

Les principaux facteurs influençant la qualité de viande

La qualité de la viande est sous le contrôle d'un grand nombre de paramètres, allant de l'alimentation de l'animal au déterminisme génétique, en passant par l'âge, le stress, les conditions d'abattage, les conditions de stockage et de maturation... (Figure 1.4).

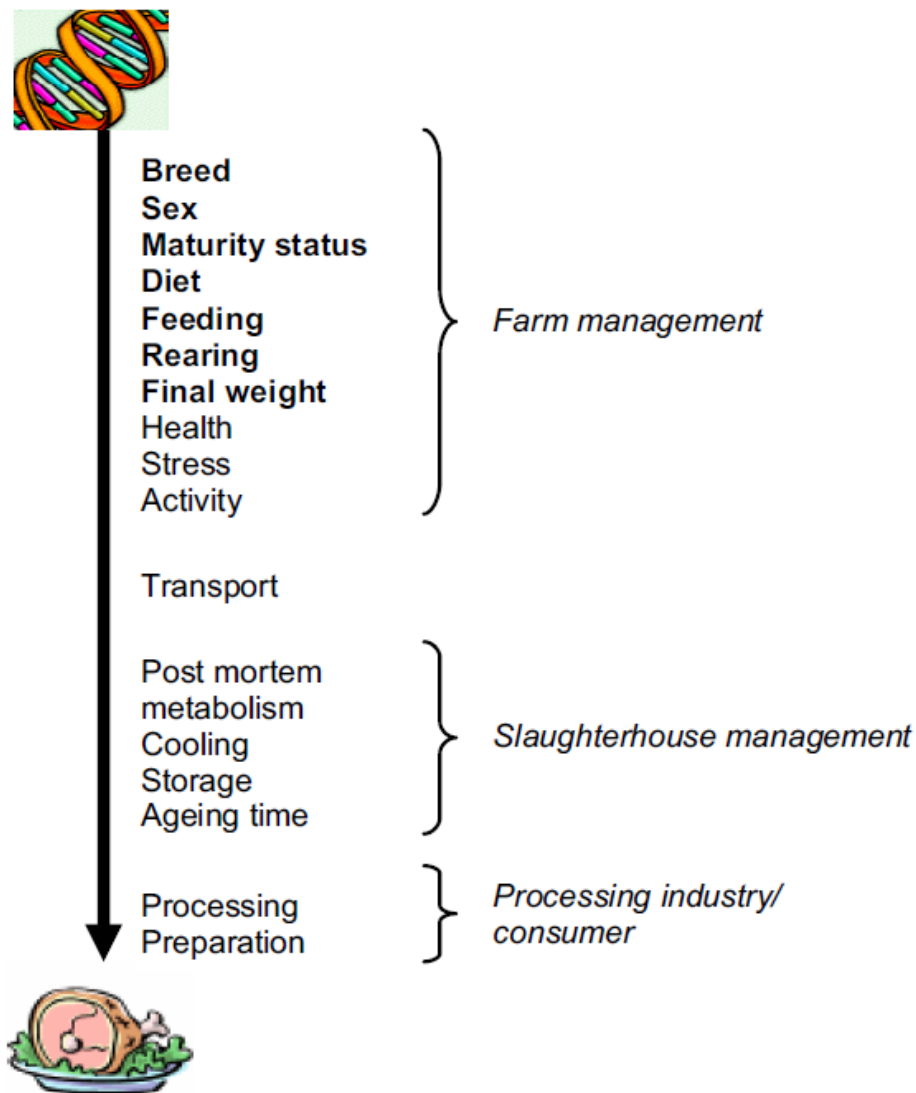


Figure 1.4 - Les principaux facteurs influençant les paramètres de qualité de viande chez le porc. (Heyer, 2004).

Ces caractéristiques dans les différentes espèces animales sont fonction d'un grand nombre de paramètres dont certains sont inhérents à l'animal lui-même et d'autres contrôlés par l'homme comme le mode d'élevage ou la transformation en viande. Ainsi, ces facteurs peuvent être classés en deux catégories : ils sont intrinsèques ou extrinsèques à l'animal.

1. Facteurs intrinsèques

1.1. Influence de la race

La race est l'un des principaux facteurs de variation des propriétés technologiques et organoleptiques de la viande porcine. Chaque race est caractérisée par une vitesse et une amplitude de chute du pH musculaire *post mortem*, et par une teneur en lipides intramusculaires qui influencent largement les qualités de la viande (Sellier et Monin, 1994; Bout et Girard, 1988). Il existe de nombreuses études qui comparent différentes races ou lignées sur toute une diversité de critères de composition corporelle et de qualité de viande, qui ont-elles-même fait l'objet de plusieurs revues (cf. Ciobanu *et al.* (2011)).

En France, 4 types génétiques se distinguent pour leurs performances de production et de reproduction : les races Large White, Landrace, Piétrain, Duroc. Le Large White occupe une position centrale dans la production porcine française. Il est associé au Landrace pour la production de la truie croisée F1 Large White x Landrace qui est le type génétique de truies parentales le plus largement utilisé en France. La race Piétrain est surtout utilisée pour la production de verrats terminaux, généralement en pur. En Europe, le Duroc intervient aussi bien comme composante de la truie parentale que comme partenaire du verroat terminal.

A ces races, il faut ajouter la race Meishan, importée de Chine, qui est utilisée en croisement pour la constitution de lignées synthétiques sino-européennes.

Les races Large White, Landrace et Duroc sont des races mixtes, c'est-à-dire performantes à la fois pour la reproduction et la production (croissance rapide, bonne qualité de viande). La race Piétrain est une race paternelle caractérisée par des performances de production supérieures à celles des races mixtes (meilleur taux de muscle). La race Meishan est une race chinoise maternelle qui se distingue par des qualités maternelles exceptionnelles (précocité et prolificité) mais aussi par de médiocres performances de croissance (important retard de croissance, carcasse très grasse). Gispert *et al.* (2007) ont récemment comparé ces 5 races. Comme attendu le Piétrain était le plus maigre et la Meishan la plus grasse, avec une teneur en gras intramusculaire élevée. Le Duroc avait également une teneur en gras intramusculaire élevée pour une composition corporelle intermédiaire. Gil *et al.* (2008), comparant ces mêmes races sur des critères plus fins de caractéristiques musculaires,

confirment que les différences observées peuvent induire des qualités de viande différentes d'une race à l'autre.

Quelques études comparent également les races locales, montrant généralement des différences de qualité de viande partiellement liées à la teneur en gras intramusculaire (Labroue *et al.*, 2000).

1.2. Influence des gènes majeurs

Il existe principalement deux gènes majeurs influençant la qualité de la viande porcine : le gène de sensibilité à l'halothane (RYR) et le gène des viandes acides (RN) (Sellier et Monin, 1994).

Au début des années 70, le test d'anesthésie au gaz halothane a permis une meilleure compréhension du déterminisme héréditaire des viandes pâles et exudatives ou viandes PSE (Eikelenboom et Minkema, 1974). Ce test sépare les animaux en deux catégories : les animaux sensibles et les animaux non sensibles. La sensibilité à l'halothane est liée à un déterminisme monogénique (Smith et Bampton, 1977; Ollivier *et al.*, 1975) : le gène est autosomal récessif à pénétrance élevée, désigné Hal^S (ou Halⁿ ou n), l'allèle normal étant Hal^N ou N. Ce gène a été identifié comme le gène du récepteur à la ryanodine impliqué dans les mouvements de calcium (Ca²⁺) dans la cellule musculaire striée. La sensibilité à l'halothane se traduit par la perte de la capacité de la cellule musculaire à contrôler ses flux d'ions Ca²⁺ en situation de stress intense. Le taux de Ca²⁺ libre sarcoplasmique augmente rapidement, l'activité ATPasique myofibrillaire est activée de façon durable, ce qui conduit à une intense hydrolyse de l'ATP. En conséquence, les mécanismes de resynthèse de l'ATP sont très actifs. Cette accélération du métabolisme s'accompagne d'une forte production de chaleur et d'une accumulation d'acide lactique : les animaux sensibles montrent un pH₄₅ plus bas lié à une chute anormale du pH, une température musculaire plus élevée et un établissement précoce de la *rigor mortis* (Monin, 1988). La conjonction entre pH₄₅ bas et température élevée est à l'origine de l'apparition du syndrome PSE car elle aboutit à la dénaturation des protéines musculaires, induisant un affaiblissement de la couleur et une diminution du pouvoir de rétention d'eau. Il existe donc une relation très étroite entre la sensibilité à l'halothane et le syndrome PSE (Eikelenboom et Minkema 1974 ; Tableau 1.1). Cependant, il est intéressant de noter que la sensibilité à l'halothane est sans effet sur le potentiel glycolytique et donc sur

le pH_u (Monin et Sellier 1985 ; Larzul *et al.*, 1998) ; les viandes des porcs nn se caractérisent par une augmentation de leur vitesse d'acidification mais leur pH_u n'est pas différent de celui des viandes de porcs NN.

Tableau 1.1 - Caractéristiques de qualité de viande des différents génotypes pour le gène HAL (Guéblez et al., 1995 et 1996)

Caractéristique	NN	Nn	nn
pH _u , <i>longissimus</i>	5,53	5,51	5,52
pH _u , <i>semimembranosus</i>	5,59 ^a	5,61 ^a	5,68 ^b
L*, <i>longissimus</i>	55,9 ^a	56,0 ^a	59,4 ^b
Rétention d'eau, <i>biceps femoris</i> [†]	7,4 ^a	3,3 ^b	2,3 ^b
Rendement Napole (%)	90,0 ^a	89,3 ^a	87,0 ^b
Rendement technologique ^{††} (%)	82,2	81,1	80,9
Note de tendreté, <i>longissimus</i> ^{†††}	4,75 ^a	4,30 ^b	3,69 ^c

†Temps d'imbibition d'un papier pH en dizaines de secondes

††Rendement technologique de fabrication du jambon cuit

†††Note décernée par un jury d'analyse sensorielle, de 0 : très faible à 10 : très forte

a,b,c : Deux valeurs portant la même lettre en exposant ne diffèrent pas significativement

Un stress avant l'abattage limite les manifestations du syndrome PSE chez les porcs sensibles ; le stress pré-abattage diminue le taux de glycogène musculaire et entraîne ainsi un arrêt prématuré de la chute du pH à une valeur élevée ce qui empêche le développement du caractère exsudatif malgré l'évolution rapide du pH (Monin, 1983). La sensibilité à l'halothane est également à l'origine d'une dégradation des qualités technologiques et organoleptiques de la viande, en particulier sur la tendreté (Monin *et al.*, 1999; Sellier et Monin 1994), mais favorise le développement musculaire (Ollivier *et al.*, 1975). Ainsi, le gène de sensibilité à l'halothane explique une bonne part de la variabilité génétique des qualités technologiques et organoleptiques de la viande. Une question longuement débattue a concerné la valeur exacte des sujets hétérozygotes « Nn » en termes de qualités technologiques et sensorielles de la viande (Larzul *et al.*, 1997a, Monin *et al.*, 1999).

L'allèle n a été quasiment éradiqué dans toutes les grandes populations porcines exploitées comme lignées maternelles. Par contre, cet allèle est pratiquement fixé dans la race Piétrain, fréquemment utilisée pour fabriquer des verrats de croisement terminal.

Au début des années 90, une mutation génétique entraînant un phénotype nommé RN⁻ (Rendement Napole) responsable de l'acidité anormale des viandes porcines (Naveau *et al.*, 1985), a été caractérisée grâce à une analyse de ségrégation réalisée dans des lignées de porcs de race Hampshire (Le Roy *et al.*, 1990). Les conséquences de ce défaut n'ont pas été immédiatement comprises, car non seulement aucune pathologie liée à cette mutation n'avait été recensée, mais au contraire, elle favorisait la croissance et la masse musculaire des carcasses. Les éleveurs ont donc préférentiellement sélectionné les animaux porteurs de la mutation RN⁻ conduisant ainsi à un accroissement de la fréquence de cet allèle au sein de la population de la race Hampshire. Les muscles des animaux porteurs de cet allèle subissent une baisse des rendements industriels notamment lors de l'élaboration de jambons cuits ou salés. Cet effet est dû à un accroissement d'environ 70 % du taux de glycogène dans les muscles squelettiques (Estrade *et al.*, 1993). L'identification et l'élimination de la mutation responsable de ce phénotype devinrent rapidement une nécessité économique pour les industriels. La mutation RN⁻ est située sur le chromosome 15 porcin (Milan *et al.*, 1996). Elle a été identifiée par une technique de clonage positionnel (Milan *et al.*, 2000). Cette mutation concerne le gène RN qui possède 2 allèles : RN⁻ (allèle dominant) et rn⁺ (allèle normal récessif) (Le Roy *et al.*, 1990). La mutation causale a été identifiée sur le gène intervenant dans la régulation d'une protéine kinase, elle-même impliquée dans la biosynthèse du glycogène (Renand *et al.*, 2003). Les porteurs de l'allèle RN⁻ montrent une activité 2 fois plus forte de l'enzyme branchante qui catalyse la ramification des chaînes de molécules de glucose lors de la biosynthèse du glycogène. Le défaut métabolique primaire est très probablement situé dans la cellule musculaire elle-même, les granules de glycogène s'accumulant dans le compartiment sarcoplasmique des fibres musculaires (Larzul *et al.*, 1998).

