

Conséquences des traitements technologiques sur la qualité de la viande

La réfrigération, la congélation, la stimulation électrique ont des répercussions sur les qualités organoleptiques de la viande. La tendreté étant un critère particulièrement important pour le consommateur, cet article présente les effets de ces différentes technologies sur le processus d'attendrissage de la viande.

Après la mort des animaux de boucherie, la transformation du muscle en viande fait appel à un ensemble de processus très complexes, de nature à la fois enzymatique (protéases endogènes) et physicochimique (force ionique élevée), qui ne sont pas encore totalement compris (Ouali 1990). Cette transformation s'accompagne de modifications plus ou moins impor-

tantes de la composition et de la structure du tissu musculaire qui contribuent à l'élaboration et à la définition des qualités de la viande.

La nature et l'amplitude de ces modifications et, par voie de conséquence, les qualités de la viande, sont fortement influencées par l'espèce animale et par les caractéristiques physiologiques et biochimiques des muscles. Elles dépendent aussi étroitement des technologies mises en oeuvre tout au long de la filière, y compris les différents traitements auxquels sont soumis les animaux entre le départ de la ferme et l'abattage. Selon les cas, ces technologies vont donc moduler de façon favorable ou défavorable le cours de cette transformation.

Si nous disposons actuellement de données sur les conséquences des différentes technologies employées sur les qualités de la viande, les processus biochimiques qui en sont à l'origine sont loin d'être élucidés et des recherches seront encore nécessaires pour les comprendre et ainsi mieux les maîtriser.

Dans cet article, nous nous proposons, à l'aide d'exemples, de faire un tour d'horizon des effets positifs ou négatifs des principaux facteurs technologiques (environnement, température, stimulation électrique, anabolisants) sur les qualités de la viande bovine, en insistant tout particulièrement sur la tendreté puisque, au moins chez le bovin, celle-ci demeure la qualité la plus recherchée par le consommateur. Les anabolisants peuvent être classés aussi bien dans les facteurs biologiques que dans les facteurs technologiques puisque leur utilisation n'est rien d'autre qu'une technologie permettant d'améliorer la croissance des animaux. Ils seront donc traités ici au même titre que les technologies mises en oeuvre *postmortem* au niveau des carcasses ou des muscles.

Résumé

Le poids des technologies dans la définition des qualités organoleptiques des viandes est indéniable. Parmi ces qualités, nous avons choisi de nous intéresser plus particulièrement à la tendreté et au processus d'attendrissage puisque, chez le bovin, cette caractéristique constitue le facteur limitant le plus important de l'acceptabilité par le consommateur. Cette revue tente de tracer un panorama des effets des conditions de réfrigération, de la congélation, de la vitesse de chute de pH, de la stimulation électrique et des promoteurs de croissance sur la tendreté de la viande.

Concernant la température, il apparaît que des conditions de réfrigération trop douces ou trop rapides conduisent à une diminution de la tendreté. Vitesse de chute du pH et température étant étroitement interdépendantes, une relation similaire a été établie entre la tendreté finale et la vitesse d'acidification du muscle, des vitesses trop rapides de chute du pH (abaissement de la température très lent) ou trop lentes (abaissement de la température très rapide) conduisant à l'obtention de viandes plus dures. La tendreté de la viande sera donc optimum dans des conditions de réfrigération intermédiaires entre ces deux extrêmes.

La congélation de muscles *post-rigor* affecte principalement la rétention d'eau et cette qualité sera d'autant mieux préservée que la congélation sera rapide et la décongélation lente. Par contre, ce traitement semble accélérer le processus d'attendrissage, probablement au travers de l'altération, par les cristaux de glace de la structure contractile et des protéines myofibrillaires elles-mêmes.

La stimulation électrique des carcasses en basse (20 à 100 V) ou en haute tension (500 à 700 V) qui permet de prévenir l'apparition du phénomène de contracture au froid, n'a un effet bénéfique sur la tendreté que lorsqu'elle est associée à une réfrigération rapide. Associée à une réfrigération lente, elle conduit en effet à un durcissement de la viande.

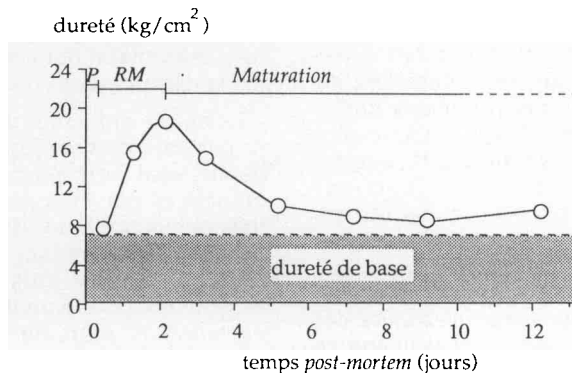
Quelle que soit leur nature, les promoteurs de croissance semblent avoir des effets néfastes sur les qualités de la viande et plus particulièrement la tendreté.

Auparavant, il paraît toutefois utile de redéfinir les différentes étapes de transformation du muscle en viande et de rappeler succinctement, lorsque cela est possible, les principaux mécanismes mis en jeu afin de mieux appréhender ensuite les modifications engendrées par les diverses technologies.

1 / Les phases de transformation du muscle en viande

Au cours de la conservation de la viande à l'état réfrigéré, la tendreté est certainement la qualité qui évolue le plus. Sur cette base, on peut considérer qu'au cours de sa transformation en viande, le muscle passe successivement par trois états différents (figure 1) qui sont l'état pantelant, l'état rigide et l'état mûré.

Figure 1. Profil d'évolution de la dureté du muscle Longissimus dorsi de bovin au cours de la conservation. La dureté est estimée par cisaillement et est exprimée au travers de la force nécessaire pour trancher des morceaux de viande de dimensions standards. P: Etat pantelant; RM: Rigor mortis. (D'après les résultats de Valin 1968).



1.1 / Etat pantelant

Dans les secondes qui suivent l'abattage, l'animal se trouve dans un état pantelant. Cet état se traduit par des contractions persistantes de la musculature probablement causées par des excitations nerveuses. Sa durée coïncide en effet avec la durée de survie du système nerveux et n'excède pas 20 à 30 minutes. Sur le plan biochimique, cette phase n'est pas encore bien caractérisée. De plus, les modifications que subit la structure musculaire pendant cette période ainsi que leurs conséquences sur le déroulement des phases ultérieures sont, sinon totalement inconnues, tout au moins très mal connues.

1.2 / Etat rigide

L'état rigide est l'aboutissement de la phase d'installation de la rigidité cadavérique ou *rigor mortis*. Après l'abattage, du fait de l'arrêt de la circulation sanguine, le muscle se trouve privé d'oxygène. La synthèse d'ATP, composé essentiel à la survie de la cellule, qui, du vivant de l'animal, est assurée par la respiration, va

désormais être moins efficace. Cette synthèse d'ATP repose alors essentiellement sur la dégradation de la phosphocréatine dont les stocks sont limités puis du glycogène qui est la principale forme de réserves glucidiques du tissu musculaire.

Le taux d'ATP reste à peu près constant tant que la concentration de phosphocréatine est relativement élevée. Dès que celle-ci devient insuffisante pour compenser la disparition de l'ATP, la concentration de ce dernier décroît et la rigidité cadavérique s'installe progressivement, la production d'ATP à partir du glycogène (glycolyse) ne permettant pas, à elle seule, de contrebalancer son hydrolyse. En effet, l'ATP qui fournit l'énergie au muscle lors de la contraction joue également le rôle de plastifiant puisque c'est lui qui permet au muscle de se relaxer. En son absence, il est aisé de comprendre que le muscle va perdre ses propriétés d'élasticité et devenir rigide.

