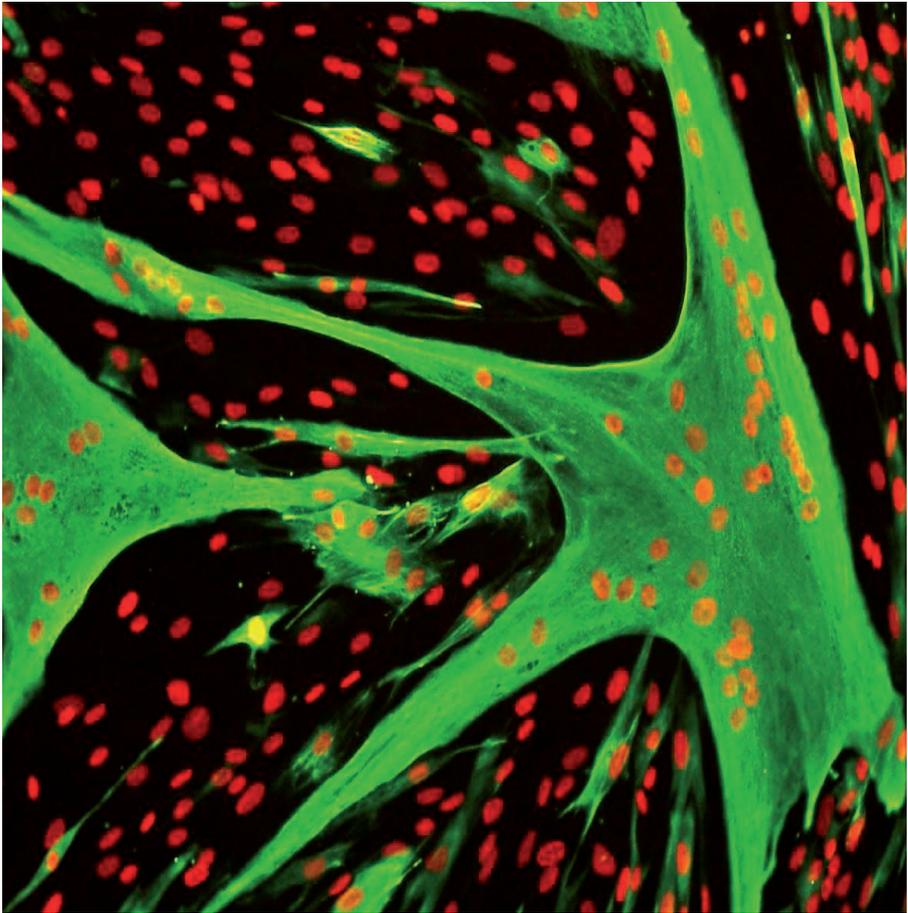


Synthèses

# Muscle et viande de ruminant

D. Bauchart, B. Picard, coordinateurs



éditions  
Quæ



Muscle et viande  
de ruminant



# Muscle et viande de ruminant

Dominique Bauchart,  
Brigitte Picard,

*coordinateurs*

Éditions Quæ  
c/o Inra, RD 10, 78026 Versailles Cedex

## *Collection Synthèses*

Gestion participative des forêts d'Afrique centrale  
Daou Véronique Joiris, Patrice Bigombé Logo, coord.  
2010, 248 p.

Introductions d'espèces dans les milieux aquatiques.  
Faut-il avoir peur des invasions biologiques ?  
Jean-Nicolas Beisel et Christian Lévêque  
2010, 248 p.

Les espaces du vent  
Jean Riser  
2010, 264 p.

Les invasions biologiques, une question de natures et de sociétés  
Robert Barbault et Martine Atramentowicz, coord.  
2010, 192 p.

Hétérosis et variétés hybrides en amélioration des plantes  
André Gallais  
2009, 376 p.

Éthologie appliquée.  
Comportements animaux et humains, questions de société  
Alain Boissy, Minh-Hà Pham-Delègue et Claude Baudoin, coord.  
2009, 264 p.

