

Facteurs déterminant la qualité sensorielle de la viande bovine : quelle importance de la race ?

La race et les caractéristiques de l'animal (sexe, âge, etc.), le mode d'élevage, la maturation et la cuisson contribuent à la qualité sensorielle de la viande bovine

Mots-clés : Viande bovine, Tendreté, Race bovine, Qualité sensorielle

Auteur : Victoire Cassagnol¹

¹ 26 rue de l'Yvette, 75016 Paris

* E-mail de l'auteur correspondant : victoire.cassagnol@gmail.com

S'il existe bien un lien entre la « race » et les qualités sensorielles de la viande bovine, de nombreux autres facteurs entrent en compte dans la perception d'une « viande de qualité » : les facteurs propres à l'animal en lui-même (âge, sexe, statut hormonal), son mode d'élevage et en particulier son alimentation, la transformation du « muscle » en « viande », la maturation et la cuisson. Le but de ce mémoire bibliographique réalisé au cours de ma 3^{ème} année à l'École d'Ingénieurs de PURPAN est de faire une synthèse des écrits scientifiques qui ont vocation à démontrer la relation entre l'animal et le goût de sa viande.

Résumé :

L'évaluation des qualités sensorielles de la viande constitue un enjeu important pour la filière viande, la consommation tendant à évoluer vers des quantités moins élevées mais de meilleure qualité. D'après les nombreux travaux récents menés sur le sujet, il apparaît que les facteurs déterminant le goût de la viande bovine sont multiples. Des études ont montré que des marqueurs génétiques seraient responsables des différentes qualités de la viande. Ainsi, plusieurs gènes ou protéines auraient des liens plus ou moins directs avec la tendreté de la viande. La race aurait également une influence mais variable, certaines races à viande spécialisées ayant tendance à produire de la viande plus tendre que les races laitières, du fait de leurs caractéristiques spécifiques telle que l'expression par exemple du gène culard. Cet article vise à établir l'importance des facteurs d'ordre génétique et propres à l'animal en lui-même, comme son âge, son sexe et son statut hormonal, le mode d'élevage et en particulier son alimentation, ainsi qu'au processus de transformation du produit « muscle » en « viande ». Cette transformation, la maturation et la cuisson jouent un rôle crucial dans la construction de la tendreté et des différents arômes de la viande alors que globalement l'influence de la race est faible.

Abstract: Factors determining the sensorial quality of bovine meat: what is the importance of breed?

The evaluation of the sensorial qualities of meat is a major challenge for the meat sector since consumption tends to evolve towards lower quantities of meat but of greater quality. According to several studies done recently on the study, it appears that there are several factors responsible for meat taste. These studies showed that genetic markers could be responsible for different meat qualities. Thus, several genes or proteins may be more or less directly linked to meat tenderness. The breed would also have a variable influence; some specialized beef breeds have a tendency to produce more tender meat than dairy breeds due to specific characteristics such as the expression of the double-muscling gene. This article is aimed at establishing the importance of genetic factors belonging to the animal itself such as its age, sex and hormonal status, breeding method and in particular its food up to the transformation process of changing "muscle" into "meat". Indeed, transformation, maturation and cooking play crucial roles in tenderness and the different aromas of meat whereas overall the influence of breed is low.

INTRODUCTION

Selon le dictionnaire Larousse (2014), la viande est définie comme « un aliment tiré des muscles des animaux, principalement des mammifères et des oiseaux. Après abattage de l'animal, le muscle doit subir une maturation pour pouvoir être considéré comme de la viande. »

Les Français consomment en moyenne 88 kg de viande par an et par habitant, et le bœuf reste la viande privilégiée des consommateurs. Cependant, la consommation de viande de boucherie diminue depuis plusieurs années (-15% entre 2003 et 2010) (Hebel, 2012). Ce phénomène s'explique par diverses raisons, résumées par Culioli en 1999 parmi lesquelles l'impact de la viande sur la santé des consommateurs et sur l'environnement, son prix élevé et la variabilité de sa qualité sensorielle. Le contexte plus récent avec des critiques régulières de l'élevage ainsi que des abattoirs dans la presse grand public est encore moins favorable à la consommation de viande.

Aujourd'hui, les modes de consommation des consommateurs tendent à évoluer : ils opteraient pour manger

moins de viande mais de meilleure qualité. D'après une enquête IFOP (Gomant et Chasles-Parot, 2014), il est ressorti que les Français fondent leur choix lors de l'achat de la viande d'abord sur sa couleur et son aspect. La viande ressort comme un produit « à forte dimension sensorielle ». C'est dans le cadre de cette évolution de la consommation qu'est apparue la notion de terroir et de race, puis finalement de lien entre « la race et le goût de la viande ».

De nombreux scientifiques étudient depuis plusieurs années les qualités sensorielles de la viande, dans le but de les relier entre elles et de découvrir des facteurs génétiques déterminants dans la qualité de la viande.

Nous verrons dans une première partie les différentes qualités sensorielles de la viande. Puis dans un second temps, nous étudierons les liens qui ont pu être mis en évidence entre ces propriétés et la race de l'animal. Enfin, nous élargirons notre point de vue, pour observer quels autres facteurs sont déterminants pour obtenir une viande de qualité.

I. LES QUALITÉS SENSORIELLES DE LA VIANDE BOVINE : DÉFINITION ET ÉVALUATION

I.1. Définition des qualités sensorielles ou organoleptiques

Les propriétés sensorielles d'un aliment sont les caractéristiques que les consommateurs peuvent percevoir directement grâce à leurs sens. Elles sont classées selon trois modalités :

- qualitative qui est la caractéristique de ce qui est perçu (goût salé, etc.) ;
- quantitative, qui représente l'intensité de la sensation ;

I.1.1. La couleur

Première caractéristique perçue par les consommateurs, c'est souvent la seule qui oriente le choix au moment de l'achat, en particulier dans les Grandes et Moyennes Surfaces (GMS). Le fait que la couleur de la viande soit la première caractéristique influençant la décision d'achat, conduit les consommateurs mal informés à utiliser la décoloration

I.1.2. La tendreté

La tendreté peut être définie comme « la facilité avec laquelle une viande se laisse trancher et mastiquer » (Touraille, 1994). C'est la qualité sensorielle la plus déterminante pour un consommateur amateur de viande bovine (Grunert *et al.*, 2004). Pour 72% des consommateurs, le prix est important certes, mais il n'est ni le seul ni le premier critère de choix. En effet, la qualité sensorielle de la viande, et la tendreté en particulier, apparaissent aujourd'hui importantes à leurs yeux (Cassinol, 2014).

