1996. Journées Rech. Porcine en France, **28**, 137-156.

Influence des facteurs d'élevage sur la qualité de la viande de porc

Bénédicte LEBRET, L. LEFAUCHEUR, J. MOUROT, M. BONNEAU

Institut National de la Recherche Agronomique
Station de Recherches Porcines, 35590 Saint-Gilles

Influence des facteurs d'élevage sur la qualité de la viande de porc.

La sélection des animaux et la maîtrise des conditions d'élevage ont permis d'améliorer la vitesse de croissance, l'efficacité alimentaire et la composition corporelle des animaux vers le dépôt de muscle au détriment du gras. La qualité, qui a souvent été négligée au profit de la productivité, est devenue l'un des défis majeurs auxquels doit répondre la filière porcine. Dans un contexte de limitation de l'usage des additifs pour pallier aux défauts de qualité au niveau de la transformation, la qualité finale d'une viande dépend de plus en plus de la qualité de la matière première. L'objectif de la présente revue est de faire le point des connaissances concernant l'influence des facteurs d'élevage sur les propriétés chimiques et structurelles des tissus adipeux et musculaires et les qualités technologiques, organoleptiques, hygiéniques et nutritionnelles des produits. Après une présentation des caractéristiques biologiques des tissus et leur liaison avec la qualité, nous décrivons l'influence de divers facteurs d'élevage sur ces phénomènes. Les données bibliographiques montrent que l'âge et le poids à l'abattage, le niveau et nature de la ration alimentaire, certains additifs alimentaires, le type sexuel, des traitements hormonaux, la température d'élevage et l'exercice physique peuvent agir sur les caractéristiques des tissus adipeux et musculaires. Cependant, alors que les bases scientifiques des variation de composition des tissus adipeux et leurs conséquences sur la qualité de la viande sont bien établies, beaucoup de connaissances restent à acquérir concernant l'influence des conditions d'élevage sur les caractéristiques du tissu musculaire et la qualité de la fraction maigre de la viande.

Effects of rearing factors on pig meat quality

Selection and control of production systems have greatly improved growth rate, food efficiency and body composition towards an increase in muscle mass to the detriment of adipose tissue. Meat quality has often been disregarded for the benefit of productivity, and its improvement is one of the main challenges pig industry will have to face in the close future. Because of the increasing consumer concerns over the use of additives to improve meat quality at the processor, the quality of the final product will increasingly rely on the quality of the raw meat. The aim of the present review is to update actual knowledge about the influence of rearing factors on chemical and structural properties of adipose and muscular tisues and technological, sensory, hygienic and nutritive qualities. After a presentation of the tissular biological characteristics and their link with quality, we focus on describing the effects of different rearing factors on these phenomenons. Data from the literature show that age and body weight at slaughter, feeding level and food composition, some feed additives, hormones, environmental temperature and exercise can influence characteristics of adipose and muscular tissues. However, if scientific bases of the variation of adipose tissue composition and their consequences on meat quality are well established, major knowledge about influence of rearing factors on muscular tissue characteristics and lean meat quality is still required.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'évolution de la production porcine vers des systèmes de plus en plus intensifs a permis d'accroître la productivité et de réduire le prix de la viande de porc pour le consommateur. Cette progression s'est effectuée en orientant la sélection et les conditions d'élevage vers la maximisation de la vitesse de croissance, de l'efficacité alimentaire et la réduction de l'adiposité des carcasses au profit des dépôts musculaires. La teneur en tissu adipeux d'un porc charcutier de 100 kg de poids vif s'élevait à 35-45% en 1972 (HENRY, 1977), alors qu'elle se situe actuellement autour de 20%. Toutefois, cette évolution ne s'est pas réalisée sans qu'apparaissent des problèmes de qualité, tant au niveau des tissus adipeux que musculaires. Avec le souhait croissant des consommateurs de limiter l'usage des aditifs pour corriger une partie des défauts de qualité au niveau de la transformation, la qualité finale d'une viande dépendra de plus en plus de la qualité de la matière première, elle même sous la dépendance de facteurs génétiques et d'élevage. Notre objectif de travail étant d'améliorer la qualité en jouant sur les facteurs d'élevage, le but de cet article est de faire le point des connaissances concernant l'influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques biologiques tissulaires et les qualités technologiques, organoleptiques, hygiéniques et nutritionnelles des viandes porcines. La présente revue comporte deux parties, l'une consacrée au tissu adipeux, l'autre au tissu musculaire.

I. Le tissu adipeux

INTRODUCTION

Les défauts de qualité des tissus adipeux, consécutifs à la diminution de l'adiposité des carcasses obtenue par la sélection génétique des porcs, posent de réels problèmes aux industriels de la transformation et aux consommateurs : manque de fermeté des tissus, mauvaise aptitude à la conservation des produits carnés... Or, la qualité des tissus adipeux ne peut être améliorée par les technologies de transformation, et dépend donc directement des caractéristiques de l'animal à l'abattage. Par conséquent, il est absolument nécessaire de tenir compte, en production porcine, des facteurs d'élevage ayant une influence sur la qualité ultérieure de la fraction adipeuse de la viande. Cette première partie présente les caractéristiques des tissus adipeux et leurs relations avec la qualité des viandes, puis les facteurs d'élevage intervenant sur la qualité de ces tissus. Nous entendons ici par tissu adipeux les tissus anatomiquement séparables, les tissus adipeux inter et intramusculaires étant traités dans la partie II (tissu musculaire).

1. CARACTÉRISTIQUES DES TISSUS ADIPEUX

1.1. Rôle et localisation anatomiques du tissu adipeux

Le tissu adipeux constitue le principal organe de stockage d'énergie permettant d'assurer un équilibre entre les besoins de l'animal et les apports alimentaires. Chez le porc, ce tissu se développe dans différents sites anatomiques : des couches les plus externes (dépôts sous-cutanés : bardière, mouille, gorge, poitrine) jusqu'aux organes les plus profonds (gras périrénal ou panne, mésentère) (GIRARD et al., 1988). Le tissu adipeux se développe également au sein des muscles, où l'on distingue le gras intermusculaire du gras intramusculaire.

1.2. Structure du tissu adipeux

Le tissu adipeux est constitué de cellules spécialisées, les adipocytes, répartis au sein d'une trame de tissu conjonctif. Ce tissu est vascularisé, et innervé par le système parasympathique. L'adipocyte, de forme ovoïde, mesure environ 10µm de diamètre lorsqu'il commence à stocker des lipides dans ses vacuoles. A l'état mature, la cellule adipeuse contient une énorme vacuole lipidique, repoussant à la périphérie le noyau et les éléments cytoplasmiques. Le diamètre de l'adipocyte atteint alors environ 150µm, toutefois cette valeur varie en fonction de la localisation anatomique (ANDERSON et al., 1972).

1.3. Composition chimique du tissu adipeux

Le tissu adipeux est constitué de lipides, de protéines (en particulier les protéines formant la trame collagénique) et d'eau en proportions variables selon différents facteurs (voir III). Les triglycérides représentent plus de 98% de la fraction lipidique, à côté de composés mineurs saponifiables ou non (GIRARD et al., 1988). Les acides gras constitutifs des triglycérides ont deux origines différentes : les acides gras circulants captés par les adipocytes, et les acides gras synthétisés par les adipocytes (lipogenèse de novo). Chez le porc, le tissu adipeux est en effet le site majeur de la lipogenèse (HENRY, 1977). Les acides gras circulants proviennent soit de l'alimentation (origine exogène), soit d'une synthèse de l'organisme (origine endogène).
La composition en acides gras des triglycérides varie en fonction de l'importance des dépôts adipeux dans la carcasse, qui résulte elle même de l'effet d'une multitude de facteurs (voir III). Une propriété importante des acides gras est leur point de fusion. Celui-ci est d'autant plus bas que le nombre de doubles liaisons est élevé, mais augmente avec la longueur de chaîne. La nature des acides gras constitutifs des triglycérides influence donc la consistance des tissus adipeux.

1.4. Variation de la composition chimique du tissu adipeux en fonction de la localisation anatomique

1.4.1. Composition en constituants essentiels

La différence de composition en constituants essentiels du tissu adipeux en fonction de la localisation anatomique est bien connue. Le tissu adipeux sous-cutané dorsal est moins riche en lipides, et plus riche en eau et en protéines que le tissu adipeux périrénal (WOOD, 1973; GIRARD et al., 1988; GANDEMER et al., 1989) (tableau 1a). Le gras de mouille présente des teneurs en lipides et en protéines relativement proches de celles de la bardière, mais une teneur en eau plus élevée. Une différence de composition chimique se retrouve au sein même de la bardière, la couche externe contenant plus d'eau et moins de lipides que la couche interne (GIRARD et al., 1988; KIES et al., 1991). CAMARA et al. (1994) ont montré que les deux couches de la bardière présentent des métabolismes lipidiques différents, et peuvent ainsi être considérées comme deux tissus adipeux différents.

Tableau 1a - Composition chimique du tissu adipeux en fonction de la localisation anatomique

Composition (%)	**Bardière externe**	**Bardière interne**	**Panne**	**Gras de mouille**
Lipides	82,0	83,5	88,8	80,1
Eau	10,9	9,9	7,5	13,0
Protéines	7,1	6,6	3,7	6,9

D'après GIRARD et al., 1988.

Globalement, la quantité de lipides contenue dans les tissus adipeux augmente des couches externes vers les tissus internes de l'animal.

1.4.2. Composition en acides gras

La composition en acides gras des lipides varie amplement en fonction de la localisation anatomique (WOOD et al., 1986; GIRARD et al., 1988). La panne est beaucoup plus riche en acides gras saturés que la bardière, respectivement 42% et 52%. Corrélativement, les teneurs en acides gras monoinsaturés particulièrement, et en acides gras polyinsaturés à un degré moindre, sont plus faibles dans le tissu adipeux périrénal (tableau 1b) (GIRARD et al., 1988). La composition en acides gras du gras de mouille est globalement intermédiaire à celle de la bardière et de la panne (GIRARD et al., 1988). Les deux couches de la bardière présentent également des différences de composition en acides gras. La couche interne est légèrement plus saturée que la couche externe, qui contient plus d'acides gras monoinsaturés et polyinsaturés (WOOD, 1973; GIRARD et al., 1988; CAMARA et al., 1994).

Ainsi, les acides gras insaturés sont localisés préférentiellement dans le tissu adipeux sous-cutané dorsal, et les acides gras saturés d'origine endogène dans les tissus adipeux internes (HENRY, 1977).

Tableau 1b - Composition en acides gras des lipides en fonctio de la localisation anatomique

Composition (%)	**Bardière externe**	**Bardière interne**	**Panne**	**Gras de mouille**
AG saturés	41,4	43,1	52,5	45,7
AG monoinsaturés	47,9	46,9	40,2	45,9
AG polyinsaturés	10,7	10,0	7,3	8,4

D'après GIRARD et al., 1988.

1.5. Variation de la composition chimique du tissu adipeux en fonction de l'adiposité de la carcasse

1.5.1. Composition en constituants essentiels

Le niveau d'adiposité de la carcasse influence la composition du tissu adipeux : GIRARD et al. (1988) ont montré qu'il existe une corrélation négative entre l'adiposité de la carcasse et la teneur en eau et matières volatiles de la bardière, comprise entre -0.55 et -0.70 en fonction de la nature des régimes alimentaires. WOOD et ENSER (1982) avaient mis en évidence une relation positive entre le taux de muscle des carcasses et la teneur en eau du tissu adipeux, et une relation négative entre le taux de muscle et la teneur en lipides des tissus adipeux.
Les facteurs affectant l'adiposité de la carcasse ont donc un effet sur la composition du tissu adipeux, et en conséquence sur leur qualité.

1.5.2. Composition en acides gras

La composition en acides gras des lipides, et en particulier leur degré d'insaturation varie également en fonction de l'adiposité. Ceci résulte de la dilution plus ou moins importante des acides gras polyinsaturés (d'origine strictement alimentaire) au sein d'une masse de lipides d'origine endogè-

ne ou exogène. Toutes choses égales par ailleurs, le degré d'insaturation des lipides est donc plus faible chez les animaux gras que chez les porcs maigres.

2. LA QUALITÉ DU TISSU ADIPEUX

La qualité d'un produit peut être définie comme sa capacité à répondre aux besoins (exprimés ou implicites) de ses utilisateurs.
Nous développerons ici essentiellement les aspects qualité technologique et qualité organoleptique des tissus adipeux, qui correspondent à notre domaine d'activité, et nous aborderons les aspects de qualité nutritionnelle.

2.1. Qualité technologique

Les principales composantes de la qualité technologique des tissus adipeux sont leur aptitude à la transformation et à la conservation, c'est à dire leur consistance et leur faible sensibilité à l'oxydation.

2.1.1. Aptitudes à la transformation

La fermeté d'un tissu adipeux est fonction de sa teneur en lipides et en eau, de l'importance de l'armature collagénique de soutien, ainsi que de la nature des acides gras constitutifs des triglycérides.
Une faible teneur en lipides, et corrélativement une teneur élevée en eau, entraînent un manque de consistance du tissu adipeux (GIRARD et al., 1988; PELLOIS et RUNAVOT, 1991; GONTIER, 1995). Une assise protéique importante assure une certaine fermeté au tissu adipeux à température ambiante, et s'oppose à l'écoulement des lipides lors d'une élévation de température. Sous l'effet de la chaleur le collagène se contracte puis se gélatinise, emprisonnant les lipides dans un réseau (GIRARD et al., 1988).
La nature des acides gras constitutifs des tissus adipeux joue un grand rôle dans la détermination de leur consistance, le point de fusion des acides gras étant fonction de leur degré d'insaturation. Selon WOOD (1984), les acides gras en C16 et C18, qui représentent plus de 90% des acides gras des tissus adipeux chez le porc, ont l'effet le plus marqué sur le point de fusion des lipides, donc sur la consistance des tissus gras. ENSER (1983) a déterminé que les teneurs en acides stéarique (C18:0) et linoléique (C18:2) sont corrélées respectivement de façon positive (+0.928) et négative (-0.726) avec la fermeté des tissus.
Ainsi la panne, pauvre en armature collagénique de soutien et riche en acides gras saturés, est un tissu ferme à température ambiante, et mou voire fondant lorsque la température s'élève (GIRARD et al., 1988). La bardière, plus riche en assise collagénique, est un tissu ferme à température ambiante si la proportion d'acides gras saturés est suffisante, mais devient un "gras mou" quand la proportion d'acides gras insaturés augmente.
Outre la teneur en eau et en assise protéique, la consistance des tissus adipeux est donc directement fonction de leur constitution en acides gras, caractéristique très variable sous l'effet de différents facteurs d'élevage.

