



HAL
open science

Amélioration de la qualité des carcasses et des viandes

M. Bonneau, Christian Touraille, Pierre Pardon, F. Lebas, Benoit Fauconneau, Hervé Rémignon

► **To cite this version:**

M. Bonneau, Christian Touraille, Pierre Pardon, F. Lebas, Benoit Fauconneau, et al.. Amélioration de la qualité des carcasses et des viandes. *Productions Animales*, 1996, HS, pp.95-110. hal-02688926

HAL Id: hal-02688926

<https://hal.inrae.fr/hal-02688926>

Submitted on 1 Jun 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.

M. BONNEAU¹, C. TOURAILLE², P.
PARDON³, F. LEBAS⁴,
B. FAUCONNEAU⁵, H. REMIGNON⁶

1 INRA Recherches porcines 35590 St Gilles

2 INRA Recherches sur la viande Theix
63122 St Genès Champanelle

3 INRA Pathologie infectieuse et immunologie
37380 Nouzilly

4 INRA Recherches cynicoles BP 27,
31326 Castanet-Tolosan Cedex

5 INRA Physiologie des poissons, Campus de Beaulieu,
35042 Rennes Cedex

6 INRA Recherches avicoles 37380 Nouzilly

Amélioration de la qualité des carcasses et des viandes

1946 : au lendemain de la deuxième guerre mondiale, l'agriculture française a bien du mal à faire face aux besoins alimentaires de base de la population et le pays doit importer une part essentielle de la viande qu'il consomme.

1996 : grâce à un effort très important d'amélioration de sa productivité, auquel l'INRA a fortement contribué, l'agriculture devient exportatrice de la plupart des produits alimentaires, et notamment de viandes, alors même que la consommation interne de produits carnés plafonne, voire régresse, dans bon nombre de pays de la Communauté Européenne.

Tout au long des cinquante années d'existence de l'INRA, la demande des consommateurs a continuellement évolué. Suite aux années d'immédiat après-guerre, où il a d'abord fallu satisfaire aux besoins quantitatifs d'une population qui sortait de difficiles années de restriction, on est entré dans l'ère de la société dite de consommation, où la part du budget familial consacré à l'alimentation s'est considérablement réduite. Il s'agissait alors d'assurer une offre suffisante de produits alimentaires sains à bas prix. Très vite cependant, la prise de conscience des impératifs diététiques liés à une vie de plus en plus sédentaire a conduit à rechercher la production de viandes maigres. Par la suite, face à une offre pléthorique, la demande des consommateurs a dépassé la simple couverture des besoins nutritionnels quantitatifs et qualitatifs et s'est scindée en deux créneaux distincts. L'un concerne la consommation de tous les jours de produits carnés bon marché, faciles à préparer et de qualité organoleptique standard. L'autre, plus marginal en volume, correspond au besoin « festif » de produits de qualité organoleptique supérieure. Enfin, une fraction toujours plus large du public accorde une importance grandissante à l'image des produits carnés consommés. Cette image intègre en particulier la manière dont

les animaux sont élevés, le niveau de bien-être assuré aux animaux et le degré de pollution engendré par l'élevage. La figure 1 tente de résumer la complexification croissante de la demande en produits carnés.

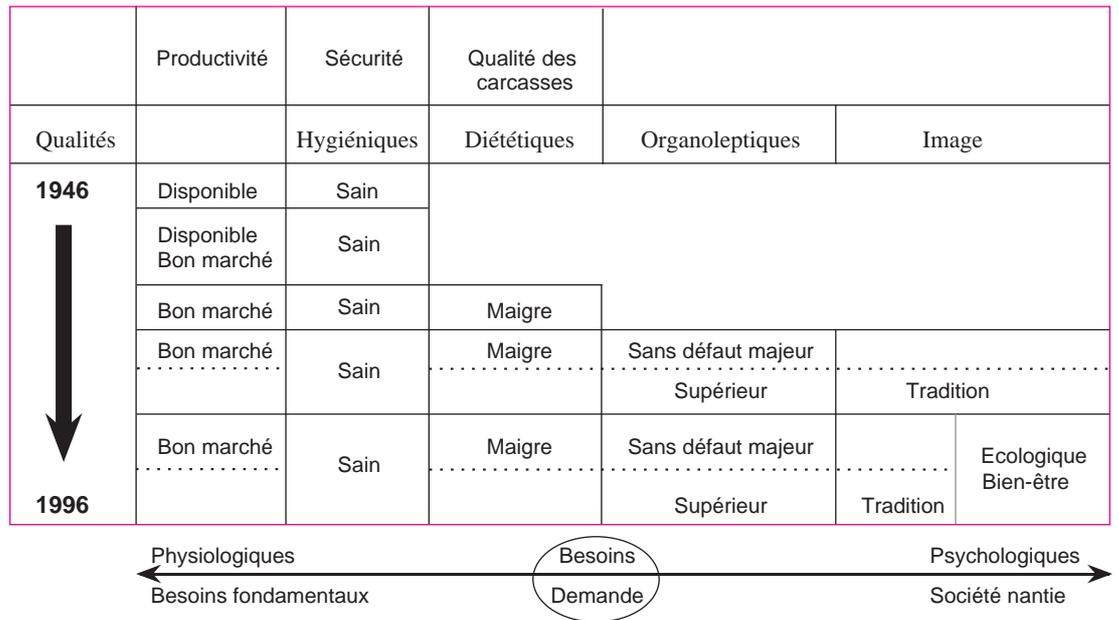
Rappelons la définition de la qualité selon l'ISO : « Ensemble des propriétés et des caractéristiques d'un service ou d'un produit qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites ». La qualité d'une viande dépend donc avant tout de la nature des besoins qu'elle vise à satisfaire. Ainsi, les spécifications de la qualité évoluent au fil des années, en même temps que la nature de la demande des utilisateurs.

Certains critères de qualité des viandes sont essentiellement subjectifs (image, valeur sociale,...). Parmi les autres critères, objectifs et mesurables, on peut distinguer :

- les qualités hygiéniques, qui concernent la sécurité du consommateur ;
- les qualités diététiques, qui rendent compte de la valeur nutritive des viandes ;
- les qualités organoleptiques, qui recouvrent les propriétés sensorielles des viandes et qui sont à l'origine des sensations de plaisir ou de déplaisir associées à leur consommation ;
- les qualités technologiques, qui déterminent l'aptitude d'une viande à servir de matière première pour la fabrication d'un produit carné élaboré.

Les critères de qualité pris en compte par la recherche ont varié au cours du temps, en fonction du progrès des connaissances et de l'évolution pressentie de la demande. Tentant à chaque fois de devancer cette évolution, l'Institut a commencé des recherches sur la qualité des carcasses et des viandes dès le début des années 1950, alors même que l'agriculture européenne se préoccupait alors essentiellement de la satisfaction des besoins quantitatifs des populations. Parmi les tout premiers chercheurs que l'INRA ait recrutés

Figure 1. Evolution dans le temps de la demande des consommateurs de produits carnés et des préoccupations de la recherche visant à la satisfaire.



D'abord préoccupés de la seule satisfaction de leurs besoins fondamentaux, les consommateurs obéissent ensuite à des impératifs diététiques. Plus tard, le marché se scinde en deux segments, l'un relatif à la satisfaction des besoins de tous les jours, l'autre concernant une demande de produits "festifs". Enfin, le public s'attache de plus en plus à l'image des produits carnés qu'il achète.

pour son centre de recherches zootechniques de Jouy-en-Josas, il y avait un scientifique destiné aux recherches sur la viande. L'équipe « Viandes » s'est ensuite étoffée à partir de la fin des années 1950 et a été à l'origine des trois laboratoires basés à Theix, Jouy-en-Josas et Nantes, dont les recherches sont essentiellement consacrées à l'amélioration des qualités des viandes et produits carnés. Par ailleurs, les départements de génétique et d'élevage, d'abord essentiellement préoccupés de productivité, se sont attaqués, dès le début des années 1960, à améliorer, par la voie de la sélection et des techniques d'élevage, la maîtrise des caractéristiques des tissus musculaires et adipeux ayant une influence sur la qualité finale des viandes et produits carnés.

L'objet du présent article est de faire état des principaux apports de l'INRA en matière de qualité des carcasses et des viandes des principales espèces d'animaux de rente couramment utilisées en Europe : bovins, ovins, porcins, volailles, lapins et poissons. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous essaierons de présenter les grandes lignes des principaux programmes de recherches de l'INRA qui ont abouti à des améliorations sensibles de la qualité finale des produits carnés grâce à des actions menées soit au niveau de la production des animaux, soit au niveau des industries de transformation. La prise en compte du bien-être des animaux et de l'impact des élevages sur l'environnement ne sera pas évoquée ici, faisant l'objet de paragraphes spécifiques dans d'autres articles de ce même numéro.

Les efforts de recherches déployés en matière de qualité ont d'abord visé à augmenter la teneur des carcasses en viande maigre et à assurer la sécurité des consommateurs de viandes et produits carnés. Nous évoquerons ces travaux dans les deux premières parties de cet article. Assez vite cependant, les chercheurs se sont préoccupés des qualités intrinsèques des viandes. Nous présenterons dans une troisième partie les recherches qui ont contribué à améliorer les qualités organoleptiques et technologiques des viandes.

1 / Qualité des carcasses

Augmenter le contenu des carcasses en viande maigre peut s'obtenir :

- en améliorant la conformation des animaux, c'est-à-dire en accroissant la masse musculaire relativement à celle de la charpente osseuse et/ou en augmentant la part des morceaux « nobles » dans la carcasse ;
- en réduisant le développement des tissus adipeux.

Le développement de méthodes d'estimation de la composition corporelle répond au double objectif de mise en place de systèmes de classification commerciale des carcasses et de préalable méthodologique indispensable aux recherches visant à améliorer la carcasse des animaux de boucherie par le biais de l'amélioration génétique, de l'alimentation et des modes d'élevage.

L1 / Méthodes d'estimation

L'estimation de la composition tissulaire des carcasses a constitué très tôt un objectif important (Dumont 1958, Boccard et Dumont 1960, Dumont *et al* 1961, Ricard 1961a, Rouvier 1970), que ce soit pour répondre aux besoins de l'expérimentation ou pour acquérir les bases permettant la mise en place d'une classification commerciale des carcasses.

a / Estimation et mesure de la composition tissulaire à fins expérimentales

Des méthodes indirectes d'estimation de la proportion de muscle et de gras dans la carcasse des bovins ont été mises au point (Geay et Béranger 1969, Robelin et Geay 1975, Robelin et Agabriel 1986, Renand *et al* 1992) pour les besoins des expérimentations conduites par l'INRA, mais aussi par l'Institut de l'Élevage et certaines Chambres d'Agriculture.