# Préface

---

Les ouvrages en langue française faisant le point des connaissances scientifiques sur la production, la caractérisation et la qualité de la viande sont suffisamment rares pour que soit saluée l'initiative de Dominique Bauchart et Brigitte Picard, directeurs de recherche au centre Inra de Clermont-Ferrand/Theix, qui ont coordonné cet ouvrage collectif consacré au muscle et à la viande de ruminants. Cette situation contraste fortement avec celle qui prévaut de longue date dans la littérature de langue anglaise, où sont régulièrement publiés, dans ce domaine, de nombreux ouvrages de synthèse, auxquels sont certes souvent associés des chercheurs français, mais qui ne donnent qu'une vue fragmentaire de leur expertise.

L'ouvrage *Muscle et viande de ruminant* fera donc date au même titre que quelques ouvrages traitant de la production, de la transformation ainsi que de la qualité des viandes et produits carnés et publiés au cours des années 1980, parmi lesquels on peut citer :

– *Hygiène et technologie de la viande fraîche*. Coordonné par Bernard-Louis Dumont (Inra) et publié par le CNRS en 1982, cet ouvrage fut le fruit des travaux d'une commission spécialisée du CNERNA (Centre national d'études et de recommandations sur la nutrition et l'alimentation) ;

– *Production de viande bovine*. Coordonné par Didier Micol (Inra) et édité en 1986 par l'Inra, cet ouvrage fut le fruit des XV<sup>es</sup> Journées du « Grenier de Theix » tenues à Clermont-Ferrand ;

– *Technologie de la viande et des produits carnés*, coordonné par Jean-Pierre Girard (Inra) et publié par Tec et Doc (Lavoisier) en 1988.

L'ouvrage *Muscle et viande de ruminant* présente l'originalité de regrouper l'ensemble des domaines scientifiques, allant de la production jusqu'à la consommation de la viande. Toutefois, compte tenu de l'étendue du domaine considéré, une sélection a dû être réalisée pour ne traiter que les secteurs dans lesquels des avancées significatives des connaissances ont été récemment réalisées et pour décrire la situation actuelle de la production et de la consommation des viandes de ruminants en France. L'ouvrage est ainsi constitué de vingt chapitres structurés en cinq parties, dont une large part a été rédigée principalement par les chercheurs du centre Inra de Clermont-Ferrand/Theix, témoignant ainsi de l'expertise accumulée sur ce site depuis une quarantaine

d'années dans le domaine de la production et de la transformation des viandes. Deux unités, Recherche sur les herbivores (URH) et Qualité des produits animaux (Quapa), ont particulièrement contribué à la rédaction des chapitres portant sur :

- la diversité des systèmes de production bovine et ovine et leurs incidences sur les caractéristiques liées à l'animal et à la qualité de la carcasse et de la viande ;
- l'identification de l'origine raciale et des régimes alimentaires des animaux à l'aide de traceurs moléculaires, isotopiques, optiques ou génomiques dans la perspective du suivi des cahiers des charges de production et d'une meilleure information du consommateur ;
- l'état des connaissances sur l'ontogenèse du muscle, sa structure et ses métabolismes lipidique et protéique en relation avec les propriétés de la viande, principalement sa tendreté ;
- les apports de la génomique fonctionnelle pour identifier de nouveaux marqueurs (gènes ou protéines) des qualités sensorielles de la viande, afin de mieux les contrôler et d'en diminuer la variabilité ;
- les qualités nutritionnelles en relation avec les facteurs d'élevage, avec une attention particulière sur la composition qualitative et quantitative en acides gras polyinsaturés non conjugués (dont les oméga 3 et oméga 6) et conjugués (acides linoléiques conjugués) ayant un fort impact sur la santé humaine ;
- les nouvelles connaissances sur la valeur santé des protéides de la viande, en relation avec la présence de peptides à activité biologique et avec la cinétique rapide de digestion des protéines de la viande, facteur limitant de la fonte musculaire chez la personne âgée ;
- l'impact des traitements technologiques sur les qualités de la viande, et notamment sur les phénomènes d'oxydation des lipides et des protéines au cours de la conservation et de la cuisson.