De nombreux facteurs influencent la tendreté de la viande. C'est donc une des qualités les moins prévisibles. Deux facteurs majeurs sont à prendre en compte dans la tendreté de la viande :

- la quantité et la nature du tissu conjonctif déterminent la dureté de base. Plus un muscle est riche en collagène, moins sa viande est tendre, mais cet effet n'est pas significatif pour les muscles avec peu de collagène (Chriki *et al.*, 2013) ;
- la contraction puis la dégradation au cours de la maturation de la structure myofibrillaire du muscle

- hédonique, qui caractérise le plaisir ressenti par le consommateur.

La vue et les perceptions en bouche sont particulièrement importantes pour le produit viande. Les principales caractéristiques sensorielles sont la couleur, la tendreté, la jutosité et la flaveur (Touraille, 1994).

comme un indicateur de dégradation du produit (Smith *et al.*, 2000).

De nombreux facteurs (biologiques, zootechniques et technologiques) ont une influence sur la dégradation de la couleur de la viande. Il est aujourd'hui possible d'agir sur ces derniers, notamment grâce au conditionnement sous atmosphère contrôlée.

jouent un rôle important dans la tendreté de la viande, en fonction de la durée de la maturation (Ouali *et al.*, 2006).

Les consommateurs sont de plus en plus exigeants au regard de leur consommation de biens alimentaires et sont demandeurs d'un système de « prédiction de la qualité ». Les opérateurs de la filière sont sollicités pour établir un système de notation qui permettrait de choisir un morceau de viande dans les rayons des Grandes Surfaces correspondant au goût de chacun. L'objectif de la filière serait de pouvoir prévoir et maîtriser la tendreté de la viande, dans le but d'orienter les consommateurs vers le morceau de la carcasse qui correspond le mieux à leurs attentes. En décembre 2014, l'organisme interprofessionnel du bétail et de la viande (INTERBEV) et le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (DGCCRF) ont déployé le système de la viande à 1, 2 ou 3 étoiles. Ces repères sont attribués en fonction du potentiel de tendreté de chaque type de muscle. La mention « à griller », « à rôtir » ou « à mijoter », informe de plus les acheteurs sur le mode de cuisson du morceau qu'ils s'appêtent à choisir (Lorenzo, 2014).

1.1.3. La jutosité

La jutosité est définie par le caractère plus ou moins sec de la viande lors de la dégustation. Il est possible de distinguer :

- la jutosité initiale perçue au premier coup de dent. Elle est essentiellement liée à la quantité d'eau présente dans le produit, qui est libérée lors de la mastication ;
- la jutosité secondaire, en relation avec la teneur en lipides de la viande. Ces lipides induisent une salivation plus ou moins importante en stimulant les papilles ; les consommateurs ressentent alors la sensation de jutosité de la viande.

1.1.4. La flaveur

La flaveur correspond aux sensations des consommateurs lors de la libération des arômes de la viande pendant la dégustation.

La flaveur de la viande est abusivement appelée goût dans le langage courant. Elle résulte de la sollicitation du goût et de l'odorat, soit une perception olfacto-gustative de la viande. Ces sensations proviennent de l'irritation provoquée par des stimuli chimiques de la cavité buccale, du nez ou de la gorge (Micol *et al.*, 2010).

Il existe quatre saveurs bien identifiées dans la culture occidentale : le salé, le sucré, l'amer et l'acide. La flaveur de la viande est composée de ces quatre saveurs dont les proportions permettent l'expression du goût.

La viande crue a une flaveur peu prononcée, à l'exception du goût de sang, et contient peu de composés aromatiques. L'ensemble complexe des sensations est déterminé par la composition chimique de la viande ainsi que par les changements provoqués pendant la cuisson. Les précurseurs d'arôme sont formés pendant la maturation et permettent le développement de la flaveur caractéristique des différentes viandes. Les composés aromatiques responsables de la flaveur de la viande cuite sont issus de deux types de réactions induites par le chauffage :

- la réaction de Maillard entre les acides aminés et les sucres ;
- la dégradation des lipides (composés de triglycérides et de phospholipides).

Les précurseurs d'arômes se situent, pour une grande partie, dans le tissu adipeux (Monin, 1991). Les variations de

1.2. Evaluation des qualités sensorielles de la viande

Les chercheurs ont développé il y a des dizaines d'années l'analyse sensorielle de la viande réalisée par un jury de dégustateurs experts. Cette méthodologie est mise en œuvre à différents niveaux : tests discriminatifs pour identifier une différence entre deux ou plusieurs produits ; tests descriptifs permettant d'être plus précis que les tests discriminatifs en qualifiant les différences éventuelles constatées entre deux produits à l'aide d'une liste de 5 à 20 descripteurs clairement définis. Enfin, les tests hédoniques visent à une évaluation objective du produit basés sur les ressentis des experts (<http://idele.fr/services/publication/idelesolr/recommends/analyse-des-qualites-sensorielles-des-viandes.html>).

Ces méthodes sont devenues les méthodes de référence d'appréciation de la qualité sensorielle (tendreté, flaveur, jutosité). Toutefois, la température de cuisson (et donc les habitudes culinaires de chaque pays) influent sur le résultat final : ainsi, pour les mêmes échantillons de viande bovine analysés en Angleterre et en France après une cuisson à 55°C (habitudes françaises) ou à 74°C (habitudes britanniques), il s'avère que la cuisson à 55°C favorise la tendreté et la jutosité

Une viande riche en lipides est moins sèche en bouche qu'une viande maigre (Micol *et al.*, 2010).

Le PRE (Pouvoir de Rétention en Eau) du muscle joue un rôle essentiel dans la jutosité. Le PRE est lui-même influencé par le pH. Le pH impacte la structure musculaire de la viande lors de la transformation du muscle en viande au cours de la maturation. Sa maîtrise au cours de l'abattage et durant la phase de maturation permet de prévoir la jutosité de la viande (revue de Touraille, 1994).

La teneur en lipides explique jusqu'à 56% des variations de la flaveur pour différents muscles issus de bovins d'âge ou de races variées (Dransfield *et al.*, 2003). En conséquence, une augmentation de 1 à 3% de lipides augmente la flaveur de 0,7 point sur une échelle de 1 à 10.

La teneur en lipides de la viande est très variable selon les morceaux. En effet, la quantité et la qualité de lipides stockés dans les muscles et les tissus adipeux résultent de l'équilibre entre synthèse et dégradation des triglycérides. C'est ainsi que la quantité et la nature des lipides, modulables selon le type d'animal et sa conduite d'élevage, sont souvent en relation avec l'appréciation de la flaveur des viandes. Il est cependant important de noter que la flaveur est très différente d'un muscle à l'autre, car elle dépend du type métabolique du muscle (revue de Hocquette *et al.*, 2005).

La tendreté et la flaveur sont des qualités de la viande, intimement liées à la quantité et la qualité de lipides présents dans les muscles. Selon la revue bibliographique de Hocquette *et al.* (2010), il faut un minimum de 3 à 4% de lipides pour donner à la viande une flaveur et une jutosité qui sera appréciée par les consommateurs. Les lipides ont également une grande influence sur la tendreté de la viande et seraient responsables, à hauteur de 10 à 15%, de la variabilité de la tendreté de la viande appréciée par les consommateurs.

