



HAL
open science

Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux

Y. Geay, Dominique Bauchart, Jean-François J.-F. Hocquette, Joseph J. Culioli

► To cite this version:

Y. Geay, Dominique Bauchart, Jean-François J.-F. Hocquette, Joseph J. Culioli. Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. *Productions Animales*, 2002, 15 (1), pp.37-52. hal-02681425

HAL Id: hal-02681425

<https://hal.inrae.fr/hal-02681425>

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

¹ INRA, Unité de Recherches sur les
Herbivores, Theix, 63122 St-Genès-
Champanelle

² INRA, Station de Recherches sur la
Viande, Theix, 63122 St-Genès-
Champanelle

Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux

Les viandes bovine et ovine ont souvent mauvaise réputation auprès des diététiciens qui les jugent trop riches en lipides. De récentes études ont montré que certains acides gras de ces viandes pouvaient avoir un effet très favorable sur la santé humaine. De plus, les viandes de ruminants sont une source importante de protéines riches en acides aminés indispensables et une source de fer nettement plus assimilable que le fer des végétaux.

Avec 31 kg par habitant et par an en 1998 (SCEES 1999), la consommation de viande de ruminants en France (5 kg d'ovins-caprins et 26 kg de bovins) représente un peu moins du tiers de la consommation totale de viande. Si

la consommation de viande ovine se maintient depuis 10 ans, celle de viande bovine décroît régulièrement de 1,5 à 2 % par an depuis le début des années 80 (selon le panel Secodip). Elle culminait alors à cette époque à 33 kg par habitant et par an. Cette décroissance est générale en Europe et aux USA. Elle s'explique en partie par la concurrence sévère des viandes blanches, dont le prix d'achat est relativement plus faible. Mais elle est aussi due à la prise en compte, par certains consommateurs soucieux de leur santé, des recommandations du corps médical : la viande bovine serait trop riche en lipides et leurs acides gras saturés et monoinsaturés trans seraient favorables au développement de certaines maladies cardiovasculaires.

Résumé

Les viandes de ruminants sont une source importante de nutriments pour l'alimentation humaine et leurs qualités sensorielles sont très appréciées. L'importance et la nature de ces particularités dépendent toutefois de la nutrition des animaux. La première partie de cette revue bibliographique est consacrée à la composition chimique et à la valeur diététique de ces viandes. Celles-ci offrent un éventail d'apports quantitatifs et qualitatifs, notamment sous forme d'acides gras. Si les acides gras saturés et monoinsaturés *trans* sont à limiter dans la consommation humaine il est possible de réduire leurs concentrations dans la viande en augmentant la proportion des acides gras polyinsaturés (AGPI) absorbés par les ruminants. En revanche d'autres acides gras (AGPI n-6 et n-3, acide linoléique conjugué) incorporés spécifiquement dans les muscles pourraient jouer un rôle très favorable sur la santé humaine comme agents préventifs ou curatifs de pathologies majeures (cancers, athérosclérose, obésité) et être ainsi recommandés. La seconde partie de cette revue, est centrée sur l'analyse des qualités organoleptiques des viandes. La structure du muscle squelettique et ses composants biochimiques influent sur la transformation du muscle en viande et conditionnent ainsi les qualités organoleptiques de cette dernière : tendreté, couleur, flaveur et jutosité. L'article montre comment la nutrition du ruminant, en influençant l'activité métabolique, la structure et la composition des muscles, va moduler ces qualités sensorielles

La décroissance de la consommation de viande bovine est aussi la conséquence d'une succession d'événements médiatiques : boycott du veau de boucherie, trafics et utilisations illégales d'hormones, conflit avec les USA sur l'importation de viandes hormonées, crise de la "vache folle". Ces événements ont en effet fortement dégradé l'image de la viande de bœuf. Les transformations économiques contemporaines (industrialisation et intensification de l'agriculture, urbanisation

des populations) éloignent le consommateur du produit. Elles ont ainsi contribué à accroître l'incertitude sur la définition, la qualité et l'origine des produits. C'est notamment le cas pour les filières ovine et bovine. Enfin, l'insatisfaction que ressent le consommateur de viande de ruminant trouve aussi ses sources dans la difficulté à caractériser de façon objective, et donc à mesurer, l'ensemble des caractéristiques qualitatives de la musculature. A ceci s'ajoutent la diversité et la complexité des systèmes de production et de transformation des produits carnés issus des ruminants.

La qualité est donc devenue progressivement un enjeu socio-économique important, d'autant que la progression de la productivité agricole a contribué à la saturation des marchés. C'est pourquoi, depuis de nombreuses années, des recherches ont été mises en place dans le monde et notamment en France à l'INRA, pour tenter de mieux maîtriser les caractéristiques biologiques des muscles et des tissus adipeux intra et intermusculaires. Celles-ci sont en effet déterminantes pour les qualités diététiques et organoleptiques des viandes. Elles dépendent de divers facteurs d'élevage tels que le type génétique de l'animal, son alimentation, son état physiologique et son mode de conduite (au pâturage ou à l'auge, à l'attache ou en stabulation libre).

Cet article analyse de façon synthétique les différentes possibilités qu'offre la nutrition des ruminants de maîtriser ces caractéristiques musculaires. Cette maîtrise doit permettre de fournir une viande attractive par ses qualités sensorielles, apportant des éléments nutritifs essentiels bien assimilables. L'article fait d'abord le point sur la composition biochimique et les valeurs nutritionnelles et hygiéniques des viandes de ruminants, puis présente les caractéristiques structurales et métaboliques du tissu musculaire influençant les qualités sensorielles de la viande bovine et ovine. Dans ces deux parties, est dressé un bilan des possibilités de mieux maîtriser ces caractéristiques nutritionnelles, hygiéniques ou sensorielles par l'alimentation de ces animaux.

1 / Composition et valeur diététique des viandes de ruminants

1.1 / Composition biochimique

La viande est avant tout une source importante de protéines (tableau 1) riches en acides aminés indispensables (revue de Fauconneau 1997). Ces protéines ont une teneur élevée en lysine (9,1 g pour 100 g de protéines) et faible en acides aminés soufrés.

La viande des ruminants, des bovins en particulier, est également une source de fer hémique, 3 et 4 fois plus importante respectivement, que les viandes de porc et de poulet (tableau 1), le fer hémique étant 5 à 6 fois mieux absorbé que le fer non hémique des végétaux. Le zinc est également abondant dans la viande bovine (CIV 1996). Enfin, la viande des ruminants est une source importante de vitamines du groupe B (B1, B2, B6, B12 et niacine, Favier *et al* 1995), en particulier de vitamines B6 et B12, virtuellement absentes des produits végétaux mais synthétisées par les microorganismes du tube digestif du ruminant (tableau 2).

Alors que la composition chimique des muscles est assez constante (environ 75 % d'eau, 19 à 25 % de protéines, 1 à 6 % de lipides, 1 à 2 % de minéraux et 1 à 2 % de glucides), celle des viandes est très variable, notamment en ce qui concerne leur teneur en lipides. Ainsi la proportion de lipides varie de 2,5 % (escalope de veau) à 17,3 % (côtelettes d'agneaux grillées) avec des valeurs intermédiaires de 3,6 % (rumsteack grillé ou jarret bouilli en pot au feu) et de 11,8 % (entrecôte grillée) (tableau 2). Toutefois, afin de rapporter ces valeurs à leur juste mesure, il est important de préciser que la contribution de la viande bovine à la consommation totale de lipides par l'homme n'est que de l'ordre de 5 % (revue de Demeyer et Doreau 1999). En outre la viande bovine se caractérise aussi par un rapport élevé protéines/lipides qui peut

Tableau 1. Composition comparée des viandes cuites de bœuf, de porc et de poulet (d'après tables Regal 1995).

	Bœuf (faux filet, grillé)	Porc (filet, rôti)	Poulet (viande et peau, rôti)
Energie (kJ / 100 g)	700	667	678
Protéines (g / 100 g)	28,1	28,8	26,4
Lipides (g / 100 g)	6,0	4,8	6,2
Cholestérol (g / 100 g)	0,06	0,07	0,09
Acides gras saturés / insaturés	0,86	0,61	0,43
Fer (mg / 100 g)	3,0	1,5	1,3
Niacine (mg / 100 g)	4,5	4,7	7,7
Vitamine E (mg / 100 g)	0,3	0,1	0,2
Vitamine B6 (mg / 100 g)	0,4	0,4	0,4
Vitamine B12 (µg / 100 g)	2,0	0,6	0,3
Folates (µg / 100 g)	15,0	6,0	8,0

Tableau 2. Valeurs nutritionnelles (pour 100 g de viande cuite) de divers types de viandes de ruminants (d'après CIV 1996).

	Boeuf			Agneau	
	Rumsteck grillé	Faux filet rôti	Entrecôte grillée	Gigot rôti	Côtes premières grillées
Energie (kJ)	485	625	849	727	1042
Protéines (g)	21	23	24	23	23
Lipides (g)	3,6	6,4	11,8	8,9	17,3
Cholestérol (mg)	35	33	45	70	90
Acides gras : composition (%) ⁽¹⁾					
- saturés	44	49	50	50	48
- mono-insaturés	40	44	41	38	41
- poly-insaturés	9	3	5	10	10
Fer (mg)	2,9	1,9	2,6	2,0	5,3
Zinc (mg)	4,2	3,3	5,4	2,9	2,5
Vitamines					
B1 (mg)	0,10	0,04	0,09	0,13	0,10
PP (mg)	7,30	5,90	6,20	7,20	7,60
B5 (mg)	1,47	0,34	1,37	0,83	0,70
B6 (mg)	0,56	0,29	0,42	0,34	0,36
B12 (µg)	1,50	0,54	1,40	1,60	1,70
E (mg)	0,44	0,2	0,58	0,18	0,11

⁽¹⁾ pour 100 g de viande crue.

atteindre, selon le morceau cuit, des valeurs comprises entre 12,0 et 2. Ces valeurs sont supérieures à celles d'autres aliments pourtant riches en protéines, tels que les œufs (1,20), les fromages (cantal : 0,75) et certains poissons gras (maquereau : 0,80).

D'une façon générale, la quantité et la nature des lipides déposés dans les muscles dépendent en grande partie, non seulement des apports alimentaires, mais aussi de la digestion, de l'absorption intestinale, du métabolisme hépatique et des systèmes de transport des lipides jusqu'au muscle. Chez le ruminant après sevrage, une forte proportion des acides gras insaturés (AGI) de leur ration alimentaire est hydrogénée dans le rumen, de sorte que les acides gras intramusculaires des bovins et des ovins sont beaucoup moins insaturés que ceux des porcs et des volailles (tableau 1 et revue de Hocquette et Bauchart 1999). Ainsi, les lipides des muscles de bœuf et d'agneau sont constitués de 50 % d'acides gras saturés (AGS) et 50 % d'AGI, l'acide gras dominant étant l'acide oléique (CIV 1996). Toutefois si les tissus adipeux externes du ruminant sont effectivement riches en AGS, le tissu adipeux intramusculaire contient des proportions significatives d'acides gras polyinsaturés (AGPI) et ceci d'autant plus que l'animal est maigre (revue de Demeyer et Doreau 1999 ; tableau 2). En effet, les phospholipides des membranes musculaires (0,5 à 1 % du poids du muscle, quelle que soit la teneur en lipides du muscle) sont très riches en AGPI (de 45 à 55 %), quelle que soit l'espèce animale. Ainsi les lipides intramusculaires contiennent de 2 à 3 % d'AGPI chez le bovin, contre 7 à 15 % chez le porc et 20 à 25 % chez le poulet, les teneurs en lipides étant d'autant plus élevées que l'animal est gras (Gandemer 1998).

