

Mise en relation des pratiques d'élevage avec les propriétés des carcasses et de la viande

Une stratégie statistique intégrative pour le regroupement des bovins en classes de pratiques d'élevage et la caractérisation de leur potentiel carcasse et viande dans le cas de l'AOP Maine-Anjou

Mots-clés : AOP Maine-Anjou, Qualités viande et carcasse, Pratiques d'élevage, Approche statistique

Auteurs : Mohammed Gagaoua¹, Valérie Monteils¹, Sébastien Couvreur², Brigitte Picard¹

¹ Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France ; ² URSE, Université Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agriculture (ESA), 55 Rue Rabelais, BP 30748, 49007 Angers Cedex, France

* E-mail des auteurs correspondants : mohammed.gagaoua@inra.fr ; brigitte.picard@inra.fr

Une combinaison de plusieurs pratiques d'élevage caractérise les conduites au sein de l'AOP Maine-Anjou. Chaque pratique est susceptible d'influencer d'une manière objective au niveau individuel les caractéristiques de la carcasse et du faux-filet. Aujourd'hui, il est difficile de considérer la diversité des pratiques d'élevage appliquées tout au long de la vie de l'animal. Ainsi, il y a un intérêt croissant d'identifier des approches statistiques performantes afin de réduire l'information et de catégoriser les individus qui se ressemblent en termes de leur potentiel carcasse et viande.

Résumé :

Cet article est en partie tiré des résultats d'une étude récemment publiée dans *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (2017), **65** (37), pp 8264–8278 : DOI : <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03239> qui avait comme principal objectif l'identification de pratiques d'élevage à partir de 16 variables reflétant à la fois la vie de l'animal et la période de finition. Trois classes de pratiques (« Foin », « Herbe », « Enrubanné ») ont été obtenues en utilisant une approche statistique originale se basant sur l'analyse en composantes principales couplée à la classification *k*-means après une normalisation des données. Les caractéristiques des carcasses étaient différentes entre les trois pratiques, et sont supérieures pour la classe Herbe. Les vaches de la classe Herbe ont les propriétés des carcasses les plus avantageuses du point de vue économique pour les éleveurs. Quant aux qualités de la viande issue du faux-filet, les vaches finis au pâturage (Classe Herbe) ont une viande plus rouge que celle des classes Foin et Enrubanné, sans aucune différence pour la tendreté et en lipides intramusculaires. Les propriétés métaboliques et contractiles du muscle *Longissimus thoracis*, ne sont différentes que pour les proportions des fibres glycolytiques IIX et oxydatives IIA qui étaient respectivement, les plus faibles et plus élevées pour les vaches de la classe Herbe. L'approche mise en œuvre dans le cas de l'AOP Maine-Anjou est proposée pour être généralisée sur d'autres races et types animaux d'élevage français.

Abstract: Clustering of Maine-Anjou PDO cows into classes of rearing practices and characterization of their carcass, meat and muscle properties

This article is partly based on a recent publication in the *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (2017), **65** (37), pp 8264-8278: DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03239>. The main objective of this study was the identification of the rearing practices of cows using 16 variables related to both the animal's life and finishing period. Three classes of rearing practices were obtained using for the first time an original statistical approach based on principal component analysis coupled with the iterative *k*-means algorithm. The classes were different in their carcass characteristics. Old cows raised mainly on pasture have better carcass characteristics. The *Longissimus thoracis* muscle of the cows raised on pasture (with high physical activity) showed greater proportions of IIA fibers at the expense of the fast IIX ones. Accordingly, the meat of these animals has better color characteristics. The statistical approach applied in the case of the Maine-Anjou PDO is proposed to be applied on additional French breeds and animal types.

INTRODUCTION

Les propriétés sensorielles de la viande, que ce soit la couleur, la tendreté, la jutosité ou la flaveur, orientent les préférences des consommateurs et impactent leur achat (Fonti-Furnols et Guerrero, 2014 ; Gagaoua *et al.*, 2016). De plus, les consommateurs deviennent plus exigeants et s'intéressent de plus en plus aux produits labellisés issus des signes de qualité (Van Ittersum *et al.*, 1999 ; Van der Lans *et al.*, 2001 ; Coulon et Priolo, 2002 ; Gragnani, 2013). Les conditions d'élevage des animaux intéressent aussi les consommateurs pour les garanties qu'ils y trouvent en termes de qualités sensorielles (Guillon et Juliot, 2001 ; Giraud et Amblard, 2003). L'origine de la viande, et en particulier la notion de terroir, est devenue le support d'une segmentation importante dans l'offre proposée. Parmi les signes de qualité reconnus en Europe, l'Appellation d'Origine Protégée (AOP) se définit selon l'Institut National de l'Origine et de la Qualité (INAO) comme un signe de qualité européen désignant un produit qui tire son authenticité et sa typicité de son origine géographique. En France, quatre signes de qualité de viandes bovines AOP sont reconnus, à savoir le Bœuf de Charolles, le Fin Gras du Mézenc, le Taureau de Camargue et la Maine-Anjou labélisée en 2004 (JORF, 2011).