2.1.2. Aptitudes à la conservation

Les problèmes de conservation des tissus adipeux sont dus à la forte teneur en eau, et au degré d'insaturation élevé des tissus lié à une quasi absence d'agents antioxydants. A l'état congelé, l'activité de l'eau est suffisamment élevée pour permettre les réactions d'hydrolyse et d'oxydation des acides gras insaturés (GIRARD et al., 1988). L'ampleur des réactions d'oxydation est fonction de la quantité d'acides gras polyinsaturés dans les tissus (MOUROT et al., 1991). La nature des acides gras constitutifs des lipides détermine donc la durée de conservation des tissus adipeux.

2.1.3. Critères de qualité technologique des tissus adipeux

Afin d'éviter les défauts de qualité technologique des tissus adipeux, liés essentiellement à leur constitution en acides gras, certains auteurs ont défini une teneur limite en acide linoléique au delà de laquelle le tissu est caractérisé par un manque de consistance. Cette valeur se situe entre 12 et 15 % selon ENSER (1983), HOUBEN et KROLL (1983). La limite de 15% fixée par WOOD (1984), vérifiée expérimentalement, s'est révélée suffisante (GIRARD et al., 1988; CAMOES et al., 1995).Ceci se traduit par une limite de 1.5% d'acide linoléique dans la ration. De même GIRARD et al. (1988) recommandent un taux d'acide stéarique supérieur à 12%, pour préserver la qualité technologique des tissus adipeux.

2.2. Qualité organoleptique

Les tissus adipeux interviennent dans la qualité organoleptique des produits transformés, au niveau de la couleur, la flaveur, et la texture.
La couleur des tissus adipeux, blanche légèrement rosée, est fonction de la teneur en acides gras saturés, une augmentation du degré d'insaturation des lipides donnant une couleur grisâtre aux tissus (GIRARD et al., 1988). Ce phénomène se rencontre en particulier chez le jeune animal, dont les tissus adipeux sont relativement insaturés (WOOD et al., 1986). L'apparition d'une couleur orangée, visible par exemple au niveau du gras de couverture de jambons secs, est la conséquence de réactions d'oxydation des acides gras polyinsaturés.
Les tissus adipeux sont responsables de la flaveur des produits carnés. Ces qualités peuvent être altérées par deux phénomènes :

- d'une part l'oxydation des acides gras insaturés présents dans les tissus. L'apparition de composés peroxydés, d'odeur et de flaveur désagréable (rance) est fonction du taux d'acides insaturés des lipides, et de la durée de conservation des produits.
- d'autre part, la présence de composés malodorants dans la fraction insaponifiable des lipides. Ces composés peuvent être d'origine exogène, par exemple les huiles ou farines de poisson utilisés en alimentation animale (GIRARD et al., 1988). Les composés malodorants d'origine endogène se trouvent dans les tissus adipeux de porcs mâles non castrés. L'androsténone (stéroïde d'origine testiculaire) (PATTERSON, 1968) et le scatol (produit de la

dégradation du tryptophane) (VOLD, 1970) ont été identifiés comme agents responsables des défauts d'odeur importants (odeurs sexuelles) pouvant apparaître lors de la cuisson ou de la dégustation (BONNEAU et DESMOULIN, 1982).

La texture des tissus adipeux est essentiellement liée à leur consistance, caractéristique dépendant principalement de la composition en acides gras des lipides (voir §3 ci-dessous).

La qualité organoleptique des tissus adipeux, comme la qualité technologique, est principalement liée à la composition en acides gras, notamment au taux d'acides gras polyinsaturés par rapport aux acides gras saturés des lipides.

2.3. Qualité nutritionnelle

La qualité nutritionnelle du tissu adipeux correspond à sa capacité à apporter à l'homme les acides gras essentiels, indispensable dans l'alimentation car l'organisme ne peut les synthétiser. Ces molécules sont des acides gras polyinsaturés à longue chaîne : acide linoléique (C18:2), acide linolénique (C18:3) et acide arachidonique (C20:4), qui participe entre autres fonctions à la synthèse des prostaglandines. Cependant, les acides gras polyinsaturés peuvent subir une détérioration lors de la cuisson. Le tissu adipeux ne peut donc constituer une source préférentielle d'acides gras polyinsaturés.

2.4. Conclusion sur la qualité des tissus adipeux

La qualité technologique et organoleptique des tissus adipeux du porc, liée essentiellement à la teneur en acides gras saturés des lipides, s'oppose donc à la qualité nutritionnelle de ces tissus, évaluée par leur teneur en acides gras polyinsaturés. Par conséquent, la qualité des tissus adipeux doit être définie en fonction des utilisateurs de ces produits, technologues ou nutritionnistes.

3. INFLUENCE DE DIVERS FACTEURS D'ÉLEVAGE SUR LES CARACTÉRISTIQUES ET LA QUALITÉ DU TISSU ADIPEUX

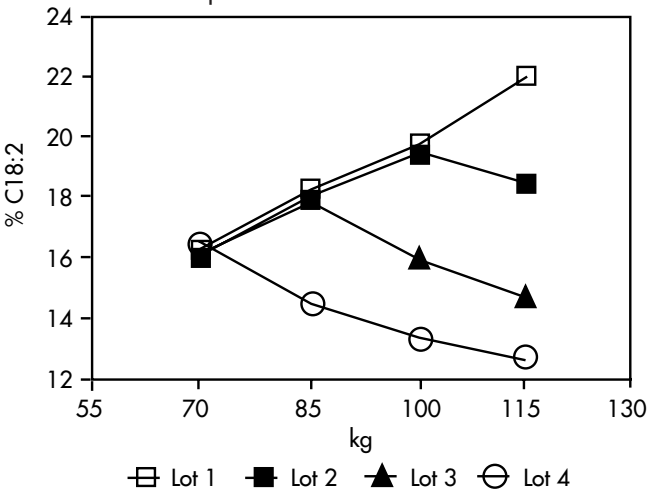
3.1. Influence de l'alimentation

Traditionnellement, le porc est rationné pour limiter l'adiposité de la carcasse. Un plan d'alimentation doit tenir compte des différences d'aptitudes au rationnement entre les sexes (DESMOULIN, 1969). Chez le castrat, la restriction alimentaire doit être importante pour permettre une réduction significative de l'adiposité (HENRY, 1977; SEEWER et al., 1994). Toutefois les races porcines à taux de muscle élevé produisant des carcasses à faible état d'engraissement, peuvent être alimentées à volonté (HENRY, 1977).

Une réduction du niveau d'alimentation pendant l'engraissement entraîne une diminution du poids de la bardière et de la panne proportionnelle à l'ingéré moyen journalier (SEEWER et al., 1994). Une augmentation de la teneur en protéines du régime avec maintien du niveau d'énergie, réduit l'état d'engraissement à l'abattage (COOKE et al., 1972). La composition chimique du tissu adipeux est également affectée : la teneur en eau augmente, et la teneur en lipides diminue chez les animaux restreints (WOOD, 1984; WOOD et al., 1986). Cet effet est une conséquence de l'influence de la restriction alimentaire sur l'adiposité de la carcasse.

La nature des acides gras ingérés agit directement sur la composition en acides gras des tissus adipeux (FLANZY et al., 1970; DESMOULIN et al., 1983; WOOD et al., 1986; GIRARD et al., 1988; CAMOES et al., 1995). MOUROT et al. (1991) ont montré que l'effet du taux d'acide linoléique dans les lipides alimentaires sur les taux d'acide palmitoléique (C16:1), stéarique (C18:0), oléique (C18:1) et linoléique (C18:2) de la bardière, est très net : le coefficient de corrélation entre la quantité d'acide linoléique ingéré et celle déposée dans la bardière est de r = 0.83. Ainsi un régime riche en acides gras insaturés conduit à la production de tissus adipeux mous et très sensibles à l'oxydation. Cependant les lipides d'origine végétale (maïs et huile de maïs, tourteau de soja,...), contenant beaucoup d'acides gras polyinsaturés, sont toujours largement utilisés en alimentation animale pour des raisons économiques. Afin de concilier coûts de production et qualité des carcasses de porc, COURBOULAY et MOUROT (1995) ont estimé la vitesse de disparition de l'acide linoléique tissulaire, en agissant sur la durée de distribution d'un régime alimentaire riche en acide linoléique pendant l'engraissement. Les animaux ont reçu, entre 70 et 115 kg de poids vif, l'un et/ou l'autre des régimes suivants : régime riche en acides gras polyinsaturés apportés par de l'huile de maïs (régime M), régime riche en acides gras saturés apportés par du suif (régime S). La teneur en acide linoléique des tissus diminue dès que le régime M n'est plus distribué, toutefois cette diminution n'est pas régulière et dépendrait de la quantité présente dans les tissus avant le changement de régime (figure 1). La disparition du C18:2 est évaluée à 0.85 mg par gramme de lipides

Figure 1 - Évolution de la teneur en C18 : 2 des tissus adipeux sous-cutanés du cou en fonction des régimes et du poids vif des animaux



lot	régime	poids, kg
1	S	70 - 115
2	M	70 - 85
	S	85 - 115
3	M	70 - 100
	S	100 - 115
4	M	70 - 115

totaux par jour, ce qui correspondrait à une diminution journalière de 0.1% de l'acide linoléique présent (COURBOULAY et MOUROT, 1995). D'après ces résultats, il est serait nécessaire de distribuer aux animaux une alimentation riche en acides gras saturés dès le poids de 70 kg, pour limiter le taux d'acide linoléique dans les tissus adipeux à l'abattage à une valeur inférieure à 15% des acides gras totaux (COURBOULAY et MOUROT, 1995).

3.2. Effets de divers additifs alimentaires

3.2.1. Supplémentation de la ration en agents antioxydants

Un des principaux défauts de qualité des tissus adipeux est l'oxydation des acides gras polyinsaturés constitutifs des lipides. Les tissus adipeux du porc ne contenant pas d'agents antioxydants, l'incorporation de ces molécules dans l'alimentation a été envisagée pour limiter l'oxydation des tissus. MOUROT et al. (1992a) ont étudié les effets d'un apport simultané d'acide linoléique et de vitamine E à des doses variables sur la composition lipidique des tissus adipeux, et leur aptitude à la conservation. Comme pour l'acide linoléique, le dépôt de vitamine E dans les tissus augmente avec l'apport alimentaire. Au cours du stockage, une diminution de la quantité d'acide linoléique est observée, en particulier dans les tissus des animaux ayant ingéré le régime riche en acide gras et peu supplémenté en vitamine. Pour un taux d'acide linoléique élevé, le taux d'oxydation des acides gras est en relation inverse avec la teneur du régime en vitamine E. La vitamine E exerce donc un effet protecteur, toutefois l'importance de l'oxydation n'est pas directement liée au rapport C18:2/vitE dans l'aliment; la quantité d'acide linoléique déposée semble avoir une importance primordiale (MOUROT et al., 1992a).

La supplémentation de la ration alimentaire en vitamine E permet donc de limiter l'oxydation des acides gras polyinsaturés des lipides au cours de la conservation, et ainsi d'améliorer les qualités technologiques et organoleptiques des tissus adipeux.

3.2.2 . Utilisation de co-produits des industries agricoles

L'utilisation du glycérol, co-produit du diester, en alimentation porcine a été expérimentée par MOUROT et al. (1993). L'étude porte sur l'effet du glycérol alimentaire sur les performances de croissance et la qualité de la viande chez le porc. Les performances de croissance ne sont pas modifiées par le traitement. Outre les effets sur la qualité du tissu musculaire (voir partie II), le glycérol provoque une diminution du taux d'acide linoléique et du coefficient d'insaturation des lipides de la bardière, sans modifier la teneur en lipides totaux de ce tissu.
Bénéfique pour la qualité de la fraction maigre de la viande (voir partie II, p. 144 et suivantes), l'incorporation de glycérol dans la ration alimentaire permet également d'améliorer les qualités technologiques et organoleptiques du tissu adipeux.

3.3. Influence de l'âge et du poids d'abattage

Chez le porc, le tissu adipeux se développe considérablement au cours de la croissance, principalement par une hypertrophie des adipocytes (HENRY, 1977), qui s'accompagne d'une diminution progressive de la teneur en eau et protéines solubles par rapport au tissu frais (gras dorsal) tandis que la quantité de lipides par cellules s'accroît (MERSMANN et al., 1976; HENRY, 1977; CAMARA et al., 1994) (tableau 2). Au niveau de la bardière, l'augmentation de la teneur en lipides totaux avec l'âge est plus importante

Tableau 2 - Variation de la composition chimique du tissu adipeux en fonction de l'âge

Âge	Panne		Bardière (couche externe)	
	Eau (%)	Lipides (%)	Eau (%)	Lipides (%)
Naissance	--	--	85	6
4 semaines	21	73	20	75
8 semaines	20	71	17	77
7 mois	5	94	5	92

D'après BUCHARLES, 1987.

dans la couche interne que dans la couche externe (ANDERSON et al., 1972; WOOD, 1973; CAMARA et al., 1994).
L'augmentation des performances zootechniques et en particulier de la vitesse de croissance avec les progrès génétiques, conduisent à une diminution de l'âge des animaux au poids d'abattage (environ 100 kg), entraînant des modifications de la composition chimique des tissus adipeux du porc. Ainsi entre 1988 et 1992, la teneur en lipides du tissu adipeux sous-cutané dorsal est passée de 86.5 à 81.7%, et la teneur en eau de 8.7 à 11.6% (RAMPON et al., 1994). Cette évolution n'est pas sans conséquences sur la qualité du tissu adipeux.
La composition en acides gras des lipides des dépôts adipeux varie avec l'âge (et le poids). Ces modifications sont liées à l'évolution de l'adiposité des animaux; le taux d'insaturation des graisses tend à décroître avec l'augmentation des dépôts adipeux de la carcasse, et donc avec l'âge (SINK et al., 1964; SCOTT et al., 1981; NURNBERG, 1995).
Les effets marqués de l'âge et du poids sur les caractéristiques des tissus adipeux se traduisent par des conséquences importantes sur la qualité de ces tissus. L'évolution des relations âge/poids avec l'amélioration des performances de croissance des animaux, nécessite maintenant la prise en compte individuelle de ces deux facteurs pour évaluer leurs effets sur le tissu adipeux.

