



Une nouvelle approche méthodologique pour piloter la conduite en élevage

Affiner le pilotage de l'élevage des bovins viandes pour améliorer conjointement les performances des animaux, les valeurs nutritionnelles et les qualités sensorielles de leurs viandes

Mots-clés : Regroupement de variables, ClustOfVar, Méthode statistique, Analyse de données, Pilotage

Auteurs : Marie-Pierre Ellies-Oury^{1,2,3}, Gonzalo Cantalapiedra-Hijar^{2,3}, Denys Durand^{2,3}, Dominique Gruffat^{2,3}, Anne Listrat^{2,3}, Didier Micol^{2,3}, Isabelle Ortigues-Marty^{2,3}, Jean-François Hocquette^{2,3}, Marie Chavent⁴, Jérôme Saracco⁴, Brigitte Picard^{2,3}

¹ Bordeaux Science Agro, 1 cours du Général de Gaulle, CS 40201, 33175 Gradignan, France ; ² INRA, UMR1213 Herbivores, 63122 Saint Genès Champanelle, France ; ³ Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France ; ⁴ Université de Bordeaux, UMR5251, INRIA, 33400 Talence, France.

* E-mail de l'auteur correspondant : marie-pierre.ellies@inra.fr ; INRA, UMR1213 Herbivores, 63122 Saint Genès Champanelle

Le développement d'une approche méthodologique innovante a permis d'analyser les interrelations entre performances animales, valeur nutritionnelle et qualité sensorielle des viandes. Cette méthode semble constituer un outil efficace pour intégrer ces trois piliers dans le pilotage de l'élevage des animaux.

Résumé :

Cet article fait référence à une étude publiée en fin d'année 2016 dans la revue Meat Science (122, 163-172). Afin de trouver un compromis entre les attentes des producteurs, des transformateurs et des consommateurs, les auteurs ont cherché à déterminer dans quelle mesure il est possible de piloter les performances des animaux par le biais des pratiques d'élevage, tout en préservant les qualités sensorielles et la valeur santé des viandes. Pour cela, une méthode statistique innovante a été utilisée : la classification de variables. Les données de 71 taurillons du projet européen ProSafeBeef ont été organisées en 3 jeux de données caractérisant respectivement les performances animales (36 variables), les qualités sensorielles (29 variables) et la valeur nutritionnelle des viandes (32 variables). Par la construction de 5 index synthétiques pour chaque élément du triptyque (combinaisons linéaires d'un sous-ensemble de variables constituant un pool homogène), la méthode a permis de supprimer l'information redondante et ainsi de réduire l'information des 97 variables en 15 index synthétiques. Un second regroupement de variables a ensuite été réalisé sur ces 15 index synthétiques afin de mettre en évidence les proximités entre les 3 jeux de données.

L'analyse a montré qu'il n'existe pas d'opposition entre efficacité animale et valeur nutritionnelle des viandes. Il est donc possible d'obtenir des animaux efficaces (c'est-à-dire avec de meilleurs gains de poids et d'efficacité alimentaire) associant des carcasses à haute valeur bouchère (correspondant à un meilleur développement musculaire) et des viandes relativement riches en acides gras polyinsaturés. En revanche, l'efficacité alimentaire et le développement musculaire sont apparus négativement corrélés avec les qualités sensorielles des viandes (notamment la tendreté et l'appréciation globale).

La classification de variables est une méthode d'analyse de données fréquemment employée dans certains domaines mais elle n'avait jamais été utilisée en sciences animales. D'après les résultats obtenus, cette approche pourrait s'avérer être un outil efficace pour intégrer différents concepts dans un pilotage optimisé de l'élevage pour les productions animales.

Abstract: A new methodological approach combining animal performances, nutritional value and sensory quality of meat

This work initially published in Meat Science (122, 163-172) in 2016 provides a new methodological approach to establish the links between different data sets, by using a variable clustering procedure instead of a classical individual clustering approach. Three data sets (animal performance, nutritional value of the meat, sensory quality traits of meat) were considered for a total of 97 variables for each of the 71 young bulls. Variables of each dataset were arranged into homogeneous synthetic variables. Then, the three pools of synthetic variables were analysed together to establish the links existing among the three data sets.

Classification showed no opposition between animal performances and nutritional value of meat, as it seemed possible to identify animals with a high butcher value and intramuscular fat relatively rich in polyunsaturated fatty acids. However, the classification indicated that animal performances were negatively correlated with sensory quality of meat. This method appeared to be a useful contribution to the management of animal breeding for an optimal trade-off between the three elements of the triptych (animal performances, nutritional value and sensory quality of meat).