L'AOP Maine-Anjou est une filière de qualité différenciée qui met en valeur une race locale (Rouge des Prés anciennement nommée Maine-Anjou) élevée selon le savoir-faire des éleveurs de la zone d'appellation. L'aire géographique au sein de laquelle se déroulent la naissance, l'élevage et l'abattage des animaux s'étend aux départements de l'Ille-et-Vilaine, de la Loire-Atlantique, du Maine-et-Loire, de la Mayenne, de la Sarthe, des Deux-Sèvres, de la Vendée et de l'Orne (JORF, 2011). Un cahier des charges définit les caractéristiques des carcasses éligibles, à savoir des carcasses de vaches qui pèsent 380 kg minimum et celles des mâles de

400 kg minimum et qui doivent être de conformation E, U, R, O et d'état d'engraissement de 3 ou 4 sur les grilles de classification EUROP (JORF, 2011). Par ailleurs, la viande de l'AOP Maine-Anjou doit répondre à des critères précis définis dans un cahier de charge relatif au persillé de sa viande, à une couleur homogène rouge intense, légèrement orangée, et à une bonne tendreté à la coupe (*cf.* JORF, 2011). Ces trois critères sont évalués à l'abattoir (note sur 5) sur la 5^{ème} côte. Cette évaluation est ainsi favorable pour une bonne tendreté à la mastication en bouche avec une jutosité élevée et stable en fin de bouche (JORF, 2011). Cependant, une forte diversité de conduites de finition et de types de carcasses de vaches Rouge des Prés commercialisées existe au sein de l'AOP (Schmitt *et al.*, 2008 ; Couvreur *et al.*, 2013 ; Gagaoua *et al.*, 2017a,b). C'est dans l'objectif de classification des pratiques d'élevage pour une meilleure caractérisation des potentiels de carcasse et viande des animaux que la présente étude a été entreprise. Cette étude n'avait pas comme finalité d'étudier l'effet objectif des facteurs d'élevage un par un sur les qualités carcasses ou viande, mais plutôt de combiner l'ensemble des facteurs et d'étudier l'impact combiné. Pour cela, nous avons commencé par le regroupement de 110 vaches élevées et issues de différentes exploitations au travers des informations liées à la vie de l'animal et à la période de finition afin de définir des classes de pratiques d'élevage. L'obtention des classes de pratiques est rendue possible en optant pour une stratégie statistique très peu utilisée en sciences animales, à savoir la classification *k*-moyennes (*k*-means) *via* l'analyse en composantes principales (Ding et He, 2004). Dans un second temps, une comparaison des propriétés des carcasses, des viandes et des caractéristiques musculaires des différentes classes de pratiques d'élevage a été effectuée.

I. METHODOLOGIE

La méthodologie suivie dans ce travail est brièvement décrite dans les parties ci-après. Pour plus de détails sur le protocole expérimental de la conduite des animaux ainsi que les méthodes d'analyses utilisées, les lecteurs peuvent se

référer aux deux articles initialement publiés par Gagaoua *et al.* (2017a,b) dans *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (2017) : numéros 17 et 37 du volume 65, pp 3569–3580 et pp 8264–8278, respectivement.

I.1. Animaux et abattage

Le présent travail a porté sur 110 vaches de l'AOP Maine-Anjou issues de différents élevages (Couvreur *et al.*, 2013). Des informations sur les pratiques d'élevage des animaux ont été recueillies auprès de chaque éleveur *via* un questionnaire comportant des informations sur les pratiques liées à **i) la vie de l'animal** [Type (viande ou lait) ; poids à la naissance ; saison de naissance ; âge au sevrage ; durée du sevrage de l'animal ; âge à la première mise bas ; nombre de mise(s) bas et aptitude laitière] et **ii) la période de finition** [durée de

finition ; fourrage distribué durant la finition (enrubanné, foin et herbe) ; quantité journalière du concentré ; quantité totale du concentré sur la durée de finition ; activité à la ferme et âge à l'abattage] (Gagaoua *et al.*, 2017c). Ces informations ont été par la suite utilisées *via* une analyse en composantes principales pour identifier 3 types de pratiques d'élevages. Les animaux ont été abattus à l'abattoir Elivia (Lion d'Angers, 49220, France) dans des conditions d'abattage et de ressuyage standards.

I.2. Échantillonnage et caractérisation des carcasses, viande et muscles

Après abattage, la note de conformation EUROP et le poids de la carcasse ont été enregistrés pour chaque carcasse. La dissection de la 6^{ème} côte a été aussi effectuée à 24h *post-mortem* avant de prélever des morceaux du Faux-filet (*Longissimus thoracis*, LT), un muscle mixte oxydolytique, pour l'évaluation des qualités de la viande [paramètres de la couleur, lipides intramusculaires et dureté par la force de cisaillement] et la caractérisation biochimique des muscles [pH ultime, taille des fibres, isoformes de chaînes

lourdes de myosine, enzymes du métabolisme par la lactate déshydrogénase (LDH) et l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et dosage du collagène total et insoluble] en utilisant les protocoles décrits dans nos précédentes publications (Gagaoua *et al.*, 2015 ; Gagaoua *et al.*, 2016 ; Gagaoua *et al.*, 2017a,b ; Gagaoua *et al.*, 2018). L'ensemble de ces variables reflète l'état physico-chimique du muscle, leur propriétés métaboliques et contractiles et aussi celle de la matrice extracellulaire qui sont tous des déterminants de la qualité de

la viande (pour revue voir Listrat *et al.*, 2015). Ainsi, la maîtrise de la qualité des produits passe par une meilleure

I.3. Analyses statistiques

Les classes de pratiques d'élevage ont été créées en utilisant une approche statistique basée sur l'analyse en composantes principales (ACP) couplée à une méthode de partitionnement non hiérarchique de données, *k*-means (Ding et He, 2004 ; Gagaoua *et al.*, 2017c). Les 16 variables des pratiques liées à la vie de l'animal et à la période de finition ont tout d'abord été projetées après une analyse en composantes principales. Par la suite, une analyse de classification *K*-moyennes ($k = 3$) s'appuyant sur la variabilité expliquée par l'ACP a permis de séparer les animaux en 3 classes distinctes (meilleure classification obtenue en termes de séparation et distribution des individus). La classification *k*-moyennes est une méthode itérative qui génère un nombre spécifique de classes après une initialisation des centres consistant à tirer aléatoirement *k* individus, puis l'algorithme répète plusieurs opérations (itérations) jusqu'à la convergence au critère recherché. Cette méthode suppose un certain nombre de groupes, *k*, fixé *a priori*, et produit une séparation