3.4. Influence du type sexuel

La composition en constituants essentiels du tissu adipeux varie en fonction du type sexuel. Le tissu adipeux des mâles entiers contient plus d'eau et de protéines et moins de lipides que celui des femelles (tableau 3a), les mâles étant, à poids vif égal, plus maigres que les femelles (GUÉBLEZ et al., 1993b). La castration des porcs mâles est courante dans de nombreux pays dont la France, pour éviter les défauts d'odeur sexuelle. Cette pratique a pour effets d'augmenter la consommation alimentaire chez les animaux, de diminuer l'efficacité nutritionnelle et d'augmenter l'adiposité des carcasses (WOOD, 1984), agissant ainsi sur la composition chimique du tissu adipeux. Les tissus adipeux de mâles castrés contiennent plus de lipides, et moins d'eau que ceux des mâles entiers, et des femelles dans une moindre mesure (tableau 3A) (WOOD et al., 1986; BARTON-GADE, 1987; GIRARD et al., 1988; GUÉBLEZ et al., 1993b).

À même poids vif, les mâles entiers ont des lipides plus insaturés que les femelles et les mâles castrés (tableau 3b). Cet écart est dû principalement au taux d'acide linoléique, corrélé négativement à la teneur en lipides totaux des tissus sous l'effet d'une dilution plus ou moins importante des lipides alimentaires (WOOD et ENSER, 1982; DESMOULIN et al., 1983; WOOD, 1984; BARTON-GADE, 1987).

Tableau 3a - Composition chimique du tissu adipeux en fonction du type sexuel

Composition (%)	**Mâles entiers**	**Mâles castrés**	**Femelles**
Lipides	78,1	83,4	81,5
Eau	17,0	13,1	14,7
Protéines	4,7	3,6	4,0

D'après BARTON-GADE, 1987.

Tableau 3b - Composition en acides gras des lipides en fonction du type sexuel

Composition (%)	**Mâles entiers**	**Mâles castrés**	**Femelles**
C16:0	24,9	26,1	25,1
C18:0	13,5	13,6	13,3
C18:1	41,8	43,2	43,5
C18:2	11,8	9,3	10,2

D'après BARTON-GADE, 1987.

3.5. Influence de traitements hormonaux

L'administration de pST (somatotropine porcine) à des porcs en croissance, a été envisagée pour améliorer les performances de croissance des animaux et augmenter la production de tissus maigres. En effet, l'injection de pST à des porcs en croissance entraîne une réduction de l'ingéré alimentaire, une accélération de la croissance et une amélioration spectaculaire de l'efficacité alimentaire liée à une forte diminution des dépôts gras au profit du muscle (BONNEAU, 1990). Ces effets sont d'autant plus marqués que le type génétique de l'animal est gras (BIDANEL et al., 1990).
Les conséquences de l'administration de somatotropine sur la composition des tissus adipeux sont très importantes. Comme dans tous les cas où le dépôt adipeux est réduit, la teneur en lipides est diminuée, et celle en eau augmentée dans les tissus adipeux (NURNBERG, 1995; OKSBJERG et al., 1995). La composition en acides gras est également affectée; le degré d'insaturation des lipides augmente, particulièrement du fait d'un accroissement important de la teneur en acide linoléique (tableau 4) (MOUROT et al., 1992c; REHFELDT et al., 1994; OKSBJERG et al., 1995).

Tableau 4 - Influence d'un traitement à la pST sur la composition en acides gras des lipides du tissu adipeux sous-cutané dorsal

Composition (%)	**Témoins**	**Traités pST**	**Effet pST**
C16:0	25,5	24,2	NS
C18:0	15,6	14,9	NS
C18:1	43,5	43,8	NS
C18:2	9,0	10,8	*
C18:3	0,48	0,6	***

NS : p>0,05; * : p<0,05; *** : p<0,001 D'après MOUROT et al., 1992.

Si l'administration de pST à des porcs en croissance est intéressante du point de vue de l'augmentation de la production de viande, elle a par contre des conséquences néfastes sur la qualité des tissus adipeux du porc. Toutefois l'utilisation de somatotropine en production porcine est actuellement interdite, tant en Europe qu'aux Etats-Unis.

3.6. Influence de facteurs environnementaux

La température d'élevage affecte les performances de croissance et les besoins énergétiques des animaux (LE DIVIDICH et al., 1987). A même niveau alimentaire, une diminution de la température d'élevage entraîne une diminution de l'adiposité de la carcasse. L'effet de la température s'apparente alors à celui du rationnement, les animaux élevés au froid présentant des besoins énergétiques supérieurs pour couvrir l'augmentation de leurs dépenses dues à la thermorégulation.
Si le niveau de la ration est adapté aux besoins des animaux afin qu'ils atteignent la même vitesse de croissance, la diminution de température n'a pas d'effet notable sur la masse adipeuse totale de la carcasse, mais elle modifie sa répartition : le pourcentage de tissu adipeux externe augmente, alors que le pourcentage de tissu adipeux interne (panne) diminue (LE DIVIDICH et al., 1987). Les mêmes effets ont été mis en évidence par LEFAUCHEUR et al. (1991) au niveau du tissu adipeux sous-cutané externe du jambon, et de la panne. Ces modifications de la répartition des lipides, ajoutées au fait que les carcasses des porcs élevée à basse température sont plus courtes et plus compactes, sont les manifestations d'une adaptation du porc au froid pour limiter les pertes de chaleur (LE DIVIDICH et al., 1987; LEFAUCHEUR et al., 1991).
Il existe une corrélation négative entre la température d'élevage et le degré d'insaturation des lipides du tissu adipeux sous-cutané dorsal (FULLER et al., 1974; LE DIVIDICH et al., 1987). Le pourcentage d'acides gras insaturés de la bardière augmente d'environ 4% quand la température d'élevage passe de 28°C à 12°C, par contre le degré d'insaturation des lipides de la panne ne varie pas (LEFAUCHEUR et al., 1991). Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer la variation du degré d'insaturation des lipides en fonction de la température, en particulier le maintien de la fluidité membranaire.
La diminution de la température d'élevage semble donc aller à l'encontre d'une production de tissus adipeux de qualité. Toutefois, si l'on envisage l'élevage d'animaux à basse température, voire en plein air dans le cas de production porcines alternatives, il est nécessaire de tenir compte également des facteurs alimentation (niveau et nature du régime) et âge/poids.

CONCLUSION

Les relations entre les caractéristiques chimiques et structurelles des tissus adipeux du porc et leurs qualités technologiques et organoleptiques ultérieures sont maintenant bien connues. La teneur en lipides totaux et la composition en acides gras des lipides constituent les éléments essentiels intervenant sur ces composantes de la qualité. Le principal facteur d'élevage pouvant modifier la composition des tissus adipeux est l'alimentation, et en particulier la nature des acides gras constitutifs du régime. L'âge et le poids, le type sexuel interviennent également. Toutefois, il est nécessaire de tenir compte du fait que les effets de ces facteurs se conjuguent entre eux et avec un élément qui n'a pas été abordé dans cette étude, à savoir le type génétique des animaux, pour déterminer les caractéristiques des tissu adipeux, et en conséquence leur qualité.

II. Le tissu musculaire

INTRODUCTION

La qualité du tissu musculaire de porc est fonction du type génétique de l'animal, des conditions d'abattage et des conditions d'élevage. L'influence des deux premiers facteurs a déjà fait l'objet d'articles de synthèse (SELLIER, 1988; MONIN, 1983; MONIN, 1988). La présence d'anomalies génétiques (gènes "halothane" et "RN") responsables de gros défauts de qualité de viande ont pendant longtemps rendu difficile l'étude de l'influence des conditions d'élevage sur la qualité. Pourtant, dès lors que l'on veut dépasser la simple suppression des défauts majeurs de qualité liés aux anomalies génétiques, et véritablement améliorer la qualité des viandes et produits transformés, il faut prendre en compte l'effet des facteurs d'élevage sur les caractéristiques biologiques du tissu musculaire et les différents aspects de la qualité. Dans cette partie, nous présenterons successivement les caractéristiques biologiques du tissu musculaire, les phénomènes biochimiques régissant la transformation du muscle en viande, les différentes composantes de la qualité et l'influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques musculaires et la qualité. Nous précisons que nous limitons ici le sens du terme "viande" au tissu maigre.

1. CARACTÉRISTIQUES DU TISSU MUSCULAIRE

1.1. Composition tissulaire

Le muscle squelettique est quantitativement le tissu le plus important de l'organisme. Chez un porc de 100 kg de poids vif, il représente jusqu'à 60% du poids de la carcasse et 40 à 45% des protéines totales de l'individu. Il est composé en moyenne de 73% d'eau, 20% de protéines et 1 à 6% de lipides. Au plan structural, le muscle est un tissu composite qui renferme, outre les fibres musculaires, des tissus conjonctif, adipeux, vasculaire et nerveux. Les vaisseaux

sanguins, les nerfs et les cellules adipeuses intramusculaires sont localisés au niveau de la trame conjonctive.

1.2. Les fibres musculaires

Les fibres musculaires diffèrent par leurs propriétés morphologiques, biochimiques et physiologiques (BACOU et VIGNERON, 1988). La conjugaison des caractéristiques contractiles (vitesse de contraction lente ou rapide) et métaboliques (métabolisme oxydatif, oxydo-glycolytique ou glycolytique) permet de classer les fibres en types βR (rouge lent), αR (rouge rapide) et αW (blanc rapide) par histoenzymologie (ASHMORE et DOERR, 1971). Leurs propriétés sont présentées dans le tableau 5. Chez le porc, les fibres musculaires sont typiquement disposées en îlots de fibres βR entourées par une première couronne de fibres αR et une seconde, plus externe, de fibres αW. Des fibres géantes sont parfois observées à la périphérie des faisceaux dans le muscle post-mortem, cependant on ignore actuellement si elles existent sous cette forme chez l'animal vivant ou si elles résultent d'une hypercontraction qui se développe après la mort (ESSEN-GUSTAVSSON, 1995).

Tableau 5 - Caractéristiques des divers types de fibres musculaires chez le porc

Classification	I (βR)	IIA (αR)	IIB (αW)
Vitesse de contraction	+	+++	+++
Activité ATPasique	+	+++	+++
Métabolisme oxydatif	+++	++	+
Métabolisme glycolytique	+	++	+++
Teneur en myoglobine	+++	+++	+
Teneur en phosphocréatine			
Teneur en glycogène	+	+++	+++
Teneur en lipides	+++	++	+
Diamètre	+	+	+++
Pouvoir tampon	+	+++	+++

D'après LEFAUCHEUR, 1989.

1.3. Le tissu adipeux intramusculaire

Les lipides intramusculaires sont constitués de lipides de réserve, les triglycérides, et de lipides membranaires, les phospholipides. Au sein du muscle, les triglycérides sont à la fois présents à l'intérieur des fibres sous forme de gouttelettes lipidiques et à l'extérieur des fibres au niveau des adipocytes intramusculaires. Ces cellules sont soit isolées entre les fibres musculaires, soit regroupées sous forme de tissu le long des faisceaux de fibres (CHORA et al., 1995). Les adipocytes sont à l'origine du persillé de la viande.

1.4. Influence du type de muscle sur la composition en fibres musculaires et les lipides intramusculaires.

Les différents muscles du porc contiennent généralement les trois types de fibres mais dans des proportions très variables. Ainsi, la longe et la plupart des gros muscles du jambon sont des muscles blancs rapides, alors que les muscles de la partie antérieure du corps et les muscles profonds situés près des os sont généralement rouges et riches en fibres lentes. Le tableau 6 présente les pourcentages en types de fibres de différents muscles chez le porc.

Tableau 6 - Pourcentage des fibres βR, αR, αW dans les muscles *Longissimus dorsi, Psoas major* et *Tibialis cranialis* de porcs Large White à 100 kg de poids vif

Muscle	*Longissimus dorsi*	*Psoas major*	*Tibialis cranialis*
Type de fibre			
βR	11 ± 3,1	27 ± 5,3	34 ± 4,7
αR	18 ± 3,4	43 ± 6,4	54 ± 6,7
αW	71 ± 4,4	30 ± 4,9	12 ± 5,0

D'après LEFAUCHEUR et VIGNERON, 1986

La teneur en lipides intramusculaires varie entre 1 et 8% selon le muscle. La majorité des études indiquent une liaison positive entre cette teneur et les capacités oxydatives du muscle, notamment la proportion de fibres lentes. Ainsi, LEFAUCHEUR et al. (1991; 1992b) montrent que le muscle *Semispinalis capitis* (mixte oxydatif) est 4 à 5 fois plus riche en lipides que le *Longissimus* (rapide glycolytique), 7.2 vs 1.6%, respectivement. Dans le *Longissimus*, ESSEN-GUSTAVSSON et al. (1994) ont montré que les triglycérides se trouvent essentiellement dans les fibres I et IIA, et très peu

dans les fibres IIB (ESSEN-GUSTAVSSON et al., 1994).Cependant, la relation entre la teneur en lipides et le métabolisme oxydatif n'est pas généralisable. En effet, aucune différence de teneur en lipides totaux n'a été trouvée entre les parties blanche (4% βR, 8% αR, 88% αW) et rouge (40% βR, 60% αR) du muscle *Semitendinosus* (BEECHER et al., 1965).

Les différences de taux de lipides intramusculaires sont essentiellement dues aux triglycérides, dont les teneurs dans le *Longissimus* et le *Semispinalis capitis* sont respectivement de 1.0 et 5.0% (FERNANDEZ et al., 1995). Les teneurs en phospholipides sont faiblement mais significativement plus élevées dans les muscles rouges que dans les muscles blancs (0.54% dans le *Longissimus* vs 0.67% dans le *S. capitis*) (FERNANDEZ et al., 1995). Ceci pourrait résulter de la quantité beaucoup plus élevée de mitochondries dans les muscles rouges.

