

Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes

La qualité des carcasses et des viandes de porc peut être améliorée par une meilleure maîtrise des conditions de transport et d'abattage des animaux. En effet les stress de toute nature qui surviennent au cours de ces opérations peuvent modifier le métabolisme musculaire avec des conséquences sur de nombreux critères de qualité. Cet article fait le point des connaissances sur ce thème et présente les recommandations qui en découlent.

L'abattage est une activité coûteuse et dont les répercussions sur les qualités des carcasses et des viandes de porc sont très importantes. Il comprend une suite complexe d'opérations : transfert des animaux à l'abattoir, stabulation, conduite au poste d'abattage, étourdissement et saignée, habillage de la carcasse, réfrigération. Les conditions dans lesquelles il est réalisé ont longtemps fait l'objet de peu de considération, à une époque où les aspects quantitatifs de la production de viande l'emportaient largement, dans l'esprit des opérateurs, sur les aspects qualitatifs. Les principaux progrès réalisés au cours des trente dernières années ont concerné 1/ la mécanisation des chaînes d'abattage, justifiée par la nécessité d'abaisser les coûts et de supprimer l'intervention humaine dans les tâches

les plus pénibles et facilitée par la concentration des entreprises, 2/ l'hygiène, domaine où les entreprises ont été contraintes par le durcissement de la réglementation. Dans les pays les plus développés, les exigences en matière de qualité, tant de la part des transformateurs de la viande que des consommateurs, sont devenues extrêmement élevées. Dans le même temps, les réglementations en matière de protection animale se sont renforcées. Il en résulte la nécessité de progrès dans la conduite de l'abattage et surtout de toutes les opérations précédant la mort de l'animal. Aussi des recherches actives dans ce domaine ont été développées dans la plupart des pays d'Europe occidentale et aux USA, aboutissant à des recommandations destinées à optimiser les qualités des carcasses et des viandes et à minimiser la souffrance des animaux. Ces recommandations peuvent notablement varier entre pays en fonction de critères économiques, des sensibilités locales ou des résultats obtenus par les chercheurs ou experts locaux.

Résumé

L'amélioration de la compétitivité des entreprises d'abattage de porcs ne repose plus essentiellement sur l'abaissement de leurs coûts, mais plutôt sur leur capacité à élever la qualité de leurs produits. La marge de progrès disponible la plus importante réside dans la part des opérations qui concerne les animaux vivants. Accroître la maîtrise des qualités de la viande implique nécessairement de mieux comprendre la réaction des animaux aux facteurs d'agression rencontrés lors de l'abattage, et ses effets sur ces qualités. Les connaissances disponibles dans ce domaine n'expliquent qu'une partie des mécanismes en cause, et il reste nécessaire de les approfondir, en portant particulièrement l'attention sur les interactions entre facteurs zootechniques et technologiques. D'une façon générale, il faut respecter un délai de 20 à 24 heures entre le dernier repas et l'abattage, prendre toutes les dispositions nécessaires pour minimiser les facteurs d'agression, en particulier un aménagement des locaux tenant compte des particularités comportementales du porc, et veiller à l'application optimale de l'anesthésie, qu'elle soit électrique ou gazeuse. Parmi les opérations succédant à l'abattage, la réfrigération est celle qui est susceptible de l'impact le plus marqué sur la qualité.

1 / Le métabolisme musculaire post mortem et la rigidité cadavérique

Chez le porc, les conditions d'abattage influencent fortement la cinétique des changements physiques et biochimiques qui interviennent dans le tissu musculaire après la mort. Cette cinétique constitue le premier fac-

teur explicatif des variations des qualités technologiques et contribue largement à l'élaboration des qualités sensorielles. Il est donc important, pour comprendre les effets de l'abattage sur les qualités des viandes, de rappeler rapidement l'évolution biochimique et physique du muscle *post mortem*.

1.1 / Acidification

Comme tout tissu vivant, le muscle squelettique a un besoin constant d'énergie. Au repos, l'énergie est nécessaire à l'homéostasie, c'est-à-dire à la stabilité du milieu intérieur des cellules, grâce en particulier au maintien de gradients de concentration entre celles-ci et leur milieu extérieur, et entre divers compartiments des cellules. La dépense énergétique augmente considérablement lorsque le muscle remplit sa fonction physiologique, la contraction.

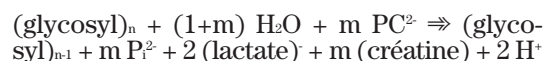
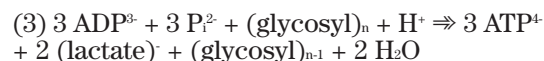
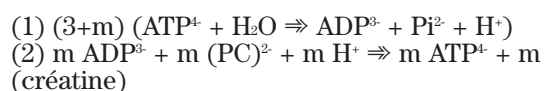
Le principal transporteur d'énergie dans la cellule est l'adénosine-triphosphate (ATP). Ce composé, dit riche en énergie, assure la liaison entre les réactions productrices d'énergie - la dégradation des nutriments - et les réactions utilisatrices d'énergie - biosynthèse (travail chimique), maintien des gradients (travail osmotique) et contraction (travail mécanique). La synthèse de l'ATP est permise par la dégradation de nutriments, en particulier le glucose, dans la chaîne de réactions constituée par la glycolyse, le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire. En outre, dans la cellule contractile, deux réactions contribuent à fournir de l'ATP lorsque le besoin s'accroît brutalement, principalement lors de la contraction :

- la dégradation de la phosphocréatine, catalysée par l'enzyme créatine phosphokinase (CPK) ;
- la réaction catalysée par une enzyme spécifique du muscle, la myokinase :

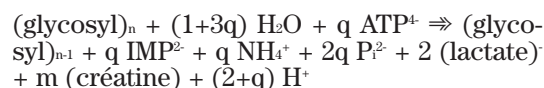
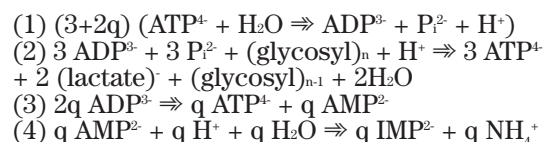


La mort de l'animal bouleverse le métabolisme musculaire. L'arrêt de la circulation sanguine interrompt l'apport d'oxygène et de nutriments aux cellules. La privation d'oxygène, ou anoxie, diminue très rapidement leur pouvoir d'oxydation, et seuls les mécanismes anaérobies continuent de fonctionner. Les cellules peuvent encore synthétiser de l'ATP, donc maintenir momentanément leur homéostasie, en mobilisant leurs réserves énergétiques glucidiques, normalement constituées principalement par le glycogène. La phosphocréatine fournit également de l'ATP, mais en plus faible quantité. Bendall (1973) a écrit le bilan des réactions biochimiques de dégradation et de synthèse de l'ATP qui se produisent dans la cellule musculaire immédiatement après la mort. Il distingue deux phases dans ces réactions.