1.2 / Les lipides de la viande : aspects diététiques

Le rapport AGPI sur AG saturés de la viande de bovin ou d'agneau est de 0,11 à 0,15, c'est-à-dire inférieur à la valeur recommandée en nutrition humaine (0,45) (Wood et Enser 1997).

Les AGPI de la série n-3 (C18:3 n-3 et dérivés) et de la série n-6 (C18:2 n-6 et dérivés) sont synthétisés par les plantes, mais ne sont jamais synthétisés par les animaux supérieurs. Aucune conversion n'est possible entre les AGPI n-3 et les AGPI n-6. Les AGPI de chaque série doivent donc être apportés par l'alimentation. Le C18:2 n-6 est essentiel pour la croissance et la reproduction. Le C18:3 n-3 est essentiel pour les fonctions du cerveau et de la rétine et les AGPI n-3 ont une influence positive dans la prévention des maladies cardiovasculaires (De Lorgeril *et al* 1994). Mais un rapport n-6/n-3 trop élevé est associé à un risque plus important d'athérosclérose ou de maladies coronariennes. D'une façon générale, le rapport n-6/n-3 recommandé pour l'alimentation humaine est de l'ordre de 2 (Okuyama et Ikemoto 1999). La viande de ruminants (bovins, agneau) présente donc à cet égard une supériorité par rapport à la viande de porc, son rapport n-6/n-3 variant de 1 à 2 contre 7 chez le porc (Wood et Enser 1997). Ceci est dû au fait que l'acide linoléique C18:3, abondant dans les fourrages verts (plus de 50 % des AG totaux, Bauchart *et al* 1984), est en quantité relativement importante dans les tissus des ruminants (Enser *et al* 1999). Bien qu'une forte proportion de C18:3 soit transformée en C18:0 dans le rumen, des quantités faibles mais significatives échappent au métabolisme ruminal (Bauchart *et al* 1984 et 1996) et sont absor-

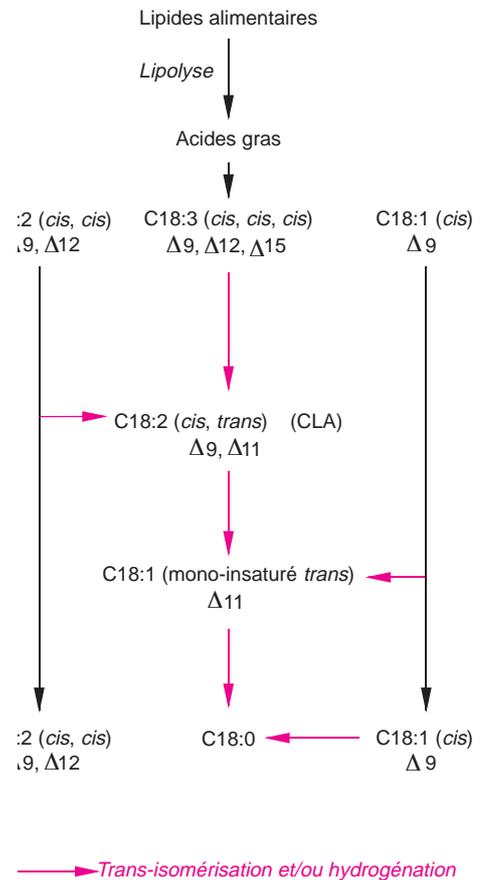
La teneur en lipides de la viande de ruminant varie beaucoup suivant le morceau.

bées dans l'intestin grêle (Wood *et al* 1999). Il est donc possible de modifier la composition des dépôts lipidiques des ruminants par le biais de l'alimentation, comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

Les bactéries du rumen ont la particularité de produire un ensemble de molécules d'AGPI conjugués à doubles liaisons appelés CLA (conjugated linoleic acids). Ces acides gras sont issus des réactions de trans-isomérisation mises en jeu au cours du processus de biohydrogénation des acides linoléique (C18:2 n-6) et linoléinique (C18:3 n-3) alimentaires par les bactéries du rumen (figure 1). Bien que cette famille d'acides gras soit minoritaire dans les lipides des produits laitiers (5,5 mg/g de lipides totaux) et de la viande (2,9 à 4,3 mg/g de lipides totaux) de ruminants (Chin *et al* 1992) (tableau 3), elle fait l'objet d'un intérêt grandissant pour l'Homme en raison de ses propriétés potentielles de prévention ou de traitement de certains cancers (sein, prostate, peau...). Ces propriétés ont été mises en évidence chez différents types de rongeurs ou sur différentes lignées cellulaires normales ou cancéreuses à partir de mélanges de CLA (Ip et Banni 1999, Pariza 1999). Par ailleurs, les CLA exercent des effets de protection vis-à-vis des maladies cardiovasculaires (effet hypolipémiant chez le lapin) et des effets de réduction des dépôts gras chez les rongeurs et le porc (Pariza 1999). Une étude très récente confirme, chez l'Homme, l'effet de réduction de la masse grasse corporelle par les CLA (Vessby et Smedman 1999). D'un point de vue quantitatif les formes dominantes produites par les microorganismes sont le C18:2 $\Delta 9$ *cis*- $\Delta 11$ *trans* (acide ruménique) ainsi que les C18:2 $\Delta 10$ *trans*- $\Delta 12$ *cis* (Ha *et al* 1989) et $\Delta 7$ *trans*- $\Delta 9$ *cis* (Yurawecz *et al* 1998) et, à un degré moindre, leurs isomères $\Delta 9$ *trans*- $\Delta 11$ *trans* et $\Delta 10$ *trans*- $\Delta 12$ *trans* (Ha *et al* 1989). Les formes mineures de CLA sont constituées par les isomères C18:2 *cis*-*trans* en position 7-9, 8-10, 11-13 et 12-14 et *trans*-*trans* en position 8-10 et 11-13 (Ha *et al* 1989). L'analyse fine des acides gras des tissus animaux montre également l'existence d'homologues supérieurs conjugués des CLA, mais leurs propriétés thérapeutiques sont encore inconnues.

Les processus de biohydrogénation bactérienne des AGPI alimentaires dans le rumen génèrent également des isomères *trans* de l'acide oléique. Ces acides gras sont considérés comme indésirables pour la santé humaine. Ce sont en effet des facteurs aggravant des risques cardiovasculaires au même titre que leurs acides gras homologues produits par l'industrie par hydrogénation catalytique d'huiles végétales (pour la fabrication des margarines). Les isomères *trans* de l'acide oléique représentent environ 15 % des isomères totaux (*cis* et *trans*) de l'acide oléique, soit en moyenne 6 % des acides gras totaux du muscle (Bayard et Wolff 1996, Bauchart et Cossoul, données non publiées). La consommation journalière d'isomères *trans* de l'acide oléique a été estimée à 0,8-1,8 g par personne dans les pays de l'Union européenne (Wolff 1995).

Figure 1. Lipolyse et biohydrogénation des acides gras alimentaires par les bactéries du rumen.



—→ Trans-isomérisation et/ou hydrogénation

Tableau 3. Contenu en CLA (acides linoléiques conjugués) de produits animaux (viandes, lait) et d'huiles végétales (d'après Chin *et al* 1992).

	CLA (mg / g lipides)	<i>cis</i> 9 <i>trans</i> 11 (%)
Viande		
Bovin	2,9 à 4,3	79
Ovin	5,6	92
Poulet	0,9	84
Porc	0,6	82
Saumon	0,3	nd
Lait de vache	5,5	92
Huiles végétales		
Tournesol	0,4	38
Olive	0,2	47

Les isomères *trans* de l'acide oléique sont représentés dans le muscle de bouvillon par l'acide *trans* vaccénique ($\Delta 18:1$ $\Delta 11$ *trans* : 66 % des isomères de l'acide oléique) et secondairement par les isomères *trans* $\Delta 13$ (10 %), *trans* $\Delta 9$ (8 %), *trans* $\Delta 12$ (7 %), *trans* $\Delta 15$ (4 %), et *trans* $\Delta 16$ (5 %) (Bayard et Wolff 1996).

Enfin, bien que les viandes contiennent des quantités significatives de cholestérol (de 50 à 100 mg/100 g), elles en contiennent moins que les abats et les œufs. De plus, il est important de souligner que chez l'Homme, plus de la moitié du cholestérol est synthétisée dans le foie et l'intestin (revue de Fauconneau 1997) et non pas fournie par l'alimentation.

Parmi les lipides de la viande de ruminant, les acides linoléiques conjugués (CLA) produits par les bactéries du rumen ont des propriétés potentielles de prévention contre certaines pathologies.

2 / Valeur nutritionnelle des viandes selon l'alimentation du ruminant

La viande des ruminants, celle des bovins plus particulièrement, fait souvent l'objet de critiques d'ordre nutritionnel pour ses teneurs en lipides et en AGS, considérées comme trop élevées. Ce chapitre présente les possibilités de mieux maîtriser ces teneurs par l'alimentation de l'animal.

En effet, malgré le fait que les lipides alimentaires soient hydrolysés et leurs acides gras fortement hydrogénés par les bactéries du rumen, la nature et la quantité des acides gras ingérés peuvent modifier la composition des lipides déposés dans les réserves adipeuses externes et dans les lipides intramusculaires du ruminant en croissance ou en lactation (Demeyer et Doreau 1999).

Ainsi, la consommation d'herbe au pâturage a permis à des bouvillons Pie-Noirs d'incorporer dans leurs dépôts adipeux une proportion plus élevée d'AGPI de la famille n-3, comparativement à la consommation d'un aliment à base de foin et de céréales (proportions multipliées par 2,4 pour C18:3, par 1,3 pour C18:4, par 3,5 pour C20:5 et par 1,8 pour C22:5 ; Nürnberg *et al* 1998). Cette incorporation privilégiée des AGPI n-3 (C18:3 n-3) et de leurs homologues polyinsaturés longs (C20:4 n-3, C20:5 n-3, C22:5 n-3 et C22:6 n-3, également importants en nutrition humaine) a été également observée par Enser *et al* (1998) chez d'autres bouvillons recevant une ration à base d'herbe, comparativement à un régime à base de céréales (maïs et soja). Elle s'effectue en parallèle à celle du C18:0, au détriment du C18:1 et, à un degré moindre, du C18:2 n-6 (Rowe *et al* 1999). A l'inverse, les régimes à base de céréales conduisent à une élévation des teneurs en AGPI n-6 de type C18:2 n-6 dans les dépôts de bouvillons (Enser *et al* 1998). Les lipides neutres du muscle incorporent essentiellement les AGPI de type C18:2 n-6 et C18:3 n-3. Les phospholipides sont moins sélectifs et incorporent non seulement les AGPI de type C18:2 n-6 et C18:3 n-3, mais également leurs homologues AGPI longs : C20:3, C20:4 et C22:5 (Larick et Turner 1989).