En outre, des chercheurs d'autres unités Inra, auxquels ont été associés des partenaires extérieurs, ont aussi contribué à cet ouvrage pour leurs compétences complémentaires dans les domaines de la sécurité microbiologique (Micalis, centre de Jouy-en-Josas), de l'économie de la consommation (Aliss, centre d'Ivry), de la santé humaine (Xénobiotiques, centre de Toulouse) et de la génomique (Gabi, centre de Jouy-en-Josas).

La publication de cet ouvrage intervient dans un contexte très difficile pour les filières bovine et ovine. Depuis le milieu des années 1980, période au cours de laquelle elle avait atteint sa valeur maximale, la consommation de viande de ruminant a chuté en France de manière quasi continue. La consommation de viande bovine (bœuf et veau) a ainsi chuté de 25 % en vingt-cinq ans, et la situation est encore plus délicate pour la viande ovine. Outre le prix élevé de la viande de ruminant et la variabilité de sa qualité sensorielle, la dégradation de l'image de cette viande pour des raisons de santé (incidence sur les maladies cardio-vasculaires et le cancer colorectal), éthiques (utilisation passée d'hormones et de farines animales dans l'alimentation, souffrance à l'abattage), de sécurité sanitaire (toxi-infections par des *Escherichia coli* entérohémorragiques) et plus récemment d'impact environnemental, a certainement joué un rôle majeur dans la diminution de sa consommation.

Les travaux de recherche conduits au cours des dernières années, mettant en œuvre les plus récents développements scientifiques, ouvrent des voies prometteuses

pour assurer la viabilité des filières de production de ruminant. Les résultats de ces travaux décrits dans cet ouvrage montrent que des moyens existent pour adapter les systèmes de production à la demande, améliorer les qualités sensorielles et nutritionnelles de la viande, tracer les modes de conduite et garantir la sécurité du consommateur. À ce titre, cet ouvrage devrait intéresser non seulement un très large public d'enseignants, de chercheurs et d'étudiants en agriculture, en sciences animales (physiologie, génétique, nutrition), en nutrition humaine et en technologie de la viande, mais aussi tous les acteurs professionnels des filières bovine et ovine depuis la sélection des animaux jusqu'au consommateur.

Joseph CULIOLI,  
directeur de recherche Inra



# Table des matières

---

<b>Préface</b> .....	V
<i>Joseph Culioli</i>	

## PARTIE I. SYSTÈMES DE PRODUCTION DE VIANDE

<b>1. Viande bovine en France. Quels types de production pour quels produits ?</b> .....	3
<i>Didier Micol et Michel Lherm</i>	
Les volumes de production bovine .....	3
Des types divers de production .....	4
Caractéristiques principales des exploitations agricoles de viande bovine	10
De nombreux déterminants des résultats économiques qui évoluent .....	12
Conclusion.....	13
<b>2. Viande ovine en France. Quels systèmes de production pour quels produits ?</b> .....	15
<i>Marc Benoit et Sophie Prache</i>	
Une grande diversité de races et de systèmes de production.....	16
Les modalités d'élevage des agneaux et leurs conséquences.....	17
Des systèmes d'élevage ovins durables .....	22
Conclusion.....	24
<b>3. Facteurs de variation liés à l'animal et prédiction des caractéristiques de la carcasse des bovins</b> .....	25
<i>Florence Garcia-Launay et Didier Micol</i>	
De l'animal vivant à la carcasse.....	25
Prédiction de la croissance et de la composition de la carcasse : un modèle mécaniste.....	29
Conclusion.....	36
<b>4. Traçabilité analytique des produits carnés : origine et alimentation de l'animal</b> .....	37
<i>Sophie Prache et Hubert Levéziel</i>	