Au début, l'ATP dégradé par les nombreuses ATPases musculaires (réaction 1) est resynthétisé par la dégradation de phosphocréatine (réaction 2) et la glycolyse (réaction 3) :



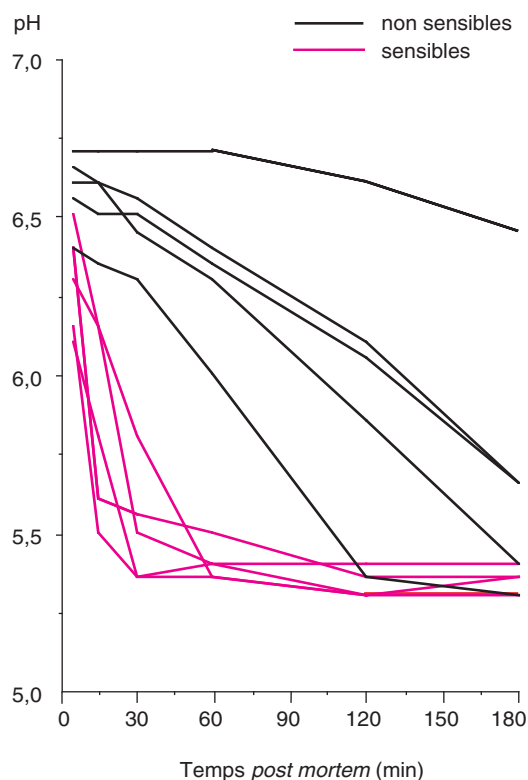
Rapidement, la phosphocréatine s'épuise et le taux d'ATP diminue car la glycolyse est une voie de synthèse comparativement peu performante. La synthèse d'ATP par la myokinase (réaction 3 ci-dessous) intervient alors : c'est la seconde phase des changements biochimiques.



L'ensemble de ces réactions conduit à l'accumulation d'acide lactique et de protons à des concentrations sensiblement équivalentes. Ces phénomènes se traduisent par une acidification progressive du muscle (donc une diminution du pH) jusqu'à l'arrêt des processus biochimiques. Le pH se stabilise alors à une valeur appelée pH ultime (pHu).

Chez le porc, la vitesse de chute du pH peut varier dans des proportions de 1 à 10 (figure 1), ce qui distingue cette espèce des autres mammifères de boucherie.

Figure 1. Evolution du pH post mortem dans le longissimus de dix porcs Piétrain sensibles et non-sensibles à l'halothane, provenant du même élevage et abattus le même jour dans un abattoir expérimental. Chaque courbe représente un animal.



La vitesse d'acidification du tissu musculaire après la mort est un des premiers facteurs explicatifs des qualités de la viande.

La glycogénolyse dans le muscle *post mortem* cesse :

- soit par la disparition de l'adénosine monophosphate (AMP), nécessaire comme cofacteur d'enzymes de la glycolyse et de la glycogénolyse : le pH se stabilise alors à des valeurs variables en fonction des muscles (en général de 5,4 à 5,7 chez le porc), en présence d'une quantité parfois importante de glycogène résiduel ;

- soit par carence en glycogène dégradable. Dans ce cas le pH se stabilise à des valeurs plus élevées que précédemment (jusqu'à 7 dans les cas extrêmes).

1.2 / Rigidité cadavérique

Les phénomènes biochimiques que nous avons décrits ci-dessus vont de pair avec des modifications des caractéristiques mécaniques du muscle, qui correspondent à l'installation de la rigidité cadavérique, ou *rigor mortis*.

L'installation de la rigidité cadavérique est directement perceptible sur la carcasse dans les heures qui suivent la mort de l'animal : la musculature devient progressivement raide et inextensible. Ce phénomène résulte de l'épuisement progressif de l'ATP. En sa présence, les filaments épais (myosine) et les filaments fins (actine) constituant l'appareil contractile peuvent glisser les uns par rapport aux autres, ce qui permet l'extension du muscle lorsqu'une traction est appliquée à ses extrémités, et son retour à sa longueur initiale lorsque la traction cesse : le muscle est donc extensible et élastique. Lorsque le taux d'ATP s'abaisse en dessous d'un certain niveau - généralement de l'ordre de 50 % de la teneur du muscle au repos, correspondant à une valeur de pH de l'ordre de 6 - les molécules d'actine et de myosine se combinent en actomyosine. Le glissement relatif des filaments devient impossible et l'ensemble de l'appareil myofibrillaire se transforme en un système rigide : le muscle devient inextensible. Par la suite, la rigidité musculaire s'estompe progressivement, mais pas l'inextensibilité. Cette "résolution" de la *rigor* découle de la lyse subie par les protéines constituant la structure myofibrillaire au cours de la période dite de maturation. Il est permis de penser que cette protéolyse est influencée par le déroulement de la rigidité cadavérique, car elle est très inhibée chez certains animaux présentant *post mortem* une acidification musculaire très rapide (porcs "sensibles à l'halothane"). Les connaissances dans ce domaine sont toutefois très réduites.

1.3 / Cinétique d'acidification et qualités des viandes

Le pouvoir de rétention d'eau est une caractéristique de la viande importante à plusieurs titres : aspect du produit cru, pertes à la cuisson, jutosité du produit cuit. La part la plus importante de l'eau est retenue par des forces de type capillaire dans le réseau myofibrillaire des cellules musculaires. Trois facteurs modifient après l'abattage le volume myofibrillaire, donc l'espace disponible pour les

molécules d'eau (Offer et Knight 1988). Ce sont :

- la diminution du pH ;
- la fixation des filaments fins (actine) et épais (myosine) lors de l'installation de la rigidité cadavérique ;
- la dénaturation de la myosine.

Au point isolélectrique, c'est-à-dire vers pH 5 pour les protéines myofibrillaires, la charge nette des protéines est nulle. Lorsque le pH s'écarte du point isoélectrique, les molécules protéiques se chargent (positivement ou négativement) et, de ce fait, se repoussent : les filaments protéiques s'écartent, ce qui se traduit par une expansion transversale de l'appareil myofibrillaire. Ainsi le volume myofibrillaire est minimal pour le pH correspondant au point isoélectrique moyen des protéines myofibrillaires et il augmente lorsque le pH s'écarte de ce point isoélectrique. Après l'abattage, le pH intracellulaire diminue depuis une valeur de l'ordre de 7 vers des valeurs généralement comprises entre 5,4 et 5,7. En d'autres termes, le pH se rapproche du point isoélectrique des protéines et ce phénomène conduit à une diminution du volume myofibrillaire par rétrécissement transversal. La formation d'actomyosine (fixation des filaments fins et épais) lors de l'entrée en *rigor* entraîne un rétrécissement supplémentaire de l'espace entre myofilaments de l'ordre de 10 %, correspondant à une diminution du volume myofibrillaire de l'ordre de 20 %. La chute du pH entraîne une dénaturation partielle de la myosine, très limitée dans les conditions normales d'entrée en *rigor*, mais qui peut atteindre 90 % de la protéine en cas de chute de pH très rapide. Cette dénaturation se traduit par un rétrécissement du volume myofibrillaire, qui peut atteindre le double de la valeur normale dans les cas extrêmes. S'y ajoute éventuellement un rétrécissement longitudinal si le muscle se contracte lors de l'entrée en *rigor* (contracture au froid), avec une diminution de volume proportionnelle au degré de contraction. Tous ces phénomènes aboutissent au transfert d'un volume correspondant d'eau du système myofibrillaire vers le reste de la cellule. Cette eau est ensuite transférée vers l'extérieur de la cellule, ce qui entraîne une diminution du diamètre des fibres musculaires et une augmentation du volume de l'espace extracellulaire. Dans les espaces extracellulaires, l'eau circule assez librement et peut gagner les espaces entre les faisceaux de fibres où elle s'écoule encore plus facilement. Il en résulte une diminution du pouvoir de rétention d'eau et, si le muscle est soumis à une pression, l'eau est extraite beaucoup plus facilement qu'avant l'installation de la *rigor*. Ce phénomène se traduit par une exsudation spontanée aux extrémités coupées des muscles. Celle-ci n'est pas immédiate : elle ne devient normalement apparente qu'après plusieurs heures et l'importance de l'exsudat augmente avec la durée de conservation pendant les quelques jours qui suivent.

La prise d'eau par le muscle lors du saumuration et les pertes à la cuisson, qui sont les deux principales composantes du rendement technologique de fabrication du jambon cuit, sont fortement influencées par le pH, d'une

façon comparable au pouvoir de rétention d'eau de la viande fraîche.