2. LA TRANSFORMATION DU MUSCLE EN VIANDE

L'évolution biochimique du muscle après l'abattage conduit progressivement à sa transformation en viande. On distingue deux phases : d'une part, la dissipation des réserves énergétiques du muscle au cours de l'installation de la rigor mortis, et la modification de l'organisation des protéines musculaires de structure au cours de la **maturation** de la viande. La cinétique et l'intensité de ces réactions influencent fortement les qualités technologiques, organoleptiques et hygiéniques des viandes (VALIN, 1988).

2.1. Évolution post-mortem du pH

2.1.1. Réactions biochimiques

La mort de l'animal supprime l'apport de nutriments et d'oxygène aux cellules par arrêt de la circulation sanguine. Juste après la mort, les fibres musculaires continuent à consommer de l'énergie en hydrolysant l'ATP en ADP + phosphate inorganique (Pi) pour lutter contre la désorganisation cellulaire. L'ATP est régénéré à partir de différentes voies, dont la glycogénolyse qui dégrade le glycogène en acide lactique en conditions anaérobies. Le Pi issu de l'hydrolyse de l'ATP est un stimulateur de la glycolyse. Parallèlement, l'ensemble des membranes cellulaires s'altèrent progressivement, laissant diffuser les ions Ca++ du réticulum sarcoplasmique et du milieu extracellulaire vers le sarcoplasme où ils se fixent sur la troponine C, permettant l'interaction entre l'actine et la myosine. L'ATPase myofibrillaire est alors fortement stimulée, ce qui entraîne la production de Pi et stimule la glycolyse. Le bilan de ces réactions est la production d'ions H_3O^+ et la baisse progressive du pH. Le phénomène cesse lorsque les réserves en glycogène sont épuisées ou que le pH est suffisamment bas pour bloquer la glycolyse. **La vitesse de chute** post-mortem du pH (mesurée par le pH 45 minutes p.m.) dépend donc de la vitesse de diffusion des ions Ca++, du type d'ATPase myofibrillaire (lent ou rapide), du pouvoir tampon et de la disponibilité en glycogène des fibres musculaires. En revanche, **l'amplitude de chute** du pH, mesurée par le pH 24 heures p.m. (pH ultime ou pHu), est fonction de la quantité de glycogène transformé en acide lactique et du pouvoir tampon du muscle.

2.1.2. Influence des caractéristiques biologiques musculaires sur la vitesse de chute du pH

Bien que les fibres musculaires soient les principaux constituants qui influencent la vitesse de chute du pH, les liaisons entre la typologie des fibres et la vitesse de chute du pH sont controversées. Aucune différence de pH 45 min n'a été observée entre les muscles *Longissimus* (10% βR, 15% αR, 75% αW, pH 45 = 6.3) et *Semispinalis* (40% βR, 60% αR, pH 45 = 6.3) (RENAULT, 1989; LEFAUCHEUR et al., 1991; LEFAUCHEUR ET AL., 1992b), ainsi qu'entre les parties blanches (4% βR, 8% αR, 88% αW, pH 45 = 6.03) et rouges (40% βR, 60% αR, pH 45 = 6.05) du muscle *Semitendinosus* chez le porc (LEFAUCHEUR et al., non publié). Selon KRAUSS (1988), la vitesse de chute post-mortem du pH est plus élevée dans le *Psoas major* (27% βR, 43% αR, 30% αW, pH 45 = 5.95) que le *Longissimus*. D'autres études rapportent une baisse plus rapide du pH dans les muscles blancs que rouges (SCHMIDT et al., 1970; TARRANT et al., 1972; KLOSOWSKA et al., 1975). Cette controverse s'explique par le fait que la vitesse de chute du pH dépend de nombreuses composantes (voir §1.1 p.144). Les muscles riches en fibres lentes ont un pouvoir tampon et une activité ATPasique plus faibles que les muscles riches en fibres rapides (TALMANT et al., 1986; RENOU et al., 1986; LEFAUCHEUR et al., 1991), caractéristiques qui agissent en sens inverse sur l'évolution du pH. D'autre part, les mouvements intracellulaires post-mortem des ions Ca++ (qui stimulent l'activité ATPasique) pourraient varier selon les fibres en fonction des conditions d'abattage, du type génétique et des facteurs d'élevage. Enfin, chez les animaux physiquement fatigués avant l'abattage, les fibres lentes peuvent être très pauvres, voir dépourvues de glycogène, et ainsi ne pas participer à l'acidification globale du muscle. Par ailleurs, des études rapportent une liaison positive entre la vitesse de chute du pH et le diamètre des fibres musculaires (WICKE et al., 1995) et surtout la proportion de fibres géantes (KLOSOWSKA et al., 1975). En résumé, la liaison entre types de fibres et vitesse de chute du pH reste confuse.

2.1.3. Influence des caractéristiques biologiques musculaires sur l'amplitude de chute du pH

L'amplitude de chute du pH dépend de la composante fibres musculaires et est déterminée par le taux de glycogène initial estimé par le potentiel glycolytique (PG) proposé par MONIN et SELLIER (1985). L'amplitude de chute du pH est plus élevée dans le muscle *Longissimus* (pHu = 5.6) que *Semispinalis* (pHu = 6.0) (LEFAUCHEUR et al., 1991; LEFAUCHEUR et al., 1992b). Ces résultats sont cohérents avec le PG plus élevé du muscle *Longissimus* par rapport au *Semispinalis* (126 vs 72 mmol lactate / g muscle frais) (LEFAUCHEUR et al., 1992b). Des études histologiques montrent que les fibres αW et αR sont plus riches en glycogène

que les fibres βR (LEFAUCHEUR et al., 1992a; FERNANDEZ et al., 1995). Cela explique que le pH ultime soit d'autant plus bas que la teneur du muscle en fibres à contraction rapide est élevée (LABORDE, 1984; LABORDE et al., 1985; MONIN et al., 1987).

2.2. Maturation post-mortem de la viande

2.2.1. Réactions biochimiques

La phase de maturation correspond à des modifications de texture du muscle, qui agissent sur la tendreté de la viande. L'évolution de la structure myofibrillaire est consécutive à une attaque protéolytique par des protéases musculaires, les protéinases neutres et les protéinases lysosomales. Par contre, les propriétés thermiques et mécaniques du collagène ne sont pas modifiées au cours de la phase de maturation (VALIN, 1988).

2.2.2. Influence des caractéristiques biologiques musculaires sur la maturation de la viande

Des études réalisées chez le bovin montrent que la vitesse de maturation est d'autant plus élevée que le muscle est riche en fibres rapides IIB et que le pH ultime est plus bas (VALIN, 1988). Ce phénomène n'a pas été rapporté chez le porc, peut être en raison d'une vitesse de maturation de la viande beaucoup plus élevée que chez le bovin.

3. LA QUALITÉ DE LA VIANDE DE PORC

Environ 30% de la viande de porc est consommée fraîche et 70% est utilisée pour la transformation en produits cuits ou crus, à base de pièce entière ou de viande hachée et malaxée. Sous le terme global de qualité de la viande, on regroupe généralement quatre composantes, qui sont les qualités technologiques, organoleptiques, hygiéniques et nutritionnelles. Nous privilégierons ici les deux premières composantes en les décrivant et présentant leur relations avec les caractéristiques biologiques musculaires.

3.1. Qualité technologique

3.1.1. Définition

La qualité technologique de la viande se définit comme ses aptitudes à subir une transformation. Dans le cas de la filière porcine, où les technologies mises en oeuvre sont multiples, la qualité de la matière première doit toujours être définie par rapport à l'utilisation envisagée. Seul le rendement de fabrication du jambon cuit, qui a économiquement le plus d'importance dans la filière, sera traité dans ce chapitre. D'après GOUTEFONGEA et al. (1978), le coefficient de corrélation entre le rendement de fabrication du jambon cuit et le pouvoir de rétention en eau (PRE) de la viande fraîche est de 0.7; ce marqueur de qualité est donc essentiel pour la production de jambon cuit. Le PRE, qui est en grande partie fonction de la capacité des 20% de protéines musculaires à retenir les 75% d'eau présents dans le muscle, est fortement influencé par la vitesse et l'amplitude de chute du pH post-mortem (MONIN, 1983). Une vitesse de chute trop rapide du pH (pH 45 min < 6.0) combinée à une température élevée provoque la dénaturation des protéines, conduisant à une réduction du PRE et à la production d'une viande de type PSE (Pale, Soft and Exsudative) (GOUTEFONGEA et al., 1978). L'abaissement du pH ultime diminue la charge nette des protéines, entraînant un resserrement du réseau et une baisse du PRE. Le PRE est minimal lorsque le pH est équivalent au pH isoélectrique des protéines, environ 5.3 (GOUTEFONGEA et al., 1978; MONIN, 1988). Pour des pH ultimes supérieurs au pHi, il y a donc une liaison positive entre le pH ultime et le rendement de fabrication du jambon cuit.

Par ailleurs, le glycogène résiduel présent dans le muscle 24 heures après l'abattage entraîne également une diminution du rendement de fabrication du jambon cuit en raison de sa forte capacité à fixer de l'eau (2 à 4 g d'eau/g de glycogène, selon GREENLEAF et al., 1969). Cette eau supplémentaire sera relarguée lors de la cuisson parallèlement à l'hydrolyse du glycogène (MONIN, 1988).

3.1.2. Influence des caractéristiques biologiques musculaires

Les fibres musculaires sont les principaux constituants du muscle influençant le PRE, donc le rendement de fabrication du jambon cuit. Leur action passe essentiellement via leur impact sur la cinétique d'évolution post-mortem du pH et le pouvoir tampon du muscle (voir II.1.2. et II.1.3.). Selon KLOSOWSKA et al. (1975), le PRE de la viande décroît quand le pourcentage de fibres blanches augmente. Cependant, ENDER (1995) note un effet plus important du diamètre des fibres, notamment celui des fibres blanches (r = +0.59), que des pourcentages sur les pertes en eau. Cet effet négatif du diamètre des fibres sur la qualité technologique de la viande est corroboré par plusieurs autres études (KLOSOWSKA et al., 1975; MONIN, 1988). Un effet négatif de la proportion de fibres géantes sur le PRE a également été mis en évidence (KLOSOWSKA et al., 1975; REHFELDT et ENDER, 1993). Un diamètre élevé des fibres musculaires semble donc altérer le pouvoir de rétention en eau de la viande. En revanche, des travaux rapportés par WICKE et al. (1995) montrent une amélioration du PRE et une réduction de la vitesse de chute du pH chez les animaux qui possèdent un nombre total de fibres élevé. Ces données suggèrent que la recherche d'un nombre total de fibres élevé, souvent associé à un diamètre des fibres plus faible, constitue une voie permettant de concilier les impératifs quantitatifs et qualitatifs de la production de viande.

3.2. Qualité organoleptique

On regroupe sous le terme de qualité organoleptique des viandes l'aspect visuel, la tendreté, la jutosité et la flaveur.

3.2.1. L'aspect visuel

La couleur. Le consommateur recherche une couleur rosée ni trop claire, ni trop foncée et, surtout, homogène. La couleur est fonction du pourcentage de fibres rouges (oxydatives ou

oxydo-glycolytiques), de la quantité de myoglobine présente dans le muscle, de l'état chimique du pigment (forme oxydée, réduite, oxygénée), et de la structure de la surface du muscle réfléchissant la lumière. Les viandes à pH ultime élevé, dont les fibres sont très hydratées et absorbent beaucoup de lumière, ont une couleur sombre, alors qu'un pH ultime bas entraîne une augmentation de la réflectance donc un éclaircissement de la viande. Augmenter la quantité de muscle par le grossissement des fibres peut favoriser la production d'une viande peu colorée en raison de l'augmentation du pourcentage de fibres à métabolisme glycolytique (blanches), pauvres en myoglobine et souvent riches en glycogène.

Le marbré et le persillé. Le marbré de la viande correspond au gras visible déposé entre les muscles, et le persillé au gras intramusculaire. Une quantité trop importante de tissu adipeux visible est mal perçue par le consommateur, même si la teneur en lipides intramusculaires constitue le principal facteur influençant la flaveur des viandes. TOURAILLE (1990) rapporte que la viande d'animaux croisés Large White X Meishan (2.6% de lipides intramusculaires) est préférée à celle d'animaux Large White purs (1.4% de lipides intramusculaires) pour les propriétés sensorielles, mais est moins appréciée concernant l'aspect visuel en raison de l'importance du gras visible. Par ailleurs, une concentration élevée de lipides intramusculaires peut directement entraîner un éclaircissement de la couleur de la viande (MOODY et al., 1969). La comparaison du muscle *Longissimus* avec les muscles S*emispinalis*, *Trapézius* ou *Diaphragma* met en évidence une liaison positive entre l'importance du persillé et le caractère oxydatif du muscle. Cette relation n'est cependant pas toujours vérifiée.

La tenue de tranche. Des défauts de tenue de tranche du jambon cuit sont parfois signalés. Il se manifestent par un manque de cohésion entre les différents muscles du jambon lors du tranchage. Ce défaut trouverait essentiellement son origine au niveau de la trame conjonctive qui pourrait manquer de maturité en raison de l'abattage d'animaux physiologiquement de plus en plus jeunes (GOUTEFONGEA et al., 1978). Les liaisons entre la typologie des fibres et les caractéristiques du collagène ont été peu étudiées.