L'hydrolyse de l'ATP libère des protons dans le milieu cellulaire à raison d'un proton par molécule d'acide lactique produite par la glycolyse. Le muscle s'acidifie et le pH décroît pour atteindre, chez des animaux en bon état physiologique, des valeurs finales (pH final ou pH ultime) comprises entre 5,4 et 6,0 selon le type de muscle. Le pH final est ainsi plus élevé pour les muscles rouges à contraction lente en raison de l'inactivation, lorsque le pH est inférieur à 6,0, des ATPases qui sont à l'origine de cette acidification. La glycolyse s'arrêtera donc soit quand le pH ultime est atteint (cas normal), soit par épuisement prématuré des réserves de glycogène anormalement basses au moment de l'abattage.

La cinétique de ces processus, tous de nature enzymatique, dépendra (a) de la vitesse d'hydrolyse de l'ATP qui règle la vitesse de l'ensemble des autres réactions y compris la vitesse de chute du pH, (b) du niveau des réserves énergétiques au moment de la mort (ces réserves étant essentiellement constituées de glycogène, le pH ultime de la viande sera déterminé par le taux de glycogène musculaire à l'abattage (Monin 1988)) (c) comme tous ces phénomènes sont enzymatiques, il paraît enfin évident que la température ou, plus exactement, les conditions de première réfrigération (conditions de réfrigération dans les 24 à 36 premières heures qui suivent l'abattage) vont jouer un rôle primordial dans la définition de la cinétique d'installation de la rigidité cadavérique. En d'autres termes, la vitesse de chute du pH augmentera avec la vitesse de contraction des muscles et avec la température tandis que son amplitude sera, pour un muscle donné, principalement fonction du taux de glycogène au moment de l'abattage.

1.3 / Etat mûré

La phase de maturation est de loin la plus importante puisqu'elle conduit à une augmentation de la tendreté de la viande. Toutefois, si la maturation permet d'améliorer la tendreté, l'allongement du temps de conservation aura, par contre, un effet négatif non seulement sur les qualités hygiéniques (croissance microbienne) mais également sur d'autres caractéris-

tiques organoleptiques comme la couleur et il faudra développer des technologies (atmosphères contrôlées par exemple pour la couleur) permettant de ralentir au mieux leur détérioration.

Nous avons jusque-là beaucoup parlé de la tendreté et/ou de la dureté de la viande et, avant de poursuivre, il paraît opportun de définir cette qualité et de préciser comment elle est mesurée. La tendreté d'une viande exprime la facilité avec laquelle celle-ci se laisse trancher ou mastiquer. A l'inverse, la dureté exprime la résistance qu'elle offre au tranchage ou à la mastication. L'évaluation de ces caractéristiques peut être obtenue par différentes méthodes. La méthode la plus fiable reste toutefois le jury de dégustation qui est toujours pris en référence pour développer des méthodes plus objectives généralement basées sur l'évaluation quantitative du degré d'altération soit des propriétés biochimiques (estimation de la perte de l'intégrité des protéines et / ou de la structure musculaire), soit des propriétés mécaniques (estimation de la résistance mécanique ou dureté de la viande) du tissu musculaire.

Pendant longtemps, la phase de maturation a été considérée comme une étape réparatrice des méfaits, en terme de tendreté, de la *rigor mortis* et était donc censée débuter après cette dernière. En fait, comme l'ont montré les travaux de Joseph et Connolly (1977), la maturation commence dès la mort de l'animal et les conditions d'installation de la *rigor mortis* vont être déterminantes pour le déroulement de la maturation.

La tendreté ultime de la viande dépend de la nature et de l'ampleur des altérations qui affectent, au cours de la conservation à l'état réfrigéré, les deux éléments principaux de la structure musculaire que sont le collagène, constituant majeur du tissu conjonctif, et les myofibrilles. Le collagène ne subit pas de modifications importantes durant la maturation et sa concentration ainsi que son degré de réticulation vont définir une dureté de base dont l'importance permet la distinction entre viandes à bouillir et viandes à griller. L'évolution de la tendreté est donc le résultat des changements affectant la structure contractile ou myofibrillaire et ses constituants.

L'altération de la structure myofibrillaire est consécutive à l'action des enzymes protéolytiques endogènes sur les protéines contractiles. Parmi les systèmes protéolytiques jusque là identifiés au niveau du tissu musculaire, deux au moins semblent impliqués dans le processus de maturation. Il s'agit des protéinases neutres calcium dépendantes encore appelées calpaïnes et des protéinases lysosomiales souvent désignées sous le nom de cathepsines. S'agissant, comme la *rigor mortis*, de phénomènes enzymatiques, la maturation des viandes sera étroitement fonction de la température. Ainsi, entre 0 et 40° C, le coefficient de température ou Q_{10} est très élevé et, selon Davey et Gilbert (1976), égal à 2,4. Cela signifie qu'à chaque fois que la température est abaissée de 10° C, la vitesse d'attendrissage sera divisée par 2,4. En

fait, cette relation n'est pas aussi simple et nous verrons des exemples montrant que des températures élevées ne sont pas toujours bénéfiques.

2 / Influence des facteurs environnementaux ante-mortem

Lors de leur transfert du lieu d'élevage jusqu'au poste d'abattage, les animaux sont soumis à un certain nombre de traitements liés aux opérations indispensables que sont la mise à jeun, le chargement, le transport, le déchargement, l'amenée au poste d'abattage, le changement d'environnement physique et social... Même conduites avec soin, ces opérations sont à l'origine de traumatismes et de stress importants.

Chez les bovins, et plus spécialement chez le taurillon qui est plus sensible, la mise à jeun et le mélange d'animaux étrangers les uns aux autres, lors de l'attente à l'abattoir en particulier, seraient ainsi des facteurs d'augmentation de la fréquence des lésions traumatiques. L'agitation provoquée par ces manipulations est à l'origine de blessures aussi bien pendant le transport qu'après l'arrivée à l'abattoir. Les lésions observées vont de l'hématome jusqu'aux fractures, en passant par les pétéchies, petites taches de sang apparaissant dans le tissu musculaire ainsi que dans les autres tissus de moindre valeur commerciale. Tous ces traumatismes, facilement décelables par le vétérinaire ou, dans le cas des pétéchies, par les bouchers au moment de la découpe, entraînent une dépréciation plus ou moins importante des carcasses et peuvent être une source de saisies. Si ces dommages corporels peuvent être occasionnés à tout moment lors du transfert à l'abattoir, selon Mac Causland et Millar (1982), la majorité se produirait après l'arrivée à l'abattoir. Au cours de la dernière décennie, la fréquence et la gravité de ceux-ci ont été considérablement réduites grâce à la mise en place de mesures simples destinées à améliorer le confort des animaux pendant cette phase précédant l'abattage. Le lecteur pourra se reporter pour cela à l'étude très complète conduite par le CEMAGREF (1982).

Outre les dommages physiques, ces stress conduisent également à une élévation de la température corporelle (Fischer 1981). Cet accroissement est d'autant plus marqué que la température ambiante est plus élevée et que la densité d'animaux est plus forte. Cette élévation de température va accélérer la vitesse de chute du pH qui, comme nous l'avons vu, est fortement influencée par ce facteur et favoriser ainsi l'obtention de viandes exsudatives en augmentant le risque de réalisation du couple pH bas-température élevée (Fischer et Hamm 1978). Dans ces conditions, le pH final particulièrement bas (pH allant de 4,9 à 5,3) induit une dénaturation importante des protéines qui ne sont plus capables de retenir l'eau du muscle. Cette situation concerne de plus fréquemment les muscles insérés profondément sur la car-

La tendreté de la viande dépend de l'importance de la protéolyse dans le tissu musculaire. Elle sera donc fonction de l'évolution de la température.

casse comme le semimembraneux et pour lesquels, la chute de pH est toujours très rapide quelles que soient les conditions de réfrigération.

