

Critères d'appréciation et facteurs de variation des caractéristiques de la carcasse et de qualité de la viande bovine

SALIFOU C.F.A.¹, YOUSSAO A.K.I.¹, AHOUNOU G.S.¹, TOUGAN P.U.¹, FAROUGOU S.¹, MENSAH G.A.², CLINQUART A.³

¹ Ecole polytechnique d'Abomey-Calavi, Département de Production et Santé animales, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

² Centre de Recherches agricoles d'Agonkanmey, Institut national des Recherches agricoles du Bénin, 01 BP 884, Recette principale, Cotonou, Bénin

³ Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Département des Sciences des Denrées alimentaires, bâtiment B43b, 4000 Liège, Belgique

Correspondance : Professeur I. Youssao Email : iyoussao@yahoo.fr

RÉSUMÉ :

La qualité de la viande est une notion extrêmement variable et évolutive à l'image de la transformation depuis l'animal vivant jusqu'à la carcasse puis la viande. Cet article passe en revue d'une part les critères d'appréciation subjective c'est-à-dire ceux qui varient selon le comportement et les préférences du consommateur et d'autre part les critères d'appréciation objective de la qualité de la carcasse et de la viande bovine. Pour ce qui concerne la qualité de la carcasse, ceux-ci sont principalement le poids, le classement (conformation et état d'engraissement), la composition, le rendement d'abattage et la teneur en viande de la carcasse. Enfin, la composition du muscle, les caractéristiques organoleptiques et technologiques permettant d'apprécier la qualité de la viande bovine sont présentées et discutées.

1. INTRODUCTION

La carcasse de bovin est le corps entier de l'animal abattu tel qu'il se présente après les opérations de saignée, d'éviscération et de dépouillement. Elle se présente sans les organes sexuels et muscles attenants, sans mamelles et graisses mammaires (Conseil de l'Union européenne, 2007). La carcasse est essentiellement composée de squelette osseux et de muscles squelettiques. Immédiatement après l'abattage, le muscle est souple et est le siège de nombreuses réactions biochimiques qui le transforment en viande en quelques heures. De manière générale, le terme « viande » recouvre un ensemble très disparate de produits très diversifiés dans leur composition anatomique (Dumont, 1960). Le règlement (CE) n°852/2004 du Parlement européen et du Conseil relatif à l'hygiène des denrées alimentaires définit la viande comme « les parties comestibles des animaux (ongulés domestiques, volailles, lagomorphes, gibier sauvage, gibier d'élevage, petit gibier sauvage et gros gibier sauvage)

y compris le sang ». Cette définition est donnée dans le contexte de la maîtrise de l'hygiène des aliments, elle ne correspond pas à la définition qui pourrait être donnée dans un contexte nutritionnel. Pour cet aspect, on peut se référer à la directive 2001/101 de la Commission européenne ; celle-ci restreint la définition de la viande aux muscles rattachés au squelette avec indication systématique des espèces animales et admettant qu'une partie de la matière grasse, quand elle est adhérente aux muscles peut être assimilée à de la viande dans le respect des limites maximales prévues.

D'après l'Association française de Normalisation (AFNOR) (Association française de Normalisation, 1982), la qualité est l'« aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs ». La qualité peut être également définie comme l'« ensemble des propriétés et des caractéristiques d'un service ou d'un produit qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés ou implicites » (International Organization for Standar-

dization, 1994). La qualité d'un produit est la résultante de nombreux et divers facteurs liés aux contextes, aux besoins et aux attentes des consommateurs (Bernard *et al.*, 2007). La qualité de la viande est l'ensemble des caractéristiques que lui confèrent ses propriétés organoleptiques, technologiques et nutritionnelles. Elle est une notion complexe, très variable selon les consommateurs et évolue dans le temps. Aux différents produits, correspondent des critères spécifiques. Pour le même produits, les attentes qualitatives varient selon l'interlocuteur concerné et chaque maillon de la filière viande possède sa propre conception de la qualité en fonction du produit concerné et des contraintes de production (Verbeke *et al.*, 2010). La maîtrise de la qualité, en tant que notion complexe et variable, doit reposer sur la connaissance du produit et des systèmes de production (Clinquart *et al.*, 1999). La qualité est le résultat du professionnalisme et celui-ci requiert un niveau de connaissance qui peut conduire à des spécifications extrêmes et différentes du produit « viande de

bœuf ». Cela exige, d'une part, une recherche à long terme et, d'autre part, une transmission efficace des connaissances existantes, aussi bien vers le producteur que vers le consommateur. Cette synthèse vise à décrire les critères subjectifs et objectifs d'appréciation de la qualité de carcasse et de la viande des bovins.

2. LES CRITÈRES SUBJECTIFS D'APPRÉCIATION DE LA QUALITÉ DE LA CARCASSE ET DE LA VIANDE

Contrairement aux critères objectifs qui portent sur des paramètres mesurables techniquement sur la viande et utilisables en routine afin de pouvoir diagnostiquer les non-conformités en temps réel et d'engager, le cas échéant, des actions correctives, les critères subjectifs correspondent à des jugements que le consommateur porte sur la viande avant la décision d'achat et durant la consommation. Ils sont à mettre en relation avec l'image et les valeurs sociales. Ils varient selon le comportement et les préférences du consommateur. Ces critères varient dans l'espace et dans le temps.

En Europe, la perception de la qualité de la viande fraîche a évolué dans le temps. Les travaux d'enquête consommateur réalisés par Grunert (1997) auprès de 200 sujets en Allemagne, en Grande-Bretagne, en Espagne et en France et utilisant une panoplie de méthodes d'enquête déclarative (discussion de groupe, analyse conjointe de la valeur des attributs et mesure des valeurs guidant les attitudes envers la viande à l'aide de la méthode des chaînages cognitifs) ont révélé qu'avant la première crise de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), les motivations d'achat et la perception de la qualité de la viande fraîche de bovin sont unidimensionnelles en Allemagne, en Grande-Bretagne et en Espagne et multidimensionnelles en France. Le point de vente, en particulier le boucher, est considéré comme le garant de la qualité dans tous les pays, mais dans une moindre mesure en Grande-Bretagne. Les plus importants critères d'appréciation de la qualité sont la couleur - dont la perception varie selon la région - et le gras de

couverture. Les effets positifs du gras sur le goût et la tendreté ne sont pas perçus.

De 1996 à 2003, les critères d'appréciation de la qualité de la viande fraîche de bovin ont évolué, notamment, au lendemain des deux crises de l'ESB (Bernués *et al.*, 2003 ; Verbeke et Vackier, 2004). Le pays d'origine, la race, le cahier des charges et le prix d'achat ont gagné en importance. À ces derniers, est souvent associée l'éthique (environnement et bien-être animal). L'importance de chacun de ces critères d'appréciation varie d'une région à une autre en fonction de la qualité gustative ou de la qualité sanitaire. Enfin, il existe une minorité de personnes qui ne consomment que de la viande issue de l'agriculture biologique.

De 2003 à ce jour, les critères sont restés semblables, mais les consommateurs sont de plus en plus sensibles au bien-être animal et au respect de l'environnement.

En dehors de l'Europe, les critères peuvent être quelque peu différents. Ainsi, au Québec par exemple, les choix des consommateurs vont des viandes relativement maigres vers des viandes plus persillées. Aux États-Unis, le critère de choix d'une viande de qualité est le dépôt de gras intramusculaire. Le même critère est observé en Amérique du sud en général dont le Brésil et l'Argentine qui sont aujourd'hui les plus grands exportateurs de viande bovine dans le monde. Le prix demeure un facteur déterminant et les morceaux de viande plus nobles demeurent un produit réservé aux occasions spéciales, contrairement à des produits comme le steak haché (Zarnovican et Guillaume, 2005).

Dans les sociétés chinoise et indienne, la consommation de la viande bovine demeure un tabou religieux assez complexe. En Inde, 20 % de la population appartient à des castes strictement végétariennes et 60 % des castes hindoues respectent l'interdit sur la viande bovine mais pas forcément sur la viande de buffle, de mouton ou de chèvre, sur la volaille, sur le poisson ou sur les œufs (Barbier *et al.*, 2004). En Chine, l'interdit de la consommation de la viande bovine constitue une révélation divine. En plus des considérations religieuses,

les bovins sont considérés comme des animaux de trait et leur viande comme une nourriture du ciel (sacrifices impériaux au ciel). La mise à mort de bovins est parfois comparée à un meurtre, comme chez les humains, car le bœuf est l'animal le plus proche de l'homme, étant son compagnon de travail privilégié dans cette civilisation agricole. De nos jours, l'interdit du bœuf est un marqueur qui différencie les groupes sociaux étroitement structurés et les marginaux, c'est-à-dire, les mangeurs de viande bovine (Goossaert, 2005).

Dans certaines communautés musulmanes ou juives, l'abattage selon les prescriptions halal ou kasher est le premier critère de qualité de la viande bien qu'étant une garantie sur les conditions d'abattage. Dans certaines communautés de l'Afrique subsaharienne, outre les facteurs d'appréciation observés en Europe avant la crise de l'ESB, la couleur rouge vive est également un facteur très déterminant dans l'appréciation de la qualité de la viande. Pour renforcer ce caractère, les bouchers badigeonnent les carcasses avec du sang issu de la saignée (Dognon, 2010). L'achat le jour même de l'abattage est une garantie de la fraîcheur de la viande.

3. LES CRITÈRES OBJECTIFS D'APPRÉCIATION DE LA QUALITÉ DE LA CARCASSE ET DE LA VIANDE

Les critères objectifs sont des critères que l'on constate (sexe, âge, race) ou que l'on mesure sur les carcasses ou sur les viandes tels que le poids, le pH, la couleur...

3.1. Qualité des carcasses des bovins

La qualité de la carcasse est appréciée sur base de critères qui déterminent les aptitudes bouchères. Il s'agit du poids et de la longueur de la carcasse, du poids du dos, du poids et de l'épaisseur de la cuisse, du poids des épaules, du rendement en viande et des teneurs en coproduits (« cinquième quartier »). Cette appréciation peut être

synthétisée sous la forme de deux critères majeurs : la conformation et la composition de la carcasse (proportions de viande maigre, de tissu conjonctivo-adipeux et d'os), qui sont positivement corrélées et indépendantes de la vitesse de croissance pendant l'engraissement et varient selon la race et l'âge des animaux (Renand *et al.*, 2002).

3.1.1. Le poids de la carcasse

Le poids de la carcasse est généralement mesuré à l'issue du processus d'abattage ; on parle alors de poids de la carcasse chaude. Il peut être également mesuré entre 24 à 48 h *post mortem* après refroidissement complet de la carcasse : il s'agit du poids de la carcasse ressuyée ou du poids de la carcasse froide. La perte de poids des carcasses lors du refroidissement et du stockage au frigo est de l'ordre de 2 % après 48 h et 3 % après 8 jours (Cartier et Moëvi, 2007). C'est au début du refroidissement que les carcasses perdent le plus de poids (Dudouet, 2010).

Le poids de la carcasse est un paramètre qui renseigne sur l'aptitude bouchère de l'animal abattu. Dans les mêmes conditions d'élevage et pour un même poids vif, le poids de la carcasse varie en fonction du type génétique (Cliquart *et al.*, 1998). Le poids de carcasse est le critère qui intéresse en premier lieu l'éleveur, car il sert de base à la détermination de sa rémunération. Dans les pays développés, il est un déterminant important de l'orientation de la carcasse vers le circuit de commercialisation le plus approprié. Par contre, dans les pays en voie de développement, la quasi-totalité des tueries ne disposent pas de balance. Le poids à l'abattage est estimé à partir de la conformation de l'animal et constitue l'élément fondamental dans la détermination du prix de vente de l'animal sur pied. Plus le poids estimé est élevé et plus cher est vendu l'animal. Les carcasses issues des animaux, quels que soient leurs poids, ont la même destination (découpées et vendues avec ou sans os selon les désirs des clients). Il n'existe aucune méthode de découpe de référence. De tous les muscles de la carcasse, le faux filet et le filet sont les plus prisés dans les grandes villes des pays en voie de développement.

Dans l'Union européenne, les carcasses sont présentées sans la tête et sans les pieds ; la tête est séparée de la carcasse au niveau de l'articulation atloïdo-occipitale, les pieds sont sectionnés au niveau des articulations carpo-métacarpiennes ou tarso-métatarsiques ; sans les organes contenus dans les cavités thoracique et abdominale ; avec ou sans les reins, la graisse entourant les reins, ainsi que la graisse de bassin ; sans les organes sexuels avec les muscles attenants, sans la mamelle et la graisse mammaire (Conseil de l'Union européenne, 2007). Mais, aux fins de la fixation des prix du marché, une présentation différente peut être prévue. Chaque pays ou région adopte ainsi une forme de présentation qui lui convient.

L'individu, la race, l'âge, la catégorie (jeune bovin, taureau, vache, génisse, bœuf), la conduite d'élevage (utilisation des matières grasses par exemple), les pertes de poids avant abattage, l'émoussage, le dégraissage (Cartier et Moëvi, 2007), la réfrigération et le stockage, sont des facteurs de variation du poids de la carcasse (Cliquart *et al.*, 2000 ; Renand *et al.*, 2002 ; Cartier et Moëvi, 2007). Le système de production ou le régime alimentaire (niveau d'incorporation d'un aliment concentré) influence également le poids des carcasses (Serano *et al.*, 2005).