La mesure de l'épaisseur du lard sur le porc vivant à l'aide des ultrasons (Dumont 1957, 1959) a grandement facilité la sélection contre l'adiposité. Longtemps basée sur une évaluation subjective de la conformation et une mesure manuelle de l'épaisseur du lard dorsal, l'estimation de la composition tissulaire des carcasses de porcs fait maintenant appel à des équations de prédiction reposant, par ordre de précision croissante, sur des mesures linéaires d'épaisseur de gras et de maigre, sur la découpe normalisée des carcasses ou sur la dissection partielle de morceaux représentatifs (Desmoulin 1986, Desmoulin *et al* 1988).

Dès les années 1960 ont été développées des méthodes de mesure de la conformation des volailles (Ricard 1961a). Une méthode de dissection anatomique pour la mesure fine des rendements de carcasse a été ensuite définie (Ricard et Rouvier 1965, Rouvier et Ricard 1965) qui a permis de mettre en évidence l'intérêt de la mesure du gras abdominal comme prédicteur de l'adiposité globale de la carcasse de poulet (Delpech et Ricard 1965).

Chez le lapin, le rapport muscle/os du membre postérieur (Rouvier 1970) et le développement de l'adiposité périrénale (Ouhayoun *et al* 1989) constituent des indicateurs fiables de la charnure et de l'adiposité des carcasses, respectivement. La mise au point d'un document d'harmonisation internationale des critères et de la terminologie dans le domaine des recherches sur la qualité des carcasses constitue une avancée majeure (Blasco *et al* 1993).

Chez le poisson, la qualité des carcasses est évaluée à l'abattage sur des critères essentiellement visuels. Dans les années 1990, des méthodes de mesures objectives de conformation des poissons et des carcasses (épaisseur de la paroi abdominale) commencent à être élaborées en collaboration avec les professionnels. Ces méthodes directes ou indirectes

visent une amélioration des rendements et secondairement une réduction de l'adiposité des carcasses (voir Douirin *et al* 1994 a et b).

b / Bases de la classification commerciale des carcasses

L'INRA a fourni les bases de la classification EUROPA des carcasses de bovins et d'ovins (Boccard *et al* 1958, Dumont et Le Guelte 1961, Boccard et Dumont 1962, Flamant et Boccard 1966, Dumont 1967). Les systèmes actuels de cotation reposent cependant sur une appréciation subjective des carcasses qui est peu reproductible dans le temps et dans l'espace et soumise à des différences importantes entre opérateurs. Des prototypes ont été mis au point pour établir un jugement objectif et automatisé de la conformation et de l'état d'engraissement des carcasses bovines (cf revue de Geay *et al* 1991). Les travaux de Desmoulin *et al* (1984), ont largement contribué à la mise en place, en 1986, du classement objectif des carcasses porcines.

L2 / Amélioration génétique, nutrition et mode d'élevage

Chez les espèces de petit format, dont les carcasses sont distribuées en l'état, l'homogénéité des carcasses constitue un critère majeur de qualité. Ainsi, la diffusion des génotypes de lapins les mieux adaptés à l'élevage sur grillage et la généralisation de l'alimentation rationnelle granulée ont permis de réduire fortement l'hétérogénéité des carcasses dans cette espèce (Lebas *et al* 1984).

Dans plusieurs espèces, on a cherché à exploiter l'existence de caractères d'hypertrophie musculaire d'origine génétique (gène « culard » chez les bovins, gène de la sensibilité à l'halothane chez les porcins et, beaucoup plus récemment, gène « callipyge » chez les ovins) pour améliorer la conformation des carcasses et augmenter l'importance relative des parties arrière de l'animal, mieux valorisées que celles de l'avant. Lauvergne *et al* (1963) analysent en détail les particularités liées au caractère culard chez les bovins. Les études menées sur ce gène ont permis de caractériser son action et de quantifier ses effets (Ménissier 1982). Chez les volailles, Ricard *et al* (1994) ont montré qu'il est possible de sélectionner des poulets sur un développement spécifique des masses pectorales (figure 2) pour satisfaire l'extension du débouché sous forme de morceaux découpés. La sélection sur des critères de conformation est également possible chez le lapin car l'héritabilité du rapport muscle/os de la carcasse est élevée (Rouvier 1970). Les critères de conformation pris en compte pour l'amélioration génétique des ovins ont évolué au cours du temps (importance moindre de la « compacité » de la carcasse au profit de l'épaisseur des masses musculaires) et leur importance est devenue secondaire relativement à la diminution de l'adiposité (Sellier *et al* 1992).

Figure 2. Effets de la sélection sur l'angle de poitrine et sur le gras abdominal chez le poulet (d'après Ricard *et al* 1994).



De même, la préoccupation de sélectionner les bovins sur leur potentiel de croissance musculaire et non pas sur leur seule croissance en vif et leur conformation est présente depuis deux décennies et a débouché, au début des années 80, sur la mise en place d'un protocole de sélection en station de contrôle individuel (Ménissier *et al* 1986).

La réduction de l'adiposité des porcs a constitué très tôt un objectif prioritaire, aussi bien pour l'alimentation et l'élevage des animaux (Henry 1977), que pour la sélection, mise en place par l'INRA en 1953, après une période expérimentale de 1947 à 1952 (Ollivier 1970, 1977 ; tableau 1). Au poids d'abattage commercial, l'adiposité des carcasses de lapins est d'autant plus grande que les formats adultes sont faibles (Ouhayoun 1989). Chez les bovins, les travaux sur la nutrition et la croissance ont permis de préciser les particularités de l'utilisation de l'énergie et de l'azote par les différentes races (Geay et Robelin 1979) et leurs conséquences sur le rendement, la conformation et la composition des carcasses (Robelin et Geay 1984). Ces particularités ont été prises en compte dans

Tableau 1. Résultats d'une expérience de sélection réalisée chez le porc de 1965 à 1988 sur le site INRA de Rouillé (d'après Cañon *et al* 1992). L'expérience a comporté 24 générations de sélection des mâles et reposait sur un indice de contrôle individuel combinant vitesse de croissance et adiposité. Le progrès génétique est calculé sur l'ensemble de l'expérience et exprimé en unité d'écart type phénotypique de chaque caractère.

Caractère de l'indice de sélection	Gain moyen quotidien	Épaisseur de lard dorsal
Évolution génétique annuelle	+ 11 g	- 0,15 mm
Progrès génétique cumulé	+ 2,4	- 1,7

les objectifs de sélection (Renand *et al* 1996). La diminution de l'adiposité des carcasses d'ovins est une préoccupation plus récente, mais constitue maintenant l'objectif de sélection prioritaire (Sellier *et al* 1992). Chez les volailles (Leclercq 1989), comme chez les poissons (Bauvineau *et al* 1994), on s'est aperçu que la sélection pratiquée sur la seule vitesse de croissance conduit à la production d'animaux de plus en plus gras. Les sélections expérimentales dirigées contre le développement des graisses abdominales se sont avérées très efficaces pour diminuer la proportion de graisses dans la carcasse de poulet (Leclercq 1989 ; figure 2).

Pour toutes les espèces de boucherie, l'INRA a consacré très tôt de nombreux travaux visant à mettre en évidence les lois générales d'action du niveau nutritionnel sur la croissance musculaire et sur le développement des tissus adipeux. On s'est attaché à préciser les besoins spécifiques en énergie, en protéines et en acides aminés qui permettent aux animaux de boucherie d'exprimer au mieux leur potentiel de croissance musculaire (voir dans ce même numéro les articles de Demarquilly *et al* et de Leclercq *et al*).

2 / Hygiène et sécurité

Comme les autres aliments, les viandes et produits carnés peuvent héberger des contaminants qui peuvent en affecter la qualité marchande et sanitaire. Les contaminants étant identifiés, il faut prévenir ou maîtriser les contaminations aux stades de la production et de la transformation.

2.1 / Diversité des contaminants indésirables

Les principaux contaminants inertes sont des substances toxiques ou déclenchant des réactions d'intolérance comme les résidus de certains médicaments ou pesticides, les métaux toxiques ou divers hydrocarbures chlorés (Burgat-Sacaze *et al* 1986, Milhaud et Kolf-Clauw 1994). Certains de ces toxiques sont tolérés à faible dose mais peuvent s'accumuler dans l'organisme et manifester tardivement leurs effets. Ces contaminations chimiques inquiètent particulièrement le public, mais les contaminations microbiologiques restent encore aujourd'hui les plus difficiles à maîtriser (Pascal 1993).

Les viandes et produits carnés sont susceptibles de conserver, accumuler, voire multiplier divers micro-organismes. Certains, tels les *Pseudomonas* (Labadie 1987) et les moisissures (Le Bars et Le Bars 1993), accélèrent la détérioration naturelle des produits alors que d'autres sont pathogènes pour l'homme. Les viandes et produits carnés peuvent jouer le rôle de simples véhicules (parasites, virus) ou encore permettre la multiplication de bactéries pathogènes ou la production de toxines bactériennes ou fongiques.

En dehors des germes les plus anciennement identifiés (*Salmonella*, *Staphylococcus*, *Clostridium*), plusieurs agents pathogènes connus par ailleurs ont été reconnus, depuis 1950, comme transmissibles à l'homme par les viandes et produits carnés : *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni* et *C. coli*, *Yersinia enterocolitica*, virus du type Norwalk, *Escherichia coli*, *Aeromonas* par exemple. La transmissibilité des agents des encéphalopathies spongiformes (maladies à « prions ») des animaux à l'homme n'est pas prouvée, mais la vigilance s'impose et des mesures de précaution ont été prises. La plupart des germes cités ont été ou sont étudiés par des équipes INRA ou associées INRA.

