenderness According to Contractile and Metabolic Properties of the Muscle. *J. Agric. Food Chem.* 62:9808–9818.
- Picard, B., D. Micol, N. Dunoyer, V. Harbit, C. Denoyelle, G. Renand, I. Cassar-Malek, L. Journeaux, and C. Capel. 2014b. Des biomarqueurs aux équations de prédiction des qualités sensorielles de la viande de vaches de réforme. In: *Proc 15th Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont-Ferrand, France.* p. 123–124.
- Picard, B., B. Lebreton, I. Cassar-Malek, L. Liaubet, C. Berri, E. Le Bihan-Duval, J. F. Hocquette, and G. Renand. 2015. Recent advances in omic technologies for meat quality management. *Meat Sci.* 109:18–26.
- Pierret, P., A. Breuvart, and C. Eisenzaemmer. 2002. Variabilité des poids et des conformations de carcasses de femelles bovines Charolaise d'un groupement de producteurs de Bourgogne. In: *Proc. 9th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, France.* p. 272.
- Pogorzelska-Przybyłek, P., Z. Nogalski, Z. Wielgosz-Groth, R. Winarski, M. Sobczuk-Szul, P. Lapinska, and C. Purwin. 2014. Prediction of the Carcass Value of Young Holstein-Friesian Bulls Based. *Ann. Anim. Sci.* 14:429–439.
- Polkinghorne, R. J., and J. M. Thompson. 2010. Meat standards and grading. *Meat Sci.* 86:227–235.
- Pordomingo, A. J., G. Grigioni, F. Carduza, and G. Volpi Lagreca. 2012. Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Sci.* 90:939–946.

- Powell, V. 1991. Quality of Beef Loin Steaks as Influenced by Animal Age, Electrical-Stimulation and Aging. *Meat Sci.* 30:195–205.
- Prado, I. N., M. M. Campo, E. Muela, M. V. Valero, O. Catalan, J. L. Olleta, and C. Sanudo. 2015. Effects of castration age, protein level and lysine/methionine ratio in the diet on colour, lipid oxidation and meat acceptability of intensively reared Friesian steers. *Animal* 9:1423–1430.
- do Prado, I. N., C. E. Eiras, C. A. Fugita, R. A. Cortez Passetti, M. G. Ornaghi, D. C. Rivaroli, A. A. Pinto, and J. L. Moletta. 2015. Animal Performance and Carcass Characteristics of Bulls (1/2 Puruna vs 1/2 Canchim) Slaughtered at 16 and 22 Months Old, and Three Different Weights. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28:612–619.
- Price, M., S. Jones, G. Mathison, and R. Berg. 1980. The Effects of Increasing Dietary Roughage Level and Slaughter Weight on the Feedlot Performance and Carcass Characteristics of Bulls and Steers. *Can. J. Anim. Sci.* 60:345–358.
- Prieto, N., D. W. Ross, E. A. Navajas, G. R. Nute, R. I. Richardson, J. J. Hyslop, G. Simm, and R. Roehe. 2009. On-line application of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict chemical-physical and sensory characteristics of beef quality. *Meat Sci.* 83:96–103.
- Priolo, A., D. Micol, and J. Agabriel. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Anim. Res.* 50:185–200.
- Purchas, R. W., and R. Aungsupakorn. 1993. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. *Meat Sci.* 34:163–178.
- R core Team. 2016. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org/> (consulté le 10/11/2016).
- Raes, K., A. Balcaen, P. Dirinck, A. De Winne, E. Claeys, D. Demeyer, and S. De Smet. 2003. Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in Belgian retail beef. *Meat Sci.* 65:1237–1246.
- Rakotomalala, R. 2005. Arbres de Décision. *Modulad*:163–187. (consulté le 20/11/2016).
- Rakotomalala, R. 2014. Pratique de la Régression Logistique. Régression Logistique Binaire et Polytomique. Lyon. (consulté le 20/11/2016).
- Realini, C. E., S. K. Duckett, G. W. Brito, M. Dalla Rizza, and D. De Mattos. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Sci.* 66:567–577.
- Réseaux d'élevage bovins viande, Institut de l'élevage, and Chambres d'agriculture. 2011. Les coûts de production dans les élevages bovins viande.
- Richards, M. W., J. C. Spitzer, and M. B. Warner. 1986. Effect of Varying Levels of Postpartum Nutrition and Body Condition at Calving on Subsequent Reproductive Performance in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 62:300-306.
- Rieutort, L., J. Ryschawy, A. Doreau, and C. Guinot. 2014. Atlas de l'élevage herbivore en France. Autrement 2014. Paris.