Traçabilité de l'alimentation .....	37
Traçabilité de l'origine .....	45
Conclusion.....	48
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>51</b>
PARTIE II. STRUCTURE, CROISSANCE ET MÉTABOLISME DES TISSUS MUSCULAIRES	
<b>5. Structure et fonction des constituants du muscle squelettique .....</b>	<b>61</b>
<i>Catherine Jurie et Anne Listrat</i>	
Le tissu conjonctif.....	61
Caractéristiques des fibres musculaires.....	65
Caractéristiques et distribution des différents types de fibres musculaires	67
Compatibilité entre les différentes classifications .....	69
<b>6. Ontogenèse du muscle et prédiction des propriétés musculaires .....</b>	<b>71</b>
<i>Isabelle Cassar-Malek, Anne Listrat, Florence Garcia-Launay et Brigitte Picard</i>	
La myogenèse .....	71
Prédiction des propriétés musculaires.....	75
Conclusion.....	78
<b>7. Métabolisme lipidique des tissus musculaires et adipeux.....</b>	<b>79</b>
<i>Muriel Bonnet, Dominique Gruffat et Jean-François Hocquette</i>	
Les types de lipides.....	79
Les voies métaboliques de la synthèse et du stockage des lipides .....	82
Les voies métaboliques de la dégradation des lipides.....	84
Les facteurs de variation du métabolisme des lipides.....	85
Conclusion.....	88
<b>8. Métabolisme énergétique-protéique des tissus musculaires .....</b>	<b>89</b>
<i>Isabelle Ortigues-Marty, Véronique Santé-Lhoutellier, Didier Rémond, Jean-François Hocquette et Isabelle Savary-Auzeloux</i>	
Caractéristiques anatomiques et métaboliques des muscles squelettiques	89
Fourniture de nutriments aux tissus musculaires .....	91
Métabolisme des acides aminés <i>in vivo</i> .....	92
Métabolisme énergétique <i>in vivo</i> .....	96
Métabolisme <i>post mortem</i> .....	100
Conclusion.....	102
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>103</b>

## PARTIE III. ÉLABORATION DES QUALITÉS DES VIANDES

<b>9. Qualité nutritionnelle des viandes et abats de bovin .....</b>	<b>115</b>
<i>Dominique Bauchart et Gilles Gandemer</i>	
Les composants tissulaires majeurs des viandes et abats.....	117
Les micronutriments minéraux .....	119
Les micronutriments vitaminiques du groupe B .....	120
Une teneur en lipides fortement dépendante de celle en triglycérides....	121
Les acides gras de la viande : un contenu significatif en acides gras polyinsaturés à chaîne longue.....	122
Conclusion.....	130
<b>10. Facteurs d'élevage et valeur santé des acides gras des viandes .....</b>	<b>131</b>
<i>Dominique Bauchart et Agnès Thomas</i>	
Effets de l'âge, du sexe et de la race sur les teneurs en lipides des viandes .....	132
Effets des facteurs d'alimentation.....	133
Conclusion.....	142
<b>11. Marqueurs biologiques de la qualité sensorielle des viandes bovines ...</b>	<b>143</b>
<i>Brigitte Picard, Jean-François Hocquette, Isabelle Cassar-Malek</i>	
Caractéristiques musculaires et tendreté .....	143
Identification de nouveaux marqueurs biologiques .....	146
Conclusion.....	150
<b>12. La sélection des bovins pour une amélioration génétique de la qualité de la viande .....</b>	<b>151</b>
<i>Gilles Renand et Sophie Allais</i>	
Variabilité génétique des qualités de la viande et des caractéristiques musculaires associées .....	152
Recherche de marqueurs moléculaires .....	155
<b>13. Qualités sensorielles de la viande bovine. Impacts des facteurs d'élevage ?</b>	<b>163</b>
<i>Didier Micol, Catherine Jurie et Jean-François Hocquette</i>	
Qualités sensorielles de la viande bovine .....	163
Impacts des facteurs d'élevage .....	165
Conclusion.....	171
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>173</b>