II. RESULTATS ET DISCUSSION

La présente étude avait pour objectifs **i**) d'identifier des classes de pratiques d'élevage à l'aide d'une approche statistique multivariée et d'y associer un total de 110 vaches en exploitant des données représentatives de l'ensemble de la

II.1. Caractéristiques des trois classes de pratiques d'élevage identifiées

Trois groupes de pratiques d'élevage ont été identifiés par la stratégie statistique, ACP-*k*-means (Figure 1). Les groupes sont nommés pour simplifier la présentation des résultats ainsi que leur discussion, comme suit: Classe 1 = "**Classe Foin**"; Classe 2 = "**Classe Herbe**" et Classe 3 = "**Classe Enrubanné**", respectivement. L'utilisation de *k*-means a permis un bon regroupement des animaux (caractéristiques et effectifs comparables des classes) en fonction de leurs similitudes en termes des variables utilisées. Ainsi, les vaches AOP Maine-Anjou ont été affectées aux différentes classes selon les conduites appliquées comme on peut le voir sur les ellipses de l'encart en haut à gauche de l'ACP (Figure 1). La première classe (ci-après « **Classe Foin** ») regroupe 44 jeunes vaches avec un type génétique plutôt lait, une finition au foin, une activité modérée et une faible aptitude laitière (Tableau 1). La deuxième classe (ci-après « **Classe Herbe** ») est très différente des deux autres classes, et regroupe 30 vaches plus âgées avec un type génétique plutôt viande, une finition à l'herbe, une activité importante, et une bonne aptitude laitière. La troisième classe (ci-après « **Classe Enrubanné** ») regroupe 36 vaches âgées avec un type génétique plutôt lait, un poids de naissance le plus élevé, une finition principalement à l'enrubannage, une faible activité et une aptitude laitière moyenne. L'ACP a été dans cette étude efficacement exploitée, en dépit de la faible variabilité

connaissance des caractéristiques des tissus constitutifs des muscles.

des objets en groupes sans chevauchement à l'aide de distances euclidiennes minimisées à chaque étape d'une procédure itérative. Nous avons donc procédé en utilisant les coordonnées des 5 premiers axes de l'ACP et ayant des valeurs propres $> 1,0$ pour la création des classes. Avant la classification, une normalisation des coordonnées des axes a été effectuée par calcul des scores *Z* (variables centrées et réduites) vu qu'il existe des effets associés aux unités différentes de chacune des variables. Il est très important d'effectuer cette normalisation (ou standardisation) afin d'obtenir des classes homogènes.

Sur les 3 classes de pratiques d'élevage obtenues, une analyse de variance (proc GLM du logiciel SAS 9.2) a été effectuée afin de les comparer en termes de **i**) données de pratiques liées à la vie de l'animal et à la période de finition, **ii**) caractéristiques des carcasses, **iii**) qualités des viandes et **iv**) caractéristiques des muscles, au seuil de signification de 5%.

vie de l'animal, et **ii**) de comparer par la suite les classes de pratiques obtenues en termes de propriétés des carcasses, de qualités de la viande et de caractéristiques musculaires des individus correspondants.

expliquée par les deux premiers axes présentés (Figure 1), pour caractériser les 110 vaches. Elle a permis de réduire et de synthétiser l'information relative aux 16 variables liées à la vie de l'animal et à la période de finition en 5 axes explicatifs pour les utiliser simultanément afin de regrouper les vaches et ainsi identifier les pratiques d'élevages qui permettent ce regroupement. Cette conclusion rejoint les études antérieures qui ont utilisé efficacement l'ACP dans les recherches sur les qualités de la viande (Karlsson, 1992 ; Destefanis *et al.*, 2000 ; Cañeque, 2004) ou d'autres études en relation avec l'animal (Valletta *et al.*, 2017). Ainsi, le tracé des 5 axes avec des valeurs propres $> 1,0$ sur un axe cartésien, a révélé que les vaches pourraient être parfaitement discriminées avec la démarche ACP-*k*-means. Enfin, il est à noter que ce travail décrit une stratégie statistique prometteuse pour regrouper des animaux en fonction des pratiques par lesquelles ils sont issus en vue d'une gestion optimale des compromis entre les pratiques d'élevages, les caractéristiques carcasses et les qualités viandes. Au travers de cette étude, nous proposons l'ACP couplée à l'analyse *K*-moyennes, comme une stratégie originale pour une classification usuelle des animaux issus de différents élevages ayant le plus souvent des caractéristiques et objectifs différents en termes des qualités carcasses et viandes.

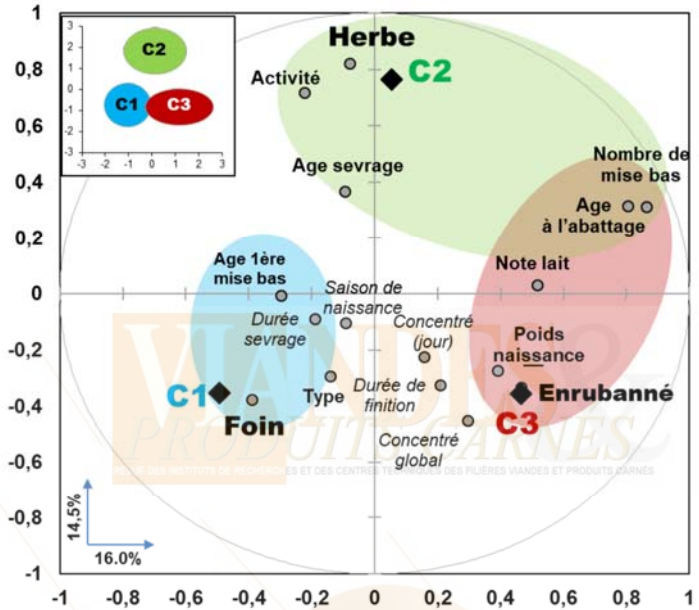
Figure 1 : Séparation des classes de pratiques d'élevages en utilisant l'approche statistique ACP-k-means pour la construction des trois classes à partir des données liées à la vie de l'animal et à la période de finition