L'addition d'huile de poisson à un régime pour bouvillons à base de paille de blé (30 %), de grains de maïs (30 %) et de graine de lupin (20 %), se traduit par une incorporation préférentielle des AGPI longs n-3 (C20:5 et C22:6) peu sensibles à la biohydrogénation ruminale. L'addition de la même huile protégée préalablement par enrobage avec de la caséine traitée par le formaldéhyde, renforce très nettement l'incorporation du C20:5 n-3 (15 vs 2 % des AG totaux) et du C22:6 n-3 (4 vs 2 %) dans les phospholipides musculaires. Mais elle ne modifie pas la teneur en ces acides gras dans les triglycérides du muscle ou du tissu adipeux (Ashes *et al* 1992). Des résultats similaires ont été obtenus avec des rations contenant de la farine de poisson. Ils montrent notamment que l'incorporation préférentielle du C20:5 n-3 et du C22:6 n-3 dans les lipides du muscle long dorsal s'effectue au détriment

des AGPI n-6 et notamment du C20:4 n-6 (Mandell *et al* 1997).

De même, les graines oléagineuses, riches en AGPI, ajoutées à la ration des bouvillons, modifient différemment la composition en acides gras des lipides musculaires et des tissus adipeux. Ainsi l'ajout de graine de colza (7, 14 ou 24 % de la MS) à un régime à base de céréales et de paille de blé réduit la teneur en acides gras en C16 au profit des acides gras en C18. Mais les lipides intramusculaires contiennent plus d'acides gras de type C18:1 et C18:2 n-6 que ceux des dépôts adipeux. L'apport de ce type de graines augmente fortement la teneur en vitamine E dans les dépôts lipidiques (de 4,5 à 14,9 µg/g), ce qui contribue à renforcer la stabilité de leurs acides gras vis-à-vis de la peroxydation (doublement du temps nécessaire à l'induction de la peroxydation) (Flachowsky *et al* 1994).

L'introduction de matières grasses protégées des fermentations ruminales entraîne de fortes modifications de la composition en acides gras des lipides des tissus chez le bovin à l'engraissement. Ainsi, l'emploi de graines de coton ou de canola, riches en C18:2 n-6, protégées par tannage des protéines à l'aldéhyde formique, élève fortement la teneur en C18:2 n-6 des lipides des dépôts adipeux (proportion multipliée par 6 avec la graine de coton, par 2,5 avec la graine de canola), au détriment soit du C18:1 (graine de coton) soit du C16:0 (graine de canola). De même, le C18:2 n-6 s'incorpore préférentiellement aux lipides musculaires (Scott et Ashes 1993).

La production de CLA par le ruminant est essentiellement régulée par la nature des rations, plus ou moins riches en AGPI n-3 et n-6 (Enser *et al* 1999). Ainsi, les rations à base d'herbe (riches en C18:3 n-3) accroissent la production de CLA comparativement aux rations à base de foin, la production de CLA étant plus élevée avec une herbe jeune de printemps qu'avec une herbe d'automne (Lawless *et al* 1999). Par ailleurs, la production de CLA augmente fortement avec l'emploi de rations complémentées avec des graines oléagineuses (riches en C18:2 n-6 ou en C18:3 n-3) ou avec leur équivalent en huiles végétales non protégées (Lawless *et al* 1996 et 1999). L'addition d'huile de poisson à la ration augmente de façon importante (x 6) la production de CLA (plus particulièrement la forme C18:2 Δ^9 *cis*- Δ^{11} *trans*) (Chilliard *et al* 1999). De nombreux aspects de la production microbienne de CLA restent à préciser. Il s'agit, notamment, des relations entre source et teneur en AGPI des rations et nature chimique des CLA produits dans le rumen, ainsi que leur incidence sur le dépôt des CLA dans les tissus.

Une élévation du niveau alimentaire des ruminants se traduit par un accroissement de la proportion de dépôts adipeux corporels et de la teneur en lipides intramusculaires (Geay et Robelin 1979). Cependant, lorsque l'apport alimentaire s'accroît après une période de restriction, il s'accompagne d'une croissance compensatrice. Celle-ci peut se traduire par

Dans la viande, les proportions des différents acides gras varient selon les aliments consommés par les ruminants. On peut ainsi augmenter la part de CLA en ajoutant certains lipides aux rations.

une réduction significative de la teneur en lipides intramusculaires au bénéfice des tissus adipeux externes, comme chez le taureau de race tardive Blanc Bleu Belge (Hornick *et al* 1998). La viande plus maigre ainsi obtenue répond mieux aux recommandations alimentaires pour l'Homme. Mais la réduction du dépôt de lipides intramusculaires, au bénéfice des dépôts dans les autres tissus adipeux, dépend du stade physiologique de l'animal au moment où a lieu la réalimentation (Geay *et al* 1976).

Le génotype des bovins exerce une forte modulation sur la teneur et la composition en acides gras des lipides de dépôt. Ainsi, comparés aux animaux de race Brahman recevant les mêmes rations, les animaux de race anglo-saxonne Hereford ont une teneur plus élevée en AGS (38,8 *vs* 34,5 % des AG totaux) et plus faible en mono- (53,4 *vs* 59,5 %) et poly-insaturés (1,8 *vs* 2,4 %). Ils déposent, quantitativement, 5 % d'acides gras de plus que les Brahman (Huerta-Leidenz *et al* 1993) et ont des teneurs en lipides totaux et en cholestérol intramusculaires plus élevées d'environ 5 % (Taylor et Smith 1990). Des différences de composition et de teneur en lipides intramusculaires ont également été mises en évidence entre les races Galloway, Holstein et Blanc Bleu Belge (Nürnberg *et al* 1999) et entre les races Holstein et Noire Japonaise (Zembayashi et Nishimura 1996). L'effet de la nature de la ration ou du niveau des apports énergétiques peut donc ainsi être exacerbé par le type génétique de l'animal.

3 / Caractéristiques physiologiques du tissu musculaire et transformations *post mortem* influençant les qualités organoleptiques des viandes

3.1 / Caractéristiques du muscle

Le muscle strié est constitué de faisceaux de

fibres entourées d'une trame de tissu conjonctif (figure 2). Le collagène, principale protéine constituant ce tissu, représente selon le muscle, 2 à 15 % de la matière sèche. La trame collagénique est localisée à trois niveaux : l'épimysium constitue l'enveloppe conjonctive externe du muscle, le péri-mysium entoure chacun des faisceaux de fibres musculaires et les relie entre eux, l'endomysium est une mince couche de la matrice extra-cellulaire entourant le sarcolemme de chaque fibre musculaire. Le collagène constitue une famille de protéines comportant au moins 21 isoformes. Sept ont été localisées dans le muscle squelettique (Listrat *et al* 1997), essentiellement les collagènes de type I, III et IV (Mc Cormick 1994). La proportion respective de chacun de ces derniers dépend du muscle, de l'âge de l'animal, de son type génétique, mais aussi de sa localisation dans le muscle.

Les fibres musculaires sont constituées de longues cellules multinucléées, contenant les protéines contractiles, les enzymes requises pour l'utilisation ou le stockage de l'énergie (glucides, lipides) et les enzymes protéolytiques, notamment responsables du catabolisme des protéines au cours de la maturation de la viande (figure 3). Les propriétés contractiles des fibres dépendent du type de chaîne lourde de myosine, protéine prépondérante des fibres dont on a identifié au moins 10 isoformes (revue de Geay *et al* 1997). L'activité métabolique des fibres dépend de celle d'enzymes caractéristiques des différentes voies empruntées par les nutriments énergétiques mis à la disposition du muscle (glucose, acides gras, lactate, etc). Deux grands groupes de voies métaboliques peuvent être distingués : les voies glycolytiques anaérobies et les voies oxydatives aérobies. Les premières conduisent soit à la formation de lactate à partir du glycogène ou de glucose, soit au stockage du glucose sous forme de glycogène. Les secondes donnent lieu à une oxydation du glucose ou des lipides dans les mitochondries, ou au stockage des triglycérides dans les fibres musculaires et surtout dans les adipocytes intramusculaires (revue de Hocquette *et al* 1998b). Trois principaux types de fibres musculaires ayant une impor-

Figure 2. Structure du muscle.

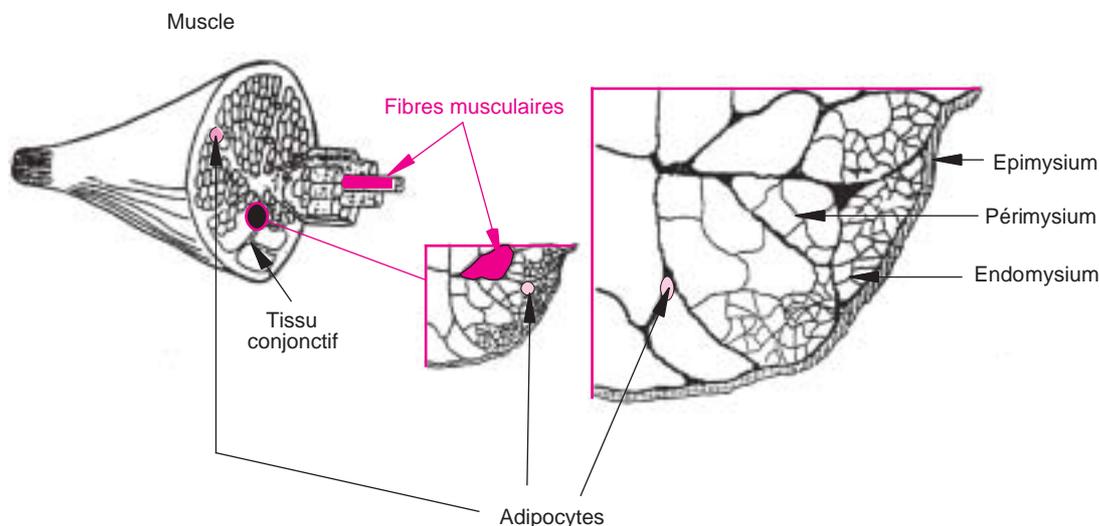
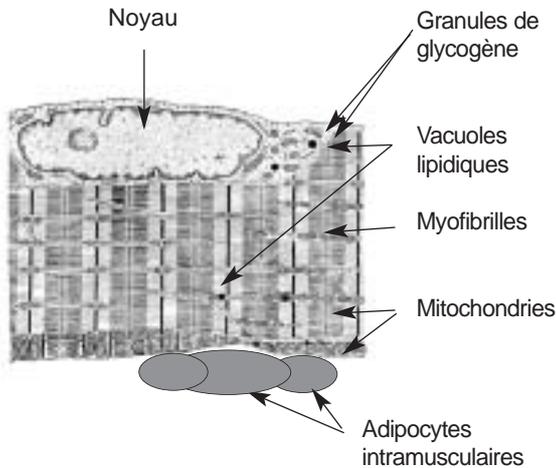


Figure 3. Structure d'une fibre musculaire.



tance sur la qualité de la viande ont été décrits, selon leurs activités contractiles et métaboliques : les fibres rouges oxydatives à contraction lente (type I ou SO), les fibres rouges oxydo-glycolytiques à contraction rapide (type IIA ou FOG) et les fibres blanches glycolytiques à contraction rapide (type IIB ou FG). D'autres cellules quantitativement minoritaires, telles que les adipocytes intramusculaires, sont présentes dans la trame conjonctive (figure 2).