- Robelin, J., J. Agabriel, C. Malterre, and J. Bonnemaire. 1990. Changes in body composition of mature dry cows of Holstein, Limousin and Charolais breeds during fattening. I. Skeleton, muscles, fatty tissues and offal. 25:199–215.
- Roberts, S. D., C. R. Kerth, K. W. Braden, D. L. Rankins, L. Kriese-Anderson, and J. W. Prevatt. 2009. Finishing steers on winter annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) with varied levels of corn supplementation I: Effects on animal performance, carcass traits, and forage quality. *J. Anim. Sci.* 87:2690–2699.
- Sainz, R. D., and R. F. V. Paganini. 2004. Effects of different grazing and feeding periods on performance and carcass traits of beef steers. *J. Anim. Sci.* 82:292–297.
- Salé, P. 1971. Evolution de quelques propriétés mécaniques du muscle pendant la maturation. *Bull. Tech. CRZV* 6:35–44.
- Sargentini, C., R. Bozzi, G. Lorenzini, P. Degl’Innocenti, A. Martini, and A. Giorgetti. 2010. Productive performances of Maremmana young bulls reared following organic rules and slaughtered at 18 and 24 months of age. *Ital. J. Anim. Sci.* 9:31.
- Sawyer, J. E., C. P. Mathis, and B. Davis. 2004. Effects of feeding strategy and age on live animal performance, carcass characteristics, and economics of short-term feeding programs for culled beef cows. *J. Anim. Sci.* 82:3646–3653.
- Schnell, T. D., K. E. Belk, J. D. Tatum, R. K. Miller, and G. C. Smith. 1997. Performance, carcass, and palatability traits for cull cows fed high-energy concentrate diets for 0, 14, 28, 42, or 56 days. *J. Anim. Sci.* 75:1195–1202.
- Schreurs, N., F. Garcia, J. Agabriel, C. Jurie, D. Micol, and B. Picard. 2007. Evolution des caractéristiques musculaires bovines avec l’âge selon le muscle et le type d’animal : une approche par méta-analyse. In: *Proc. 14th Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 121–124.
- Serrano, E., P. Pradel, R. Jailler, H. Dubroeuq, D. Bauchart, J.-F. Hocquette, A. Listrat, J. Agabriel, and D. Micol. 2007. Young Salers suckled bull production: effect of diet on performance, carcass and muscle characteristics and meat quality. *Animal* 1:1068–1079.
- Sexten, A. K., C. R. Krehbiel, J. W. Dillwith, R. D. Madden, C. P. McMurphy, D. L. Lalman, and R. G. Mateescu. 2012. Effect of muscle type, sire breed, and time of weaning on fatty acid composition of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 90:616–625.
- Shemeis, A. R., T. Liboriussen, B. B. Andersen, and O. Y. Abdallah. 1994. Offal components, body fat partition, carcass composition and carcass tissues distribution in Danish Friesian cull cows of different age and body condition. *Livest. Prod. Sci.* 40:165–170.
- Shoup, L. M., T. B. Wilson, D. Gonzalez-Pena, F. A. Ireland, S. Rodriguez-Zas, T. L. Felix, and D. W. Shike. 2015. Beef cow prepartum supplement level and age at weaning: II. Effects of developmental programming on performance and carcass composition of steer progeny. *J. Anim. Sci.* 93:4936–4947.