## PARTIE IV. IMPACTS TECHNOLOGIQUES SUR LES QUALITÉS DES VIANDES

<b>14. Stabilité oxydative et qualités des viandes .....</b>	<b>183</b>
<i>Denys Durand, Philippe Gatellier et Émilie Parafita</i>	
Rappels concernant les mécanismes biochimiques impliqués dans la stabilité oxydative des viandes.....	184
Effets des modes d'élevage et des modes de conservation- conditionnement.....	187
Conclusions et perspectives.....	195
<b>15. Cuisson et sensibilité à la peroxydation des viandes .....</b>	<b>197</b>
<i>Philippe Gatellier et Véronique Santé-Lhoutellier</i>	
Mécanismes biochimiques impliqués dans l'oxydation des lipides et des protéines de la viande lors des traitements thermiques.....	198
Oxydation et dénaturation de la myoglobine lors de la cuisson de la viande, conséquences sur la couleur .....	199
Oxydation des lipides lors de la cuisson de la viande.....	201
Oxydation des protéines lors de la cuisson de la viande .....	204
Conclusion.....	207
<b>16. Effet des traitements technologiques sur les qualités des viandes .....</b>	<b>209</b>
<i>Thierry Astruc, Stéphane Portanguen, Samuel Oillic et Alain Kondjoyan</i>	
Les transformations à basse température .....	209
La cuisson des viandes .....	212
<b>17. Sécurité microbiologique de la viande bovine.....</b>	<b>221</b>
<i>Marie Champomier-Vergès, Jamila Anba, Stéphane Chaillou et Monique Zagorec</i>	
Les caractéristiques microbiologiques du muscle et de la viande.....	221
Les principales espèces bactériennes de la viande bovine.....	222
La place de la viande bovine dans les toxi-infections alimentaires.....	227
Les différents modes de conservation de la viande bovine.....	228
Les nouveaux développements pour la conservation de la viande .....	230
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>233</b>

## PARTIE V. CONSOMMATION DES VIANDES ET SANTÉ DU CONSOMMATEUR

<b>18. Viandes rouges et risques de cancer du côlon.....</b>	<b>243</b>
<i>Denis E. Corpet, Nadia Bastide et Fabrice Pierre</i>	
Cancer colorectal : études épidémiologiques .....	243

Viande et cancer colorectal : hypothèses sur les mécanismes.....	246
Cancer colorectal : études expérimentales chez des rongeurs .....	247
Autres cancers et viande .....	250
Discussion et conclusion .....	251
<b>19. Viande et nutrition protéique .....</b>	<b>255</b>
<i>Didier Rémond, Marie-Agnès Peyron et Isabelle Savary-Auzeloux</i>	
Besoins en protéines de l'homme .....	255
Propriétés nutritionnelles des protéines de la viande .....	258
Place de la viande dans une alimentation équilibrée .....	261
Valeur santé des protides de la viande : les peptides bioactifs .....	262
Conclusion.....	265
<b>20. Consommation de viande de ruminant : entre renouveler l'offre finale et communiquer sur les systèmes de production .....</b>	<b>267</b>
<i>Pierre Sans et Guy de Fontguyon</i>	
Les sources d'information sur la consommation des viandes.....	267
L'évolution de la consommation.....	270
Les déterminants des évolutions .....	272
Conclusion.....	280
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>281</b>
<b>Liste des auteurs .....</b>	<b>289</b>



Partie I

---

Systèmes de production  
de viande



## Chapitre 1

---

# **Viande bovine en France. Quels types de production pour quels produits ?**

Didier MICOL et Michel LHERM

Les types de production de viande d'herbivore pratiqués dans un pays dépendent largement de ses conditions climatiques et de ses ressources fourragères. Elles dépendent également de ses structures de production au niveau de l'exploitation agricole, de l'organisation et de la politique des filières, mais aussi de ses habitudes de consommation. En matière de production de viande bovine, la France a la particularité de présenter un troupeau laitier spécialisé et un troupeau allaitant également spécialisé qui contribuent à part sensiblement égale à nos productions de viande, tout en respectant une distribution sur le territoire national selon les ressources nécessaires et les traditions d'élevage.