3.2.2. La tendreté

Même si la tendreté ne représente pas le défaut essentiel de qualité des viandes de porc, contrairement aux viandes de bovin, cette composante joue cependant un rôle dans le déterminisme des qualités organoleptiques des produits issus de la filière porcine. Elle dépend d'une part du degré de polymérisation, de la quantité et de la répartition du collagène, et d'autre part de la structure myofibrillaire (MONIN, 1983; TOURAILLE et al., 1983). Dans les conditions de production intensive où le porc est abattu jeune (environ 6 mois d'âge, 100 kg PV), la composante collagénique a peu d'effet sur la tendreté de la viande. En revanche, la composante myofibrillaire est fortement impliquée. Ses propriétés sont fortement influencées par la cinétique d'évolution post-mortem du pH et l'amplitude des réactions protéolytiques qui vont fragmenter les myofibrilles au cours de la phase de maturation (MONIN, 1983; VALIN, 1988). FERNANDEZ et TORNBERG (1992) ont montré que la tendreté est significativement corrélée au pH ultime suivant un modèle curvilinéaire (r = 0.80), et serait minimale pour un pH se situant autour de 5.8. Selon ces auteurs, les variations de pH expliqueraient 64% des variations de tendreté enregistrées.
Une liaison positive a été rapportée entre l'intensité du métabolisme oxydatif et la tendreté dans le muscle Longissimus de porc (ESSEN-GUSTAVSSON et FJELKNER-MODIG, 1985). Par ailleurs, plusieurs études ont mis en évidence une liaison négative entre le diamètre des fibres et la tendreté (CARPENTER et al. (1966) chez le porc, JOUBERT (1956) chez l'ovin). D'après ces résultats, il semble donc qu'un métabolisme oxydatif élevé et un petit diamètre de fibre aient une action bénéfique sur la tendreté de la viande de porc.

3.2.3. La jutosité

La jutosité est liée à la quantité d'eau libre subsistante dans la viande, et à la sécrétion de salive stimulée essentiellement par les gras (GIRARD et al., 1988). La jutosité varie donc avec le PRE de la viande, les pertes à la cuisson et la présence de lipides. En conséquence, la recherche d'une proportion élevée de fibres bR peut permettre d'améliorer la jutosité. Une liaison positive est souvent mentionnée entre la tendreté et la teneur en lipides intramusculaires, qui apportent une sensation de moelleux à la viande (HENNING et al., 1973; DAVIS et al., 1975; CROMWELL et al., 1978; TOURAILLE et al., 1983; GANDEMER et al., 1990; ESSEN-GUSTAVSSON et al., 1992). Cet effet des lipides sur la tendreté pourrait être indirect et passer par leur action sur la jutosité.

3.2.4. La flaveur

La flaveur correspond aux perceptions olfactives et gustatives perçues lors de la dégustation. Elle dépend essentiellement de la teneur en lipides intramusculaires (KAUFFMAN et al., 1964; GIRARD et al., 1988; CAMERON et al., 1990; TOURAILLE, 1990). L'effet améliorateur du taux de lipides intramusculaires se manifeste jusqu'à une valeur de 2.5% dans le muscle *Longissimus* de porc (SELLIER, 1988). Chez le mouton, VALIN et al. (1982) ont montré que l'intensité de la flaveur est également directement liée au caractère rouge de la viande, et plus particulièrement au pourcentage de fibres lentes. Le même phénomène pourrait exister chez le porc mais n'a jamais fait l'objet d'études. Parmi la composante lipidique, un rôle important a été attribué aux phospholipides dans le développement de la flaveur caractéristique de la viande cuite (MOTTRAM et EDWARDS, 1983). En conséquence, la composition en fibres d'un muscle pourrait influencer la flaveur de la viande cuite en raison des différences de teneurs et de compositions en phospholipides selon le type métabolique des muscles (LESEIGNEUR et al., 1989).
D'autre part, la nature des lipides intramusculaires intervient dans la détermination de l'aptitude à la conservation de la viande (MOUROT et al., 1991; MOUROT et al., 1992a). Les acides gras polyinsaturés sont en effet sensibles à la peroxydation, réaction autocatalytique qui conduit à la formation de composés de flaveur désagréable (rance). Selon

MALMFORMS et al. (1978), le *Quadriceps femoris*, muscle de type rouge, possède 6 à 7% d'acides gras polyinsaturés de plus que le *Longissimus*, muscle de type blanc. D'après ces résultats, le caractère rouge pourrait avoir des effets défavorables sur la flaveur au cours de la conservation, d'autant plus que la viande de porc contient naturellement peu d'agents antioxydants susceptibles de limiter l'oxydation des lipides (MOUROT et al., 1992a; DIRINCK et DE WINNE, 1995).
Un défaut de flaveur particulier des viandes de porc est dû à l'utilisation des viandes de porcs mâles entiers, qui peuvent présenter des défauts d'odeur lors de la cuisson, ou dans les cas les plus défavorables, lors de la consommation (BONNEAU et DESMOULIN, 1982). Deux composés majeurs mis en évidence dans les graisses, l'androsténone et le scatol, sont actuellement tenus pour responsables de ces défauts d'odeur sexuelle (voir partie I).

3.3. Qualité hygiénique

La qualité hygiénique peut être altérée par la prolifération de bactéries néfastes et/ou la production de composés toxiques dans la viande. Ces défauts sont fortement influencés par la cinétique d'évolution post-mortem du pH et l'oxydation des acides gras polyinsaturés. La diminution du pH a un effet bactériostatique, toutefois, le pH aurait moins d'effet sur la croissance microbienne que sur l'orientation des développements microbiens (MONIN, 1983). Un pH ultime élevé favorise le développement de bactéries putréfiantes et freine la capacité de pénétration du sel dans la viande (GOUTEFONGEA et al., 1978). En raison de leur pH ultime plus élevé, les muscles riches en fibres lentes sont plus exposés aux proliférations bactériennes néfastes.

3.4. Qualité nutritionnelle

La viande de porc est une source de protéines et d'acides gras polyinsaturés essentiels. Toutefois, ces dernières molécules favorisent le rancissement des lipides. En conséquence, la recherche d'une bonne qualité nutritionnelle par augmentation de la teneur en acides gras polyinsaturés, à priori meilleurs pour la santé que les acides gras saturés, s'oppose aux qualités technologiques et organoleptiques de ces produits. Par ailleurs, cette source potentielle d'acides gras polyinsaturés pourrait disparaître au cours de la cuisson. Compte tenu des nombreux inconvénients liés à la présence d'acides gras insaturés, il semble peu astucieux de vouloir augmenter leur teneur dans la viande. En effet, l'être humain peut trouver ces composés en grande quantité dans d'autres sources alimentaires telles que les huiles végétales.

4. INFLUENCE DES FACTEURS D'ÉLEVAGE SUR LA QUALITÉ DE LA VIANDE DE PORC

Ce chapitre traite de l'effet de différents facteurs d'élevage sur les caractéristiques du tissu musculaire et la qualité de la viande. Deux composantes retiendront principalement notre attention, les lipides intramusculaires et les fibres musculaires.

4.1. Influence de l'âge, du poids d'abattage et de l'alimentation

4.1.1. Lipides intramusculaires

Tableau 7 - Effets de l'âge, du poids et du mode d'alimentation sur la teneur en lipides intramusculaires du muscle long dorsal chez des porcs (Large White x Landrace) x Duroc

Poids vif à l'abattage	**100 kg**		**130 kg**	
Âge à l'abattage	161 j	187 j	211 j	241 j
Mode d'alimentation	à volonté	restreint	à volonté	restreint
Teneur en lipides intramusculaires (%)	2,32	1,92	2,88	1,92

D'après CANDEK-POTOKAR et al., 1995.

De tous les dépôts adipeux de l'organisme, le tissu adipeux intramusculaire est celui qui se met en place le plus tardivement (HENRY, 1977), avec des différences de précocité selon les muscles (REMACLE et al., 1993.). D'une façon générale, la teneur en lipides du muscle s'accroît avec l'âge et le poids des animaux (LAWRIE et al., 1963; ALLEN et al., 1967; MALMFORS et al., 1978; DESMOULIN et al., 1983; CANDEK-POTOKAR et al., 1995). Ainsi, CANDEK-POTOKAR et al. (1995) montrent que la teneur en lipides du muscle *Longissimus* augmente avec le poids, que les animaux soient restreints ou nourris à volonté (tableau 7). Cependant, à poids égal, l'augmentation de l'âge à l'abattage consécutif à la restriction alimentaire se traduit par une réduction de la teneur en lipides intramusculaires (CANDEK-POTOKAR et al., 1995) (tableau 7). Une augmentation du taux de lipides intramusculaires avec l'intensité d'alimentation pendant la période d'engraissement a également été rapportée par d'autres auteurs (SECONDI et al., 1992; SEEWER et PRABUCKI, 1993). A l'opposé, BERGE et al. (1991) ne constatent aucun effet de l'âge à l'abattage (189 vs 206 j)) sur les teneurs en matière sèche, pigment, collagène et lipides du muscle *Longissimus*. Dans toutes ces expériences, il est souvent difficile de discerner les effets respectifs de l'âge, du poids et du niveau d'alimentation. Le fait que la teneur en lipides intramusculaires varie toujours dans le même sens que l'adiposité corporelle pour un génotype donné suggère qu'il est à priori difficile d'augmenter le taux de lipides intramusculaires tout en réduisant l'adiposité globale de la carcasse seulement par manipulation de l'âge, du poids et du niveau alimentaire. En revanche, les données obtenues

sur divers types génétiques et l'héritabilité élevée du taux de lipides intramusculaires laissent penser que la disjonction entre taux de lipides intramusculaires et adiposité corporelle est possible par la sélection génétique. L'augmentation du taux de lipides intramusculaires observée pendant la croissance s'accompagne d'une diminution du degré d'insaturation des triglycérides intramusculaires (LAZO et al., 1994), donc d'une meilleure aptitude à la conservation des viandes.

D'une façon générale, l'effet de l'équilibre entre les apports en énergie, protéines et acides aminés par rapport aux besoins de l'animal sur le taux de lipides intramusculaires va de paire avec son influence sur l'adiposité de la carcasse. Ainsi, pour un niveau énergétique donné, une augmentation de la teneur en protéines du régime se traduit par une réduction de l'adiposité corporelle (HENRY, 1977) et une réduction de la teneur en lipides intramusculaires (CROMWELL et al., 1978; BERESKIN et al., 1978; ESSEN-GUSTAVSSON et al., 1992; ESSEN-GUSTAVSSON et al., 1994). Selon DESMOULIN et al. (1983), une alimentation à base de maïs conduit à un taux de lipides dans le *Longissimus* de 2.08%, contre 1.76% avec une alimentation à base d'orge, moins énergétique que l'alimentation à base de maïs. Les effets de la nature du régime alimentaire sur la qualité organoleptique ont été peu étudiés.

La nature des lipides ingérés influence fortement la composition en acides gras des lipides intramusculaires (BROOKS, 1971; GIRARD et al., 1988; MOUROT et al., 1991). Ainsi, MOUROT et al. (1991) trouvent un coefficient de corrélation de r=0.86 entre la teneur en acide linoléique du régime et le taux de cet acide gras dans les lipides du muscle demi-membraneux. En conséquence, la nature des acides gras ingérés influence l'aptitude à la conservation du tissu musculaire.

4.1.2. Fibres musculaires

D'une façon générale, le pourcentage de fibres lentes (βR) augmente jusque 20 kg de poids vif (2 mois) puis reste constant jusqu'aux poids commerciaux d'abattage traditionnellement rencontrés (LEFAUCHEUR et VIGNERON, 1986; ONO et al., 1995). En revanche, le pourcentage de fibres αW augmente jusque 60 kg au détriment des fibres αR, puis reste constant. Ce sont les plus grosses fibres αR, généralement situées à la périphérie des îlots, qui passent dans la catégorie des αW par un phénomène de dilution mitochondriale. Le diamètre des trois types de fibres augmente jusqu'au poids commercial d'abattage, celui des fibres αW étant en permanence supérieur au diamètre des fibres βR et αR. Peu d'études portent sur les effets de l'âge et du poids des animaux sur les caractéristiques histologiques des fibres autour du poids commercial d'abattage. Une étude rapportée par LEFAUCHEUR (1983) compare les caractéristiques histologiques du muscle *Longissimus* chez des animaux nourris à volonté (lot H) ou rationnés à 70% du niveau à volonté (lot R) entre le sevrage et 100 kg de poids vif. Les animaux des lots H et R étaient abattus à 156 et 196 jours d'âge, respectivement. Les résultats mettent en évidence un poids du muscle *Longissimus* supérieur dans le lot R (2384 vs 2158g, $P < 0.01$) en raison d'une hypertrophie des fibres βR (+25%) et αW (+15%). En revanche, aucun effet n'a été mis en évidence sur les pourcentages des types de fibres ou les activités enzymatiques d'enzymes marqueurs des métabolismes oxydatifs et glycolytiques. HARRISON et al. (1993a) ont étudié l'influence d'une restriction alimentaire (-50%) entre 3 et 7 semaines d'âge sur la typologie des fibres musculaires de porcelets élevés à 26°C et abattus à 7 semaines. Ils mettent en évidence une augmentation du pourcentage de fibres lentes (type I) dans le muscle *Rhomboideus*, un muscle rouge, des animaux rationnés (50 vs 35%). Aucune modification n'était observée dans le muscle *Longissimus*.

La nature du régime alimentaire, en termes d'apports en énergie, protéines et acides aminés par rapport aux besoins de l'animal, joue un rôle essentiel sur la croissance musculaire. Le poids d'un muscle dépend du nombre, de la longueur et de l'aire de section transversale de ses fibres. Chez le porc, il est admis que le nombre total de fibres est définitivement fixé vers 90 jours de gestation (STICKLAND et GOLDSPINK, 1973). En conséquence, tout facteur qui augmente la quantité de muscle pendant la période postnatale agit en augmentant la taille des fibres préexistantes. Paradoxalement, les différentes études rapportées dans la littérature ne mettent en évidence aucune corrélation entre le diamètre des fibres musculaires et la quantité de muscle (LIVINGSTON et al., 1966; MILLER, 1970; BADER, 1995). Cette incohérence apparente s'explique par le fait que le potentiel de croissance musculaire du porc est en premier lieu déterminé par le nombre total de fibres (NTF) musculaires (LUFF et GOLDSPINK, 1970; MILLER et al., 1975; DWYER et al., 1993), une caractéristique hautement variable entre animaux. Cette variabilité individuelle du NTF peut complètement masquer les effets d'un traitement sur le diamètre des fibres musculaires si elle n'est pas prise en compte lors de la mise en lots des animaux. Il y a également indépendance entre le diamètre des fibres et l'aire de section du muscle *Longissimus*, cette dernière étant uniquement dépendante de la croissance en longueur des fibres et de leur inclinaison par rapport à l'axe d'allongement de l'animal (environ 45° à 100 kg PV). En revanche, la croissance en longueur du muscle *Longissimus* est surtout dépendante de la croissance en diamètre des fibres. Aucun effet de la nature du régime alimentaire sur les caractéristiques contractiles et métaboliques des fibres n'a été rapporté (ESSEN-GUSTAVSSON et al., 1992).