- Soulat, J., B. Picard, S. Léger, and V. Monteils. 2016a. Prediction of clusters of beef carcass and meat traits from factors characterizing the rearing management system applied during the whole life of heifers. (en préparation pour une soumission à Journal of Animal Science)
- Soulat, J., B. Picard, S. Leger, and V. Monteils. 2016b. Prediction of beef carcass and meat traits from rearing factors in young bulls and cull cows. *J. Anim. Sci.* 94:1712–1726.
- Soulat, J., V. Monteils, S. Léger, and B. Picard. 2016c. Prediction of the conformation and fat score of cattle carcass characteristics from rearing factors. (soumis à Livestock Science)
- Steen, R., and D. Kilpatrick. 1995. Effects of Plane of Nutrition and Slaughter Weight on the Carcass Composition of Serially Slaughtered Bulls, Steers and Heifers of 3 Breed Crosses. *Livest. Prod. Sci.* 43:205–213.
- Steen, R. W. J., and D. J. Kilpatrick. 2000. The effects of the ratio of grass silage to concentrates in the diet and restricted dry matter intake on the performance and carcass composition of beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 62:181–192.
- Sugimoto, M., W. Saito, M. Ooi, and M. Oikawa. 2012. Effects of days on feed, roughage sources and inclusion levels of grain in concentrate on finishing performance and carcass characteristics in cull beef cows. *Anim. Sci. J.* 83:460–468.
- Therkildsen, M., M. B. Houbak, and D. V. Byrne. 2008. Feeding strategy for improving tenderness has opposite effects in two different muscles. *Meat Sci.* 80:1037–1045.
- Tomkins, N. W., G. S. Harper, H. L. Bruce, and R. A. Hunter. 2006. Effect of different post-weaning growth paths on long-term weight gain, carcass characteristics and eating quality of beef cattle. *Aust. J. Exp. Agric.* 46:1571–1578.
- Totland, G., and H. Kryvi. 1991. Distribution Patterns of Muscle-Fiber Types in Major Muscles of the Bull (*bos-Taurus*). *Anat. Embryol. (Berl.)* 184:441–450.
- Touraille, C. 1994. Incidence des caractéristiques musculaire sur les qualités organoleptiques des viandes. In: *Proc. 1st Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France. p. 169–176.
- Troncale, S., A. Barbet, L. Coulibaly, E. Henry, B. He, E. Barillot, T. Dubois, P. Hupe, and L. de Koning. 2012. NormaCurve: A SuperCurve-Based Method That Simultaneously Quantifies and Normalizes Reverse Phase Protein Array Data. *Plos One* 7:e38686.
- Tuma, H., J. Venable, P. Wuthier, and R. Henrickson. 1962. Relationship of Fiber Diameter to Tenderness and Meatiness as Influenced. *J. Anim. Sci.* 21:33–36.
- University of Nebraska-Lincoln. Bovine Myology. Available from: <http://bovine.unl.edu/main/index.php> (consulté le 20/11/2016).
- Van Soest, P. J. V., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597.