La contamination naturelle des substances solides est hétérogène spatialement, d'où des difficultés d'échantillonnage. Dans certaines conditions, les bactéries évoluent vers un état métabolique limitant leur capacité de multiplication, ce qui complique leur détection et leur dénombrement par culture. Le comportement d'un germe peut être étudié en situations réelles, chez l'animal ou dans le produit. Mais ces situations sont plus ou moins difficiles à définir et à reproduire. Aussi des expérimentations sont conduites sur tapis cellulaires ou en milieux liquides choisis pour reproduire les principales caractéristiques d'une situation réelle, par exemple les conditions de fabrication et de stockage d'un produit carné (Valin 1995). Ces approches sont validées par des observations ou des expérimentations en situations réelles ou quasi-réelles.

2.2 / Actions au niveau des élevages

La plus grande source de contamination des carcasses est l'animal vivant porteur de germes saprophytes ou pathogènes sur ses téguments ou dans son tube digestif (Fournaud 1985). Les matières fécales (Plommet et Plommet 1974), le sol et les poussières constituent aussi une source possible de contamination. Pour la plupart des germes pathogènes transmissibles par les viandes, les animaux porteurs asymptomatiques sont beaucoup plus fréquents que les malades, d'où l'intérêt porté aux circonstances, aux mécanismes et à la détection du portage des principaux germes pathogènes (Duchet-Suchaux *et al* 1995, Pardon *et al* 1994).

Le bon état sanitaire et la propreté des animaux contribuent à la prévention des contaminations. Pour les contaminants pathogènes, le choix d'animaux provenant d'effectifs indemnes, l'amélioration des bâtiments et des pratiques d'élevage, la décontamination des effluents, la réforme anticipée des animaux porteurs, ou la dépopulation d'effectifs contaminés suivies d'une désinfection constituent des moyens de lutte à adapter à chaque situation. L'usage des antibiotiques (dont l'effet est temporaire) est coûteux et favorise la sélection des souches

antibio-résistantes (Guillot *et al* 1977). Les vaccins disponibles réduisent plus l'expression clinique que le portage intestinal. Les vaccins vivants, actuellement les plus efficaces et les moins coûteux à produire et à utiliser (Aynaud 1991), ne sont autorisés que dans certains pays. Un vaccin inerte (non vivant) contre la toxoplasmose est à l'étude (Bourguin *et al* 1993).

Des voies complémentaires des précédentes ont fait et font encore l'objet de développement, en particulier l'exclusion compétitive des contaminants par une flore naturelle ou modifiée (Ducluzeau et Raibaud 1979). D'autres commencent à être explorées : sélection ou adoption de gènes naturels favorables à l'animal hôte, mise en évidence et manipulation des facteurs contrôlant l'expression des gènes impliqués dans la multiplication ou la survie des germes *in vivo* ou *in natura*.

2.3 / Actions au niveau de la transformation

Les actions possibles concernent le produit lui-même ou son environnement (Cerf et Carpentier 1996). La réduction ou la destruction des contaminants présents peut être obtenue par des substances antibactériennes, ou des traitements thermiques ou ionisants. La prévention ou le retardement de la croissance microbienne sont obtenus par la conservation au froid ou sous atmosphères modifiées (Valin et Lacourt 1980), par l'ajout d'agents conservateurs ou la réduction de l'activité en eau (Richard-Molard *et al* 1982), par une flore compétitive ou l'ajout de bactériocines (Maisnier-Patin *et al* 1992). Pour les carcasses, la température et l'humidité relative de l'air doivent être choisies afin d'empêcher le développement des bactéries pathogènes mésophiles et de ralentir au maximum la croissance des bactéries psychrotrophes pathogènes ou saprophytes d'altération (Fournaud *et al* 1973).

L'hygiène de l'environnement des ateliers de transformation commence dès la conception des locaux et des équipements (Bellon-Fontaine et Cerf 1988), et se poursuit par le nettoyage, la désinfection et la mesure de l'efficacité de ces opérations (Grasshof et Cerf 1989). Mais généralement, les surfaces industrielles sont porteuses de biofilms limitant l'effet du nettoyage et des désinfectants (Carpentier et Cerf 1993). Selon le type de produit, deux tendances existent : l'ultra-propre ou la maîtrise du peuplement microbien des ateliers.

2.4 / De nouvelles perspectives en hygiène des aliments

La vision traditionnelle était surtout basée sur la lutte réglementée et subventionnée contre les maladies animales, sur l'inspection *ante-* et *post-mortem*, et sur le contrôle du produit fini selon des critères établis par les pouvoirs publics. Aujourd'hui, la qualité hygiénique des produits ne peut plus seule-

ment se constater au coup par coup, ou se vérifier sur le seul produit fini. Elle se construit d'un bout à l'autre des filières (Pardon et Cerf 1989, Cerf et Pardon 1995). Pour tenir compte de la dispersion des intervenants en hygiène des aliments, l'INRA a créé en 1990 un réseau interne spécialisé orienté vers les contaminants microbiologiques.

C'est toujours aux pouvoirs publics qu'il appartient d'assurer la sécurité alimentaire des consommateurs. Mais trois tendances se développent. D'abord l'intervention directe des pouvoirs publics sous forme financière et réglementaire se réduit. Ensuite une conception plus intégrée de l'hygiène vise à tenir compte des divers contaminants possibles et du rapport coût/efficacité des actions. Enfin, le contrôle officiel du produit fini est en partie remplacé par l'autocontrôle et par des mesures préventives à appliquer en cohérence tout au long des filières.

Dans cet esprit, il faut donc proposer des mesures applicables dès l'amont, à l'échelle des troupeaux, qu'il y ait manifestations cliniques ou non. La directive-cadre 93/43/CEE relative à l'hygiène des aliments met en place une approche préventive, contractuelle, appuyée sur l'assurance qualité et la responsabilisation de chaque maillon de la chaîne allant de l'éleveur jusqu'au consommateur. Cette directive introduit aussi l'évaluation des risques pour la santé publique comme base pour le contrôle et la fixation des critères microbiologiques. Une telle évaluation conduira à établir un niveau acceptable de risque puis à optimiser la prise en compte des risques avérés. En matière de risques potentiels, il faudra savoir anticiper.

3 / Qualités organoleptiques et technologiques des viandes

On observe dans de nombreux cas une opposition entre les objectifs de quantité et de qualité, car la recherche d'un développement musculaire maximal a souvent tendance à entraîner une dégradation de certains aspects des qualités organoleptiques et/ou technologiques des viandes, comme on l'observe chez le porc, le poulet ou le poisson (voir plus loin les paragraphes 3.4 et 3.5). Même s'ils ne sont pas systématiques (on observe par exemple chez les bovins une relation positive entre vitesse de croissance et tendreté, cf § 3.5.a), l'existence fréquente de tels antagonismes, d'origine génétique ou non, souligne l'importance des recherches conduites sur les qualités organoleptiques et technologiques de viandes, prises en compte dès les premières années d'existence de l'Institut (par exemple : Dumont 1952, Charpentier 1959, François et Pihet 1960, Goutefongea 1960, Ricard 1961b, Ollivier et Mesle 1963, Renou 1962).

Après avoir exposé les principaux critères pris en compte pour évaluer les qualités organoleptiques et technologiques des viandes, nous évoquerons les aspects méthodologiques avant d'exposer les progrès des connaissances sur les mécanismes de la transformation des tissus en viande et sur les caractéristiques biologiques des tissus musculaire et adipeux. Enfin, nous porterons notre attention sur les principaux facteurs de variation des qualités organoleptiques et technologiques des viandes, que ce soit au niveau de la production des animaux ou dans la mise en œuvre des procédés industriels de transformation.

3.1 / Principaux critères de qualité

En première approche, les critères de qualité d'une viande sont les mêmes quelle que soit l'espèce considérée. D'aspect engageant, une viande doit être tendre, juteuse et de saveur agréable. Parmi les multiples facteurs qui déterminent la qualité d'une viande on peut distinguer :

- ceux qui sont étroitement liés à l'animal, plus particulièrement aux caractéristiques biologiques du muscle ou du tissu adipeux ;
- ceux qui dépendent des conditions de transformation du muscle en viande (abattage, maturation, conservation) et éventuellement d'une viande en produits élaborés (par ex. charcuterie-salaison).

Toutefois, en fonction des particularités biologiques de chaque type d'animal, du stade auquel sont abattus les animaux et de l'usage qui est fait des viandes, la hiérarchie d'importance des différents critères de qualité diffère selon les espèces considérées.

a / Bovins

Les viandes de bovins sont essentiellement consommées en frais. Compte tenu des différences de prix entre les morceaux nobles destinés à la grillade et ceux destinés à une cuisson longue, la tendreté constitue une préoccupation majeure. Une meilleure maîtrise de la variabilité de la tendreté permettrait de mieux pouvoir répondre à l'attente de l'acheteur qui recherche une garantie de constance de qualité pour un produit considéré. Dans le cas particulier du veau, les aspects liés à l'aspect visuel du produit (couleur, exsudat) tiennent une place prépondérante.

b / Ovins

Pour les ovins, les problèmes de tendreté se posent de manière beaucoup moins cruciale que pour les bovins, bien que les carcasses d'agneaux de petite taille soient très sensibles à la contracture au froid consécutive à un refroidissement trop rapide. Les consommateurs sont sensibles à la qualité des gras (fermeté, coloration) et à la présence de « goût » de mouton, qui peut devenir un facteur de rejet s'il est trop prononcé.

c / Porcs

Pour les viandes fraîches, en dehors de la quantité de gras visible, les principaux critères de qualité à prendre en compte sont le pouvoir de rétention d'eau, la texture et la flaveur. Les deux tiers des viandes porcines étant consommées sous forme de produits de charcuterie, les qualités technologiques des viandes occupent une place importante dans cette espèce. Pour les viandes destinées à être transformées, on s'attache en priorité au pouvoir de rétention d'eau qui conditionne les rendements de fabrication des produits cuits, et à la qualité des gras qui détermine l'aptitude à la fabrication de produits secs.

d / Volailles

Les productions standard de poulet et de dinde, qui exploitent au maximum le remarquable potentiel de croissance musculaire des souches industrielles, conduisent à des viandes très jeunes, immatures, qui manquent de fermeté. Ce problème est relativement ancien dans le cas du poulet et a reçu une réponse par le développement de productions de type « label », à partir de souches à croissance plus lente (Culioli *et al* 1990). Il reste tout à fait d'actualité dans le cas des viandes de dinde. Par ailleurs, la diversification des modes de présentation des produits (en particulier progression importante de la découpe) entraîne l'apparition de nouveaux problèmes : grisaillement-décoloration des escalopes de dinde, hétérogénéité de couleur des viandes de canard, détérioration du pouvoir de rétention d'eau.

e / Lapins

Les viandes de lapin ne posent pas à l'heure actuelle de graves problèmes de qualité. L'exemple des évolutions observées dans les autres espèces (comme le porc ou les volailles) amène cependant à anticiper l'apparition probable de défauts de qualité au fur et à mesure que les progrès des performances conduiront à l'abattage d'animaux de plus en plus jeunes. Par ailleurs, la diversification attendue des modes de présentation des viandes fera aussi émerger de nouvelles exigences qualitatives.

f / Poissons

La chair du poisson d'élevage est consommée en frais ou après transformation, surtout par fumage. Elle présente des caractéristiques typiques de coloration, conditionnées par les pigments apportés par l'alimentation, de texture généralement tendre, de pouvoir de rétention d'eau élevé et de flaveur subtile. Chacun de ces critères présente des défauts spécifiques : décoloration, texture ferme et/ou élastique, chair sèche, masquage du goût. Le déterminisme spécifique de l'origine de ces défauts n'étant pas encore identifié, c'est l'ensemble de ces critères qui sont mesurés pour décrire la qualité de la chair des poissons (Fauconneau *et al* 1993a et b, 1995, Fauconneau et Laroche 1995).