Une étude réalisée chez la truie gestante montre qu'un doublement de la ration alimentaire entre le 25è et 55è jour de gestation permettrait d'augmenter le nombre total de fibres musculaires dans le muscle *Semitendinosus* des porcelets (DWYER et al., 1994), une caractéristique définitivement fixée pendant la période foetale. Cette possibilité est intéressante dans l'optique d'une production en quantité d'une viande de qualité.

4.1.3. Qualité de la viande

L'ensemble des études montre qu'une augmentation du poids d'abattage jusqu'aux environs de 120-130 kg ne

modifie ni la qualité technologique (DESMOULIN et al., 1983; CASTAING, 1991), ni les mesures de force de cisaillement du muscle *Longissimus* (MALMFORS et al., 1978). Une amélioration de la qualité organoleptique est parfois signalée mais reste très limitée (DESMOULIN et al., 1983; CASTAING, 1991). L'absence d'effet du poids vif sur la flaveur et la jutosité pourrait résulter du fait que le taux de lipides intramusculaires serait déjà supérieur au seuil de 2.5% (SELLIER, 1988), teneur au delà de laquelle il n'y a plus d'amélioration de ces qualités. D'après ELLIS et McKEITH (1995), plusieurs études rapportent un effet négatif d'une restriction alimentaire par rapport au niveau à volonté sur la tendreté et la jutosité de la viande d'animaux abattus au même poids vif. Ces caractéristiques organoleptiques semblent donc liées positivement à la vitesse de croissance de l'animal. Concernant la qualité technologique, DUMONT et al. (1974) et CROMWELL et al. (1978) n'observent aucun effet du niveau d'énergie du régime.

Aucun effet de la nature du régime alimentaire (protéine/énergie) sur la cinétique d'évolution post-mortem du pH, le PRE et le rendement technologique n'a été mis en évidence (DESMOULIN et al., 1983; CASTAING et al., 1995). Selon ESSEN-GUSTAVSSON et al. (1992), une augmentation de la teneur en protéines du régime n'influence ni la perte en eau, ni la couleur, mais augmente la force de cisaillement du muscle. L'augmentation du taux protéique de la ration pourrait altérer certains aspects de la qualité organoleptique (flaveur, jutosité) via la réduction du taux de lipides intramusculaires. Enfin, la nature des acides gras ingérés, qui influence fortement la composition des lipides intramusculaires, intervient sur l'aptitude à la conservation des viandes.

4.2. Effet de divers additifs alimentaires

4.2.1. Les béta-agonistes

Les béta-agonistes sont des molécules utilisées en thérapie animale et humaine. Administrés à l'animal sain par incorporation dans l'aliment (0.5 ppm), ces composés freinent l'appétit et permettent d'orienter les nutriments alimentaires vers les tissus maigres au détriment des tissus gras (DALRYMPLE et al., 1984; JONES et al., 1985; MOSER et al., 1986; HEDRICK et al., 1991). Cet effet est d'autant plus marqué que les animaux sont prédisposés à déposer du gras (HEDRICK et al., 1991). Rappelons que la législation actuelle n'autorise pas l'utilisation de ces substances pour la production de viande.
Les béta-agonistes entraînent une réduction de la teneur en lipides intramusculaires, parallèlement à la réduction globale de l'adiposité des carcasses (HEDRICK et al., 1991), et une augmentation du poids des muscles (JONES et al., 1985; MOSER et al., 1986; HEDRICK et al., 1991). Contrairement à l'agneau chez qui l'hypertrophie musculaire est clairement liée a une hypertrophie sélective des fibres de type II (KIM et al., 1986), aucune donnée claire n'est disponible chez le porc. Selon OKSBJERG et al. (1990), l'incorporation de salbutamol dans le régime entraînerait une augmentation de la surface relative occupée par les fibres IIB au détriment des fibres IIA dans le muscle *Longissimus*, la surface relative des fibres de type I restant stable. Ces substances provoqueraient donc une conversion de fibres oxydo-glycolytiques en fibres glycolytiques (ESSEN-GUSTAVSSON, 1993).
Concernant la qualité de la viande, l'incorporation de béta-agonistes dans l'alimentation entraîne une légère diminution de la tendreté (JONES et al., 1985; HEDRICK et al., 1991), toutefois cet effet est beaucoup plus limité que chez l'ovin. Des expériences réalisées chez le rat suggèrent que le clenbutérol ralentit la dégradation protéique au niveau musculaire sans modifier la synthèse protéique (REEDS et al., 1986). Cette réduction de l'activité protéolytique serait à l'origine d'un ralentissement de la vitesse de maturation post-mortem des viandes qui pourrait expliquer la baisse de tendreté chez les animaux traités (TARRANT, 1993). Les conséquences de ce phénomène sur la tendreté seraient beaucoup moins importantes chez le porc que chez les bovins et ovins, en raison de la vitesse de maturation beaucoup plus élevée des viandes de porc. Aucune modification de la couleur n'a été rapportée chez le porc (JONES et al., 1985; MOSER et al., 1986).

4.2.2. La vitamine E

Plusieurs études montrent que l'incorporation de vitamine E dans l'alimentation du porc permet de réduire l'oxydation des acides gras insaturés de la viande pendant la conservation, donc de ralentir le rancissement (KIESet al., 1991; MOUROT et al., 1991; MOUROT et al., 1992a; DIRINCK et DE WINNE, 1995). D'autre part, une analyse sensorielle met en évidence une différence significative en faveur des viandes d'animaux supplémentés pour le goût frais, la tendreté et la jutosité (DIRINCK et DE WINNE, 1995). La couleur des viandes ne serait pas modifiée par la supplémentation en vitamine E des animaux (DIRINCK et DE WINNE, 1995). Selon MONIN (1983), une supplémentation en vitamine E de la ration alimentaire n'aurait pas d'effet sur la qualité technologique des viandes. Par contre, CHEAH et al (1995) mettent en évidence une diminution des pertes en eau de 54% dans le muscle *Longissimus* chez des animaux supplémentés en vitamine E.

4.2.3. La vitamine C

Outre une légère amélioration de la vitesse de croissance et une diminution de l'indice de consommation, la supplémentation de la ration en vitamine C permet une augmentation significative du pH ultime, du rendement technologique mesuré par la méthode Napole, et une amélioration de la couleur (MOUROT et al., 1992b). Ces améliorations pourraient résulter d'un état de stress moins grand chez les animaux traités, en accord avec une réduction du taux de cortisol circulant (MOUROT et al., 1992b).

4.2.4. Le glycérol

Sans modifier les performances de croissance, l'incorporation de glycérol au taux de 5% dans l'alimentation du porc diminue les pertes en eau au ressuyage sur les muscles long dor-

sal et demi-menbraneux, et réduit les pertes à la cuisson du muscle demi-membraneux (MOUROT et al., 1993). Ces effets améliorateurs sur la rétention en eau ont été confirmés par une augmentation du rendement de fabrication du jambon cuit de 2% chez les animaux traités (CERNEAU et al., 1994).

D'après ces résultats, la combinaison de l'incorporation de vitamine E, vitamine C et glycérol sur les caractéristiques qualitatives des viandes mériterait d'être étudiée.

4.3. Influence du type sexuel

4.3.1. Lipides intramusculaires

Les teneurs en lipides intramusculaires des femelles et des mâles entiers sont équivalentes (BARTON-GADE, 1987; GIRARD et al., 1988; GUÉBLEZ et al., 1993a) et inférieures à celle des mâles castrés (MOODY et al., 1969; MALMFORS et al., 1978; BARTON-GADE, 1987; GIRARD et al., 1988; GUEBLEZ et al., 1993a). Là encore il y a parallélisme entre la teneur plus élevée en lipides intramusculaires des mâles castrés et leur adiposité corporelle plus importante. Cette augmentation du taux de lipides chez les animaux castrés s'accompagne d'une diminution du degré d'insaturation des lipides, donc d'une amélioration de l'aptitude à la conservation (ALLEN et al., 1967; MALMFORS et al., 1978; GIRARD et al., 1988).

4.3.2. Fibres musculaires

Plusieurs études rapportent une absence d'effet du sexe sur le nombre total de fibres musculaires chez le porc (STAUN, 1963; STICKLAND et GOLDSPINK, 1975). En conséquence, la croissance musculaire plus élevée des mâles entiers et des femelles que des castrats devrait résulter d'un diamètre de fibres supérieur chez les mâles entiers et femelles, or les données bibliographiques sont très controversées à ce sujet (SOSNICKI, 1986). Contrairement au bovin chez qui la castration entraîne une augmentation du pourcentage de fibres αW au détriment des fibres αR (YOUNG et BASS, 1984; SEIDEMAN, 1986), aucune différence de composition en fibres du muscle *Longissimus* n'a été observée entre les trois sexes chez le porc (ENDER, 1995). L'absence d'effet dans le *Longissimus* n'exclut pas la possibilité d'un polymorphisme sexuel dans d'autres types de muscle.

4.3.3. Qualité de la viande

A part quelques études qui mettent en évidence une réflectance plus élevée chez les castrats que les femelles (RENOU et MONIN, 1985; JOHANSSON et al., 1987), les autres critères de qualité de la viande ne diffèrent pas de manière significative entre les deux sexes, malgré une teneur en lipides intramusculaires supérieure chez les mâles castrés. En revanche, les viandes de porcs mâles entiers seraient plus dures (BONNEAU et DESMOULIN, 1979; BARTON-GADE, 1987), et auraient un rendement technologique légèrement inférieur (GUEBLEZ et al., 1993a). Une autre différence concerne le pH ultime des muscles rouges qui serait plus faible chez les mâles entiers, en raison d'une mobilisation du glycogène avant l'abattage consécutive à une excitation physique plus importante (LUNDSTROM et al., 1987). Cependant, le principal problème lié à l'emploi des viandes de porcs mâles entiers reste celui de l'odeur sexuelle.

4.4. Influence de traitements hormonaux

L'administration exogène de somatotropine porcine (pST) par injection ou sous forme d'implants au cours de la croissance améliore l'efficacité alimentaire et diminue l'adiposité corporelle au profit du muscle (BONNEAU et al., 1989; LEFAUCHEUR et al., 1992b; REHFELDT et ENDER, 1993; OKSBJERG et al., 1995). Les animaux réagissent d'autant plus qu'ils sont prédisposés à déposer des lipides (BONNEAU et al., 1989; BONNEAU et al., 1990; BIDANEL et al., 1990). Les poids des muscles à haute valeur marchande (longe, jambon) sont augmentés (LEFAUCHEUR et al., 1992b; REHFELDT et ENDER, 1993).
La réduction de l'adiposité globale des carcasses chez les animaux traités s'accompagne d'une réduction de 20 à 50% de la teneur en lipides intramusculaires (BONNEAU et al., 1989; LEFAUCHEUR et al., 1992b; OKSBJERG et al., 1995), les triglycérides étant seuls affectés (MOUROT et al., 1992c). Le taux d'acides gras polyinsaturés est augmenté, en particulier dans les muscles à faible teneur en lipides (MOUROT et al., 1992c; OKSBJERG et al., 1995).
L'administration de somatotropine porcine entraîne une hypertrophie généralisée de toutes les fibres musculaires dans les muscles économiquement importants, sans modification des pourcentages numériques et des surfaces relatives de chaque type de fibres (SOLOMON et al., 1990; LEFAUCHEUR et al., 1992b; WEIKARD et al., 1992; REHFELDT et ENDER, 1993; OKSBJERG et al., 1995).

Afin d'étudier les effets de la pST sur le développement du foetus, REHFELDT et al. (1993) ont administré de la pST à des truies pendant la gestation. Injectée en début de gestation (10è au 24è jour), la pST provoque une augmentation de 27% du nombre total de fibres dans le muscle *Semitendinosus* des porcelets à la naissance. Un traitement en fin de gestation augmente le poids de naissance des porcelets. L'augmentation du nombre total de fibres musculaires est à priori intéressante dans l'optique d'une production de viande de porc de qualité.

Un traitement des animaux à la pST n'influence pas la cinétique d'évolution post-mortem du pH (BONNEAU et al., 1989; LEFAUCHEUR et al., 1992b; MOUROT et al., 1992c; OKSBJERG et al., 1995). Les mesures physiques de qualité des viandes (forces de cisaillement, pertes d'égouttage et de cuisson, couleur) ne sont généralement pas modifiées (BONNEAU et al., 1989; LEFAUCHEUR et al., 1992b; OKSBJERG et al., 1995). OKSBJERG et al. (1995) n'ont pas noté d'effet significatif de la pST sur les qualités sensorielles de la viande (couleur, flaveur, tendreté, jutosité et acceptabilité globale). Cependant, plusieurs auteurs rapportent des réductions légères mais significatives de la tendreté (BEERMAN et al., 1988; EVOK et al., 1988). L'administration de pST à des animaux en croissance ne semble donc pas entraîner de défauts majeurs de qualité du tissu maigre.

4.5 Influence des facteurs environnementaux

4.5.1. Influence de la température d'élevage

LEFAUCHEUR et al. (1991) ont étudié les effets de la température d'élevage (12 vs 28°C) entre 8 et 92 kg de poids vif sur les caractéristiques des muscles *Semispinalis* (muscle rouge) et *Longissimus* (muscle blanc) et certains critères de qualité de la viande chez des porcs Large White abattus à même âge et même poids (160 jours, 92 kg). Ces auteurs rapportent une augmentation du métabolisme oxydatif musculaire, particulièrement dans le *Semispinalis*, et du métabolisme glycolytique dans le *Longissimus* chez les animaux élevés à 12°C. Au plan histologique, le pourcentage des fibres lentes (type I) est augmenté (43 vs 56%) et le diamètre de tous les types de fibres est diminué dans le muscle *Semispinalis* des animaux élevés à 12°C, ces caractéristiques ne variant pas dans le muscle *Longissimus*. Une augmentation de la teneur en lipides totaux est observée à 12°C dans le muscle *Semispinalis* (6.7 vs 8.2%, $p<0.01$). Bien qu'allant dans ce sens, les différences n'étaient pas significatives dans le Longissimus (1.5 vs 1.7%). Concernant les critères de qualité de viande, le traitement au froid provoque une chute de pH post-mortem plus rapide (pH 45 = 6.04 vs 6.32), un potentiel glycolytique plus élevé et un pH ultime plus bas dans le *Longissimus*. Une faible température d'élevage ne semble donc pas favorable pour la qualité de la viande. En effet :

1. la plus forte stimulation du métabolisme oxydatif dans les muscles rouges que blancs pourrait accentuer le problème des viandes bicolores,
2. l'augmentation de la teneur en lipides dans les muscles rouges, déjà riches en lipides, peut être excessive
3. l'augmentation de la vitesse de chute du pH dans le muscle *Longissimus* peut altérer le pouvoir de rétention en eau de la viande.