- Velarde Calvo, A., and A. Dalmau. 2014. Preslaughter handling. In: Encyclopedia of meat sciences. Vol. 1. Second edition. Michael Dikeman & Carrick Devine. p. 95–101.
- Vestergaard, M., N. Oksbjerg, and P. Henckel. 2000. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. *Meat Sci.* 54:177–185.
- Vestergaard, M., N. T. Madsen, H. B. Bligaard, L. Bredahl, P. T. Rasmussen, and H. R. Andersen. 2007. Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Sci.* 76:635–643.
- Veysset, P., M. Lherm, and D. Bebin. 2005. Evolution, dispersions et déterminants du revenu en élevage bovin allaitant charolais. Etude sur 15 ans (1989 - 2003) à partir d'un échantillon constant de 69 exploitations. *INRA Prod. Anim.* 18:265–275.
- Vieira, C., M. D. Garcia-Cachan, M. D. Recio, M. Dominguez, and C. Sanudo. 2006. Effect of ageing time on beef quality of rustic type and rustic x Charolais crossbreed cattle slaughtered at the same finishing grade. *Span. J. Agric. Res.* 4:225–234.
- Warner, K. F. 1952. Adventures in testing meat for tenderness. *Proc Recip Meat Conf* 5:156–160.
- Warren, H. E., N. D. Scollan, M. Enser, S. I. Hughes, R. I. Richardson, and J. D. Wood. 2008. Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. I: Animal performance, carcass quality and muscle fatty acid composition. *Meat Sci.* 78:256–269.
- Watson, R., R. Polkinghorne, and J. M. Thompson. 2008. Development of the Meat Standards Australia (MSA) prediction model for beef palatability. *Aust. J. Exp. Agric.* 48:1368–1379.
- Weglarz, A. 2010. Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech J. Anim. Sci.* 55:548–556.
- Wertz, A. E., L. L. Berger, D. B. Faulkner, and T. G. Nash. 2001a. Intake restriction strategies and sources of energy and protein during the growing period affect nutrient disappearance, feedlot performance, and carcass characteristics of crossbred heifers. *J. Anim. Sci.* 79:1598–1610.
- Wertz, E., L. L. Berger, P. M. Walker, D. B. Faulkner, F. K. McKeith, and S. Rodriguez-Zas. 2001b. Early weaning and postweaning nutritional management affect feedlot performance of Angus x Simmental heifers and the relationship of 12th rib fat and marbling score to feed efficiency. *J. Anim. Sci.* 79:1660–1669.
- Whipple, G., M. Koohmaraie, M. Dikeman, and J. Crouse. 1990. Predicting Beef-Longissimus Tenderness from Various Biochemical and Histological Muscle Traits. *J. Anim. Sci.* 68:4193–4199.
- Wood, K. M., H. Salim, P. L. McEwen, I. B. Mandell, S. P. Miller, and K. C. Swanson. 2011. The effect of corn or sorghum dried distillers grains plus solubles on growth performance and carcass characteristics of cross-bred beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 165:23–30.
- Wu, G., M. M. Farouk, S. Clerens, and K. Rosenvold. 2014. Effect of beef ultimate pH and large structural protein changes with aging on meat tenderness. *Meat Sci.* 98:637–645.

Zahradkova, R., L. Barton, D. Bures, V. Teslik, and V. Kudrna. 2010. Comparison of growth performance and slaughter characteristics of Limousin and Charolais heifers. *Arch. Tierz.-Arch. Anim. Breed.* 53:520–528.

Annexes

Annexe 1

Questionnaire d'enquête de l'étude en partenariat avec l'IGP Fleur d'Aubrac

Questionnaire génisse « Fleur d'Aubrac »

Questions spécifiques de l'enquête1

Date : Nom de l'exploitation :

Nom de l'enquêté :

Description de l'exploitation

Adresse : Altitude du siège (m) :

Combien de personnes travaillent sur l'exploitation ?

Quels est la taille de votre troupeau allaitant ?

Sur votre exploitation y-a-t-il d'autres types d'élevage ?

Type d'élevage

.....

.....

Taille troupeau

.....

.....

Quelle est votre surface agricole utile totale (ha) ?

Production en fourrages et en concentrés sur l'exploitation (*Tableau*)

Tableau : Production en fourrages et en concentrés sur l'exploitation

		Surface (ha)	Utilisation pour l'ensemble du troupeau allaitant		Forme (ensilage, enrubannage, foin, grain)	Quantité produite (préciser unité balle, silo, etc.)	Quantité vendue	Remarques
Herbe	prairie permante		pâturage					
			recoltée					
	prairie temporaire		pâturage					
			recoltée					
Culture	Maïs		oui					
			non					
	Blé		oui					
			non					
	Orge		oui					
			non					
	Triticale		oui					
			non					
	Luzerne		oui					
			non					
	Autre		oui					
			non					

Couple mère/veau

Quel système de tétée utilisez-vous ?