INTRODUCTION

Les producteurs de viande bovine cherchent à produire des animaux plus efficaces dans la conversion des aliments, afin de valoriser au mieux les matières premières disponibles et diminuer le coût alimentaire, alors que les transformateurs des carcasses bovines et les consommateurs ont des attentes spécifiques pour les qualités sensorielles et nutritionnelles (Grunert, 2006 ; Grunert *et al.*, 2004). Pour un type d'animal donné, les deux facteurs principaux influençant les propriétés nutritionnelles sont la race et surtout le régime alimentaire qui modulent la composition en acides gras de la viande (Dannenberger *et al.*, 2009 ; Smith *et al.*, 2009). Par ailleurs, le plaisir de consommer de la viande, et donc les qualités sensorielles du produit, restent essentiels dans le déterminisme et le renouvellement de l'acte d'achat (Gruffat *et al.*, 2015). Pour encourager les populations européennes à consommer des produits animaux (viande et lait) tout en suivant les recommandations nutritionnelles de l'AFSSA (Afssa, 2001, Anses, 2011), l'enrichissement naturel de ces

I. MATERIEL ET METHODE

L'étude a porté sur 71 taurillons de races pures (25 Limousins, Lim ; 24 Blonds d'Aquitaine, BA ; 22, Aberdeen Angus, AA) issus du projet européen ProSafeBeef (<http://www.prosafebeef.com>).

Les animaux ont été abattus à un âge moyen de 17 mois, après avoir reçu un régime témoin (T) ou bien l'un des trois régimes expérimentaux (à base de graines de lin [L] ; à base de graines de lin et de vitamine E [LE] ; à base de graines de lin, de vitamine E et d'antioxydants végétaux [LEAO]) susceptibles de moduler la composition en acides gras omega-3. Le protocole expérimental a été décrit en détails par Gagaoua *et al.* (2016a).

Le projet européen ProSafeBeef a fait l'objet de publications antérieures décrivant les caractéristiques biochimiques (propriétés des fibres musculaires, teneurs en lipides et en collagène, force de cisaillement) du tissu musculaire (Gagaoua *et al.*, 2016a) et les caractéristiques sensorielles des viandes après cuisson à 55°C ou 74°C (Gagaoua *et al.*, 2016b).

Un total de 36 variables (Tableau 1) a permis de préciser les performances de chaque animal. En parallèle, des échantillons du muscle *Longissimus thoracis* ont été prélevés 24 h après l'abattage au niveau de la 6^{ème} côte puis caractérisés par 32 variables associées à la valeur nutritionnelle et 29 variables traduisant la qualité sensorielle (Tableau 1) (Gagaoua *et al.*, 2015a, 2015b ; Picard *et al.*, 2014).

produits en acides gras bénéfiques pour la santé, via l'alimentation des animaux, est une solution intéressante.

Afin de trouver un compromis entre les attentes des producteurs, des transformateurs et des consommateurs, nos travaux visaient à déterminer dans quelle mesure il était possible d'optimiser les performances animales par le biais des pratiques d'élevage, tout en préservant les qualités sensorielles (notamment la tendreté et l'appréciation globale) et la valeur santé des viandes (exprimée au travers des compositions en acides gras et en vitamines A et E).

Pour cela, une application innovante d'une méthode statistique, la classification de variables, a été développée. L'objectif était de traiter la question des compromis et de clarifier les interactions entre les performances des animaux, la composition en vitamines et acides gras ainsi que la qualité sensorielle de leurs viandes, puis de vérifier comment gérer simultanément ce triptyque comprenant des paramètres éventuellement négativement corrélés.

Les variables ont été regroupées par classification (clustering) de variables (fonction *ClustOfVar* du logiciel R). Le nombre optimal de groupes (clusters), constitués de variables liées entre elles, a été déterminé par une approche bootstrap définissant les différents clusters (constitués de variables liées entre elles) par classification des variables au sein de chaque élément du triptyque (Chavent *et al.*, 2014, 2013, 2012). A chaque cluster a ensuite été associé un score synthétique, correspondant à la valeur de la combinaison linéaire du sous-ensemble de variables constituant ce pool homogène. Cette méthode a permis de supprimer l'information redondante et ainsi de réduire la dimension du tableau de 96 variables à 15 index synthétiques. Le clustering des variables sur chaque jeu de données a ainsi permis d'élaborer 5 scores synthétiques pour les variables de performances animales, 5 scores pour les variables de qualité sensorielle, et 5 scores pour les variables de valeur nutritionnelle.

Un second clustering de variables a ensuite été réalisé sur les 15 scores synthétiques préalablement obtenus afin de mettre en évidence les proximités entre les 3 jeux de données. La représentation des scores synthétiques dans une analyse en composante principale a permis de mieux visualiser les liens existants entre les différents éléments du triptyque.