3.2 / Méthodes d'analyse et de mesure

L'INRA a consacré une part importante des moyens de recherches au développement de méthodes de mesure des qualités organoleptiques et technologiques des viandes.

a / Tendreté

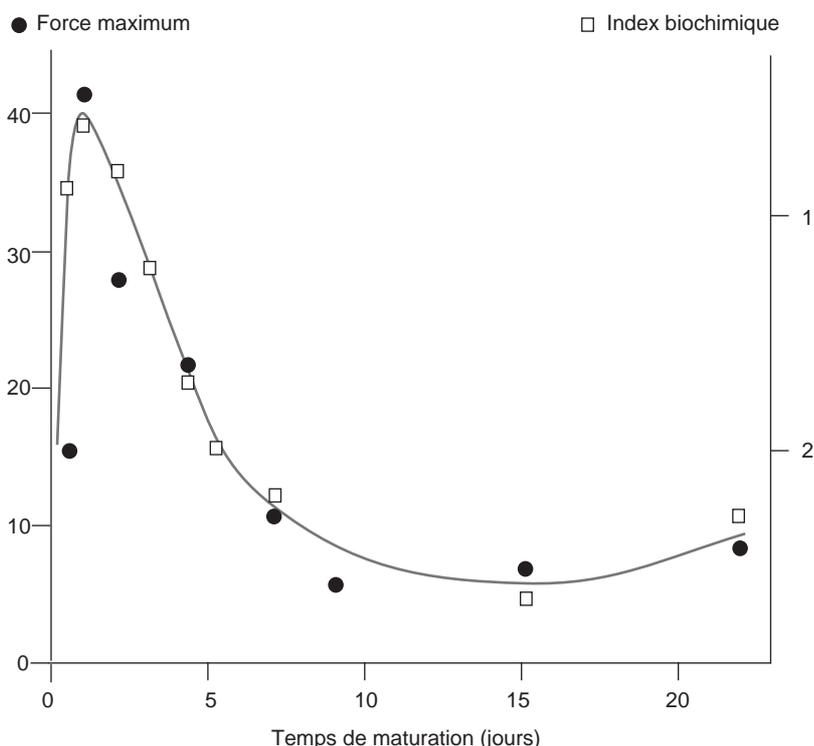
A la suite des premières approches méthodologiques (Renou 1964), un appareil de cisaillement a été développé qui permettait d'estimer la dureté due au collagène, grâce à la force maximum, et le degré de maturation par le travail de cisaillement (Salé 1971, Salé et Touraille 1973). Plus récemment, de nouvelles méthodes ont été développées qui permettent de réaliser des mesures non dépendantes du muscle et d'obtenir un indice absolu du degré de maturation de la viande (Lepetit et Salé 1983, 1985, Touraille *et al* 1990). Il est ainsi possible de suivre la maturation de la viande aussi bien par des mesures biochimiques que par mesures mécaniques, ces dernières pouvant déboucher sur des applications industrielles (Ouali et Lepetit 1983, Lepetit *et al* 1986 ; figure 3).

b / Jutosité

La mesure de la rétention d'eau fut entreprise très précocement (Goutefongea 1960, 1966, 1969), avec les moyens disponibles à l'époque, en raison de l'importance de cette caractéristique pour la transformation des

Figure 3. Evolution des indices mécanique et biochimique, lors de la maturation des viandes bovines (d'après Lepetit *et al* 1986).

Le bon parallélisme entre les valeurs de l'index biochimique et celles de la force maximum montre que la mesure de cette dernière peut être utilisée pour prédire le degré de maturation des viandes.



produits. Plus récemment, les études sur la liaison de l'eau dans la viande ont été profondément renouvelées par l'apparition de techniques telles que la résonance magnétique nucléaire (Renou *et al* 1989, Renou 1995).

c / Couleur

Les premiers travaux ont porté sur la couleur de la viande de veau (Charpentier 1959) et ont conduit au développement d'un colorimètre adapté aux mesures sur la viande (Charpentier 1964). Les nombreuses recherches consacrées à cette question ont permis de définir les conditions optimales de mesure de la couleur de la viande (Renner 1981, 1983).

d / Flaveur

Les travaux portant sur la flaveur de la viande se sont développés plus récemment et se sont focalisés principalement sur les produits secs (Berdagué et Garcia 1990, Berdagué *et al* 1992). L'étude des composés volatils permet de comprendre le déterminisme de l'arôme par l'identification des molécules odorantes et de suivre les successions de réactions qui se produisent dans un produit alimentaire au cours de sa transformation. La

grande richesse des composés volatils permet aussi d'envisager leur utilisation pour caractériser finement les produits (Berdagué et Grappin 1991). Des développements sont réalisés dans l'utilisation des méthodes rapides, en particulier le « nez artificiel » (Berdagué et Talou 1993).

e / Méthodes sensorielles

Les méthodes sensorielles faisant appel à un jury de dégustateurs restent indispensables pour décrire les caractéristiques organoleptiques de la viande (Touraille et Salé 1977, Touraille 1979). L'utilisation de ces méthodes en relation avec les approches biochimiques ou rhéologiques a permis de mieux définir les conditions de mesure permettant d'évaluer au mieux la qualité de la viande telle que la perçoit le consommateur (Touraille 1988).

3.3 / Connaissance des mécanismes de transformation du muscle en viande

a / Installation de la rigidité cadavérique et évolution du pH

La qualité des viandes de porc, de veau et de lapin (en particulier leur pouvoir de rétention d'eau), et à moindre degré celle des viandes bovines, est très dépendante des conditions d'installation de la rigidité cadavérique, et en particulier de la cinétique de la chute du pH après la mort (Monin 1988, 1991, 1993, Ouhayoun *et al* 1990). La figure 4 résume l'incidence de l'évolution du pH musculaire *post-mortem* sur la qualité des viandes porcines.

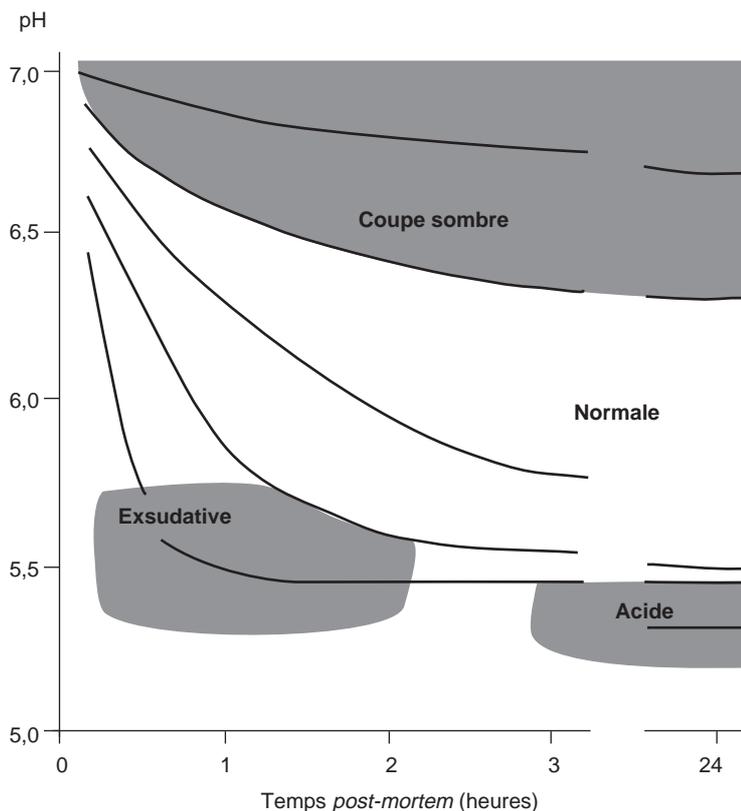
La chair du poisson est moins dépendante que la viande des conditions de chute du pH et d'évolution de la *rigor post-mortem*, sauf pour déterminer les périodes favorables à la manipulation, le poisson en état de *rigor* étant fragile (Fauconneau et Maisse 1991, Fauconneau *et al* 1996).

b / Mécanismes de la maturation

La maturation de la viande est le résultat de l'action de diverses protéases (Ouali et Valin 1981, Ouali 1990a, Ouali et Talmant 1990), dont l'intensité est modulée par des inhibiteurs et dépend des conditions de température, de pH et de concentration des ions (Ouali et Valin 1984, Ouali 1990b). Les travaux menés dans ce secteur, qui visent à mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la maturation, ont permis de mettre en évidence une extrême variabilité individuelle dans le cas du bovin (Ouali 1980, 1990b), et l'on cherche actuellement à modéliser ce phénomène. La maturation joue en effet un rôle considérable dans l'élaboration de la qualité des viandes bovines, alors que son importance est moindre dans le cas des viandes

Figure 4. Principaux défauts de qualité des viandes en fonction de l'évolution du pH musculaire *post-mortem* (d'après Sellier et Monin 1994).

Une trop faible amplitude de chute du pH *post-mortem* conduit à des viandes à coupe sombre, qui se conservent mal. Une trop forte amplitude est caractéristique des viandes acides, qui présentent de faibles rendements de transformation en produits cuits. Une chute trop rapide conduit à des viandes exsudatives, dont les qualités organoleptiques et technologiques sont médiocres.



porcines et quasiment négligeable pour les viandes de poulet ou la chair de poisson.