3.2 / Transformation du muscle en viande

La transformation du muscle en viande fait appel à un ensemble de processus très complexes, de nature à la fois enzymatique (action des protéases endogènes) et physico-chimique (modification du pH et augmentation de la pression osmotique) qui ne sont pas encore totalement élucidés (figure 4 ; revue de Ouali 1990).

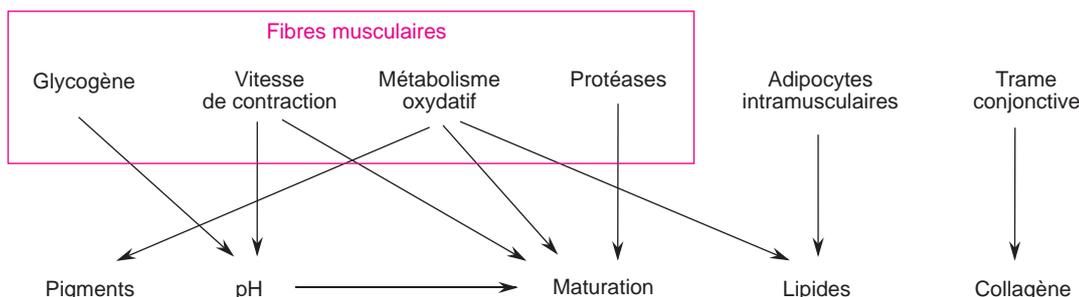
L'arrêt de la circulation sanguine, qui accompagne l'abattage des animaux, bouleverse le métabolisme musculaire. Le muscle se trouvant en anoxie, s'acidifie progressivement en raison de la conversion de son glycogène en acide lactique. Son pH décroît d'une valeur voisine de 7,0-7,2 à des valeurs comprises entre 5,4 et 5,8. Cette diminution du pH favorise la conservation de la viande, en ralentissant le développement bactérien. Mais elle entraîne une plus faible rétention d'eau par le fait que le pH se rapproche du point isoléctrique des protéines (revue de Touraille 1994). La vitesse de chute du pH dépend de la vitesse

de contraction des fibres musculaires (Klont *et al* 1998). Elle varie fortement d'un muscle à l'autre. Les qualités de la viande dépendent donc de la cinétique d'évolution du pH, mais aussi de la température. Une chute très rapide de pH associée à une réfrigération lente conduit à des viandes pâles et exsudatives, ce phénomène étant toutefois peu rencontré avec la viande bovine. A l'inverse, une chute de pH lente, associée à une réfrigération rapide, induit un phénomène de cryo-choc à l'origine de la contraction des muscles et d'une viande dure à la cuisson. La valeur du pH ultime, qui dépend de la teneur en glycogène du muscle, aura des conséquences sur les qualités de la viande. La teneur en glycogène du muscle dépend du statut nutritionnel de l'animal avant son départ pour l'abattoir, notamment des échanges préalables de substrats énergétiques entre le foie, le tissu adipeux et les muscles (revue de Hocquette *et al* 1998b). Mais elle dépend également de l'activité physique et des conditions de stress auxquelles l'animal est soumis, depuis son départ de l'élevage jusqu'à l'instant où il est abattu. Chez le bovin comme chez le porc, le pH ultime varie d'un muscle à l'autre : les muscles rouges, à contraction lente, plus pauvres en glycogène, ont des pH ultimes plus élevés que les muscles blancs (Talmant *et al* 1986). Le pH ultime dépend aussi du pouvoir tampon du muscle, celui-ci augmentant avec l'intensité du métabolisme glycolytique (Monin 1991).

Dès la mort de l'animal et au cours de la conservation de la viande, des altérations plus ou moins importantes vont affecter la structure et la composition biochimique musculaires. C'est ainsi que les protéines contractiles myofibrillaires vont être hydrolysées par des enzymes protéolytiques endogènes : protéases neutres calcium-dépendantes ou calpaïnes, protéasome et protéases lysosomales ou cathepsines. La libération d'ions calcium dans le cytosol, la chute du pH et l'augmentation de la pression osmotique influencent l'activité des différents systèmes protéolytiques et la sensibilité des substrats. L'importance de cette hydrolyse dépend de la durée et de la température de conservation de la viande (Ouali 1990). Elle dépend aussi du type de fibre, c'est-à-dire de ses propriétés contractiles, de ses réserves énergétiques (ATP, mais surtout glycogène et créatine phosphate) et de son équipement enzymatique (enzymes du métabolisme énergétique et protéases). D'autres altérations vont conduire à une oxydation des lipides intramusculaires et de la myoglobine, pigment de la viande (figure 4).

Les qualités sensorielles de la viande sont fonction de l'évolution du pH musculaire et de sa valeur ultime, celle-ci dépendant de la teneur du muscle en glycogène.

Figure 4. Relations entre la structure et le métabolisme du muscle, ses caractéristiques biochimiques et les qualités organoleptiques de la viande (adapté d'après Touraille 1994 et Hocquette *et al* 1998a).



3.3 / Les qualités sensorielles de la viande

Les effets combinés des caractéristiques du muscle au moment de l'abattage et des altérations que celles-ci vont subir au cours de la transformation du muscle en viande (maturation) conditionnent les qualités sensorielles des viandes : couleur, tendreté, flaveur et jutosité.

La couleur de la viande constitue, avec la quantité de gras visible, la forme et la structure du morceau, le premier ensemble de caractères pris en compte par le consommateur pour évaluer la qualité de la viande. La couleur dépend de la teneur et de l'état chimique du pigment essentiel, la myoglobine. Cette protéine est liée à la membrane externe des mitochondries et du réticulum sarcoplasmique (Kawai *et al* 1987). La couleur dépend aussi de la structure du muscle, absorbant ou réfléchissant plus ou moins la lumière et permettant plus ou moins à l'oxygène de pénétrer (Renerre et Labadie 1993). La myoglobine sert à stocker et à transporter l'oxygène dans la cellule musculaire *in vivo*. Sa concentration est plus élevée dans les muscles rouges oxydatifs.

La myoglobine (Mb) se présente sous différentes formes qui dépendent du degré d'oxydation du fer dans le noyau hémique et de la présence et de la nature des composés liés à la globine (oxygène principalement). Au sein du muscle, la myoglobine est sous forme réduite, de couleur pourpre, en raison de l'absence d'oxygène. En surface, au contact de l'air, elle se trouve sous forme oxygénée, de couleur rouge vif.

Mais lors d'une exposition prolongée à l'air cette couleur est instable car le pigment s'oxyde en metmyoglobine (MMb), de couleur brune, désagréable à l'œil du consommateur. Le fer à l'état ferreux s'oxyde en fer ferrique et libère un électron récupéré par l'oxygène qui se transforme en anion superoxyde O_2^- (Raskin *et al* 1997). Des antioxydants (liposolubles et hydrosolubles) existent naturellement dans la cellule musculaire sous forme ou non d'enzymes spécifiques (Renerre 1999). Parmi celles-ci, l'enzyme superoxyde-dismutase transforme les anions superoxydes en H_2O_2 et la catalase et la glutathion-peroxydase éliminent respectivement et préférentiellement les hydroperoxydes d'acides gras. En cas de déficience en Se, Mg, Cu et Zn, ou lors de la maturation de la viande, la régulation enzymatique devient défectueuse. Les radicaux O_2^- et H_2O_2 s'accumulent alors puis se transforment, sous l'effet du Fe^{++} , en radicaux hydroxyl (OH^-) capables de favoriser la dégradation de la couleur et l'oxydation des graisses. L'oxydation des lipides dans la viande crue serait aussi causée par le couple MMb- H_2O_2 et, dans les viandes cuites, par le Fe^{+++} libéré par la MMb. Faustman *et al* (1989), ont observé que la formation de MMb et l'accumulation des produits de l'oxydation des lipides sont positivement corrélées. L'oxydation de la Mb précéderait l'oxydation des lipides musculaires (Monahan *et al* 1990) et jouerait un rôle catalyseur dans le proces-

sus de rancissement oxydatif (Rhee *et al* 1987). Les radicaux libres jouent également un rôle de catalyseurs dans la transformation de la Mb en MMb. Toutefois les lipides oxydés favoriseraient à leur tour l'oxydation de la myoglobine, accélérant le processus.

L'état du pigment, c'est-à-dire son degré d'oxydation, dépend de la consommation d'oxygène mitochondrial après l'abattage et, par suite, du pH de la viande. Le maintien d'un pH élevé (> 6) se traduit par une viande de couleur sombre, collante, caractéristique des animaux stressés avant abattage et dont les réserves de glycogène ont été épuisées (revue de Renerre et Labadie 1993). De faibles réserves de glycogène et une forte aptitude à produire une viande sombre à la coupe peuvent, en effet, être induites par des injections sous-cutanées d'adrénaline (Hedrick 1981). Dans les muscles dont les réserves de glycogène sont fortement réduites, l'activité des mitochondries se maintient et la consommation d'oxygène reste élevée ; la couleur sombre prédomine (Ashmore *et al* 1972). A la surface de la viande, seule une couche fine de myoglobine se trouve sous la forme oxygénée rouge vif. En outre, une viande à pH élevé ayant une forte capacité de rétention d'eau, présente une grande translucidité et une plus faible dispersion de la lumière incidente. Ceci conduit à une plus forte pénétration et absorption de la lumière, faisant apparaître la viande plus sombre (Cornforth 1994).

La tendreté représente la facilité avec laquelle une viande se laisse mastiquer (Touraille 1994). C'est la qualité sensorielle la plus importante pour le consommateur de viande de bœuf. Mais c'est aussi le critère de qualité le moins maîtrisé et il est nécessaire d'en réduire la variabilité.

Les deux structures du tissu musculaire responsables de la tendreté sont d'une part le tissu conjonctif, par l'intermédiaire de sa composante collagénique et, d'autre part, les myofibrilles. Le tissu conjonctif est relativement stable *post mortem* et peu sensible aux traitements technologiques. Il contribue à la dureté de la viande par sa concentration dans le muscle à l'abattage et par sa thermo-solubilité. Celle-ci dépend de la nature et de l'importance des liaisons intermoléculaires, du diamètre des fibres et du type d'isoformes des protéines collagéniques.