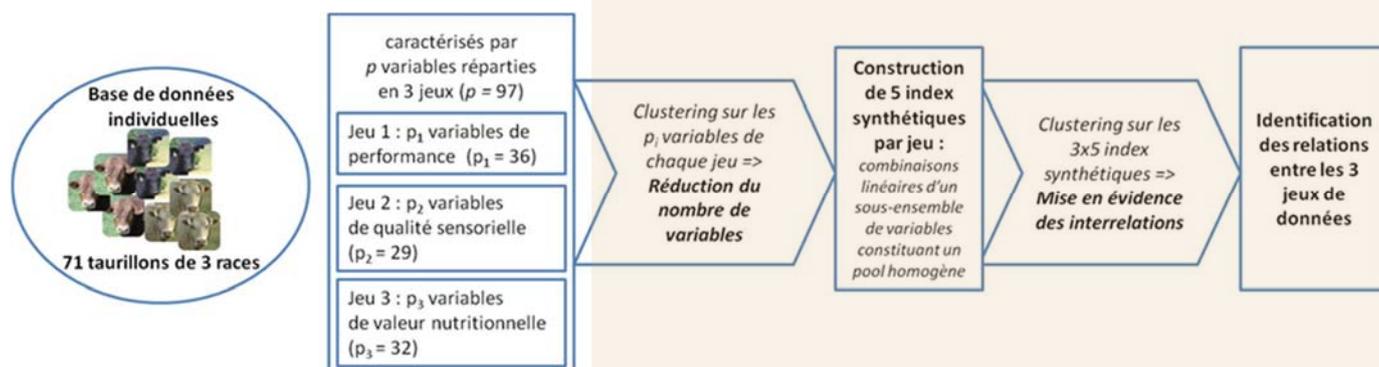
La méthode mise en œuvre dans ce travail est détaillée en Figure 1.

Tableau 1 : Caractérisation de chaque animal par 36 variables de performances, et de chaque muscle par 59 variables de qualité

Elément du triptyque	
36 variables de performances animales	<p>Performances de croissance : Gain moyen quotidien [GMQ] ; Efficience alimentaire : [GMQ] / [Matière Sèche Ingérée] et [GMQ] / [Energie Nette Ingérée] ; Age [AGE] ; Poids vif [PV] ; Poids métabolique [PM] ; Poids vif vide [PVV] ; Poids de carcasse [PC] ; Poids du foie [Foie] ; Poids du cuir ; Poids de la tête ; Poids du tractus digestif et urinaire ; Poids du gras d'émoussage ; Poids du gras de 5^{ème} quartier ; Poids du gras total [Gtotal] ; Poids des os canons ; Composition de la carcasse (en poids et en proportion) en muscle [MUca et %MU], gras [Gca et %G] et os [OSca et %OS] ; Rendements commerciaux (poids muscle après parage et désossage / PC = [RdtC]) et vrais (PV / PC = [RdtV]) ; Mensurations: Longueur totale de la carcasse [LTot] ; Distance jarret-symphise [JS] ; Epaisseur de la cuisse [EC] ; Epaisseur des faux filets / longueur de rein ; Ratios : [EC] / [JS] ; [EC] / [LTot] ; [Foie] / [PVV] ; [Foie] / [MUca] ; [Gca] / [PCC] ; [Gca] / [MUca+OSca] ; [Gca] / [Muca] ; [Gtotal] / [PVV] ; [Gtotal] / [PCC].</p>
29 variables de qualité sensorielle	<p>Propriétés contractiles des fibres musculaires : Proportion des différentes isoformes de chaînes lourdes de myosine [MyHCI, MyHCIIA, MyHCIIIX] Activités des enzymes du métabolisme glycolytique (lactate déshydrogenase [LDH], phosphofruktokinase [PFK]), ou oxydatif (isocitrate déshydrogenase [ICDH], cytochrome-c oxydase [COX], citrate synthase [CS]) Coordonnées trichromatiques CIE-Lab [L*, a*, b*] pH ultime [pHu] ; teneur en protéines [Prot] Teneur en collagène total [CollTot] et insoluble [CollInsol] Teneur en lipides totaux [Lip] Force de cisaillement [WB] Descripteurs sensoriels après cuisson à 55 et 74 °C : de tendreté globale [TG55, TG74], jutosité [JUT55, JUT74], flaveur typique [FlavTy55, FlavTy74] et anormale [FlavAn55, FlavAn74], teneur en résidus [Res55, Res74]</p>
32 variables de valeur nutritionnelle	<p>Caractérisation des lipides intramusculaires : Proportion relative des acides gras dans les lipides totaux [AG] Teneur en lipides [Lip] Composition en acides gras exprimée en teneur et en proportions des acides gras totaux : acides gras saturés (AGS) ; mono-insaturés (AGMI) ; polyinsaturés (AGPI) ; acides linoléiques conjugués (CLA) ; C16:0 ; C18:1 trans ; AGPI n-6 ; AGPI n-3 ; C22:5n-3cis ; C20:5n-3cis Ratios entre acides gras ; C16:0/C18:0 ; AGPI/AGS ; AGPI n-6/AGPI n-3 ; C18:2n-6/C18:3n-3 Susceptibilité à l'oxydation Teneurs en antioxydants de type vitamine E [VitE] et A [VitA] Statut anti-oxydant de l'animal [SAO]</p>