3.4 / Connaissance des caractéristiques biologiques des tissus musculaires et adipeux qui ont un impact sur la qualité des viandes

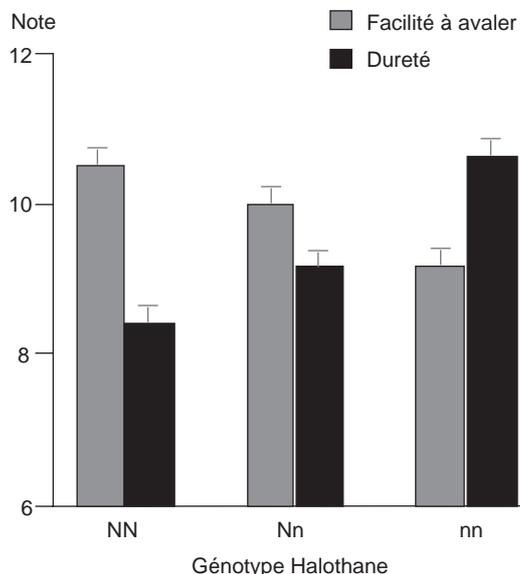
a / Tissu musculaire

Gènes majeurs à l'origine de graves défauts de qualité des viandes

Les viandes de porc exsudatives ont été l'objet de nombreuses recherches menées à partir du début des années 1960 (Charpentier et Goutefongea 1963, 1964). Lié à une chute de pH anormalement rapide (figure 4), le caractère exsudatif est déterminé par des facteurs génétiques (gène de la sensibilité à l'halothane) et par les conditions d'abattage (Goutefongea 1963, Ollivier *et al* 1975, Monin 1988, Sellier 1988). De nombreux travaux, depuis ceux de Ollivier *et al* (1978) jusqu'à nos jours, ont établi les différences entre races de l'incidence des viandes exsudatives et de la fréquence du gène de la sensibilité à l'halothane (Sellier 1988, Amigues *et al* 1994). Selon les critères de qualité considérés, ce gène peut se comporter plutôt comme un gène récessif ou plutôt comme un gène à effet additif (Gueblez *et al* 1995, 1996, Larzul *et al* 1996 ; figure 5).

Figure 5. Effet du gène de la sensibilité à l'halothane sur la texture des viandes porcines (d'après Larzul *et al* 1996).

Les viandes des animaux homozygotes « sensible » (nn) sont plus dures et plus difficiles à avaler que celles des animaux homozygotes « normal » (NN). Les viandes des porcs hétérozygotes (Nn) présentent des caractéristiques intermédiaires.



Suite à une hypothèse initialement formulée par Naveau (1986), Le Roy *et al* (1990, 1994) ont confirmé l'existence d'un gène majeur dominant (gène RN) dont la présence conduit le plus souvent à une acidification excessive du muscle *post-mortem*. Ceci est dû à une teneur anormalement élevée en glycogène et se traduit notamment par une couleur pâle et un plus faible rendement technologique de transformation en produits cuits (Sellier et Monin 1994, Le Roy *et al* 1995, 1996a).

Type métabolique et contractile des fibres musculaires

Aux stades usuels d'abattage, on distingue classiquement trois principaux types de fibres musculaires qui présentent des propriétés contractiles et métaboliques différentes (Lefaucheur 1989, Robelin 1990). Dans la plupart des cas, les muscles sont constitués d'un mélange des différents types de fibres, mais certains muscles blancs comportent essentiellement des fibres de type rapide (patte de lapin, blanc de poulet, chair de poisson). On considère que les fibres glycolytiques à contraction rapide ont des caractéristiques favorables pour la tendreté des viandes bovines car elles ont une maturation plus rapide que les fibres oxydatives à contraction lente (Monin et Ouali 1991) et leur couleur est plus stable au cours de la conservation (Renner 1984). Par contre, elles sont plus grosses, ont moins de lipides intracellulaires associés, et leur métabolisme glycolytique peut conduire à une évolution moins favorable du pH après la mort (Lebret *et al* 1996). Ces caractéristiques sont défavorables pour la texture, le pouvoir de rétention d'eau, la jutosité et la flaveur des viandes ovines (Valin *et al* 1982) et porcines (Lebret *et al* 1996).

Teneur et nature des lipides intramusculaires

La teneur en lipides intramusculaires est une composante importante de la flaveur et de la jutosité des viandes (Valin et Goutefongea 1978), ses effets améliorateurs se manifestant jusqu'à une valeur de l'ordre de 3 % dans le muscle long dorsal du porc (Sellier 1988, Fernandez *et al* 1996). Le poisson se distingue des autres espèces par la nature des lipides intramusculaires qui contiennent de fortes proportions d'acide gras polyinsaturés de la série n-3 (Fauconneau *et al* 1990, Kaushik *et al* 1991). Ceci conditionne non seulement la qualité nutritionnelle mais aussi les spécificités de la flaveur (Fauconneau 1994).

Teneur et nature du collagène

La quantité et le degré de solubilité du collagène sont des composantes essentielles de la tendreté et déterminent ainsi la catégorie bouchère des viandes bovines (Boccard *et al* 1967, 1979, Kopp 1976). Leur importance

dans le déterminisme de la tendreté est par contre faible dans le cas de la chair de poisson qui est très pauvre en collagène (Fauconneau *et al* 1993a). Chez les espèces abattues très jeunes, le faible degré de réticulation peut être à l'origine de défauts de fermeté des viandes de poulet (Touraille *et al* 1981a, 1981b, Culioli *et al* 1990) ou de défauts de tenue des viandes porcines après transformation.

b / Tissu adipeux

Chez le porc, la qualité du tissu adipeux est importante à prendre en compte. En effet, la consistance et la résistance au rancissement des tissus gras sont des critères fondamentaux pour la fabrication des produits secs (jambons, saucissons) qui subissent une longue maturation. Une faible teneur en lipides ou en collagène et/ou une forte proportion d'acides gras polyinsaturés entraînent un manque de consistance (Girard *et al* 1988). Les tissus adipeux participent également de façon cruciale à la formation de la saveur des produits carnés qui peut être altérée par une peroxydation des acides gras polyinsaturés (rancissement) ou par la présence de composés malodorants d'origine endogène (odeurs sexuelles : Bonneau 1988) ou alimentaire (Girard *et al* 1988).

Chez les ovins, il peut exister également des insuffisances de fermeté des gras liées à leur composition en acides gras (Aurousseau 1986). Mais on rencontre aussi des colorations anormales dont l'origine a été reliée à des dépôts excessifs de pigments et à une trop grande richesse en acides gras insaturés (Prache *et al* 1990).

3.5 / Maîtrise de la qualité au niveau de la production

a / Facteurs génétiques

Chez les bovins, le gène culard induit des modifications du collagène musculaire (Boccard 1964) qui se traduisent par une nette amélioration de la tendreté (Boccard et Dumont 1974). Cependant, ces avantages s'accompagnent de défauts de couleur et d'une diminution des lipides intramusculaires, responsables d'une moindre sapidité (Boccard 1981).

La sélection des bovins sur la vitesse de croissance s'accompagne d'un développement plus tardif des animaux avec des conséquences plutôt favorables sur la tendreté - du fait d'une plus faible teneur et d'une plus grande solubilité du collagène, et d'un accroissement de la proportion de fibres glycolytiques à maturation rapide - et des répercussions plutôt défavorables sur la saveur en raison d'une réduction des lipides intramusculaires (Renand *et al* 1994, 1995, 1996). Chez le poulet (Touraille et Ricard 1977) comme chez le poisson (Fauconneau 1994, Fauconneau *et al* 1994), la production d'animaux de plus en plus jeunes se traduit par

un manque de fermeté des viandes (Touraille et Ricard 1977). Chez le porc également, la sélection sur la vitesse de croissance du muscle s'accompagne d'effets défavorables sur certains aspects de la qualité des viandes (Ollivier 1983, Cole *et al* 1988, Sellier 1988, Tribout *et al* 1996).

Pour remédier à cette association défavorable, des critères de qualité de la viande sont inclus depuis 1981 dans les objectifs de sélection du porc (Sellier *et al* 1992). La pondération accordée à l'indice de qualité de la viande est calculée de façon à maintenir constantes les qualités technologiques. La disponibilité d'un test moléculaire pour caractériser sans ambiguïté le statut des animaux vis-à-vis du gène de la sensibilité à l'halothane permet maintenant une totale maîtrise de ce caractère. Pour ce qui concerne le gène RN, à l'origine des viandes acides, la mesure du potentiel glycolytique du muscle, réalisable sur l'animal vivant (Talmant *et al* 1989), permet d'ores et déjà une bonne maîtrise de ce phénomène puisqu'elle permet de faire une discrimination presque complète entre animaux porteurs et non porteurs (Le Roy *et al* 1995). La localisation récente du gène RN sur le chromosome 15 (Milan *et al* 1995, Le Roy *et al* 1996b) pourrait permettre le développement d'un typage moléculaire. Enfin, la forte hérédité du taux de lipides intramusculaires et de la composition en acides gras des dépôts adipeux (Sellier 1996) autoriserait également des actions de sélection efficaces sur ces caractères.

Chez les volailles, la démonstration récente de la possibilité de sélectionner des oiseaux peu émotifs (Faure et Mills 1995) ouvre des perspectives intéressantes quant à l'utilisation de telles lignées afin de réduire les conséquences négatives d'un stress *ante-mortem* sur la qualité des viandes.

b / Alimentation

Effets sur la qualité du muscle

Dans certains cas, l'alimentation exerce un effet direct sur la qualité du muscle. Ainsi, la couleur de la viande de veau (Charpentier 1966a,b) ou de la chair des salmonidés (Choubert 1992) est liée à la composition de l'aliment. Une supplémentation du régime en vitamine C ou en glycérol se traduit par une amélioration du pouvoir de rétention d'eau et de la couleur du muscle de porc (Mourot *et al* 1992, 1993). Un cas particulier important concerne les effets d'un jeûne prolongé physiologique (poissons ne s'alimentant pas l'hiver) qui affecte l'évolution *post-mortem* du pH et en conséquence la qualité de la chair (Fauconneau *et al* 1995).