Une autre étude réalisée entre 4 et 8 semaines d'âge montre qu'une faible température (8°C vs 23°C) augmente le pourcentage de fibres de type I dans le muscle *Rhomboïdeus* (muscle rouge), et entraîne une conversion de fibres IIB vers le type IIA dans le *Longissimus* (HERPIN et LEFAUCHEUR, 1992). Ces résultats ont été confirmés par HARRISON et al. (1993b). Des expériences complémentaires seraient nécessaires pour savoir si ces modifications persistent jusqu'au poids commercial d'abattage, et dans ce cas si la qualité de la viande est affectée.

4.5.2. Influence de l'exercice et du mode d'élevage

Une expérience réalisée avec des porcs Landrace suédois et Yorkshire montre qu'un exercice (1.2 à 2.5 m/s pendant 10 min, 5 jours/semaine pendant 9 semaines, puis 2 fois 10 min pendant 9 semaines) entraîne une augmentation du métabolisme oxydatif dans le muscle *Gluteus*, sans modification du métabolisme glycolytique (ESSEN-GUSTAVSSON et LINDHOLM, 1983). Aucune modification n'est observée dans le muscle *Longissimus*. Par ailleurs, WEISS et al. (1975) n'ont pas mis en évidence d'effet de l'exercice (1.6 km/h, 1 heure/jour, 5 jours/semaine pendant 70 jours) sur l'aire de section transversale, la couleur et la teneur en lipides du muscle *Longissimus*. D'autres résultats obtenus sur le muscle *Biceps femoris* montrent que l'exercice entraîne une conversion de fibres αW vers le type αR, une diminution de la teneur en lipides totaux, une augmentation du taux de pigment et de la stabilité du collagène à la chaleur (ENFALT et al., 1993; PETERSEN et al., 1994; ESSEN-GUSTAVSSON, 1995). Ces modifications pourraient conduire, comme dans le cas d'une restriction alimentaire, à une baisse de tendreté et de jutosité des muscles impliqués dans l'exercice. Aucune de ces modifications n'étaient observées dans le muscle *Longissimus* (HAWRYSH et al., 1974; PETERSEN et al., 1994). L'activité physique pourrait également entraîner une augmentation de la densité capillaire dans les muscles, comme cela a été montré dans les espèces de laboratoire (HUDLICKA et TYLER, 1980).
Peu d'études portent sur l'influence du système d'élevage sur la qualité de la viande. La comparaison d'un système classique d'élevage en intérieur (0,9m2/animal) avec un système d'élevage en extérieur (50m2/animal) ne met en évidence aucun effet sur la teneur en lipides, la couleur et le pH ultime du muscle *Longissimus* (GANDEMER et al., 1990). En revanche, des diminutions du pH ultime et du PRE ont été observées dans le muscle long vaste des animaux élevés à l'extérieur. Aucune différence de qualité sensorielle des viandes (tendreté, jutosité, flaveur) n'a été observée entre les deux systèmes d'élevage.

CONCLUSION

Les caractéristiques chimiques et structurelles des muscles ont des conséquences importantes sur les qualités technologiques, organoleptiques et hygiéniques des viandes. Les effets du taux de lipides intramusculaires sur la flaveur et la jutosité sont bien établis. En revanche, les influences des caractéristiques des fibres musculaires (type, diamètre, nombre total de fibres) sur les qualités ultétrieures de la fraction maigre de la viande ne sont pas toujours très bien connues, ou mériteraient parfois d'être confirmées ou infirmées. Les facteurs d'élevage peuvent agir sur la teneur en lipides intramusculaires, la proportion et/ou la taille des différents types de fibres musculaires. De façon générale, toute technique d'élevage permettant de réduire l'adiposité des carcasses se traduit par une diminution de la teneur en lipides intramusculaires, avec des répercussions négatives probables sur la flaveur et la jutosité des viandes. Un moyen permettant à priori de concilier les aspects quantitatifs et qualitatifs de la production de viande porcine pourrait être la recherche d'un nombre total élevé de fibres musculaires, ce qui maintiendrait un bon potentiel de croissance musculaire tout en limitant le diamètre des fibres, souvent dénoncé comme détériorateur de la qualité de la viande. Cependant, le choix d'unestratégie nécessite encore la réalisation d'un certain nombre de travaux pour :

1. améliorer la précision du typage musculaire,
2. mieux connaître les relations entre le typage et la qualité
3. mieux comprendre le développement du tissu musculaire et ses facteurs de variation.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les bases scientifiques des variations de composition des tissus adipeux et leurs conséquences sur la qualité des produits sont maintenant bien établies. Parmi les facteurs d'élevage, l'alimentation et en particulier la nature des acides gras ingérés, semblent avoir des effets considérables sur la qualité technologique et organoleptique des tissus adipeux. Des moyens simples, efficaces et facilement applicables, ont été mis en évidence pour remédier aux défauts de qualité de ces tissus. La maîtrise de la qualité des tissus adipeux est donc maintenant accessible, et ne dépend plus que des importances relatives accordées au sein de la filière porcine à la réduction des coûts de production, et à la qualité de cette production.

À l'inverse, les relations entre les caractéristiques biologiques des tissus musculaires et la qualité de la viande sont encore assez floues. Beaucoup de connaissances restent à acquérir dans ce domaine afin d'identifier des voies potentielles d'amélioration de la qualité du tissu maigre, et également de réduction de la variabilité de cette qualité tout en maintenant de bonnes performances de croissance. Lorsque seront résolus les principaux problèmes de qualité liés aux anomalies génétiques ou aux conditions d'abattage, l'amélioration de la qualité des viandes et produits de la filière porcine nécessitera de mener des études impliquant un contrôle des facteurs d'élevage, une bonne connaisance de la biologie du développement musculaire (de la conception à l'abattage), une maîtrise des conditions pré-abattage et d'abattage et des mesures précises et objectives de la qualité de la viande. La réalisation de ce genre d'étude suppose un investissement scientifique pour améliorer les connaissances de base, et une communication entre les divers intervenants de la filière (production, abattage, transformation, marketing et consommateurs).

Le développement de méthodes de production alternatives (pors "fermiers", "labels", "biologiques",...) est un fait important à prendre en considération. Ces productions reposent sur la création d'une image de marque qui englobe des notions de bien être pour l'animal et de qualité des produits. Cependant, la qualité supérieure de ces viandes n'est pas toujours objectivement démontrée, et il sera nécessaire d'élaborer un cahier des charges définissant le type d'animal requis, son mode d'élevage et d'abattage, et la technologie post-abattage qui permettront d'accéder à une qualité régulière et réellement supérieure des viandes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLEN E., BRAY R.W., CASSENS R.G., 1967. J. Food Sci. 32, 26-29.
- ANDERSON D.B., KAUFFMAN R.G., KASTENSCHMIDT L.L., 1972. J. Lipid Res. 13(5), 593-599.
- ASHMORE C.R., DOERR L., 1971. Exp. Neurol. 30, 431-446.
- BACOU F., VIGNERON P., 1988. Reprod. Nutr. Develop. 28(6 A), 1387-1453.
- BADER R., 1995. Zbl. Vet. A, 29, 443-457.
- BARTON-GADE P.A., 1987. Livest. Prod. Sci. 16, 187-196.
- BEECHER G.R., CASSENS R.G., HOEKSTRA W.G., BRISKEY E.J., 1965. J. Food Sci. 30, 969-976.
- BEERMAN D.H., ARMBRUSTER G., BOYD R.D., RONEKER K., FAGIN K.D., 1988. J. Anim. Sci. 66 Suppl. 1, 153-
- BERESKIN B., ROUGH D.K., DAVEY R.J., 1978. J. Anim. Sci. 47(2), 389-397.
- BERGE P., TOURAILLE C., BOCCARD R., FOURNIER R., BAYLE M.C., 1991. 37th International Congress Meat Science and Technology, 1-6 September 1991, Kulmbach, 52-55.
- BIDANEL J.P., BONNEAU M., GRUAND J., 1990. Journées Rech. Porcine en France, 22, 69-76.
- BONNEAU M., DESMOULIN B., 1979. Ann. Zootechn. 28(2), 185-190.
- BONNEAU M., DESMOULIN B., 1982. Journées Rech. Porcine en France, 14, 11-32.
- BONNEAU M., LEFAUCHEUR L., MOUROT J., 1989. Journées Rech. Porcine en France, 21, 31-38.
- BONNEAU M., 1990. Journées Rech. Porcine en France, 22, 51-68.
- BONNEAU M., MOUROT J., NOBLET J., LEFAUCHEUR L., BIDANEL J.P., 1990. Symposium sur le porc chinois, Toulouse, 5-6 Juillet 1990, 199-213.
- BROOKS C.C., 1971. J. Anim. Sci. 33(6), 1224-1231.
- BUCHARLES C., 1987. Influence de la nature des lipides ingérés et de la localisation anatomique des gras de porc sur leur composition. Conséquences sur leur aptitude à la transformation en saucisson sec. Thèse de doctorat, Université de Clermont II.
- CAMARA M., MOUROT J., CHEROT P., MOUNIER A., 1994. Journées Rech. Porcine en France, 26, 163-168.
- CAMERON N.D., WARRIS P.D., PORTER S.J., ENSER M.B., 1990. Meat Sci. 27, 227-247.
- CAMOES J., MOUROT J., KOUBA M., CHEROT P., MOUNIER A., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 291-296.
- CANDEK-POTOKAR M., ZLENDER B., BONNEAU M., 1995. 41th International Congress Meat Science and Technology, 1995, San Antonio,USA.
- CARPENTER Z.L., KAUFFMAN R.G., BRAY R.W., BRISKEY E.J., WECKEL K.G., 1966. J. Food Sci. 28, 467-471.
- CASTAING J., 1991. Journées Rech. Porcine en France, 23, 339-348.
- CASTAING J., CAZETTE J.P., COUDURE R., PEYHORGUE A., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 297-306.
- CERNEAU P., MOUROT J., PEYRONNET C., 1994. Journées Rech. Porcine en France, 26, 193-198.
- CHEAH K.S., CHEAH A.M., KRAUSGRILL D.I., 1995. Meat Sci. 39, 255-264.
- CHORA M.J., MOUROT J., COUESPEL B., ECOLAN P., 1995. 2nd Dummerstorf Muscle Workshop Muscle Growth and Meat Quality, 17-19 May 1995, Rostock, 160.