Les animaux porteurs de l'allèle RN⁻ montrent une réduction significative du rendement Napole liée à un stock de glycogène musculaire particulièrement élevé conduisant à une amplitude trop importante de la chute du pH *post mortem*. Ces viandes acides sont plus pâles et moins tendres, et se caractérisent par un moindre pouvoir de rétention d'eau mais leur flaveur est plus importante (Le Roy *et al.*, 1996 ; Tableau 1.2). Il existe d'autres mutations décrites par Ciobanu *et al.* (2001) dans le gène RN qui peuvent influencer la qualité de la viande. Ainsi la mutation V199I, avec un allèle appelé rn*, est associée à une moindre teneur en glycogène musculaire comparée à l'allèle sauvage rn⁺, bien que ce résultat n'ait pas été confirmé par des études plus récentes (Fontanesi *et al.*, 2008 ; Josell *et al.*, 2003).

Tableau 1.2 - Caractéristiques de qualité de viande des différents génotypes pour le gène RN (Le Roy *et al.*, 1996)

Caractéristique	rn+rn+	rn+RN-	RN-RN-
pH _u , <i>longissimus</i>	5,71 ^a	5,52 ^b	5,55 ^b
pH _u , jambon [†]	5,77 ^a	5,57 ^b	5,54 ^b
Couleur ^{††}	46,4 ^a	48,6 ^b	48,9 ^b
Rétention d'eau ^{†††}	13,5	11,4	12,6
Rendement Napole (%)	88,0 ^a	80,5 ^b	79,8 ^b
Rendement technologique (%)	104,4 ^a	102,2 ^b	102,2 ^b
Note de tendreté, <i>longissimus</i>	6,30 ^a	4,80 ^b	5,12 ^b

†pH moyen des muscles *adductor*, *biceps femoris* et *gluteus superficialis*

††Moyennes des luminances L* mesurées au Chromamètre Minolta sur les muscles *biceps femoris* et *gluteus superficialis*

†††Moyenne des temps d'imbibition mesurés sur les muscles *biceps femoris* et *gluteus superficialis*

a,b : Deux valeurs portant la même lettre en exposant ne diffèrent pas significativement

1.3. Influence du type sexuel

Les qualités organoleptiques sont peu influencées par le sexe des animaux ; on observe peu de différences entre les femelles et les mâles castrés (Monin, 1983). Selon Lebret *et al.* (1999), l'effet du sexe sur le pH_u est controversé. Plusieurs études rapportent un pH_u identique chez les mâles castrés et les femelles (Barton-Gade, 1987 ; Cisneros *et al.*, 1996), alors que Larzul *et al.* (1997b) observent un pH_u plus bas chez les femelles, en accord avec un potentiel glycolytique plus élevé. Les mâles entiers présentent un pH_u plus élevé que les castrats et les femelles, en raison d'une plus grande mobilisation du glycogène musculaire avant l'abattage consécutive à une excitation physique plus importante (Fernandez et Tornberg, 1991). Les autres critères de qualité technologique, voire organoleptique, de la viande sont peu différents entre les mâles castrés et les femelles (Lebret *et al.*, 1999).

Concernant plus particulièrement les qualités sensorielles, la viande de porcs mâles entiers dégage souvent une odeur désagréable, lors des traitements thermiques (chauffage, cuisson), apparentée à l'urine et aux fèces. Deux molécules ont été mises en cause dans l'apparition de ce défaut : l'androstérone (stéroïde d'origine testiculaire) et le scatol (produit de la dégradation du tryptophane) sont responsables de ces défauts d'odeurs importants (Bonneau, 1988). De ce fait, les mâles sont le plus souvent castrés et écartés de la production de viande porcine (Monin, 1983). Avec l'évolution probable de la législation européenne

interdisant la castration des porcs, l'amélioration de la qualité sensorielle de la viande de verrat revient d'actualité.

1.4. Influence de l'âge et du poids à l'abattage

Incontestablement, l'âge à l'abattage influence les caractéristiques technologiques et organoleptiques : les viandes des animaux âgés (verrats et truies de réforme) sont nettement plus colorées, plus persillées, contiennent plus de collagène que celles des porcs charcutiers. Elles conviennent d'ailleurs mieux à certaines fabrications, comme le saucisson sec.

En effet, d'une façon générale, la teneur en lipides intramusculaires s'accroît avec l'âge et le poids des animaux. Ainsi, Candek-Potokar *et al.* (1998) montrent que la teneur en lipides du muscle long dorsal s'accroît avec le poids, que les animaux soient rationnés ou nourris à volonté. 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.*, 1998). La qualité technologique de la viande n'est pas modifiée par une augmentation du poids des porcs à l'abattage de 100 à 120-130 kg. Plusieurs études montrent qu'une telle augmentation du poids à l'abattage ne modifie pas non plus la qualité organoleptique de la viande, évaluée par des mesures physiques ou sensorielles (Malmfors *et al.*, 1978 ; Desmoulin *et al.*, 1983 ; Candek-Potokar *et al.*, 1998), alors que Ellis *et al.* (1996) rapportent une augmentation de la force de cisaillement et une diminution de la tendreté, de la jutosité et de l'acceptabilité globale de la viande avec l'augmentation du poids à l'abattage de 80 à 120 kg. Une augmentation plus importante du poids à l'abattage de 100 à 160 kg s'accompagne d'une légère diminution du pHu et de la tendreté du muscle long dorsal, malgré l'augmentation de sa teneur en lipides (Cisneros *et al.*, 1996).

2. Facteurs extrinsèques

2.1. Alimentation

L'influence de l'alimentation (quantité et qualité) sur la viande de porc a déjà fait l'objet d'une revue bibliographique (Lebret *et al.*, 1999) qui est largement reprise ici.

La conduite alimentaire (périodes de rationnement) et le rapport protéines / énergie de la ration déterminent le taux de croissance et la composition du gain de poids des porcs, en fonction de leur potentiel génétique. Notons que le porc, en tant qu'animal monogastrique, présente la particularité de stocker directement les apports en acides gras, vitamines et minéraux au niveau des tissus gras et musculaires (Purchas, 2000 ; Rosenvold et Andersen, 2003).

2.1.1. Niveau alimentaire

La qualité technologique de la viande semble peu affectée par une restriction alimentaire globale (Cromwell *et al.*, 1978, Candek-Potokar *et al.*, 1998). Concernant la qualité sensorielle, Ellis *et al.* (1996) rapportent un effet négatif de la restriction alimentaire globale (20 % par rapport au niveau à volonté) sur la tendreté, la jutosité et l'acceptabilité de la viande d'animaux abattus au même poids vif, alors que d'autres travaux ne montrent pas d'effet significatif (Wood *et al.*, 1996, Candek-Potokar *et al.*, 1998).

La teneur en lipides intramusculaires est réduite chez les animaux restreints pour un poids à l'abattage donné (Wood *et al.*, 1996 ; Candek-Potokar *et al.*, 1998), ce qui permet de produire des carcasses plus maigres que lorsque l'aliment est distribué à volonté (Ellis *et al.*, 1996 ; Lebret *et al.*, 2002). Consécutivement à la diminution de la teneur en lipides totaux du muscle, les porcs restreints présentent une proportion d'acides gras polyinsaturés dans les lipides totaux supérieure à celle observée chez les porcs nourris à volonté (Cameron et Enser, 1991).

2.1.2. Equilibre entre les principaux nutriments : protéines, glucides, lipides

Karlsson *et al.* (1992) n'observent pas d'effet d'une réduction du taux protéique de la ration sur le pHu et le pouvoir de rétention d'eau. La distribution d'un régime déficitaire en protéines et en lysine, mais non limitant en énergie, pendant la période de croissance - finition s'accompagne d'une augmentation de l'adiposité de l'animal et de la teneur en lipides intramusculaires (Bereskin *et al.*, 1978 ; Karlsson *et al.*, 1992 ; Castell *et al.*, 1994). Certaines études mettent en évidence une amélioration de la qualité sensorielle chez les animaux ayant reçu un régime déficitaire en protéines : diminution de la force de cisaillement (Karlsson *et al.*, 1992), augmentation de la tendreté et de la jutosité (Bereskin *et al.*, 1978 ; Castell *et al.*,

1994), augmentation de la marbrure (Kerry *et al.*, 2002). Malgré des variations de teneur en lipides intramusculaires, ces différents travaux ne rapportent pas de modification de la saveur.

2.1.3. Composition en acides gras

Pour des régimes alimentaires isoénergétiques, isoprotéiques et isolipidiques, la nature des acides gras de la ration peut modifier les caractéristiques de la carcasse et de la fraction maigre de la viande. L'incorporation d'une matière grasse insaturée (huile de colza) par rapport à une matière grasse saturée (lait de vache), comme l'augmentation de la teneur en acide linoléique dans les lipides alimentaires diminuent le taux de muscle et augmentent l'adiposité des animaux (Mourot *et al.*, 1991, 1995). Le régime riche en acides gras polyinsaturés n'influence pas significativement la teneur en lipides du muscle *Longissimus* (Mourot *et al.*, 1995).

En revanche la composition en acides gras des lipides intramusculaires est influencée par la composition en acides gras du régime (Girard *et al.*, 1988 ; Mourot *et al.*, 1991, 1995). Selon Van Oeckel *et al.* (1996), la teneur en acide linoléique de la viande peut être augmentée jusqu'à 3 % des acides gras totaux sans conséquences sur la qualité organoleptique, et Ahn *et al.* (1996) rapportent qu'une teneur en acide linoléique de 12 % entraîne le développement de réactions d'oxydation et produit un effet négatif sur l'acceptabilité de la viande cuite lorsqu'elle n'est pas conservée sous vide. L'introduction de CLA (Conjugated linoleic acid) dans la ration a peu d'effet sur la qualité de la viande. Cependant, Dunshea *et al.* (2005) relèvent quelques tendances : augmentation de la teneur en gras intramusculaire, mais dégradation des qualités sensorielles (saveur, jutosité et tendreté), diminution des pertes en eau, éclaircissement de la viande avec un indice de rouge augmenté. Aucun effet sur le pHu n'est signalé.

2.1.4. Apports vitaminiques

L'effet des modificateurs métaboliques, dont les vitamines, sur la qualité de la viande a été revu récemment par Dunshea *et al.* (2005) et Dikeman (2007). Supplémenter l'aliment en vitamine E améliore la couleur de la viande et sa durée de conservation. L'effet antioxydant de cette vitamine sur les lipides et la myoglobine permet de stabiliser la couleur

mais aussi la flaveur, la texture, et la valeur nutritionnelle de la viande, bien que cet effet reste limité chez le porc.

L'influence d'une supplémentation du régime alimentaire en acide ascorbique, ou vitamine C, sur la qualité de la viande est controversée : elle serait sans effet selon Rajic (1971), alors qu'un apport de 250 mg/kg d'aliment entre 35 et 100 kg de poids vif diminue la réflectance de la viande qui apparaît alors plus sombre et entraîne une augmentation du pHu et du rendement technologique du jambon estimé par la méthode Napole (Mourot *et al.*, 1992).

2.2. Les systèmes d'élevage

L'impact du système d'élevage sur les caractéristiques de la viande de porc résulte de l'interaction entre :

- Les modalités de logement (type de sol, densité animale, température ambiante, accès extérieur, plein air...) qui influencent l'activité physique et les besoins alimentaires des animaux,
- La conduite alimentaire et la composition des aliments,
- Le génotype des animaux, surtout dans les systèmes de production avec des races de porcs locales.

En France, on peut distinguer quatre systèmes d'élevage différents :

2.2.1. Système d'élevage en bâtiment : effet du type de sol (sur caillebotis ou sur litière) et de la densité animale

Le type de sol et la surface disponible par animal, ainsi que l'activité physique des porcs, peut avoir un impact sur les performances de croissance et les caractéristiques de la carcasse et de la viande. Comparés à des porcs élevés sur caillebotis intégral avec 0,76 m² accessibles par cochon, les animaux élevés sur paille (3,5 m²/porc) présentent un indice de consommation plus élevé, une meilleure croissance et une carcasse plus grasse (Beattie *et al.*, 2000; Gentry *et al.*, 2002a). La différence de niveau de consommation d'aliment peut être expliquée par une température ambiante plus basse et un accès au nourrisseur plus facile en système extensif (Lebret *et al.*, 2006a).