Dans d'autres cas, les effets de l'alimentation sur les caractéristiques du tissu musculaire sont plutôt de nature indirecte, la quantité et l'équilibre de la ration pouvant modifier la vitesse de croissance - et donc l'âge et/ou le poids à l'abattage - et la composition du gain de poids. Chez les bovins, l'aug-

mentation de la vitesse de croissance par voie nutritionnelle se traduit par un accroissement de la solubilité du collagène et une augmentation de la proportion de fibres glycolytiques (Picard *et al* 1995). Chez le porc, comme dans les autres espèces, la teneur en lipides intramusculaires tend à augmenter avec l'âge et le poids des animaux. Mais des animaux rationnés présentent des teneurs en lipides intramusculaires inférieures à celles de leurs homologues plus jeunes, alimentés à volonté (Candek-Potokar *et al* 1995).

Effets sur la qualité du gras

L'alimentation joue un rôle crucial dans le déterminisme de la qualité des tissus adipeux. Chez le porc, le poulet, le lapin ou le poisson, la teneur des graisses en acides gras polyinsaturés dépend de la quantité totale de gras déposée par l'animal (elle même contrôlée par le potentiel de l'animal et par la quantité d'énergie allouée dans la ration) et du contenu en acides gras polyinsaturés de l'aliment distribué (Ouhayoun *et al* 1981, 1987, Desmoulin *et al* 1983, Mourot *et al* 1991, Lesire 1995). Une supplémentation du régime en vitamine E permet, dans une certaine mesure, de prévenir le rancissement des graisses (Mourot *et al* 1992), mais n'a bien sûr aucun effet sur la tenue des tissus gras. Chez les ovins, les problèmes de fermeté et de couleur des tissus gras peuvent, dans une large mesure, être prévenus par une bonne maîtrise de l'alimentation (Thérier *et al* 1976, Prache *et al* 1990).

c / Facteurs d'élevage

Âge et poids

Les caractéristiques musculaires (Geay et Renand 1994) et la qualité de la viande bovine (Monin 1991) changent considérablement avec l'âge des animaux. Comme dans toutes les espèces domestiques, l'intensité de la couleur et de la flaveur augmente, alors que la tendreté diminue, en liaison avec une diminution de la solubilité du collagène (tableau 2) et une augmentation de l'activité oxydative du muscle. Chez les volailles, la qualité organoleptique est fortement liée à l'âge mais peu au poids vif des animaux (Touraille *et al* 1981a, 1981b). Ce résultat revêt un intérêt tout particulier si l'on se rappelle qu'il fallait 12 semaines en 1960 pour produire un poulet de 2 kg alors qu'il n'en faut plus aujourd'hui que 6 à 7.

Type sexuel

Les qualités organoleptiques varient aussi selon le type sexuel des animaux. La viande de taurillon est moins tendre que celle de mâle castré, elle-même plus dure que celle de génisse (Touraille 1982), ces effets pouvant s'expliquer par des différences dans la teneur et la solubilité du collagène (tableau 2), ainsi que dans l'activité métabolique des fibres et la teneur en lipides intramusculaires. Chez

Tableau 2. Effets de divers facteurs biologiques sur le taux et la stabilité thermique du collagène dans la musculature de bovin (d'après Talmant *et al* 1986).

Facteur de variation	Type de muscle	Animal	Age	Sexe
Taux de collagène Signification	F 12,9 ***	2,2 *	0,6 ns	6,1 **
Solubilité du collagène Signification	F 0,8 ns	32,2 ***	17,9 ***	25,9 ***

les volailles, les coqs présentant une maturité sexuelle plus précoce donnent des viandes dont les caractéristiques organoleptiques sont moins appréciées par les consommateurs (Touraille et Ricard 1981). Chez le porc, les viandes de porc mâle entier présentent des odeurs sexuelles qui peuvent les rendre impropres à la consommation (Bonneau 1988). La teneur des viandes en composés responsables de ces odeurs pourrait être réduite par sélection (Sellier et Bonneau 1988) ou par immunocastration (Bonneau *et al* 1994).

Mode d'élevage

La mise en évidence d'un effet des méthodes d'élevage (densité, accès à un parcours herbeux extérieur) sur les qualités organoleptiques des viandes de volailles (Ricard *et al* 1986) a permis de définir, en association avec le choix de souches à croissance lente, les conditions de production de volailles « label ». L'activité physique (force du courant) et la température semblent affecter, au travers des caractéristiques des tissus musculaires, la texture et la rétention d'eau de la chair du poisson (Faure 1991, Fauconneau *et al* 1993b).

Promoteurs de croissance

De façon générale, l'utilisation de promoteurs de croissance (stéroïdes, β -agonistes, somatotropine) chez les bovins, ovins et porcins semble avoir des effets néfastes, plus ou moins marqués selon les espèces et la nature des molécules mises en œuvre, sur les qualités organoleptiques de la viande, et plus particulièrement sur la tendreté (Ouali *et al* 1988, Bonneau 1992).

3.6 / Maîtrise de la qualité dans la mise en œuvre des procédés industriels

a / Transport, abattage et découpe

Le transfert des animaux de l'élevage à l'abattoir est source d'altération des qualités des viandes. Les stress de toute nature contribuent à diminuer le taux de glycogène musculaire du muscle et par suite à élever le pH de la viande (figure 4). Ce phénomène entraîne des pertes économiques importantes surtout chez les bovins (viandes à coupe sombre, Monin et Royant 1980), mais on l'ob-

Tableau 3. Prévention du durcissement de la viande par la stimulation électrique (d'après Valin 1982). Les carcasses témoins étaient soumises à une réfrigération lente, dans des conditions optimales pour la maturation. Les carcasses stimulées étaient soumises à un refroidissement rapide.

Stimulation électrique	Rapport des notes de tendreté : témoin / stimulé	
	haute tension	basse tension
Muscles :		
<i>Longissimus dorsi</i> (faux-filet)	0,97	0,92
<i>Semi-tendinosus</i> (tranche)	1,03	0,93
<i>Obliquus internus</i> (bavette d'ailon)	0,96	0,92
<i>Semimembranosus</i> (tende de tranche)	1,09	1,03

serve aussi chez les porcs (Fernandez et Tornberg 1991) et les lapins (Ouhayoun et Lebas 1994) où il réduit la durée de conservation à l'état réfrigéré.

Les méthodes d'abattage stressantes ont une grande influence sur la cinétique d'évolution du pH *post-mortem*, avec d'importantes conséquences sur de nombreux critères de qualité des viandes porcines, en particulier sur leur pouvoir de rétention d'eau (Monin 1988). De même, de mauvaises conditions d'abattage affectent potentiellement la qualité de la chair de poisson surtout au niveau de son aspect. Les effets sur les autres caractéristiques organoleptiques sont souvent masqués par une variabilité individuelle importante résultant de la maîtrise encore imparfaite de la zootechnie de certaines espèces piscicoles (Bauvineau 1993, Laroche *et al* 1995).

Pour la viande bovine, la réfrigération rapide, qui permet de satisfaire aux exigences hygiéniques, conduit à l'obtention d'une viande dure (Valin et Lacourt 1974) en raison du phénomène de contracture au froid. Une stimulation électrique des carcasses permet de prévenir les effets de cette contracture (Valin 1982 ; tableau 3). Mais l'application de cette technique dans des conditions de réfrigération lente conduit au contraire à une altération de la tendreté (Ouali et Valin 1984). Dans une mesure moindre que chez les bovins, on peut aussi observer des phénomènes de contracture au froid chez les lapins, sans que cela semble avoir d'effet délétère sur la tendreté (Delmas *et al* 1988, Ouhayoun *et al* 1990).

b / Transformation des viandes et distribution des produits carnés

Dans le domaine de l'emballage, les travaux ont porté sur l'allongement de la durée de conservation grâce à l'utilisation de divers procédés : sous-vide, atmosphère contrôlée... (Renerre 1985, Rousset et Renerre 1991, Renerre et Labadie 1993). Deux aspects principaux doivent être considérés afin d'allonger la conservation de la viande, la microbiologie et la couleur (Renerre 1987). Les années passées ont vu le développement de ces techniques qui sont maintenant couramment utilisées dans la pratique industrielle.

En ce qui concerne la transformation des produits, les efforts se sont concentrés sur le jambon de Paris qui représente une part importante de la valorisation des carcasses de porc. Ces travaux, aujourd'hui réalisés par les instituts techniques, ont été initiés il y a de nombreuses années par l'INRA. Les principaux axes de recherche furent l'étude des rendements, avec en particulier le rôle joué par le pH de la viande, et l'effet du nitrite sur les qualités du produit (Touraille et Goutefongea 1985).

Conclusions et perspectives

Ainsi, nous venons de voir que la prise en compte de la qualité des carcasses et des viandes dans les recherches de l'INRA est très ancienne, aussi bien au niveau de la sélection et de l'élevage des animaux qu'à celui des procédés industriels de transformation de la matière première animale en viande et produits carnés. De nombreux programmes de recherches ont été mis en place dès les premières années qui ont suivi la création de l'INRA. Dans un premier temps, l'effort le plus important a été dirigé vers l'amélioration de la qualité des carcasses. Mais on s'est rapidement attaché à dépasser l'objectif de quantité de viande maigre pour s'intéresser aux qualités intrinsèques des produits carnés. Les travaux de l'INRA ont porté sur la quasi totalité des espèces d'animaux producteurs de viande avec des priorités de recherches différentes selon la hiérarchie d'importance des problèmes qualitatifs rencontrés dans chaque espèce. C'est ainsi, par exemple, que la tendreté a été au centre de nos préoccupations pour la viande bovine, alors que le pouvoir de rétention d'eau, et plus généralement les qualités technologiques, ont été les thèmes centraux des recherches sur la qualité des viandes porcines.

L'effort global de recherches de l'INRA en matière de qualité des viandes est fortement monté en puissance au cours des 15 dernières années (tableau 4). Même si les améliorations de la qualité des carcasses et des viandes mentionnées dans cet article ne sont bien sûr pas imputables aux seuls travaux de notre Institut, il est incontestable que les travaux de recherches conduits en son sein y ont très largement contribué. Dans de très nombreux cas, nos travaux sont réalisés en collaboration avec des agents des diverses filières françaises de production de viandes. En outre, les chercheurs de l'INRA ont fortement participé à la diffusion directe de ces connaissances aussi bien auprès des professionnels français que de la communauté scientifique internationale.