Après l'abattage, la structure myofibrillaire subit de profondes modifications qui dépendent des conditions de traitement des carcasses et des muscles, mais aussi des caractéristiques enzymatiques et physicochimiques des fibres. Ces dernières mettent en jeu l'abaissement du pH et le très fort accroissement de la pression osmotique. Immédiatement après l'abattage, le métabolisme de la cellule se poursuit dans des conditions anaérobies. Pour maintenir une homéostasie, la cellule épuise progressivement les réserves de glycogène et de créatine phosphate. Lorsque le niveau énergétique devient trop faible le calcium est libéré, favorisant la contraction musculaire. En outre la teneur en

La structure et la composition des muscles influent sur les processus de maturation et conditionnent les qualités sensorielles des viandes.

ATP devient insuffisante pour permettre la rupture de l'association actine-myosine créée par cette contraction. Un complexe actomyosine inextensible se forme, entraînant un durcissement de la viande, c'est la phase dite de *rigor mortis* (Lawrie 1992). Mais, au fur et à mesure que le pH s'abaisse, la pression osmotique s'élève et atteint sa valeur maximale à l'achèvement de l'installation de la *rigor mortis* (Ouali 1990). Cette augmentation de la pression contribue à altérer l'intégrité des myofibrilles et à dissocier les protéines contractiles. La valeur de la pression osmotique varie selon les muscles (Winger et Pope 1980-81). Une plus forte osmolarité est observée dans les muscles à contraction rapide. En outre, dès la mort, d'autres processus d'attendrissage se mettent en place, dus à la protéolyse des protéines myofibrillaires et des protéines associées. Cette protéolyse cause la rupture des myofibrilles et conduit à un attendrissage de la viande (revue de Jiang 1998). Bien que plusieurs systèmes protéolytiques soient décrits dans la littérature (calpaïnes, protéasome et cathepsines), les calpaïnes (μ et m), enzymes calcium-dépendantes, semblent jouer un rôle prépondérant (Koomaraie 1996). Il existe cependant un inhibiteur spécifique de ce système enzymatique, la calpastatine, qui joue un rôle majeur sur l'activité protéolytique. En effet, il a été montré que le rapport enzyme/inhibiteur régit la vitesse d'attendrissage (Ouali et Talmant 1990). Le rapport calpaïne/calpastatine, qui s'accroît quand l'activité ATPasique augmente, est d'environ 1/4 - 1/2,5 et 1/1,5 respectivement pour le bœuf, l'agneau et le porc (Koomaraie *et al* 1991), ce qui peut expliquer, au moins en partie, la moindre vitesse d'attendrissage des viandes bovines. Les calpaïnes ayant initié la rupture et la déstabilisation de la structure myofibrillaire, permettraient au protéasome 20S de poursuivre la protéolyse des protéines partiellement dégradées. Ce protéasome serait issu de la dissociation du protéasome 26S sous l'effet de l'épuisement des réserves d'ATP (Robert *et al* 1999). Les cathepsines B, H et L, quant à elles, attaqueraient le complexe actomyosine. Elles seraient pour cela libérées des lysosomes par rupture de leur membranes, sous l'effet de l'abaissement du pH (revue de Jiang 1998).

La vitesse de maturation de la viande est positivement corrélée à l'activité ATPasique (Ouali 1990), celle-ci conditionnant la vitesse de contraction musculaire. Ainsi les muscles glycolytiques à contraction rapide mûrent plus vite que les muscles rouges oxydatifs à contraction lente. Toutefois, d'autres auteurs estiment que l'attendrissage de la viande au cours de sa maturation ne relève pas d'un phénomène enzymatique, mais essentiellement d'une dissociation des structures sous l'effet d'une augmentation du taux de calcium intramusculaire après l'abattage (Takahashi 1999).

Dransfield (1994) a développé un modèle capable d'estimer les changements d'activité des calpaïnes et par suite les variations de la tendreté. Le principe de ce modèle est de calculer, à partir des cinétiques d'évolution *post mortem* de la température et du pH intramusculaires, l'évolution de l'activité des calpaïnes

et de la calpastatine, puis de prédire l'évolution de la tendreté. Morton *et al* (1999) ont tenté avec un certain succès d'ajuster les données de base de ce modèle. Ils suggèrent que chez le bovin, la vitesse d'attendrissage est directement fonction de l'activité initiale de la calpastatine, de la vitesse d'autolyse de la μ calpaïne et de la vitesse de chute du pH. Chez l'agneau, la tendreté dépend du niveau initial de calpastatine et du profil de décroissance du pH qui déterminent l'activité *in situ* de la calpaïne et, par suite, la vitesse d'attendrissage.

La flaveur de la viande est le résultat de la sollicitation de deux sens, le goût et l'odorat. Mais d'autres sensations telles que l'astringence, la jutosité et la sensation en bouche peuvent aussi jouer un rôle (Farmer 1994). La sensation d'odeur est produite par des composés chimiques volatils de faible poids moléculaire qui stimulent les récepteurs de l'épithélium nasal. Le goût est généralement sollicité par des substances solubles dans l'eau et d'un poids moléculaire plus élevé que les composés volatils précédents. Il existe enfin des composés n'ayant pas forcément de flaveur mais qui potentialisent l'action, sur l'odorat ou le goût, d'autres composés odorants ou sapides. Tel est le cas de l'acide glutamique, du glutamate monosodique et de l'acide inosinique (Moody 1983).

La viande à l'état cru n'a que très peu de goût, à l'exception du goût de sang, et contient peu de composés aromatiques. Ce n'est qu'au cours de la cuisson que se développe sa flaveur typique. Celle-ci est fortement dépendante des paramètres de cuisson (mode, durée, température). Les composés aromatiques responsables de la flaveur de la viande cuite sont issus de deux grands types de réactions induits par le traitement thermique (chauffage) : les réactions de Maillard entre acides aminés et sucres réducteurs et la dégradation des lipides. Ces réactions génèrent, à partir de précurseurs liposolubles et hydrosolubles, un très grand nombre de composés volatils (plus de 1000, revue de Mottram 1998). Les hétérocycles, en particulier les hétérocycles azotés (pyrazines, pyridines) et soufrés (thiazoles, thiophènes et sulfides) produits au cours de la réaction de Maillard, génèrent une flaveur typique de viande cuite. Parmi les composés hydrosolubles précurseurs d'arômes, la cystéine, la thiamine et le ribose des nucléotides jouent un rôle prépondérant.

La dégradation des lipides, triglycérides et phospholipides, conduit à une large gamme de produits aliphatiques ainsi que des composés cycliques dont certains possèdent des odeurs intenses et pourraient être à l'origine des différences d'arôme entre espèces animales. De plus, certains acides gras ramifiés, tels que les acides 4-méthyl-octanoïque et 4-méthyl-nonanoïque, sont associés à la flaveur caractéristique de la viande de mouton, qui peut constituer un élément de rejet chez certains consommateurs. Il est à noter toutefois, que si les lipides de la viande sont des constituants indispensables au développement de la flaveur de mouton, la flaveur spécifique de la viande de bœuf ne serait pas due à leur pré-

sence, mais aux produits de la réaction de Maillard (Reineccius 1994). Les travaux de Grosch *et al* (1993) cités par Farmer (1994) suggéreraient, cependant, qu'un aldéhyde à chaîne ramifiée (12-méthyltridecanal) dérivé d'une forme de phospholipides plasmalogènes pourrait être important dans le développement de la saveur de la viande de bœuf.

Par ailleurs, les produits dérivés de l'oxydation des lipides (aldéhydes et composés carbonyles) réagissent avec les produits intermédiaires de la réaction de Maillard. Des composés du type thiazoles, pyridines et pyrazines sont aussi formés et participent à la saveur de la viande cuite.

La jutosité représente le caractère plus ou moins sec de la viande au cours de la consommation (Touraille 1994). Selon Winger et Hagyard (1994), elle aurait deux composantes : la première est la sensation de libération d'eau dès les premières mastications, produite par la libération rapide des fluides de la viande. La seconde, plus soutenue, serait apparemment due à l'effet des lipides sur la sécrétion salivaire. La jutosité dépend donc non seulement des caractéristiques de la viande mais aussi de facteurs physiologiques très étroitement dépendants du consommateur. C'est pourquoi son évaluation est complexe et très subjective. Elle va dépendre aussi d'autres caractéristiques de la viande telles que sa structure et sa capacité de rétention d'eau (Winger et Hagyard 1994). Selon ces auteurs, cette dernière qui peut-être mesurée à l'aide de méthodes très variées, ne permet toutefois pas une appréciation satisfaisante de la jutosité. Celle-ci varie par ailleurs avec le type de muscle et la teneur en lipides intramusculaires. Mais sur des séries de 10 muscles à teneur en lipides différentes, un seul (le *Semitendinosus*) a permis d'observer une relation entre la jutosité et la teneur en lipides (Browning *et al* 1990). D'une façon générale, cette relation n'est donc pas claire (Winger et Hagyard 1994).

4 / Qualités organoleptiques de la viande selon l'alimentation du ruminant

L'alimentation du ruminant, par le niveau et la nature des apports énergétiques et azotés, peut modifier les caractéristiques musculaires à l'abattage et, par là même, influencer plus ou moins fortement sur les différentes qualités sensorielles de la viande.

4.1 / La couleur

Nous avons vu précédemment que la couleur dépend de la teneur et de l'état de la myoglobine et de la structure du muscle. Les conditions alimentaires peuvent modifier ces paramètres.

a / Effet de la nature de la ration

La teneur en pigment, qui augmente avec l'âge, est influencée par la nature de l'alimentation du ruminant essentiellement dans le cas

d'animaux jeunes en état d'anémie ferriprive (Renner 1986) comme le veau de boucherie. Cet état se traduit par une viande très pâle et peut s'accompagner d'une réduction de la croissance (revues de Bauchart *et al* 1996b et Hocquette *et al* 1996). Ceci pourrait être dû à une réduction de l'activité des enzymes du métabolisme oxydatif (qui dépendent de l'apport de fer) malgré un accroissement de l'utilisation du glucose par les muscles et une augmentation de la glycolyse anaérobie (revue d'Hocquette *et al* 1998a). Chez les bovins en croissance plus âgés, une pigmentation plus marquée et une couleur plus intense ont été observées avec un régime d'herbe pâturée, comparativement à un régime riche en concentré distribué à l'auge. Selon Vestergaard *et al* (1999), ceci serait dû davantage à l'activité physique plus intense des animaux au pâturage et au plus faible niveau alimentaire qu'à la nature de la ration *stricto sensu*.

La supplémentation de la ration en sélénium et surtout en vitamine E permet de réduire fortement l'oxydation de la myoglobine (Liu *et al* 1995, Lynch *et al* 1999) et d'augmenter la durée d'exposition à l'air de la viande (de 3 à 6 jours selon la dose, la durée de supplémentation et le type de muscle). L'apport de vitamine E accroît la concentration d'alpha-tocophérol dans les membranes cellulaires, spécialement celles des mitochondries et des microsomes. La vitamine E et le sélénium constitutif de la glutathion-peroxydase font partie des principaux antioxydants présents dans toutes les cellules (McDowell *et al* 1996). Ils protègent les phospholipides et le cholestérol des membranes contre l'oxydation. Cette résistance à la formation de composés issus de l'oxydation des lipides pourrait indirectement prolonger la vie de l'oxymyoglobine et, par suite, retarder sa décoloration. L'alpha-tocophérol pourrait aussi stabiliser l'oxymyoglobine via la réduction plus intense de la metmyoglobine régulée par le Cytb5 (Lynch *et al* 1999). Toutefois les mécanismes restent encore mal connus.