L'effet positif de conduites d'élevage sur paille sur les activités d'investigation des porcs n'est plus à démontrer (Lyons *et al.*, 1995; Petersen *et al.*, 1995; Beattie *et al.*, 2000). Ces activités peuvent être interprétées comme indicatrices de bien-être chez le porc. Les effets de l'engraissement sur paille avec une surface accessible par porc augmentée sur la réponse physiologique au stress de l'animal lors du transport et de l'abattage, et donc sur la qualité finale de la viande, ont fait l'objet de plusieurs études (Geverink *et al.*, 1999 ; De Jong *et al.*, 2000 ; Klont *et al.*, 2001). Bien que les conditions de logement de l'animal aient une influence positive sur son activité et sur sa sécrétion de cortisol salivaire, durant la période d'élevage et le transport vers l'abattoir, seules de légères différences généralement non significatives, ont pu être constatées entre les qualités technologiques et biochimiques de viandes de porcs sur paille et conventionnels (Klont *et al.*, 2001; Geverink *et al.*, 1999). Une étude menée sur les produits carnés en Ecosse, prenant en compte la génétique et les conditions d'élevage des porcs, a démontré que le bacon issu de porcs élevés sur litière présentait de meilleures qualités sensorielles, notamment en terme de flaveur, que des porcs élevés en bâtiments conventionnels (Maw *et al.*, 2001). Ces résultats peuvent être expliqués par une plus forte teneur en gras intramusculaire de la viande de porcs élevés sur paille (Beattie *et al.*, 2000; Gentry *et al.*, 2002a).

2.2.2. Systèmes d'élevage en bâtiments avec courettes

Le logement en bâtiments avec courettes constitue une alternative intéressante entre les systèmes sur litière et en plein air, dans le sens où il bénéficie d'une bonne image auprès des consommateurs (Rainelli, 2001 ; Dransfield *et al.*, 2005) et nécessite un temps de travail et des coûts de production moindres qu'en élevage de plein air. De plus, il répond aux exigences du cahier des charges agriculture biologique européen. Une expérimentation sur deux systèmes d'élevage (paille raclée + courette et conventionnel) a été menée pour évaluer le bien-être et la santé des animaux, leurs performances de croissance, la qualité des carcasses et de la viande (Lebret *et al.*, 2006a; Meunier-Salaün *et al.*, 2006). Les surfaces accessibles par animal diffèrent selon les systèmes : 0,65 m²/porc conduit en conventionnel contre 1,3 m²/porc (bâtiment) + 1,1 m²/porc (courette) en système alternatif. Les résultats de l'étude montrent que les porcs bénéficiant de la courette présentent un meilleur statut sanitaire à l'abattoir et consacrent plus de temps à leurs activités d'investigation (Meunier-Salaün *et al.*, 2006) ce qui traduit un plus grand bien-être des animaux (Guy *et al.*, 2002). Leurs

performances de croissance sont améliorées : leur indice de consommation est plus important, mais leurs carcasses sont plus grasses que celles des porcs conventionnels. Aucune différence significative n'a été constatée concernant leurs réponses physiologiques et comportementales lors de l'attente à l'abattoir et de l'abattage en lui-même (Lebret *et al.*, 2006a). Toutefois, les jambons présentent un pHu plus bas en système avec courette, en lien avec une activité physique plus importante qui augmente la capacité d'oxydation du muscle (Gentry *et al.*, 2002a ; Bee *et al.*, 2004).

Concernant la qualité des viandes, celles issues de systèmes avec courette sont plus juteuses, du fait d'une plus grande concentration en lipides, tandis que les odeur, flaveur et tendreté restent similaires. Le système d'élevage n'influence pas l'appréciation globale de la viande par les consommateurs, lorsque ces derniers ne sont pas informés des conditions d'élevage de l'animal dont elle est issue. Cependant, le mode de production influence grandement le choix des consommateurs : 59% des consommateurs français interrogés opteraient pour une viande « d'extérieur » contre 8% préférant une viande « en bâtiments » et 34% resteraient indifférents à ce critère de choix (Dransfield *et al.*, 2005). Ces résultats soulignent les différences entre la qualité « perçue » et la qualité « réelle » des produits porcins issus d'élevages conventionnels et alternatifs (Edwards, 2005).

2.2.3. Systèmes d'élevage en plein air

Un certain nombre d'études ont été menées pour évaluer les effets de l'élevage en plein air de porcs au génotype « moderne » (issus des schémas de sélection classiques) sur leurs performances et la qualité de leur viande. Dans ces systèmes d'élevage, les porcs sont soumis aux variations climatiques, ils bénéficient de beaucoup d'espace et d'un environnement diversifié, ils peuvent exprimer leur comportement d'investigation, avoir une activité physique soutenue, et trouver de la nourriture par eux-mêmes, en complément de l'aliment distribué. Tous ces facteurs influencent la réponse de l'animal à son environnement, en terme de croissance et de qualité de viande. Les porcs de plein air sont généralement élevés en grands groupes et rarement mélangés à d'autres. Aussi, les réactions de stress des animaux lors de leur départ à l'abattoir, où ils peuvent être mélangés avec des porcs d'autres élevages, sont importantes à prendre en compte dans l'évaluation de la qualité de la viande (Terlouw, 2005).

Beaucoup d'études ont conclu que l'élevage de plein air en climat tempéré n'a que peu d'impacts sur les performances de croissance et la composition de la carcasse des porcs (Gentry *et al.*, 2002a). Par contre, en climat froid, la croissance des porcs est réduite et l'épaisseur du gras dorsal est moindre (Bee *et al.*, 2004). La composition des muscles des porcs élevés en plein air est différente de celle de porcs conventionnels : leur teneur en lipides intramusculaires est moindre du fait de conditions d'élevages plus difficiles (Enfält *et al.*, 1997 ; Sather *et al.*, 1997 ; Bee *et al.*, 2004).

Le fait que les animaux puissent chercher d'autres sources de nourriture dans l'environnement naturel joue beaucoup sur la composition en acides gras essentiels de leurs tissus : le niveau d'acide linoléique et d'autres omégas-3 et 6 est bien supérieur chez des porcs élevés en plein air (l'herbe est très riche en acide linoléique) (Nilzen *et al.*, 2001 ; Bee *et al.*, 2004 ; Lebret et Guillard, 2005). On constate également que les porcs d'extérieur fixent plus de vitamine E dans leur gras superficiel et dans leurs lipides intramusculaires (Andres *et al.*, 2001 ; Nilzen *et al.*, 2001 ; Gonzalez et Tejeda, 2007). De plus, L'élevage en plein air améliore les qualités nutritionnelles de la viande. Dans les systèmes de production traditionnels méditerranéens, la consommation d'herbe durant la période de finition augmente la teneur en acides gras et la quantité d'anti-oxydants contenus dans le muscle des porcs, et donc la qualité des produits (Lopez-Bote, 1998). Concernant la qualité technologique de la viande, Gentry *et al.* (2002b) et Bee *et al.* (2004) n'ont constaté aucune différence de durée et de niveau de chute du pH post-mortem sur la longe de porc élevé en plein air comparé à celle de porc élevé dans un système conventionnel. Les impacts de l'élevage plein air sur la qualité technologique de la viande dépendent des muscles considérés: on constate des effets bien plus néfastes sur le jambon que sur les muscles de la longe (Gandemer *et al.*, 1990 ; Bee *et al.*, 2004).

Une question importante et souvent débattue concerne la réaction au stress pré-abattage de porcs issus de différents systèmes d'élevage et les impacts de ce stress sur la qualité des viandes. Terlouw *et al.* (2004) a évalué les réponses comportementales et physiologiques des porcs lors du mélange des cheptels à l'abattoir, en fonction de leurs conditions d'élevages (plein air / conventionnel). Ils ont montré que lors du rassemblement, les porcs plein air se battent moins que les porcs conventionnels ; ils présentent moins de lésions superficielles, une teneur en glycogène du muscle plus élevée avant et après abattage et un pH plus faible que ces derniers. Barton-Gade (2008) a également relevé moins de comportements agressifs chez les porcs plein air après mélange au chargement, ce qui suggère que cet événement soit plus stressant pour leurs congénères élevés de façon conventionnelle.

Les différences de comportement observées ont eu peu d'impacts sur les indicateurs de qualité de la viande mesurés dans cette étude. Des différences de qualité plus nettes auraient pu être observées si on avait comparé un groupe de porcs conventionnels mélangé, pour lesquels les conditions de détention avant abattage favorisent les comportements agressifs et l'activité physique, et un groupe de porcs plein air non mélangé, comme cela s'observe en pratique dans les abattoirs. (Lebret *et al.*, 2006b).

Les qualités organoleptiques de la longe de porcs élevés en plein air sous climat tempéré, au génotype « classique », et moins stressés avant l'abattage (conditions de détention plus favorables) ne sont que légèrement améliorées (plus grande tendreté ; Gentry *et al.*, 2002b) voire similaires (Gandemer *et al.*, 1990) à celles de la longe de porcs conventionnels. L'étude d'Enfält *et al.* (1997) rapporte au contraire une tendreté et une jutosité dégradées dans la longe de porcs plein air, ce qui pourrait être expliqué par un pHu et une teneur en gras intramusculaire plus faible dans cette étude.

Dans les régions méditerranéennes, on distingue le système sylvopastoral traditionnel en plein air qui met en œuvre des animaux de races locales, élevés de façon extensive dans les sous-bois, pour produire des aliments secs à forte valeur ajoutée, comme le jambon cru. Ces animaux présentent de faibles performances de croissance, ont des carcasses grasses de conformation médiocre, et ont des prédispositions à fixer plus d'acide oléique que les races conventionnelles (Edwards et Casabianca, 1997). De plus, dans ces systèmes traditionnels, la période de finition a lieu en automne, dans des forêts de chênes et de châtaigniers. Les animaux se nourrissant de glands et de châtaignes (riches en amidon) déposent beaucoup de gras superficiel et intramusculaire, du fait du stockage de triglycérides dans le muscle, ce qui donne de grandes qualités organoleptiques (jutosité, flaveur) aux produits secs issus de leur viande. Ces systèmes d'élevage jouent également un rôle important dans l'entretien des sous-bois et la préservation des paysages: la production porcine y est très liée aux écosystèmes et participe à leur préservation (Lopez-Bote, 1998 ; Edwards, 2005).

L'utilisation de races locales dans un environnement naturel pour la fabrication de produits porcins spécifiques et de haute qualité est reconnue par un label européen « Protected Designation of Origine » (PDO). Certains PDO ne s'adressent qu'aux élevages utilisant des races locales pures (la race Alentejano au Portugal ; en France, les porcs basques, corses et gascons), d'autres tolèrent les croisements (le porc Ibérique espagnol) enfin quelques PDO autorisent les races conventionnelles (en Italie, pour le jambon de Parme notamment).

2.2.4. Elevages en agriculture biologique

En agriculture biologique, l'interdiction d'utiliser des acides aminés de synthèse et l'obligation de distribuer aux porcs des fibres alimentaires jouent sur la croissance des animaux et la qualité de leurs carcasses et de leur viande.

Hansen *et al.* (2006) ont montré que des porcs élevés en agriculture biologique recevant moins de concentrés (70%) et des fibres alimentaires à volonté présentaient un Gain Moyen Quotidien (GMQ) réduit (-27%) et une carcasse avec plus de viande maigre (+ 1%) que des porcs recevant 100 % de concentrés, qu'ils soient élevés en agriculture biologique ou selon un schéma conventionnel. Le fait de réduire l'apport de concentrés n'affecte pas le pH ou l'exsudation de la viande mais en diminue la teneur en lipides et la tendreté.

Une autre étude a été réalisée par Millet *et al.* (2005) sur l'alimentation (100% bio contre 100% conventionnelle, avec acides aminés de synthèse) et le logement des porcs (accès extérieur avec 4 m²/porc contre sol bétonné avec 1 m²/porc). Les résultats ont montré que les performances de croissance des animaux ont été meilleures, mais les carcasses plus grasses, en logement optimisé tandis que les modalités d'alimentation n'ont pas eu d'effets significatifs. Les valeurs de pH et la couleur de la viande sont restées similaires entre les différents systèmes.

La principale difficulté à surmonter en agriculture biologique est l'adéquation des apports en protéines aux besoins du porc en croissance : généralement, en conditions d'élevages, les porcs conduits en agriculture biologique reçoivent moins d'acides aminés essentiels. De ce fait, leurs performances de croissance sont moindres, et leurs carcasses sont plus grasses (gras superficiel + lipides intramusculaires), ce qui améliore leurs qualités organoleptiques (Sundrum *et al.*, 2000).

En conclusion, l'impact de la conduite en agriculture biologique sur les performances de croissance de l'animal et sur les critères de qualité de la viande dépend essentiellement de l'alimentation, et du mode de logement dans une moindre proportion. Ainsi, les qualités organoleptiques de la viande de porcs bio sont très variables et dépendent du système d'élevage considéré (alimentation x logement).