3.1.2. Rendement de la carcasse

Le rendement de la carcasse est le rapport entre le poids de la carcasse et le poids avant abattage. Il dépend de nombreux facteurs, tels que la race, l'âge et le sexe de l'animal, le régime alimentaire (Cliquart *et al.*, 1998 ; Renand *et al.*, 2002). Chez les ruminants en général et le bovin en particulier, la mise à jeun n'est pas souvent observée surtout dans les pays de l'Afrique subsaharienne. Le rendement de la carcasse à l'abattage est ainsi biaisé à cause de la contribution au poids vif que représente l'aliment en cours de digestion dans les poches gastriques. Pour ce faire, le rendement vrai permet d'estimer avec moins de biais le rendement de la carcasse. Le rendement de la carcasse à l'abattage est également influencé par le délai entre la sortie de l'élevage et l'abattage. Plus la durée du transport est importante, plus le rendement d'abattage est faible. Le rendement et le rendement vrai se calculent à partir des

formules suivantes :

$$\text{Rendement} = \frac{(\text{Poids carcasse chaude}) * 100}{\text{Poids vif}}$$

$$\text{Rendement vrai} = \frac{(\text{Poids carcasse chaude}) * 100}{\text{Poids vif} - \text{poids contenu rumen}}$$

3.1.3. Composition des carcasses

La composition corporelle varie selon le développement différentiel de chacun des éléments constituant le corps de l'animal. Selon Béranger et Robelin (1977), il existe pour un même poids vif, de très grandes variations de la composition corporelle. Celles-ci ont certes une moins grande amplitude que celles qu'on observe lorsqu'on compare à un même âge des animaux de poids différents, mais elles demeurent importantes et sont liées au sexe, au génotype, à l'alimentation et au mode d'élevage des animaux (Micol *et al.*, 1993). L'appréciation de la composition de la carcasse des animaux de boucherie vise beaucoup plus la masse des muscles et des gras (situés à différentes localisations anatomiques) de la carcasse qui sont économiquement très importants dans l'industrie de la viande (Cavanagh *et al.*, 2010). Elle s'évalue de nos jours par de nombreuses méthodes qui sont basées sur la mesure des caractéristiques de la carcasse *post mortem* voire sur la mesure *in vivo* des performances d'engraissement de l'animal, celles-ci étant fortement corrélées avec la composition corporelle (Youssao *et al.*, 2002). L'estimation *post mortem* peut être faite de façon visuelle à partir de la notation de la conformation et de l'état d'engraissement de la carcasse mais elle reste quelque peu subjective. La dissection manuelle après abattage est la méthode la plus objective pour estimer ou prédire la composition de la carcasse. Toutefois, elle présente l'inconvénient d'être destructive, coûteuse et de nécessiter beaucoup de temps. Chez les bovins, elle est souvent réalisée à partir d'un segment de la carcasse correspondant à une ou plusieurs côtes prélevé au niveau de la section des quartiers avant et arrière (Michaux *et al.*, 1983). Dans une étude réalisée par Oliván et collaborateurs (2001) sur des segments monocostaux correspondant aux 6^e et 10^e côtes prélevés sur des taureaux Asturiana de los Valles, l'utilisation de la 6^e côte paraît plus appropriée du fait qu'elle permet une meilleure estima-

tion de la composition de la carcasse ; la composition de la 10^e côte tendant à surestimer la proportion de gras dans la carcasse. Compte tenu des contraintes liées à la dissection et des évolutions techniques, d'autres méthodes ont été développées pour prédire la composition de la carcasse des bovins. Il s'agit de la spectroscopie dans le proche infrarouge, de l'ultra-sonographie ou de l'analyse d'images obtenues par caméra sur la carcasse ou l'animal vivant, et plus récemment de l'utilisation des rayons X particulièrement du *X-ray computed tomography* (CT) (Prieto *et al.*, 2010).

3.1.4. Teneur en viande maigre

La teneur en viande maigre est la quantité de viande maigre nette que contient une carcasse. Elle permet de calculer le rendement net en viande maigre commercialisable qui s'obtient par le rapport entre le poids de viande maigre et le poids de la carcasse froide. Ce rendement est un critère de qualité essentiel pour le transformateur. Le poids de la viande maigre se calcule en déduisant le poids des parties non maigres (graisse et os) du poids total de la carcasse avant dissection. La qualité de la carcasse est d'autant meilleure qu'elle présente un rendement en viande commercialisable élevé et que celle-ci est composée elle-même d'une plus grande proportion de morceaux à cuisson rapide.

$$\text{Teneur en viande} = \frac{(\text{Poids net de viande de la carcasse froide}) * 100}{\text{Poids de la carcasse froide}}$$

3.1.5. Classement des carcasses des bovins

En Europe, le classement des carcasses se fait sur la base d'une règle-

mentation spécifique relative à la grille communautaire de classement des carcasses de gros bovins dont les modalités d'application sont précisées dans le règlement (CE) n°1249/2008 de la Commission européenne. Aux Etats-Unis, la classification des carcasses des bovins est appliquée sur base de normes spécifiques du Département de l'Agriculture (United States Department of Agriculture, 1997). Elle est basée sur la catégorie, la maturité et le « *marbling* ».

3.1.6. Classement des carcasses des bovins dans l'Union européenne

Le classement intervient en fin de chaîne d'abattage et consiste à exprimer un jugement sur base de la grille communautaire de classement. Cette grille a été conçue à l'origine pour standardiser le mode de communication des prix nationaux vers la Commission européenne. La qualité des carcasses est basée sur trois critères : la catégorie, la conformation et l'état d'engraissement.

3.1.6.1 La catégorie

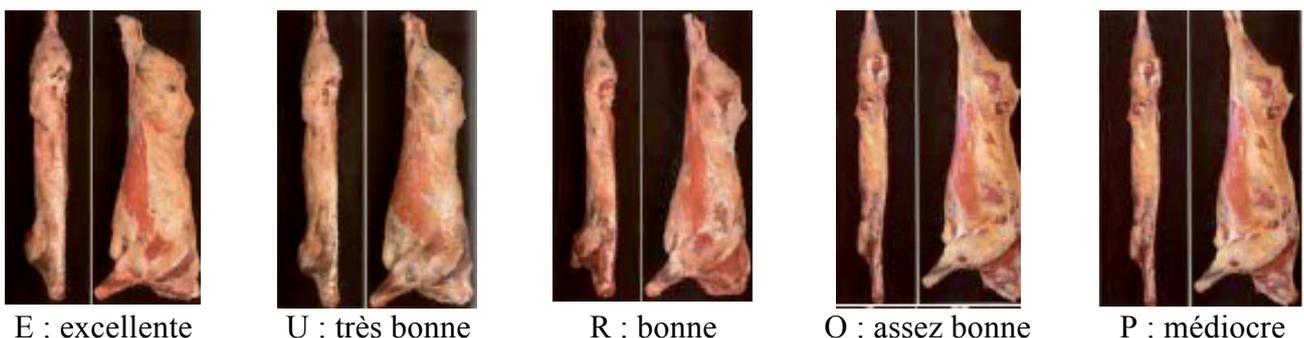
Selon le règlement (CE) n°1234/2007 du Conseil de l'Union européenne, les carcasses de bovins sont réparties dans les catégories suivantes :

- A : carcasses de jeunes animaux mâles non castrés de moins de 2 ans ;
- B : carcasses d'autres animaux mâles non castrés ;
- C : carcasses d'animaux mâles castrés ;
- D : carcasses d'animaux femelles ayant déjà vêlé ;
- E : carcasses d'autres animaux femelles.

3.1.6.2 La conformation

La conformation est le développement des profils de la carcasse, et notamment des parties essentielles de celle-ci (cuisse, dos, épaule). Selon le règlement (CE) n°1249/2008 de la Commission européenne, la conformation est exprimée selon la grille SEUROP avec respectivement S pour la classe de conformation supérieure, E pour excellente, U pour très bonne, R pour bonne, O pour assez-bonne et P pour médiocre (figure 1). Pour chaque classe, des subdivisions en sous-classes sont possibles (trois au maximum) et matérialisées selon le degré croissant de conformation au sein de la classe. La conformation varie selon l'âge, la race et l'alimentation des animaux. Les races Blonde Aquitaine, Limousine et Charolaise présentent respectivement une conformation de l'ordre de E- à U=, U+ à U-, U= à U- alors que la Holstein (race laitière) présente une moins bonne conformation variant de O= à O-. La race Blanc bleu belge, plus particulièrement le type culard qui prédomine, présente une conformation exceptionnelle S allant parfois à E. Dans une même race, la conformation des carcasses est influencée par un effet catégorie (jeune, adulte, mâle, femelle, castré, etc.). Les jeunes bovins mâles sont mieux conformés que les bœufs. Leur conformation augmente avec le poids de la carcasse, plus le poids de l'animal est élevé, mieux il est conformé (Cartier et Moëvi, 2007). Des travaux portant sur l'alimentation des bovins ont montré que la quantité de protéines de la ration des animaux élevés en étable influençait également la conformation : de meilleures conformations ont été obtenues avec des rations dont la teneur en protéines était plus importante (Clinquart *et al.*, 2000).

Figure 1 : Classes de conformations de la carcasse des bovins (Office de l'Elevage, 2007)



3.1.6.3. Etat d'engraissement

L'état d'engraissement exprime l'importance de la graisse à l'extérieur de la carcasse (gras de couverture) et sur la face interne de la cage thoracique. La présence du gras sur les carcasses peut être influencée par plusieurs facteurs tels l'âge, le sexe, le génotype et la vitesse de croissance (Micol *et al.*, 1993). Les femelles s'engraissent plus vite que les mâles, les mâles castrés étant en position intermédiaire (Cartier et Moëvi, 2007). En moyenne l'état d'engraissement augmente des jeunes bovins aux bœufs, des bœufs aux génisses et des génisses aux vaches (Cartier et Moëvi, 2007). Les travaux de French et collaborateurs (2000) sur de jeunes bœufs croisés d'un poids initial de $504 \pm 38,5$ kg, nourris pendant 85 jours avec du fourrage supplémenté avec des niveaux différents de concentré et ceux de Sami et collaborateurs (2004) sur des taureaux Simmental âgés de 15 mois, d'un poids initial de 489 kg, nourris pendant 100 jours et 138 jours avec de l'ensilage de maïs associé à des niveaux différents de concentré, ont révélé que, les vitesses de croissance élevées sont associées à des carcasses plus grasses. Serrano et collaborateurs (2005) n'ont, par contre établi aucun lien entre la vitesse de croissance et le niveau d'engraissement de la carcasse de veaux rosés Salers abattus à 10 mois d'âge et nourris à base de fourrage supplémenté avec différents niveaux de concentré à partir de 4,5 mois d'âge. Des contradictions existent donc en ce qui concerne la relation entre vitesse de croissance et niveau d'engraissement de la carcasse. Dans la grille de classement européenne (Commission européenne, 2008), l'état d'engraissement se juge sur une échelle de 1 à 5 avec des subdivisions en sous-classes possibles (trois au maximum) et matérialisées selon le degré croissant de l'état d'engraissement. Chacune des classes indique dans l'ordre croissant, un état d'engraissement très faible (1), faible (2), moyen (3), fort (4) et très fort (5). Des grilles de notations peuvent différer en fonction des races bovines ou en fonction du type laitier ou allaitant.

Il convient de noter que l'évaluation de la conformation et de l'état d'engraissement est réalisée de manière visuelle par des classificateurs qualifiés. Les modalités d'application visent à réduire autant que possible la subjectivité du classement. L'utili-

sation de techniques automatisées est autorisée dans des conditions qui sont, elles aussi, précisées et qui concernent notamment leur validation. À titre d'exemple, en Europe, une machine à classer simplifiée appelée Normaclass (figure 2), a été mise au point pour apprécier la conformation et l'état d'engraissement des carcasses de gros bovins à partir des images de l'extérieur et de l'intérieur de chaque carcasse.

3.1.7. Classement des carcasses de bovins aux Etats Unis

Aux USA, le secteur de la viande avait développé de longue date sa propre terminologie pour discriminer différents niveaux de qualité de viande. Le système de classement proposé par le Département de l'Agriculture (*United States Department of Agriculture*) il y a près de 100 ans a donc pris en compte des critères de classement étroitement reliés à la qualité de la viande, en particulier le dépôt de graisse intramusculaire visible (« *marbling* », que l'on peut traduire en français par le caractère persillé de la viande), facteur déterminant du grade attribué. Dans sa forme actuelle, il prend en compte trois facteurs :

3.1.7.1. La catégorie

Le système américain distingue cinq classes de carcasses : *steers* (jeune boeuf), *bullock* (bœuf), *bulls* (taureaux), *heifers* (génisses) et *cows* (vaches). La distinction entre ces classes est faite en fin de ligne d'abattage selon des critères détaillés dans ces normes.

3.1.7.2. L'âge ou la maturité de l'animal

La maturité de l'animal est classée sur une échelle de A à E (5 classes) par ordre croissant de maturité. Les classes A et B incluent les jeunes taureaux et les génisses ; les classes C, D et E incluent les vaches laitières de réforme, les taureaux de reproduction et les animaux présentant un retard de croissance ou un degré de finition excessif.

3.1.7.3. Le caractère persillé

Ce caractère est évalué sur la surface de coupe du muscle *longissimus dorsi* qui apparaît lors de la séparation des

Figure 2 : machine à classer simplifiée MAC S (Normaclass)



quartiers avant et arrière. Si la texture et la couleur des zones maigres du muscle est acceptable, le degré de « *marbling* » est décrit par une série de termes subjectifs en fonction du pourcentage de la surface de la viande sur laquelle la graisse est visible : « *slightly abundant* », « *moderate* », « *modest* », « *small* », « *slight* », « *traces* » et « *practically devoid* » par ordre décroissant.