Légende : variables disponibles pour chaque élément du triptyque

Figure 1 : Mise en relation de données multiples et complexes par application innovante d'une méthodologie statistique en sciences agronomiques



Légende : Principe de la méthode mise en œuvre dans ce travail

II. RESULTATS

Les 15 scores synthétiques ont été caractérisées par le biais des variables les mieux reliées à la moyenne du groupe ($r^2 > 0,5$; Tableau 2). La représentation des groupes dans 3 ACP différentes permet de visualiser les relations entre les différentes variables au sein de chaque élément du triptyque. Pour les variables de performance, le 1^{er} axe est associé à 47,3% de l'inertie. L'augmentation du développement adipeux sur la carcasse (cluster P1) est concomitante avec celle des tissus viscéraux (cluster P4) et la diminution de la valeur bouchère (cluster P5). Sur le second axe (32,2% de l'inertie), les clusters P2 (poids vif vide et développement osseux) et P3 (efficacité alimentaire et croissance) sont positivement associés.

L'ACP appliquée aux variables de qualité sensorielle indique que l'amélioration des propriétés sensorielles (cluster QS1)

est associée à l'augmentation du métabolisme oxydatif des muscles (cluster QS3) et des teneurs en lipides des viandes (cluster QS4) (axe 1 : 40,4%). Sur l'axe 2 (22,6% d'inertie), l'augmentation des teneurs en protéines (cluster QS5) est associée à l'augmentation de l'intensité de la couleur (cluster QS2).

La troisième ACP illustre le lien entre les teneurs en lipides et celles des différents acides gras (clusters VN2 et VN5). La diminution des teneurs en acides gras est associée à l'augmentation des proportions d'AGPI au détriment de celles d'AGS et AGMI (cluster 4 ; axe 1 : 50,2%). Sur le second axe (29,3% d'inertie), la diminution du ratio n-6/n-3 (cluster VN1) est associée à l'augmentation des proportions en AGI *trans* (cluster VN3).

Tableau 2 : Regroupement en 5 clusters des variables étudiées pour chaque élément du triptyque

Élément du triptyque	Dénomination du Cluster	Caractérisation du cluster*
performances animales	P1	Développement de gras supérieur (Gca, Gtotal, %G, gras d'émoussage)
	P2	Poids vif vide et développement osseux supérieurs (OSca, %OS, poids des os canon)
	P3	Meilleures efficacité alimentaire et croissance (GMQ)
	P4	Poids des viscères supérieur (Foie, Foie/PVV, Foie/MUca)
	P5	Valeur bouchère supérieure (JS, EC, EC/LTot, EC/JS, RdtV, RdtC, MUca, %MU, PCC)
qualité sensorielle	QS1	Propriétés sensorielles élevées (augmentation des J74, T55 et T74 ; diminution des Res55 et Res74)
	QS2	Intensité de la couleur plus marquée (augmentation du L* et diminution du b*)
	QS3	Faible métabolisme oxydatif (diminution des activités COX et ICDH, moindre proportions en MyHCI)
	QS4	Teneur et insolubilité en collagène et teneurs en lipides élevées, faibles proportions de fibres glycolytiques (MyHCIIX)
	QS5	Teneurs élevées en protéines
valeur nutritionnelle des lipides et acides gras	VN1	Moindres ratios n-6/n-3 (AGPI n-6/AGPI n-3; C18:2n-6/C18:3n-3)
	VN2	Faibles teneurs en AGS, CLA, AGMI et lipides totaux
	VN3	Faibles parts d'AGMI <i>trans</i>
	VN4	Proportions élevées en AGPI, AGPI n-6 et AGPI-3, et faibles en AGS et AGMI
	VN5	Teneurs élevées en AGPI, AGPI n-3 et AGPI n-6