Ces caractéristiques sont en grande partie dues aux pratiques d'élevage, notamment à l'alimentation des animaux, mais également à des spécificités intrinsèques de l'animal telles que leur génotype, leur sexe, ou encore leur statut hormonal.

dans les deux pays, mais les consommateurs anglais apprécient davantage la flaveur après cuisson à 74°C, contrairement aux consommateurs français (Gagaoua *et al.*, 2016a).

En Australie, les chercheurs et les professionnels de la filière viande bovine ont mis au point le MSA (Meat Standards Australia) qui est un modèle mathématique pour prédire la qualité de la viande à partir de facteurs d'amont et d'aval pour chaque combinaison « muscle x mode de cuisson ». Le principe de base de cette méthodologie repose sur l'appréciation de la qualité sensorielle par des consommateurs non entraînés (Watson *et al.*, 2008) et non pas par des jurys d'experts comme jusqu'à présent dans la communauté scientifique et technique.

Une expérimentation publiée par Legrand *et al.*, (2013) a été réalisée en France dans le but de comparer les préférences des consommateurs français et australiens et de tester le système MSA en France. Six muscles (le gîte noix, le tendre de tranche, le rumsteck, le faux-filet, le paleron et le filet), de

18 bovins australiens et de 18 bovins français ont été dégustés en parallèle en France et/ou en Australie. Le fait de choisir six muscles très différents d'individus variés a induit une grande variabilité de la qualité de la viande perçue entre les morceaux dégustés par les consommateurs, variabilité comparable en France et en Australie.

En France, les steaks étaient cuits « à point » ou « saignants ». Un total de 360 consommateurs français a participé au test de viande « à point », en dégustant pour moitié des viandes françaises et pour l'autre moitié des viandes australiennes, 180 autres consommateurs ont testé les viandes « saignantes ».

Les steaks de 2,5 cm d'épaisseur ont été cuits sur un grill. Les testeurs ont évalué les morceaux de viande en fonction de leur tendreté (TE), de leur jutosité (JU), de leur flaveur (FL) et de leur satisfaction globale (AG). Ils leur ont également affecté une classe de qualité selon quatre niveaux : non satisfaisant, produit courant (3*), bon produit (4*) ou produit

de qualité supérieure (5*) selon le protocole australien (Watson *et al.*, 2008).

Après les tests, le calcul d'un index de satisfaction global a été réalisé. Les notes ainsi combinées permettent l'obtention d'un index qui discrimine le mieux possible les quatre scores MSA attribués par les consommateurs. Cet index, le MQ4 (Meat Quality 4), doit rendre compte du degré de satisfaction des consommateurs lors de la dégustation de leur viande. Le MQ4 est compris entre 0 et 100 et a été défini ainsi en France :

$$MQ4 = 0,31 TE + 0,04 JU + 0,30 FL + 0,36 AG$$

Les coefficients de calcul du score MQ4 étant très proches de ce qui observé en Australie, cette étude montre que les consommateurs français et australiens se comportent de manière similaire. On observe également que le degré de cuisson influe peu le degré de satisfaction des consommateurs, pour peu qu'ils consomment la viande selon leurs préférences.

II. DÉTERMINANTS GÉNÉTIQUES DE LA QUALITÉ SENSORIELLE

II.1. La qualité sensorielle au niveau moléculaire - les biomarqueurs de la tendreté

Actuellement, à l'exception de la méthode MSA décrite ci-dessus, il n'existe pas de technique simple pour évaluer la tendreté de la viande, sur la carcasse et encore moins sur l'animal vivant malgré de nombreuses recherches prometteuses (Berri *et al.*, 2016). Cette qualité de la viande n'est généralement appréciée qu'après abattage de l'animal et appréciation directe de la viande par un jury d'analyse sensorielle ou par des mesures mécaniques (Hocquette, 2014). La tendreté est un facteur héritable à seulement 25%. On peut donc dire que la race et plus généralement les facteurs génétiques n'ont pas une influence prépondérante sur ce facteur de qualité.

L'utilisation du modèle de prédiction MSA ouvre de nouvelles perspectives en génétique (Pethick *et al.*, 2015). En effet, le modèle MSA prédit le potentiel d'un muscle à produire une viande de qualité. Ainsi, il est possible de calculer un index global de qualité sensorielle potentielle pour les carcasses en combinant les qualités prédites pour chaque muscle, pondérées par le poids relatif de ce muscle dans les carcasses. Cet index global reflète le potentiel génétique de chaque animal à produire une viande de qualité sensorielle donnée, toutes choses étant égales par ailleurs (c'est-à-dire à même durée de maturation, à cuisson similaire...). Il est actuellement étudié la possibilité d'introduire cet index dans les schémas de sélection génétique afin d'y inclure le potentiel de qualité sensorielle des animaux, ce qui serait novateur.

Par ailleurs, depuis plusieurs années, différents programmes de génomique fonctionnelle ont été mis en place à une échelle nationale et internationale, afin de rechercher des marqueurs biologiques de la tendreté (revue de Picard *et*

al., 2015). Les études ont été réalisées principalement sur le muscle *longissimus thoracis* (qui correspond au faux filet). Les résultats montrent que les protéines associées au type rapide glycolytique (lactate déhydrogénase-B, myosin heavy chain IIX) ou des protéines de la famille des heat shock proteins (HSP) sont associées à la tendreté mais de façon différente selon la race ou le type de muscle (Picard *et al.*, 2014). Les analyses au niveau des ARN messagers confirment un lien entre les Heat Shocks Proteins et la tendreté, mais ce lien est variable selon le type d'animal et les conditions d'élevage (Hocquette *et al.*, 2012). Les Heat Shock Protein, ou protéines de choc thermique, auraient une activité anti-apoptique (contre la mort programmée des cellules) et pourraient ralentir le processus de mort des cellules en phase post-mortem précoce. Cette théorie confirme le lien entre ces HSP et la tendreté de la viande. D'autres protéines impliquées dans le stress anti-oxydant, telles que la super oxyde dismutase ou la peroxiredoxine 6 sont reliées négativement à la tendreté.

Le calcium joue un rôle important dans la maturation. Un lien a donc été recherché entre les protéines impliquées dans son métabolisme et la tendreté. Certaines, telles que la parvalbumine, ont été identifiées comme des marqueurs associés à la tendreté.

On peut donc se rendre ainsi compte des progrès accomplis tout récemment dans la compréhension des processus biologiques impliqués dans la détermination de la qualité de la viande. Toutefois, certains auteurs estiment qu'il est peu probable que des biomarqueurs universels pertinents pour tous les muscles et toutes les races puissent être réellement utilisés en pratique, en raison de la complexité du déterminisme de la tendreté (Moloto *et al.*, 2017).