Ces stress sont aussi susceptibles d'altérer profondément le déroulement de la phase d'installation de la *rigor mortis*. En effet, ils tendent à amoindrir le taux de glycogène musculaire dont la mobilisation devient plus importante et, ceci, en agissant au moins à deux niveaux. Ils vont d'une part induire la sécrétion de catécholamines et de corticoïdes dont l'effet activateur de la glycogénolyse est bien connu (Monin et Gire 1980) et, d'autre part, augmenter les contractions musculaires qui, pour répondre aux besoins énergétiques subitement accrus, vont activer la phosphorylase, enzyme impliquée dans la première étape de dégradation du glycogène. Ces effets du stress sur le glycogène sont toutefois très variables en intensité d'un muscle à l'autre (Lacourt et Tarrant 1981 ; Talmant *et al* 1986). Dans la mesure où le taux de glycogène définit la valeur du pH ultime (Monin 1988), cette diminution des réserves se traduira par une élévation du pH final et conduira à l'obtention de viande à pH élevé (supérieur à 6,0) encore désignée sous le vocable de viande à coupe sombre ou DFD (Dark, Firm, Dry meat). Dans le cas des bovins, la fréquence des viandes à pH élevé est surtout importante chez les taurillons (Valin 1986). Bien que ces viandes soient plus tendres que les viandes normales et qu'à l'inverse des viandes exsudatives, elles présentent un très bon pouvoir de rétention d'eau, elles sont moins appréciées en raison de leur couleur sombre et de leur flaveur moins marquée. De plus, du fait de leur pH élevé, elles sont très sensibles aux développements microbiens ce qui rend leur conservation à l'état réfrigéré pratiquement impossible.

Ainsi, il apparaît que, globalement, l'agitation et le stress des animaux *ante-mortem* conduisent à une détérioration des qualités

organoleptiques des viandes et à une diminution plus ou moins importante de la valeur commerciale des carcasses.

3 / Influence des conditions de réfrigération des carcasses

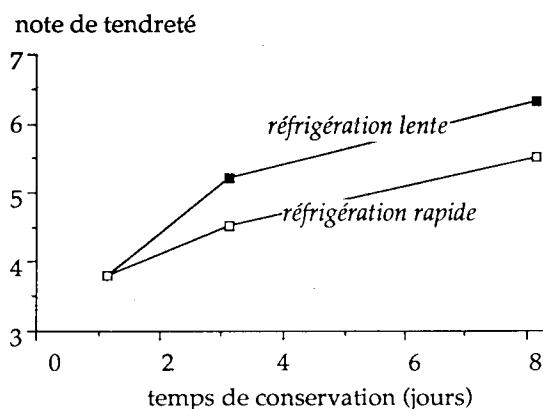
Pour des raisons évidentes d'hygiène (limitation de la croissance des bactéries), on se doit d'abaisser la température des carcasses aussi rapidement que possible après la mort. C'est ainsi que la réglementation mise en place vers les années 1970 a conduit au développement d'installations de première réfrigération utilisant de très basses températures d'air (< 0° C) et des ventilations très puissantes (2 à 3 mètres par seconde) en vue d'abaisser rapidement la température de surface. Ce type de réfrigération a été d'autant plus apprécié qu'il permet en outre une réduction des pertes de poids des carcasses par évaporation et une rotation plus rapide de celles-ci. Malgré tout, de telles conditions extrêmes de réfrigération peuvent altérer irréversiblement certaines qualités organoleptiques de la viande et plus particulièrement sa tendreté. L'objectif reste donc de satisfaire au mieux ces deux exigences et ceci, plus spécialement pendant les premières heures qui suivent l'abattage. L'expérience montre, en effet, que c'est pendant cette période (phase d'installation de la *rigor mortis*) que les conditions de réfrigération utilisées dans l'industrie sont les plus variables, la maturation étant toujours réalisée à des températures de l'ordre de 0° à + 4° C pour préserver au mieux les qualités hygiéniques de la viande.

En raison de sa masse, il est pratiquement impossible d'assurer une réfrigération homogène des carcasses. Si le contrôle de la vitesse d'abaissement de la température des muscles périphériques par ajustement de la température et de la vitesse de l'air paraît possible, cette opération est beaucoup plus délicate pour les muscles les plus profonds de la carcasse. Ces derniers seront, dans tous les cas, réfrigérés lentement et nous verrons que, de la même façon qu'une réfrigération très rapide, un abaissement trop lent de la température des muscles a aussi pour conséquence d'altérer profondément la tendreté de la viande.

3.1 / Réfrigération rapide des carcasses

Si la réfrigération rapide satisfait aux exigences hygiéniques, elle conduit à l'obtention de viande présentant une dureté excessive (figure 2) (Valin 1973 ; Valin et Lacourt 1974). Dans ces conditions, le processus d'attendrissement devient plus lent puisque, comme le montre la figure 2, entre 1 et 3 jours *postmortem*, l'augmentation de celle-ci est plus faible pour les muscles réfrigérés rapidement. Par ailleurs, les différences observées à 3 jours persistent au-delà et ont même tendance à s'accroître entre 3 et 8 jours. Il apparaît donc que, lorsque l'abaissement de la température des muscles est trop rapide, l'altération de la tendreté, détectable dès les premiers jours, est irréversible même après un stockage prolongé. Ainsi, de

Figure 2. Influence de la contraction au froid sur la tendreté du muscle *Longissimus dorsi* de bovin. La température à cœur était respectivement abaissée à 10° C en moins de 7 heures et en plus de 10 heures dans les muscles réfrigérés rapidement et lentement. Chaque valeur est la moyenne pour huit animaux. (D'après les résultats de Valin 1973).



telles conditions de réfrigération affectent à la fois la vitesse et l'intensité du processus de maturation.

Cette altération de la tendreté est liée au phénomène de la contracture au froid ou « cold shortening » découvert par Locker et Hagyard (1963). Ce phénomène apparaît essentiellement lorsque les trois conditions suivantes sont satisfaites : (1) température des muscles inférieure à 10° - 12° C (2) pH supérieur à 6,0 (au-dessous de cette valeur, le processus de contraction est inhibé) (3) présence d'ATP. Ajoutons à cela que ce phénomène concerne principalement les muscles à contraction rapide, les muscles à contraction lente étant incapables de se contracter dès que cette température est atteinte. Dans ces muscles, le processus de contraction est en effet inhibé par les basses températures.

3.2 / Réfrigération lente des carcasses

Lors de réfrigération rapides (3 - 4 h en air à -2° C pulsé à 2 ou 2,5 m/s suivis d'un stockage en air calme à 0° C), l'abaissement de la température au coeur de la cuisse et, à un degré moindre, au coeur de l'épaule de bovins est très

lent puisque, pour la cuisse, la température est de l'ordre de 10° C seulement après 24 h (figure 3a).