La couleur de la viande dépend de trois principaux facteurs : la teneur en pigment, la forme chimique du pigment (degré d'oxygénation et d'oxydation) et la microstructure de la viande. Cette dernière est très affectée par la cinétique d'acidification *post mortem*.

La microstructure de surface de la viande influence l'absorption et la diffusion de la lumière incidente, donc l'intensité de la coloration. Aussitôt après l'abattage, la viande est translucide et de couleur relativement foncée (ceci dépend, bien entendu, du taux de pigment, donc de l'animal et du muscle considérés). Elle diffuse une part importante de la lumière, la part réfléchie est faible : la viande paraît sombre. A mesure de l'acidification, la viande devient opaque et pâle. La répartition de l'eau entre les espaces intra- et extracellulaires jouerait un rôle important dans ce phénomène. L'eau extracellulaire créerait des surfaces très réfléchissantes, donc claires. Lorsque le pH diminue, l'élargissement des espaces extracellulaires augmente la réflexion de la lumière incidente. Il en résulte que, toutes choses égales par ailleurs (concentration et état chimique du pigment), la viande est d'autant plus pâle que l'acidification est rapide et que le pH ultime est bas.

L'aptitude à la conservation est affectée par la cinétique d'acidification, car la diminution du pH a un effet bactériostatique et oriente les développements microbiens. Les viandes à pH élevé (>6,0) présentent une mauvaise aptitude à la conservation. D'une part, les pH élevés favorisent le développement de microorganismes responsables de l'altération de la viande. D'autre part, ces viandes sont pauvres en glucose et les microorganismes qui s'y développent dégradent préférentiellement les protéines, d'où l'apparition précoce d'odeurs désagréables.

Les modifications de la structure protéique consécutives à l'abaissement du pH favorisent la pénétration du sel dans la viande au cours du saumurage et de la dessiccation, donc la conservation par séchage. Au total, un pH bas est favorable aux procédés de conservation par réfrigération ou par salage et séchage. On considère généralement que les viandes de pH supérieur à 6,2-6,3 sont inaptes à la fabrication de jambons secs (pour les produits divisés, type saucisson, le mélange avec des viandes normales permet de surmonter le défaut).

En résumé, plus le pH ultime reste élevé, plus la viande sera sèche et colorée. Au-dessus d'une certaine valeur du pH, la viande est considérée comme anormale et désignée par le terme DFD (*dark firm dry*). Cette valeur seuil dépend du mode d'utilisation de la viande et varie selon les pays. En France, on la fixe généralement à 6,3, car au-dessus on observe de sérieux problèmes de conservation, en particulier par séchage, mais au Danemark on retient la valeur de 5,8 car la consommation de viande fraîche y est prédominante. Une acidification excessivement

rapide aboutit à une viande pâle, flasque et exsudative (PSE : *pale soft exudative* ; viandes pisseuses en jargon professionnel) à condition toutefois que le pH ultime ne soit pas supérieur à 5,6-5,7. Dans la plupart des pays est considérée comme excessivement rapide la chute du pH en dessous de 6 en moins d'une heure après l'abattage. Enfin, une anomalie génétique (mutation sur le gène RN) peut engendrer un excès d'acidification : on obtient de la viande "acide".

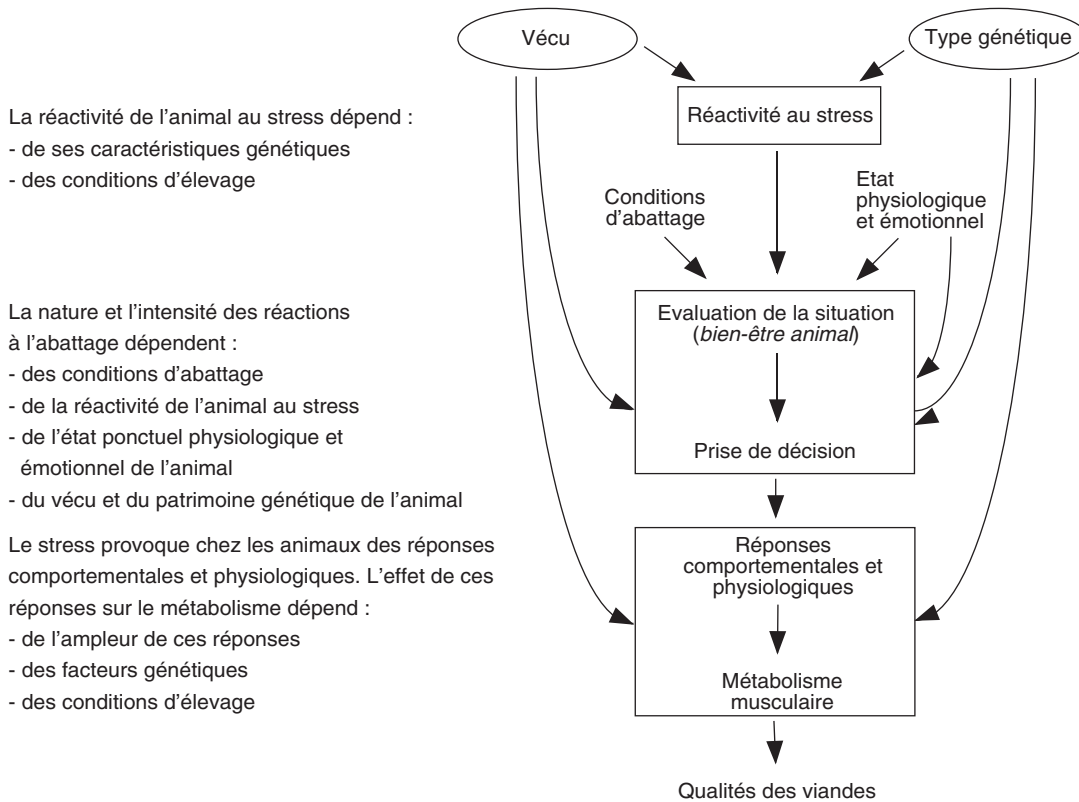
2 / Réaction aux agressions et métabolisme musculaire *post mortem*

Durant tout le processus 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 2). L'intensité de la réaction à une agression donnée mesure la réactivité à l'agression. 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, une glycolyse 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. Des expériences de perfusion de muscle de lapin par des concentrations importantes, mais physiologiques, de catécholamines n'ont montré aucun effet sur le métabolisme du muscle rendu anoxique par l'arrêt de la perfusion simulant la mort de l'animal (Astruc *et al* 2002). Il reste à démontrer que ces résultats sont applicables au muscle de porc. Terlouw *et al* (2001) ont observé dans cette espèce une corrélation significative entre la réponse cardiaque à une épreuve de contention de 1 minute appliquée juste avant l'étourdissement et la vitesse d'acidification *post mortem*. Ils suggèrent qu'une exposition de courte durée à une situation aversive, immé-

Les différents stress qui surviennent avant l'abattage vont modifier l'état du tissu musculaire, notamment ses réserves en glycogène, avec des conséquences sur la vitesse d'acidification *post mortem*.

Figure 2. Représentation schématique des liens entre la réactivité au stress, le stress à l'abattage et les qualités des viandes (Terlouw et al 2001).



diatement avant l'abattage, peut provoquer une accélération du métabolisme qui perdurerait *post mortem*. La réponse cardiaque reflétant l'activation du système sympathique et/ou l'activité physique, il est difficile de se prononcer sur les mécanismes en cause.