2.3. Les conditions de pré-abattage

Durant tout les processus de pré-abattage et d'abattage, les animaux sont confrontés à de nombreux facteurs d'agression, dont les plus évidents sont le changement de milieu physique et social, la mise à jeun et l'activité physique inhabituelle.

Les animaux soumis à des situations aversives, c'est-à-dire perçues par eux comme contraignantes ou agressives, manifestent de multiples réactions physiologiques et métaboliques (Terlouw *et al.*, 2001; Figure 1.5). Les plus connues des réactions physiologiques à l'agression sont l'activation de l'axe corticotrope, avec l'augmentation de sécrétion des glucocorticoïdes (principalement le cortisol chez le porc), et celle du système nerveux autonome, qui résulte entre autres en une hypersécrétion de catécholamines. L'activation du système nerveux autonome se traduit immédiatement par une augmentation du rythme cardiaque (Figure 1.6), une glycogénolyse musculaire et hépatique (activation de la phosphorylase) et une potentialisation des contractions musculaires. Ses effets sur les qualités de la viande sont complexes car ils varient notablement avec son intensité et sa durée. Une hypersécrétion de catécholamines peu intense mais prolongée peut abaisser le taux de glycogène musculaire dans des proportions suffisantes pour augmenter le pH de la viande, favorisant l'apparition de viande DFD et s'opposant au développement du caractère PSE : c'est ce que l'on peut observer lors de situations modérément agressives comme le transfert et l'attente à l'abattoir. Les effets des taux de catécholamines potentiellement très élevés associés à l'excitation intense survenant en général immédiatement avant et pendant l'abattage sont controversés.

Álvarez *et al.* (2009) et Monin (2003) ont publié des synthèses bibliographiques des principaux facteurs de pré-abattage influençant la qualité de viande chez le porc, et dont certains détails ont été repris dans ce paragraphe.

Ainsi, les différentes étapes potentiellement stressantes pouvant influencer le métabolisme musculaire des porcs, et par conséquent le pH post-mortem et les qualités des viandes sont détaillées ci-dessous.

2.3.1. La mise à jeun

Une bonne mise à jeun des porcs avant l'abattage est primordiale afin d'obtenir une viande de qualité. Lorsque celle-ci n'est pas réalisée correctement, certains préjudices peuvent apparaître.

- 1) La réactivité au stress de l'animal dépend :
 - a) de ses caractéristiques génétiques
 - b) des conditions d'élevage
- 2) la nature et l'intensité des réactions à l'abattage dépendent :
 - a) des conditions d'abattage
 - b) de la réactivité de l'animal au stress
 - c) de l'état ponctuel physiologique et émotionnel de l'animal
 - d) du vécu et du patrimoine génétique de l'animal
- 3) Le stress provoque chez les animaux des réponses comportementales et physiologiques.

L'effet de ces réponses sur le métabolisme dépend :

 - a) de l'ampleur de ces réponses
 - b) de la génétique
 - c) des conditions d'élevage

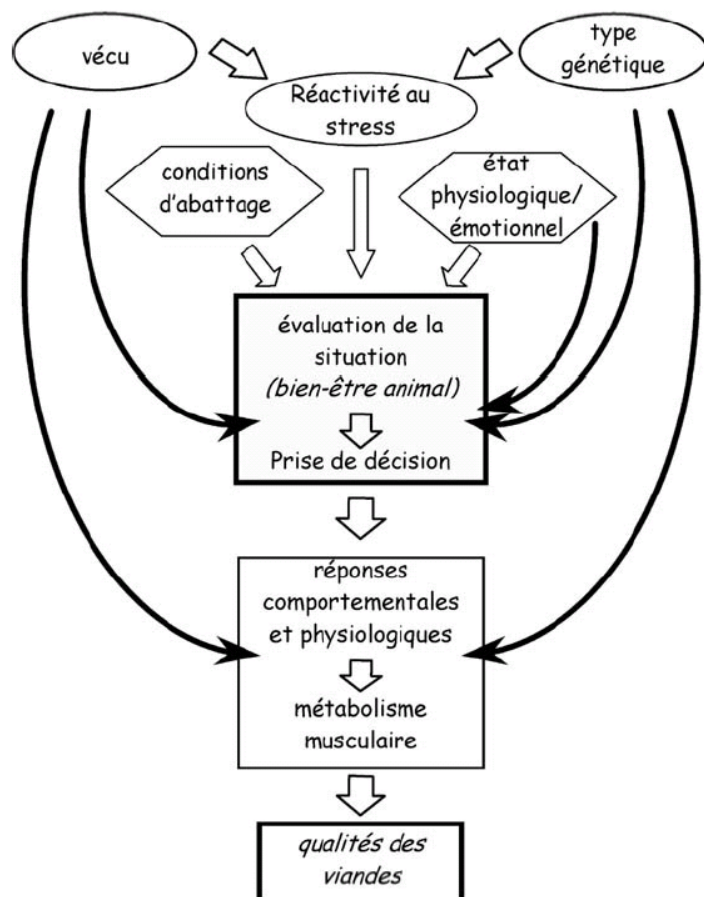


Figure 1.5 - Patrimoine génétique et vécu influencent la résistance au stress : représentation schématisée des liens entre la réactivité au stress, le stress à l'abattage et les qualités des viandes (Terlouw *et al.*, 2001).

Selon une revue récente concernant le bien être des animaux durant le transport, réalisée par un groupe d'experts du comité scientifique de la santé animale et du bien être des animaux (European Council, 2005), les porcs doivent être mis à jeun durant une période maximale de 10 h avant la collecte et le transport. Cependant, un retrait d'alimentation chez les porcs de 12 à 18 h est une pratique commune dans plusieurs pays servant à diminuer le taux de mortalité pendant le transport et pendant l'attente en abattoir (Gispert *et al.*, 1996), et à diminuer également les problèmes associés à l'éviscération après l'abattage (Chevillon, 1994). Cette période de mise à jeun permet de réduire les risques de contaminations microbiennes lors du processus d'abattage (Bager *et al.*, 1995). Par ailleurs, les effets des réponses comportementales et physiologiques au stress sur le métabolisme musculaire dépendent du statut énergétique des porcs (Terlouw, 2005). Ainsi, les porcs mis à jeun sont beaucoup plus agressifs que les porcs nourris (Brown *et al.*, 1999) et manifestent une baisse aiguë du niveau du glycogène musculaire durant les combats (Fernández *et al.*, 1994).

Lorsque les animaux mis à jeun sont exposés à une longue durée de transport et d'attente en abattoir, l'augmentation de leur agressivité et leurs combats provoquent une augmentation des lésions et lacérations cutanées (Murray *et al.*, 2001), ainsi qu'une baisse du rendement de la carcasse (Eikelenboom *et al.*, 1991).

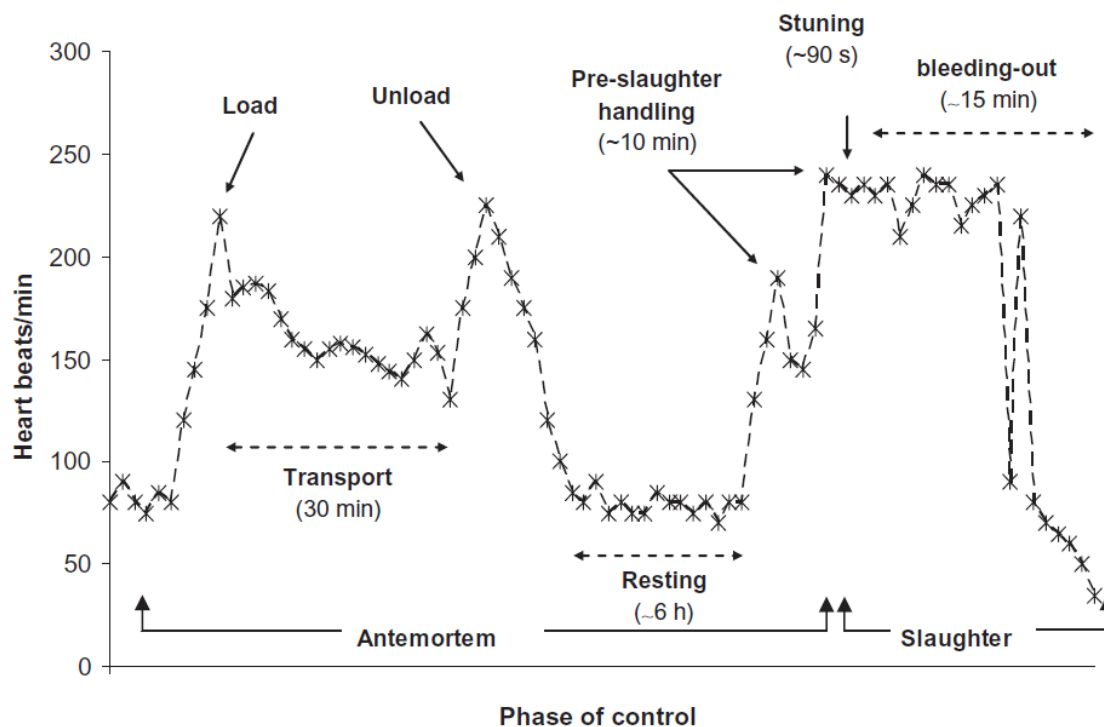


Figure 1.6 - Evolution du rythme cardiaque (valeurs moyennes) chez des porcs pendant le transport durant une courte durée (n = 91), et pendant les phases ante-mortem (repos à l'abattoir) et d'abattage (étourdissement et saignée). (Álvarez *et al.*, 2009)

D'autre part, le taux de mortalité des porcs durant le transport est plus élevé quand les animaux sont nourris jusqu'au chargement en raison de la pression exercée par l'estomac plein sur la veine cave, ce qui réduit son diamètre et perturbe la circulation sanguine (Warriss, 1994). Ce processus est souvent aggravé par l'inhalation de l'animal de son propre vomi (Guise, 1987). En outre, il augmente le risque de propagation de *Salmonella* à l'éviscération (Tarrant, 1989). En conséquence, les procédures d'abattage semblent avoir un effet plus prononcé sur le métabolisme ante- et post-mortem des animaux mis à jeun comparativement à ceux nourris sans restriction.

La durée du jeûne est aussi un paramètre à prendre en considération à cause de son impact sur l'amplitude de chute de pH de la viande et ses conséquences potentielles sur le développement de la viande PSE.

Il est admis que la période de jeûne contribue à réduire le taux des glucides disponibles à la conversion post-mortem en glycogène et en acide lactique, permettant ainsi de réduire les réserves musculaires en glycogène chez le porc durant l'abattage, par conséquent, augmenter le pH_u, et ainsi améliorer la capacité de rétention d'eau et la couleur de la viande. Toutefois, l'augmentation du pH_u observée après une période de jeûne de moins de 24 h n'est pas suffisante pour que la viande soit considérée comme viande DFD (Troeger, 1996). En effet, un temps de jeûne trop long favoriserait l'apparition des viandes DFD par épuisement trop rapide des réserves énergétiques de l'animal après sa mort. L'importance de la fréquence des viandes PSE et DFD en fonction du temps de jeûne à la ferme a été analysée dans plusieurs études (Guàrdia *et al.*, 2004 ; Guàrdia *et al.*, 2005) qui ont montré qu'une chute importante de la fréquence des viandes PSE et DFD est observée lorsque la durée de jeûne à la ferme est entre 18 - 22 h et 14 - 22 h, respectivement. Toutefois, les recommandations qui existent dans la littérature concernant la durée optimale du temps de jeûne, ainsi que ses potentiels avantages sont relativement contradictoires (Tableau 1.3).

Tableau 1.3 - Différents résultats publiés concernant l'effet de la durée de jeûne sur le bien être animal et la qualité de viande (Álvarez *et al.*, 2009)

Temps de jeûne	Observations	Référence
4 h	Risque élevé de vomissement	Bradshaw et Hall (1996)
2 - 6 h	Taux de mortalité très élevé des porcs transportés	English <i>et al.</i> (1988)
4 - 12 h avant le chargement	Durée appropriée de mise à jeun	Warriss (1987)
6 - 12 h	Taux de mortalité faible des porcs transportés	English <i>et al.</i> (1988)
Porcs nourris avant le transport	Aversion envers le transport plus élevée	Stephens et Perry (1990)
Porcs nourris le jour du transport	Les pertes à l'abattage sont plus élevées	Tarrant (1993)
Mise à jeun durant toute la nuit	pH _u , couleur, et capacité de rétention d'eau plus élevés.	Jones <i>et al.</i> (1985)
	Pas d'effet sur la qualité de viande (PSE)	De Smet <i>et al.</i> (1996)
9 - 18 h	Pertes plus élevées en poids de carcasse	Fischer (1996)
< 12 h ou > 18 h	Taux de mortalité plus élevé (durant le transport + stabulation) et stress plus élevé des porcs (niveau de cortisol plus élevé)	Gispert <i>et al.</i> (1996)
16 - 24 h	Avantageux aux manipulateurs	Eilert (1997)

24 - 48 h	Réduction de l'incidence de la viande PSE chez les porcs susceptibles au stress	Murray <i>et al.</i> (1989)
> 72 h	Aucun effet sur le pHu	Becker <i>et al.</i> (1989)
> 96 h	Augmentation de 8% de l'incidence de la viande DFD	González <i>et al.</i> (1987)

PSE : viande exsudative (Pale, soft and exudative) ; DFD : viande dure et ferme (Dark, firm et dry) ; pHu : pH ultime mesuré 24h post-mortem.