II.2. Comparaison des caractéristiques de la viande selon la race

Les comparaisons entre races sur les qualités sensorielles de la viande sont délicates à interpréter. En effet, chaque génotype montre un potentiel de développement musculaire et une maturité physiologique qui sont lui propres.

Il existe deux grands types de races :

- les races précoces, parmi lesquelles on peut citer les races laitières et les races anglo-saxonnes, souvent issues du type mixte ;

- les races tardives, parmi lesquelles se trouvent les principales races à viande continentales.

La différence majeure entre ces races s'établit au cours de la croissance des animaux. La formation du tissu adipeux est réalisée en quatre temps : le gras abdominal, le gras intermusculaire, le gras sous cutané et enfin le gras intramusculaire. Chez les races précoces, le dépôt de gras intramusculaire, ou persillé, est donc plus rapide que chez les

rares tardives (Jussiau, 2017). D'une façon générale, la race affecte les caractéristiques des carcasses en termes de poids, conformation et état d'engraissement, mais cela a peu d'impact sur la qualité finale de la viande (Bonny *et al.*, 2016). De plus, la race affecte les propriétés du tissu

II.2.1. La race et la couleur

Selon les différents types raciaux, la couleur obtenue dépend essentiellement de la précocité de l'animal, ces différences s'exprimant principalement durant la phase de développement de l'animal avant l'acquisition de sa maturité.

Les races laitières continentales et anglo-saxonnes sont en moyenne plus précoces que les races continentales spécialisées à viande. Parmi les races laitières continentales, on peut citer plusieurs races, dont la principale est la Prim'Hosstein, ainsi que la Normande, la Brune des Alpes ou l'Abondance. Quant aux races anglo-saxonnes, les plus réputées pour leur production de viande sont l'Angus, la Longhorn ou encore la Highland. Leur viande atteint une couleur plus intense plus rapidement que les races à viande continentales. Ces différences entre races s'estompent cependant lorsqu'elles sont comparées à un même stade physiologique de développement.

Dans nos systèmes de production, de fortes différences de la couleur de la viande sont notées entre des taurillons de races

II.2.2. La race et la tendreté

La question de l'influence de la race sur la tendreté est plus délicate à interpréter, chaque génotype ayant son propre potentiel de développement musculaire et son degré propre de maturité physiologique pour un âge donné. Avec les nombreuses études à disposition, on peut dire que pour les qualités de la viande, les différences entre races ne sont généralement pas significatives, compte tenu de la forte variabilité intra race. On note également qu'il existe peu de différences dans les propriétés sensorielles de la viande issue de races différentes, lorsque les mesures sont réalisées pour un état d'engraissement donné, à un taux de lipides intramusculaires comparable (revue de Micol *et al.*, 2010) (Figure 1). Les seules différences nettes concernent la moindre tendreté de la viande d'animaux croisés zébu (Highfill *et al.*, 2012).

Le peu de différences entre races concernant la tendreté est prévisible, dans la mesure où ce critère est héritable à

II.2.3. La race et la flaveur

Le programme de recherche Qualvigène a été mis en place dans le but de trouver un lien entre le déterminisme génétique des qualités de la viande bovine des races exploitées en France et le mode de consommation habituel de la viande, soit de type « saignant ». Ce programme a été réalisé sur plus de 3300 descendances de trois races à viandes spécialisées : la Charolaise, la Limousine et la Blonde d'Aquitaine (Renand et Allais, 2010). Les dégustations ont eu lieu après une cuisson à cœur à 55 °C, conformément aux habitudes culinaires françaises. La flaveur apparaît alors prioritairement associée à la teneur en lipides. Il met en évidence une très faible

musculaire (notamment le métabolisme et le type de fibres) davantage que le type d'alimentation (Cuvelier *et al.*, 2006).

Pour comparer ainsi les différences entre races, nous sommes donc amenés à comparer des animaux à des stades physiologiques différents.

précoces et de races tardives. De même, la différence de précocité entre la Limousine et la Charolaise se traduit comme suit : la viande de jeunes bovins Limousins est légèrement plus foncée que celle de jeunes bovins Charolais (Bastien, 2002). Enfin, ces différences de couleur sont liées au potentiel propre de développement de chaque animal. Il apparaît donc une variabilité de la couleur importante chez les races tardives. Des écarts de coloration sont cependant régulièrement constatés entre des carcasses de même âge, de même race, de même sexe et produites en conditions comparables.

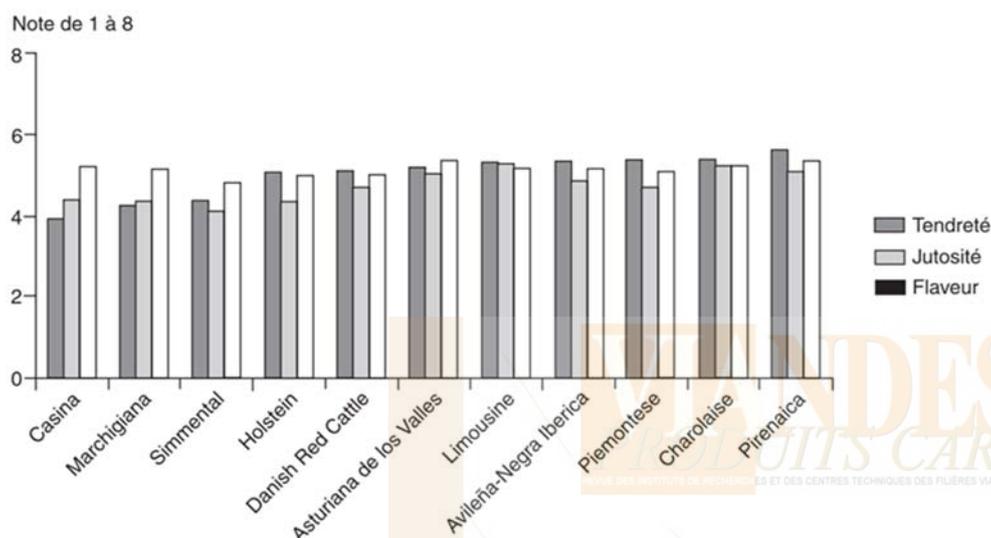
En résumé, c'est donc principalement l'âge ou la maturité physiologique et non la race qui influe directement la couleur de la viande. Le rapprochement potentiel de la différence de couleur de la viande en fonction de la race aura lieu à l'abattage.

seulement 25%. De plus, pour un même état d'engraissement et à teneur de lipides intramusculaires identique, il existe peu de différences entre les propriétés sensorielles des viandes de races différentes (Culioli, 1999). Cependant, le gène *culard* induit une moindre quantité et une modification du réseau conjonctif, et une orientation glycolytique des fibres musculaires qui conduisent à une tendreté élevée comme observée chez la race Blanc Bleu Belge (Deveau *et al.*, 2001).