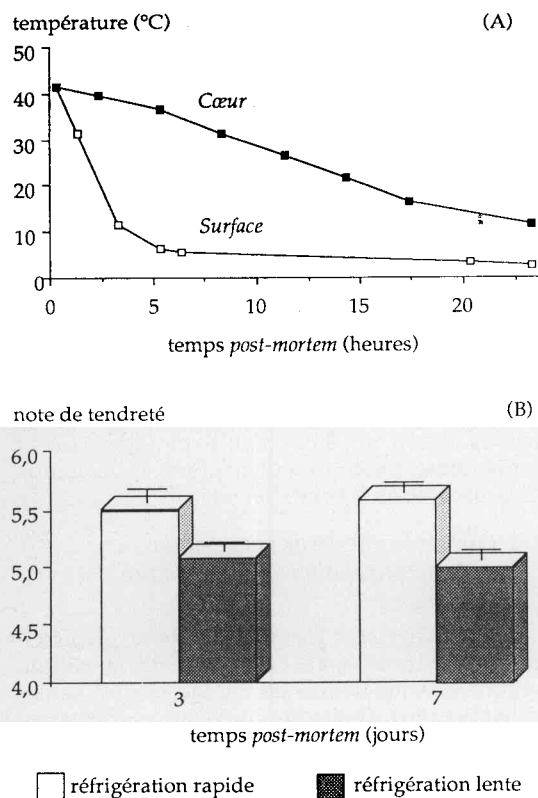
Pour ces muscles, l'acidification *postmortem* est très rapide et la valeur du pH ultime généralement plus basse. Nous avons ainsi fréquemment noté, chez les vaches de réforme, des pH de l'ordre de 5,0 à 5,2 dans le muscle *Semimembranosus* situé au coeur de la cuisse. Une telle valeur de pH associée à une température de la carcasse encore élevée conduit à l'obtention de viandes plus ou moins exsudatives. Ce phénomène, plus couramment observé chez le porc, entraîne une dénaturation sensible des protéines musculaires et ceci d'autant plus que la musculature est moins rouge comme c'est le cas chez le veau (Legras 1980). De telles conditions conduisent également à une altération des qualités organoleptiques de la viande et tout particulièrement de la tendreté. Lee et Ashmore (1985) ont ainsi clairement montré que le muscle *Longissimus dorsi* de carcasses maintenues à 35° C pendant 3 h puis placées en air calme à 0° C était significativement plus dur que le même muscle de carcasses directement stockées à 0° C après l'abattage et, ceci, dès le troisième jour de conservation (figure 3b). Ces auteurs attribuent cette différence à une contraction plus importante des muscles des carcasses réfrigérées lentement. D'autres travaux ont conduit à des résultats similaires, sans pour autant noter de différences au niveau des longueurs de sarcomère (Lochner *et al* 1980 ; Koh *et al* 1987), paramètre qui permet d'apprécier le degré de contraction des muscles. Il est donc probable, comme nous le verrons par la suite, que le processus de maturation lui-même soit ralenti par les températures élevées.

Outre la tendreté, on peut penser que les bas pH observés au niveau de ces muscles affecteront aussi leur capacité de rétention d'eau, capacité qui diminue d'autant plus que le pH est bas.

Des conditions de réfrigération ni trop douces ni trop rapides semblent donc indispensables pour éviter toute altération de la tendreté. A titre indicatif, nous pouvons suggérer, pour le développement de la rigidité cadavérique au niveau de muscles isolés, les conditions suivantes : muscles maintenus à 12-15° C pendant 10 - 15 h puis à + 2° C jusqu'à 24 h *postmortem*.

Une réfrigération trop rapide diminue la tendreté mais une réfrigération trop lente la diminue aussi du fait d'une baisse de pH trop rapide.

Figure 3. (A) Evolution de la température à la surface et au coeur de la cuisse de carcasses de bovin entreposées pendant 3-4 h en air à -2° C puis placées en air calme à 0° C jusqu'à 24 h. (Aragno 1980). (B) Tendreté estimée par un jury de dégustateurs [notes comprises entre 0 (très dure) et 10 (très tendre)] du muscle *Longissimus dorsi* de carcasses de bovin réfrigérées rapidement (Placées à 0° C dès l'abattage) ou lentement (Placées 3 h à 35° C puis à 0° C). Selon Lee et Ashmore (1985).

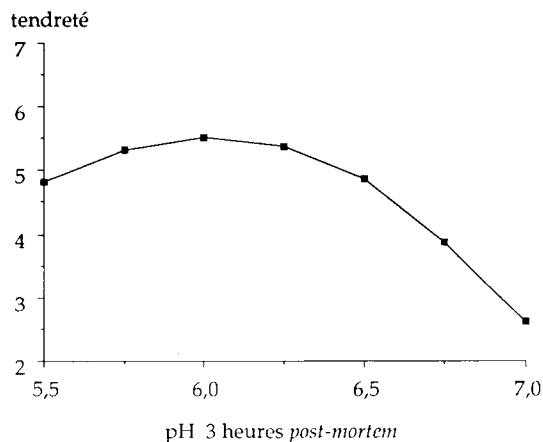


4 / Influence du pH

Si la valeur finale du pH ne semble pas affecter de façon significative le déroulement du processus de maturation, il n'en est pas de même de la vitesse de chute de ce pH. L'hydrolyse de l'ATP par les ATPases endogènes est, nous l'avons vu, à l'origine de l'acidification du tissu musculaire. Cette hydrolyse et, par conséquent la chute du pH, sont d'autant plus rapides que la température est élevée. L'existence, entre la tendreté de la viande et la vitesse de chute du pH, d'une relation similaire à celle observée précédemment pour la température

paraissait donc tout à fait envisageable. Suggérée depuis longtemps par plusieurs groupes de chercheurs, cette relation n'a pu être clairement démontrée que très récemment par Marsh et ses collaborateurs (1988). Ces auteurs ont ainsi montré que, pour des vitesses de chute de pH extrêmes, la tendreté de la viande était altérée (figure 4). Une chute de pH rapide (réfrigération très lente) et, à un degré moindre, une chute de pH lente (réfrigération très rapide) conduit à l'obtention de viande dont la tendreté est inférieure à celle de muscles pour lesquels la chute de pH se produit à une vitesse intermédiaire.

Figure 4. Relation entre la tendreté de la viande après maturation à 2°C pendant 14 jours et la vitesse de chute du pH dans les premières heures qui suivent l'abattage. La vitesse de chute du pH est appréciée par la mesure de celui-ci 3 heures post-mortem. (Selon Marsh et al 1988).



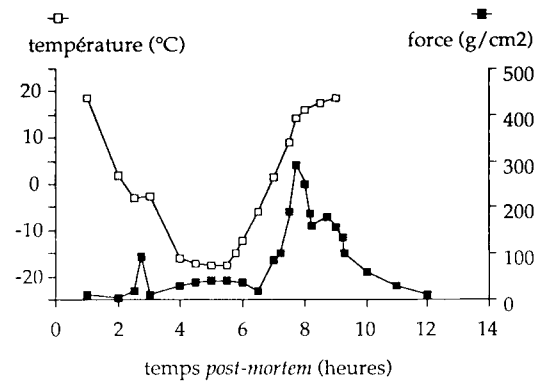
5 / Influence de la congélation

La durée de conservation de la viande peut être fortement augmentée par la congélation et le stockage à l'état congelé, traitement qui peut, selon la façon dont il est réalisé, affecter positivement ou négativement ses qualités organoleptiques. Nous verrons donc les effets de la congélation sur les qualités de la viande bovine selon que celle-ci soit réalisée avant l'installation de la *rigor mortis* (*ante-rigor*) ou après (*post-rigor*).

5.1 / Congélation *ante-rigor*

Les effets de la congélation *ante-rigor* étaient connus bien avant que n'apparaissent les problèmes liés à la réfrigération rapide des carcasses. Lors de la congélation *ante-rigor* d'un muscle contenant de l'ATP, il va se contracter lorsque la température est abaissée vers 2° C. Il s'agit là du phénomène de « cold shortening » ou contracture au froid évoqué précédemment. Comme l'ont montré Lacourt et Charpentier (1971), cette contraction est, en terme d'intensité, sans commune mesure avec celle qui apparaît au moment de la décongélation (figure 5). Cette contraction correspond au phénomène de rigor de décongélation décrit par Bendall

Figure 5. Evolution de la tension exercée par un muscle maintenu à longueur constante dans les phases de contraction observées au cours d'un cycle congélation-décongélation réalisé avant l'installation de la rigidité cadavérique (Lacourt et Charpentier 1971).