Légende : Description des 3 x 5 clusters obtenus suite aux 3 analyses ClustOfVar

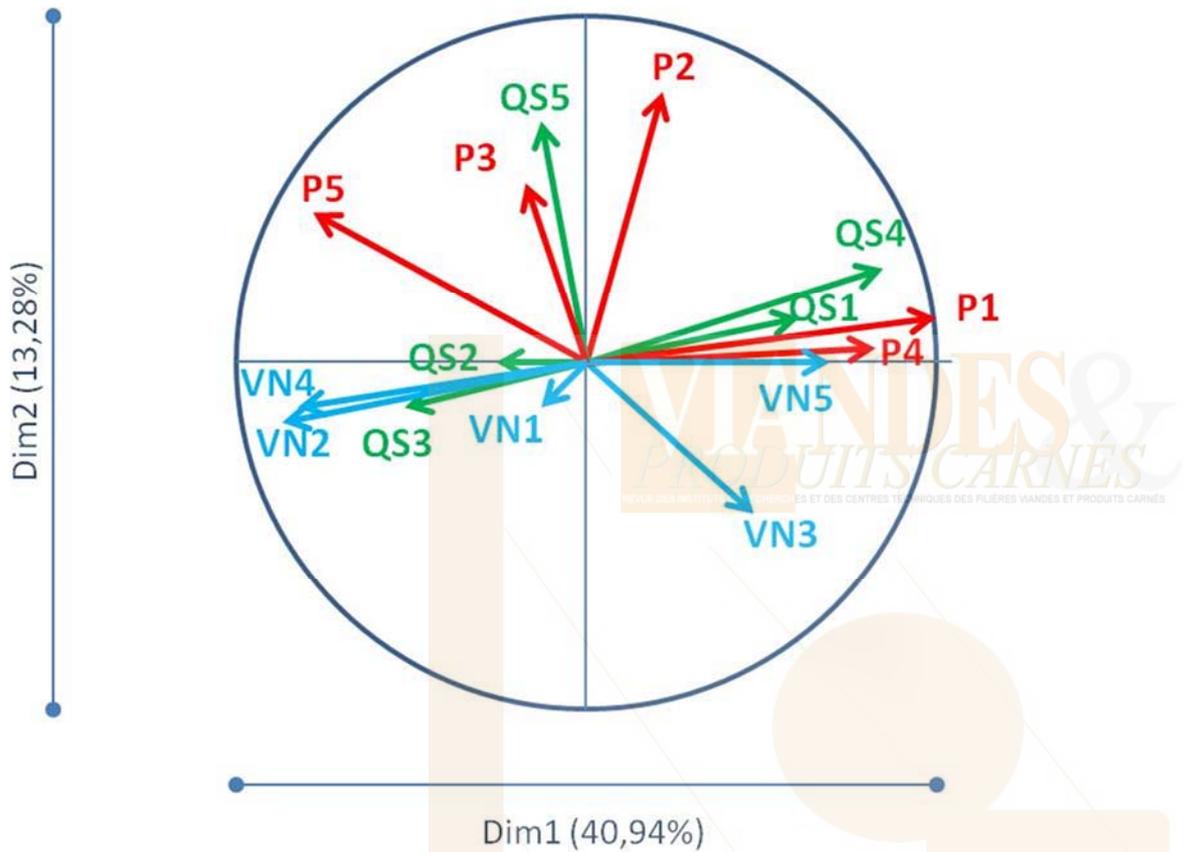
*Les variables mal représentées au sein des différents clusters ($r^2 < 0,5$) n'ont pas été listées ici, dans la mesure où elles ne permettraient pas de définir les spécificités du cluster.

Afin d'évaluer les interactions entre les 3 éléments du triptyque, un clustering des variables synthétiques (3x5 scores) ainsi obtenues et une ACP a été réalisé (Figure 2). Le 1^{er} axe de l'ACP a permis de mettre en évidence qu'il est possible d'augmenter conjointement la valeur bouchère de la carcasse (cluster P5) et les parts d'AGPI, d'AGPI n-3 et d'AGPI n-6 (cluster VN4). Dans un même temps, le poids des viscères et tissus non productifs (cluster P4) et le développement de gras de la carcasse diminuent (cluster P1).

A cette moindre adiposité de la carcasse, sont associées de moindres teneurs en lipides, en collagène et en AG (AGS et AGMI, cluster VN2 ; mais également AGPI, AGPI n-3 et AGPI n-6, cluster VN5) ainsi qu'un moindre métabolisme oxydatif (cluster QS3).

Le second axe de l'ACP (13,28% d'inertie) associe le PVV et le développement osseux (cluster P2) à l'efficacité alimentaire et à la croissance de l'animal (cluster P3) et à une teneur élevée en protéines (cluster Q5).

Figure 2 : Relations entre les variables synthétiques décrivant les performances (P1 à P5), la qualité sensorielle (QS1 à QS5) et la valeur nutritionnelle des viandes (VN1 à VN5)



Légende : Il n'existe pas d'opposition entre valeur bouchère (P5) et valeur nutritionnelle des viandes (VN1, VN2, VN4). En revanche, la valeur bouchère et l'efficacité alimentaire (P3 et P5) sont apparus négativement corrélés avec les qualités sensorielles des viandes (notamment la tendreté et l'appréciation globale ; QS1). Les qualités sensorielles (QS1) sont négativement corrélées aux variables indiquant un faible métabolisme oxydatif (QS3).

III. DISCUSSION

III.1. Pertinence et originalité de la méthode statistique

Cet article propose une approche originale pour résumer et analyser les relations entre éléments d'un triptyque essentiel en production de viande : performances animales, qualité sensorielle et valeur nutritionnelle des viandes. La classification de variables est une méthode d'analyse de données fréquemment employée dans certains domaines (industrie automobile ou navale) (Brida *et al.*, 2014; Chavent *et al.*, 2012; Kuentz-Simonet *et al.*, 2013; Plasse *et al.*, 2007) mais elle n'avait jamais été utilisée en sciences animales.