Pour discriminer au mieux les différences potentielles entre races, de nombreuses études ont été conduites avec des jurys d'analyse sensorielle. L'appréciation de la tendreté par les jurys est souvent fortement corrélée avec la teneur en lipides intramusculaires. Nous pouvons observer la figure ci-dessous qui présente les appréciations des qualités sensorielles du même muscle issu de onze races européennes (projet européen Gemqual, Genetics of Meat Quality).

héritabilité de la flaveur ($h^2 \approx 1/15$). De plus, les résultats confirment les études Nord-Américaines, comme quoi les deux principales qualités de la viande, qu'il est possible de modifier génétiquement par sélection, sont la tendreté ($h^2 \approx 1/4$) et la teneur en lipides intramusculaires. On ne retrouve cependant pas le lien qui avait été montré entre la tendreté et la teneur en lipides intramusculaires. Grâce notamment au programme Qualvigène, on peut concevoir d'améliorer indirectement la flaveur via la teneur en lipides intramusculaires. Le lien entre la race et la flaveur de la viande reste cependant indéterminé.

Figure 1 : Appréciation des qualités sensorielles du muscle *Longissimus thoracis* chez onze races européennes (source : Micol *et al.*, 2010)



II.2.4. Comparaison entre races avec des taux de gras intramusculaire similaires

La différence de teneur en lipides de la carcasse ou du muscle résultent d'une variabilité du nombre et de l'activité des adipocytes (Cianzio *et al.*, 1985). Ainsi, on observe une grande variabilité de l'engraissement des bovins en fonction principalement du type génétique, du stade physiologique, du niveau et de la nature de l'alimentation.

Chambaz *et al.*, (2003), s'est intéressé à la qualité de la viande à travers le gras intramusculaire de différents animaux issus des races Angus, Simmental, Charolaise et Limousine. Les taurillons ont été engraisés selon un système à base de fourrages jusqu'à ce que le taux de gras intramusculaire désiré comparable entre races soit atteint. Cela conduit tout d'abord à des profils de croissance et des caractéristiques de carcasses très différentes selon les races. L'âge et le poids-carcasse à l'abattage n'étaient donc pas égaux.

Dans cette étude, les animaux Angus ont montré une croissance similaire aux Simmental et Charolais, alors que les Limousins avaient la croissance la plus lente et fournissaient les carcasses les plus lourdes et les mieux conformées. Les Angus ont fourni les carcasses les plus légères mais les plus grasses.

Les Angus et les Charolais ont donné une viande pâle avec une faible teneur en fer héminique. Lors de l'évaluation sensorielle, la viande des taurillons Angus et Limousins était plus tendre que la viande issue des animaux de race

Simmental. Le persillé était comparable pour toutes les races. La répartition du gras selon les races est susceptible d'entraîner des différences dans les qualités sensorielles gustatives et visuelles, qui peuvent jouer dans la décision d'achat des consommateurs. Un taux de 3,25% de persillé semble être le degré de gras préféré par les consommateurs, selon une étude impliquant des consommateurs américains (Killiger *et al.*, 2000). La flaveur est similaire pour les différents groupes de races, alors que la jutosité est supérieure chez les Limousins et inférieure chez les Angus.

De nombreuses études ont montré qu'il n'y avait pas de réelle différence dans la flaveur de la viande selon la race (Koch *et al.*, 1979, Wheeler *et al.*, 1996) mais Laborde *et al.*, (2001) ont noté une flaveur supérieure pour la Simmental que pour l'Angus. Ces animaux avaient à l'abattage des épaisseurs de gras dorsal similaires, mais les bovins de race Simmental étaient âgés de 73 jours de plus et avaient 31% de gras intramusculaire supplémentaire. On peut donc dire qu'avec des groupes de races distincts, l'âge à l'abattage a une incidence sur l'intensité de la flaveur. Il semble par ailleurs que l'âge à l'abattage présente des effets indirects liés à la jutosité. L'âge entraîne une diminution de l'eau dans les muscles, ce qui se traduira par une baisse de la jutosité après cuisson (Chambaz *et al.*, 2003).

II.3. Le statut hormonal de l'animal

Le statut hormonal est primordial pour orienter le métabolisme énergétique vers le stockage ou la dégradation des lipides (revue de Bonnet *et al.*, 2010). L'insuline est la principale hormone lipogénique. Outre les hormones, les muscles et les tissus adipeux synthétisent et sécrètent des myokines et des adipokines. Ces hormones permettraient la régulation du métabolisme lipidique. Le rôle essentiel de la leptine (adipokine la plus étudiée à ce jour), est d'assurer la stabilité des réserves lipidiques en régulant la prise alimentaire et la dépense énergétique. Chez les bovins ayant une forte capacité lipogénique, la forte adiposité est concomitante avec une augmentation de la teneur plasmatique en leptine.

Le statut hormonal régule la compétition entre adipocytes et fibres musculaires pour la différenciation cellulaire et

l'utilisation des nutriments énergétiques. Cela expliquerait la mise en place tardive et la moindre capacité lipogénique des tissus adipeux chez les races bovines de maturité physiologique tardive (Limousine, Charolaise, Blanc-Bleu-Beige), comparativement à des races précoces (Angus, Hereford, Holstein, Jersiaise) (Robelin et Casteilla, 1990).

Il reste cependant à approfondir les connaissances sur les spécificités métaboliques des adipocytes selon leur localisation anatomique (tissu adipeux de la carcasse vs tissu adipeux intramusculaire) et la régulation du partage de nutriments entre les tissus adipeux et les muscles par les hormones adipokines et myokines. Cela permettra par la suite la modulation de l'alimentation vers un stockage dans les adipocytes intramusculaires, plutôt que dans les adipocytes de la carcasse.

III. LES AUTRES FACTEURS À PRENDRE EN COMPTE POUR OBTENIR UNE VIANDE DE QUALITÉ OPTIMALE

III.1. Facteurs intrinsèques de l'animal

III.1.1. L'âge de l'animal et le stade physiologique

L'âge de l'animal joue tout d'abord sur la couleur des muscles. En effet, il est établi que la teneur en myoglobine augmente avec l'âge. Au-delà de 17 mois, cette couleur est stable et n'évoluera plus.

La tendreté de la viande évolue peu dans la jeunesse de l'animal, mais tend à diminuer lorsque celui-ci atteint l'âge adulte.