(1960). L'hydrolyse de l'ATP résiduel dès que la température redevient positive provoque une contraction brutale qui peut s'accompagner d'une exsudation d'autant plus forte que le muscle est libre de se contracter. Par ailleurs, ces contractions qui relèvent du même mécanisme que la contracture au froid, détériorent considérablement la tendreté de la viande (Mac Crae et al 1971).

Pour pallier ce problème, il est possible d'épuiser le stock d'ATP en maintenant le muscle à -3° C pendant 1 jour. En effet, l'hydrolyse de l'ATP à cette température est, selon Behnke et al (1973), aussi rapide qu'à +10° C. Dans ces conditions, on peut éviter le phénomène de rigor de décongélation et réduire ainsi considérablement les pertes par exsudation. Malgré tout, on peut penser que la contraction qui se produit lors de la phase de congélation affectera négativement la tendreté et, dans la mesure où cette contraction est pratiquement irréversible, son effet sur la tendreté sera également irréversible.

5.2 / Congélation *post-rigor*

Pour des viandes congelées au cours de la phase de maturation, la nature et l'étendue des altérations de la structure contractile dépendent étroitement de la taille et de la localisation, au sein du tissu musculaire, des cristaux de glace qui se forment. Les caractéristiques de ces cristaux sont elles-mêmes fonction de la cinétique des processus de congélation et de décongélation et, à un degré moindre, de la température finale de congélation et du temps de conservation à l'état congelé.

a / Effet de la vitesse de congélation et de décongélation sur la structure musculaire

Les cristaux sont de petite taille et préférentiellement localisés à l'intérieur de la cellule lorsque la congélation est rapide et/ou lorsque la température finale de congélation est basse, deux conditions qui, dans la pratique, sont étroitement associées. Cette situation est la plus favorable. Ils sont extracellulaires et de taille

plus importante dans le cas contraire (Martino et Zaritski 1987). Notons que, pour avoir une localisation essentiellement intracellulaire des cristaux, le temps de congélation, défini comme étant le temps nécessaire pour que la température au coeur du morceau de viande passe de -1°C (température de début de congélation de l'eau) à -7°C (température à laquelle 80 % de l'eau est congelée), doit être inférieur ou égal à 10 minutes (Bevilacqua *et al* 1979), condition difficilement réalisable dans la pratique.

A l'inverse de la taille initiale, la taille maximum des cristaux qui est étroitement fonction du temps de conservation est totalement indépendante de la température finale, ce facteur influant essentiellement sur le temps nécessaire pour l'atteindre (Martino et Zaritzki 1987).

Pour des stockages de courte durée, une congélation rapide préserve bien la structure contractile (Ouali *et al* 1983). Par contre, cela ne semble plus être le cas pour des conservations plus longues du fait de l'évolution inévitable de la taille des cristaux pendant la phase de stockage des viandes à l'état congelé (Carroll *et al* 1981). Si l'on veut préserver au mieux les structures musculaires, il paraît donc nécessaire de congeler aussi rapidement que possible et de réduire le temps de conservation de la viande ainsi traitée.

La décongélation influe principalement sur les capacités de rétention d'eau du muscle, capacité qui dépend fortement de la taille des cristaux de glace. Plus leur taille sera grande, plus l'altération des structures musculaires sera importante et plus l'écoulement de l'eau au moment de la décongélation sera facilité. Cette diminution des capacités de rétention d'eau du muscle congelé est consécutive à une dénaturation des protéines, dénaturation qui a pour origine l'action conjuguée de la déshydratation qu'elles subissent au fur et à mesure que la quantité d'eau disponible décroît et de l'augmentation très importante, à leur voisinage, de la force ionique qui peut atteindre localement des valeurs équivalentes à des concentrations salines de 1 à 2 Molaires (Offer et Knight 1988a,b). De telles conditions physico-chimiques conduisent, selon certains auteurs, à une altération non seulement de la structure contractile mais également de la structure tertiaire des protéines elles-mêmes qui favorise leur agrégation (Shenouda 1980 ; Farias *et al* 1989). Il faut toutefois noter que ce phénomène de dénaturation des protéines est souvent surestimé. En effet, la vitesse de réhydratation des protéines est très faible comparée à la vitesse de décongélation et, même lorsque la décongélation est très douce, ce rapport de vitesse demeure important. Pour bien faire, il faudrait que la vitesse de décongélation soit en rapport avec la vitesse de réhydratation et donc de renaturation des protéines ce qui est pratiquement impossible. Quoiqu'il en soit, bien que cet idéal ne puisse jamais être atteint, il est toujours préférable de décongeler lentement les viandes.

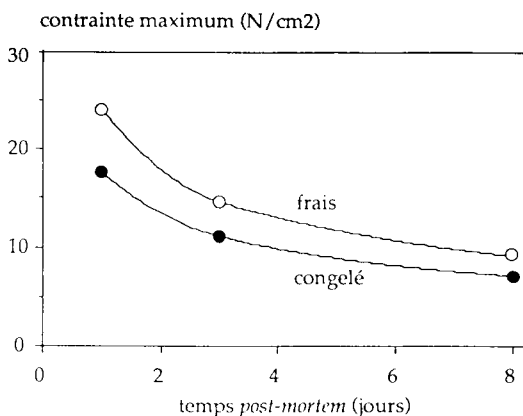
b / Conséquences sur la tendreté

Des approches tant biochimiques (Shenouda

1980 ; Ouali *et al* 1983 ; Farias *et al* 1989) que physiques (Sale 1973), physico-chimiques (Wagner et Anon 1986 ; Rochdi 1984) ou ultra-structurales (Carroll *et al* 1981) ont permis de mettre en évidence des modifications de la structure myofibrillaire au cours d'un cycle congélation-décongélation (modification des propriétés électriques du muscle, des propriétés de solubilité, de stabilité à la chaleur, de contractibilitéetc ... des protéines myofibrillaires). Dès lors, on peut penser que les qualités organoleptiques et plus particulièrement la jutosité et la tendreté de la viande après décongélation dépendront étroitement de la nature et de l'intensité de ces modifications.

Si nous disposons de nombreuses données relatives à l'influence de ce traitement sur les capacités de rétention d'eau du muscle (Offer et Knight 1988a,b), nous n'avons que très peu d'information concernant son action sur la tendreté de la viande. Pitre (1977) rapporte que dans des conditions de congélation rapide et de décongélation douce, ce traitement n'affecte pas significativement la tendreté de la viande. Des résultats plus récents (Farias *et al* 1989) semblent indiquer, qu'au contraire, la congélation paraît capable d'accélérer le processus d'attendrissement. Ainsi, comme le montre la figure 6, selon le temps de maturation à $+4^{\circ}\text{C}$, la résistance mécanique de la structure myofibrillaire du muscle *Semimembranosus* de bovin diminue de 22 à 27 % après congélation, cette diminution étant maximale pour les échantillons congelés 24 h *post-mortem*. Ces résultats corroborent ceux de Kopp (1973) qui montraient également que l'effet bénéfique de la congélation sur la tendreté était surtout perceptible 24 h après l'abattage. L'analyse de cette caractéristique par un jury de dégustation semblerait conduire aux mêmes conclusions (Liu Li 1988).

Figure 6. Evolution comparative de la tendreté du muscle *Semimembranosus* de bovin réfrigéré ($+4^{\circ}\text{C}$) ou congelé aux temps indiqués et conservé 8 jours avant d'être décongelé et soumis aux différentes analyses. (Farias *et al* 1989).