### **» Les volumes de production bovine**

La France détient le plus important troupeau bovin de l'Union européenne, avec environ 19,5 millions de têtes, chiffre stabilisé après une lente décroissance depuis plus de dix ans (FranceAgriMer, 2009). Elle est ainsi le premier producteur de viande bovine de l'Union européenne avec, en 2008, 3,5 millions de têtes de gros bovins abattus, devant l'Allemagne, l'Italie et le Royaume-Uni ; 3,5 millions de têtes, dont 2,1 millions de femelles (61 %) et 1,3 million de mâles (39 %) (Office de l'élevage, 2008a). Ce volume d'abattage se traduit en France par une production d'environ 1,3 million tec (tonne équivalent carcasse), soit 19 % de l'Union européenne à vingt-cinq, devant l'Allemagne (1,1 M tec), l'Italie et le Royaume-Uni (0,9 M tec) (Office de l'élevage, 2008b). Ces valeurs sont bien inférieures aux grands producteurs mondiaux de viande bovine, États-Unis (12 M tec), Brésil (9,5 M tec), Chine (7,5 M tec) et Australie (2,2 M tec), le continent américain fournissant à lui seul 50 % de la production mondiale de viande bovine (Office de l'élevage, 2008c).

Le tableau 1.1 précise pour la France la production et les abattages contrôlés de gros bovins finis sur la base, en partie estimée, de 2008 selon le type de bovin. En effet, nos productions se basent sur des femelles âgées de réforme, de jeunes génisses, de jeunes bovins mâles gardés entiers et des animaux mâles castrés abattus plus âgés. Les vaches de réforme représentent la part la plus importante, bien que leur contribution ait chuté régulièrement depuis une dizaine d'années avec le recul du troupeau laitier, en partie compensé par l'augmentation des mères allaitantes. Les génisses de boucherie occupent une place limitée, également en régression depuis 2000. Le nombre et la production de jeunes bovins mâles entiers représentent une part croissante au fil des années, qui a pu atteindre au total 40 % de notre production. La contribution des bœufs est limitée, en chute régulière et parallèle au profit des jeunes bovins. En résumé, en France, l'abattage des femelles a toujours représenté la part la plus importante (55 % à 66 % des tonnages). Cette forte proportion de femelles dans les abattages de gros bovins est issue de l'orientation différente des mâles, dont une grande partie alimente la filière veau de boucherie à partir des types laitiers, ou est exportée en vif sous forme de broutard maigre ou de jeune bovin pour les types à viande. Au niveau national, le rapprochement assez grossier du nombre de têtes et du poids des carcasses contrôlées permet de situer globalement le poids de carcasse des femelles (vaches et génisses) vers 350 kg et celui des mâles (jeunes bovins et bœufs) vers 390-400 kg. Soulignons à cet endroit que notre pays a une tradition, par ses habitudes bouchères et les races utilisées, de production de carcasse et de produits viande lourds, voire très lourds, et de production d'animaux âgés, qui se distingue des autres pays européens et du reste du monde.

**Tableau 1.1.** Production et abattage contrôlés de gros bovins en France (base 2008) (source : Office de l'élevage, 2008a).

Type	Production	Abattage	Abattage
	1 000 têtes (en %)	1 000 têtes (en %)	1 000 tec (en %)
Vaches	1 666 (47)	1 677 (49)	588 (47)
Génisses	445 (13)	427 (12)	151 (12)
Jeunes bovins	1 161 (33)	1 105 (32)	434 (34)
Bœufs	237 (7)	237 (7)	93 (7)
<b>Total</b>	<b>3 509</b>	<b>3 447</b>	<b>1 266</b>

## ►► Des types divers de production

La diversité des types de production de viande bovine en France a deux origines principales : les génotypes ou races utilisés, le plus souvent conduits en race pure en liaison avec leur spécialisation laitière ou allaitante (viande), et leur type de conduite, du jeune bovin mâle entier au bœuf, à la génisse et à la vache de réforme.

### Des races

La figure 1.1 tente de résumer, sur les bases 2007, la répartition entre races des bovins présents pouvant contribuer à notre production de viande bovine, en y intégrant