L'approche *ClustOfVar* utilisée dans cet article fournit des groupes homogènes de variables, chaque variable étant associée au groupe dont elle était le plus proche (à savoir le groupe dont le carré de la corrélation entre la variable et le représentant de la classe était le plus grand). Au-delà de la synthèse de l'information des 96 variables en 15 index

synthétiques, la construction de clusters, résumés par un score synthétique (équivalents à des gradients), permet de caractériser plus clairement les différents clusters que dans une analyse classique (telle que l'ACP ou l'AFM notamment). L'interprétation des interrelations entre les différents éléments du triptyque est ainsi facilitée.

La construction de clusters de variables conduit à grouper ensemble des variables partageant des informations biologiques proches. Par conséquent, la présence dans l'analyse d'un nombre conséquent de variables parmi lesquelles des variables redondantes n'est pas un problème dans la mesure où le problème de colinéarité inhérent à l'ACP n'est pas présent dans l'analyse *ClustOfVar* selon Dormann *et al.* (2013).

III.2. Relations entre performances zootechniques, et qualité sensorielle et nutritionnelle des viandes

L'ACP sur les variables sensorielles a permis de révéler **un lien positif entre la qualité sensorielle des viandes et le métabolisme oxydatif**. De nombreuses études antérieures ont précédemment établi cette corrélation positive sur le muscle *Longissimus thoracis* (Chriki *et al.*, 2013; Jurie *et al.*, 2007; Maltin *et al.*, 1998; Therkildsen *et al.*, 2002). Cependant, ces relations restent controversées dans la mesure où des relations

inverses sont également recensées dans la littérature (Guillemin *et al.*, 2009; Picard *et al.*, 2014a,b), les différences étant attribuables à des différences dans les muscles, sexes, races, ou modes de conduite des animaux dans ces études.

Dans ce travail, **les propriétés sensorielles sont positivement liées aux teneurs en lipides totaux**. Nous confirmons ainsi le lien positif entre lipides intramusculaires

et jutosité de la viande (Jeremiah *et al.*, 2003), flaveur (Mottram, 1998) et tendreté (May *et al.*, 1992). C'est la raison pour laquelle les producteurs et l'aval de la filière ont tendance à sélectionner les animaux ayant des propensions plus grandes à développer du persillé, alors même que les consommateurs plébiscitent les viandes ayant des teneurs en acides gras saturés moindres, sans doute en lien avec leur impact négatif sur la santé humaine. Il est par conséquent important de comprendre les relations qui existent entre les teneurs en lipides et les compositions en acides gras d'une part, et les propriétés sensorielles des viandes d'autre part, afin de s'assurer que la tendreté, la jutosité et/ou la flaveur ne sont pas significativement altérées lorsque l'on sélectionne les animaux sur la composition nutritionnelle de leurs viandes.

Beaucoup de résultats antérieurs indiquent que la plupart des acides gras ont un impact faible et variable sur l'appréciation sensorielle de la viande (Garmyn *et al.*, 2011). Cependant, dans ces études, l'acide oléique (C18:1) serait positivement corrélé à la flaveur de la viande, alors que **les acides gras polyinsaturés seraient négativement associés aux descripteurs de tendreté et de jutosité** (Dryden and Macchello, 1970; Garmyn *et al.*, 2011; Melton *et al.*, 1982; Westerling and Hedrick, 1979). Les acides gras saturés et mono insaturés sont principalement localisés dans les triglycérides des adipocytes et gouttelettes lipidiques intracellulaires, alors que les acides gras polyinsaturés sont surtout présents dans les phospholipides des membranes cellulaires. L'augmentation du contenu en acides gras est parallèle à celui des acides gras saturés et mono insaturés, alors que le contenu en acides gras polyinsaturés (constitutif de la structure musculaire) n'est que très minoritairement modifié. De ce fait, il est logique que l'augmentation des teneurs en acides gras ne soit pas associée à une augmentation du contenu en acides gras polyinsaturés, mais plutôt à une augmentation de la fraction associée aux triglycérides (Wood *et al.*, 2008). Il n'est donc pas surprenant que les teneurs supérieures en acides gras saturés et mono insaturés se trouvent dans les muscles les plus gras, les acides gras polyinsaturés étant alors dilués par la somme acides gras

saturés et mono insaturés lorsque les teneurs en lipides intramusculaires augmentent.

Dans la littérature, l'augmentation des acides gras polyinsaturés n-3 est fréquemment associée à la réduction des acides gras polyinsaturés n-6 (Lorenz *et al.*, 2002; Nuernberg *et al.*, 2005), illustrant par là même la compétition entre ces deux types d'acides gras pour les mêmes enzymes d'élongation et désaturation. Dans ce travail, **l'augmentation des n-3 est associée à une augmentation des n-6**. Il faut néanmoins noter une grande variabilité de réponse lorsque l'on s'intéresse aux données obtenues dans chaque race des animaux, une corrélation positive étant relevée en race Angus, tandis qu'aucun lien n'a pu être mis en évidence dans les deux races continentales plus maigres.