Différentes expériences ont été réalisées (revue de Micol *et al.*, 2010) :

- chez le mâle entier ou castré, entre 12 et 24 mois : aucune augmentation de la dureté de la viande par l'analyse sensorielle n'a été relevée ;
- entre 15 et 19 mois, on note une augmentation de la dureté de +20% chez le mâle entier ;
- au-delà de 2 ans, la tendreté peut se dégrader en particulier chez les mâles entiers de 33 mois ou chez les bœufs ;
- chez les femelles, aucune altération de la tendreté n'est due à l'âge. Cela semble être permis par des teneurs en collagène identiques chez les génisses dans ces tranches d'âge ;
- chez les vaches de réformes, les résultats d'analyse sensorielle ne montrent pas d'effets significatifs de l'âge de 4, 7 ou 9 ans, sur les notes obtenues à partir de races à viandes (Jurie *et al.*, 2002).

III.1.2. Le sexe de l'animal

Le sexe du bovin conduit également à la différence des qualités organoleptiques, notamment en raison de teneurs en lipides intramusculaires plus importantes chez les femelles et les mâles castrés comparativement aux mâles entiers. La tendreté des femelles et des mâles castrés est toujours supérieure à celle des mâles entiers, y compris en utilisant la méthodologie MSA (Bonny *et al.*, 2016). Cependant la différence entre les mâles castrés et les femelles est plus

discrète mais de manière générale, la viande de femelle est plus appréciée pour sa tendreté.

Des études permettent de montrer que la gestation et le vêlage n'influent pas sur la tendreté de la viande (Dumont *et al.*, 1987). Cela n'est plus valable pour les femelles ayant été abattues à un âge et un poids notablement supérieur : elles présentent une tendreté moindre du fait de l'accroissement de l'âge.

Lorsque l'animal atteint un poids vif moyen de 300 kg, sa croissance musculaire diminue et les nutriments sont d'autant plus orientés vers la lipogenèse et le stockage dans les adipocytes. C'est pour cette raison que la période d'engraissement finale, qui est nécessaire pour obtenir des carcasses suffisamment grasses et une viande riche en lipides intramusculaires, sera d'autant plus efficace qu'elle sera réalisée sur des animaux à faible potentiel de croissance.

(revue de Micol *et al.*, 2010). En effet, les différents nutriments ingérés peuvent modifier les caractéristiques et la composition du muscle.

III.2. Impact du mode d'élevage – focus sur l'alimentation

La conduite d'un animal, à travers son régime alimentaire et les modulations de sa courbe de croissance, influe plus ou moins sur les différentes qualités sensorielles de la viande

III.2.1. Effet du niveau alimentaire

La couleur est fortement influencée pas le niveau alimentaire, puisqu'une réduction des apports se traduit par une augmentation de la proportion de fibres oxydatives rouges (Picard *et al.*, 1995). La couleur de la viande d'animaux ayant été restreints sera donc plus sombre que celle des animaux recevant un niveau alimentaire adapté.

De même, la réduction des apports alimentaires avant l'abattage aurait tendance à réduire la tendreté de la viande. La réduction du niveau alimentaire entraîne en effet une baisse de l'adiposité de la carcasse et du dépôt lipidique du muscle (Geay *et al.*, 2002).

Dans la mesure où les variations de niveau alimentaire se traduisent par des différences de gain de poids vif, l'effet du niveau alimentaire sur la tendreté de la viande peut être analysé par les relations avec le gain de poids vif (Oury, 2006).

Une étude sur des génisses charolaises a permis de conclure que l'augmentation de 360 kg à 380 kg carcasse pour un même âge à l'abattage (33 mois), s'accompagne d'une augmentation de 15% de la note de tendreté par un jury. Ainsi, il semble que l'augmentation du niveau alimentaire et donc un poids vif plus important pour un même âge à l'abattage soit favorable à la tendreté de la viande (Oury, 2006).

n'avaient pas été restreints. On peut également dire que cette croissance compensatrice s'accompagne d'une amélioration de la tendreté de la viande. En effet, la croissance

III.2.2. Croissance compensatrice

Le retour à un niveau alimentaire adapté après une période de restriction entraîne une reprise de la croissance à un niveau supérieur à celui que les animaux auraient atteint s'ils

n'avaient pas été restreints. On peut également dire que cette croissance compensatrice s'accompagne d'une amélioration de la tendreté de la viande. En effet, la croissance

compensatrice va permettre une augmentation de la synthèse du collagène jeune, de solubilité plus importante (Listrat *et al.*, 1997).

Selon Picard *et al.* (1995), cette augmentation de la tendreté pourrait également être due à l'augmentation de la

III.2.3. Effet de la nature et de la composition de la ration

La composition de la ration et ses variations entraînent des modifications des processus digestifs. Ces derniers régulent la nature et la proportion de nutriments absorbés par le ruminant. Les variations sont donc susceptibles de modifier les qualités sensorielles de la viande.

Pour ce qui est de la couleur, il a été observé que la viande est d'une couleur rouge plus intense lorsque l'animal a été alimenté avec un régime à base d'herbe, notamment au pâturage, comparé à des régimes riches en concentrés (Priolo *et al.*, 2006).

Cette coloration peut être due :

- à un âge plus élevé des animaux conduit au pâturage,

III.3. Impact de la transformation du produit

III.3.1. Effet de la maturation

Le rôle de la maturation est d'améliorer les qualités de la viande. Comme le disent les artisans bouchers, « la bonne viande a besoin de temps ».

Le rôle de la maturation est directement lié à la tendreté et à la flaveur finale de la viande. Les fibres musculaires se figent et les muscles durcissent juste après l'abattage de l'animal (Ouali *et al.*, 2006). Le muscle n'est pas encore de la viande, il est dur et sans saveur. Lors de la maturation, le

III.3.2. Effet de la cuisson

Une expérience récente a été conduite pour comparer les notes d'analyse sensorielle par deux jurys d'experts, l'un à Bristol au Royaume-Uni et l'autre au Magneraud en France (Gagaoua *et al.*, 2016a). Dans les deux pays, les mêmes échantillons de viande ont été testés après une cuisson à cœur à 55°C (température standard en France pour l'analyse sensorielle des viandes) ou à 74°C (température standard au Royaume-Uni pour l'analyse sensorielle des viandes). Les notes de tendreté et de jutosité ont été plus élevées à 55°C qu'à 74°C dans les deux pays. L'évolution de la fraction myofibrillaire associée à des pertes en eau plus élevées sont sans doute responsables de la tendreté et de la jutosité moindres à 74°C malgré une solubilisation plus élevée du collagène à haute température (Culioli, 1994). Le jury d'experts du Royaume-Uni a donné des notes de flaveur plus élevées (+7 à 24%) mais des scores plus faibles de flaveur anormale (-10 to -17%) à 74 °C. En revanche, la flaveur anormale était plus élevée pour les experts français à 74°C comparé à 55°C (+26%) soulignant les préférences culturelles des différents jurys d'analyse sensorielle en fonction des pays. Toutefois, dans un autre essai, la méthodologie MSA a permis d'obtenir des résultats similaires pour des viandes françaises « saignantes » ou « cuites à point » (Legrand *et al.*, 2013).