Pratiques liées à la vie de l'animal

- Type (viande ou lait)
- Poids à la naissance
- Saison de naissance
- Age au sevrage
- Durée du sevrage de l'animal
- Age à la première mise bas
- Nombre de mise(s) bas
- Note aptitude laitière

Pratiques liées à la période de finition

- Durée de finition
- Finition à l'enrubanné
- Finition au foin
- Finition à l'herbe
- Quantité journalière du concentré
- Quantité totale du concentré sur la durée de finition
- Activité physique des vaches à la ferme
- Age à l'abattage



Analyse en composantes principales
Utilisation des axes dont les valeurs propres sont > 1

Normalisation (Z-scores)

Analyse K-means

Comparaison et caractérisation des classes identifiées

Les ellipses de l'encart en haut à gauche du bi-plot illustre la projection réelle des individus correspondant aux 3 classes. Les variables projetées dans l'ACP en caractère « gras » sont significativement différentes ($P < 0,05$) entre les classes et celles en caractère « italique » ne sont pas significatives d'après l'analyse de variance présentée dans le Tableau 1. Les ellipses sur le graphe principal de l'ACP illustrent les particularités de chacune des classes avec les variables projetées.

Tableau 1 : Comparaison des pratiques d'élevage liées à la vie de l'animal ainsi qu'à la période de finition des 3 classes de pratiques identifiées par l'approche statistique ACP-K-means

Pratiques d'élevages	Classe 1 ^a "Foin" (n = 44)	Classe 2 "Herbe" (n = 30)	Classe 3 "Enrubanné" (n = 36)	SEM ^b	p-value ^c
Pratiques liées à la vie de l'animal					
Poids à la naissance (kg)	49,3 ^b	48,3 ^b	52,2 ^a	0,49	**
Age au sevrage (mois)	6,9 ^b	7,6 ^a	7,2 ^{a,b}	0,10	*
Durée de la période du sevrage (semaine)	7,7	9,8	9,1	0,90	ns
Age de la première mise bas (mois)	33,5 ^a	32,1 ^{a,b}	31,3 ^b	0,39	*
Nombre de mise bas	2,1 ^b	3,7 ^a	3,4 ^a	0,20	***
Note aptitude laitière (/10)	5,6 ^b	6,4 ^a	5,9 ^{a,b}	0,13	*
Pratiques liées à la période de finition					
Durée de finition (jour)	98,9	91,8	104	2,87	ns
Quantité de l'enrubanné dans la ration (%)	3,6 ^b	6,1 ^b	75,4 ^a	3,54	***
Quantité du foin dans la ration (%)	84,6 ^a	28,8 ^b	19,7 ^b	3,58	***
Quantité de l'herbe dans la ration (%)	11,8 ^b	65,0 ^a	4,9 ^b	3,08	***
Teneur en concentré par jour (kg)	7,8	7,6	7,7	0,20	ns
Teneur en concentré globale (kg)	760	683	757	23,4	ns
Activité physique des vaches à la ferme (%) ^d	49,1 ^b	93,9 ^a	26,7 ^c	4,43	***
Age à l'abattage (mois)	57,9 ^b	76,1 ^a	72,2 ^a	2,37	**

^a Les valeurs moyennes sur une même ligne portant des lettres différentes (a à c) diffèrent significativement ($P < 0,05$).

^b Erreur standard de la moyenne

^c Significativité : ns: non-significatif; *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$

^d Estimation de l'activité des vaches pendant la période de finition (% du temps à l'extérieur)

II.2. Comparaison des qualités des carcasses entre les trois classes de pratiques d'élevage

La comparaison des caractéristiques des carcasses des vaches des 3 classes de pratiques d'élevage est présentée dans le Tableau 2. Les vaches de la classe Herbe ont des caractéristiques de carcasse très différentes de celles des classes Foin et Enrubanné. Il est reconnu que les pratiques de production, telles que le système d'élevage et plus particulièrement de finition des animaux, peuvent modifier les caractéristiques des carcasses en raison des différences de pratiques de finition et du régime alimentaire (Fiems *et al.*, 2000). Néanmoins, les effets directs sur la carcasse ne sont pas faciles à évaluer. Les vaches AOP Maine-Anjou âgées et finies à l'herbe ont dans cette étude les notes de conformation carcasse, et ainsi que les poids de carcasses chaudes, de muscle LT et du gras de la 6^{ème} côte, les plus élevés. Le renouvellement des protéines musculaires, qui peut être due à l'activité importante des vaches, a peut-être joué un rôle dans la forte muscularité des animaux (Garlick *et al.*, 1989). Il a été rapporté que le renouvellement protéique joue un rôle prépondérant dans la croissance et développement musculaire des bovins (Moloney et McGee, 2017 ; Oksbjerg et

Therkildsen, 2017). En outre, en raison de leur âge élevé, les vaches de la classe Herbe ont les propriétés des carcasses les plus avantageuses du point de vue économique pour les éleveurs qui, selon la classification EUROP, seraient mieux payés. Des études antérieures ont montré que les bovins finis au pâturage peuvent être engraisés aussi bien que ceux finis en feedlot (Bowling *et al.*, 1977). Par ailleurs, il ressort de cette étude que la finition des vaches avec les mêmes quantités de concentré sur la durée de finition mais en les conduisant différemment, induit des effets significatifs chez les vaches de la classe Herbe uniquement. De plus, nos résultats montrent que la classe Herbe est plus adaptée aux propriétés carcasses de l'AOP Maine-Anjou (Tableau 2). Ainsi, cette pratique permettra aux éleveurs d'avoir des coûts de productions plus faibles. L'encouragement des éleveurs à opter pour cette pratique constitue aussi un atout pour satisfaire les consommateurs à la recherche de viande issue d'animaux finis à l'herbe (pâturage), une pratique perçue comme respectueuse de l'environnement.