Toutefois, les demandes de la société évoluant sans cesse, les défis qui s'offrent à la recherche changent également ; les études à entreprendre doivent s'adapter à ces évolutions, et même les anticiper, pour préparer l'avenir.

Tableau 4. Activités de recherches de l'INRA consacrées, totalement ou pour partie, à l'amélioration de la qualité des carcasses et des viandes (liste établie à partir de « Compact », base de données des activités de l'INRA).

Titre de l'activité	Chercheur responsable	Laboratoire leader (laboratoires participants)
Analyse économique des qualités et qualifications des produits agro-alimentaires	B. Sylvander	St. Économie et sociologie rurales
Systèmes de production des herbivores	M. Thériez	Lab. Adaptation des herbivores aux milieux (Lab. Croissance et métabolismes des herbivores)
Influence des conditions de production sur les caractéristiques du lait et de la viande	F. Laurent	Lab. associé de Sciences animales
Croissance musculaire et qualité de la viande des bovins	Y. Geay	Lab. Croissance et métabolismes des herbivores (Lab. de la chaire de zootechnie de l'ENESAD) (Lab. Adaptation des herbivores aux milieux)
Croissance musculaire et qualité de la viande des lapins	J. Ouhayoun	St. Recherches cynicoles
Croissance tissulaire et qualité de la viande des porcins	M. Bonneau	St. Recherches porcines
Qualité des produits avicoles	Y. Nys	St. Recherches avicoles
Contrôle de la croissance et de la qualité de la chair chez les poissons	B. Fauconneau	Unité Physiologie des poissons (St. Hydrobiologie)
Amélioration génétique des bovins à viande	F. Ménéssier	St. Génétique quantitative et appliquée
Amélioration génétique des ovins à viande	B. Bibé	St. Amélioration génétique des animaux
Amélioration génétique des porcins	C. Legault	St. Génétique quantitative et appliquée
Amélioration génétique des lapins et des palmipèdes gras	H. De Rochambeau	St. Amélioration génétique des animaux
Amélioration génétique des poissons	E. Quillet	Unité Génétique des poissons (St. Hydrobiologie)
Transfert des xénobiotiques dans la chaîne alimentaire et l'environnement. Métabolisme chez les animaux-cibles (mammifères, oiseaux, poissons). Genèse et dynamique des résidus.	J-P. Cravedi	Lab. Xénobiotiques
Hygiène et sécurité alimentaire. Contaminations microbiennes des matières premières alimentaires d'origine animale. Etude de l'animal domestique (ruminants, volailles) comme source de contaminants (Listeria et Salmonella)	P. Pardon	Unité Pathologie infectieuse et immunologie
Génie de l'hygiène dans les industries alimentaires	O. Cerf	Lab. Génie de l'hygiène et des procédés alimentaires
Technologie et éthique de l'abattage des animaux de boucherie.	G. Monin	St. Recherches sur la viande
Relation anatomie / biochimie / qualité de la viande	E. Laville	Lab. Recherches sur la viande
Action et régulation des protéases tissulaires	A. Ouali	St. Recherches sur la viande
Biochimie de la maturation de la viande : texture et couleur	M. Ferrara	St. Recherches sur la viande
Rhéologie, structure et texture des produits alimentaires	J. Culioli	St. Recherches sur la viande
Dynamique de l'eau dans les aliments	J-P. Renou	St. Recherches sur la viande
Analyse immuno-chimique de la structure des protéines et contrôle de la qualité des produits agro-alimentaires	D. Levieux	St. de Recherches sur la viande
Interactions protéines / protéines, ligand aux interfaces	T. Haertle	Lab. Etude des interactions des molécules alimentaires (St. Recherches sur la viande)
Etude des lipides des ovoproduits et des produits laitiers et carnés. Relation avec la saveur.	G. Gandemer	Lab. Etude des interactions des molécules alimentaires
Saveur des produits d'origine animale	J-L. Berdagué	St. Recherches sur la viande
Analyse sensorielle et acceptabilité des aliments	C. Touraille	St. Recherches sur la viande (Lab. Etude des interactions des molécules alimentaires)
Perception buccale de la texture des aliments	L. Mioche	St. Recherches sur la viande
Génie des procédés : capteurs et automatisme	P. Salé	St. Recherches sur la viande
Génie des procédés : transfert de chaleur et de matière. Aérodynamique	J-D. Daudin	St. Recherches sur la viande
Bactéries lactiques des viandes et produits carnés	M. Zagorec	Lab. Recherches sur la viande
Physiologie de la croissance microbienne à basse température	J-C. Labadie	St. Recherches sur la viande
Les flores de maturation des produits carnés	M-C. Montel	St. Recherches sur la viande
Modélisation des phénomènes déterminant la qualité des produits carnés	A. Lebert	St. Recherches sur la viande

D'une façon générale, les recherches sur la qualité des carcasses deviennent de moins en moins prioritaires par rapport à celles relatives à l'amélioration de la qualité des viandes. En effet les progrès accomplis à ce jour ont abouti, dans l'ensemble, à une amélioration considérable de la conformation et de l'adiposité des carcasses. C'est ainsi que les utilisateurs de viandes porcines considèrent que l'on est arrivé maintenant à un niveau de teneur en muscle qu'il ne faut pas dépasser, compte tenu des besoins en tissus gras de bonne qualité pour la fabrication de produits de charcuterie-salaison. Néanmoins, la limitation de l'adiposité chez les bovins, les ovins et les volailles reste une préoccupation majeure car l'amélioration des performances de croissance, par voie génétique ou alimentaire, favorise souvent le dépôt des tissus gras.

Au niveau des procédés industriels, il reste beaucoup à faire en matière d'automatisation de la mesure de la conformation et de l'adiposité pour les carcasses de bovins et d'ovins, le but étant d'arriver à un classement fiable et entièrement objectif, à l'instar de ce qui existe pour les carcasses de porc. Par ailleurs, les industriels de la transformation sont fortement demandeurs de méthodes « en-ligne » pour évaluer la composition des pièces de découpe.

Les recherches sur les qualités des viandes et leur déterminisme se sont intensifiées. Au-delà de la résolution des problèmes posés par les défauts majeurs, il convient de viser une réelle amélioration de la qualité des viandes et produits carnés.

L'expérience montre que les marchés sont très sensibles à tout ce qui concerne la qualité hygiénique. Les recherches sur l'écotoxicologie des polluants et résidus doivent être soutenues. Pour les agents microbiens, nos efforts portent sur les modes de contamination et sur l'analyse des mécanismes moléculaires, cellulaires et tissulaires de leur survie chez l'animal, dans l'environnement et dans les viandes et produits carnés. La connaissance de ces mécanismes a déjà permis d'améliorer la détection des contaminants et de favoriser leur inactivation, soit par l'asepsie, soit par l'implantation ou la modification de flores de barrière appropriées.

Pour ce qui concerne l'amélioration des qualités organoleptiques et technologiques des viandes, on ne se préoccupe pas seulement du niveau moyen de qualité mais on cherche aussi à maîtriser la variabilité des caractéristiques qualitatives des produits. Au niveau de la production, des programmes sont en cours qui visent à mieux connaître la nature et l'importance des relations entre les différents critères de qualité des viandes et les caractéristiques du muscle et du gras. Nous nous attachons en outre à mieux comprendre les mécanismes de différenciation et de développement des tissus musculaires et adipeux qui conduisent à des caractéristiques

favorables en termes de qualité. Les connaissances ainsi acquises permettent et permettront de mieux raisonner l'amélioration de la qualité des produits carnés par les voies de la génétique, de l'alimentation et des modes d'élevage.

La tendance au plafonnement, voire à la réduction, de la consommation de viande dans la plupart des pays d'Europe constitue un réel défi pour les filières viandes qui devront encore accentuer les efforts consacrés à l'amélioration de la qualité (au sens large) des produits carnés offerts à la consommation.

Une bonne prise en compte de la qualité de la viande passera obligatoirement par une meilleure compréhension des besoins et des souhaits des consommateurs. Pour cela il sera indispensable de développer les études portant sur le comportement des consommateurs vis-à-vis des aliments.

Pour ce qui concerne la satisfaction des besoins de tous les jours, il faudra s'attacher à améliorer l'homogénéité des caractéristiques qualitatives des viandes de façon à pouvoir offrir des produits carnés de qualité standard, homogène et prévisible. Il faudra par ailleurs développer des produits nouveaux, plus faciles d'emploi, qui correspondent mieux aux modes de vie actuels.

La production de viandes et produits carnés « de qualité supérieure » correspond à la montée en puissance de besoins socio-économiques nouveaux, qu'il s'agisse de la nécessaire gestion des espaces ruraux, pour lesquels il faut trouver des formes de production viables dans les régions défavorisées, ou qu'il s'agisse de satisfaire aux besoins croissants des consommateurs pour des produits « festifs ». Il y a place pour des produits haut de gamme pour autant qu'ils ne déçoivent jamais le consommateur et donc qu'ils présentent des caractéristiques qualitatives objectivement différentes de celles de la production standard. La recherche doit d'attacher à faciliter l'identification des produits « de qualité » et à définir les conditions de production des animaux et de transformation des viandes et produits qui permettront d'atteindre un niveau de qualité supérieur.

Que ce soit au niveau des conditions d'élevage, de transport ou d'abattage, les consommateurs exigent de plus en plus que les animaux soient traités dans des conditions leur assurant un maximum de bien-être. Par ailleurs ils sont préoccupés par la pollution engendrée par l'élevage intensif. L'amélioration de l'image de la viande en général est une nécessité vitale au développement des filières viandes.

Ainsi, au fur et à mesure que le niveau de vie s'améliore, les consommateurs intègrent dans leur demande des critères de plus en plus nombreux et globaux, ce qui contribue à rendre la notion de qualité de plus en plus complexe et multiforme. La recherche sur la qualité des viandes et produits carnés se doit

donc de développer davantage les approches multidisciplinaires, prenant en compte l'ensemble des niveaux des filières viandes, depuis la sélection et l'élevage des animaux jusqu'à la transformation et la distribution des produits.

Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leur reconnaissance à O. Cerf, Y. Geay, F. Grosclaude, G. Monin, G. Renand, J. Robelin, P. Sellier et C. Valin, dont les remarques et suggestions ont grandement contribué à la rédaction de cet article.

Références bibliographiques

La liste des références est limitée à quelques articles de synthèse. La liste complète est disponible sur demande auprès du premier auteur.