Les contractions musculaires entraînent facilement chez le porc une augmentation de la température musculaire. Elles se rencontrent bien sûr au moment de l'effort musculaire indissociable du rassemblement et du déplacement des animaux : marche, voire course, et plus encore combats et bousculades où les efforts peuvent être très brutaux ; mais elles sont surtout violentes lors de l'anesthésie préalable à la saignée, en particulier si celle-ci est réalisée par électroanesthésie (contractions toniques pendant le passage du courant électrique, puis cloniques). La température dans le muscle *longissimus* peut s'élever de 1,5 °C lors de l'application d'un courant d'électroanesthésie pendant 3 secondes (Monin 1972). La vitesse du métabolisme musculaire *post mortem* double lorsque la température du muscle augmente de 4 °C au-dessus de la température normale comme cela a été montré aussi bien *in vivo* qu'*in vitro* sur le muscle de porc (Monin et al 1995). En outre, les contractions sont susceptibles de diminuer notablement le pH musculaire ; si elles interviennent juste avant l'abattage, elles sont donc une cause particulièrement importante d'accélération de l'acidification du muscle *post mortem* et favorisent l'obtention de viande PSE.

La mise à jeun oblige l'organisme à recourir à ses réserves énergétiques hépatiques et musculaires, réserves surtout lipidiques mais aussi glucidiques. Elle provoque donc une

diminution lente de la concentration de glycogène musculaire, d'où une augmentation du pH de la viande.

Ces effets des agressions sur les qualités de la viande sont très dépendants du type génétique de l'animal. Il convient de distinguer à cet égard deux niveaux : la réponse générale à l'agression et la réponse propre du tissu musculaire aux perturbations nerveuses et hormonales. Terlouw et al (1997 et 2001) ont montré des différences importantes entre les races Duroc, Large White et Piétrain dans la réactivité comportementale et physiologique lors de tests d'exposition à un objet non familier et à l'homme, et dans les relations entre cette réactivité, la glycogénolyse musculaire *intra vitam* et *post mortem* et les qualités des viandes. Quant à la réponse propre du muscle, elle est fortement influencée par deux gènes majeurs. Le premier est le gène HAL de sensibilité à l'halothane, partiellement récessif. Un exercice musculaire, même peu soutenu (le plus fréquemment à l'occasion d'un combat pour établir une nouvelle hiérarchie sociale, ou du chargement dans un véhicule), peut provoquer rapidement la mort par hyperthermie chez les porcs homozygotes pour l'allèle muté n, car ces animaux manifestent un dysfonctionnement de la régulation de l'activité ATPasique myofibrillaire. *Post mortem*, on observe une accélération drastique de l'acidification musculaire. Ces porcs produiront de la viande PSE quelle que soit la situation à laquelle ils sont exposés juste avant et pendant l'abattage, sauf si les agressions de la période de pré-abattage ont suffisamment abaissé le glycogène musculaire pour interrompre la chute de pH à une valeur élevée (Monin et al 1981). Le deuxième

gène majeur est le gène RN, dont l'allèle muté RN⁻ dominant augmente considérablement le taux de glycogène musculaire (+70 % dans le *longissimus*). Les porteurs de l'allèle RN⁻ peuvent donc subir une glycogénolyse musculaire plus prononcée dans la période de pré-abattage sans manifester d'élévation du pH ultime au-dessus des valeurs normales.

Enfin la réactivité aux agressions dépend du vécu de l'animal. Plusieurs auteurs ont montré des effets des conditions d'élevage sur la réactivité aux conditions d'abattage et les qualités de la viande, en habituant les animaux à des manipulations (Geverink *et al* 1998), en enrichissant le milieu d'élevage (De Jong *et al* 2000), ou encore en faisant varier la relation de l'éleveur à l'animal entre amicale et hostile (D'Souza *et al* 1998).

En bref, les agressions précédant l'abattage ont des effets ambivalents sur les qualités de la viande. L'exposition prolongée à une situation aversive avant l'abattage tend à élever le pH de la viande, donc à améliorer la qualité technologique, tant que l'on reste en dessous d'une certaine limite, variable selon l'utilisation de la viande (on retient généralement la valeur de 6,3 pour une utilisation en salaison). Une agression intervenant juste avant et pendant l'abattage tend à accélérer le métabolisme *post mortem* et donc à produire de la viande PSE, dans la mesure où l'acidification est suffisante pour le permettre (pH ultime inférieur à 5,7). De plus, on observe des interactions avec le type génétique et le vécu de l'animal. Des travaux importants sont actuellement conduits à l'INRA par Claudia Terlouw et ses collaborateurs pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux effets des agressions sur les qualités des viandes, en prenant en compte l'ensemble des facteurs évoqués ci-dessus et en étudiant de façon détaillée leurs interactions.

Une mention particulière doit être faite de la "viande déstructurée". Cette viande rappelle la viande PSE à l'examen macroscopique, mais elle présente la particularité d'avoir une localisation bien circonscrite et assez constante. Dans tous les cas, on l'observe d'abord dans la partie profonde du jambon, dans les muscles *adductor* et *semimembranosus*, autour des artères et veines fémorales profondes vers la moitié proximale du fémur (Laville *et al* 2002). La lésion peut s'étendre à la face antérieure du membre dans les muscles *rectus femoris* et *vastus lateralis*. Les autres muscles, dont le *longissimus*, ne sont touchés que dans les cas les plus graves. Il s'agit d'un très sérieux défaut de qualité pour l'industrie du jambon cuit, car il provoque des pertes importantes lors du tranchage industriel, les zones déstructurées se désagrègent et rendant les tranches invendables sous forme préemballée. La difficulté réside dans le fait que, contrairement aux viandes PSE "classiques", telles que celles résultant de la sensibilité à l'halothane, le défaut n'est pas discernable sur le jambon entier et les jambons atteints ne sont donc pas écartés au tri à réception. Un parage très soigneux lors du dépiéçage est nécessaire. D'après des observations microscopiques et

biochimiques, la viande déstructurée a beaucoup de caractéristiques de la viande PSE : fibres supercontractées, fibres rompues et augmentation importante de l'espace extracellulaire (Franck *et al* 1999, Minvielle *et al* 2001, Labas *et al* 2002), diminution de solubilité des protéines (Laville *et al* 2002), ce qui indique qu'elle est associée à une accélération de l'acidification musculaire *post mortem*. Comme pour les viandes PSE, la fréquence des viandes déstructurées diminue avec l'augmentation du pH ultime. L'origine du défaut fait encore l'objet de spéculations. On sait qu'il est favorisé par les allèles n du gène HAL et RN⁻ du gène RN et par l'augmentation du niveau d'agression subi par les animaux juste avant l'abattage (Franck *et al* 2003). Mais on ignore si la lésion préexiste dès le stade de l'élevage, comme le laisserait penser l'observation microscopique de zones de matériel amorphe et de tissu conjonctif évoquant des lésions en cours de réparation (Labas *et al* 2003), ou si elle est latente et déclenchée par les opérations de transport à l'abattoir et d'abattage.

3 / Pratiques de l'abattage et qualités des carcasses et des viandes

3.1 / Transport et stabulation

Dans les pays industrialisés, la grande majorité des animaux est transportée du lieu d'élevage vers un site spécialisé pour y être abattue. Une période de stabulation est généralement ménagée pour servir de tampon entre l'arrivée plus ou moins régulière des animaux et l'abattage, dans le but d'assurer la régularité des cadences de travail.

Embarquement pour l'abattoir

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. Ces derniers se trouvent soudainement confrontés à une situation nouvelle pour eux et qu'ils n'ont pas le loisir d'explorer : changement de décor, mélange avec des congénères inconnus, bruits, etc. Si les locaux ne sont pas correctement aménagés, la conduite des animaux vers les véhicules de transport peut s'avérer très difficile et amener le personnel à user de brutalité. Les manipulations brutales sont à éviter non seulement pour des raisons éthiques, mais aussi économiques. En effet, outre leurs effets potentiellement néfastes sur les qualités de la viande, elles sont à l'origine de défauts de présentation de carcasse (hématomes, griffures, lacérations) voire de saisies partielles (hématomes importants). L'aiguillon électrique doit être utilisé le moins possible et à bon escient, les coups avec des tuyaux de caoutchouc et *a fortiori* des objets de bois ou de métal doivent être proscrits absolument.