Le « *quality grade* » de la carcasse est établi sur base de l'évaluation combinée de ces facteurs : pour les degrés de maturité A et B, les carcasses sont discriminées « *prime* », « *choice* », « *select* » et « *standard* » ; pour les degrés de maturité C, D et E, on distingue les classes « *commercial* », « *utility* », « *cutter* » et « *canner* » par ordre décroissant de qualité. Ce système présente l'avantage de prendre en compte la qualité de la viande mais pour inconvénient, de nécessiter un entraînement considérable pour être utilisé de manière correcte, en particulier pour ce qui concerne le caractère persillé.

Le « *yield grade* » (ou classe de rendement) de la carcasse est quant à lui établi sur base d'une équation prenant en compte quatre paramètres : la quantité de graisse externe, la quantité de graisse péri-rénale, pelvienne et péri-cardiaque, la surface de section du

muscle *longissimus dorsi* et le poids de la carcasse chaude. Sur base du résultat, cinq classes sont distinguées, la classe I correspondant au rendement le plus élevé.

3.2. Qualité de la viande

En général, le terme qualité d'un aliment regroupe : la qualité organoleptique ou sensorielle, la qualité nutritionnelle ou diététique, la qualité technologique, la qualité hygiénique ou sécurité sanitaire c'est-à-dire la maîtrise des dangers chimiques, biologiques et physiques associés à l'aliment. Cette dernière ne sera pas développée dans la présente synthèse. La viande est le produit de transformation du muscle après la mort de l'animal. Ce muscle correspond à un terme anatomique définissant une partie précise d'un organisme ; en aucun cas ce terme n'est utilisé pour définir un aliment, c'est le terme viande qui est alors employé (Coibion, 2008).

3.2.1. Composition du muscle

Le muscle est composé d'eau, de protéines, de lipides, de glucides, de vitamines et des minéraux tels que le fer, le zinc et le sélénium (Clinquart *et al.*, 1999 ; Volatier et Dufour, 2006 ; Bauchart *et al.*, 2008). Hormis l'eau, les protéines et les lipides constituent les nutriments majeurs de la viande, la teneur en hydrates de carbone des tissus musculaires étant faible (Coibion, 2008). La composition du muscle varie d'un animal à l'autre et d'un muscle à l'autre chez le même animal. La carcasse d'un bovin est constituée de 105 muscles différents (Coibion, 2008).

3.2.1.1. Structure du muscle

L'unité de base du tissu musculaire est la fibre musculaire, constituée de myofibrilles, du réticulum sarcoplasmique et du sarcoplasme. Chaque fibre est entourée par l'*endomysium* et chaque groupe ou faisceau de fibres musculaires est entouré par le *perimysium*. Le muscle dans son ensemble est, quant à lui, enveloppé par l'*epimysium* qui, avec le *perimysium*, attache le muscle à l'os par le tendon. Les fibres musculaires striées se distinguent en trois types de fibres pures en fonction de l'isoforme de myosine qu'elles contiennent et des caractéristiques morpho-fonctionnelles de celles-ci (Picard *et al.*, 2003) : les fibres de

type I dites « fibres rouges à métabolisme oxydatif », car riches en myoglobine, de petit calibre et à contraction lente ; les fibres de type IIB dites « fibres blanches à métabolisme glycolytique », pauvres en myoglobine, de plus grand diamètre de section et à contraction rapide ; et les fibres de type IIA dites « intermédiaires » et possédant certaines caractéristiques des fibres du type I et d'autres de celles du type IIB. Ce sont des fibres à vitesse de contraction rapide ayant un métabolisme oxydatif et glycolytique. Une catégorie supplémentaire de fibres pures à vitesse de contraction rapide et à métabolisme oxydo-glycolytique intermédiaire entre celui des fibres IIA et IIB a été identifiée plus tard chez certaines espèces. Il s'agit des fibres IIX qui ont été découvertes d'abord chez les rongeurs puis mises en évidence chez le porc. Dans le muscle des bovins (comme chez l'humain, le cheval, le mouton), il s'avère que les fibres dénommées IIB par les méthodes histo-chimiques, correspondent en fait aux fibres IIX (Picard et Cassar-Malek, 2008). Les fibres IIB sont quasi absentes, l'isoforme de la chaîne lourde de myosine (MyHC) IIB était considérée comme non exprimée, exception faite pour le muscle extra-oculaire. En 2008, celle-ci a été mise en évidence dans les muscles *semitendinosus* et *longissimus dorsi* de certains taurillons de race Blonde d'Aquitaine. Les techniques classiques d'histo-chimie ne permettent pas une séparation des fibres IIB et IIX tandis qu'une séparation par électrophorèse des isoformes de la MyHC en fonction de leur poids moléculaire permet de les différencier. Les isoformes MyHC IIX ont un poids moléculaire inférieur aux isoformes MyHC IIB (Picard *et al.*, 2003 ; Picard et Cassar-Malek, 2008 ; Picard *et al.*, 2009). Outre ces quatre types de fibres pures, des types hybrides tels que les fibres IIC renfermant à la fois les isoformes de MyHC I et IIA et les fibres IIX contenant les isoformes IIA et IIX ont été mis en évidence au moyen d'anticorps anti-MyHC (Picard *et al.*, 2003 ; Picard et Cassar-Malek, 2008 ; Picard *et al.*, 2009).

3.2.1.2. Le collagène

Le collagène est une protéine extracellulaire fibreuse contenu dans le tissu conjonctif qui enveloppe les fibres musculaires. Il existe différents types de collagènes : le type IV et des traces

des types I et III sont présents dans l'*endomysium* alors que les types I et III sont contenus dans le *perimysium* et contribuent, en synergie avec les fibres musculaires à la dureté de la viande (Dransfield, 1994). Le taux et l'insolubilité du collagène d'un muscle déterminent sa destination culinaire de sorte que le prix d'un morceau de viande est inversement corrélé à sa teneur en collagène et/ou à l'insolubilité de celui-ci. Selon le taux et l'insolubilité du collagène d'un muscle, on distingue ainsi des muscles dits à cuisson rapide et d'autres dits à cuisson lente.

3.2.1.3. Les protéines

Les produits animaux, plus particulièrement les viandes, sont considérés comme une source importante de protéines. La viande rouge crue contient en moyenne 20-24 g de protéines par portion de 100 g ; une fois cuite, sa teneur est de 27-35 g (Williamson *et al.*, 2005). La qualité de la protéine se reflète par sa composition en acides aminés essentiels. La composition en acides aminés de la viande varie selon que les protéines appartiennent aux fibres musculaires ou aux tissus conjonctifs associés. Aux protéines myofibrillaires dont l'actine et la myosine sont les plus abondantes, s'ajoutent les protéines du tissu conjonctif constituées principalement de collagène et d'élastine. Les protéines myofibrillaires contiennent plus d'acides aminés essentiels (plus particulièrement la lysine, la leucine, l'isoleucine et les acides aminés soufrés) que le tissu conjonctif dont les acides aminés sont riches en glycine, proline et hydroxyproline avec une absence quasi-totale de tryptophane et de méthionine. La teneur en acides aminés d'un muscle dépend donc de sa teneur en collagène puisque celle-ci est variable. En effet, la proportion entre protéines myofibrillaires et protéines du tissu conjonctif varie selon l'animal (race, sexe), le type de muscle et les traitements auxquels celui-ci a été soumis, ce qui entraîne des différences de composition en acides aminés.

3.2.1.4. Les lipides

On distingue généralement deux types de gras : le gras sous-cutané visible et le gras inter- et intramusculaire (correspondant au persillé de la viande) plus ou moins visible. La teneur en

lipides est le paramètre le plus variable de la composition des viandes. La graisse contenue dans la viande rouge varie généralement selon l'espèce, la race, le régime alimentaire et le muscle (Clinquart *et al.*, 2000 ; Sauvant, 2001 ; Williamson *et al.*, 2005 ; Bauchart *et al.*, 2008). Des analyses réalisées sur les morceaux de muscles et abats de vaches de réforme de races Charolaise et Holstein ont révélé que les morceaux les plus pauvres en lipides sont le tende de tranche ou muscle *gracilis* (2,3 g/100 g) et la macreuse ou *Triceps brachii* (3,4 g/100 g) et les plus riches sont l'entrecôte, la hampe et le plat de côte ou muscles *Intercostales externus* et *internus* (8,7 ; 8,6 et 7,6 g/100 g respectivement) ; la teneur moyenne en lipides des morceaux est de 6 g/100 g (Bauchart *et al.*, 2008). Dans 100 g de muscle *longissimus dorsi* de taurillons des races Blanc Bleu Belge, Limousine et Aberdeen Angus, il a été obtenu respectivement 0,52, 1,11 et 1,50 g de lipides totaux (Cuvelier *et al.*, 2006). Les lipides de la viande sont essentiellement composés d'acides gras dont la composition varie fortement selon l'espèce, la proportion de maigre et la localisation de la graisse. Les viandes maigres contiennent proportionnellement plus d'acides gras polyinsaturés et moins d'acides gras saturés ; le gras visible est plus riche en acides gras saturés (Li et Siriamornpun, 2005). La graisse du bœuf (suif) contient moins d'acide linoléique que la graisse du porc (saindoux). Par ordre croissant de la teneur en acides gras polyinsaturés on trouve : la graisse de bœuf, de mouton, de porc, de lapin et de volaille. Elle passe de 2 à environ 20 %, en fonction du degré d'adiposité chez toutes les espèces (Clinquart *et al.*, 1999). Chez les ruminants, la composition en acides gras du tissu adipeux est peu influencée par l'alimentation contrairement aux porcs, poulets et autres monogastriques. Les acides gras monoinsaturés représentent 41 à 45 % des acides gras intramusculaires totaux chez le bovin, le porc et la poule (Chesneau *et al.*, 2004). Le gras intramusculaire chez le bovin montre un caractère plus saturé que celui des monogastriques, mais les différences sont fonction du degré d'adiposité totale (Clinquart *et al.*, 1999).

Chez les ruminants, un accroissement des teneurs en lipides intramusculaires est observé lorsque le régime est à base de concentrés. Ceux-ci sont essentiellement constitués de triglycérides

dont la composition est riche en acides gras monoinsaturés et en acides gras saturés (Sauvant, 2001). Par contre, lorsque ils sont nourris à l'herbe, il est observé une augmentation de la teneur en acide α -linoléique -un acide gras polyinsaturé de type oméga 3- et de celles de ses dérivés à chaînes plus longues (Dufey, 2010). Selon qu'il s'agisse d'une alimentation riche en énergie contenant des concentrés ou d'une alimentation à base de fourrages, les différences liées à l'alimentation sont sous-estimées, notamment sur le plan de l'équilibre entre les acides gras polyinsaturés des familles n-6 et n-3 (Chesneau *et al.*, 2004).

3.2.1.5. Les minéraux

La viande est une excellente source de minéraux notamment en fer et en zinc. Elle est pauvre en manganèse, chrome et sélénium (teneurs inférieures à 1 ppm). La teneur en fer de la viande de bœuf n'est pas négligeable : à titre d'exemple, 100 g de viande de vaches de réforme des races Charolaise et Holstein apportent entre 2,2 et 3,8 mg de fer (Bauchart *et al.*, 2008). Des analyses effectuées sur des viandes issues des races bovines françaises ont révélé que la hampe (muscle plus oxydatif) est le muscle le plus riche en fer (3,7 mg/100 g), suivi de la bavette (3,3 mg), de la macreuse (*triceps brachii*), de la tende de tranche (*gracilis*) et du paleron (en moyenne 2,7 mg/100 g de viande). Les muscles glycolytiques (le faux filet et l'entrecôte ou *longissimus thoracis*, et le plat de côtes ou *intercostales externus* et *internus*) sont les morceaux les moins riches en fer (2,3 mg/100 g). Les abats de bovins sont en moyenne deux fois plus riches en fer total que les muscles et leur teneur est fonction du type d'abats et de la race (Bauchart *et al.*, 2008). La concentration en fer dans les muscles augmente avec l'âge (Boccard *et al.*, 1979). La majorité du fer (70 % du fer des viandes hors abats) contenu dans la viande est sous forme hémunique (Williamson *et al.*, 2005 ; Bauchart *et al.*, 2008). Le type de muscle et la race expliquent respectivement 63 % et 32 % de la variabilité de la teneur en fer hémunique (analyses réalisées sur les morceaux de muscles et abats des vaches de réforme des races Charolaise et Holstein). Ce dernier est bien absorbé par les entérocytes de l'intestin grêle (Lombardi-Boccia *et al.*, 2002 ; Bauchart *et al.*, 2008). Les

proportions de fer hémunique (70 %) et non hémunique (30 %) ne sont pas fonction du type de muscle (Williamson *et al.*, 2005 ; Bauchart *et al.*, 2008). La viande bovine est riche en zinc (2,7 mg/100 g) et sa teneur varie en fonction du muscle, le morceau le plus riche est la bavette (6,8 mg/100 g) et le plus pauvre est la joue (2,7 mg) (Bauchart *et al.*, 2008). La viande apporte 9,8 à 14,6 μ g de sélénium/100 g. La teneur de ce dernier dépend autant du morceau que de l'individu, mais elle n'est pas influencée par la race.