Libre

Accompagné

Si la tétée est accompagnée :

Quel est le temps de présence du veau avec sa mère (en minutes) ?

Combien y en a-t-il par jour ?

Combien de points d'eau sont à disposition pour les couples « mère/veau » ?

Quelle est la surface allouée aux couples « mère/fille » (m²) ?

Y-a-t-il une aire exercice attenante au bâtiment pour que les couples « mère/veau » sortent dehors ?

Oui

Non

Si Oui Quelle est la surface :

Tout au long de la journée, les vaches ont-elles accès à de l'alimentation ?

Oui

Non

Si oui, quel(s) aliment(s) :

Conduite des génisses

Suivi individuel des génisses Fleur d'Aubrac (*Description individuelle des génisses FA*)

Quelles sont les rations hivernales et complémentations au pâturage ? (*Tableau Rations*)

Quel est le type d'abreuvement lors du pâturage ? (*selon le type fréquence de remplissage*)

Tableau : Description individuelle des génisses FA

Nom exploitation : _____ Date : _____ N° Enquête : _____

Nom Génisse /Numéro IPG	Génisse				Mère				Père				
	date naissance	Lieu naissance (bat ou pré)	naissance gemmaire (M/F ou F/F)	date d'achat	Evènement sanitaire ou durant la naissance	Numéro IPG	date de naissance	Parité (multi pare/ primipare)	Nombre de vélage	Date du 1 ^{er} vélage	Monte naturelle ou IA	Numéro IPG	date de naissance

Période en bâtiment des génisses FA

Les génisses sont-elles bloquées lors de la distribution de la ration ? Oui Non

Combien de points d'eau sont à disposition pour les génisses ?

Quelle est la surface allouée aux génisses (m²) ?

Y-a-t-il une aire exercice attenante au bâtiment pour que les génisses sortent dehors ?

Oui

Non

Si Oui Quelle est la surface :

Tout au long de la journée, les génisses ont-elles accès à de l'alimentation ?

Oui

Non

Si oui, quel(s) aliment(s) :

Sélection des génisses pour la filière FA

Quels sont vos critères de sélection pour sélectionner vos génisses ?

Questions spécifiques de l'enquête 2

Mois des premiers abattages :

Finition des génisses FA

Quels ont été vos critères pour débiter la phase de finition des génisses ?

Age

Poids

GMQ

Note d'état corporelle

Période de l'année

Besoin (selon la demande)

Autre :

Selon vous quand débiterons les abattages de ces génisses :

Tout au long de la journée, les génisses ont-elles accès à de l'alimentation ?

Oui Non

Si oui, quel(s) aliment(s) :

Avez-vous mis à la reproduction les génisses « Fleur d'Aubrac » ? Oui Non

Questions spécifiques de l'enquête 3

Abattage génisses « Fleur d'Aubrac »

Quels étaient vos critères dans la prise de décision de l'abattage de l'animal ?

Age Poids Note d'état corporel
 Trésorerie Autres :

Informations recueillies à chaque enquête

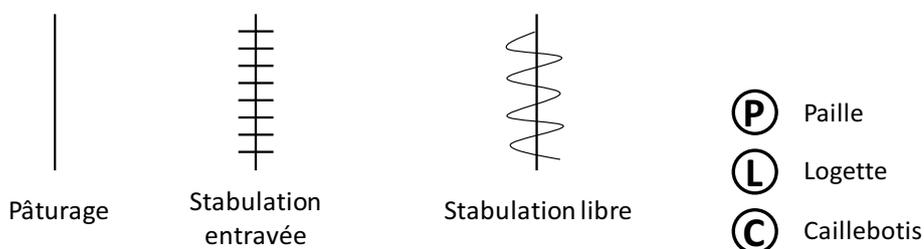
Schéma d'allotement

Légende du schéma d'allotement

Un lot est un groupe d'animaux physiquement ensemble et conduits de la même façon.