Tableau 2 : Comparaison des caractéristiques carcasses entre les 3 classes de pratiques d'élevage identifiées

Caractéristiques des carcasses	Classe 1 ^a "Foin" (n = 44)	Classe 2 "Herbe" (n = 30)	Classe 3 "Enrubanné" (n = 36)	SEM ^b	p-value ^c
Poids de carcasse chaude (kg)	428 ^b	459 ^a	435 ^b	3,46	***
Conformation EUROP	7,8 ^{a,b}	8,1 ^a	7,5 ^b	0,08	*
Poids de la 6 ^{ème} côte (g)	2956 ^b	3333 ^a	2903 ^b	61,1	**
Poids du muscle <i>Longissimus</i> (g)	370 ^b	407 ^a	345 ^c	7,57	**
Poids total du muscle de la 6 ^{ème} côte (g)	1811 ^b	2026 ^a	1773 ^b	38,6	*
Poids total du gras de la 6 ^{ème} côte (g)	551 ^b	650 ^a	553 ^b	18,2	*

^a Les valeurs moyennes sur une même ligne portant des lettres différentes (a à c) diffèrent significativement ($P < 0,05$).

^b Erreur standard de la moyenne.

^c Significativité : *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$

II.3. Comparaison des qualités de viandes entre les trois classes de pratiques d'élevage

La comparaison des qualités de la viande entre les trois classes de pratiques d'élevage est présentée dans le Tableau 3.

La couleur de la viande est un facteur essentiel car c'est la première caractéristique perçue par le consommateur et souvent la seule dont il dispose pour choisir sa viande au moment de l'achat (Mancini, 2009). Dans la présente étude, il n'y a pas de différence de luminance (L^*) entre la viande issue des trois classes de pratiques. Par contre, la viande des animaux finis au pâturage (Classe Herbe) est plus rouge (indices de rouge et jaune, saturation et angle de teinte les plus élevés) que celle des classes Foin et Enrubanné (Tableau 3). De plus, la différence dans l'indice de jaune (b^*) est fortement significative, il est le plus élevé pour la classe Herbe. Ceci peut s'expliquer d'une part, par l'effet du régime alimentaire qui peut être le résultat de teneurs importantes en caroténoïdes pour la finition à l'herbe ; et d'autre part à l'amplification de l'oxydation dans la viande de ces vaches étant donné leur métabolisme oxydatif (Tableau 3). De plus, l'indice b^* peut être une estimation du gras intramusculaire reflétant ainsi des valeurs plus significatives. Par exemple, il a été rapporté que la proportion en matière grasse est corrélée à l'oxydation de la viande, et donc avec sa couleur (Durand *et al.*, 2012). Par ailleurs, ces résultats peuvent aussi être expliqués par d'autres paramètres tels que les marqueurs d'oxydation, comme la Superoxyde dismutase (SOD1) et l' α B-crystalline (CRYAB) plus abondants dans le muscle LT de ces vaches (Gagaoua *et*

al., 2017b). Néanmoins, les raisons directes de cet effet sont difficiles à évaluer car plusieurs facteurs peuvent interagir et être à l'origine de ces différences. Par exemple, Dunne *et al.* (2011) ont constaté qu'en raison d'une activité physique intense, ce qui est le cas dans cette étude (Tableau 1 & Figure 1), les animaux finis à l'herbe ont des teneurs plus élevées en myoglobine (Jurie *et al.*, 2006), et donc une couleur plus foncée.

Les valeurs de la tendreté, estimées par la dureté évaluée par la force de cisaillement mesurée par le test Warner-Bratzler, sont similaires entre les 3 classes de pratiques d'élevage (Tableau 3). Nos résultats soulignent que les vaches des trois classes de pratiques d'élevage, caractérisées par des différences d'âge à l'abattage, des poids de carcasse et de variabilité individuelles zootechniques, ont les mêmes propriétés de texture de la viande. Ces résultats peuvent s'expliquer en partie par le respect d'une durée de maturation des morceaux de viande longue (14 jours) (Renand *et al.*, 2001 ; Campbell *et al.*, 2001 ; Gagaoua *et al.*, 2013) et aussi le fait d'utiliser le muscle *Longissimus thoracis* très faible en collagène par rapport à d'autres muscles (Chriki *et al.*, 2013). Par ailleurs, French *et al.* (2001) en accord avec nos résultats, n'ont trouvé aucune différence dans les forces de cisaillement de la viande de bœufs finis selon différentes pratiques, y compris au pâturage. Ainsi, ces résultats laissent supposer que, indépendamment des différences dans les pratiques

d'élevage et les propriétés des carcasses, les mêmes propriétés de texture des steaks peuvent être atteintes pour l'AOP Maine-Anjou après une durée de maturation de 14 jours et une cuisson à cœur de 55°C.

De la même façon que pour la tendreté, les teneurs en lipides intramusculaires (LIM) ne sont pas différentes entre les classes de pratiques ($P > 0,05$). Contrairement à nos résultats, il a été rapporté que les pratiques de finition, notamment l'engraissement à l'herbe, influencent la teneur en lipides (Varela *et al.*, 2004). Nos résultats peuvent s'expliquer par les dépôts adipeux importants de la race Rouge des Prés

(Couvreur *et al.*, 2013). D'autre part, et en accord avec certaines recherches antérieures (Chriki *et al.*, 2013 ; Gagaoua *et al.*, 2016), des controverses existent quant au type de relation entre les LIM et les qualités sensorielles, ce qui explique l'absence de relation avec les qualités sensorielles dans notre étude (communication personnelle). En outre, une méta-analyse a montré que les LIM expliquaient une faible variabilité (4 – 5%) de la palatabilité de la viande de vaches et de taurillons (Chriki *et al.*, 2013). Par contre, d'autres études ont rapporté des effets importants de la teneur des lipides, notamment sur la saveur (Denoyelle, 1995).