6 / Influence de la stimulation électrique

La stimulation électrique (SE), technologie mise en oeuvre pour la première fois à l'échelle

La congélation doit être rapide et la décongélation lente pour préserver les qualités organoleptiques, en particulier la jutosité.

industrielle par les Néo-Zélandais (Davey *et al* 1976), avait comme principal objectif de prévenir le phénomène de contracture au froid lors de la réfrigération rapide des carcasses. D'autres intérêts de cette technologie sont vite apparus par la suite. Le premier concerne son utilisation pour permettre le développement du désossage à chaud des muscles dans les meilleurs conditions possibles. En effet, les muscles désossés à chaud sont beaucoup plus sensibles au phénomène de contracture au froid en raison de la diminution des masses à refroidir et de la suppression des tensions existant sur la carcasse. Le second est l'accélération apparente du processus d'attendrissage qui permettait de réduire le temps de stockage. Dans ce cadre, cette technologie a parfois été utilisée, à tort, comme un argument commercial garantissant une bonne tendreté des viandes ainsi traitées ce qui, nous le verrons, n'est pas toujours le cas.

6.1 / Les différents types de stimulation utilisés

Deux types de SE sont généralement utilisés. Ils diffèrent par la valeur des tensions appliquées aux carcasses, par le temps qui sépare la saignée de la mise sous tension et par le tissu sollicité pour la conduction du courant électrique. Ce sont :

- la SE dite haute tension qui fut la première à être mise en oeuvre industriellement. La tension est, dans ce cas, de l'ordre de 500 à 700 V et les carcasses doivent être stimulées dans les 30 à 60 minutes qui suivent la saignée. Le système conducteur est ici le tissu musculaire dont l'hétérogénéité et le mauvais pouvoir conducteur expliquent la nécessité de faire appel à des tensions aussi élevées.

- la SE dite basse tension pour laquelle les tensions appliquées aux carcasses sont comprises entre 30 V et 100 V. Le système conducteur est alors le système nerveux. Comme la durée de vie de ce système ne dépasse guère 30 minutes chez le bovin (Christall et Devine 1985), ce traitement doit être appliqué le plus tôt possible (15 à 20 minutes maximum) après la saignée sur les animaux non dépecés. Selon ces mêmes auteurs, l'efficacité de la SE diminue très rapidement au cours des minutes qui suivent au fur et à mesure de l'altération du système nerveux.

Dans les deux cas, la durée de stimulation ne peut guère excéder 2 minutes puisqu'au delà, le muscle ne répond plus ou de façon beaucoup moins efficace à la stimulation.

6.2 / Stimulation électrique et prévention de la contracture au froid

La contracture au froid est, nous l'avons vu, responsable d'une altération irréversible de la tendreté de la viande. Pour prévenir ce phénomène, il suffit d'inhiber le mécanisme responsable de la contraction, à savoir l'activité ATPasique du système myofibrillaire ; or le seul facteur susceptible de l'inhiber est le pH. En effet, à pH 6,0 et au-dessous, les muscles à contraction rapide qui sont les plus sensibles à ce phénomène, n'ont plus la possibilité de se contracter. L'abaissement suffisamment rapide du pH vers 6,0 avant que la température n'atteigne 10° ou 12° C permet d'annuler tout risque de contraction au froid. D'autre part, la vitesse de chute du pH est fonction de la vitesse d'hydrolyse de l'ATP qui peut être fortement augmenté (jusqu'à dix fois) en forçant le muscle à travailler ce qui n'est possible, *postmortem*, que si celui-ci reçoit des stimulations électriques convenables.

Bien que la vitesse de chute du pH soit légèrement inférieure dans le cas de la SE basse tension, les deux types de SE permettent d'annuler aussi efficacement tout risque de contraction au froid. Comme le montrent les résultats rapportés dans le tableau 1, les deux types de SE préviennent, de façon similaire, toute altération de la tendreté par ce phénomène. Ils suggèrent en outre que, contrairement à ce que certains auteurs ont avancé, la SE par elle-même ne permet pas d'améliorer la tendreté finale de la viande puisque le rapport des notes de tendreté entre muscles témoins et stimulés est toujours voisin de l'unité.

6.3 / Modulation des effets de la SE par la température

a / Vitesse de maturation dans des conditions de réfrigération rapides

L'association de la SE et d'une réfrigération rapide permet l'obtention de viandes tendres

Tableau 1. Prévention du durcissement de la viande lors de réfrigération rapide par la stimulation électrique haute (HT) et basse (BT) tension. Les carcasses témoins non stimulées étaient réfrigérées dans les conditions optimales pour la maturation (carcasses placées à + 5°C en air calme pendant 24 h) (Selon Valin 1982).

Muscles	Rapport des notes de tendreté : témoin/stimulé	
	SE HT	SE BT
<i>Longissimus dorsi</i> (faux-filet)	0,97	0,92
<i>Semitendinosus</i> (tranche)	1,03	0,93
<i>Obliquus internus</i> (bavette d'ailoyau)	0,96	0,92
<i>Semimembranosus</i> (tende de tranche)	1,09	1,03

Tableau 2. Effets de la stimulation électrique (SE) sur la maturation de la structure contractile de différents muscles de carcasses de bovin soumises à une réfrigération rapide. (Selon Valin et al 1981). Le degré de maturation de cette structure était apprécié à l'aide d'un indice biochimique de maturation de la structure contractile basé sur l'évolution au cours du temps de l'activité ATPasique du complexe actine-myosine (Ouali 1981).

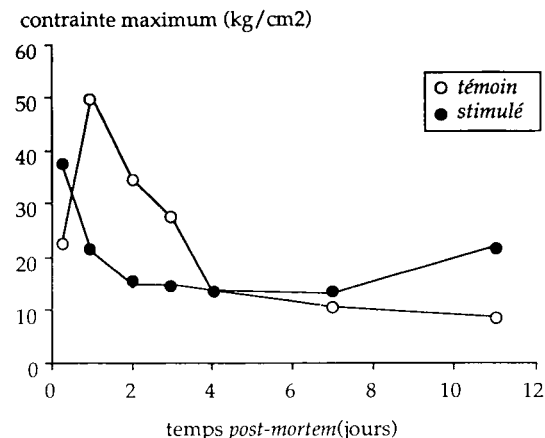
Muscles	Temps de maturation (Jours)		
		1	2
<i>Longissimus dorsi</i> (faux-filet)	Témoin	0,16 ± 0,03	0,54 ± 0,02
	SE	0,24 ± 0,07	0,68 ± 0,10
<i>Triceps brachii</i> (boule de macreuse)	Témoin	0,16 ± 0,03	0,48 ± 0,06
	SE	0,22 ± 0,03	0,47 ± 0,06
<i>Semi membranous</i> (tende de tranche)	Témoin	0,23 ± 0,05	0,42 ± 0,02
	SE	0,16 ± 0,04	0,37 ± 0,14

par prévention de la contracture au froid. En fait, cet effet bénéfique est étroitement dépendant du muscle et plus précisément de sa localisation anatomique (Valin et al 1981). Ces auteurs montrent ainsi qu'au cours des 24 premières heures, la SE accélère le processus de maturation au niveau des muscles les plus superficiels comme le *Longissimus dorsi* (LD) et le *Triceps brachii caput longum* (TB) qui sont tous les deux susceptibles de se contracter à basse température. Par contre, dans les mêmes conditions, on note un ralentissement de ce processus au niveau du muscle *Semi-membranosus* (SM) stimulé électriquement (tableau 2). Or, contrairement aux deux précédents, ce muscle est, de par sa position, à l'abri de tout risque de contracture au froid même lors de réfrigérations brutales. En effet, quelles que soient les conditions de réfrigération, ce muscle présente une diminution lente de sa température (figure 3a) et une chute de pH rapide (Tarrant et Mothersill 1977).