2.3.2. Transport

Le transfert des porcs de l'élevage à l'abattoir est une opération difficile et pénible à la fois pour les opérateurs et les animaux. Le transport est, ainsi, considéré comme l'un des plus importants facteurs de pré-abattage, car même dans les meilleures conditions, il représente une source potentielle de stress ou de fatigue chez les animaux. En effet, durant le transport, on assiste à des pertes de poids vifs (Wajda et Bak, 1994), ou même la mort des animaux, ainsi que des altérations du métabolisme post-mortem accompagnées d'une détérioration de la qualité de viande (Martoccia *et al.*, 1995 ; Lambooij et Van Putten, 1993). Le stress des animaux durant le transport peut être lié à des facteurs comme la distance parcourue, le type du véhicule, la densité des animaux, les conditions environnementales durant le transport, le contact avec des personnes non familières, le mélange des animaux,....

Le chargement dans les camions est facilité par une bonne conception des quais de chargement et l'emploi de véhicules équipés de planchers élévateurs. Si les animaux accèdent au camion par une rampe, la pente de celle-ci doit être inférieure à 20°.

Les camions utilisés pour le transport doivent être couverts, bien ventilés et posséder des planchers antidérapants pour éviter les chutes génératrices d'hématomes, voire de luxations et de fractures. La température dans le véhicule ne devrait pas excéder 30°C (Randall, 1993) pour rester dans la zone de neutralité thermique des porcs. La densité de chargement est importante :

1/ du point de vue économique : le coût du transport par porc est inversement proportionnel à la densité, mais celle-ci influence les pertes liées à la mortalité (Lendfers, 1971) et aux dépréciations éventuelles des carcasses (lacérations) ;

2/ pour le confort des animaux, car l'agressivité et la fréquence des combats, des lacérations et des retournements du rectum (Guise et Penny, 1989 cités par Tarrant, 1989) augmentent avec la densité.

La densité de chargement est une condition préalable qui permet de prévenir le stress durant le transport. La directive de l'Union Européenne relative à la densité de chargement mise en vigueur depuis Janvier 2007 (EC, 2005) recommande une densité de chargement maximale de 235 kg/m² (0.425 m²/100 kg) pour des porcs de 100 kg de poids vif, afin de garantir la protection des animaux pendant le transport. Les effets de la densité de chargement sur les qualités des viandes ont été peu étudiés et sont controversés. Les animaux transportés dans des espaces réduits souffrent davantage de fatigue et d'épuisement, ce qui se traduit par l'augmentation du pH₄₅ et pH_u de leur viande (Lambooy et Engel, 1991). C'est pourquoi il est recommandé que la durée de transport ne dépasse pas 3 h quand les densités de chargement sont moyennement élevées (281 Kg/m² ou 0.35 m²/100 Kg), afin d'éviter les effets indésirables sur le bien être des animaux (Warriss *et al.*, 1998). Les différences qui existent dans la bibliographie concernant la densité de chargement appropriée qui garantit à la fois le bien-être animal et une meilleure qualité de viande reflètent des différences régionales des conditions climatiques et de type génétique avec une sensibilité au stress (Tarrant, 1989 ; Guàrdia *et al.*, 1996). Concernant les transports de longue durée, Lambooy *et al.* (1985) rapportent une augmentation du pH de la viande avec la densité de chargement, mais cet effet n'est pas observé par Chevillon *et al.* (2003) pendant un transport de 36 h.

La durée du transport a également des effets sur le bien être animal et les qualités de viandes. Cette durée est le plus souvent assez faible dans les pays européens (au plus quelques heures, sauf dans le cas d'exportations par exemple des Pays-Bas en Italie). Dans ce cas, comme les principaux facteurs d'agression sont constitués par le chargement et le déchargement des véhicules, les effets de la durée de transport sont limités si les conditions de transport (conduite, ventilation, densité de chargement) sont bonnes (Tarrant, 1989). La Figure 1.7 montre que l'effet de la durée du transport sur l'incidence de la viande PSE dépend de la densité de chargement (Guàrdia *et al.*, 2004). On observe que la proportion de viandes PSE (Minvielle *et al.*, 2003) diminue et que celle de viandes DFD augmente (Pedauryé, 1993) avec la durée du transport. C'est une conséquence de la glycolyse musculaire liée à l'augmentation de sécrétion de catécholamines et/ou à l'exercice musculaire, qui augmente le pH_u. Toutefois, aucun effet significatif de la durée du transport (1 - 4 h) sur l'incidence de la viande PSE ou DFD n'a été mis en évidence par Warriss *et al.* (1990).

Leheska *et al.* (2003) ont montré qu'une durée de transport de 8 h contribue à améliorer la tendreté, comparativement à une durée de 1/2 h, en raison d'un potentiel glycolytique réduit au moment de l'abattage et le pH_u élevé qui en résulte. Cependant,

d'autres auteurs ont observé une détérioration des qualités de viandes avec l'augmentation de la durée de transport dans un intervalle entre 1 h et 8 h (Bradshaw *et al.*, 1996 ; Brown *et al.*, 1998).

On a peu de données sur des transports de très longue durée, mais il est vraisemblable que l'augmentation du pH est d'autant plus marquée que le transport est plus long. Chevillon *et al.* (2003) ont montré que le fait d'alimenter les porcs durant un transport de 36 h réduit fortement les pertes de poids, mais a peu d'effet sur le pH de la viande. La directive européenne citée plus haut stipule que l'on doit décharger puis alimenter et laisser reposer les porcs pendant 24 h dès que la durée du transport dépasse 24 h. Chevillon *et al.* (2003) concluent que le déchargement n'est pas souhaitable car source d'efforts et d'excitation, et qu'il vaut mieux alimenter et laisser reposer les porcs dans le véhicule.

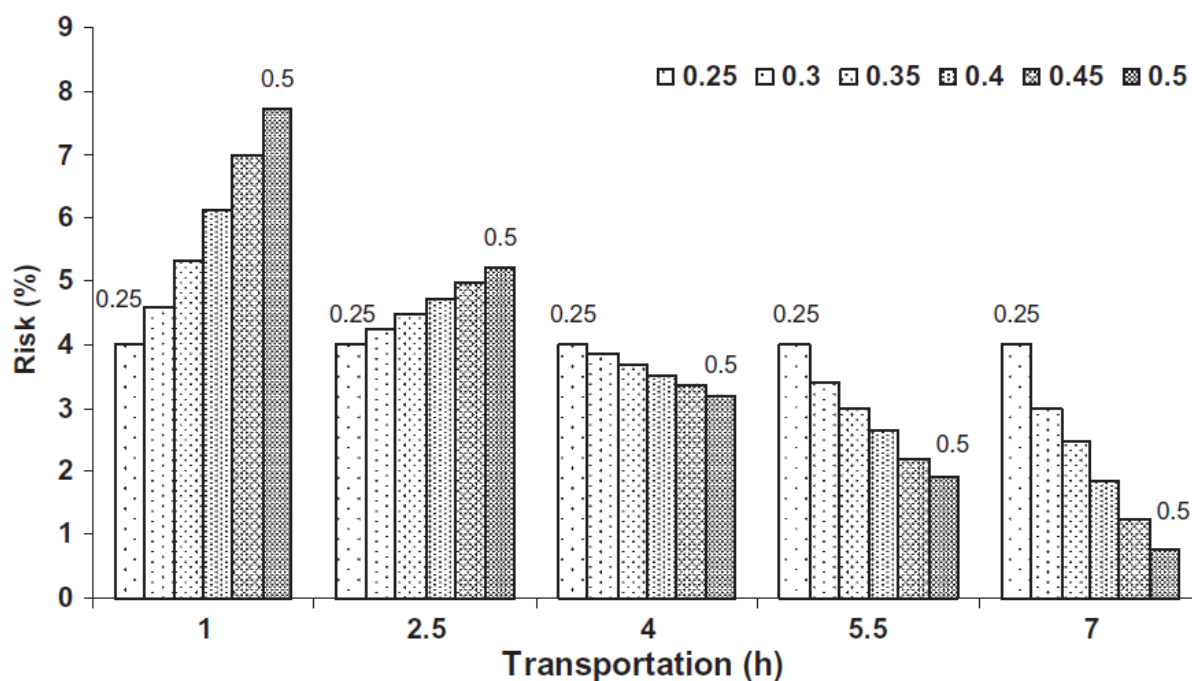


Figure 1.7. – Risque d'incidence de la viande PSE chez le porc selon la densité de chargement (0.25 – 0.5 m² kg de poids vif) et le temps de transport. (Guàrdia *et al.*, 2004)

A l'arrivée à l'abattoir, les recommandations pour le déchargement des animaux sont les mêmes que pour le chargement : aménager l'espace de déchargement (quais à bonne hauteur ou plates-formes hydrauliques, absence de pentes ou pentes positives) et le parcours vers la porcherie, éviter les brutalités et, autant que possible, les mélanges d'animaux de cases d'élevage différentes. La zone de déchargement doit être bien éclairée, les couloirs doivent être larges (passage de plusieurs animaux de front), être rectilignes ou présenter un large

rayon de courbure et déboucher sur des cases allongées pouvant éventuellement être facilement divisées par des cloisons amovibles ou des portes intérieures.

2.3.3. Attente et mélange des animaux

La période de repos et d'attente des animaux avant l'abattage leur permet de retrouver leur statut physiologique initial avant le transport, et le retour du glycogène musculaire au niveau normal. Néanmoins, un traitement inadéquat des porcs durant cette étape peut provoquer un stress supplémentaire et des douleurs physiques conduisant, ainsi, à une détérioration supplémentaire de la qualité de la viande. En outre, les fluctuations de la température et de l'humidité relative pendant la stabulation peuvent influencer la qualité de la viande (Roseiro *et al.*, 1996). Il est conseillé de doucher les porcs pendant l'attente à l'abattoir, au moins si la température ambiante dépasse 15°C. Cette opération accélère le retour de la température corporelle à des valeurs normales et généralement calme les animaux (Tarrant, 1989). Long et Tarrant (1990) ont observé qu'une douche froide (~10°C) permet de baisser considérablement la température du muscle réduisant ainsi l'incidence de la viande PSE.

L'abattage durant les premières heures après le déchargement (< 2h), quand l'agressivité est encore prononcée, et que les animaux souffrent encore de stress physique et physiologique (Grandin, 1991), se traduit par une activité métabolique élevée, un pH musculaire faible (Enfält *et al.*, 1993), une température corporelle élevée et une qualité de viande inférieure (Perez *et al.*, 2002), ainsi qu'une incidence plus élevée de la viande PSE (Eikelenboom *et al.*, 1991). Pour cette raison, plusieurs auteurs suggèrent que l'abattage des porcs au bout de 2-4 h de repos mène à une réduction significative des problèmes de l'incidence de la viande PSE (Eikelenboom et Bolink, 1991; Grandin, 1994). D'autres auteurs ont constaté que la période de repos optimale qui permet d'obtenir de meilleurs indices de qualité de la viande est de l'ordre de 3-5 h (Honkavaara, 1989), 4-6 h (Garrido *et al.*, 1992) ou 6-8 h (Augustini et Fischer, 1982) chez les porcs sensibles au stress. Au-delà de 9 h de stabulation, l'agressivité et les combats entre les animaux sont probables, ce qui provoque un stress des animaux et augmente la proportion de lésions de la peau et l'incidence de la viande DFD (Nanni Costa *et al.*, 2002), et de la viande PSE (Gispert *et al.*, 2000).

Selon le Comité scientifique de la santé animale et du bien être des animaux (European Council, 2005), une durée de repos d'au moins 6 h est recommandée lorsque les porcs sont transportés durant une durée maximale de 8 h.

2.3.4. Conduite des animaux au poste d'étourdissement

La conduite des porcs au poste d'étourdissement est une source de bousculade et d'excitation. Les manipulateurs peuvent être brutaux avec les animaux et s'aident souvent de "stimulateurs électriques" pour les faire avancer. Dans les abattoirs de gros tonnages, où les cadences d'abattage sont élevées, la conduite des animaux au poste d'étourdissement est souvent assistée par des systèmes automatisés (tapis roulants, conduite suspendue). Ces opérations induisent un stress important dont les réponses contribuent à une élévation du métabolisme musculaire (Chevillon, 2001; Griot *et al.*, 2000). L'activation des réactions biochimiques de la glycolyse persiste après la saignée, accélère la vitesse de chute du pH et augmente la température musculaire (D'Souza *et al.*, 1998 ; Van der Wal *et al.*, 1999). Ce phénomène contribue à l'augmentation de la fréquence d'apparition de viandes PSE (Brown *et al.*, 1998 ; D'Souza *et al.*, 1998 ; Van der Wal *et al.*, 1999).