L'analyse a montré qu'il n'existe **pas d'opposition entre performances animales (P3 e P5) et valeur nutritionnelle des viandes**. Il est donc possible d'obtenir des animaux efficaces (meilleurs gain de poids et efficacité alimentaire) associant des carcasses à haute valeur bouchère (meilleur développement musculaire) et des viandes relativement riches en acides gras polyinsaturés. En revanche, **le développement musculaire est apparu négativement corrélé aux qualités sensorielles des viandes** (notamment à la tendreté et à l'appréciation globale). Aussi, s'il semble possible d'identifier des animaux de grande valeur bouchère avec un gras intramusculaire relativement riche en acides gras polyinsaturés, il paraît en revanche difficile d'obtenir un compromis entre ces paramètres et la qualité sensorielle de la viande. Il sera donc important, à l'avenir, d'évaluer la possibilité de mettre en évidence des modes de conduite permettant de produire des animaux ayant des performances élevées, et produisant des viandes ayant à la fois une valeur nutritionnelle et des propriétés sensorielles optimales. Cette éventualité semble possible dans la mesure où **la croissance et l'efficacité ressortent dans ce travail comme indépendants des descripteurs de tendreté**. Cette absence de relation confirme les conclusions obtenues par Hill and Ahola (2012), qui ne notaient aucune corrélation entre l'efficacité alimentaire et la tendreté (sensorielle ou mécanique) des viandes.

CONCLUSION

L'analyse réalisée fournit des informations pouvant être utilisées dans la gestion des compromis entre différents jeux de données (les performances animales, les qualités sensorielles et la valeur nutritionnelle des viandes dans le cas présent). L'application de cette méthode à notre jeu de données permet d'établir que, selon le type de consommateur

et ses préférences, il est possible d'adapter la conduite en élevage afin de proposer une viande répondant au mieux à ses attentes en termes de qualités sensorielles et/ou de valeur nutritionnelle. Cette approche pourrait s'avérer être un outil efficace pour intégrer différents concepts dans un pilotage optimisé de l'élevage pour les productions animales.

Remerciements :

Ce travail fait partie du programme européen ProSafeBeef (EU TP6, contrat numéro FOODCT-2006-36241). Les auteurs remercient Pascal Faure et Denis Roux (INRA UERT, Theix) pour le suivi des animaux, Karine Méteau (INRA, Le Magneraud) pour les évaluations sensorielles, ainsi que l'ensemble des personnes engagées dans ce programme pour la collecte des données et leur mise à disposition.

Références :

Afssa (2001). CNRS. Apports Nutr. Cons. Pour Popul. Fr. Paris Tec Doc.
Anses (2011). Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Novembre 2011. 327p. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2006sa0359Ra.pdf>