- Nombre de lots (le jour de l'enquête)
- Positionner les lots sur le schéma d'allotement en précisant leur composition (identifier dans chaque lot les génisses suivies et la taille de chaque lot)
- Replacer les évènements qui ont eu lieu de la naissance au jour de l'enquête à l'aide de la légende : positionner
 - ✓ les périodes de naissance, de sevrage, de tri
 - ✓ les changements de lots, les entrées et les sorties d'animaux
 - ✓ les changements de localisation (pâturage, bâtiment) Préciser date de mise à l'herbe et de rentrée à l'étable
 - ✓ évènement de prophylaxie
- Plaquer l'alimentation pour les lots (numéro de ration différent dès qu'il y a une différence dans la composition). Ce numéro de ration sera reporté dans le tableau d'alimentation pour avoir le détail de chaque ration.

Localisation des animaux



Evènement dans la vie des animaux

Début et fin d'un lot : ●

Ration n : **Rn**

Période sevrage : **S**

Début et fin des périodes de naissance : △ ▽

Prophylaxie : **Rouge**

Tableau : Rations

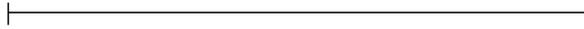
N° Ration	Composition de la ration et quantité de chaque aliment (bien préciser les unités pour les quantités)

Annexe 2

Fiche d'évaluation des différents descripteurs sensoriels remplie par chaque juré
pour chaque échantillon

N° du juré : _____ N° de l'échantillon : _____

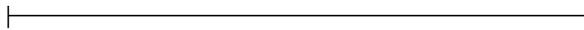
Appréciation globale : mauvaise qualité supérieure



Tendreté initiale : très dure très tendre



Tendreté globale : très dure très tendre



Jutosité initiale : sèche très juteuse



Jutosité globale : sèche très juteuse



Intensité de flaveur : fade / insipide goût intense



Flaveur anormale : rien mauvais goût intense



Résidu de mastication : aucun très important



Couleur du morceau : rose / clair rouge vif rouge foncé



Homogénéité de cuisson : cuisson différente même cuisson



Niveau de cuisson :

pas assez cuit / cru/bleu saignant à point bien cuit trop cuit

Présence de gras : trop maigre optimale trop grasse



Annexe 3

Calculs de la force et du travail à 1 cm

Etape 1 :

Pour chacune des mesures réalisées sur l'échantillon, à partir du diagramme force déplacement (Figure 24) sont obtenues : la force de frottement (F_{xo}), la force maximale (F_m), l'épaisseur du morceaux (E) et le travail (W).

Pour chaque mesure, est calculé :

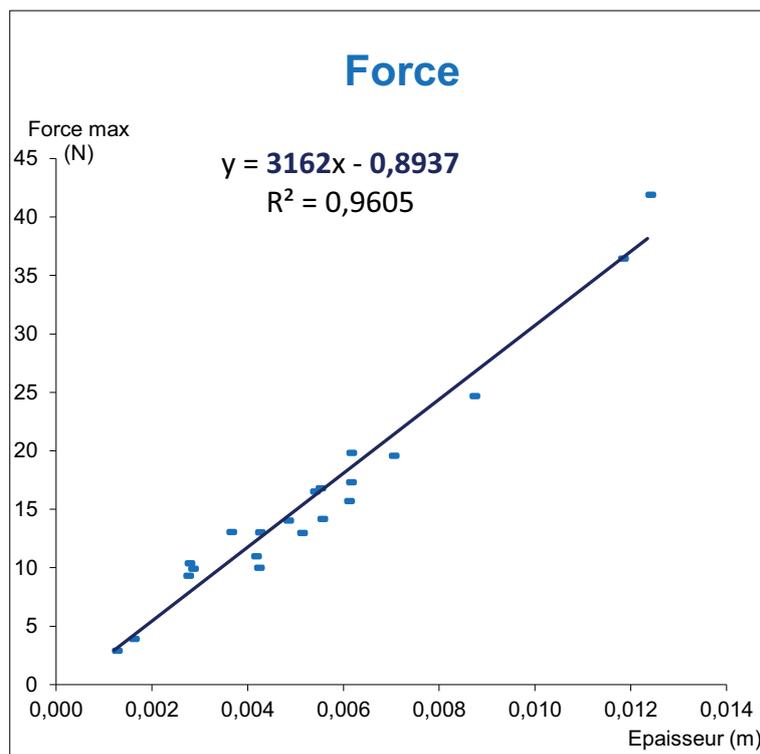
- La force maximale de résistance mécanique (F_{max} , daN) :