Aurousseau B., 1986. Influence de l'alimentation et des facteurs d'élevage sur l'état d'engraissement et la qualité des carcasses chez les ovins. 11èmes Journées Rech. Ovines et Caprines, 1-16.

Bellon-Fontaine M.-N., Cerf O., 1988. Nettoyage et désinfection dans les industries alimentaires. Vol. 40, Actualités scientifiques et techniques en industries agro-alimentaires. Massy : CDIUPA. 109 p.

Boccard R., 1981. Facts and reflections on muscular hypertrophy in cattle : double muscling or culard. In : Develop. Meat. Sci., 2, 1-28.

Bonneau M., 1988. Intérêt et limites de la production de viandes de porc mâle entier. INRA Prod. Anim., 1, 133-140.

Bonneau M., 1992. Administration de GRF ou de somatotropine chez le porc et les volailles : effets sur les performances, la qualité des viandes et la fonction de reproduction. INRA Prod. Anim., 5, 257-267.

Burgat-Sacaze V., Rico A., Panisset C., 1986. Toxicological significance of bound residues. In : A. Rico (ed), Drug residues in animals, 2-28. Academic Press.

Cañon J., Gruand J., Gutiérrez J.P., Ollivier L., 1992. Expérience de sélection sur la croissance du tissu maigre chez le porc, avec des pères répétés : évolution génétique des caractères soumis à la sélection. Genet. Sel. Evol., 24, 449-462.

Cerf O., Carpentier B., 1996. L'hygiène dans les bioindustries. In : M.-N. Bellon-Fontaine et J. Fourniat (eds), Adhésion des micro-organismes aux surfaces. Biofilms-nettoyage-désinfection. Lavoisier Tec&Doc, Paris.

Charpentier J., 1966a. Pigmentation musculaire du veau de boucherie. I. Facteurs de variation. Ann. Zootech., 15, 181-196.

Choubert G., 1992. La pigmentation des salmonidés : Dynamique et facteurs de variation. INRA Prod. Anim., 5, 235-246.

Desmoulin B., Girard J.P., Bonneau M., Frouin A., 1983. Aptitudes à l'emploi des viandes porcines suivant le type sexuel, le système d'alimentation et le poids d'abattage. Journées Rech. Porcine en France, 15, 177-192.

Desmoulin, 1986. Qualité des carcasses. In : J.M. Perez, P. Mornet et A. Rérat (eds), Le porc et son élevage. Bases scientifiques et techniques, 431-460. Maloine, Paris.

Ducluzeau R., Raibaud P., 1979. Ecologie microbienne du tube digestif. INRA et Masson (Eds), Paris, 96 pages.

Dumont B.L., 1952. La tendreté de la viande. Ann. Zootech., 1, 71-95.

Dumont B.L., 1958. Méthodes indirectes de mesure de la graisse corporelle des mammifères. Cahiers techniques du CNERNA, II, 1-158.

Fauconneau B., Maisse G., 1991. L'abattage des salmonidés d'élevage et la qualité. Aqua Revue, 35, 23-24.

Fauconneau B., Chmaitilly J., André S., Cardinal M., Cornet J., Vallet J.L., Dumont J.P., Laroche M., 1993b. Caractéristiques de la chair de la truite arc-en-ciel. 2. Composantes physiques et sensorielles. Sci. Alim., 13, 189-199.

Fauconneau B., Bonnet S., Douirin C., Guilbert C. de, Lefèvre F., Laroche MN, Bauvineau C., 1994. Assessment of muscle biochemical and histochemical criteria for flesh quality in salmonids. In : Kestermont P., Muir J. Sevilla F., Williot P. (eds), Measures for success, 225-238. CEMAGREF Edition, Paris.

Fauconneau B., Bonnet S., David K., Faure A., Laroche M., 1996. Post-mortem changes in rigor and muscle contraction in brown trout reared in sea water. In : F. Billiard, B. Fauconneau, A. Ducastaing et L. Han-Ching (eds), Cold and aquaculture. Int. Inst. Freezing, Paris (in press).

Faure A., 1991. Effet des techniques d'élevage sur les caractéristiques du produit et l'aptitude de la truite arc-en-ciel à la transformation. Pisc. Fr., 86, 44-47.

Faure J.M., Mills A., 1995. Bien-être et comportement chez les oiseaux domestiques. INRA Prod. Anim., 8, 57-67.

Fernandez X., Tornberg E., 1991. A review of the causes of variation in muscle glycogen content and ultimate pH in pigs. Journal of Muscle Foods, 2, 209-235.

Geay Y., Renand G., 1994. Importance de la variabilité génétique et du mode d'élevage des bovins sur les caractéristiques musculaires et les qualités organoleptiques de leurs viandes. 1ères Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 177-182. INRA-Institut de l'élevage, Paris.

Geay Y., Renand G., Robelin J., Valin C., 1991. Possibilités d'améliorer la productivité et la qualité des produits de la filière viande bovine. INRA Prod. Anim., 4, 41-48.

- Girard J.P., Bout J., Salort D., 1988. Lipides et qualités des tissus adipeux et musculaires du porc, facteurs de variation. 1. Lipides et qualité du tissu adipeux. *Journées Rech. Porcine en France*, 20, 255-270.
- Goutefongea R., 1963. Les viandes exsudatives. *Ann. Zootech.*, 12, 297-357.
- Grasshof A., Cerf O., 1989. Hygienic design and operation in the food industry. In : W. Spiess & H. Schubert (eds), *Engineering and Food*, 11-20. Elsevier Applied Science.
- Henry Y., 1977. Développement morphologique et métabolique du tissu adipeux chez le porc : influence de la sélection, de l'alimentation et du mode d'élevage. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 17, 923-952.
- Kaushik S.J., Choubert G., Corraze G., Fauconneau B., 1991. Etat des connaissances sur les facteurs de qualité des poissons d'élevage. Rôle des composés liposolubles. In : *Qualité des Produits Carnés*. Edition Roche, 113 pp.
- Lauvergne J.J., Vissac B., Perramon A., 1963. Etude du caractère culard. I. Mise au point bibliographique. *Ann. Zootech.*, 12, 133-156.
- Lebas F., Coudert P., Rouvier R., de Rochambeau H., 1984. *Le lapin : Elevage et Pathologie*. FAO éditeur, Rome, 298 pp.
- Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., Bonneau M., 1996. Influence des facteurs d'élevage sur la qualité de la viande de porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 137-156.
- Leclercq B., 1989. Possibilités d'obtention et intérêt des génotypes maigres en aviculture. *INRA Prod. Anim.*, 2, 275-286.
- Lefaucheur L., 1989. Les différents types de fibres musculaires chez le porc. Conséquences sur la production de viande. *INRA Prod. Anim.*, 2, 205-213.
- Ménissier F., 1982. General survey of the effect of double muscling on cattle performance. In : JWB King et F. Ménissier (eds), *Muscle hypertrophy of genetic origin and its use to improve beef production*, 23-53. Nijhoff, The Hague, NL.
- Milhaud G., Kolf-Claw M., 1994. Contamination de la viande, des abats, et du lait par les pesticides et les polychlorobiphényles. *Le Point Vétérinaire*, 26, 963-968.
- Monin G., 1988. Evolution post-mortem du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 20, 201-214.
- Monin G., 1991. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Prod. Anim.*, 4, 151-160.
- Monin G., Ouali A., 1991. Muscle differentiation and meat quality. *Dev. Meat Sci.*, 5, 89-157.
- Ouali A. Zabari M., Renou J.P., Touraille C., Kopp J., Bonnet M., Valin C., 1988. Anabolic agents in beef production : effects on muscle traits and meat quality. *Meat Sci.*, 24, 151-161.
- Ouali A., 1990a. Meat tenderization : Possible causes and mechanisms. A review. *J. Muscle Foods*, 1, 129-165.
- Ouhayoun J., 1989. La composition corporelle du lapin : facteurs de variation. *INRA Prod. Anim.*, 2, 215-226.
- Pardon P., Cerf O., Lahellec C., 1994. Salmonella, Listeria and food hygiene. Scientific report of a collaborative research program (1991-1993). *Vet. Res.*, 25, 410-422.
- Prache S., Aurousseau B., Theriez M., Renerre M., 1990. Les défauts de couleur du tissu adipeux sous-cutané des carcasses d'ovins. *INRA Prod. Anim.*, 3, 275-285.
- Renerre M., 1981. La couleur de la viande et sa mesure. *Viandes et Produits Carnés*, 2, 10-15.
- Renou Y., 1962. Les qualités organoleptiques des viandes. *Ann. Nut. Alim.*, 16, 1-58.
- Renou J.P., 1995. NMR Studies in Meat. *Annual Reports on NMR Spectroscopy*, 31, 313-344.
- Richard-Molard D., Bizot H., Multon J.L., 1982. Activité de l'eau, facteur essentiel de l'évolution microbiologique des aliments. *Sci. Alim., hors-série II*, 3-17.
- Robelin J., 1990. Différenciation, croissance et caractéristiques des carcasses et des viandes. In : R.G. Guillermet et Y. Geay (eds), *Croissance des bovins et qualité de la viande*, 31-42. ENSAR publ., Rennes.
- Rouvier R., 1970. Variabilité génétique du rendement à l'abattage et de la composition anatomique de lapins de trois races. *Ann. Génét. Sélect. anim.*, 2, 325-346.
- Sellier P., 1988. Aspects génétiques des qualités technologiques et organoleptiques de la viande chez le porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 20, 227-242.
- Sellier P., 1996. Aspects génétiques du contrôle de la croissance chez le porc. In : *La croissance : os, muscle, articulations. Etude physiopathologique, bases de la prophylaxie*, 75-90. *Journées de l'Association Française de Médecine Vétérinaire Porcine*, Paris, 27-28 Février.
- Sellier P., Monin G., 1994. Genetics of pig meat quality. *J. Muscle Foods*, 5, 187-219.
- Sellier P., Bouix J., Renand G., Molénat M., 1992. Les aptitudes bouchères : croissance, efficacité et qualité de la carcasse. *INRA Prod. Anim., hors série « Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales »*, 147-159.
- Touraille C., 1979. La dégustation : Une méthode d'évaluation de qualités organoleptiques de la viande. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 38, 47-55.
- Valin C., Lacourt A., 1974. Action du froid sur les tissus musculaires des animaux abattus. *Rev. Gén. Froid.*, 10, 1053-1065.