Avant le transport, les animaux doivent être mis à jeun. L'abattage avec le tube digestif plein rend l'éviscération plus pénible, les estomacs pleins sont fréquemment percés et

Tableau 1. Effet du jeûne ou du jeûne plus transport sur la perte de poids vif et la réduction du rendement de carcasse (résultats de divers auteurs rapportés par Tarrant 1989).

	Avec abreuvement								Sans abreuvement	
	8	8	24	36	48	48	72	96	24	48
Délai entre dernier repas et abattage (h)	8	8	24	36	48	48	72	96	24	48
Durée du transport (h)	1	6	0	0,3	0	44	0	0	0,3	0,3
Perte de poids vif (kg)	0,6	2,3	5,0	-	6,9 à 7,0	8,0	8,3 à 8,5	9,6	-	-
Rendement de carcasse (%)	-0,6	-2,1	-0,5 à -0,8	-2,7	-1,0 à -2,2	-5,0	-2,4 à -2,6	-2,8	-2,2	-3,4

Tableau 2. Influence de la densité de chargement sur la mortalité des porcs pendant le transport à l'abattoir (Lendfers 1971). Résultats obtenus à partir de 232 000 porcs en 4 547 transports.

Densité de chargement pendant le transport (porcs / m ²)	0 - 1,2	1,2 - 2,1	2,1 - 3,0	> 3,0
Mortalité (pour mille)	1,1	4,8	4,8	4,9

leur contenu peut souiller la carcasse. De plus, la mise à jeun a deux effets positifs importants : elle réduit la mortalité en cours de transport (Von Mickwitz 1982) et tend à augmenter le pH de la viande, en réduisant le taux de glycogène musculaire avant l'abattage. Il faut cependant éviter de prolonger le jeûne au-delà de 24 heures car la perte de poids de carcasse serait alors significative (Tarrant 1989 ; tableau 1). Selon l'Institut Technique du Porc, le dernier repas devrait intervenir 20 à 24 heures avant l'heure prévue pour l'abattage.

Il est recommandé de disposer dans l'élevage d'un local d'attente prolongé par un quai d'embarquement. Cette disposition :

- permet de mettre à jeun uniquement les animaux triés pour l'abattage et donc de ne pas pénaliser la croissance des animaux restant à l'engraissement ;
- facilite le chargement des porcs dans les camions et donc réduit les facteurs d'agression susceptibles d'induire défauts de carcasse et de qualités de viande ;
- diminue les risques sanitaires dus à la pénétration du personnel de transport dans l'élevage.

Les animaux doivent être conduits au local d'attente par petits lots et de préférence 4 à 6 heures après le dernier repas. Si cela est possible, on ne mélange pas des animaux issus de différentes cases d'élevage durant l'attente et même le transport, pour éviter la remise en cause des hiérarchies sociales établies et les combats ou agressions qui en découlent. Un douchage, manuel ou automatique, est souhaitable, surtout en période de fortes chaleurs, pour calmer et rafraîchir les animaux. Enfin ces derniers doivent avoir de l'eau à leur disposition car la déshydratation est une cause de perte de poids de carcasse, d'autant plus importante que la température ambiante est plus élevée (tableau 1).

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 °.

Transport

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 :

- 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 ; tableau 2) et aux dépréciations éventuelles des carcasses (lacérations) ;
- 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 prescrite par la directive de l'Union Européenne 91/268/CE régissant le transport des animaux est de 235 kg/m² pour des porcs de 90 à 100 kg de poids vif. En fait, la densité doit être déterminée en fonction de la température ambiante et diminuer lorsque celle-ci s'accroît. Au Canada, les recommandations sont les suivantes : 294 kg/m² à une température extérieure inférieure à 16 °C, 263 kg/m² entre 16 et 23 °C, et 244 kg/m² au-dessus de 23 °C (Warriss 1998).

Les effets de la densité de chargement sur les qualités des viandes ont été peu étudiés et sont controversés. Pour des transports courts, ils semblent limités et dépendre du type génétique (Warriss 1998). Pour un transport de 44 heures, Lambooy *et al* (1985) rapportent une augmentation du pH de la viande avec la densité de chargement (tableau 3), mais cet effet n'est pas observé par Chevillon *et al* (2003) pendant un transport de 36 h.

La durée de transport influence les qualités de la viande. Cette durée est le plus souvent assez faible dans les pays européens (au plus quelques heures, sauf dans le cas d'exporta-

Pour le transport des animaux, les principaux facteurs de stress sont le chargement dans les véhicules puis le déchargement. La durée du transport a un effet limité s'il est effectué dans de bonnes conditions : densité des animaux, température ambiante, ventilation.

tion, 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). On observe que la proportion de viandes PSE et des viandes déstructurées (Minvielle *et al* 2003) diminue et que celle de viandes DFD augmente avec la durée du transport. C'est une conséquence de la glyco-génolyse musculaire liée à l'augmentation de sécrétion de catécholamines et/ou à l'exercice musculaire, qui augmente le pH ultime.

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 : les pH moyens rapportés dans le tableau 3 peuvent être considérés comme très élevés (le pH dans le muscle *semimembranosus* d'animaux abattus dans de bonnes conditions et à l'issue d'un transport court est de l'ordre de 5,7). 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.

À 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 présen-

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

Stabulation à l'abattoir

Une durée minimale de stabulation à l'abattoir est nécessaire du point de vue de la qualité de la viande (indépendamment de son rôle de volant de l'activité d'abattage). L'abattage immédiatement après le déchargement se traduit par une fréquence accrue de viandes PSE (tableau 4). Cela est attribué à une augmentation de la température corporelle pendant le transport, que l'attente avant abattage permet de résorber. L'attente à l'abattoir ne devrait pas excéder quelques heures si les recommandations édictées ci-dessus pour l'embarquement et le transport des porcs ont été suivies. En effet, la stabulation est l'occasion d'agressions supplémentaires qui activent la glyco-génolyse musculaire et finissent par engendrer des viandes à pH élevé (tableau 4). Les recommandations actuelles sont de 2 à 4 heures de délai entre le déchargement et l'abattage. Il faut donc prévoir une capacité de stabulation d'au moins six fois la cadence horaire d'abattage (Eikelenboom 1988).

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. Elle est conduite à l'aide d'installations fixes et de préférence programmables, permettant de fractionner la période de douchage car les porcs préfèrent, par exemple, deux douches d'un quart d'heure à un douchage ininterrompu pendant une période de repos de deux heures.

3.2 / Abattage

Conduite au poste d'abattage

La conduite des animaux au poste d'abattage constitue un facteur d'agression d'autant

Tableau 3. Influence de la densité de chargement des porcs pendant le transport à l'abattoir sur la température musculaire et le pH de la viande (Lambooy *et al* 1985). pH1 : pH mesuré 1h après abattage.

Densité de chargement (porcs / m ²)	1,52	2,27	3,03
pH1 (<i>semimembranosus</i>)	6,34	6,42	6,53
Température initiale (°C)	42,6	42,9	43,0
pHu (<i>semimembranosus</i>)	5,98	6,05	6,15

Tableau 4. Fréquence de viandes PSE et DFD en fonction du temps d'attente à l'abattoir (Nielsen 1981). Les porcs étaient nourris le matin le jour du transport. PSE : déterminé par évaluation subjective le lendemain de l'abattage (muscles *gluteus medius* et *semimembranosus*). DFD : pHu > 6,5 dans un muscle au moins ou > 6,1 dans deux ou trois muscles (*semispinalis capitis*, *longissimus dorsi* et *semimembranosus*).