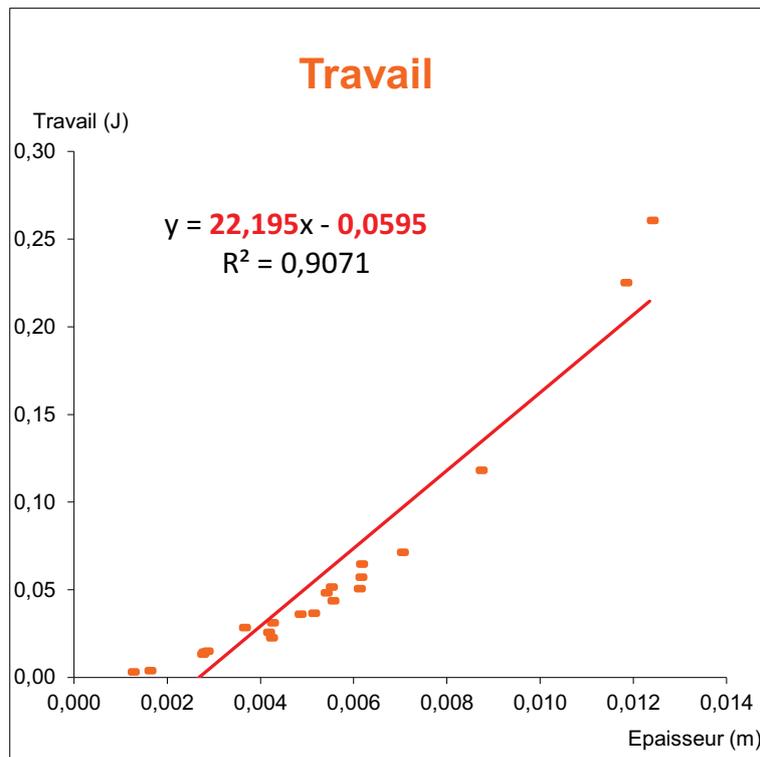
$$F_{max} = F_m - F_{xo}$$

- W de chaque mesure est calculé en faisant le calcul de l'aire sous la courbe (Figure 24).

Etape 2 :

Pour obtenir les valeurs de la force et du travail à 1 cm pour chaque échantillon, les graphiques F_{max} en fonction de E et W en fonction de E sont tracés.





A partir de chaque graphique, la régression linéaire est tracée afin d'obtenir les équations suivantes :

$$(1) F_{\max} = a E + b$$

$$(2) W = a E + b$$

Pour que les équations soient utilisables, il faut que leur coefficient de détermination (R^2) soit supérieur à 0,9.

La valeur de force de l'échantillon à 1 cm est obtenue en faisant la somme des coefficients a et b de l'équation (1).

La valeur du travail de l'échantillon à 1 cm est obtenue en faisant la somme des coefficients a et b de l'équation (2).