3.2.1.6. Les vitamines

La viande est une excellente source de vitamines en particulier les vitamines B₆ (pyridoxine) B₃ (niacine) et B₁₂. Par portion de 100 g, elle apporte 3,7 à 5,8 mg de vitamine B₃, 0,15 à 0,51 mg de B₆ et 1,2 à 7,2 μ g de B₁₂, selon le morceau considéré (Rock, 2002 ; Bauchart *et al.*, 2008). Cent grammes de viande crue couvrent environ 20 % des besoins journaliers en vitamines B₃ et B₆, et la totalité des besoins en vitamines B₁₂ (Cartier et Moëvi, 2007). Ces apports dépendent du morceau et de l'individu. Les muscles glycolytiques tendent à être plus pauvres en vitamines B₆ et B₁₂ mais plus riches en vitamine B₃ tandis que les muscles oxydatifs sont plus riches en vitamines B₆ et B₁₂ et plus pauvres en vitamine B₃. Les vitamines liposolubles telles que les vitamines A et D ne se retrouvent en quantités significatives que dans quelques abats, notamment le foie (Demeyer *et al.*, 1999). La viande constitue également une bonne source de vitamine E, antioxydant naturel qui permet de limiter l'oxydation des lipides et des pigments responsable de l'altération de la flaveur et de la couleur de la viande au cours de sa conservation (Clinquart *et al.*, 2000). Une alimentation riche en herbe augmente naturellement la teneur en vitamine E, permettant de stabiliser la couleur et de prévenir les déviations de goût (Dufey, 2010). Des teneurs en vitamine E voisines de 6,5-7 μ g/g ont été observées par Durand *et collaborateurs* (2001) dans le rumsteak de bovins nourris à l'herbe.

3.2.1.7. Facteurs de variation des constituants nutritionnels de la viande

La composition nutritionnelle de la viande varie selon l'espèce (Williamson *et al.*, 2005). Au sein d'une même

espèce, il existe des variations dues à de nombreux paramètres tels que les facteurs de production liés à l'animal (la race, le sexe et l'âge), les facteurs de production d'ordre technique (le régime alimentaire, le logement, le stress), les facteurs de conservation, de cuisson (Williamson *et al.*, 2005 ; Bauchart *et al.*, 2008 ; Dufey, 2010). Au sein d'un même animal, la qualité des viandes peut varier selon les muscles et leur type métabolique.

3.2.2. Transformation du muscle en viande

Après l'abattage, le muscle est souple et est immédiatement le siège de nombreuses réactions biochimiques. On considère généralement que l'évolution de la viande se fait en trois phases successives : l'état pantelant, la phase de rigidité cadavérique et la phase de maturation. L'état pantelant se caractérise par une succession de contractions et de relaxations du muscle associée à une diminution des réserves énergétiques et au recours à la glycolyse anaérobie. Le glycolyse est transformé en acide lactique qui s'accumule dans le muscle et l'acidifie. L'épuisement des réserves énergétiques entraîne le raidissement des muscles : c'est la rigidité cadavérique ou *rigor mortis* qui apparaît quelques heures après la mort chez les bovins dont la carcasse est soumise à la réfrigération. L'augmentation de la dureté qu'elle confère à la viande sera progressivement compensée par la maturation. Celle-ci est une phase d'évolution favorable de la tendreté qui devient perceptible après l'apparition de la *rigor mortis* bien que la plupart des réactions d'hydrolyse de certaines protéines myofibrillaires qui y sont associées aient commencé dès l'abattage. Elle contribue à la transformation du muscle en viande. C'est également au cours de cette phase que se forment les précurseurs des arômes et de la saveur de la viande (Cartier et Moëvi, 2007 ; Coibion, 2008 ; Eadmusik, 2008). Plusieurs systèmes protéolytiques sont impliqués dans le phénomène d'attendrissement. Il s'agit du système calpaïnes-calpastatine, du système cathepsines-cystatines et plus hypothétiquement du système protéasome. La μ - et la m-calpaïne et, dans une moindre mesure, les protéases lysosomales (les cathepsines D, B, L et H) sont considérées comme les éléments majeurs du processus d'attendrissement de la viande *post mortem*

(Christensen *et al.*, 2003 ; Koohmaraie et Geesink, 2006 ; Chéret *et al.*, 2007). Des actions de complémentarité et/ou de synergie ont été envisagées. Zamora et collaborateurs (2005) et Herrera-Mendez et collaborateurs (2006) ont évoqué l'implication majoritaire des caspases (cystéines peptidases intervenant dans les processus apoptotiques) dans la maturation des viandes. Une étude plus récente réalisée *in vitro* par Mohrhauser et collaborateurs (2011) réfute les thèses précédentes en révélant que c'est la μ -calpaïne et non la caspase-3 qui est responsable de la dégradation des principales protéines myofibrillaires du bovin. Des contradictions demeurent donc en ce qui concerne la participation des caspases dans l'attendrissement de la viande bovine.

Outre l'action des protéases de la famille des calpaïnes principalement responsables de la maturation de la viande, plusieurs auteurs (Ouali *et al.*, 2006) suggèrent l'implication du phénomène d'apoptose par lequel, dès la mort de l'animal, les cellules musculaires s'engagent sur la voie de la mort cellulaire. Le rôle de ce mécanisme dans l'amélioration de la tendreté est cependant controversé (Guillemin *et al.*, 2009 ; Mohrhauser *et al.*, 2011).

3.2.3. Qualité organoleptique de la viande bovine

Les qualités organoleptiques des viandes regroupent les propriétés sensorielles à l'origine des sensations de plaisir associées à leur consommation. La qualité sensorielle de la viande est déterminée par sa couleur, sa flaveur, sa jutosité et sa tendreté. Chez le bovin, ces caractéristiques varient selon le type génétique, l'âge (à ne considérer que pour des différences d'âge importantes et en absence de toute influence d'autres facteurs), le sexe des animaux, la conduite de la production (niveau énergétique et protéique de la ration, vitesse de croissance, utilisation du pâturage, apports en vitamine E), le stress, voire l'utilisation des promoteurs de croissance lorsque celle-ci est autorisée (Clinquart *et al.*, 2000 ; Hocquette *et al.*, 2005). Par ailleurs, les phénomènes biochimiques et structuraux qui se produisent au cours des 24 premières heures *post mortem* ont une très grande influence sur la

qualité organoleptique ultérieure de la viande, en particulier sur la couleur et la tendreté (Savell *et al.*, 2005).

3.2.3.1. La couleur de la viande

La couleur de la viande est la première caractéristique qualitative de la viande perçue à l'achat. Le consommateur la considère comme un critère de fraîcheur du produit (Clinquart *et al.*, 2000 ; Coibion, 2008). Elle est la résultante de quatre composantes dont les deux premières expliquent la couleur du produit frais et les deux dernières, son évolution lors de sa conservation (Normand, 2005 ; Cartier et Moëvi, 2007) :

- la composante structurelle de la couleur est liée à la structure physique du muscle et en particulier à son degré d'acidification (pH) qui modifie la luminosité du produit (rouge plus ou moins clair) ;
- la composante quantitative, c'est-à-dire la quantité de pigment rouge dans le muscle, qui détermine la saturation de la couleur (rouge vif ou terne, grisâtre). La myoglobine (transporteur de l'oxygène dans le muscle) est le principal pigment responsable de la couleur de la viande. Elle est une chromoprotéine constituée d'un groupement héminique contenant l'hème (atome de fer associé à la protoporphyrine) et d'une protéine, la globine. À une teneur en fer héminique plus élevée, est associée une viande moins claire avec une intensité du rouge plus élevée et une intensité du jaune plus faible (Renand *et al.*, 2002). Au cours de la conservation, les composantes structurelle et quantitative évoluent peu ;
- la composante qualitative, relative à la forme chimique du pigment musculaire, qui évolue au cours du temps. La myoglobine réduite (Mb, Fe²⁺) correspond au pigment en profondeur du muscle ou à la surface de la viande lorsque celle-ci est conservée en l'absence d'oxygène. Exposé à l'air, le pigment se combine à l'oxygène pour former l'oxymyoglobine (MbO₂, Fe²⁺) de couleur rouge vif, synonyme de fraîcheur et attractive pour le consommateur. La formation de MbO₂ est d'autant plus importante que la pression partielle en oxygène est élevée, ce qui

explique que la couleur rouge vive apparaît en surface d'une viande conservée à l'air atmosphérique ou sous oxygène. La myoglobine réduite peut aussi se combiner avec d'autres ligands comme le monoxyde de carbone (CO) ou l'oxyde nitrique (NO) pour former la carboxy- ou la nitroso-myoglobine. Avec le temps, le contact de la MbO₂ avec l'oxygène de l'air va conduire à la formation de myoglobine oxydée (Fe⁺⁺⁺) ou metmyoglobine (MetMb), de couleur brune indésirable et non attractive (Mohamed *et al.*, 2008). Ce phénomène est plus important à une pression partielle en oxygène faible qu'à une pression partielle élevée ce qui explique que, lors de la conservation d'une viande à l'air atmosphérique, la décoloration apparaît d'abord dans la couche sous-jacente à la surface. Rapidement après l'abattage, à l'air libre, et à basse température, la consommation d'oxygène par les mitochondries diminue, et au contact de l'air, la diffusion de l'oxygène atmosphérique augmente à la surface de la viande. De ce fait, la couche d'oxymyoglobine (MbO₂) en surface s'épaissit et la viande devient plus rouge (*blooming* en anglais). Au cours de la conservation, la couche de metmyoglobine (MetMb) s'épaissit et se rapproche de la surface de la viande et la couleur passe du rouge au brun (Mancini et Hunt, 2005).

- la composante bactériologique, liée au développement de bactéries en surface de la viande et à de possibles interactions avec le pigment.

La stabilité de la couleur dépend essentiellement de la vitesse de consommation d'oxygène par les mitochondries,

dries, de la vitesse d'autooxydation de la myoglobine, en relation avec l'oxydation des lipides musculaires et de la réduction de la myoglobine oxydée par des systèmes enzymatiques ou non enzymatiques (Renerre, 2000).

La couleur de la viande peut être déterminée par une méthode sensorielle ou par une méthode instrumentale. La méthode sensorielle consiste à juger de manière visuelle en se basant sur des grilles de classement de couleur plus ou moins standardisées et officialisées (figure 3). Cette évaluation porte sur la pigmentation ou l'altération de la couleur (Cartier et Moëvi, 2007). La méthode instrumentale repose sur l'évaluation physico-chimique, notamment, le dosage du fer héminique, des différentes formes de la myoglobine, de l'hémoglobine et de l'hématocrite (Moëvi, 2006). En présence de lumière visible, les spectres d'absorbance ou de réflectance des différentes formes de la myoglobine sont très différents. Il est dès lors possible, par spectrophotométrie, d'estimer les proportions de ces différentes formes sur base des valeurs d'absorbance ou réflectance mesurées à des longueurs d'ondes spécifiques sur un extrait de viande ou en surface de celle-ci. Une autre approche consiste à déterminer par colorimétrie la couleur de la viande exposée à un illuminant imitant la lumière du jour (D65 généralement) et à l'exprimer d'une manière standardisée, le plus souvent dans l'espace de couleur C.I.E. L*a*b* (American Meat Science Association, 1991 ; Mancini et Hunt, 2005 ; Tapp III *et al.*, 2011). Il s'agit d'un espace colorimétrique à trois dimensions, dans lequel chaque couleur est définie par trois paramètres indépendants, correspondant à chacun des axes de cet espace : la clarté L* exprimée en pourcent, allant de 0 pour le noir à 100 pour le blanc ;

l'indice de rouge a* (de + 60 pour le rouge à - 60 pour le vert) et l'indice de jaune b* (de + 60 pour le jaune à - 60 pour le bleu) (Moëvi, 2006). Ces deux derniers peuvent être combinés pour définir la saturation $[(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$, qui dépend de la quantité de pigments présents dans le muscle et l'angle de teinte ($\tan^{-1} b^*/a^*$), qui varie en fonction de l'état chimique des pigments. La clarté L* est influencée par l'état de surface de la viande (Coibion, 2008). Chez les bovins adultes, c'est la clarté qui rend le plus compte de la couleur de la viande, telle qu'elle est perçue par l'homme. Les valeurs de L* couramment mesurées après la coupe primaire sur le muscle *longissimus dorsi*, oscillent entre 28 et 30 pour les viandes de couleur rouge foncé et entre 50 et 55 pour les viandes de couleur rouge très clair (Moëvi, 2006). Durant le stockage, l'augmentation de l'angle de la teinte et la diminution de la saturation indiquent un changement de couleur du rouge au jaune-marron et donc une oxydation. L'oxydation peut aussi être suivie par la diminution de la valeur de a* (Renerre, 2006).

La couleur de la viande apparaît plus rouge et plus foncée avec l'augmentation de l'âge (Clinquart *et al.*, 2000 ; Priolo *et al.*, 2001) et du poids de la carcasse (Keane et Allen, 1999 ; Vestergaard *et al.*, 2000) et avec nature du régime alimentaire : les animaux engraisés au pâturage donnent des viandes plus sombres que ceux finis avec des aliments concentrés (Serrano *et al.*, 2005 ; Insani *et al.*, 2008 ; Mohamed *et al.*, 2008 ; Schor *et al.*, 2008), la précocité de l'animal (Normand, 2005 ; Cartier et Moëvi, 2007), le type métabolique du muscle et la composition en fibres musculaires (Cuvelier *et al.*, 2006), le taux de persillé et la teneur en pigments héminiques (Moëvi, 2006 ; Bodas *et al.*, 2007 ; Moha-

Figure 3 : classes de couleurs de viande (Moëvi, 2006).



Blanc : rouge très clair

Rosé clair : rouge clair

Rosé : rouge vif

Rouge : rouge foncé
(hors pH élevé)

med *et al.*, 2008), la période précédant immédiatement l'abattage (conditions stressantes) et la période *post mortem* (Moëvi, 2006 ; Bodas *et al.*, 2007 ; Mohamed *et al.*, 2008), influencent également la couleur de la viande.