Temps d'attente (h)	0	2	4	24
Nombre de porcs	175	174	177	81
PSE (%)	13,1	7,5	4,0	2,5
DFD (%)	3,4	10,3	6,2	7,4
Total défauts (%)	16,5	17,8	10,2	9,9

plus sérieux qu'il intervient très peu de temps avant la mort. Le parcours entre la stabulation et l'entrée du couloir d'abattage doit permettre aux porcs d'avancer à plusieurs de front pour contrarier le moins possible leur instinct grégaire, être bien éclairé et si possible rectiligne avec des parois pleines. Dans la plupart des cas (électronarcose automatisée, certains systèmes de narcose gazeuse), les porcs sont en file indienne avant d'entrer dans le convoyeur en V qui les porte au poste d'étourdissement ; cette phase doit être aussi courte que possible. Dans les systèmes d'électronarcose automatique les plus récents, le convoyeur en V est remplacé par un convoyeur à bande ventrale qui serait moins aversif pour les animaux (Griot *et al* 2000). Le degré d'excitation des porcs lors de la conduite au poste d'abattage affecte fortement la proportion de viandes déstructurées : dans deux abattoirs pratiquant l'anesthésie gazeuse, Franck *et al* (2003) ont observé des fréquences de viande déstructurée de 50 % avec une amenée en file indienne des animaux poussés avec des bâtons électriques, et de 13 % avec un système automatisé d'amenée en groupe.

Etourdissement et saignée

L'étourdissement des animaux de boucherie avant la saignée est obligatoire et justifié par plusieurs motifs : diminuer la souffrance des animaux, faciliter le travail du personnel et donc permettre des cadences de travail élevées, améliorer la sécurité du personnel.

Deux méthodes d'étourdissement sont utilisées dans les abattoirs modernes : l'électronarcose et la narcose gazeuse. La première est la plus répandue en Europe ; l'anesthésie gazeuse n'est actuellement la méthode dominante qu'au Danemark mais elle a tendance à se développer.

L'électronarcose peut être pratiquée avec un courant bas voltage (70-90 V) qui nécessite une application de 10-15 s pour une anesthésie effective. La mise en œuvre de voltages plus élevés (250 à 700 V) permet de réduire ce délai à une seconde et même moins (Hoenderken 1983). Cette dernière méthode (avec 700 V) est préférée sur les chaînes d'abattage à cadence élevée, mais nécessite une automatisation complète du système d'anesthésie (convoyage de l'animal, mise en

place des électrodes, passage du courant, éjection de l'animal) pour la sécurité du personnel. Si le courant est appliqué seulement à travers la tête (donc le cerveau) la plupart des animaux survivent et sont susceptibles de reprendre conscience en cas de saignée tardive. On peut appliquer le courant entre la tête et le dos (*head-to-back*) ou la tête et le cœur, de façon à ce qu'il traverse également le cœur, ce qui provoque un arrêt cardiaque irréversible. Dans les systèmes d'anesthésie électrique automatique les plus perfectionnés, un positionnement optimal (oreille-oreille) des électrodes principales est obtenu par contrôle vidéo.

L'anesthésie gazeuse consiste à plonger l'animal dans un mélange d'air et de CO₂ (généralement 65 à 80 % de CO₂) jusqu'à ce qu'il perde conscience. Il existe plusieurs systèmes différant par leur capacité. Ce mode d'anesthésie a été critiqué comme moins humain que l'électronarcose du fait de la durée d'induction de la perte de conscience, qui est de plusieurs dizaines de secondes. Le niveau d'inconfort généré par cette technique d'étourdissement a été beaucoup débattu, mais pas complètement élucidé.

L'anesthésie, surtout par électronarcose, peut engendrer des contractions musculaires violentes et des convulsions, sources de pétéchies (points de sang), d'hématomes, voire de fractures (généralement associées à des hématomes étendus), qui sont cause de parage parfois important donc de pertes économiques (Griot 2000 ; tableau 5). Les fractures de l'épaule sont fréquentes lorsque les animaux sont anesthésiés électriquement sur pied et leur prévalence est considérablement réduite par l'usage d'un convoyeur. Des fractures de vertèbres sont observées avec l'application du courant tête-dos. Dans ce cas, il y a relativement peu de saignement interne à cause de l'arrêt du cœur qui interrompt la circulation sanguine. Les défauts de nature hémorragique seraient moins fréquents avec les hauts voltages. Ils sont réduits également par l'usage du convoyeur à bande ventrale, dans lequel les porcs ne sont pas comprimés sur les côtés comme avec les convoyeurs en V. Pour les minimiser, il convient de réduire autant que possible l'intervalle entre anesthésie et saignée, si possible à moins de 10 secondes. Ceci est possible avec la saignée horizontale : le porc est éjecté du système

Tableau 5. Fréquence des points de sang sur carrés désossés en fonction du mode d'anesthésie des porcs (d'après Griot *et al* 2000).

Classe 1 : absence de points de sang, classe 2 : présence de points de sang superficiels, classe 3 : points de sang nécessitant un parage.

Caractéristiques des abattoirs	Nombre d'abattoirs	Classe 1 (%)	Classe 2 (%)	Classe 3 (%)
Haut voltage, grande cadence, retrainer 2 double bandes	5	51,6 - 54,5	29,0 - 42,0	4,0 - 18,8
Haut voltage, cadence moyenne, retrainer double bandes	4	38,0 - 61,5	27,2 - 48,0	1,9 - 23,3
Voltage moyen, grande cadence, convoyeur bande porteuse	2	70,5 - 90,7	9,3 - 27,4	0 - 2,1
Anesthésie CO ₂	1	85,0	14,5	0,5

d'anesthésie directement sur une table de saignée, ce qui économise le délai d'accrochage. La saignée horizontale est également favorable à la qualité de la viande car les animaux saignés horizontalement se débattent moins, ce qui réduit la vitesse d'acidification *post mortem*. En outre, dans la saignée verticale, la musculature du membre par lequel l'animal est suspendu est soumise à des contraintes très fortes et connaît une chute du pH plus rapide que celle survenant dans l'autre membre, d'où une augmentation de la variabilité des qualités de la viande (Fischer et Augustini 1981).

Fractures et pétéchies sont assez peu fréquents avec l'anesthésie gazeuse comme le montre le tableau 5 dans le cas des points de sang, tableau dont les données confirment les travaux de plusieurs autres auteurs. Ceci contribue à expliquer le développement de ce mode d'anesthésie dans d'importants abattoirs européens. Il est à noter que l'on obtiendrait des résultats comparables avec le système d'électronarcose avec convoyeur à bande ventrale (tableau 5). Le développement de l'anesthésie gazeuse se justifie aussi par sa compatibilité avec la saignée verticale (Dupit 1999). Celle-ci apparaît préférable sur le plan de la qualité bactériologique du sang, à condition de saigner avec un trocart.

En ce qui concerne les qualités technologiques de la viande et particulièrement la fréquence de viande PSE, il ne paraît pas possible de trancher entre les deux méthodes sur la base des recherches publiées, dont les résultats sont souvent contradictoires. En effet, les comparaisons ont été réalisées entre des abattoirs utilisant l'une ou l'autre méthode, et non intra-abattoir, et il est plus probable que les résultats ont été biaisés par les différences dans l'environnement du poste d'abattage (conduite des animaux, conception des locaux, température ambiante, etc.).