- COOKE R., LODGE G.A., LEWIS D., 1972. Anim. Prod. 14, 35-46.
- COURBOULAY V., MOUROT J., 1995. 46th Annual Meeting of European Association for Animal Production, Prague, Czech Republic, 4-7 September 1995, 6p.
- CROMWELL G.L., HAYS V.W., TRUJILLO-FIGUEROA V., KEMP J.D., 1978. J. Anim. Sci. 47(2), 505-513.
- DALRYMPLE R.H., BAKER P.K., DOSCHER M.E., INGLE D.L., PANKAVICH J.A., RICKS C.A., 1984. J. Anim. Sci. 59 Suppl. 1, 212.
- DAVEY R.J., BERESKIN B., 1978. J. Anim. Sci. 46(4), 992-1000.
- DAVIS G.W., SMITH G.C., CARPENTER Z.L., CROSS H.R., 1975. J. Anim. Sci. 41(5), 1305-1313.
- DESMOULIN B., 1969. Journées Rech. Porcine en France, 1, 67-72.
- DESMOULIN B., GIRARD J.-P., BONNEAU M., FROUIN A., 1983. Journées Rech. Porcine en France, 15, 177-192.
- DIRINCK P., DE WINNE A., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 323-328.
- DUMONT B.L., 1974. Journées Rech. Porcine en France, 6, 233-239.
- DWYER C.M., FLETCHER J.M., STICKLAND N.C., 1993. J. Anim. Sci. 71, 3339-3343.
- DWYER C.M., STICKLAND N.C., FLETCHER J.M., 1994. J. Anim. Sci. 72, 911-917.
- ELLIS M., MCKEITH F.K., 1995. Outlook on Agriculture, 24(1), 17-22.
- ENDER K., 1995. 2nd Dummerstorf Muscle-Workshop Muscle Growth and meat Quality, 17-19 May, Rostock, 58-64.
- ENFALT A.C., LUNDSTROM K., HANSSON I., KARLSSON A., ESSEN-GUSTAVSSON B., HAKANSSON J., 1993. Anim. Prod. 57, 127-135.
- ENSER M., 1983. Fat quality in lean pigs, Workshop in the CEC, 1983, Brüssels, 53-57.
- ESSEN-GUSTAVSSON B., LINDHOLM A., 1983. Fifth International Conference on Production Disease in Farm Animals, Uppsala, Sweden. 356-361.
- ESSEN-GUSTAVSSON B., FJELKNER-MODIG S., 1985. Meat Sci. 13, 33-47.
- ESSEN-GUSTAVSSON B., KARLSSON A., LUNDSTROM K., ENFALT A.C., 1992. 38th International Congress Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, France. 41-44.
- ESSEN-GUSTAVSSON B., 1993. In : "Pork quality : genetic and metabolic factors", Ed. Puolanne E., Demeyer D.I., Ruusunen M., and Ellis S. C.A.B. International, Wallingford, UK. 140-159.
- ESSEN-GUSTAVSSON B., KARLSSON A., LUNDSTROM K., ENFALT A.C., 1994. Meat Sci. 38, 269-277.
- ESSEN-GUSTAVSSON B., 1995. 2nd Dummerstorf Muscle-Workshop Muscle Growth and Meat Quality, 17-19 May 1995, Rostock, 65-76.
- EVOK M., ETHERTON T.D., CHUNG C.S., IVY R.E., 1988. J. Anim. Sci. 66, 1928-1941.
- FERNANDEZ X., TORNBERG E., 1992. Journées Rech. Porcine en France, 24, 65-70.
- FERNANDEZ X., MOUROT J., MOUNIER A., ECOLAN P., 1995. Meat Sci. (in press)
- FLANZY J., FRANCOIS A.C., RERAT A., 1970. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 10, 603-620.
- FULLER M.F., DUNCAN W.R.H., BOYNE A.W., 1974. J. Sci. Fd Agric. 25(205), 210.
- GANDEMER G., VIAU M., VENDRENNE P., CARITEZ J.-C., LEGAULT C., 1989. Journées Rech. Porcine en France, 21, 381-386.
- GANDEMER G., PICHOU D., BOUGUENNEC B., CARITEZ J.C., BERGE P., BRIAND E., LEGAULT C., 1990. Journées Rech. Porcine en France, 22, 101-110.
- GIRARD J.-P., BOUT J., SALORT D., 1988. Journées Rech. Porcine en France, 20, 255-278.
- GONTIER J.L., 1995. La qualité de la viande de porc. CAAA/AFTAA. Tours, 21-22 Juin 1995.
- GOUTEFONGEA R., GIRARD J.-P., JACQUET B., 1978. Journées Rech. Porcine en France, 10, 235-248.
- GREENLEAF J.K., OLSSON K.E., SALTIN B., 1995. Acta Physiol. Scand. Suppl.330, 86.
- GUÉBLEZ R., SELLIER P., FERNANDEZ X., RUNAVOT J.-P., 1993a. Journées Rech. Porcine en France, 25, 5-12.
- GUÉBLEZ R., SELLIER P., RUNAVOT J.-P., 1993b. Journées Rech. Porcine en France, 25, 23-28.
- HARRISON A.P., BURTON K.A., DAUNCEY M.J., 1993a. Proceedings of the Nutrition Society, 52(3), 298A.
- HARRISON A.P., BURTON K.A., DUCHAMP C., DAUNCEY M.J., 1993b. European Muscle Conference, 3-8 October 1993, 1p.
- HAWRYSH Z.J., MURRAY D.M., BOWLAND J.P., 1974. Can. J. Animal Sci. 54, 191-195.
- HEDRICK H.B., FENNEWALD K.J., BAILEY M.E., HEYMANN H., MAWHINNEY T.P., CHANG C.H., WALLACE D.H., 1991. 37th International Congress Meat Science and Technology, 1-6 September 1991, Kulmbach, 377-381.
- HENNING W., MOODY W., KEMP J., 1973. J. Anim. Sci. 36(6), 1063-1068.
- HENRY Y., 1977. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys. 17(5B), 923-952.
- HERPIN P., LEFAUCHEUR L., 1992. J. Thermal Biol. 17(4/5), 277-285.
- HOUBEN J.H., KROLL B., 1983. Fat quality in lean pigs, Workshop in the CEC, 1983, Brüssels, 15-26.
- HUDLICKA O., TYLER K.R., 1980. J. Physiol. 301, 10-11.
- JOHANSSON K., ANDERSON K., SIGVARDSSON J., 1987. Acta Agric. Scand. 37, 120-129.
- JONES R.W., EASTER R.A., MCKEITH F.K., DALRYMPLE R.H., MADDOCK H.M., BECHTEL P.J., 1985. J. Anim. Sci. 61, 905-913.
- JOUBERT D.M., 1956. J. Agric. Sci. 47, 59-102.
- KAUFFMAN R.G., CARPENTER Z.L., BRAY R.W., HOEKSTRA W.G., 1964. J. Food Sci. 29, 70-74.
- KIES A., GIRARD J.-P., HUTTER N., KIENER T., GRIMALDI K.L., DENOYER C., RAFAITIN Y., 1991. Journées Rech. Porcine en France, 23, 349-356.
- KIM Y.S., LEE Y.B., ASHMORE C.R., DALRYMPLE R.H., 1986. J. Anim. Sci. 63 Suppl. 1, 221.
- KLOSOWSKA D., KLOSOWSKI B., KORTZ J., 1975. Proceedings of the European meeting of meat research workers, 73-75.
- KRAUSS D., 1988. Mémoire D.E.A. de Sciences Agronomiques (Zootechnie), Institut National Polytechnique de Lorraine, 23p.
- LABORDE D., 1984. Etude de facteurs de variation du pouvoir de rétention d'eau de la viande de porc. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Clermont II, 99p.
- LABORDE D., TALMANT A., MONIN G., 1985. Reprod. Nutr. Develop. 25(4A), 619-628.
- LAWRIE R.A., POMEROY R.W., CUTHBERTSON A., 1963. J. Agric. Sci. 60, 195-209.
- LAZO A., GANDEMER G., VIAU M., RAMPON V., GRUAND J., LE JOSSEC P., CHEVILLON P., 1994. Journées Rech. Porcine en France, 26, 175-182.
- LE DIVIDICH J., NOBLET J., BIKAWA T., 1987. Livest. Prod. Sci. 17, 235-246.
- LEFAUCHEUR L. 1983. Mémoire D.E.A. "Sciences et Technologies pour les Industries de la Viande et des Produits Carnés", Université de Clermont II, 41p.
- LEFAUCHEUR L., VIGNERON P., 1986. Meat Sci. 16, 199-216.
- LEFAUCHEUR L., LE DIVIDICH J., MOUROT J., MONIN G., ECOLAN P., KRAUSS D., 1991. J. Anim. Sci. 69, 2844-2854.
- LEFAUCHEUR L., BUCHE P., ECOLAN P., LEMOING M., 1992a. Meat Sci. 32, 267-278.
- LEFAUCHEUR L., MISSOHOU A., ECOLAN P., MONIN G., BONNEAU M., 1992b. J. Anim. Sci. 70, 3401-3411.

- LESEIGNEUR A., DAVID E., GANDEMER G., 1989. Journées Rech. Porcine en France, 21, 393-398.
- LIVINGSTON D.M.S., BLAIR R., ENGLISH P.R., 1966. Anim. Prod. 8, 267-274.
- LUFF A.R., GOLDSPINK G., 1970. J. Anim. Sci. 30, 891-983.
- LUNDSTROM K., MALMFORS B., STERN S., 1987. Swedish J. Agric. Res. 17, 51-56.
- MALMFORS B., LUNDSTROM K., HANSSON I., 1978. Swedish J. Agric. Res. 8, 25-38.
- MERSMANN H.J., ALLEN C.D., STEFFEN D.G., BROWN L.G., DANIELSON D.M., 1976. J. Anim. Sci. 43(1), 140-150.
- MILLER L.R., 1970. Dissert. Abst. Int. B, 30, 4859.
- MILLER L.R., GARWOOD V.A., JUDGE M.D., 1975. J. Anim. Sci. 41(1), 66-77.
- MONIN G., 1983. Journées Rech. Porcine en France, 15, 151-176.
- MONIN G., SELLIER P., 1985. Meat Sci. 13, 49-63.
- MONIN G., MEJENES-QUIJANO A., TALMANT A., SELLIER P., 1987. Meat Sci. 20, 149-158.
- MONIN G., 1988. Journées Rech. Porcine en France, 20, 201-214.
- MOODY W.G., KAUFFMAN R.G., CASSENS R.G., 1969. J. Anim. Sci. 28, 746-749.
- MOSER R.L., DARYMPLE R.H., CORNELIUS S.G., PETTIGREW J.E., ALLEN C.E., 1986. J. Anim. Sci. 62, 21-26.
- MOTTRAM D.S., EDWARDS R.A., 1983. J. Sci. Food Agric, 34, 517-522.
- MOUROT J., CHAUVEL J., LE DENMAT M., MOUNIER A., PEINIAU P., 1991. Journées Rech. Porcine en France, 23, 357-364.
- MOUROT J., AUMAITRE A., MOUNIER A., 1992a. Sciences des Aliments, 12, 743-755.
- MOUROT J., AUMAITRE A., PEINIAU P., CHEVILLON P., 1992b. Journées Rech. Porcine en France, 24, 55-64.
- MOUROT J., BONNEAU M., CHARLOTIN P., LEFAUCHEUR L., 1992c. Meat Sci. 31, 219-227.
- MOUROT J., AUMAITRE A., MOUNIER A., PEINIAU P., FRANCOIS A., PEYRONNET C., JAMET J.P., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 29-36.
- NURNBERG K., 1995. 2nd Dummerstorf Muscle Workshop Muscle Growth and Meat Quality, 17-19 May 1995, Rostock, 149-157.
- OKSBJERG N., BLACKSHAU A., FERNANDEZ J., 1990. Meat Focus Int. , Pilot Issue, 50.
- OKSBJERG N., PETERSEN J.S., SORENSEN M.T., HENCKEL P., AGERGAARD N., 1995. Meat Sci., 39, 375-385.
- ONO Y., SOLOMON M.B., STEELE N.C., MARUYAMA K., 1995. J. Anim. Sci. 73, 2282-2288.
- PATTERSON R.L.S., 1968. J. Sci. Food Agric, 19, 31-38.
- PELLOIS H., RUNAVOT J.-P., 1991. Journées Rech. Porcine en France, 22, 369-376.
- PETERSEN J.S., BERGE P., HENCKEL P., OKSBJERG N., SORENSEN M.T., 1994. 40th International Congress Meat Science and Technology, 29 August - 2 September 1994, The Hague, Netherlands, S-IVA.18.
- RAMPON V., GANDEMER G., LE JOSSEC P., BOULARD J., 1994. Journées Rech. Porcine en France, 26, 157-162.
- REEDS P.J., HAY S.N., DARWOOD P.M., PALMER R.M., 1986. Brit. J. Nutr. 56, 249-258.
- REHFELDT C., ENDER K., 1993. Meat Sci. 34, 107-118.
- REHFELDT C., FIELDER I., WEIKARD R., KANITZ E., ENDER K., 1993. Biosci. Rep. 13(4), 213-219.
- REHFELDT C., NURNBERG K., ENDER K., 1994. Meat Sci. 36, 321-331.
- REMACLE C., HAUSER N., DEBROUX N., GENART C., 1993. Rapport d'activité. IRSIA, Centre d'étude du développement du tissu adipeux, 31p.
- RENAULT P., 1989. Rapport de B.T.S. "Industries Agro-Alimentaires et Biotechnologies", 22p.
- RENOU J.P., MONIN G., 1985. Meat Sci. 15, 225-233.
- RENOU J.P., CANIONI P., GATELLIER P., VALIN C., COZZONE P.J., 1986. Biochimie, 68, 543-554.
- SCHMIDT G.R., CASSENS R.G., BRISKEY E.J., 1970. J. Food Sci. 35, 571-573.
- SCOTT R.A., CORNELIUS S.G., MERSMANN H.J., 1981. J. Anim. Sci. 53(4), 977-981.
- SECONDI F., GANDEMER G., LUCIANI A., SANTUCCI P.M., CASABIANCA F., 1992. Journées Rech. Porcine en France, 24, 77-84.
- SEEWER G.J.F., PRABUCKI A.L., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 1-4.
- SEEWER G.J.F., PRABUCKI A.L., AFFENTRANGER P., GERWIG C., KUNZI N., SCHWORER D., 1994. Journées Rech. Porcine en France, 26, 169-174.
- SEIDEMAN S.C., 1986. J. Food Sci. 51, 273.
- SELLIER P., 1988. Journées Rech. Porcine en France, 20, 227-242.
- SINK J.D., WATKINS J.L., ZIEGLER J.H., MILLER R.C., 1964. J. Anim. Sci. 23, 121-125.
- SOLOMON M.B., CAMPBELL R.G., STEELE N.C., 1990. J. Anim. Sci. 68, 1176-1181.
- SOSNICKI A., 1986. J. Anim. Sci. 64, 1412-1418.
- STAUN H., 1963. Acta Agric. Scand. 13, 292-322.
- STICKLAND N.C., GOLDSPINK G., 1973. Anim. Prod. 16, 135-146.
- STICKLAND N.C., GOLDSPINK G., 1975. Anim. Prod. 21, 93-96.
- TALMANT A., MONIN G., BRIAND M., DADET M., BRIAND Y., 1986. Meat Sci. 18, 23-40.
- TARRANT P.V., MCLOUGHLIN J.V., HARRINGTON H.J., 1972. Proceed. Roy. Ir. Acad. 72(B), 55.
- TARRANT P.V., 1993. In "Pork Quality : Genetic and Metabolic Factors", Ed. Puolanne E., Demeyer D.I., Ruusunen M., and Ellis S. CAB International, Wallingford, UK. 1-21.
- TOURAILLE C., MONIN G., LEGAULT C., 1983. Journées Rech. Porcine en France, 15, 215-218.
- TOURAILLE C., 1990. Symposium sur le porc chinois, Toulouse, 5-6 juillet 1990, 241-254.
- VALIN C., TOURAILLE C., VIGNERON P., ASHMORE C.R., 1982. Meat Sci. 6, 257-263.
- VALIN C., 1988. Reprod. Nutr. Develop. 28(3B), 845-856.
- VOLD E., 1970. Meld. Nor. Landbrukshoegsk. 49, 1-25.
- WEIKARD R., REHFELDT C., ENDER K., 1992. Arch. Tierz. , Dummerstorf, 35(3), 273-284.
- WEISS G.H., PEO E.R., MANDIGO R.W., MOSER B.D., 1975. J. Anim. Sci. 40(3), 457-462.
- WICKE M., LENGERKEN G.V., GIESEL M., MAAK S., FIEDLER I., ENDER K., 1995. 2nd Dummerstorf Muscle-Workshop Muscle Growth and Meat Quality, 17-19 May 1995, Rostock, 114.
- WOOD J.D., 1973. Anim. Prod. 17, 281-285.
- WOOD J.D., ENSER M., 1982. Anim. Prod. 35, 65-74.
- WOOD J.D., 1984. In : "Fats in animal nutrition", Ed. Wiseman J. Butterworths, London. 407-435.
- WOOD J.D., BUXTON P.J., WHITTINGTON F.M., ENSER M., 1986. Livest. Prod. Sci. 15, 73-82.
- YOUNG O.A., BASS J.J., 1984. Meat Sci. 11, 139-156.