3.2.3.2. La tendreté de la viande

La tendreté est le critère de qualité le plus important pour le consommateur lorsqu'il consomme une viande. Elle mesure la facilité avec laquelle la structure de la viande peut être désorganisée au cours de la mastication (Ouali *et al.*, 2006). Elle s'oppose à la dureté de la viande. Trois types de paramètres fondamentaux caractérisent la tendreté d'une viande : le paramètre structurel (les composantes de la tendreté : le tissu conjonctif et les fibres musculaires), le paramètre temporel (évolution de la tendreté au cours du temps) et le paramètre enzymatique ou physico-chimique (protéine intramusculaire ainsi que l'activité des différents systèmes protéolytiques impliqués dans la maturation *post mortem* de la viande) (Evrat-Georgel, 2008). Selon Hocquette et collaborateurs (2005), les caractéristiques du muscle à l'abattage – surface et type de fibres, propriétés du collagène et teneur en lipides – n'expliquent au plus que 36 % de la variabilité de tendreté de la viande maturée estimée par un jury de dégustation. Aux carcasses les moins conformées, sont associés des muscles avec plus de collagène, plus de pigments, des fibres de plus grosse section et un pH plus élevé (Renand *et al.*, 2002). Par contre, l'hypertrophie musculaire s'accompagne de teneurs musculaires en collagène total ou insoluble plus faibles et d'une proportion plus élevée de fibres rapides glycolytiques. Ces caractéristiques sont associées à une bonne tendreté (Hocquette *et al.*, 2005). On peut dès lors considérer que les viandes tendres ont tendance à avoir les fibres fines, une faible teneur en collagène total ou insoluble et un faible pourcentage de fibres de type rapide oxydatif glycolytique (Dransfield *et al.*, 2002). Cependant, le facteur taille des fibres est peu important en comparaison des facteurs pH et type métabolique sur la tendreté de la viande, bien que la nature de la relation entre type métabolique et tendreté soit complexe (Dransfield *et al.*, 2002 ; Guillemain *et al.*, 2009). Des études menées sur des muscles différents (*longissimus*

dorsi et *semi-tendinosus*) d'un même animal (vache de réforme) ont révélé des discordances entre les caractéristiques biochimiques et la tendreté. La tendreté de la viande peut donc être expliquée par des caractéristiques différentes selon le type du muscle. Aussi, aucun muscle de la carcasse ne peut être prédicteur de l'ensemble des autres muscles de la carcasse (Picard *et al.*, 2007). Lors d'une expérience menée sur des bœufs finis en 147 ou 175 jours, il a été démontré que l'augmentation de la durée de finition entraînant une augmentation des lipides intramusculaires peut conduire à une diminution de plus de 26 % de la force de cisaillement des viandes (Burson *et al.*, 1980). La teneur en lipides peut donc avoir un effet direct (résistance mécanique inférieure à celle des protéines myofibrillaires) ou indirect (fusion de la graisse lors de la cuisson préalable à la consommation ; la graisse passe de l'état solide à liquide) sur l'amélioration de la qualité sensorielle de la viande d'où la perception de viande « plus persillée plus tendre » par les consommateurs. Toutefois, des contradictions existent entre quelques études en ce qui concerne la relation entre la teneur en lipides et la tendreté. Geay et collaborateurs (2001) ont montré qu'il n'existe aucune corrélation entre la teneur en lipides et la tendreté sur des viandes crues et cuites. Par contre, Picard et collaborateurs (2007) ont montré qu'il existe une corrélation positive entre la teneur en lipides et la tendreté ($r = + 0,23$). Des études élargies aux différentes races, aux différents muscles et sur des effectifs plus importants permettront de conclure sur les relations possibles existantes entre les caractéristiques biochimiques et la tendreté de la viande. Le potentiel d'un bovin à produire une viande tendre est fortement dépendant de sa croissance avant la naissance (Hocquette *et al.*, 2005).

D'autres facteurs comme le traitement des animaux immédiatement avant ou pendant l'abattage, le régime de refroidissement et la méthode de découpe appliqués *post mortem* influencent également la tendreté de la viande (Cliquart *et al.*, 1999). La stimulation électrique utilisée *post mortem* peut influencer favorablement la tendreté de la viande (Hwang *et al.*, 2003). Un refroidissement trop rapide peut être préjudiciable à la tendreté de la viande. Le *cold shortening* (ou cryochoc) correspond à une contracture musculaire irréversible

dont l'impact négatif sur la tendreté est fonction du pourcentage de raccourcissement musculaire qui dépend lui-même de la vitesse de refroidissement. Ce phénomène peut se produire lorsque la température interne du muscle atteint une valeur égale ou inférieure à 10°C avant l'état de *rigor mortis* ou, autrement dit, avant que le pH n'atteigne une valeur inférieure à 6 (Sheridan, 1990). Olsson et collaborateurs (1994) mentionnent des conditions très proches, à savoir une température de 7°C et un pH supérieur à 5,7. En dehors de ces facteurs technologiques, il existe d'autres facteurs responsables de la variation de la tendreté, notamment au stade de l'élevage tels que les caractéristiques propres de l'animal (le type morphologique, l'âge, le sexe), le mode de conduite (activité physique, gestation et vêlage) et la conduite alimentaire (la courbe de croissance, le niveau alimentaire, le régime alimentaire et la durée de finition). Une synthèse bibliographique réalisée par Oury et collaborateurs (2007) a révélé que :

- au sein d'une même race (comparaison faite au sein des taureaux Charolais, des taurillons Angus, des taureaux Pirenaica, des bœufs issus du croisement entre une race anglaise et une race continentale, des bœufs Japanese Black), la morphologie n'a pas d'effet sur la tendreté de la viande ; des études de qualité sensorielle réalisées sur les viandes issues de races différentes (Charolais, Pirenaica et croisement race anglaise et race continentale) et de catégories différentes d'animaux (ascendants, descendants, génisses, taurillons) et ayant des conformations identiques ou différentes, n'ont pas mis en évidence de différence dans la tendreté de la viande ;
- la tendreté et la force de cisaillement de la viande de bœuf et de taurillons de diverses races (Charolaise, Simmental, White Cattle, Danish Red, Romagnola, Chianina, Hereford, Blonde d'Aquitaine et Limousine), n'évoluent pas avant l'âge de 2 ans. Avant 35 mois, elles n'évoluent que très rarement chez la femelle de plusieurs races françaises mais au-delà, un effet négatif de l'âge peut être mis en évidence ;
- l'activité physique est favorable à la tendreté des muscles locomoteurs sans influencer celle des muscles non locomoteurs. Pour plusieurs

auteurs, la viande des animaux produits au pâturage conduit à des appréciations de tendreté inférieures à celles des animaux en stabulation. Cette différence pouvant être liée à une faible croissance et à l'activité physique plus importante des animaux en pâture.

- la gestation et le vêlage n'ont pas d'effet sur la tendreté de la viande ;
- la croissance compensatrice, l'augmentation du niveau alimentaire et de la durée de finition peuvent influencer favorablement la tendreté de la viande mais ces effets positifs restent à confirmer. La nature de l'alimentation a également des effets limités sur la tendreté de la viande, variables selon les aliments étudiés et les conditions d'expérimentation.

La tendreté d'une viande peut être appréciée en temps réel sur le terrain par une méthode sensorielle dite de terrain et consistant pour le professionnel de la viande à exercer une pression du pouce sur le muscle afin de différencier relativement bien les zones tendres et les zones dures au sein d'un muscle (Cartier et Moëvi, 2007). Lorsqu'elle est réalisée sur la carcasse, elle doit l'être minimum 24 heures *post mortem* de façon à ce que la transformation du muscle en viande ait commencé. Le résultat est considéré comme subjectif car obtenu par un seul professionnel ayant son propre référentiel de tendreté. Au laboratoire, elle peut être estimée par des méthodes sensorielles, des méthodes physiques et des méthodes physico-chimiques. Des méthodes explicatives permettent également d'évaluer la tendreté. Nous nous intéresserons à celles qui sont les plus utilisées, généralement dans un contexte expérimental. Un bilan des méthodes de mesures réalisé par Evrat-Georgel (2008), à partir de trois types de sources bibliographiques (recherche bibliographique scientifique à partir de bases de données, travaux des centres techniques, résultats issus des revues de vulgarisation) a révélé ce qui suit : les méthodes sensorielles de laboratoire comprennent les méthodes sensorielles classiques et les méthodes sensorielles temporelles (moins utilisées). L'analyse sensorielle classique est constituée de deux approches (analytique et hédonique) qui s'opposent sur de nombreux plans et qui ne peuvent être utilisées simultanément. L'approche analytique consiste à décrire les caractéristiques sensorielles d'un produit par un

jury entraîné assimilable à un instrument de mesure. Il ne représente pas la population de consommation et le résultat individuel (de chaque membre du jury) est considéré comme subjectif. Le résultat final considéré est la moyenne des notes de tous les juges et il est objectif si le nombre de juges est au moins de 10 à 18 selon l'épreuve, indépendamment du moment de réalisation. L'approche hédonique traduit la réaction affective du consommateur face au produit à tester dans un contexte déterminé et à un moment donné (Association française de Normalisation, 1999). Il est réalisé par un jury de consommateurs naïfs qui donnent des réponses spontanées sans chercher à différencier les échantillons. L'objectif étant d'approcher l'opinion d'une population cible dont le jury doit être représentatif. Ce dernier est sélectionné selon le sexe, l'âge, la catégorie socioprofessionnelle, la fréquence de consommation de viande... Les résultats sont exprimés par fréquence et ne permettent pas de distinguer les critères organoleptiques à l'origine de l'appréciation. Le nombre de juge dépend de l'information recherchée et de la taille de la population à représenter ; pour une enquête quantitative, il ne doit pas être inférieur à 60.

Pour chacune des approches, l'analyse sensorielle peut-être comparative (comparaison de plusieurs produits simultanément pour les positionner les uns par rapport aux autres) ou nomadique (appréciation d'un seul produit pour le positionner par rapport aux références du dégustateur). Dans les travaux ayant pour but de tester l'effet d'une variante sur la tendreté des animaux, l'approche analytique de type nomadique est la plus souvent utilisée.

Les méthodes physiques correspondent pour la plupart à des tests mécaniques qui mesurent la résistance ou l'amplitude de la déformation du produit à différents types de forces qui lui sont appliquées. Ils sont réalisés sur des échantillons de viande crue ou cuite. Différents types de forces (force de cisaillement, force de compression et force de tension) sont utilisées ; la plus répandue est la force de cisaillement. Elle correspond à la contrainte nécessaire pour faire passer une arête tranchante à travers un morceau de viande perpendiculairement aux fibres musculaires ; celle-ci étant exprimée en kg ou Newton. Elle est réalisée à l'aide de banc d'essai ou texturomètre de type Instron selon la méthode de Warner-Bratzler, la plus utilisée de

nos jours dans l'ensemble des études. C'est une force qui est influencée par les conditions de mesure (orientation des fibres, température et temps de cuisson des échantillons, instruments de cuisson utilisés, nombre de répétitions réalisés) mais qui fournit des résultats de précision équivalente à ceux d'un jury d'analyse sensorielle (Shackelford *et al.*, 1997). La force de cisaillement est néanmoins considérée comme un très mauvais indicateur du niveau de maturation d'une viande puisqu'elle apprécie principalement la composante conjonctive de la tendreté, en particulier sur des échantillons maturés.

Les mesures physico-chimiques correspondent aux techniques physiques permettant de mesurer la quantité d'un ou plusieurs éléments chimiques dans une matière. Il s'agit de méthodes indirectes permettant de prédire la tendreté et ou le niveau de la maturation de la viande. Les techniques les plus investiguées sont celles qui sont basées sur la spectroscopie ou spectrométrie. Il existe trois classes de spectroscopie dont celle utilisée pour la viande est la spectroscopie électromagnétique. C'est une technique basée sur l'excitabilité des molécules organiques par un rayonnement lumineux. Parmi les nouvelles technologies, la spectroscopie dans le visible et ou le proche infrarouge est celle qui a fait plus objet d'étude pour prédire la tendreté de la viande bovine. Toutes ces technologies nécessitent une calibration préalable sur la base d'une méthode de référence, qui peut être la méthode de Warner-Bratzler. La prédiction se fait avec une marge d'erreur qui doit être la plus faible possible. L'outil fondé sur la mesure de la réflectance par spectroscopie dans le proche infrarouge le plus récent et utilisé en routine en Amérique et expérimenté en France est le *Quality Spec® Beef Tenderness* (Roze et Evrat-Georgel, 2007).