Abstract

The beef rearing system could be diversified by their rearing practices (animal categories, breeds, diet composition, grazing duration, etc.) to produce carcasses and beef meat reaching the different market expectations and to satisfy the consumers. The rearing practices were defined as the combinations of many rearing factors, each with its own variability. This diversity of applied rearing practices during the whole life of the animal was one of the causes of the carcass and beef variability observed. The aim of this work was to more precisely study the rearing practices impacts on the carcass and the beef characteristics, and to consider a joint management of these characteristics from the rearing practices. To achieve this, two complementary data sources were used: experimental data set and rearing surveys. This work displayed that it was possible to explain and to predict the carcass characteristics (weight, dressing, conformation and fat scores) and the meat properties (sensorial descriptors and shear force) from the combination of many rearing factors. It was also observed that different rearing practices allowed to reach similar carcass or meat characteristics but those must be adapted according to the animal category and the breed. Indeed, for the prediction of the carcass or meat characteristics, rearing factors can be specific to an animal category (young bulls vs cull cows) or a breed type (beef vs hardy), and a same rearing factor may also had different impacts according to the animal category or the breed considered. The established models from the fattening period were robust but prediction was more precise for individual parameters characterizing the carcass compared to those of the meat. The clustering of meat quality improved the prediction quality of the meat properties. Furthermore, for the carcass or the meat properties, by considering the pre-weaning period in addition to the fattening period the prediction quality of the quality clusters was improved. However, the rearing factors did not allowed a satisfactory prediction of the tenderness or adiposity biomarkers abundances. Finally, all results of this work displayed, although it requires trade-off, it was possible to jointly manage the carcass and meat characteristics.

Key words: Carcass, Prediction models, Rearing practices, Sensory properties, Proteins Biomarkers.

Résumé

Les systèmes d'élevage allaitants peuvent être diversifiés par leurs pratiques d'élevage (type d'animaux, races, nature des rations, durées de pâturage, etc.) pour produire des carcasses et de la viande répondant à la demande des différents marchés et satisfaire les consommateurs. Les pratiques d'élevage sont définies comme étant la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage ayant une variabilité propre. Cette diversité de pratiques d'élevage appliquées tout au long de la vie de l'animal est l'une des causes de la variabilité observée au niveau des caractéristiques de la carcasse et de la viande. L'objectif de ce travail a été d'étudier plus précisément l'influence des pratiques d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et de la viande, et d'envisager un pilotage conjoint de ces caractéristiques à partir des pratiques d'élevage. Pour réaliser cela, deux sources de données complémentaires ont été utilisées : les bases de données expérimentales et les enquêtes en élevage. Ce travail a montré qu'il était possible d'expliquer et de prédire les caractéristiques de la carcasse (poids, rendement, conformation et état d'engraissement) et les propriétés de la viande (descripteurs sensoriels et force de cisaillement) à partir de la combinaison de plusieurs facteurs d'élevage. Il a été également montré que différentes pratiques d'élevage permettaient d'atteindre des caractéristiques similaires de carcasse ou de viande mais que celles-ci devaient être adaptées selon le type de l'animal ou de la race. En effet, lors de la prédiction des caractéristiques de la carcasse ou de la viande, des facteurs d'élevage peuvent être spécifiques à un type de l'animal (jeunes bovins vs vaches de réforme) ou d'un type de race (viande vs rustique) et un même facteur d'élevage peut également avoir des effets différents selon le type de l'animal ou la race considéré. Les modèles établis à partir de la période de finition sont robustes mais ils sont plus précis pour prédire les paramètres individuels caractérisant la carcasse par rapport à ceux de la viande. La qualité de prédiction des propriétés de la viande a été améliorée en prédisant des classes de qualité. De plus, que ce soit pour les propriétés de la carcasse ou de la viande, la qualité de prédiction des classes de qualité a été améliorée en considérant la période de pré-sevrage en plus de la période de finition. En revanche, les facteurs d'élevage ne permettent pas une prédiction satisfaisante de l'abondance des biomarqueurs de la tendreté ou de l'adiposité. Enfin, l'ensemble des résultats de ce travail a montré que, bien que cela nécessite des compromis, il est possible de piloter conjointement les caractéristiques de la carcasse et de la viande.

Mot clés : Carcasse, Modèles de prédiction, Pratiques d'élevage, Propriétés sensorielles, Protéines biomarqueurs.