La vitamine E est 5 à 10 fois plus abondante dans tous les fourrages verts que dans les céréales, mais se dégrade rapidement au cours du fanage (-40 %), beaucoup moins au cours de la déshydratation (-12 %). L'ensilage est la forme de conservation des fourrages la plus favorable à la conservation de la vitamine E (Raskins *et al* 1997). Les travaux de l'INRA (Jarrige 1988) situent les besoins en vitamine E des ovins et bovins entre 5 et 10 mg/kg d'aliment, et les besoins en sélénium à environ 0,1 mg/kg. Toutefois, pour que l'effet préventif soit significatif, la concentration d'alpha-tocophérol dans la viande doit être de l'ordre de 0,30 à 0,35 mg pour 100g de viande fraîche (McDowell *et al* 1996). Cela nécessite des apports journaliers de vitamine E bien supérieurs aux besoins des animaux : ainsi, un minimum de 500 mg/j pendant 120 jours pour des bouvillons à l'engrais semble nécessaire (Liu *et al* 1995, McDowell *et al* 1996), c'est-à-dire au moins 50 mg/kg d'aliment.

b / Effet du niveau alimentaire

Le niveau alimentaire semble conditionner la teneur en pigments de la viande des rumi-

Le niveau alimentaire de l'animal pendant la finition joue un rôle dans la couleur de la viande en modifiant les proportions des différents types de fibres musculaires.

nants dans la mesure où une réduction des apports se traduit par une augmentation de la proportion de fibres oxydatives (Picard *et al* 1995, Vestergaard *et al* 1999). Ces derniers auteurs ont du reste observé que la couleur du *Semitendinosus* et du *Longissimus Thoracis* de taurillons restreints était plus sombre que celle de taurillons témoins à niveau alimentaire élevé et abattus au même poids. Leur pigmentation et la densité capillaire étaient aussi plus intenses. La couleur de la 'noix de côte' de bouvillons abattus directement à la sortie du pâturage a été jugée plus sombre que lorsque des bouvillons homologues avaient reçu ultérieurement un régime riche en céréales (McCaughy et Cliplef 1996) ; la couleur devenait d'autant plus rouge vif et brillante que la durée de finition était accrue (0-33 ou 75 j).

Nous avons vu précédemment que le maintien de la viande à un pH élevé la fait apparaître sombre à la coupe. La fréquence d'apparition de ces viandes peut être réduite par une amélioration de la conduite des animaux avant l'abattage : animaux bien nourris, manipulés sans stress, transportés sur de courtes périodes et maintenus brièvement dans des conditions évitant les conflits entre animaux. Une décroissance graduelle du pH en 24 h jusqu'à une valeur ultime de 5,6 conduit à une viande de couleur rouge vif, recherchée par le consommateur. Mais une décroissance trop rapide du pH se traduit par une couleur pâle, caractéristique de la viande exudative (PSE chez le porc). Les muscles les plus susceptibles de produire une telle viande ont une forte proportion de fibres intermédiaires et une forte aptitude à une glycolyse anaérobie (Comforth 1994). De faibles valeurs de pH favorisent l'oxydation de la myoglobine, consécutive en partie à la déstabilisation des liaisons entre le hème et la protéine (Comforth 1994).

En conséquence, une trop faible teneur en glycogène ou une trop rapide dégradation de celui-ci dans le tissu musculaire se traduit par une dégradation de la couleur de la viande.

4.2 / La tendreté

Les conditions nutritionnelles capables de modifier le type de fibres musculaires, la teneur ou la solubilité du collagène, l'importance des réserves énergétiques musculaires (glycogène), ainsi que l'activité des systèmes protéolytiques, influencent la tendreté de la viande. Parmi ces conditions, nous distinguerons les effets des variations du niveau alimentaire et de la composition de la ration, en particulier l'effet d'un jeûne avant abattage, ainsi que l'emploi de promoteurs de croissance par voie orale (béta-agonistes).

a / Effet du niveau alimentaire

Beaucoup d'auteurs ont démontré, depuis de nombreuses années, que la réduction du niveau alimentaire avant l'abattage détériore les qualités sensorielles de la viande, en particulier la tendreté (Fishell *et al* 1985, Miller *et al* 1987, Vestergaard *et al* 1999). Cette restriction s'accompagne en effet, chez le ruminant, d'une réduction de la proportion de fibres

glycolytiques blanches (vitesse de maturation rapide), au profit surtout des fibres rouges oxydoglycolytiques, mais aussi des fibres rouges lentes, à vitesse de maturation plus lente (Picard *et al* 1995, Brandstetter *et al* 1998). La proportion de collagène s'accroît du fait de la réduction de la proportion de protéines myofibrillaires et la solubilité du collagène diminue, qu'il s'agisse de bouvillons en croissance (Fishell *et al* 1985) ou de vaches (Miller *et al* 1987). En outre, il est connu depuis longtemps que la réduction du niveau alimentaire s'accompagne d'une réduction de l'adiposité de la carcasse (Geay et Robelin 1979) et de la teneur en lipides intramusculaires (Bruce *et al* 1991). Or diverses études ont fait état d'une relation étroite entre la tendreté et l'adiposité sous-cutanée, une épaisseur de 6 à 10 mm de gras sous-cutané protégeant les muscles contre la contraction au froid et maintenant la température musculaire à un niveau accélérant la maturation (Bruce *et al* 1991). Enfin, la réduction du gras intramusculaire réduit la tendreté, bien que ce gras n'intervienne que pour 3 à 10 % dans les différences entre échantillons (Dransfield 1994). Le gras intramusculaire intervient davantage et favorablement sur la tendreté lorsque sa teneur dépasse 6 %. C'est le cas des bovins de la race Noire Japonaise dont la teneur en gras intramusculaire est comprise entre 8 et 20 % du poids frais de muscle (Nishimura *et al* 1999). Mais ces teneurs sont incompatibles avec une bonne acceptabilité par le consommateur européen.

Ainsi, l'accroissement du niveau énergétique durant la phase de finition des ruminants est favorable à l'amélioration de la qualité sensorielle de la viande. En revanche, l'élévation du niveau des apports protéiques, bien qu'améliorant le gain de poids vif et de muscles, s'accompagne d'une réduction de l'adiposité des carcasses et de la teneur en lipides des muscles, et aussi de la tendreté de la viande (Berge *et al* 1993).

b / Effet du jeûne avant abattage

La suppression de l'alimentation de 24 à 36 heures avant l'abattage, associée au transport et à la manipulation des animaux, peut avoir un effet négatif sur la couleur et la conservation de la viande. En revanche, les viandes de ces animaux s'attendrissent plus rapidement (Watanabe *et al* 1996) et ont une plus grande tendreté ultime (Silva *et al* 1999). La tendreté plus élevée des viandes à pH élevé serait due non seulement à une augmentation de la capacité de rétention d'eau de la viande, mais aussi à une protéolyse *post mortem* plus intense (Troy 1999). Cette protéolyse plus intense pourrait être due à deux processus concomitants : d'une part une réduction de l'activité potentielle des calpastatines musculaires avant abattage, mise en œuvre durant la période de forte mobilisation des protéines ; d'autre part le maintien d'un pH élevé favorable à une forte activité des calpaïnes. En effet, Oddy *et al* (1987) ont mis en évidence, chez l'agneau à jeun, une réduction de la synthèse et une augmentation du catabolisme protéiques. Cet accroissement du catabolis-

Augmenter les apports énergétiques lors de la finition des animaux améliore la tendreté de la viande, mais augmenter les apports protéiques la réduit.

me serait dû essentiellement, selon McDonagh *et al* (1999), à une diminution de l'activité des calpastatines sans modification de l'activité des calpaïnes. Ces auteurs ont montré, chez l'agneau très fortement restreint avant abattage (60 % des besoins d'entretien), que ces processus s'accompagnent d'une augmentation significative de l'indice de fragmentation myofibrillaire -estimateur de la protéolyse- ainsi que de la tendreté mesurée instrumentalement par ailleurs. Silva *et al* (1999) ont suggéré une solubilité plus élevée des protéines myofibrillaires dans les muscles sombres à la coupe, en liaison avec une plus grande activité des calpaïnes à pH élevé. Mais ces viandes se conservent mal, en particulier sous vide, elles ont une couleur instable. Mais plus tendres et plus juteuses, elles présentent également une bonne aptitude technologique qui les rend intéressantes dans certaines transformations (steaks hachés surgelés et produits cuits). Afin de permettre à l'animal de reconstituer ses réserves énergétiques, la distribution de fourrage à l'abattoir a été expérimentée, mais elle n'a pas ou a très peu amélioré la valeur du pH ultime *post mortem* (Wythes *et al* 1989). En revanche, la distribution de glucides rapidement fermentescibles (lactosérum, sorbitol) durant les 48 h qui précèdent l'abattage semble réduire significativement la fréquence des carcasses à pH élevé (Haurez 1988, Fostier 1992). Cependant, la reconstitution des réserves de glycogène est un phénomène très lent chez les ruminants (10 jours chez le bovin d'après Mc Veigh et Tarrant 1982) sauf au cours de la récupération après un exercice d'endurance (revue de Hocquette *et al* 1998a). Aussi est-il préférable d'accroître les réserves de glycogène des animaux par une élévation de leur niveau alimentaire au cours de leur dernière phase de finition. Pethick et Rowe (1996) sur agneaux, McVeigh et Tarrant (1982) sur génisses et Vestergaard *et al* (1999) sur taurillons, ont montré l'effet bénéfique de l'accroissement du niveau alimentaire sur la teneur en glycogène musculaire.

c / Effet de la croissance compensatrice

La réalimentation des ruminants après une période de restriction entraîne une reprise de la croissance à un niveau supérieur à celui qu'elle aurait atteint si les animaux n'avaient pas été restreints. Cette croissance, dite compensatrice, est souvent exploitée pour engraisser les bovins de façon moins onéreuse, soit au pâturage après une période hivernale, soit à l'étable avec des aliments concentrés après une saison estivale à l'herbe. De nombreuses études ont montré que cette croissance compensatrice peut se traduire par une amélioration de la tendreté (Rompala et Jones 1984, Xie *et al* 1996, Allingham *et al* 1998). Cette amélioration s'explique en partie par une augmentation de la synthèse de collagène de solubilité plus élevée (McCormick 1994). Elle pourrait être aussi due, selon Listrat *et al* (1997), à l'accroissement du pourcentage de collagène de type III. Celui-ci pourrait jouer un rôle dans la tendreté en réduisant la taille des fibres de collagène de type I. Des études *in vitro* ont en effet montré que le collagène de type III peut contrôler

le diamètre des fibres collagéniques de type I en recouvrant leur surface (Prockop et Ulmes 1994). L'accroissement de la tendreté pourrait également être relié à l'accroissement de la proportion de fibres musculaires glycolytiques, à maturation plus rapide, aux dépens de la proportion de fibres lentes (Picard *et al* 1995). Enfin, cet accroissement de tendreté pourrait parfois être relié à l'augmentation de la teneur en lipides intramusculaires, celle-ci dépendant du stade physiologique de l'animal au moment de sa réalimentation.