b / Vitesse de maturation dans des conditions de réfrigération lentes

Plusieurs études ont montré que lorsque la SE est associée à une réfrigération lente, la tendreté de la viande pouvait être irrémédiablement altérée (Lochner et al 1980 ; Valin 1982 ; Koh et al 1987). Dans le but de mieux comprendre l'origine de ce durcissement de la viande, un suivi du déroulement du processus de maturation a été réalisé au niveau des mêmes muscles que précédemment sur des carcasses de bovin réfrigérées lentement (demi-carcasses stimulées et témoins mises en chambre froide à + 6° C en air calme pendant 24 h puis conservation des muscles sous vide à + 5° C) (Valin 1982). Selon les résultats présentés dans la figure 7, il apparaît que si la SE n'a pas d'effet sur l'amplitude du processus de maturation entre 1 et 4 jours *postmortem*, celui-ci devient significatif mais négatif entre 4 et 12 jours *postmortem*. Que l'état de maturation soit apprécié par des méthodes mécaniques (force de compression à 20 % de déformation) ou biochimiques (degré d'altération de l'activité ATPasique des myofibrilles), les muscles témoins sont, après 12 jours de conservation, significativement plus maturés et donc plus tendres que

Figure 7. Evolution de la tendreté du muscle *Longissimus dorsi* de demi-carcasses de bovin non stimulé ou ayant subi une stimulation haute tension et réfrigéré lentement (ressuyage des demi-carcasses à + 5°C pendant 24 h en air calme puis désossage et conditionnement des muscles sous vide en portion de 500 g et stockage à + 4°C). La tendreté est estimée par un test de compression et exprimée au travers de la contrainte maximum à 20 % de déformation. (Selon Ouali et Valin 1984).



leurs homologues stimulés électriquement (Valin 1982 ; Ouali et Valin 1984). L'estimation de la tendreté de la viande par un jury de dégustation a confirmé ces résultats et a par ailleurs montré que, comme précédemment, par comparaison avec les muscles LD et TB, cet effet négatif est plus marqué au niveau du muscle SM (Valin 1982).

L'essentiel de l'information qu'il faut retenir de l'ensemble de ces résultats peut-être résumé de la façon suivante. Trois situations différentes peuvent être rencontrées, chacune d'entre elle conduisant à une évolution variable de la tendreté de la viande (figure 8) :

(A) SE et réfrigération rapide donnant lieu à des contractions au froid intenses : les muscles stimulés sont plus tendres que les témoins même après une durée de conservation longue.

(B) SE et réfrigération rapide donnant lieu à des contractions au froid relativement faibles : les muscles stimulés sont plus tendres que les témoins dans les premiers jours qui suivent l'abattage, cette différence s'estompant progressivement ensuite pour disparaître après une durée de conservation suffisante.

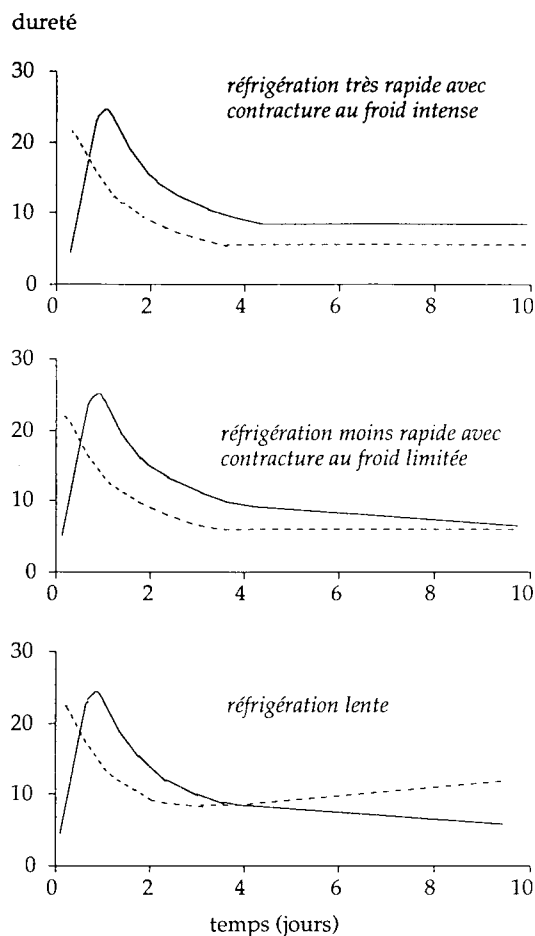
(C) SE et réfrigération lente ne donnant lieu à aucune contraction au froid : les muscles stimulés atteignent leur optimum de tendreté avant les muscles témoins mais, pour des temps de conservation plus longs, ils présentent une dureté supérieure à celle des muscles non stimulés.

La SE ne peut donc avoir un effet bénéfique que lorsqu'elle est associée à des conditions de réfrigération suffisamment brutales et capables d'entraîner l'apparition de contractions au froid au niveau de la musculature.

6.4 / Stimulation électrique et désossage à chaud

Le désossage à chaud des muscles peut permettre d'éviter l'hétérogénéité des vitesses de réfrigération observées entre muscles d'une

Figure 8. Profil d'évolution de la dureté de muscles stimulés électriquement (traits en pointillés) ou non stimulés (traits continus) en fonction de la vitesse de réfrigération. Ces profils ont été établis à partir de l'ensemble des résultats expérimentaux que nous avons obtenus au Laboratoire.



même carcasse et ainsi d'optimiser au mieux, pour chacun d'eux, les conditions de maturation. Dans ce contexte, la stimulation électrique a depuis toujours été considérée comme un moyen susceptible de faciliter la mise en place et le développement rapide de cette technologie. En effet, elle permet de réduire considérablement les risques de contracture liés d'une part, à un abaissement trop rapide de la température (il s'agit alors de réfrigérer des muscles et non plus des carcasses) et, d'autre part, à la manipulation de muscles encore chauds (les pressions et les chocs induisant des contractions anarchiques des muscles). A cette fin, il était donc intéressant de comparer l'efficacité, dans ce domaine, des deux types de stimulation électrique.

Tous les travaux réalisés à ce jour ont clairement démontré que les deux modes de stimulation permettent un désossage précoce des carcasses sans altération importante de la tendreté de la viande (Gilbert *et al* 1977 ; Valin 1982). Ainsi, lorsqu'on compare la tendreté de viandes stimulées en basse ou en haute tension puis désossées à chaud (2 h *postmortem*) à celle des mêmes muscles désossés à froid (24 h *postmortem*), le rapport des notes de tendreté après 7 jours de conservation à + 2° C est toujours voisin de 1 (tableau 3). Bien que les différences observées soient minimales (10 % au maximum), il est intéressant de noter qu'elles sont, dans la majorité des cas, à l'avantage des muscles désossés à froid et donc moins libres de se contracter.

En dépit des avantages tant économiques que technologiques du désossage à chaud (De Mieule 1980 ; Houibert 1986), la législation actuellement en vigueur interdit le développement de cette technologie. En effet, selon celle-ci, la manipulation des carcasses et, *a fortiori* des muscles, n'est pas possible avant que la température à cœur n'ait atteint + 7° C ce qui n'est pas compatible avec cette technologie.