Les méthodes explicatives sont des méthodes qui mesurent les paramètres influençant la tendreté et pouvant donc expliquer les différences de tendreté observées. Les méthodes explicatives mesurent les éléments chimiques par méthode physico-chimique ou moléculaires via la génomique (Picard *et al.*, 2012). Il s'agit :

- du dosage du collagène total à partir du dosage de l'hydroxyproline, acide aminé spécifique du collagène ;

- du dosage du collagène insoluble à partir d'un traitement thermique en milieu aqueux appliqué à l'échantillon afin de déterminer la teneur résiduelle en collagène de l'échantillon selon le protocole de détermination du collagène total. De façon générale, le dosage de collagène total se fait selon la méthode ISO 3496-1994 tandis que, pour celui du collagène insoluble, le temps et la température du traitement thermique varient (2 h à 90°C ou 4 h à 100°C). Pour une discrimination de la tendreté d'un muscle par rapport à un autre, le dosage du collagène est peu déterminant du fait de sa grande variabilité dans le muscle. Toutefois, il s'est révélé intéressant pour caractériser un ou plusieurs produits en fonction de leur tendreté basale ;
- des mesures sur les myofibrilles ; elles concernent le typage des fibres réalisé en identifiant et/ou en dosant les molécules caractéristiques des propriétés contractiles et métaboliques (ATPase myofibrillaire, lactate déshydrogénase, isocitrate déshydrogénase, citrate syntase, succinate déshydrogénase, cytochrome-C oxydase ou β -hydroxylacyl-CoA déshydrogénase) et/ou en dosant les isoformes de la myosine ;
- de la mesure de l'activité des enzymes impliquées dans la maturation (les cathepsines, les calpaïnes et leurs inhibiteurs, les sérines peptidases et leurs inhibiteurs, le protéasome, les caspases). Leur quantification est réalisée sur la base de la mesure de leur activité biologique après fractionnement partiel ou plus rarement dans des extraits bruts de muscle cru. L'immunodiffusion radiale et la technique ELISA sont les nouvelles techniques utilisées, elles sont plus rapides, plus spécifiques, plus précises et adaptées à l'analyse d'un grand nombre d'échantillons. Ces techniques sont également utilisées pour des enzymes autres que les enzymes protéolytiques ;
- de la recherche des gènes polymorphes ayant un impact sur la qualité de la viande bovine et l'analyse de l'expression de ces gènes. Pour le critère de la tendreté, des marqueurs basés sur des polymorphismes tels que CAPN1, LOX et CAST et le marqueur DNAJA1 basé sur la variation de l'expression des

gènes, ont été respectivement découverts par Page et collaborateurs (2002), Schenkel et collaborateurs (2006), Barendse et collaborateurs (2007) et Bernard et collaborateurs (2007). Des programmes d'étude de la pertinence de ces marqueurs sont en cours dans différents pays. Des kits de génotypage ont été également développés par les chercheurs australiens et américains dont plusieurs, permettant de déterminer certaines enzymes impliquées dans la maturation, sont déjà commercialisés. Après avoir testé ces kits sur 2000 carcasses de bovins américains, Shackelford et Karplus (2007) ont conclu que ces tests ADN étaient performants et pourraient constituer un élément de prédiction de la tendreté des carcasses.

3.2.3.3. La flaveur de la viande

La flaveur de la viande correspond à « l'ensemble des impressions olfactives et gustatives » que l'on éprouve au moment de la dégustation (Lame-loise *et al.*, 1984). Une expérience menée sur le muscle *longissimus thoracis* provenant de jeunes bovins des races Salers, Aubrac, Gasconne et Charolaise élevés dans des systèmes de production différents a révélé qu'elle est principalement corrélée à la teneur en lipides intramusculaires ($r = 0,28$ en moyenne), à la teneur en pigment ($r = 0,20$ en moyenne), aux caractéristiques de ces lipides et aux types de fibres sachant qu'on observe des différences de teneur et de composition en phospholipides selon le métabolisme des muscles (Renand *et al.*, 2002 ; Hocquette *et al.*, 2005). Les muscles « rouges », riches en pigments, sont généralement plus gras que les muscles « blancs » moins pigmentés (Cartier et Moëvi, 2007). Dans le faux-filet des bovins de race française, des niveaux supérieurs de persillé jusqu'au seuil de 4 %, sont associés à une flaveur supérieure ; les auteurs précisant cependant que ce chiffre reste à confirmer (Cartier et Moëvi, 2007). Des suppléments lipidiques (matières grasses issues du tournesol riche en acides gras polyinsaturés n-6 et représentant 4 % de la matière sèche) ne modifient pas la tendreté, ni la jutosité, mais augmentent la flaveur des muscles *rectus abdominis* et *longissimus thoracis* après 2 jours de maturation (Durand *et al.*, 2001). Cette flaveur peut être reliée à une modification d'activité métabolique des fibres (plus oxydatives)

en réduisant l'activité de la lactate déshydrogénase et en augmentant celle de la β OH acyl-CoA-déshydrogénase dans le cas du muscle *rectus abdominis* (muscle oxydo-glycolytique) et à une teneur plus élevée en acides gras polyinsaturés dans les deux types de muscles.

La conduite des animaux au pâturage influence également la flaveur des viandes (French *et al.*, 2000 ; Cartier et Moëvi, 2007 ; Dufey, 2009). Elle augmente le métabolisme oxydatif des muscles et la flaveur de la viande (Hocquette *et al.*, 2005). La viande des animaux nourris à l'herbe se distingue fréquemment par sa flaveur et son odeur pastorale. L'augmentation de la croissance en finition, par l'apport de rations riches en énergie, conduit à une augmentation du gras interne intermusculaire et sous-cutané mais l'augmentation de l'état d'engraissement de l'animal n'augmente pas systématiquement le taux de gras intramusculaire et donc la flaveur potentielle des viandes (Cartier et Moëvi, 2007). Dans toutes les espèces, une flaveur caractéristique se développe avec le vieillissement des animaux (Hocquette *et al.*, 2005). Les animaux les plus âgés et les plus précoces conduisent aux viandes les plus persillées. Outre les facteurs liés à l'animal, les divers traitements technologiques subis par la viande peuvent influencer la flaveur finale du produit, en particulier les phénomènes d'oxydation des lipides lors de la maturation et de la conservation, ainsi que la cuisson qui permet à la flaveur de s'exprimer, puisque de nombreux constituants de la flaveur sont synthétisés ou libérés au cours de cette étape (Cartier et Moëvi, 2007).

L'appréciation de la flaveur d'une viande se fait seulement par des méthodes de laboratoire. La méthode de référence, la plus utilisée, est l'analyse sensorielle (dégustation par un groupe de personnes plus ou moins qualifiées selon les objectifs recherchés). Des mesures de nature chimique et physico-chimique (teneur et composition en matières grasses de la viande et/ou du gras intermusculaire, stabilité oxydative des acides gras, proportion des différents types de fibres musculaires) apportent également des informations sur la flaveur, mais elles sont souvent partielles.

3.2.3.4. La jutosité

La jutosité, encore appelée succulence est la faculté qu'a une viande d'exsuder du jus lors de la mastication (Lame-

loise *et al.*, 1984). On distingue généralement deux composantes : la jutosité initiale qui est associée à la quantité de jus qui s'écoule dans la bouche pendant les premières mastications et la jutosité finale ou seconde jutosité qui est liée à la sécrétion salivaire engendrée par le gras du morceau après la mastication (Lawrie, 1991). La jutosité est influencée par les caractéristiques musculaires telles le pH, les lipides intramusculaires et la capacité de rétention d'eau du muscle (Hocquette *et al.*, 2005). Selon Honikel et Hamm (1994), la capacité de rétention d'eau de la viande est l'aptitude de celle-ci à conserver la totalité ou une partie de son eau propre ou de l'eau qui lui est ajoutée. Les viandes contenant une teneur importante en gras et une faible proportion de fibres de type rapide glycolytique ont tendance à être juteuses et à avoir une saveur marquée (Dransfield *et al.*, 2002). Une viande à pH faible a tendance à perdre son eau et à être sèche. Par contre les viandes à pH « élevé » ont une très bonne rétention d'eau et présentent donc une jutosité supérieure (Renand *et al.*, 2002). Les facteurs influençant le pouvoir de rétention d'eau affectent également la jutosité (Monin, 1991 ; Vandendriessche et Casteels, 1999).

Il n'existe pas de méthode de mesure standardisée pour mesurer la jutosité d'une viande (Honikel et Hamm, 1994). Elle peut être appréciée au moyen d'une évaluation sensorielle (par un panel de dégustation) ou par des méthodes instrumentales mesurant des paramètres chimiques (dosage de la matière grasse) et les mesures physiques comme les pertes de masse (détermination de la capacité de rétention d'eau) ou l'évolution des dimensions du morceau suite à une compression et/ou à une cuisson (Cartier et Moëvi, 2007 ; Coibion, 2008).

3.2.4. Qualité technologique de la viande

La qualité technologique de la viande représente sa capacité à être transformée et conservée (Monin, 1991). Elle dépend du produit que l'on souhaite fabriquer (viande crue hachée et viande crue non hachée) et peut être exprimée principalement par le pH et par la capacité de rétention d'eau. La qualité technologique peut être également exprimée par les paramètres tels que la capacité d'émulsification, la couleur et la capacité de formation de la couleur, la capacité de liaison par thermocoagulation ou par

combinaison du séchage et de la diminution du pH, la capacité à produire une saveur, etc.

3.2.4.1. pH

Le pH est un paramètre chimique qui influence la capacité de conservation et de transformation de la viande (Cartier et Moëvi, 2007). En effet, après l'abattage, le pH du muscle passe d'une valeur proche de 7,0 à environ 5,5-5,7 en 48 h chez les bovins (Cartier et Moëvi, 2007). La diminution du pH est liée à l'accumulation d'acide lactique issu de la dégradation du glycogène contenu dans le muscle. Le pH se stabilise lorsque les réserves en glycogène sont épuisées : on parle alors de pH ultime (Clinquart *et al.*, 2000). Le pH influence les qualités organoleptiques, notamment la couleur (Monin, 1991). Il est possible de maîtriser la diminution du pH en prenant en compte plusieurs facteurs :

- le stress avant l'abattage : l'apparition des viandes à pH élevé est liée aux différents événements qui surviennent avant la mort de l'animal. La succession de perturbations que peut subir l'animal entraîne la diminution des réserves en glycogène dans le muscle ; ce qui après abattage, donne lieu à des viandes à pH élevé (Cartier et Moëvi, 2007) qu'on qualifie D.F.D. (pour *Dark, Firm, Dry* en anglais) ou viandes à coupe sombre. Les viandes dont le pH ultime est élevé (5,8 ou plus) se caractérisent par une couleur sombre, une moindre tendreté et un pouvoir de rétention d'eau élevé qui se manifeste par un aspect sec en surface (Monin, 1991; Eadmusik, 2008). Elles sont peu adaptées à la conservation à l'état frais en raison d'une sensibilité accrue à l'altération d'origine microbienne. De plus, ces viandes sont peu adaptées au traitement de dessiccation (Allen *et al.*, 1998). Les viandes dont le pH ultime est compris entre 5,5 et 5,7 sont dites à pH normal. Elles sont caractérisées par une couleur pâle normale et un faible pouvoir de rétention d'eau car la diminution normale du pH *post mortem* entraîne une diminution de la rétention d'eau par les protéines du système myofibrillaire ;
- une stimulation électrique effectuée sur l'animal après sa mise à mort et avant que le pH n'ait atteint sa valeur finale, accélère la diminution du pH et l'apparition de la rigidité cadavérique (Pouliot *et al.*, 2009). Elle permet

par ailleurs d'éviter une contracture irréversible des muscles si un refroidissement trop rapide est appliqué *post mortem* (voir la section relative à la tendreté).

3.2.4.2. Capacité de rétention d'eau

Une viande ayant une bonne capacité de rétention d'eau permet de limiter les pertes de poids au cours de sa conservation et de sa transformation en produits cuits (Clinquart *et al.*, 2000). Cette aptitude dépend de la manipulation et de l'état de la viande. L'eau est retenue dans la viande principalement par les protéines myofibrillaires par capillarité. Les modifications de la capacité de rétention d'eau s'expliquent souvent par des modifications des protéines myofibrillaires.

Les méthodes appliquées pour évaluer la capacité de rétention d'eau et l'état de la viande doivent être bien définis afin d'obtenir des résultats comparables. Il existe trois manières principales de traiter la viande qui impliquent trois méthodes de mesure de la capacité de rétention d'eau : la méthode sans application d'une force (évaluation de la perte d'eau par évaporation ou écoulement dans le sac d'emballage lors de la conservation sous réfrigération ou congélation), la méthode avec application d'une force mécanique (évaluation de la perte d'eau qui est obtenue par pression sur la viande et absorbée par un papier filtre) et la méthode avec application d'une force thermique (évaluation de la perte d'eau lors de la cuisson). Les deux dernières méthodes sont généralement les plus utilisées. En fonction des habitudes alimentaires des consommateurs, différentes températures de cuisson sont utilisées pour la détermination de la perte d'eau par cuisson : 55°C pour les viandes saignantes, 65°C pour les viandes moyennement cuites, 80°C pour les viandes bien cuites et 95°C pour les viandes entièrement cuites (Barton-Gade *et al.*, 1993). Quelle que soit la méthode de mesure, la capacité de rétention d'eau de la viande est influencée principalement par la vitesse et l'amplitude de la diminution du pH *post mortem*, la taille et la forme de l'échantillon, le traitement de la viande lors du conditionnement, la température de cuisson, de conservation ou de congélation, l'humidité relative du local de conservation et le délai qui s'est écoulé entre l'abattage et la mesure.