d / Effet de la composition de la ration

Les variations de composition de la ration entraînent des modifications des processus digestifs, qui régulent la nature et la proportion des nutriments absorbés par le ruminant. Elles sont donc susceptibles de modifier la tendreté de la viande. Diverses études ont été réalisées dans ce sens en comparant notamment des régimes à base de fourrages à des régimes à base de céréales (cf revue de Yong-Soo 1995). Certaines études concluent que la viande issue de régimes à base de fourrages est moins tendre. Mais, dans la plupart de ces expériences, l'effet du niveau alimentaire a été confondu avec l'effet strict de la nature de l'alimentation et parfois celui de l'activité physique, susceptible de modifier les caractéristiques musculaires (revue de Hocquette *et al* 1998a). C'est notamment le cas lorsque les fourrages sont consommés au pâturage. Les écarts peuvent s'expliquer par des différences de vitesse de croissance, d'état d'engraissement ou d'âge. Afin d'éliminer l'effet de ces deux derniers facteurs, Mandell *et al* (1998) ont comparé la viande de bouillons alimentés avec les deux types de régimes précédents et abattus à différents âges et différents niveaux d'adiposité. Correction faite pour l'effet de ces facteurs, aucune différence de tendreté n'a été observée entre les viandes issues de ces deux régimes. Ces résultats corroborent ceux de Fortin *et al* (1985), de Buchanan-Smith *et al* (1991) et de McCaughey et Cliplef (1996) qui n'ont pas observé de différence de notes de tendreté entre les viandes de bouillons recevant des régimes à base de fourrages et celles de bouillons recevant des régimes à base de céréales. Toutefois, Listrat *et al* (1999), comparant un régime de foin à un régime d'ensilage d'herbe, isoénergétiques, ont constaté que le régime de foin s'est accompagné d'une réduction de la croissance et de l'adiposité des carcasses. Dans les deux muscles étudiés (le *Semitendinosus* et le *Longissimus Thoracis*) la teneur en collagène soluble et la proportion de collagène du type III ont été plus importantes que dans les muscles des animaux recevant l'ensilage. L'activité oxydative du muscle *Semitendinosus* des animaux consommant le foin s'est aussi révélée plus faible et ce muscle a été jugé plus tendre par un jury de dégustation. En revanche, aucune influence significative de la nature de la ration n'est apparue pour le *Longissimus Thoracis*, muscle toutefois très pauvre en collagène et particulièrement tendre. Des travaux complémentaires sont donc nécessaires pour mieux cerner l'effet de la nature de la ration sur la tendreté.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, qu'une élévation de la concentration d'ions calcium libres dans la cellule musculaire permet d'activer les calpaïnes et notamment la *rn calpaïne post mortem*. Divers essais ont été réalisés pour élever la concentration calcique sanguine par le biais de la supplémentation et/ou de l'infusion de chlorure de calcium (Swanek *et al* 1999). Mais, du fait de la régulation fine de l'homéostasie calcique (8 à 12 mg/dl chez le bovin), les essais ont eu peu de succès. Toutefois, l'administration orale de vitamine D à forte concentration (5 - 10 - 20 ou 30 x 10⁶ UI) ou des injections de 1alpha-hydroxyvitamine D3 (500 à 700 µg) chez la vache laitière, quelques jours avant la parturition, ont permis d'accroître les teneurs plasmatiques en calcium de 1,8 à 2,4 mg/dl. Des études anciennes ont montré que la vitamine D accroît la teneur plasmatique en calcium en stimulant son absorption intestinale (Nicolaysen 1937). En outre, selon Swanek *et al* (1999), la vitamine D stimulerait la mobilisation calcique ainsi que l'entrée du calcium dans la cellule musculaire. Ainsi, ces derniers auteurs ont accru de 50 % la concentration calcique dans le muscle *Longissimus Thoracis* en supplémentant la ration de bouvillons durant les 10 derniers jours avant l'abattage, avec 7,5 x 10⁶ UI de vitamine D par jour. La concentration calcique a atteint 21 µg/g de tissu frais. Selon les auteurs, qui s'appuient pour cela sur les résultats de Goil *et al* (1985), cette concentration devrait être suffisante pour activer les calpaïnes. Mais de telles expérimentations sont à reprendre, en y associant des mesures des activités des protéases et des mesures de tendreté de la viande.

Dans le même esprit d'amélioration de la tendreté, Maiorano *et al* (1999) ont pratiqué des injections intramusculaires journalières de vitamine E (acétate de DL-alpha-tocophérol) à des agneaux dès l'âge de 5 jours et durant 25 jours, dans le but de modifier les caractéristiques du collagène musculaire. Ces auteurs ont constaté que la quantité et la proportion de collagène soluble du muscle *Semiteminosus* étudié augmentent avec la dose de vitamine injectée et deviennent significatives à partir de 1000 UI/j. Dans le même temps, la teneur en hydroxylysyl pyridinoline décroît de façon significative à partir de 1000 UI. Or cette protéine est caractéristique de l'importance des liaisons intermoléculaires et donc en partie de la dureté collagénique. Un traitement *ante mortem* des animaux à la vitamine E pourrait donc diminuer la dureté de base de leurs muscles.

e / Effet des bêta-agonistes des catécholamines (clenbutérol, cimatérol, zilpatéro1..)

Depuis une quinzaine d'années, les bêta-agonistes des catécholamines ont été utilisées comme promoteurs de croissance chez la plupart des espèces (cf revues de Williams 1987 et de Mersmann 1998). La distribution par voie orale de 0,05 à 0,20 mg par jour et par kg de poids vif de ces substances à des bovins et ovins entraîne en effet un important accroissement de la masse musculaire, au détriment des dépôts adipeux et des viscères. Le grand nombre de fonctions physiologiques

contrôlées par ces molécules suggère que les mécanismes mis en jeu sont variés : action directe, via des récepteurs spécifiques, sur la protéosynthèse et la protéolyse, stimulation des flux sanguins au profit des muscles, action sur la production de certaines hormones (insuline, hormones thyroïdiennes ...), action indirecte sur le système nerveux contrôlant l'ingestion (cf revue de Mersmann 1998). L'ingestion de ces bêta-agonistes entraîne également une modification des caractéristiques biologiques musculaires, en particulier une diminution de la teneur en collagène et un accroissement de sa solubilité, une augmentation de la proportion de fibres blanches glycolytiques, mais une diminution du rapport calpaïnes/calpastatines, un ralentissement de la maturation de la viande et un durcissement des muscles réputés tendres (Geay *et al*, résultats non publiés). Si l'arrêt de la distribution de ces molécules 7 jours avant l'abattage, a permis d'éliminer tout résidu décelable, il n'a cependant pas modifié significativement leurs actions sur la tendreté. Mais l'effet de ces bêta-agonistes varie selon le muscle (Berge *et al* 1993a) : l'accroissement de la solubilité du collagène est plus important dans les muscles à forte teneur en collagène. En revanche, l'augmentation de dureté d'origine myofibrillaire est plus importante dans les muscles ordinairement tendres.

4.3 / La flaveur

L'application des conditions nutritionnelles qui conduisent, chez le ruminant, à des modifications de la proportion et de la nature des acides gras, ou de la proportion de composés participant à la réaction de Maillard, entraînent une modification de la flaveur de la viande.

a / Effet du pH

La formation des composés intervenant dans l'élaboration de la flaveur dépend du pH de la viande (Farmer 1994). Ainsi, le maintien du pH de la viande d'agneaux à une valeur élevée, par un stress de ces animaux avant abattage, s'accompagne d'une production accrue de composés issus de l'oxydation des acides gras (favorisant le développement d'une flaveur désagréable) lors de la cuisson de la viande (Young *et al* 1993). En outre, l'accroissement de la capacité de rétention d'eau des viandes sombres à la coupe pourrait être un facteur supplémentaire du développement d'odeurs désagréables (Dransfield *et al* 1985). Ainsi, les conditions nutritionnelles (déjà mentionnées aux paragraphes 4.1 et 4.2), permettant d'assurer une teneur satisfaisante en glycogène du muscle, seront-elles propices à une flaveur agréable de la viande.

b / Nature des acides gras

Les lipides contribuent à la flaveur de la viande, en particulier par la nature de leurs acides gras qui conditionne la nature des produits de l'oxydation induite par la cuisson. Il est à noter que les AGS, très résistants à l'oxydation à basse température contrairement aux AGPI, sont décomposés à haute température.

L'ajout aux rations de composés modifiant le métabolisme du calcium ou de promoteurs de croissance modifie les caractéristiques musculaires. Mais l'effet sur la tendreté de la viande n'est pas clair.

Les hydroperoxydes formés diffèrent de ceux provenant de l'oxydation des lipides à basse température et leur dégradation à la cuisson donne naissance à un grand nombre de produits volatils. Certains d'entre eux tels les aldéhydes, interviennent indirectement dans la flaveur par leur implication dans certaines réactions de Maillard (Reineccius 1994). Par ailleurs, chez les ruminants, les lipides contribuent également à la flaveur de la viande par le fait qu'ils solubilisent certains composés comme le skatole ou les terpènes présents dans l'herbe ou issus de la digestion de la chlorophylle dans le rumen et dont certains sont volatils à la cuisson. En outre, certains lipides riches en AGPI sont relativement instables dans la viande crue et leur oxydation à basse température génère des saveurs désagréables.

Lorsque les ruminants reçoivent des rations riches en concentrés (céréales), une proportion importante de C18:2 n-6 échappe à l'hydrogénation ruminale et est déposée dans les tissus au détriment des AGS. Lorsque la durée de consommation de concentré augmente, la concentration de C18:3 n-3 dans les phospholipides des muscles diminue et celle du C18:2 n-6 augmente. Or Larick et Turner (1990) ont montré que la flaveur de la viande de bouvillons à l'herbe était modifiée lorsqu'on leur distribuait des céréales. La flaveur identifiée comme 'douceâtre' chez les animaux issus du pâturage, déclinait alors au profit de la flaveur de 'viande de bœuf'. En outre Larick *et al* (1987) ont observé que les produits de dégradation des lipides tels que les aldéhydes et les cétones étaient beaucoup plus apparents dans les composés volatils de la viande de bouvillons ayant consommé de l'herbe que dans celle de bouvillons ayant consommé des céréales. Les terpènes étaient également moins abondants dans la viande de ces derniers animaux et leur concentration dans la viande des bouvillons était reliée aux changements de flaveur. A l'inverse, Park *et al* (1975) ont fortement réduit l'intensité de la flaveur 'de viande' chez l'agneau, au profit d'une flaveur 'd'huile douceâtre' en augmentant très fortement la proportion de C18:2 de 2 à 20 mg/100 mg d'acides gras totaux dans les dépôts adipeux de la carcasse. Ce résultat a été obtenu en alimentant les agneaux pendant 6 semaines avec des graines de tournesol protégées contre la dégradation ruminale. Selon Farmer (1994), l'équilibre entre les acides gras en n-6 et les acides gras en n-3 dans les phospholipides est important dans l'élaboration de la flaveur de la viande.