CONCLUSION

La viande bovine est depuis toujours un aliment très apprécié pour ses qualités sensorielles de couleur, tendreté, flaveur et jutosité. Ces caractéristiques sont le fruit de

proportion de fibres musculaires glycolytiques, qui ont une maturation plus rapide que les fibres oxydatives. Enfin, la teneur en lipides aux moments de la restriction puis de la réalimentation de l'animal, selon son stade physiologique, pourrait également influencer la tendreté de la viande.

- à l'activité physique plus intense liée aux déplacements, ce qui favorise le développement du métabolisme oxydatif (Jurie *et al.*, 2006).

De nombreuses études se sont intéressées à l'effet de la nature des aliments composants la ration en finition sur la tendreté de la viande. On observe le plus souvent des résultats combinés de la nature de la ration ainsi que du niveau alimentaire. A un même niveau alimentaire, il ne semble pas ressortir de différences nettes entre la tendreté des viandes obtenues à partir de régimes alimentaires de nature différentes. Il semble donc nécessaire de poursuivre les essais pour mieux cerner l'effet strict de la nature et de la composition de la ration, sur la tendreté de la viande (revue de Micol *et al.*, 2010).

glycogène est transformé en acide lactique. Le pH de la viande diminue et permet ainsi l'activation des enzymes nécessaires à la fragmentation des protéines (Ouali *et al.*, 2006). Ces enzymes, les protéases « attendrissent la viande ». Les lipases quant à elles transforment les lipides des muscles : c'est ce phénomène qui permet à la viande d'obtenir son parfum caractéristique, grâce à la formation des molécules aromatiques.

Les traitements thermiques entraînent aussi une oxydation importante des lipides et des protéines. Cette oxydation est liée au temps et à la température de cuisson. Plus la cuisson est longue et à température élevée, plus l'oxydation est forte.

L'estimation des paramètres génétiques de la tendreté et plus généralement des qualités sensorielles de la viande requiert la mesure d'un nombre important d'animaux pour pouvoir apprécier la part de variabilité transmise entre générations. Pour des raisons de coût, il n'existe dans la littérature qu'un nombre restreint d'études visant à mesurer la variabilité génétique des qualités de la viande bovine dues à la cuisson (revue de Hocquette, 2015). Dans les études, les qualités de la viande sont mises en relation avec la note de persillé, un critère systématiquement pris en compte dans les grilles d'évaluation de la qualité sensorielle de la viande dans divers pays, tels que les Etats-Unis, le Canada, l'Australie et le Japon par exemple. Une plus-value est accordée aux carcasses présentant la viande la plus persillée, car la note de persillé a été mise en relation avec la tendreté et la flaveur de la viande. Cette relation est observée pour un mode de consommation spécifique, c'est-à-dire pour une cuisson à une température particulièrement élevée (70°C à cœur) comme dans les pays anglo-saxons, ce qui peut limiter la généralisation des résultats ainsi obtenus.

mécanismes biologiques complexes qui interviennent dans l'élaboration de leurs déterminants physico-chimiques et

métaboliques. Elles permettent aux consommateurs d'apprécier la viande lors de sa dégustation.

Les qualités de la viande sont autant dues à des facteurs génétiques qu'à des facteurs d'élevage. On ne peut pas affirmer avec certitude que la race a un impact direct sur les différentes caractéristiques sensorielles de la viande. Toutefois, différentes spécificités génétiques, propres à certaines races impactent ces qualités sensorielles. Ainsi, la précocité de la race a un effet sur la couleur de la viande ainsi que sur la capacité de l'animal à stocker rapidement du gras intramusculaire, le persillé, qui donne de la flaveur à la viande. D'autre part, l'hypertrophie musculaire, caractéristique du gène *culard* de certaines races à viande spécialisée, a un effet positif sur la tendreté de la viande, mais négatif sur sa flaveur en raison de teneurs très faibles en lipides intramusculaires.

Par ailleurs, des facteurs intrinsèques liés à l'animal jouent également un rôle dans le goût de la viande. L'augmentation de l'âge semble être favorable à la flaveur, à la jutosité et à la couleur de la viande. Le sexe joue un rôle important : les femelles et les bœufs produisent des viandes plus tendres, plus gouteuse et plus rouges que celles des mâles entiers.

Enfin, les conduites d'élevage influent sur les qualités de la viande, principalement par le niveau d'apport alimentaire. Une restriction alimentaire est défavorable à la tendreté et à la flaveur de la viande. Un niveau alimentaire élevé avant l'abattage favorise la tendreté et accroît la teneur en lipides intramusculaires, améliorant ainsi la flaveur de la viande. L'effet favorable de l'élévation du niveau alimentaire est d'autant plus sensible que l'animal réalise une croissance compensatrice après une période de sous-alimentation.

Si, aujourd'hui, il n'existe pas d'études spécifiques montrant un lien direct entre la race et les qualités de la viande, de nombreuses recherches ont été conduites pour établir les causes génétiques de ces caractéristiques. Toutefois, des travaux scientifiques sont en cours afin que la qualité sensorielle d'un morceau de viande puisse être prédite avant même que l'animal soit abattu, comme le vise les australiens à partir du calcul d'un index global de qualité. En l'état actuel des connaissances, il apparaît que, si le goût de la viande bovine dépend de la race, c'est, pour partie au moins, en relation avec le système d'élevage de l'animal qui peut en effet être spécifique d'une race donnée, en particulier en fonction de son régime alimentaire, voire de son terroir.

Références :