Tableau 3 : Comparaison des qualités de la viande (couleur, tendreté et gras) et caractéristiques musculaires (contractiles, métaboliques et conjonctives) entre les 3 classes de pratiques d'élevage identifiées pour le muscle *Longissimus thoracis*

Qualités de la viande	Classe 1 ^a "Foin" (n = 44)	Classe 2 "Herbe" (n = 30)	Classe 3 "Enrubanné" (n = 36)	SEM ^b	p-value ^c
Qualités de la viande					
Luminance (L^*)	39,5	39,9	39,6	0,22	ns
Indice de rouge (a^*)	8,65 ^b	9,27 ^a	8,67 ^b	0,12	*
Indice de jaune (b^*)	7,00 ^b	8,31 ^a	7,24 ^b	0,14	***
Saturation (C^*)	11,2 ^b	12,5 ^a	11,3 ^b	0,15	**
Angle de teinte (h^*)	38,9 ^b	41,6 ^a	39,8 ^b	0,47	*
Force de cisaillement (N/cm ²)	44,6	42,8	45,8	1,07	ns
Lipides intramusculaires (LIM) (%) ^d	15,7	17,6	16,4	0,59	ns
Caractéristiques musculaires					
pH ultime	5,59	5,60	5,60	0,01	ns
Surface des fibres (µm ²)	2885	2940	2894	61,8	ns
MyHC-I (%)	30,5	31,9	31,4	0,71	ns
MyHC-IIA (%)	55,0 ^b	61,2 ^a	54,8 ^b	1,22	*
MyHC-IIX (%)	14,5 ^a	6,9 ^b	13,8 ^a	1,34	*
LDH (µmol .min ⁻¹ .g ⁻¹)	713	693	708	10,4	ns
ICDH (µmol .min ⁻¹ .g ⁻¹)	1,02	1,07	1,03	0,03	ns
Collagène total (µg OH-proline/mg MS)	3,06	3,05	3,12	0,04	ns
Collagène insoluble (µg OH-proline/mg MS)	2,43	2,41	2,47	0,03	ns

^a Les valeurs moyennes sur une même ligne portant des lettres différentes (a à c) diffèrent significativement ($P < 0,05$).

^b Erreur standard de la moyenne.

^c Significativité : ns: non-significatif; *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$

^d Les LIM ont été exprimés en masse de matière sèche de la viande sur la masse de la pesée et rapportés en %.

II.4. Comparaison des caractéristiques musculaires du muscle *Longissimus thoracis* entre les trois classes de pratiques d'élevage

Les valeurs du pH ultime ne diffèrent pas entre les trois classes ($P > 0,05$). Elles se situent dans la fourchette normale décrite pour le muscle bovin (Jeremiah *et al.*, 1991 ; Page *et al.*, 2001 ; Gagaoua *et al.*, 2017a), où les valeurs moyennes de chaque individu sont toutes inférieures au seuil critique de 6,0. L'effet du régime alimentaire sur le pH est controversé, car certaines études ont observé des effets significatifs (Holmer *et al.*, 2009 ; Aviles *et al.*, 2015) et d'autres aucun effet (Cooke *et al.*, 2004). Il est donc difficile de proposer des conclusions générales et l'analyse au cas par cas s'impose dans ce cas de situation.

Concernant les propriétés métaboliques et contractiles du muscle *Longissimus thoracis*, seules les proportions des isoformes de chaînes lourdes de myosines IIA et IIX sont

significativement différentes entre les 3 classes (**Tableau 3**). Les proportions des fibres glycolytiques IIX et oxydatives IIA sont respectivement, les plus faibles et plus élevées, pour les vaches de la classe Herbe. Ces résultats mettent en évidence une transition avec plus de fibres oxydatives (fibres IIA) au détriment des fibres IIX dans la classe Herbe, une conclusion en accord avec les études antérieures (Jurie *et al.*, 2006). Ces résultats peuvent être la conséquence directe de l'effet du régime et de la conduite des animaux avec une activité physique élevée des vaches au pâturage (~94% pour la classe Herbe vs ~49% et ~27% pour les classes Foin et Enrubanné, respectivement), induisant ainsi une orientation des fibres vers un type intermédiaire plutôt que rapide. Cependant, aucune différence n'est observée pour la surface des fibres et

les activités métaboliques LDH et ICDH. Par ailleurs, les teneurs en collagène total et insoluble sont similaires entre les classes ($P > 0,05$). Ce résultat peut en partie expliquer les tendretés similaires observées pour les trois classes. De plus, les teneurs en collagène total observées sont supérieures à celles d'autres races allaitantes et sensiblement plus faibles que la race laitière Holstein (Couvreur *et al.*, 2016), ce qui va dans le sens de l'attribution du caractère mixte à la race Rouge des Prés. La teneur en collagène insoluble est globalement

proche de celle des races Charolaise, Limousine, Salers, Aubrac, Holstein et Blonde d'Aquitaine (Picard *et al.*, 2012 ; Gagaoua *et al.*, 2016 ; Couvreur *et al.*, 2016). L'étude d'autres muscles de la carcasse de la AOP Maine-Anjou, mis à part le muscle *Rectus abdominis* qui a fait l'objet d'étude (voir l'article primaire de cette publication Gagaoua *et al.*, 2017b) semble intéressant afin de vérifier l'influence des pratiques d'élevages sur les propriétés contractiles et métaboliques, et par conséquent sur leur potentiel viande.

CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence que les pratiques d'élevage appliquées dans le cas de l'AOP Maine-Anjou au cours de la période de finition avaient un impact sur les caractéristiques de la carcasse et la couleur de la viande issue du faux-filet des vaches. Quelques caractéristiques musculaires du muscle *Longissimus thoracis*, en particulier les proportions de fibres oxydatives et glycolytiques, sont affectées et diffèrent entre les 3 classes de pratiques d'élevage identifiées. Il apparaît qu'une pratique plutôt favorable pour les caractéristiques de la carcasse ne l'est pas forcément pour les propriétés sensorielles de viande, hormis la couleur. Il ressort de cette étude que la pratique d'élevage se caractérisant par une finition à l'herbe, malgré l'âge avancé des vaches concernées,

aboutit à des carcasses plus conformées, ce qui est en faveur d'une augmentation de la rémunération pour les éleveurs. Cette étude a confirmé aussi que la finition des animaux à l'herbe influence la proportion de fibres oxydatives aboutissant à des viandes plus rouges mais avec une tendreté et une teneur en lipides intramusculaires similaires aux types de finitions foin ou enrubanné. Enfin, la démarche statistique ACP-*k*-means, appliquée pour la première fois dans cette étude, peut être envisagée pour d'autres types de données plus importants issus de différentes races et conduites pour un regroupement optimal des animaux en fonction de leurs pratiques d'élevages.

Remerciements :

Les auteurs tiennent à remercier le FEDER et la Région Auvergne-Rhône-Alpes pour le financement du projet S3-23000846 qui vient en appui au projet FBEA (Filière Bovins Engraissement Auvergne-Rhône-Alpes) conduit en collaboration entre l'ARIA-ARA (Association Régionale des Industries Agro-Alimentaires d'Auvergne-Rhône-Alpes) et la Chambre Régionale d'Agriculture d'Auvergne-Rhône-Alpes et Coop de France. L'objet du présent article est de démontrer l'intérêt d'une stratégie statistique mise au point sur un jeu restreint de données de l'AOP Maine-Anjou, pour pouvoir l'appliquer ensuite à grande échelle sur la base de données du projet S3-23000846. Les auteurs remercient également l'ensemble des agents INRA Auvergne-Rhône-Alpes ayant contribué à cette étude, en particulier Didier Micol et David Chadeyron. Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans la contribution et l'aide de Ghislain Aminot et Albéric Valais de la S.I.C.A. Rouge des Prés, Domaines des rues, 49220 Chenillé-Champteussé et aussi de Guillain Le Bec de l'Ecole Supérieure d'Agriculture (ESA) d'Angers. Les auteurs remercient aussi l'appui du programme « Investissements d'Avenir » (16-IDEX-0001 CAP 20-25).

Références :

- 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. In: 15^{èmes} Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont-Ferrand, France. p. 133-134.
- Bowling R.A., Smith G.C., Carpenter Z.L., Dutson T.R., Oliver W.M. (1977). Comparison of Forage-Finished and Grain-Finished Beef Carcasses. *Journal of Animal Science*, 45, 209-15.
- Campbell R. E., Hunt M. C., Levis P., Chambers E. (2001). Dry-Aging Effects on Palatability of Beef Longissimus Muscle. *Journal of Food Science*, 66, 196-199.
- Cañequ, V., Pérez C., Velasco S., Lauzurica S., Alvarez I., de Huidobro F. R., De la Fuente J. (2004). Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Science*, 67, 595-605.
- 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, 424-34.
- Cooke D.W. I., Monahan F.J., 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*, 201-216.
- Coulon J. B., Priolo A. (2002). La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *Productions animales*, 15(5), 333-342.
- 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.
- Couvreur S., Le Bec G., Micol D., Aminot G., Picard B. (2016). Caractéristiques musculaires de la viande de vaches Rouge des Prés. *Viandes & Produits Carnés*, VPC-2016-32-3-6.
- Destefanis G., Barge M.T., Brugiapaglia A., Tassone S. (2000). The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef. *Meat Science*, 56, 255-9.