4. CONCLUSION

La notion de qualité de la viande est une notion complexe qui englobe une multitude de propriétés différentes pouvant être influencées par le producteur, le transformateur et même le consommateur lors de la préparation finale de la viande. Les paramètres de variation de la qualité de la viande bovine font l'objet de nombreuses études. L'amélioration de la qualité de la carcasse n'est pas forcément accompagnée d'une amélioration de la qualité de la viande. De nombreuses méthodes de mesure existent pour apprécier la qualité de la carcasse et de la viande. Malgré la variation des critères d'appréciation de la qualité de la viande par les consommateurs, il existe dans la plupart des cas une cohérence entre les valeurs de ces critères d'appréciation et celles des méthodes de mesure. En somme, les critères subjectifs de la qualité de la carcasse et ceux de la viande correspondent à des jugements que le consommateur porte sur la viande avant la décision d'achat et durant la consommation. Ces critères sont diversifiés et varient d'un continent à l'autre ou d'une communauté à l'autre et sont en relation avec l'image et les valeurs sociales. Ils varient selon le comportement et

les préférences du consommateur. Par contre, les critères objectifs portent sur des paramètres mesurables techniquement sur la viande et utilisables en routine afin de pouvoir diagnostiquer les non-conformités en temps réel et d'engager, le cas échéant, des actions correctives. Les critères objectifs d'appréciation de la qualité de la carcasse ne sont pas pris en compte dans la filière viande en Afrique subsaharienne. De même les caractéristiques technologiques, nutritionnelles, organoleptiques et sensorielles de la viande des bovins de l'Afrique subsaharienne ne sont pas connues. Une caractérisation de la composition de carcasse et de la qualité de la viande des races bovines de l'Afrique subsaharienne est nécessaire pour que les viandes produites soient mieux connues par les consommateurs et plus compétitives sur le plan international.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Coopération universitaire au Développement (Belgique) pour son appui à la réalisation de ces travaux à travers le troisième programme quinquennal (P3) de la Coopération universitaire institutionnelle (CUI) du Conseil interuniversitaire de la Communauté française de

Belgique (CIUF). Les remerciements sont également adressés aux responsables de l'Activité UAC01.

Assessment criteria and factors of variation of bovine carcass trait and beef quality

Abstract

The meat quality concept is extremely variable and progressive in relation to the transformation of the live animal into carcass and into meat. This article reviews the criteria of subjective (criteria depending on consumer behavior and preferences) on the one hand and objective assessment of the quality of bovine carcass and meat on the other hand. The objective criteria for carcass quality assessment are mainly the weight, the classification (conformation and fat deposition), the composition, the slaughtering yield and the carcass meat content. Finally, the muscle composition, the organoleptic and the technological properties for the appreciation of the quality of beef are described and discussed.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION Norme X 50.109 : gestion de la qualité : vocabulaire, norme expérimentale. Association française de Normalisation : La Plaine Saint-Denis, 1982.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION Norme XP V09-501 : analyse sensorielle, guide générale pour l'évaluation sensorielle : description, différenciation et mesure hédonique. Association française de Normalisation : La Plaine Saint-Denis, 1999, 28 p.
- ALLEN C.D., FLETCHER D.L., NORTHCUTT J.K. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poultry Sci.*, 1998, **77**, 361-366.
- AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION Guidelines for meat color evaluation. American Meat Science Association : Savoy, 1991, 17 p.
- BARBIER B., ALARY V., DEYBE D. L'agriculture et l'élevage dans les plaines indo-gangétiques de l'Inde : vers une nouvelle intégration. *Oléagineux Corps Gras Lipides*, 2004, **11**, 277-286.
- BARENDSE W., HARRISON B.E., HAWKEN, R.J., FERGUSON D.M., THOMPSON J.M., THOMAS M.B., BUNCH R.J. Epistasis between calpain 1 and its inhibitor calpastatin within breeds of cattle. *Genetics*, 2007, **176**, 2601-2610.
- BARTON-GADE P.A., DEMEYER D., HONIKEL K.O., JOSEPH R.L., PUOLANNE E., SEVERINI M., SMULDERS F.J.M., TORNBORG E. Final version of reference methods for water holding capacity in meat and meat products. In : Organisation for Economic Co-operation and Development, 39th International Congress of Meat Science and Technology, Calgary, 1-6 août 1993, 1993, 5 p.
- BAUCHART D., CHANTELOT F., GANDEMER G. Qualités nutritionnelles de la viande et des abats chez le bovin : données récentes sur les principaux constituants d'intérêt nutritionnel. *Cah. Nutr. Diététique*, 2008, **43** : HS1, 29-39.
- BEAUMONT A., CASSIER P., TRUCHOT J.-P., DAUÇA M. Les muscles et la concentration musculaire. In : Beaumont A., Cassier P., Truchot J.-P., Dauça M., Biologie et physiologie animales. 2^e édition. Dunod : Paris, 2004, 210-301.
- BERANGER C., ROBELIN J. Influence du mode d'élevage, de la sélection

- et de l'alimentation sur l'état d'engraissement des bovins. *Ann. Biol. Anim. Biophys.*, 1977, **17**, 905-921.
- BERNARD C., CASSAR-MALEK I., LECUNFF M., DUBROEUCQ H., RENAND G., HOCQUETTE J.F. New indicators of beef sensory quality revealed by expression of specific genes. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, **55**, 5229-5237.
- BERNUÉS A., OLAIZOLA A., COROCAN K. Extrinsic attributes of red meat as indications of quality in Europe: an application for market segmentation. *Food Qual. Pref.*, 2003, **14**, 265-276.
- BOCCARD R., NAUDE R.T., CRONJE D.E., SMITH M.C., VENTER H.J., ROSSOUW E.J. The influence of age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics. *Meat Sci.*, 1979, **4**, 261-281.
- BODAS R., RODRIGUEZ A.B., LOPEZ S., FERNANDEZ B., MANTECON A.R., GIRALDEZ F.J. Effects of the inclusion of sodium bicarbonate and sugar beet pulp in the concentrate for fattening lambs on acid-base status and meat characteristics. *Meat Sci.*, 2007, **77**, 696-702.
- BURSON D.E., HUNT M.C., ALLEN D.M., KASTNER C.L., KROPF D.H. Diet energy density and time on feed effects on beef *longissimus* muscle palatability. *J. Anim. Sci.*, 1980, **51**, 875-881.
- CARTIER P., MOËVI I. Le point sur la qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. Institut de l'Élevage : Paris, 2007, 72 p.
- CAVANAGH R.C., JONAS E., HOBBS M., THOMSON C. P., TAMMEN I., RAADSMA W. H. Mapping Quantitative Trait Loci (QTL) in sheep. III. QTL for carcass composition traits derived from CT scans and aligned with a meta-assembly for sheep and cattle carcass QTL. *Genet. Sel. Evol.*, 2010, **42**, 36.
- CHERET R., DELBARRE-LADRAT C., DE LAMBALLERIE-ANTON M., VERREZ-BAGNES V. Calpain and cathepsin activities in *post-mortem* fish and meat muscle. *Food Chem.*, 2007, **101**, 1474-1479.
- CHESNEAU G., QUEMENER B., WEILL P. Qualité nutritionnelle des lipides de viandes : écarts liés à l'espèce, écarts liés à l'alimentation : quelques observations. In : 10^e Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande, Rennes, 25-26 octobre 2004, 2004, 59-60.
- CHRISTENSEN M.L., LARSEN L.M., ERTBJERG P., PURSLOW P.P. Effect of proteolytic enzyme activity and heating on mechanical properties of bovine single muscle fibres. *Meat Sci.*, 2003, **66**, 361-369.
- CLINQUART A., HORNICK J.L., VAN EENAEME C., ISTASSE L. Influence du caractère culard sur la production et la qualité de la viande des bovins Blanc Bleu Belge. *Prod. Anim.*, 1998, **11**, 285-297.
- CLINQUART A., DEMEYER D.I., CASTEELS M. La qualité de la viande : du muscle à la viande. In : Clinquart A., Fabry J., Casteels M., *Belgian Association for Meat Science and Technology* (éds), La viande ? Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège : Liège, 1999, 75-96.
- CLINQUART A., LEROY B., DOTTREPPE O., HORNICK J.L., DUFRASNE I.L., ISTASSE L. Les facteurs de production qui influencent la qualité de la viande des bovins Blanc Bleu belge. In : L'élevage du Blanc Bleu Belge, Journée du Centre d'Excellence du Secteur agricole et son Management (CESAM), 26 mai 2000, Mons, 2000, 19 p.
- COIBION L. Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine : adaptation à la demande du consommateur. (Mémoire pour l'obtention du grade de Docteur vétérinaire). Ecole nationale vétérinaire de Toulouse : Toulouse, 2008, 97 p.
- COMMISSION EUROPEENNE Directive 2001/101/CE de la Commission du 26 novembre 2001 modifiant la directive 2000/13/CE du Parlement européen et du Conseil relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'étiquetage et la présentation des denrées alimentaires ainsi que la publicité faite à leur égard. *J. Off. Commun. Eur.*, 2001, **L 310**, L 310/19-L 310/21.
- COMMISSION EUROPEENNE Règlement (CE) n°1249/2008 de la Commission du 10 décembre 2008 portant modalités d'application des grilles communautaires de classement des carcasses de bovins, de porcins et d'ovins et de la communication des prix y afférents. *J. Off. Commun. Eur.*, 2008, **L 337**, L 337/3-L 337/30.
- CONSEIL DE L'UNION EUROPEENNE. Règlement (CE) n° 1234/2007 du Conseil du 22 octobre 2007 portant organisation commune des marchés dans le secteur agricole et dispositions spécifiques en ce qui concerne certains produits de ce secteur (règlement OCM unique). *J. Off. Commun. Eur.*, 2007, **L 299**, L 299/1-L 299/149.
- CUVELIER C., CABARAUX J.F., DUFRASNE I., CLINQUART A., HOCQUETTE J.F., ISTASSE L., HORNICK J.L. 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. *Anim. Sci.*, 2006, **82**, 125-132.
- DALY C.M., MOLONEY A.P., MONAHAN F.J. Lipid and colour stability of beef from grazing heifers supplemented with sunflower oil alone or with fish oil. *Meat Sci.*, 2007, **77**, 634-642.
- DEMEYER D.I., VAN BELLE M., VAN CAMP J. La viande et les produits de viande dans notre alimentation. In : Clinquart A., Fabry J., Casteels M., *Belgian Association for Meat Science and Technology* (éds), La viande ? Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège : Liège, 1999, 141-161.
- DOGNON S.R. Evaluation de la qualité hygiénique des carcasses de bovins fraîchement abattus en milieu rural : cas de la Commune de Banikoara. (Mémoire de Master en Normes, Contrôle de Qualité et Technologie Alimentaire). Université d'Abomey-Calavi : Cotonou, 2010, 78 p.
- DRANSFIELD E. Tenderness of meat, poultry and fish. In : Pearson A.M., Dutson T.R. (Eds), Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Blackie Academic & Professional : London, 1994, 289-336.

- DRANSFIELD E., ABOUELKARAM A., BAUCHART D., CULIOLI J., JURIE C., LEPETIT J., LISTRAT A., MARTIN J.F., PICARD B. Qualité sensorielle de la viande provenant de trois muscles de taurillons de réforme de quatre races allaitantes du massif central. *Renc. Rech. Ruminants*, 2002, **9**, 255-258.
- DUFEY P.A. Viande bovine de montagne et qualité. *Rev. suisse Agric.*, 2009, **41**, 245-250.
- DUFEY, P.A. Qualité de la viande bovine produite à partir de l'herbe. [en ligne] (2010) Adresse URL : http://www.agroscope.admin.ch/praxis/00211/04453/index.html?lang=LpZeg7t,lnp6I0NTU042I2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCEe393fGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--, consulté le 15/10/2012.
- DUDOUE C. La production des bovins allaitants, conduite, qualité et gestion. Editions France Agricole : Paris, 2010, 414 p.
- DUMONT B.L. Quelques aspects de la qualité des viandes de boucherie. *Bull. Soc. Sci. Hyg. Aliment*, 1960, **48**, 137-146.
- DURAND D., GRUFFAT-MOUTY D., HOCQUETTE J.F., MICOL D., DUBROEUCQ H., JAILLER R., JADHAO S.B., SCISLOWSKI V., BAUCHART D. Relations entre caractéristiques biochimiques et métaboliques des muscles et qualités organoleptiques et nutritionnelles de la viande chez le bouvillon recevant des rations supplémentées en huile de tournesol riche en AGPI n-6. *Renc. Rech. Ruminants*, 2001, **8**, 75-78.
- EADMUSIK S. Effets de la vitesse de glycolyse post mortem du muscle de dinde : une analyse biochimique et protéomique. (Rapport de thèse pour l'obtention du grade de Docteur). Université de Toulouse : Toulouse, 2008, 193 p.
- EVRAT-GEORGEL C. Bibliographie critique des méthodes instrumentales de mesure de la tendreté de la viande bovine. Département technique d'Élevage et Santé, Service Qualité des Viandes : Paris, 2008, 156 p.
- FRENCH P., O'RIORDAN E.G., MONAHAN F.J., CAFFREY P.J., VIDAL M., MOONEY M.T., TROY D.J., MOLONEY A.P. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate based diets. *Meat Sci.*, 2000, **56**, 173-180.
- GEAYY, BAUCHART D., HOCQUETTE J., CULIOLI J. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscle in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reprod. Nutr. Dev.*, 2001, **41**, 1-26. Erratum, 341-377.
- GOOSSAERT V. L'interdit du bœuf en Chine : agriculture, éthique et sacrifice. Editions du Collège de France, Institut des Hautes Études Chinoises : Paris, 2005, 319p.
- GRUNERT K.G. What's in a steak? A cross-cultural study on the quality perception of beef. *Food Qual. Pref.*, 1997, **8**, 157-174.
- GUILLEMIN N., CASSAR-MALEK I., HOCQUETTE J. F., JURIE C., MICOL D., LISTRAT A., LEVEZIEL H., RENAND G., PICARD B. La maîtrise de la tendreté de la viande bovine : identification de marqueurs biologiques. *Prod. Anim.*, 2009, **22**, 331-344.
- HERRERA-MENDEZ C.H., BECIDA S., BOUDJELLAL A., OUALI A. Meat-aging: reconsideration of the current concept. *Trends Food Sci. Tech.*, 2006, **17**, 394-405.
- HOCH T, PICARD B, JURIE C, AGABRIEL J. Modélisation de l'évolution des caractéristiques des fibres musculaires des bovins. *Viandes Prod. Carnés*, 2002, Hors Série, 121-122.
- HOCQUETTE J.F., CASSAR-MALEK I., LISTRAT A., JURIE C., JAILLER R., PICARD B. Evolution des recherches sur le muscle des bovins et la qualité sensorielle de leur viande. II : Influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques musculaires. *Cah. Agric.*, 2005, **14**, 365-372.
- HONIKEL K.O., HAMM R. Measurement of water-holding capacity and juiciness. *Adv. Meat Res.*, 1994, **9**, 125-161.
- HWANG I.H., DEVINE C.E., HOPKINS D.L. The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat Sci.*, 2003, **65**, 677-691.
- INSANI E.M., EYHERABIDE A., GRIGIONI G., SANCHO A.M., PENSEL N.A., DESCALZO A.M. Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina. *Meat Sci.*, 2008, **79**, 444-452.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 8402-1994. Quality management and quality assurance : vocabulary. International Organization for Standardization : Geneva, 1994, 4 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 3496-1994. Meat and meat products : determination of hydroxyproline content. International Organization for Standardization : Geneva, 1994, 5 p.
- KEANE M.G., ALLEN P. Effects of pasture fertilizer N level on herbage composition, animal performance and on carcass and meat quality traits. *Livest. Prod. Sci.*, 1999, **61**, 233-244.
- KOOHMARAIE M., GEESINK G.H., Contribution of *post-mortem* muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Sci.*, 2006, **74**, 34-43.
- LAWRIE R.A. The eating quality of meat. In : Lawrie R.A (Ed.), Meat science. 5th edition. Pergamon Press : Oxford, 1991, 184-224.
- LAMELOISE P., ROUSSEL-CIQUARD N., ROSSET R. Evolution des qualités organoleptiques : les viandes : hygiène, technologie. *Inf. Tech. Serv. Vet.*, 1984, **88-91**, 121-125.
- LI D., SIRIAMORN PUN S. Lean meat and heart health. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 2005, **14**, 113-119.
- LOMBARDI-BOCCIA G., MARTÍNEZ-DOMÍNGUEZ B., AGUZZI A., RINCÓN-LEÓN F. Optimization of heme iron analysis in raw and cooked red meat. *Food Chem.*, 2002, **78**, 505-510.