2.3.5. Etourdissement

L'étourdissement des animaux de boucherie avant la saignée est une obligation réglementaire qui permet de mieux respecter le bien-être animal et de réduire les risques d'accidents pour le personnel d'abattoir. Pour l'abattage des porcs, deux systèmes peuvent être utilisés : l'étourdissement électrique ou électronarcose, et l'étourdissement gazeux.

Lors d'un étourdissement par électronarcose, le courant électrique est généralement appliqué au niveau du cou. Cette méthode présente l'avantage d'étourdir le porc de manière quasi instantanée, mais l'application du courant électrique entraîne une violente contraction de la musculature ainsi qu'une perturbation du système nerveux qui conduit, entre autre, à un relargage important de catécholamines dans le sang (Van der Wal, 1975). La réponse métabolique dans les cellules provoque une augmentation de la température musculaire de 1°C en moyenne (Monin, 1973). Cette activation du métabolisme et l'augmentation de température qui lui est associée élèvent le risque d'obtention de viandes PSE. D'autre part, la violente contraction produite par le courant d'électronarcose provoque des lésions vasculaires qui conduisent à des microhémorragies dans les muscles. Ce phénomène provoque l'apparition de points de sang, visibles à la découpe et au tranchage (Griot *et al.*, 2000). Un mauvais réglage du matériel d'électronarcose ou sa mauvaise manipulation peut conduire à une fréquence élevée de ce défaut d'aspect.

L'étourdissement gazeux consiste à immerger les animaux dans une fosse contenant au moins 80% de CO₂ dans l'air. Avec ce mode d'étourdissement, on observe moins de défauts d'aspect dans la viande comme les points de sang et les ecchymoses et la fréquence d'apparition de viandes PSE est sensiblement réduite (Velarde *et al.*, 2001 ; Channon *et al.*, 2003). Cependant, l'utilisation du CO₂ suscite des interrogations quant au respect du bien-être animal lors de l'anesthésie elle-même. La perte de conscience par l'utilisation du gaz n'est pas instantanée, contrairement à l'électronarcose.

Conclusion

A l'issue de cette synthèse bibliographique, on conclut à l'existence de plusieurs études sur les critères de qualité de viande, dont on a cité les principaux dans ce premier chapitre.

Parallèlement, beaucoup d'études ont analysé les facteurs pouvant influencer ces critères de qualité de viande chez le porc, notamment la comparaison des différences dues à ces facteurs et la compréhension des mécanismes physiologiques qui expliquent ces variations.

Aujourd'hui, plusieurs synthèses bibliographiques de ces résultats existent dans la littérature (Sellier, 1998 ; Lebret *et al.*, 1999 ; Monin, 2003 ; Álvarez *et al.*, 2009). Cependant, et compte tenu de la disponibilité de l'information qui est parfois contradictoires entre les publications, le recours à la méta-analyse comme approche synthétique quantitative est recommandé (Glass, 1976 ; St-Pierre, 2001).

Références

Ahn D.U., Lutz S., Sim J.S., 1996. Effects of dietary α -linolenic acid on the fatty acid composition, storage stability and sensory characteristics of pork loin. *Meat Science*, 43, 291-299.

Álvarez D., Garrido M.D., Bañón S., 2009. Influence of pre-slaughter process on pork quality: an overview. *Food Reviews International*, 25, 233-250.

Anderson H.G., 2000. What is pork quality? Quality of meat and fat in pigs as affected by genetics and nutrition. In: 51st Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Zurich, Switzerland, EAAP Publication N° 100, 15-26.

Andres A.I., Cava R., Mayoral A.I., Tejeda J.F., Morcuende D., Ruiz J., 2001. Oxidative stability and fatty acid composition of pig muscles as affected by rearing system, crossbreeding and metabolic type of muscle fibre. *Meat Science*, 59, 39-47.

Augustini C., Fischer K., 1982. Physiological reaction of slaughter animals during transport. In: *Transport of Animals Intended for Breeding, Production and Slaughter* (R. Moss, ed.), Martinus Nijhoff, The Hague, The Netherlands, 125-135.

Bager F., Emborg H.D., Lund S.L., Halgaard C., Thode J.P., 1995. Control of Salmonella in Danish pork. *Fleischwirtschaft*, 75, 1000-1001.

Barton-Gade P.A., 1987. Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livestock Production Science*, 16, 187-196.

Barton-Gade P.A., 2008. Effect of rearing system and mixing at loading on transport and lairage behaviour and meat quality: comparison of outdoor and conventionally raised pigs. *Animal*, 2, 902-911.

Barbut S., Sosnicki A.A., Lonergan S.M., Knapp T., Ciobanu D.C., Gatcliffe L.J., Huff-Lonergan E., Wilson E.W., 2008. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Science*, 79, 46-63.

Beattie V.E., O'Connell N.E., Moss B.W., 2000. Influence of environmental enrichment on the behaviour, performance and meat quality of domestic pigs. *Livestock Production Science*, 65, 71-79.

Bee G., Guex G., Herzog W., 2004. Free-range rearing of pigs during the winter: adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. *Journal of Animal Science*, 82, 1206-1218.

Bendall J.R., 1973. Post mortem changes in muscles. In : G.H. Bourne (ed.), *The structure and function of muscle*, 2nd Ed., Academic Press, New York.

Bereskin B., Rough D.K., Davey R.J., 1978. Some factors affecting the evaluation of pork quality. *Journal of Animal Science*, 47, 389-397.

Bonneau M., 1988. Intérêts et limites de la production de viandes de porc mâle entier. *INRA Productions Animales*, 1, 133-140.

Bonneau M., Touraille C., Pardon P., Lebas F., Fauconneau B., Remignon H., 1996. Amélioration de la qualité des carcasses et des viandes. *Inra Productions animales*, N° Hors série, 95-110.

Bout J., Girard J., 1988. Lipides et qualités des tissus adipeux et musculaires du porc. 2ème partie : lipides et qualités du tissu musculaire – facteurs de variation. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 20, 271-278.

Bradshaw R.H., Parrott R.F., Goode J.A., Lloyd D.M., Rodway R.G., Broom D.M., 1996. Behavioral and hormonal responses of pigs during transport: effect of mixing and duration of journey. *Journal of Animal Science*, 62, 547-554.

Brown S.N., Knowles T.G., Edwards J.E., Warriss P.D., 1999. Relationship between food deprivation before transport and aggression in pigs held in lairage before slaughter. *Veterinary Record*, 145, 630-634.

Brown S.N., Warriss P.D., Nute G.R., Edwards J.E., Knowles T.G., 1998. Meat quality in pigs subjected to minimal preslaughter stress. *Meat Science*, 49, 257-265.

Bruce H.L., Ball R.O., 1990. Postmortem interactions of muscle temperature, pH and extension on beef quality. *Journal of Animal Science*, 68, 4167-4175.

Cameron N.D., Enser M.B., 1991. Fatty acid composition of lipid in Longissimus dorsi muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. *Meat Science*, 29, 295-307.

Candek-Potokar M., Lefaucheur L., Zlender B., Bonneau M., 1998. Effects of age and/or weight at slaughter on pig longissimus dorsi muscle: biochemical traits and sensory quality in pigs. *Meat Science*, 48, 287-300.

Castell A.G., Cliplef R.L., Poste-Flynn L.M., Butler G., 1994. Performance, carcass and pork characteristics of castrates and gilts self-fed diets differing in protein content and lysine:energy ratio. *Canadian Journal of Animal Science*, 74, 519-528.

Channon H.A., Payne A.M., Warner R.D., 2003. Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. *Meat Science*, 65, 1325-1333.

Charpentier J., 1966. Pigmentation musculaire des veaux de boucherie. II - Influence d'une supplémentation en fer sur la teneur en fer de certains muscles. *Annales de Zootechnie*, 15, 361-366.

Charpentier J., 1968. Glycogénolyse post-mortem du muscle Longissimus dorsi de porc. *Annales de Zootechnie*, 17, 429-443.

Chevillon P., 1994. Control of pork stomachs in abattoir. The mirror of the stomach in cattle. Technological Institute of Pork, Le Rheu, France, 11 p.

Chevillon P., 2001. Opération de préabattage et d'anesthésie, la réduction du stress améliore le bien-être des porcs. *Viandes et Produits Carnés*, 22, 95-102.

Chevillon P., Frotin P., Rousseau P., Kerisit R., 2003. Incidence sur le bien-être des porcs de la densité de chargement et du protocole d'alimentation lors d'un transport de 36 heures incluant 9 heures d'arrêt. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 35, 179-186.

Chevillon P., Jamain G., Grigot B. 2000. Evaluation du stress du porc par la mesure des fréquences cardiaques de la case d'engraissement au passage à l'anesthésie. *ITP, Techni Porc*, 23, 5-18.

Ciobanu D., Bastiaansen J., Malek M., Helm J., Woollard J., Plastow G., Rothschild M., 2001. Evidence for new alleles in the protein kinase adenosine monophosphate activated c3-subunit gene associated with low glycogen content in pig skeletal muscle and improved meat quality. *Genetics*, 159, 1151-1162.

Ciobanu D.C., Lonergan S.M., Huff-Lonergan E.J., 2011. Genetics of meat quality and carcass traits. In: *The Genetics of the Pig* 2nd edition. Ed. Rothschild M.F.; Ruvinsky A. CABI, Wallingford, UK. Pages: 355-389.

Cisneros F., Ellis M., McKeith F.K., McCaw J., Fernando R.L., 1996. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74, 925-933.

Constantinescu, S., 2005. *Biologie moléculaire de la cellule* 3ème édition (De Boeck & Larcier, eds.), Bruxelles.

Cromwell G.L., Hays V.W., Trujillo-Figueroa V., Kemp J.D., 1978. Effects of dietary protein and energy levels for growing- finishing swine on performance, muscle composition and eating quality of pork. *Journal of Animal Science*, 47, 505-513.

Daumas G., 2008. Actualisation de l'équation CGM pour le classement des porcs en France. Journées de la Recherche Porcine en France, 40, 89-90.

Daumas G., Causeur D., Predin J., 2010. Validation de l'équation française de prédiction du taux de muscle des pièces (TMP) des carcasses de porc par la méthode CGM. Journées de la Recherche Porcine en France, 42, 229-230.

De Jong I.C., Prelle I.T., Van de Burgwal J.A., Lambooij E., Korte S.M., Blokhuis H.J., Koolhaas J.M., 2000. Effects of rearing conditions on behavioural and physiological responses of pigs to preslaughter handling and mixing transport. Canadian Journal of Animal Science, 80, 451-458.

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

Dikeman, M.E., 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. Meat Science, 77, 121-135.

Dransfield E., Ngapo T.M., Nielsen N.A., Bredahl L., Sjö den P.O., Magnusson M., Campo M.M., Nute G.R., 2005. Consumer choice and suggested price for pork as influenced by its appearance, taste and information concerning country of origin and organic pig production. Meat Science 69, 61-70.

D'souza D.N., Dunshea F.R., Warner R.D., Leury B.J., 1998. The effect of handling pre - slaughter and carcass processing rate post-slaughter on pork quality. Meat Science. 50, 429- 437.

Dunshea F.R., D'Souza D.N., Pethick D.W., Harper G.S., Warner R.D., 2005. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. Meat Science, 71, 8-38.

Edwards S.A., 2005. Product quality attributes associated with outdoor pig production. Livestock Production Science, 94, 5-14.

Edwards S.A., Casabianca F., 1997. Perception and reality of product quality from outdoor pig production systems in Northern and Southern Europe. In Livestock farming systems: more than food production (J.T. Sorensen, ed.), Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, 145-156.

Eikelenboom G., Bolink A.H., 1991. The effects of foodstuff composition, sex and day of slaughter on pork quality. In Proceedings of the 37th International Congress of Meat Science and Technology, Kulmbach, Germany, 233-236.

Eikelenboom G., Bolink A.H., Sybesma W., 1991. Effects of feed withdrawal before delivery on pork quality and carcass yield. Meat Science, 29, 25-30.

Eikelenboom G., Minkema D., 1974. Prediction of pale, soft, exudative muscle with a non-lethal test for the halothane-induced porcine malignant hyperthermia syndrome. Tijdschrift voor Diergeneeskunde, 99, 421-426.

Ellis M., Webb A.J., Avery P.J., Brown I., 1996. The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork. Animal Science, 62, 521-530.