Habillage de la carcasse

Dans la plupart des pays, la première opération d'habillage de la carcasse consiste à la débarrasser du pelage. La méthode la plus classique consiste dans la succession des opérations d'échaudage, épilage, flambage et grattage. Il est possible d'épiler la carcasse par flambage et grattage sans échaudage préalable, mais ceci entraîne des défauts de présentation des carcasses (couennes éclatées, surface de la peau moins unie) qui pénalisent le procédé. Divers dispositifs peuvent être usités pour l'échaudage, qui se pratique à une température d'environ 65 °C : cuve simple dans laquelle les porcs sont immergés durant quelques minutes, roto-cuve, échaudage à la vapeur. Ce dernier est proposé comme meilleur sur le plan de l'hygiène, mais il n'a pas fait preuve de sa supériorité lorsque les autres opérations, et en particulier le flambage final, sont bien conduites (Dupit 1999). Les machines compactes échaudeuses-épilieuses sont réservées aux chaînes à très faible cadence (moins de 15 porcs à l'heure).

Une flagelleuse avant le four à flamber permet de sécher partiellement la carcasse, et

donc garantit un flambage de meilleure qualité pour une même dépense d'énergie. Enfin le grattage final conditionne la présentation et la microbiologie de surface des carcasses. Le bon réglage ainsi que l'efficacité du nettoyage des gratteuses sont donc très importants pour la qualité du produit final (Dupit 1999).

Dans certains pays de l'est de l'Europe où existe une industrie active du cuir de porc, les porcs sont dépouillés. Cette technique est préférable sur les plans de la microbiologie et de l'efficacité de la réfrigération, mais elle est subordonnée aux possibilités de valorisation de la peau et n'est pas compatible avec la production de jambon sec.

L'éviscération n'est encore que très peu automatisée. Il existe des systèmes de dégagement de la zone anale, avec éventuellement ligature de l'extrémité du tube digestif. L'automatisation de l'ouverture de la paroi abdominale et l'ablation du tube digestif est proposée, mais l'on n'a pas encore le recul nécessaire pour juger de sa fonctionnalité. La fente automatique des carcasses est pratiquée depuis longtemps sur le principe du couperet, mais ce n'est que récemment que le principe de fente à la scie a été accepté par la majorité des abatteurs. Le système avec scie est plus performant sur le plan économique car l'investissement est plus faible et la cadence de travail plus élevée (Dupit 1999).

Réfrigération

La réfrigération a pour but d'allonger la durée de conservation de la viande avant transformation ou consommation en l'état. Elle limite le développement des germes présents sur les carcasses après l'abattage. Elle a des effets marqués sur le rendement en viande, car elle ralentit les pertes de poids par évaporation, et sur les qualités de la viande, car elle affecte la cinétique des changements biochimiques dans le muscle.

Plusieurs systèmes de réfrigération sont utilisés actuellement pour les porcs. Voici les principaux selon Frencia (1999) :

- réfrigération statique : les carcasses sont placées en chambre froide à une température de l'ordre de 4 °C avec une vitesse de l'air de l'ordre de 1 m/s ;

- réfrigération en cellules : c'est un système de réfrigération rapide qui comprend deux phases ; la phase 1 consiste en un passage dans des cellules de ressuage rapide (température de l'ordre de 0 °C, vitesse de l'air de 1 à 3 m/s) dans lesquelles les carcasses pénètrent en fin de chaîne d'abattage et où elles sont maintenues environ 4 heures ; dans la phase 2 les carcasses sont transférées dans une salle d'équilibrage (température 3 à 5 °C, vitesse de l'air < 1 m/s) où elles restent jusqu'à ce qu'elles aient atteint en tout point une température au plus égale à 7 °C ;

- tunnel de réfrigération : en fin de ligne d'abattage, les carcasses sont convoyées pendant environ 2 heures dans un tunnel où la température est inférieure à 0 °C, avec une vitesse de l'air de 1 à 3 m/s en général ; à la sortie du tunnel, les carcasses arrivent dans une salle d'équilibrage (température de 3 à 5 °C, vitesse de l'air < 1 m/s) où elles restent

La réfrigération des carcasses modifie les qualités de la viande. Rapide, elle peut améliorer le pouvoir de rétention d'eau et la couleur, mais peut aussi diminuer la tendreté.

Tableau 6. Effet du régime de réfrigération sur les qualités de la viande de porc (Tarrant 1989, citant divers auteurs).

Régime de réfrigération	Exsudation	Pâleur	Dureté
80 min à -40°C, puis 4°C	inchangée	inchangée	augmentée
2 h à -20°C, puis 4°C	inchangée	réduite	inchangée
3 h à -20°C, puis 4°C	inchangée	réduite	inchangée
2°C à 99 % humidité relative	inchangée	inchangée	inchangée
4°C avec douchage	inchangée	inchangée	inchangée
- 30°C	augmentée	réduite	augmentée

jusqu'à ce qu'elles aient atteint en tout point une température au plus égale à 7 °C.

Il existe de nombreuses variantes de la conduite de réfrigération en tunnel, qui consistent à réaliser plusieurs phases à des températures différentes (par exemple aux Pays-Bas, on a proposé 3 phases de 30 minutes à respectivement -9, -7 et -2 °C).

Depuis quelques années, on pratique la brumisation dont l'objectif est de réduire les pertes de poids tout en accélérant le refroidissement des carcasses. Dans le tunnel de ressuage, on vaporise un fin brouillard d'eau (gouttelettes de 10 à 100 µ de diamètre) sur les carcasses. Le fait de maintenir celles-ci humides réduit l'évaporation de l'eau contenue dans la carcasse. De plus l'évaporation de l'eau en surface de la carcasse accélère le refroidissement (effet de la chaleur latente d'évaporation). Ce système permettrait de réduire les pertes de poids de 1,5-2 % dans un tunnel classique à 0,3-0,9 % dans un tunnel avec brumisation.

Selon Francia (1999), toutes les évolutions actuelles des systèmes de réfrigération reposent sur le principe du tunnel de ressuage rapide suivi par une salle d'équilibrage. Pratiquement toutes les techniques dissocient le ressuage en plusieurs phases où l'on applique des régimes de froid plus précis et plus adaptés à l'état de la carcasse. Il existe deux grandes tendances : application de phases de froid négatif très intense jusqu'à la limite de congélation superficielle, ou brumisation d'eau.

En ce qui concerne les qualités de la viande, la réfrigération rapide peut améliorer le pouvoir de rétention d'eau et la couleur, mais pas suffisamment pour empêcher l'apparition du caractère PSE lorsque l'acidification est très rapide, par exemple chez des animaux sen-

sibles à l'halothane ou fortement perturbés au moment de l'abattage (Honikel 1987). D'une façon générale, ces effets sont très réduits, comme le montre le tableau 6 où Tarrant (1989) a rassemblé les résultats de diverses expérimentations. Ceci s'explique par la rapidité des changements biochimiques *post mortem* dans le muscle de porc : en cas de chute rapide de pH, la température ne peut être abaissée assez vite pour prévenir la dénaturation des protéines. Cependant, la réfrigération rapide peut avoir un effet négatif sur la tendreté de la viande. Cet effet est d'autant plus marqué que la chute de pH *post mortem* est lente (Barton-Gade *et al* 1987) car alors le refroidissement intervient sur un muscle contenant encore un taux élevé d'ATP : il se produit une contracture au froid entraînant un durcissement marqué de la viande.

Conclusion

Dans l'abattage des porcs, l'amélioration de la compétitivité des entreprises ne repose plus essentiellement sur l'abaissement de leurs coûts, qui ne sont plus guère compressibles dans les usines les plus performantes, mais plutôt sur leur capacité à élever la qualité de leurs produits. De ce point de vue, la marge de progrès disponible la plus importante réside dans la part des opérations qui concerne les animaux encore vivants. Cette part a été la plus négligée jusqu'à présent car elle est difficilement maîtrisable du fait de la complexité des facteurs qui la caractérisent. La mise en application des connaissances disponibles permet d'ores et déjà de progresser considérablement, mais envisager une réduction supplémentaire de la variabilité des qualités de la viande implique nécessairement de mieux comprendre les mécanismes expliquant les effets des agressions sur ces qualités, et en particulier ceux résultant des interactions entre facteurs zootechniques, génétiques et technologiques.