- Ding C., He X. (2004). K-means clustering via principal component analysis. In Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning. ACM. pp 29.
- Denoyelle C. (1995). Evolution de la flaveur de la viande bovine en fonction de la teneur en lipides intra-musculaires. Viandes et Produits Carnés, 16, 89–92.
- Dunne P.G., Monahan F.J., Moloney A.P. (2011). Current perspectives on the darker beef often reported from extensively-managed cattle: Does physical activity play a significant role? Livestock Science, 142, 1-22.
- Durand D., Gobert M., Gatellie, P. (2012). Oxydation des lipides et des protéines des viandes au cours des processus de transformation : mécanismes, conséquences et prévention. In 14^{èmes} Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, 13 et 14 novembre 2012 - Caen, pp. 9-16.
- Fiems L.O., Campeneere S.D., De Smet S., Van de Voorde G., Vanacker J.M., Boucqué C.V. (2000). Relationship between fat depots in carcasses of beef bulls and effect on meat colour and tenderness. Meat Science, 56, 41-7.
- Font-i-Furnols M., Guerrero L. (2014) Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: an overview. Meat Science, 98, 361-71.
- French P., O'Riordan E.G., Monahan F.J., Caffrey P.J., Mooney M.T., Troy D.J., Moloney A.P. (2001). The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. Meat Science, 57, 379-86.
- Gagaoua, M., Bonnet, M., Ellies-Oury, M-P., De Koning, L., Picard, B. (2018). Reverse phase protein arrays for the identification/validation of biomarkers of beef texture and their use for early classification of carcasses. Food Chemistry 250, 245-252.
- Gagaoua M., Couvreur S., Le Bec G., Aminot G., Picard B. (2017a). Associations among Protein Biomarkers and pH and Color Traits in Longissimus thoracis and Rectus abdominis Muscles in Protected Designation of Origin Maine-Anjou Cull Cows. J Agric Food Chem, 65, 3569-80.
- Gagaoua M., Monteils V., Couvreur S., Picard B. (2017b). Identification of Biomarkers Associated with the Rearing Practices, Carcass Characteristics, and Beef Quality: An Integrative Approach. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65, 8264-78.
- Gagaoua M., Picard B., Couvreur S., Le Bec G., Aminot G., Monteils V. (2017c) Rearing practices and carcass and meat properties: a clustering approach in PDO Maine-Anjou cows. In: Proceedings of the 63rd International Congress of Meat Science and Technology (eds. by Troy D, McDonnell C, Hinds L & Kerry J), pp. 97-8. Wageningen Academic Publishers, Cork, Ireland.
- Gagaoua M., Micol D., Richardson R.I., Hocquette J.F., Terlouw E.M.C., Meteau K., Juin H., Moloney A.P., Nuernberg K., Scollan N.D., Boudjellal A., Picard B. (2013). Relationships between overall liking score and sensory meat attributes in different types of beef cattle. In: Proceedings of the 59th International Congress of Meat Science and Technology, p. 4, Izmir, Turkey.
- Gagaoua M., Terlouw E.M., Micol D., Boudjellal A., Hocquette J.F., Picard B. (2015). 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 and Food Chemistry, 63, 6799-809.
- 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. (2016). Sensory quality of meat from eight different types of cattle in relation with their biochemical characteristics. Journal of Integrative Agriculture, 15, 1550-63.
- Garlick P.J., Maltin C.A., Baillie A.G., Delday M.I., Grubb D.A. (1989). Fiber-type composition of nine rat muscles. II. Relationship to protein turnover. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 257(6), E828-E832.
- Geay Y., Bauchart D., Hocquette J-F., Culioli J. (2002). Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes des ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. INRA Productions Animales, 15, 37-52.
- Giraud, G., Amblard, C. (2003). Viande bovine tracée et labellisée, quelle perception par le consommateur? 10^{èmes} Rencontres Recherches Ruminants, INRA, Paris, pp. 335-338.
- Gragani M. (2013). The EU regulation 1151/2012 on quality schemes for agricultural products and foodstuffs. European Food and Feed Law Review, 8, 376-385.
- Guillon F., Juliot M. (2001). Les attentes des consommateurs s'élargissent. Economie & Humanisme, n°357, 18-21.
- Holmer, S. F., Homm, J. W., Berger, L. L., Brewer, M. S., McKeith, F. K., Killefer, J. (2009). Realimentation of cull beef cows. I. Live performance, carcass traits and muscle characteristics. Journal of muscle foods, 20(3), 293-306.
- Jeremiah L.E., Tong A.K.W, Gibson L.L. (1991). The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. Meat Science, 30, 97-114.
- JORF n°0116 du 19 mai 2011 page 8736. Décret n° 2011-536 du 16 mai 2011 relatif à l'appellation d'origine contrôlée « Maine-Anjou ». NOR: AGR1030364D. Lien web : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2011/5/16/AGR1030364D/jo/texte>
- Jurie C., Ortigues-Marty I., Picard B., Micol D., Hocquette J.F. (2006). The separate effects of the nature of diet and grazing mobility on metabolic potential of muscles from Charolais steers. Livestock Science, 104, 182-92.
- Karlsson, A. (1992). The Use of principal component analysis (PCA) for evaluating results from pig meat quality measurements. Meat Science, 31, 423-33.
- Listrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Bugeon J. (2015) Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs. INRA Productions Animales, 28, 125-36.
- Mancini R.A. (2009). 4 - Meat color. In: Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat (eds. by Kerry JP & Ledward D), pp. 89-110. Woodhead Publishing.
- Moloney A.P., McGee M. (2017). Chapter 2 - Factors Influencing the Growth of Meat Animals. By Toldra, F. In: Lawrie's Meat Science (Eight Edition) (pp. 19-47). Woodhead Publishing.
- Oksbjerg N., Therkildsen M. (2017) Chapter 3 - Myogenesis and Muscle Growth and Meat Quality A2 - Purslow, Peter P. In: New Aspects of Meat Quality (pp. 33-62. Woodhead Publishing.
- Page J.K., Wulf D.M., Schwotzer T.R. (2001). A survey of beef muscle color and pH. Journal of Animal Science, 79, 678-87.
- Picard B., Dallery B., Le Bec G., Couvreur S., Jurie C., Micol D. (2012). Caractéristiques du muscle *Longissimus thoracis* de vaches de l'AOP Maine Anjou. Rencontres Recherches Ruminants, 18, 206.

Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P., Lepetit J. (2001). Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science*, 59, 49-60.

Schmitt T., Laurent C., Lautrou Y., Couvreur S. (2008). Impact d'un cahier des charges de production sur la conduite des élevages allaitants : exemple de l'AOC Maine-Anjou. *Rencontres Recherches Ruminants*, 15, 151-154.

Valletta J. J., Torney C., Kings M., Thornton A., Madden J. (2017). Applications of machine learning in animal behaviour studies. *Animal Behaviour*, 124, 203-220.

Van der Lans I. A., Van Ittersum K., De Cicco A., Loseby M. (2001). The role of the region of origin and EU certificates of origin in consumer evaluation of food products. *European Review of Agricultural Economics*, 28, 451-477.

Van Ittersum K., Candel M., Torelli, F. (2000). The market for PDO/PGI protected regional products: Consumers' attitudes and behavior. B. Sylvander, D. Barjolle, F. Arfini (Eds.), *The Socio-economics of Origin Labeled Products in agri-food Supply Chains. Spatial, Institutional and Co-ordination Aspects*, Vol. 1, INRA, Paris, 209-221.

Varela A., Oliete B., Moreno T., Portela C., Monserrat L., Carballo J.A., Sánchez L. (2004). Effect of pasture finishing on the meat characteristics and intramuscular fatty acid profile of steers of the Rubia Gallega breed. *Meat Science*, 67, 515-22.