Enfält A.C., Lundström K., Engstrand U., 1993. Early post mortem pH decrease in porcine M. Longissimus dorsi of PSE, normal and DFD quality. Meat Science, 34, 131-143.

Enfält A.C., Lundström K., Hansson I., Lundeheim N., Nyström P.E., 1997. Effects of outdoor rearing and sire breed (Duroc or Yorkshire) on carcass composition and sensory and technological meat quality. *Meat Science*, 45, 1–15.

Estrade M., Vignon X., Rock E., Monin G., 1993. Glycogen hyperaccumulation in white muscle fibres of RN- carrier pigs. A biochemical and ultrastructural study. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part B*, 104, 321-326.

European Council, 2005. Council Regulation (EC) No. 1/2005 of 22 December 2004 on the protection of animals during transport and related operations and amending Directives 64/432/EEC and 93/119/EC and Regulation (EC) No. 1255/97. *Official Journal of the European Union L3*, 1-44.

Fernandez X., Monin G., Culioli J., Legrand I., Quilichini Y., 1996. Effect of duration of feed withdrawal and transportation time on muscle characteristics and quality in Friesian-Holstein calves. *Journal of Animal Science*, 74, 1576-1583.

Fernández X., Meunier-Salaün M.C., Ecolan P., Morméde P., 1994. Interactive effect of food deprivation and agonistic behaviour on blood parameters and muscle glycogen in pigs. *Physiology and Behavior*, 58, 337–345.

Fernandez X., Mourot J., Mounier A., Ecolan P., 1995. Effect of muscle type and food deprivation for 24 h on the composition of the lipidic fraction in muscles of Large White pigs. *Meat Science*, 41, 335-343.

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

Fontanesi L., Davoli R., Nanni Costa L., Beretti F., Scotti E., Tazzoli M., Tassone F., Colombo M., Buttazzoni L., Russo V., 2008. Investigation of candidate genes for glycolytic potential of porcine skeletal muscle: Association with meat quality and production traits in Italian Large White pigs. *Meat Science*, 80, 780–787.

FPW, 2001. La qualité de la viande de porc. Dossier technique. Filière Porcine Wallone asbl.

Gandemer G., Pichou D., Bouguennec B., Caritez J.C., Berge P., Briand E., Legault C., 1990. Influence du système d'élevage et du génotype sur la composition chimique et les qualités organoleptiques du muscle long dorsal chez le porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 22, 101–110.

Garrido M.D., Pedauy J., Marques F., Quiñonero J., Laencina J., 1992. Influencia del tiempo de reposo en la calidad de la carne. *Jornadas Técnicas de Valoración de Canales y Carnes y Defensas de la Calidad de los Productos Ganaderos. Feria Internacional Ganadera del Quinto Centenario. Lugar de celebración Zafra. Badajoz. (España).*

Gentry J.G., McGlone J.J., Blanton J.R., Miller M.F., 2002b. Alternative housing systems for pigs: influences on growth, composition and pork quality. *Journal of Animal Science*, 80, 1781-1790.

Gentry J.G., McGlone J.J., Miller M.F., Blanton J.R., 2002a. Diverse birth and rearing environment effects on pig growth and meat quality. *Journal of Animal Science*, 80, 1707-1715.

Geverink N.A., De Jong I.C., Lambooij E., Blokhuis H.J., Wiegant V.M., 1999. Influence of housing conditions on responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for meat quality. *Canadian Journal of Animal Science*, 79, 285–291.

- Gil M., Delday M.I., Gispert M., Font i Furnols M., Maltin C.M., Plastow G.S., Klont R., Sosnicki A.A., Carrión D., 2008.** Relationships between biochemical characteristics and meat quality of Longissimus thoracis and Semimembranosus muscles in five porcine lines. *Meat Science*, 80, 927-933.
- Girard J.P., Bout J., Salort D., 1988.** Lipides et qualités du tissu adipeux, facteurs de variation. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 20, 255-278.
- Gispert M., Faucitano L., Oliver M.A., Guàrdia M.D., Coll C., Siggers K., Harvey K., Diestre A., 2000.** A survey of pre-slaughter conditions, halothane gene frequency, and carcass and meat quality in five Spanish pig commercial abattoirs. *Meat Science*, 55, 97-106.
- Gispert M., Font i Furnols M., Gil M., Velarde A., Diestre A., Carrión D., Sosnicki A.A., Plastow G.S., 2007.** Relationships between carcass quality parameters and genetic types. *Meat Science*, 77, 397-404.
- Gispert M., Guàrdia M.D., Diestre A., 1996.** Mortality during transport and rest time for slaughter pigs. *Eurocarne*, 45, 73-79.
- Glass G.V., 1976.** Primary, secondary and meta-analysis of research. *Educational researcher*, 5, 3-8.
- González E., Tejeda J.F., 2007.** Effects of dietary incorporation of different anti-oxidant extracts and free-range rearing on fatty acid composition and lipid oxidation of Iberian pig meat. *Animal*, 1, 1060-1067.
- Grandin T., 1991.** Assessment of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science*, 75, 249-257.
- Grandin T., 1994.** Methods to reduce PSE and Bloodsplash. In *Proceedings of Allen D. Leman Swine Conference*, University of Minnesota, 21, 206-209.
- Griot B., Boulard J., Chevillon P., 2000.** Reducing blood spots on pork meat: band restrainers for wellbeing and quality. *Viandes et Produits Carnés*, 21, 91-97.
- Guàrdia M.D., Estany J., Balasch S., Oliver M.A., Gispert M., Diestre A., 2004.** Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Science*, 67, 471-478.
- Guàrdia M.D., Estany J., Balasch S., Oliver M.A., Gispert M., Diestre A., 2005.** Risk assessment of DFD meat due to pre-slaughter conditions in pigs. *Meat Science*, 70, 709-716.
- Guàrdia M.D., Gispert M., Diestre A., 1996.** Mortality rates during transport and lairage in pigs for slaughter. *Meat Focus International*, 10, 362-366.
- Guéblez R., Bouyssière M., Sellier P., 1996.** Evaluation sensorielle de différents produits issus de porcs de génotype halothane connu. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 28, 45-52.
- Guéblez R., Paboeuf F., Sellier P., Bouffaud M., Boulard J., Brault D., Le Tiran M.H., Petit G., 1995.** Effet du génotype halothane sur les performances d'engraissement, de carcasse et de qualité de la viande du porc charcutier. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 27, 155-164.
- Guillemin N., 2010.** Marqueurs protéiques de la tendreté de la viande bovine: étude prédictive et fonctionnelle. Thèse de doctorat, Saint-Genès-Champanelle, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, INRA.
- Guisse H.J., 1987.** Moving pigs from farm to factory. *Pig International*, 8-12.

Guisse H.J., Penny R.H.C., 1989. Factors influencing the welfare and carcass and meat quality of pigs. 1. The effect of stocking density in transport and the use of electric goad. *Journal of Animal Production*, 48, 25-37.

Guy J.H., Rowlinson P., Chadwick J.P., Ellis M., 2002. Behaviour of two genotypes of growing-finishing pig in three different housing systems. *Applied Animal Behaviour Science*, 75, 193–206.

Hansen L.L., Claudi-Magnussen C., Jensen S.K., Andersen H.J., 2006. Effect of organic pig production systems on performance and meat quality. *Meat Science*, 74, 605–615.

Heyer A., 2004. Performance, Carcass and Meat Quality in Pigs: Influence of Rearing System, Breed and Feeding. Thèse de doctorat, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Hocquette J.F., Ortigues-Marty I., Damon M., Herpin P., Geay Y., 2000. Métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez les animaux producteurs de viande. *INRA Productions Animales*, 13, 185-200.

Hocquette J.F., Ortigues-Marty I., Pethick D., Herpin P., Fernandez X., 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat producing animals. *Livestock Production Science*, 56, 115-143.

Honkavaara M., 1989. Influence of lairage on blood composition of pig and on the development of PSE pork. *Journal of Agricultural Science in Finland*, 61, 425-432.

Josell A., Enfält A.C., von Seth G., Lindahl G., Hedebo-Velander I., Andersson L., Lundström K., 2003. The influence of RN genotype, including the new V199I allele, on the eating quality of pork loin. *Meat Science*, 65, 1341-1351.

Karlsson A., Essen-Gustavsson B., Lundström K., 1992. Muscle glycogen depletion pattern in Longissimus dorsi muscle of pigs fed high and low protein diet. In *Proceedings of the 38th International Congress of Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, France, 3, 375-379.

Kerry J., Kerry J., Ledward D., 2002. Meat Processing. Improving quality. CRC Press, London, UK.

Klont R.E., Hulsege B., Hoving-Bolink A.H., Gerritzen M.A., Kurt E., Winkelman-Goedhart H.A., De Jong I.C., Kranen R.W., 2001. Relationships between behavioral and meat quality characteristics of pigs raised under barren and enriched housing conditions. *Journal of Animal Science*, 79, 2835–2843.

Labroue F., Goumy S., Gruand J., Mourot J., Neelz V., Legault C., 2000. Comparaison au Large White de 4 races locales porcines françaises pour les performances de croissance, de carcasse et de qualité de la viande. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 32, 403-412.

Lambooy E., Engel B., 1991. Transport of slaughter pigs by truck over a long distance: some aspects of loading density and ventilation. *Livestock Production Science*, 28, 163-174.

Lambooy E., Van Putten G., 1993. Transport of pigs. In *Livestock Handling and Transport* (T. Grandin, ed.), CAB International, Wallingford, UK, 123-231.

Lambooy E., Garssen G.J., Walstra P., Mateman F., Merkus G.S.M., 1985. Transport of pigs by car for two days: some aspects of watering and loading density. *Livestock Production Science*, 13, 289-299.

Larzul C., Le Roy P., Gueblez R., Talmant A., Gogue J., Sellier P., Monin G., 1997a. Effect of halothane genotype (NN, Nn, nn) on growth, carcass and meat quality traits of pigs slaughtered at 95 kg or 125 kg live weight. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 114, 309–320.

Larzul C., Lefaucheur L., Ecolan P., Gogu  J., Talmant A., Sellier P., Le Roy P., Monin G., 1997b. Phenotypic and genetic parameters for Longissimus muscle fiber characteristics in relation to growth, carcass, and meat quality traits in Large White pigs. *Journal of Animal Science*, 75, 3126–3137.

Larzul C., Le Roy P., Monin G. Sellier P., 1998. Variabilité génétique du potentiel glycolitique du muscle chez le porc. *Inra Productions animales*, 11, 183–197.

Le Roy P., Juin H., Caritez J., Billon Y., Lagant H., Elsen J.M., Sellier P., 1996. Effet du génotype RN sur les qualités sensorielles de la viande de porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 28, 53–56.

Le Roy P., Naveau J., Elsen J.M., Sellier P., 1990. Evidence for a new major gene influencing meat quality in pigs. *Genetics Research*, 55, 33–40.

Lebret B., Foury A., Morm de P., Terlouw E.M.C., Vautier A., Chevillon P., 2006b. Muscle traits, preslaughter stress and meat quality indicators as influenced by pig rearing system. In *Proceedings of the 52nd International Congress of Meat Science and Technology*, Wageningen, The Netherlands, 17, 145–146.

Lebret B., Guillard A.S., 2005. Outdoor rearing of cull sows: effects on carcass, tissue composition and meat quality. *Meat Science*, 70, 247–257.

Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999. La qualité de la viande de porc. Influence des facteurs d' levage non génétiques sur les caractéristiques du tissu musculaire. *INRA Productions Animales*, 12, 11–28.

Lebret B., Massabie P., Granier R., Juin H., Mourot J., Chevillon P., 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of dry-cured hams. *Meat Science*, 62, 447–455.

Lebret B., Meunier-Salaün M.C., Foury A., Morm de P., Dransfield E., Dourmad J.Y., 2006a. Influence of rearing conditions on performance, behavioral, and physiological responses of pigs to preslaughter handling, carcass traits, and meat quality. *Journal of Animal Science*, 84, 2436–2447.

Leheska J.M., Wulf D.M., Maddock R.J., 2003. Effects of fasting and transportation on pork quality development and extent of postmortem metabolism. *Journal of Animal Science*, 81, 3194–3202.

Lendfers L.H.M.M., 1971. Loss of pigs due to death during transport; a one-year survey at an abattoir. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Conditions and Meat Quality of Pigs*. Wageningen, The Netherlands, 225–229.

Long V.P., Tarrant P.V., 1990. The effect of pre-slaughter showering and post-slaughter rapid chilling on meat quality in intact pork sides. *Meat Science*, 27, 181–195.

Lopez-Bote C.J., 1998. Sustained utilization of the Iberian pig breed. *Meat Science*, 49, S17–S27.

Lyons C.A.P., Bruce J.M., Fowler V.R., English P.R., 1995. A comparison of productivity and welfare of growing pigs in four intensive systems. *Livestock Production Science*, 43, 265–274.