Références

Astruc T., Talmant A., Fernandez X., Monin G., 2002. Temperature and catecholamine effects on metabolism of perfused isolated rabbit muscle. *Meat Sci.*, 60, 287-293.

Barton-Gade P., Bejerholm C., Borup V., 1987. Influence of different chilling procedures on the eating quality of pork chops. Proc. 33^e Congrès des Chercheurs en Viande, Helsinki, 181-184.

Bendall J.R., 1973. Post mortem changes in muscle. In H. Bourne (ed), *Structure and Function of Muscle*, Academic Press, New York.

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 Rech. Porcine France*, 35, 179-186.

De Jong I.C., Prella I.T., Van de Burgwal J.A., Lambooi 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 at transport. *Can. J. Anim. Sci.*, 80, 451-458.

- D'Souza D.N., Warner R.D., Dunshea F.R., Leury B.J., 1998. Effect of on-farm handling of pigs on meat quality. *Aust. J. Agric. Res.*, 49, 1021-1025.
- Dupit J., 1999. Abattage des animaux de boucherie : vers plus d'hygiène et de productivité. *Viandes et Produits Carnés*, 20, 165-170.
- Eikelenboom G., 1988. Effects of preslaughter treatments on meat quality. *Proc. Pig carcass and meat quality, Reggio Emilia*, 2-3 juin 1988, Università di Bologna.
- Fischer K., Augustini C., 1981. Hälftenunterschiede in der Fleischbeschaffenheit beim Schwein durch einseitiges Hängen während der Schlachtprozess. *Fleischwirtschaft*, 61, 1187-1189.
- Franck M., Benard G., Fernandez X., Barbry S., Durand P., Lagat H., Monin G., Legault C., 1999. Observations préliminaires sur le jambon déstructuré. Description du phénomène et étude de quelques facteurs de variation. *Journées Rech. Porcine France*, 31, 331-338.
- Franck M., Svensson M., Von Seth G., Josell A., Figwer P., Poirel M.T., Monin G., 2003. Effect of stunning conditions on occurrence of PSE defects in hams of m+RN- pigs. *Meat Sci.*, 64, 351-356.
- Frenicia J.P., 1999. Réfrigération : réduire les pertes de poids. *Viandes et Produits Carnés*, 20, 187-190.
- Geverink N.A., Kappers A., Van de Burgwal J.A., Lambooij E., Blokhuis H.J., Wiegant V.M., 1998. Effect of regular moving and handling on the behavioral and physiological responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for subsequent meat quality. *J. Anim. Sci.*, 76, 2080-2085.
- Griot B., Boulard J., Chevillon P., Kerisit R., 2000. Réduire les points de sang sur la viande de porc : des restrainers à bande pour le bien-être et la qualité de la viande. *Viandes et Produits Carnés*, 21, 91-97.
- 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. *Anim. Prod.*, 48, 25-37.
- Hoenderken R., 1983. Electrical and carbon dioxide stunning of pigs for slaughter. *Curr. Topics Vet. Med., Stunning of animals for slaughter*, 59-63.
- Honikel K.O., 1987. Influence of chilling on meat quality attributes of fast glycolyzing pork muscles. *Curr. Topics Vet. Med. Anim. Sci.*, 38, 273-283.
- Labas R., Chanier L., Garrido C., Maunier L., Taylor R., Aqtruc T., Laville E., 2002. Etude histologique des viandes déstructurées de porc. Comparaison entre un modèle expérimental et des jambons industriels. 9^{èmes} JSMTV, *Viandes et Produits Carnés, Hors série*, 147-148.
- 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. *Livest. Prod. Sci.*, 13, 289-299.
- Laville E., Franck M., Sidibé M., Sayd T., Bonny J.M., Chazeix J.F., Monin G., 2002. Etude anatomique des lésions dans le jambon de porc déstructuré. 9^{èmes} JSMTV, *Viandes et Produits Carnés, Hors série*, 113-115.
- Lendfers L.H.M.M., 1971. Loss of pigs due to death during transport; a one-year survey at an abattoir. *Proc. 2nd Int. Symp. Condition and meat quality of pigs, Zeist*, 22-24 Mars, 225-229.
- Minvielle B., Le Strat P., Lebert B., Houix Y., Boulard J., Clochefert N., 2001. Viandes déstructurées : situation dans 5 abattoirs de l'Ouest de la France, facteurs de risque, proposition d'un modèle ; caractérisation colorimétrique, biochimique et histologique. *Journées Rech. Porcine France*, 33, 95-102.
- 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 Rech. Porcine France*, 35, 263-268.
- Monin G., 1973. Réaction à l'électronarcose et glycogénolyse post mortem chez le porc. *Ann. Zootech.*, 22, 73-81.
- Monin G., Sellier P., Ollivier L., Goutefongea R., Girard J.P., 1981. Carcass characteristics and meat quality of halothane-negative and halothane-positive Pietrain pigs. *Meat Sci.*, 5, 413-423.
- Monin G., Lambooy E., Klont R., 1995. Influence of temperature variation on the metabolism of pig muscle in situ and after excision. *Meat Sci.*, 40, 149-158.
- Nielsen N.J., 1981. The effect of environmental factors on meat quality and on deaths during transportation and lairage before slaughter. In : T. Froystein, E. Slinde et N. Standal (eds), *Proc. Porcine stress and meat quality - causes and possible solutions to the problems*, *Agricult. Food Res. Soc., As, Norway*.
- Offer G., Knight P., 1988. The structural basis of WHC in meat. *Develop. Meat Sci.*, 4.1, 63-243.
- Przybylski W., Vernin P., Monin G., 1994. Relationship between glycolytic potential and ultimate pH in bovine, porcine and ovine muscles. *J. Muscle Foods*, 5, 245-255.
- Randall J.M., 1993. Environmental parameters necessary to define comfort for pigs, cattle and sheep in livestock transporters. *Anim. Prod.*, 57, 299-307.
- Tarrant P.V., 1989. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs - A review. *Irish J. Food Sci. Technol.*, 13, 79-107.
- Terlouw C., Rybarczyk P., Fernandez X., Blinet P., Talmant A., 1997. Comparaison de la réactivité au stress des porcs de races Large White et Duroc. *Journées Rech. Porcine France*, 29, 383-390.
- Terlouw C., Ludriks A., Schouten W., Vaessen S., Fernandez X., Andanson S., Pere 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.
- Von Mickwitz G., 1982. Various transport conditions and their influence on physiological reactions. *Curr. Topics Vet. Med.*, 18, 45-54.
- Warriss P.D., 1998. The welfare of slaughter pigs during transport. *Animal Welfare*, 7, 365-381.

Abstract

Pig slaughtering and carcass and meat quality.

The competitiveness of pig slaughtering plants does not rely any longer essentially on cost decrease, but rather on their capacity to increase product quality. Operations on live animals are the step of the process where the highest progress margin can be expected. Improving the meat quality control implies to better understand the stress effects on quality. The available knowledge in this area explains only a part of these effects, so it is still necessary to increase it by focusing

research particularly on the interactions between animal and technological factors. Generally speaking, it is necessary to respect a time of 20 to 24 h between the last feed and slaughter, to minimise stress by adapting the facilities taking into account the pig behavioural peculiarities, and to optimise stunning. Among the slaughter line operations following killing, chilling is the most effective on meat quality.

MONIN G., 2003. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *INRA Prod. Anim.*, 16, 251-262.