- Brida J.G., Fasone V., Scuderi R., Zapata-Aguirre S. (2014). Research note: Exploring the determinants of cruise passengers' expenditure at ports of call in Uruguay. *Tourism Economics*, 20, 1133–1143.
- Chavent M., Kuentz V., Liquet B., Saracco J., Chavent M.M. (2013). Package “ClustOfVar.”
- Chavent M., Kuentz V., Liquet B., Saracco L. (2012). Clustofvar: An r package for the clustering of variables. *Journal of Statistical Software*, 50.
- Chavent M., Kuentz-Simonet V., Labenne A., Saracco J. (2014). Multivariate analysis of mixed type data: The PCAmixdata R package. *ArXiv Prepr. ArXiv14114911*.
- Chriki S., Renand G., Picard B., Micol D., Journaux L., Hocquette J.-F. (2013). Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics. *Livestock Science*, 155, 424–434.
- Dannenberger D., Nuernberg K., Nuernberg G., others (2009). Diet-dependent occurrence of CLA isomers in rumen and duodenal digesta of slaughtered bulls. *European Journal Lipid Science Technology*, 111, 553–562.
- Dormann C.F., Elith J., Bacher S., Buchmann C., Carl G., Carré G., Marquéz J.R.G., Gruber B., Lafourcade B., Leitão P.J., others (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36, 27–46.
- Dryden F.D., Maechello J.A. (1970). Influence of total lipid and fatty acid composition upon the palatability of three bovine muscles. *Journal Animal Science*, 31, 36–41.
- Gagaoua M., Micol D., Picard B., Terlouw E.M.C., Moloney A.P., Juin H., Meteau K., Boudjellal A., Scollan N.D., Richardson R.I., Hocquette J.F. (2016a). Interlaboratory assessment by trained panelists from France and the United Kingdom of beef cooked at two different endpoint temperatures. *Meat Science*, 122, 90–96.
- Gagaoua M., Terlouw E.C., Boudjellal A., Picard B. (2015a). Coherent correlation networks among protein biomarkers of beef tenderness: what they reveal. *Journal Proteomics* 128, 365–374.
- Gagaoua M., Terlouw E.C., Micol D., Boudjellal A., Hocquette J.-F., Picard B. (2015b). Understanding early post-mortem biochemical processes underlying meat color and pH decline in the longissimus thoracis muscle of young blond d'aquitaine bulls using protein biomarkers. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 63, 6799–6809.
- Gagaoua M., Terlouw E.M.C., Micol D., Hocquette J.-F., Moloney A.P., Nuernberg K., Bauchart D., Boudjellal A., Scollan N.D., Richardson R.I., Picard B. (2016b). Sensory quality of meat from eight different types of cattle in relation with their biochemical characteristics. *Journal of Integrative Agriculture*, 15, 1550–1563.
- Garmyn A.J., Hilton G.G., Mateescu R.G., Morgan J.B., Reecy J.M., Tait R.G., Beitz D.C., Duan Q., Schoonmaker J.P., Mayes M.S., Drewnoski M.E., Liu Q., VanOverbeke D.L. (2011). Estimation of relationships between mineral concentration and fatty acid composition of longissimus muscle and beef palatability traits. *Journal of Animal Science*, 89, 2849–2858.
- Gruffat D., Picard B., Bauchart D., Micol D. (2015). La viande bovine : les principales qualités recherchées. *Inra Productions Animales*, 28, 99–104.
- Grunert K.G. (2006). Future trends and consumer lifestyles with regard to meat consumption. *Meat Science*, 74, 149–160.
- Grunert K.G., Bredahl L., Brunsø K. (2004). Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—a review. *Meat Science*, 66, 259–272.
- Guillemin N., Cassar-Malek I., Hocquette J.-F., Jurie C., Micol D., Listrat A., Levéziel H., Renand G., Picard B. (2009). La maîtrise de la tendreté de la viande bovine: identification de marqueurs biologiques. *Inra Productions Animales*, 22, 331.
- Hill R.A., Ahola J.K. (2012). Feed efficiency interactions with other traits: Growth and product quality. *Feed Efficiency Beef Industry*, 145–158.
- Jeremiah L.E., Dugan M.E.R., Aalhus J.L., Gibson L.L. (2003). Assessment of the chemical and cooking properties of the major beef muscles and muscle groups. *Meat Science*, 65, 985–992.
- Jurie C., Picard B., Hocquette J.-F., Dransfield E., Micol D., Listrat A. (2007). Muscle and meat quality characteristics of Holstein and Salers cull cows. *Meat Science*, 77, 459–466.
- Kuentz-Simonet V., Lyser S., Candau J., Deuffic P., Chavent M., Saracco J. (2013). Une approche par classification de variables pour la typologie d'observations: le cas d'une enquête agriculture et environnement. *Journal Société Française Statistiques*, 154, 37–63.
- Lorenz S., Buettner A., Ender K., Nürnberg G., Papstein H.-J., Schieberle P., Nürnberg K. (2002). Influence of keeping system on the fatty acid composition in the longissimus muscle of bulls and odorants formed after pressure-cooking. *European Food Research Technology*, 214, 112–118.
- Maltin C.A., Sinclair K.D., Warriss P.D., Grant C.M., Porter A.D., Delday M.I., Warkup C.C. (1998). The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the biochemical properties, muscle fibre type characteristics and eating quality of bull beef from suckled calves. *Animal Science*, 66, 341–348.
- May S.G., Dolezal H.G., Gill D.R., Ray F.K., Buchanan D.S. (1992). Effect of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal on postmortem muscle characteristics and beef palatability. *Journal Animal Science*, 70, 444–453.
- Melton S.L., Black J.M., Davis G.W., Backus W.R. (1982). Flavor and selected chemical components of ground beef from steers backgrounded on pasture and fed corn up to 140 days. *Journal Food Science*, 47, 699–704.
- Mottram D.S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*, 62, 415–424.
- Nuernberg K., Dannenberger D., Nuernberg G., Ender K., Voigt J., Scollan N.D., Wood J.D., Nute G.R., Richardson R.I. (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. *Livestock Production Science*, 94, 137–147.
- Picard B., Gagaoua M., Micol D., Cassar-Malek I., Hocquette J.-F., Terlouw C.E. (2014). Inverse relationships between biomarkers and beef tenderness according to contractile and metabolic properties of the muscle. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 62, 9808–9818.
- Plasse M., Niang N., Saporta G., Villeminot A., Leblond L. (2007). Combined use of association rules mining and clustering methods to find relevant links between binary rare attributes in a large data set. *Computational Statistical and Data Analysis*, 52, 596–613.

Smith S.B., Gill C.A., Lunt D.K., Brooks M.A. (2009). Regulation of fat and fatty acid composition in beef cattle. *Asian-Australas. Journal of Animal Science*, 22, 1225–1233.

Therkildsen M., Larsen L.M., Bang H.G., Vestergaard M. (2002). Effect of growth rate on tenderness development and final tenderness of meat from Friesian calves. *Animal Science*, 74, 253–264.

Westerling D.B., Hedrick H.B. (1979). Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, 48, 1343–1348.

Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., Whittington F.M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78, 343–358.