Par ailleurs, certains types de pâture peuvent conduire à des saveurs désagréables chez l'agneau. Ainsi, le pâturage du colza conduit à une flaveur se rapprochant de celle du chou (revue de Melton 1990), celui du trèfle blanc à une flaveur plus intense que le pâturage de ray-grass. Toutefois peu d'études ont analysé la composition des produits volatils responsables de la flaveur de la viande chez l'agneau. Quelques travaux rapportent que les lipides de la viande d'agneaux consommant du trèfle blanc contiendraient plus de produits volatils, tels que le 2,3-octanedione, et plus d'acides gras à chaîne courte

et moyenne et de terpènes que les lipides de la viande d'agneaux consommant des céréales.

Chez les ovins, l'intensité de la flaveur 'viande de mouton' augmente avec l'âge (Rousset-Akrim *et al* 1997, Young *et al* 1997) et est très bien corrélée avec la teneur en acides gras à chaîne moyenne ramifiée (C7 à C10) et en 3-méthyl indole (skatole).

c / Auto-oxydation des lipides

A basse température, l'auto-oxydation des lipides conduit au rancissement de la viande et donne naissance à des composés pouvant avoir des effets nocifs sur la santé humaine. C'est notamment le cas de l'oxydation du cholestérol et surtout des acides gras polyinsaturés. Le rancissement oxydatif implique deux étapes successives (Raskin *et al* 1997) : d'abord la lipolyse des phospholipides et des triglycérides, qui libère des acides gras plus sensibles à l'oxydation, puis la dégradation oxydative des acides gras qui donne naissance à des radicaux libres et à des molécules diverses (alcane, cétones, acides, alcools ou aldéhydes) responsables de la dégradation de la flaveur. Les phospholipides, principaux substrats de la lipolyse et de l'oxydation, libèrent des acides gras longs polyinsaturés particulièrement sensibles à l'oxydation (Gandemer 1998). L'intensité d'oxydation du cholestérol dépend notamment de la teneur intracellulaire en antioxydants (naturels ou de synthèse) et du degré d'insaturation des acides gras. La présence de métaux lourds (Fe, Cu) et l'oxydation de la Mb sont des facteurs importants de promotion des oxydations lipidiques (Farmer 1994). Nous avons vu en effet que l'oxydation de la Mb précède l'oxydation des lipides musculaires et joue un rôle catalyseur dans le processus de rancissement oxydatif. La supplémentation des animaux en vitamine E permet d'accroître la concentration d'alpha-tocophérol dans les membranes cellulaires, réduisant ainsi significativement la susceptibilité des phospholipides membranaires à s'oxyder. De nombreuses études ont montré l'intérêt de cette supplémentation pour réduire le rancissement des lipides de la viande fraîche et augmenter sa durée de conservation (revue de Gray *et al* 1996).

Il est à noter que l'alpha-tocophérol, en prévenant l'oxydation des phospholipides des membranes, préserve l'intégrité structurale et fonctionnelle de celles-ci. Il permet ainsi de réduire les pertes d'eau de la viande en inhibant la sortie du liquide sarcoplasmique (Monahan *et al* 1994).

4.4 / La jutosité

La jutosité de la viande a fait l'objet de beaucoup moins d'études que les autres qualités organoleptiques. Ceci est sans doute dû, en partie, au fait que ce critère de qualité est moins important, de l'avis des consommateurs de viande bovine, que la tendreté ou la couleur. Il est en outre difficile à mesurer de façon instrumentale et n'est apprécié que par

La flaveur de la viande dépend de la nature de l'alimentation des animaux. Celle-ci modifie en effet les proportions des différents acides gras qui conditionnent les composés volatils formés lors de la cuisson.

des jurys de dégustation dont la mise en œuvre est plus lourde. Les méthodes utilisées pour la préparation des échantillons (choix des muscles, type de cuisson, température ...) sont très variables selon les équipes de recherche. Le choix des muscles, en particulier, semble important. Enfin, aucune étude n'a cherché à faire varier ce critère de qualité sans modifier les autres qualités sensorielles. Or, selon Winger et Hagyard (1994), elles interfèrent fortement avec elle.

Pour certains auteurs, la nature de la ration n'influe pas sur la jutosité. Vestergaard *et al* (1999) ne constatent aucune différence significative de jutosité entre des viandes de taurillons alimentés soit au pâturage soit à l'auge avec des céréales, malgré des différences d'adiposité et de tendreté de la viande. De même, Mandell *et al* (1998) n'observent aucune différence de jutosité entre des viandes de bouvillons recevant à l'auge soit une ration d'ensilage de luzerne soit une ration riche en aliments concentrés. Toutefois, la viande (muscles *Longissimus Thoracis* et *Semitendinosus*) de taurillons engraisés au foin, a présenté une jutosité plus grande que celle issue de taurillons alimentés avec de l'ensilage d'herbe dans l'étude de Listrat *et al* (1999).

Bien qu'une élévation du niveau des apports alimentaires se soit traduite par une augmentation de la teneur en lipides intramusculaires (Miller *et al* 1987) et de la tendreté (Miller *et al* 1987, Cranwell *et al* 1998), ces divers auteurs n'ont pas observé de variations significatives de la jutosité. De même, Seideman et Crouse (1986), faisant varier les proportions et le diamètre des fibres musculaires par le niveau alimentaire, n'observent aucune relation entre le type de fibres ou leur diamètre et la jutosité. Pourtant, Dikeman *et al* (1986) et Keane *et al* (1998) ont obtenu une relation positive entre la jutosité (et la tendreté) et la teneur en lipides intramusculaires. Mais l'accroissement de la teneur en lipides intramusculaires était dû, dans la dernière étude, à l'alourdissement des carcasses et non à l'apport alimentaire. De même, une augmentation du niveau des apports de protéines, à même apport d'énergie, se traduit par une augmentation du croît de muscle, et s'accompagne d'une réduction de la teneur en lipides intramusculaires et de la jutosité (Berge *et al* 1993b).

Les possibilités de modifier la jutosité de la viande par le biais de la nutrition apparaissent donc très controversées et des essais complémentaires sont nécessaires avant de pouvoir définir une stratégie.

Conclusion

Les viandes de ruminants sont une source importante d'éléments nutritifs essentiels (acides aminés, fer, zinc et vitamines du groupe B). Par la diversité des types de production et des morceaux proposés en boucherie, elles offrent un éventail d'apports quantitatifs et qualitatifs de lipides, dont certains pourraient jouer un rôle très favorable sur la santé humaine comme les CLA.

Si la consommation par l'Homme de certains acides gras saturés (C14:0 et C16:0) et monoinsaturés *trans* est à éviter, il est toutefois possible d'en réduire la concentration dans les viandes en accroissant la proportion d'acides gras polyinsaturés (AGPI) absorbée par l'animal. Il faut pour cela protéger les acides gras de l'hydrogénation ruminale. L'apport d'AGPI de type n-3 et surtout n-6 favorise la production, par les bactéries du rumen, d'acide linoléique conjugué (CLA) dont l'efficacité dans la prévention de certains cancers et dans le traitement de l'obésité est maintenant démontrée chez l'animal et en partie chez l'Homme.

La viande, celle des ruminants principalement, reste un aliment très attractif, en particulier par ses qualités sensorielles : couleur, tendreté, flaveur et jutosité. Les mécanismes complexes qui interviennent dans l'élaboration des déterminants biologiques et physico-chimiques de ces qualités commencent à être mieux connus. Ils mettent en jeu essentiellement les caractéristiques métaboliques et physico-chimiques du muscle à l'abattage et les conditions technologiques dans lesquelles s'effectue l'abattage et la maturation.

Or les caractéristiques du muscle à l'abattage ne sont pas seulement fonction du type d'animal (race, sexe, âge), mais dépendent également des conditions d'élevage, en particulier de la nature et du niveau des apports alimentaires. C'est ainsi qu'un niveau d'alimentation élevé doit précéder l'abattage. D'une part, il permet aux fibres musculaires de posséder des réserves énergétiques et un profil métabolique et contractile favorable à un accroissement de la vitesse de maturation de la viande. D'autre part, il accroît la teneur en lipides intramusculaires, améliorant ainsi la flaveur de la viande. Enfin, cette viande devient d'un rouge vif et brillant recherché par le consommateur. L'effet favorable de l'élévation du niveau alimentaire sur la tendreté est d'autant plus sensible que l'animal réalise une croissance compensatrice après une période de sous-alimentation.

La nature de la ration peut aussi, dans certains cas, modifier la tendreté de la viande. Mais elle intervient d'avantage sur la stabilité de la couleur et sur la flaveur, notamment par l'apport d'acides aminés, d'antioxydants (vitamine E) et de composés liposolubles (terpènes).

Cependant, l'importance des conditions d'élevage sur les qualités de la viande peut être partiellement, voire totalement masquée, et de ce fait sous-estimée, par une mauvaise maîtrise des procédés d'abattage ou de transformation, responsables alors de la grande variabilité qualitative des viandes. Toutefois, les récents progrès dans ce domaine et ceux envisageables à court terme dans l'industrie de la viande laissent penser que les conditions d'élevage deviendront prépondérantes. Des recherches sont donc nécessaires pour mieux comprendre, afin de les maîtriser, les mécanismes biologiques qui président à l'élaboration *in vivo* des caractéristiques musculaires, déterminantes pour la qualité des viandes.

Références

La liste complète des références bibliographiques est disponible auprès de l'auteur.

Abstract

Nutritive value and sensorial qualities of ruminant meat.

Ruminant meat is an important source of nutrients and is also of high sensory value. However, the importance and nature of these characteristics depend on ruminant nutrition. The first part of this review is focused on biochemical and dietetic value of this meat. It offers a panel of quantitative and qualitative contributions, especially through its fatty acids characteristics. Since saturated and *trans*-monounsaturated fatty acids are considered as harmful to human health, their amount in muscles can be reduced by increasing the proportions of dietary polyunsaturated fatty acids (PUFA) absorbed by the animals. On the contrary, some fatty acids (n-6 and n-3 PUFA, conjugated linoleic acid) specifically incorporated in muscle tissues would

play a favourable role in the prevention or reduction of major diseases in human (cancers, atherosclerosis, obesity) and therefore be recommended. The second part of this review treats different aspects of the sensorial qualities of meat. Skeletal muscle structure and its biochemical components influence muscle transformation to meat and sensorial qualities including tenderness, colour, flavour and juiciness. This paper shows how nutrition can influence, in ruminants, metabolic activity as well as muscle structure and composition, and thereby affect meat quality.

GEAY Y., BAUCHART D., HOCQUETTE J-F., CULIOLI J., 2002. Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. INRA Prod. Anim., 15, 37-52.