- Bastien D. (2002). Incidence de l'âge à l'abattage des vaches sur la qualité des carcasses et des viandes, compte rendu final. Etude INTERBEV-OFIVAL. Institut de l'Élevage, n°2013226.
- Béri C., Picard B., Lebret B., Andueza Urrea J.D., Vautier A., Chartrin P., Beauclercq S., Lefèvre F., Legrand I., Hocquette J.-F. (2016). Prédire la qualité des viandes : mythe ou réalité ? 16^{èmes} Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (JSMTV). Paris, France (2016-11-21 - 2016-11-22). Viandes et Produits Carnés, VPC-2016-32-4-4.
- Bonnet M., Gruffat D., Hocquette J.-F. (2010). Métabolisme lipidique des tissus musculaires adipeux. In : Bauchard D., Picard B. (éditeurs), *Muscle et viande de ruminant*, Paris : QUAE, pp. 79-88.
- Bonny S.P.F., Hocquette J.F., Pethick D.W., Farmer L.J., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Polkinghorne R.J., Gardner G.E. (2016). The variation in the eating quality of beef from different sexes and breed classes cannot be completely explained by carcass measurements. *Animal*, 10, 987-995.
- Cassignol F. (2014). Palmarès des critères d'achat de viande des Français, [Dossier de presse]. 19p. <https://www.cultureviande.fr/presse/palmars-de-critere-dachat/>
- 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.
- Cianzio D.S., Topel D.G., Whiehurst G.B., Beitz D.C., Self H.L. (1985). Adipose tissue growth and cellularity: Changes in bovine adipocyte and number. *Journal of Animal Science*, 60, 970-976.
- 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.
- Culioli J. (1994). Le chauffage de la viande : incidence sur la dénaturation des protéines et la texture. *Viandes et Produits Carnés*, 15, 159-164.
- Culioli J. (1999). La qualité de la viande bovine : aspects biologiques et technologiques de la gestion de la tendreté. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 72, 25-46.
- Cuvelier C., Cabaraux J.F., Dufrasne I., Clinquart A., Hocquette J.F., Istasse L., Hornick J.-L. (2006). Performance, slaughter characteristics and meat quality of young bulls from Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus breeds fattened with a sugar-beet pulp or a cereal-based diet. *Animal Science*, 82, 125-132.
- 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. *Animal Science*, 76, 387-399.
- 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.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.
- 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.
- Hebel P. (2012). Evolution de la consommation de viande en France : les nouvelles données de l'enquête CCAF 2010. Etude CREDOC [en ligne]. Disponible sur : http://www.credoc.fr/pdf/Sou/Consommation_v viande_CCAF2010.pdf
- Highfill C.M., Esquivel-Fon, O., Dikeman M.E., Kropf D.H. (2012). Tenderness profiles of ten muscles from F1 bos indicus x bos taurus and bos taurus cattle cooked as steaks and roasts. *Meat Science*, 90, 881-886.

- Hocquette J.F. (2014). Qualité de la viande : « la race n'est pas prépondérante ». *AGRA Presse Hebdo* – N° 3471, pages 18-19.
- Hocquette J. F., Cassar-Malek I., Lustrat A., Jurie C., Jailler R., Picard B. (2005). Évolution des recherches sur le muscle des bovins et la qualité sensorielle de leur viande I. Vers une meilleure connaissance de la biologie musculaire. *Cahiers Agricultures*, 14, 365–372.
- Hocquette J.-F., Bernard-Capel C., Vidal V., Jesson B., Levéziel H., Cassar-Malek I. (2012). The GENOTEND chip: a new tool to analyse gene expression in muscles of beef cattle for beef quality prediction. *BMC Veterinary Research*, 8, 135.
- Hocquette J.F., Gondret F., Baéza E., Médale F., Jurie C., Pethick D.W. (2010). Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, identification of putative markers. *Animal*, 4, 303–319.
- Gomant F., Chasles-Parot M. (2014). Palmarès des critères d'achat de la viande et attentes à l'égard du rayon boucherie de la grande distribution. *IFOP* [en ligne]. Disponible sur : http://www.ifop.com/media/poll/2693-1-study_file.pdf
- Grunert K.G., Bredahl L., Brunso K. (2004). Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector - a review. *Meat Science*, 66, 259-272.
- Jussiau R. (2017). Le gras des animaux, approche zootechnique. *Viande et Produits Carnés VPC-2017-33-3-2* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.viandesetproduitscarnes.fr/index.php/en/851-le-gras-des-animaux-approche-zootechnique>
- Laborde F.L., Mandell I.B., Tosh J.J., Wilton J.W., Buchanan-Smith J.G. (2001). Breed effects on growth performance, carcass characteristics, fatty acid composition, and palatability attributes in finishing steers. *Journal of Animal Science*, 79, 355–365.
- Legrand I., Hocquette J-F., Polkinghorne R.J., Pethick D.W. (2013). Prediction of beef eating quality in France using the Meat Standards Australia system. *Animal*, 7, 524-529.
- Lorenzo S. (2014). Les nouvelles étiquettes sur la viande avec des étoiles, « plus simple et plus compréhensible » [en ligne]. Disponible sur : <http://www.huffingtonpost.fr>
- Koch R.M., Dikeman M.E., Jerry Lipsey R., Allen D.M., Crouse J.D. (1979). Characterization of biological types of cattle - cycle II-III: Carcass composition, quality and palatability. *Journal of Animal Science*, 49, 448–460.
- Micol D., Jurie C., Hocquette J.-F. (2010). Qualités sensorielles de la viande bovine. Impacts des facteurs d'élevage ? In : Bauchard D., Picard B., *Muscle et viande de ruminant*. Paris : QUAE, pp. 163-169.
- Moloto K.W., Frylinck L., Modika K.Y., Pitse T., Strydom P.E., Koorsen G. (2017). Is there a Possibility of Meat Tenderness Protein-Biomarkers on the Horizon?. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 6, 467-472.
- Monin G. (1991). Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Productions animales*, 4, 151-160. [en ligne]. Disponible sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00895934>
- Ouali A., Herrera-Mendez C. H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L., Sentandreu M. A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74, 44-58.
- Pethick D.W., Thompson J., Polkinghorne R., Bonny S.P.F., Tarr G., Treford P., Sinclair D., Frette F., Wierzbicki J., Crowley M., Gardner G.E., Allen P., Nishimura T., McGilchrist P., Farmer L., Meng Q., Scollan N., Duhem K., Hocquette J.-F. (2015). Beef and Lamb carcass grading to underpin consumer satisfaction. *Viandes & Produits Carnés, VPC-2015-31-4-3*.
- 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.
- Picard B., Gagaoua M., Micol D., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Terlouw E.M.C. (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.
- Picard B., Lebret B., Cassar-Malek I., Liaubet L., Berri C., Le Bihan-Duval E., Hocquette J.-F., Renand G. (2015). Recent advances in omic technologies for meat quality management. *Meat Science*, 109,18-26.
- Renand G., Allais S. (2010). La sélection des bovins pour une amélioration génétique de la qualité de la viande. In : Bauchard D., Picard B., *Muscle et viande de ruminant*. Paris : QUAE, pp. 151-161.
- Robelin J., Casteilla L. (1990). Différenciation, croissance et développement du tissu adipeux. *INRA Productions animales*, 1990, 3 (4), pp.243-252.
- Smith G.C., Belk K.E., Sofos J.N., Tatum J.D. and Williams S.N. (2000). Economic implications of improved color stability in beef. *John Wiley and Sons*, New York.
- Touraille, C. (1994). Effect of muscle characters on organoleptic traits in meat. *Rencontres Recherches Ruminants*, 1, 169-175.
- Watson R., Gee A., Polkinghorne R., Porter M. (2008). Consumer assessment of eating quality — Development of protocols for Meat Standards Australia (MSA) testing. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 1360–1367.
- Wheeler T.L., Cundiff L.V., Koch R.M., Crouse J.D. (1996). Characterization of biological types of cattle - cycle IV: carcass traits and Longissimus palatability. *Journal of Animal Science*, 74, 1023–1035.