Malmfors B., Lundström K., Hansson I., 1978. Fatty acid composition of porcine back fat and muscle lipids as affected by sex, weight and anatomical location. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 8, 25-38.

Martoccia L., Brambilla G., Macri A., Moccia G., Cosentino E., 1995. The effect of transport on some metabolic parameters and meat quality in pigs. *Meat Science*, 40, 271–277.

Maw S.J., Fowler V.R., Hamilton M., Petchey A.M., 2001. Effects of husbandry and housing of pigs on the organoleptic properties of bacon. *Livestock Production Science*, 68, 119–130.

Meunier-Salaün M.C., Dourmad J.Y., Lebret B., 2006. Evaluation comparée de deux systèmes d'élevage par la réponse comportementale des porcs à l'introduction d'un nouvel objet dans le milieu de vie. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 38, 417–422.

Milan D., Jeon J.T., Looft C., Amarger V., Robic A., Thelander M., Rogel-Gaillard C., Paul S., Iannuccelli N., Rask L., Ronne H., Lundstrom K., Reinsch N., Gellin J., Kalm E., Roy P.L., Chardon P., Andersson L., 2000. A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science*, 288, 1248-1251.

Milan D., Woloszyn N., Yerle M., Le Roy P., Bonnet M., Riquet J., Lahbib-Mansais Y., Caritez J.C., Robic A., Sellier P., Elsen J.M., Gellin J., 1996. Accurate mapping of the "acid meat" RN gene on genetic and physical maps of pig chromosome 15. *Mammalian Genome*, 7, 47-51.

Millet S., Raes K., Van den Broeck W., De Smet S., Janssens G.P.J., 2005. Performance and meat quality of organically versus conventionally fed and housed pigs from weaning till slaughtering. *Meat Science*, 69, 335–341.

Minelli G., Culioli J., Vignon X., Monin G., 1995. Post mortem changes in the mechanical properties and ultrastructure of the Longissimus in two porcine breeds. *Journal of Muscle Foods*, 6, 313- 326.

Minvielle B., Boulard J., Vautier A., Houix Y., 2003. Viandes déstructurées dans la filière porcine : effets combinés des durées de transport et d'attente sur la fréquence d'apparition du défaut. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 35, 263-268.

Monin G., 1973. Réaction à l'électronarcose et glycogénolyse post mortem chez le porc. *Annales de zootechnie*. 22, 73 - 81.

Monin G., 1983. Influence des conditions de production et d'abattage sur les qualités technologiques et organoleptiques des viandes de porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 15, 151-176.

Monin G., 1988. Evolution post-mortem du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 20, 201-214.

Monin G., 1991. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *Inra Productions animales*, 4: 151-160.

Monin G., 2003. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *INRA Productions Animales*, 16, 251-262.

Monin G., Larzul C., Le Roy P., Culioli J., Mourot J., Rousset-Akrim S., Talmant A., Touraille C., Sellier P., 1999. Effects of the halothane genotype and slaughter weight on texture of pork. *Journal of Animal Science*, 77, 408–415.

Monin G., Sellier P., 1985. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post mortem period: the case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13, 49-63.

Mottram D.S., Edwards R.A., 1983. The role of triglycerides and phospholipids in the aroma of cooked beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 517-522.

Mourot J., Aumaitre A., Peiniau P., Chevillon P., 1992. Effet de l'apport de vitamine C sur les performances de croissance et la qualité de la viande chez des porcs Large White et croisés Large White Piétrain. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 24, 55-64.

Mourot J., Chauvel J., Le Denmat M., Mounier A., Peiniau P., 1991. Variations du taux d'acide linoléique dans le régime du porc : effets sur les dépôts adipeux et sur l'oxydation du C18:2 au cours de la conservation de la viande. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 23, 357-364.

Mourot J., Kouba M., Peiniau P., 1995. Comparative study of in vitro lipogenesis in various adipose tissues in the growing pig (*Sus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 111B, 379-384.

Murray A., Robertson W., Nattress F., Fortin A., 2001. Effect of pre-slaughter overnight feed withdrawal on pig carcass and muscle quality. *Canadian Journal of Animal Science*, 81, 89-97.

Nanni Costa L., Lo Fiego D.P., Dall'Olio S., Davoli R., Russo V., 2002. Combined effects of preslaughter treatments and lairage time on carcass and meat quality in pigs of different Halothane genotype. *Meat Science*, 61, 41-47.

Naveau J., Pommeret P., Lechaux P., 1985. Proposition d'une méthode de mesure du rendement technologique : la "méthode Napoléon". *Techni Porc*, 8, 7-13.

Nilzen V., Babol J., Dutta P.C., Lundeheim N., Enfält A.C., Lundström K., 2001. Free range rearing of pigs with access to pasture grazing – effect on fatty acid composition and lipid oxidation products. *Meat Science*, 58, 267-275.

Offer G., Knight P., Jeacocke R., Almond R., Cousins T., Elsey J., Parsons N., Sharp A., Starr R., Purslow P., 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure*, 8, 151-170.

Ollivier L., Sellier P., Monin G., 1975. Déterminisme génétique du syndrome d'hyperthermie maligne chez le porc de Piétrain. *Annales de Génétique et de Sélection Animale*, 7, 159-166.

Otto G., Roehe R., Looft H., Thoelking L., Kalm E., 2004. Comparison of different methods for determination of drip loss and their relationships to meat quality and carcass characteristics in pigs. *Meat Science*, 68, 401-409.

Ouali A., 1991. Conséquences des traitements technologiques sur la qualité de la viande. *Inra Productions animales*, 4, 195-208.

Ouali A., Herrera-Mendez C.H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L., Sentandreu M.A., 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74, 44-58.

Pedauy J.J. 1993. Evaluación objetiva de la calidad de la carne porcina en diferentes condiciones de sacrificio. Doctoral Tesis, Faculty of Veterinary Science University of Murcia, Spain.

Perez M.P., Palacio J., Santolaria M.P., Acena M.D., Chacón G., Verde M.T., 2002. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs. *Veterinary Research*, 33, 239-250.

Petersen V., Simonsen H.B., Lawson L.G., 1995. The effect of environmental stimulation on the development of behaviour in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 45, 215–224.

Purchas R., 2000. Animal growth and meat production: Study guide, Auckland, Institute of Food, Nutrition and Human Health. Massey University New Zealand, Palmerton North.

Rainelli P., 2001. L'image de la viande de porc en France – attitude des consommateurs. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 42, 47–60.

Rajic, I.D., 1971. The effect of ascorbic acid on the prevention of muscle degeneration and pale, soft and exudative meat in swine. *Acta Veterinaria (Belgrade)*, 21, 253-265.

Randall J.M., 1993. Environmental parameters necessary to define comfort for pigs, cattle and sheep in livestock transporters. *Journal of Animal Production*, 57, 299-307.

Renand G., Larzul C., Bihan-Duval E., Le Roy P., 2003. L'amélioration génétique de la qualité de la viande dans les différentes espèces : situation actuelle et perspectives à court et moyen terme. *INRA Productions Animales*, 16, 159-173.

Renerre M., Valin C., 1979. Influence de l'âge sur les caractéristiques de la viande bovine de race Limousine. *Annales de Technologie Agricole*, 28, 319-332.

Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare, 2002. The welfare of animals during transport (details for horses, pigs, sheep and cattle). European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General, 1–130.

Roseiro L.C., Fraqueza M.J., Almeida J., Matias E., Santos C., Sardinha L., 1996. Influence of lairage temperature and time on postural attitude in pigs. In *Proceedings of the 42nd International Congress of Meat Science and Technology*, Lillehammer, Norway, 442-443.

Rosenvold K., Andersen H.J., 2003. Factors of significance for pork quality – a review. *Meat Science*, 64, 219-237.

Roux M., 2006. Structure, expression et polymorphisme du gène PRKAG3 bovin : implication dans le métabolisme musculaire et la qualité de la viande. Thèse de doctorat, Université de Limoges, Ecole Doctorale Sciences – Technologie – Santé, 60 p.

Sather A.P., Jones S.D.M., Schaefer A.L., Colyn J., Robertson W.M., 1997. Feedlot performance, carcass composition and meat quality of free-range reared pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 77, 225–232.

Sauvageot F., 1982. L'évaluation sensorielle des denrées alimentaires – aspect méthodologie. Comment comprendre l'expression « évaluation sensorielle des denrées alimentaires », Chap.1, Pages : 9-26. In : *Tec et Doc (Ed.)*, Paris, France.

Scheffler T.L., Gerrard D.E., 2007. Mechanisms controlling pork quality development: The biochemistry controlling postmortem energy metabolism. *Meat Science*, 77, 7-16.

Scheffler T.L., Park S., Gerrard D.E., 2011. Lessons to learn about postmortem metabolism using the the AMPK γ 3^{R200Q} mutation in the pig. *Meat Science*, 89, 244-250.

Sellier P., 1998. Genetics of meat and carcass traits. In: *The Genetics of the Pig* (M.F. Rothschild, A. Rubinsky, eds), CAB Int., Wallingford, UK, 463-510.

Sellier P., Monin G., 1994. Genetics of pig meat quality: a review. *Journal of Muscle Foods*, 5, 187-219.

Shackelford S.D., Koohmaraie M., Wheeler T.L., Cundiff L.V., Dikeman M.E., 1994. Effect of biological type of cattle on the incidence of the dark, firm, and dry condition in the longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 72, 337-343.

Smith C., Bampton P., 1977. Inheritance of reaction to halothane anaesthesia in pigs. *Genetical Research*, 29, 287-292.

St-Pierre N.R., 2001. Invited Review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84, 741-755.

Sundrum A., Büftering L., Henning M., Hoppenbrock K.H., 2000. Effects of on-farm diets for organic pig production on performance and carcass quality. *Journal of Animal Science*, 78, 1199-1205.

Tarrant P.V., 1989. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs – A review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13, 79-107.

Terlouw C., 2005. Stress reactions at slaughter and meat quality in pigs: genetic background and prior experience. A brief review of recent findings. *Livestock Production Science*, 94, 125–135.

Terlouw C., Astruc T., Monin G., 2004. Effect of genetic background, rearing and slaughter conditions on behaviour, physiology and meat quality of pigs. In *Proceedings of the EU Workshop on Sustainable Pork Production: Welfare, Quality, Nutrition and Consumer Attitudes*, Copenhagen, Denmark, 113–125.

Terlouw C., Ludriks A., Schouten W., Vaessen S., Fernandez X., Andanson S., Père M.C., 2001. Réactivité des porcs au stress à l'abattage : prédominance de l'allèle de sensibilité à l'halothane. *Viandes et Produits Carnés*, 22, 127-136.

Troeger K., 1996. Transportation of slaughter animals. Treatment during transport and its consequences for product quality. *Fleischwirtschaft International*, 1, 2-4.

Valin C., 1988. Différenciation du tissu musculaire. Conséquences technologiques pour la filière viande. *Reproduction Nutrition Développement*, 28, 845-856.

Van Der Wal P.G., 1975. A comparison of physiological parameters after electroshock stunning and adrenaline (iv) administration. In *Proceedings of the 21st European meeting of meat research workers, extraordinary session: the physiological basis of stunning methods*, Bern, Switzerland, 1- 6.

Van Der Wal P.G., Engel B., Reimert H.G.M., 1999. The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Science*. 53, 101-106.

Van Oeckel M.J., Casteels M., Warnants N., Van Damme L., Boucqué C.V., 1996. Omega-3 fatty acids in pig nutrition: implications for the intrinsic and sensory quality of the meat. *Meat Science*, 44, 55-63.

Velarde A., Gispert M., Faucitano L., 2001. Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat Science*, 58, 313 – 319.

Wajda S., Bak T., 1994. Slaughter value of pigs hauled to slaughterhouses from the distances of 50 and 100 Km. Iind Int. Conf. “The influence of genetic and non genetic traits on carcass and meat quality”. Siedlce, 7-8 Nov.

Warriss P.D., 1994. Ante-mortem handling of pigs. In Principles of Pig Science (D.J.A. Cole, J. Wiseman, M.A. Varley, eds), Nottingham University Press: Loughborough, UK, 425–432.

Warriss P.D., Brown S.N., Franklin J.G., Kestin S.C., 1990. The thickness and quality of backfat in various pig breeds and their relationship to intramuscular fat and setting of joints from the carcasses. Meat Science, 28, 21–29.

Warriss P.D., Brown S.N., Knowles T.G., Edwards J.E., Kettlewell P.J., Guise H.J., 1998. The effect of stocking density in transit on the carcass quality and welfare of slaughter pigs: 2. Results from the analysis of blood and meat samples. Meat Science, 50, 447–456.

Wood J.D., Brown S.N., Nute G.R., Whittington F.M., Perry A.M., Johnson S.P., Enser M., 1996. Effects of breed, feed level and conditioning time on the tenderness of pork. Meat Science, 44, 105-112.