- MANCINI R.A., HUNT M.C. Current research in meat color. *Meat Sci.*, **71**, 2005, 100–121.
- MICHAUX C., STASSE A., SONNET R., LEROY P.L., HANSET R. La composition de la carcasse de taureau culards Blanc Bleu Belge. *Ann. Méd. Vét.*, 1983, **127**, 349-375.
- MICOL D., ROBELIN J., GEAY Y. Composition corporelle et caractéristiques biologiques des muscles chez les bovins en croissance et à l'engrais. *Prod. Anim.*, 1993, **4**, 287-295.
- MOËVI I. Le point sur la couleur de la viande bovine. Interbev : Paris, 2006, 113 p.
- MOHAMED A., JAMILAH B., ABBAS K.A., ABDUL RAHMAN R. A review on some factors affecting colour of fresh beef cuts. *J. Food Agric. Env.*, 2008, **6**, 181-186.
- MOHRHAUSER D.A., UNDERWOOD K.R., WEAVER A.D. In vitro degradation of bovine myofibrils is caused by μ -calpain, not caspase-3. *J. Anim. Sci.*, 2011, **89**, 798-808.
- MONIN G. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *Prod. Anim.*, 1991, **4**, 151-160.
- NORMAND J. Couleur de la viande de veau et de gros bovins. Interbev : Paris, 2005, 28 p.
- O'SULLIVAN A., GALVIN K., MOLONEY A.P., TROY D.J., O'SULLIVAN K., KERRY J.P. 2003. Effect of pre-slaughter rations of forage and/or concentrates on the composition and quality of retail packaged beef. *Meat Sci.*, **63**, 279-286.
- OFFICE DE L'ELEVAGE Pesée, classement, marquage : guide technique et réglementaire. Office de l'élevage : Paris, 2007, 24 p.
- OLIVAN M., MARTINEZ A., GARCIA P., NOVAL G., OSORO K. Estimation of the carcass composition of yearling bulls of Asturiana de los Valles breed from the dissection of a rib joint. *Meat Sci.*, 2001, **57**, 185-190.
- OLSSON U., HERZMAN C., ORNBERG E. The influence of low temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor mortis, ageing and tenderness on beef muscles. *Meat Sci.*, 1994, **37**, 115-131.
- OUALI A., HERRERA-MENDEZ C.H., COULIS G., BECILA S., BOUDJELLAL A., AUBRY L., SENTANDREU M.A. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Sci.*, 2006, **74**, 44-58.
- OURY M.-P., PICARD B., ISTASSE L., MICOL D., DUMONT R. Mode de conduite en élevage et tendreté de la viande bovine. *Prod. Anim.*, 2007, **20**, 309-326.
- PAGE B.T., CASAS E., HEATON M.P., CULLEN N.G., HYNDMAN D.L., MORRIS C.A., CRAWFORD A.M., WHEELER T.L., KOOHMARAIE M., KEELE J.W., SMITH T.P.L. Evaluation of single-nucleotide polymorphisms in *capn1* for association with meat tenderness in cattle. *J. Anim. Sci.*, 2002, **80**, 3077-3085.
- PICARD B., JURIE C., BAUCHART D., DRANSFIELD E., OUALI A., MARTIN J.F., JAILLIER, LEPETIT J., CULIOLI J. Caractéristiques des muscles et de la viande des principales races bovines allaitantes du massif central. *Sci. Alim.*, 2007, **27**, 168-180.
- PICARD B., BERRI C., LEBRET B., LEFEVRE F., LIAUBET L., DAMON M., LE BIHAN-DUVALE, CASSAR-MALEKI, HOCQUETTE J.-F., RENAND G. Génomique et viande : quelles avancées, quelles applications. In : 14^e Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Caen, 13-14 novembre 2012, 2012, 127-133.
- PICARD B., CASSAR-MALEK I. Evidence for expression of IIb myosin heavy chain isoform in some skeletal muscles of Blonde d'Aquitaine bulls. *Meat Sci.*, 2008, **82**, 30-36.
- PICARD B., CASSAR-MALEK I., HOCQUETTE J.F. Typologie et ontogenèse des fibres musculaires chez différentes espèces d'intérêt agronomique. *Prod. Anim.*, 2003, **16**, 117-123.
- PICARD B., ALLAIS S., JURIE C., LEVEZIEL H., JOURNAUX L., RENAND G. Une isoforme de chaîne lourde de myosine particulière, variable entre les races à viande bovines. *Renc. Rech. Ruminants*, 2009, **16**, 159.
- POULIOT E., CASTONGUAY F., THERIAULT M. Evaluation des pratiques post abattages sur la qualité de la viande d'agneau du Québec. Centre d'expertise en production ovine du Québec : Québec, 2009, 39 p.
- PRIETO N., NAVAJAS E.A., RICHARDSON R.I., ROSS D.W., HYSLOP J.J., SIMM G., ROEHE R. Predicting beef cuts composition, fatty acids and meat quality characteristics by spiral computed tomography. *Meat Sci.*, 2010, **86**, 770–779.
- PRIOLO A., MICOL D., AGABRIEL J. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavor: a review. *Anim. Res.*, 2001, **50**, 185-200.
- RASKIN P., VAN EENAEME C., CLINQUART A., ISTASSE L. Dietary vitamin E supplementation of fattening diets for Belgium Blue double muscled cattle. In : Istasse L. (Ed.), Belgian Blue bulls: their management for growing and finishing. An assessment of their performance and of carcass and meat quality. Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège : Liège, 1997, 91-96.
- RENAND G., HAVY A., TURIN F. Caractérisation des aptitudes bouchères et qualités de la viande de trois systèmes de production de viande bovine à partir des races rustiques françaises Salers, Aubrac et Gasconne. *Prod. Anim.*, 2002, **15**, 171-183.
- RENERRE M., VALIN C. Influence de l'âge sur les caractéristiques de la couleur des viandes bovines de race Limousine. *Ann. Tech. Agric.* 1979, **28**, 319-332.
- RENERRE M. Influence de facteurs biologiques et technologiques sur la couleur de la viande bovine. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix*, 1986, **65**, 41-45.
- RENERRE M. Oxidative processes and myoglobin. In : Decker E., Faustman C., Lopez-Bote C.J. (Eds),

- Antioxydants in muscle foods. John Wiley & Sons : New-York, 2000, 113-133.
- RENERRE M. La mesure de la couleur de la viande. In : 11^e Journées des Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont Ferrand, 4-5 octobre 2006, 2006, 257-258.
- ROCK E. Les apports en *micronutriments* par la viande. In : 9^e Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande, Clermont Ferrand, 15-16 octobre 2002, 2002.
- ROZE S., EVRA GEORGEL C. Vérification des performances du Quality Spec[®] BT à mesurer en ligne la tendreté de la viande bovine. Institut d'Élevage : Paris, 2008, 33 p.
- SAMI A.S., AUGUSTINI C., SCHWARS F.J. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Sci.*, 2004, **67**, 195-201.
- SAUVANT D., MERTENS D.R. Empirical modeling of ruminal pH from dietary NDF and mean particle size. *Anim. Sci.*, 2001, **79**, 198-199.
- SAVELL J.W., MUELLER S.L., BAIRD B.E. The chilling of carcasses. *Meat Sci.*, 2005, **70**, 449-459.
- SCHENKEL F.S., MILLER S.P., JIANG Z., MANDELL I.B., YE X., LI H. WILTON J.W. Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 2006, **84**, 291-299.
- SCHOR A., COSSU M.E., PICALLO A., MARTINEZ FERRER J., GRIGERA NAON J.J., COLOMBATTO D. Nutritional and eating quality of Argentinean beef. *Meat Sci.*, 2008, **79**, 408-422.
- SHACKELFORD S.D., KARPLUS K. Contact prediction using mutual information and neural nets. *Proteins*, 2007, **69**, Suppl. 8, 159-164.
- SHACKELFORD S.D., WHEELER T.L., KOOHMARAIE M. Tenderness classification of beef: I. evaluation of beef *longissimus* shear force at 1 or 2 days postmortem as a predictor of aged beef tenderness. *J. Anim. Sci.*, 1997, **75**, 2417-2422.
- SERRANO E., PRADEL P., AGABRIEL J., JAILLER R., DUBROEUCQ H., MICOL D. Production de veaux rosés Salers : effets du fourrage et de l'aliment concentré sur les caractéristiques zootechniques et sur les qualités organoleptiques de la viande. *Renc. Rech. Ruminants*, 2005, **12**, 383-386.
- SHERIDAN J.J. The ultra-rapid chilling of lamb carcasses. *Meat Sci.*, 1990, **28**, 31-50.
- TAPP III W.N., YANCEY J.W.S., APPLE J.K. How is the instrumental color of meat measured? *Meat Sci.*, **89**, 2011, 1-5.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE Regulations and standards under the agricultural marketing act of 1946 and the egg products inspection act. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Livestock and Seed Division : Washington, 1997, 218 p.
- VANDENDRIESSCHE F., CASTEELS M. Gestion de la qualité et contrôle. In : Clinquart A., Fabry J., Casteels M., *Belgian Association for Meat Science and Technology* (éds), La viande ? Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège : Liège, 1999, 193-203
- VERBEKE W., VACKIER I. Profile and effects of consumers involvement in fresh meat. *Meat Sci.*, 2004, **67**, 159-168.
- VERBEKE W., VAN WEZEMAEL L., DE BARCELLOS M.D., KUGLER J.O., HOCQUETTE J.F., UELAND O., GRUNERT K.G. European beef consumers' interest in a beef eating-quality guarantee insights from a qualitative study in four eu countries. *Appetite*, **54**, 2010, 289-296.
- VESTERGAARD M., THERKILDSEN M., HENCKEL P., JENSEN L.R., ANDERSEN H.R., SEJRSEN K. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Sci.*, 2000, **54**, 187-195.
- VOLATIER J.L., DUFOUR A. La place de la viande et des produits à base de viande comme aliments-vecteurs dans les apports nutritionnels de la population française. In : 11^e Journées des Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont Ferrand, 4-5 octobre 2006, 2006, 55-60.
- WILLIAMSON C.S., FOSTER R.K., STANNER S.A. Red meat in the diet. *Brit. Nutr. Found. Nutr. Bull.*, 2005, **30**, 325-355.
- YANG A., LANARI M.C., BREWSTER M., TUME R.K. Lipid stability and meat colour of beef from pasture- and grain-fed cattle with or without vitamin E supplement. *Meat Sci.*, 2002, **60**, 41-50.
- YOUSSAO A.K.I., VERLEYEN V., LEROY P.L. Evaluation de la composition de la carcasse et de la qualité de la viande par ultrasonographie chez le porc. *Ann. Méd. Vét.*, 2002, **146**, 19-29.
- YOUSSAO A.K.I., VERLEYEN V., MICHAUX C., CLINQUART A., LEROY P.L. Prédiction de la teneur en gras intramusculaire du porc Piétrain par l'ultrasonographie en temps réel. In : 10^e Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande, Rennes, 25-26 octobre 2004, 2004, 153-154.
- ZAMORA F., AUBRY L., SAYD T., LEPETIT J., A LEBERT A., SENTANDREU M.A., OUALI A. Serine peptidase inhibitors, the best predictor of beef ageing amongst a large set of quantitative variables. *Meat Sci.*, 2005, **71**, 730-742.
- ZARNOVICAN M., GUILLAUME C. Constats et projections sur les tendances de consommation alimentaire au Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec : Québec, 2006, 42 p.