6.5 / Variabilité de l'efficacité de la SE

L'efficacité de la SE dépend bien évidemment de divers paramètres relatifs au courant électrique lui-même, au temps entre l'abattage et la stimulation des carcasses, etc (Davey et Chrystall 1980 ; Sale 1980). Elle est en outre fonction de facteurs purement biologiques tels que le type d'animal (Wu *et al* 1985) et surtout le type de muscle (Monin 1980 ; Houlier *et al* 1984). La tension nécessaire pour une bonne stimulation des muscles diminue avec leur vitesse de contraction. Cela signifie qu'il faudra une tension plus élevée (4 V/cm ou plus au lieu de 2 V/cm) pour stimuler efficacement les muscles à contraction lente et à métabolisme oxydatif. La comparaison des deux types de SE semble toutefois indiquer que ce type de muscles est plus sensible à la SE basse tension (Lacourt *et al* 1986). Ceci peut s'expliquer par le fait que, dans ce cas, c'est le système nerveux qui est l'élément conducteur. Par rapport à la SE haute tension, la SE basse tension pourrait ainsi permettre de stimuler l'ensemble des muscles de la carcasse avec la même efficacité.

La stimulation électrique améliore la tendreté lorsqu'elle est associée à une réfrigération brutale.

Tableau 3. Effet combiné de la stimulation électrique et du désossage à chaud sur la tendreté de la viande après 7 jours de conservation (Valin 1982).

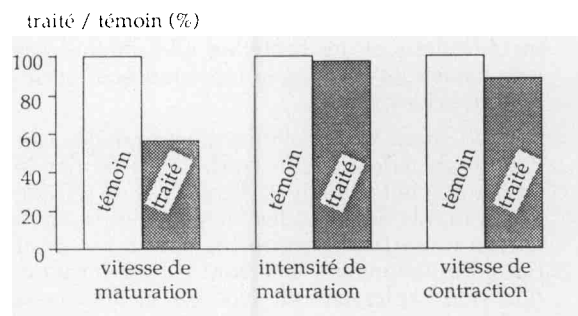
Muscles	Rapport des notes de tendreté : DF/DC*	
	SE HT*	SE BT*
<i>Longissimus dorsi</i> (faux-filet)	1,11 ± 0,40	1,10 ± 0,38
<i>Semitendinosus</i> (tranche)	1,07 ± 0,27	1,02 ± 0,22
<i>Obliquus internus</i> (bavette d'loyau)	1,10 ± 0,17	1,11 ± 0,23
<i>Semimembranosus</i> (tende de tranche)	0,96 ± 0,24	0,98 ± 0,23

*DF = Muscle désossé à froid ; DC = Muscle désossé à chaud ; SE HT : stimulation électrique haute tension ; SE BT : stimulation électrique basse tension.

7 / Promoteurs de croissance et qualités de la viande

Sous le vocable de promoteurs de croissance, on regroupe tous les produits qui ont la propriété d'augmenter la masse musculaire des animaux avec ou sans réduction du taux de gras. Les plus connus appartiennent à la famille des anabolisants (Zéranol, Acétate de trenbolone ...) ou à celle des β -agonistes (Cimaterol, Clenbutérol ...). Il faut ajouter à ceux-ci l'hormone de croissance dont l'intérêt n'est apparu que plus récemment. L'ensemble des données disponibles jusqu'à ce jour indique que tous ces composés conduisent à une diminution significative de la tendreté des viandes (Ouali *et al* 1988 ; Merkel *et al* 1988) et, pour certains d'entre eux, à l'obtention de viandes à pH élevé ou viande à coupe sombre (Tarrant, communication personnelle). Leur action sur les autres qualités organoleptiques est, semble-t-il, plus discrète et les données sur ce sujet sont très disparates.

Si le mode d'action des β -agonistes et de l'hormone de croissance reste à ce jour inconnu, il semble que les anabolisants affectent le processus de maturation des viandes au travers d'un changement progressif du typage contractile des muscles et probablement de l'ensemble de leurs caractéristiques physiologiques (Ouali *et al* 1988). D'un agent anabolisant à un autre, les résultats sont très variables (Patterson et Salter 1985). Toutefois, ces composés influencent à la fois la vitesse du processus de maturation et ceci, toujours dans le sens d'une diminution (figure 9). Certains induisent aussi une augmentation de la teneur en fer héminique ce qui signifie que le métabolisme des muscles devient plus oxydatif. Toutes les données actuellement disponibles dans la littérature suggèrent que les anabolisants modifient assez profondément la physiologie des muscles et il est fort probable que les altérations de la tendreté de la viande soient la conséquence de ces modifications biochimiques du tissu musculaire. La diminution de la vitesse de contraction et l'augmentation du caractère oxydatif des muscles expliquent, au moins en partie, le ralentissement du processus de maturation dont la vitesse croît avec l'activité ATPasique qui est proportionnelle à la vitesse de contraction et le caractère glycolytique des muscles (Ouali *et al* 1983).

Figure 9. Effets des anabolisants (oestradiol + trenbolone acétate) sur la vitesse de maturation, l'intensité de maturation et la vitesse de contraction du muscle *Longissimus dorsi* de taurillon.

Conclusion

L'ensemble de ces résultats confirme le poids très important des technologies sur la tendreté de la viande bovine, qualité qui est la plus recherchée par le consommateur. Selon qu'elles soient bien ou mal conduites et bien qu'à des degrés divers, toutes les technologies considérées dans ce rapport paraissent capables de moduler favorablement ou défavorablement le processus d'attendrissement de la viande ainsi que quelques autres qualités organoleptiques comme la jutosité et la couleur.

Si les problèmes inhérents aux conditions d'environnement et de manipulation des animaux dans la période précédant l'abattage ont été en grande partie résolus, il n'en est pas de même des autres technologies mises en oeuvre après la saignée qui, pour diverses raisons, ne sont pas toujours bien maîtrisées. Ceci est particulièrement vrai pour la réfrigération des carcasses puisque, dans la pratique, la température des muscles superficiels au départ de l'abattoir peut varier entre 0 et 20° C. Même dans les conditions les plus rigoureuses, il n'est pas possible d'éliminer les différences entre les muscles de surface et les muscles profonds ce qui implique que l'optimisation du procédé ne concernera qu'une partie de la musculature et non la musculature dans son ensemble. Or nous avons vu que l'abaissement trop rapide (cas des muscles de surface) ou trop lent (cas des muscles profonds) de la température sont aussi néfastes l'un que l'autre pour le déroulement du processus de maturation. La seule solution à ce problème serait le désossage à

chaud des muscles qui permettrait la réfrigération non plus de carcasses mais de muscles ou de quartiers de taille réduites d'où une meilleure homogénéité des conditions de réfrigération et une optimisation possible de ces conditions en fonction des caractéristiques de maturation de chaque morceau.

A l'inverse de la congélation *ante-rigor*, la congélation *post-rigor* est une pratique de plus en plus utilisée pour augmenter la durée de vie de cette denrée très fragile qu'est la viande. Pour préserver au mieux ses qualités organoleptiques et tout particulièrement sa jutosité, la viande doit être congelée rapidement et décongelée lentement. De plus des temps de conservation à l'état congelé trop longs ne sont pas recommandés puisqu'ils diminuent les capacités de rétention d'eau de la viande. A l'inverse de la jutosité, la tendreté semble être améliorée par la congélation et ceci, probablement à la suite d'une altération mécanique de la structure myofibrillaire et des protéines elles-mêmes par les cristaux de glace et la force ionique localement très élevée.

Concernant la stimulation électrique des carcasses, ses effets sur la tendreté de la viande sont tout à fait favorables dans le cas de réfrigération rapide des muscles mais sont nuls, voire même négatifs, lorsque les carcasses sont refroidies lentement. Ils seront par ailleurs fonction non seulement du type de muscle mais également de sa localisation anatomique puis-

que, même dans des conditions de réfrigération rapide, certains muscles profonds de la carcasse voient leur tendreté diminuée par cette technologie.

L'utilisation des promoteurs de croissance qui est totalement interdite dans certains pays européens est une pratique légale et courante dans d'autres. Ces produits pharmaceutiques sont particulièrement appréciés pour leur capacité à améliorer la croissance des animaux et par voie de conséquence leur conformation et leur rendement en viande. Il n'est par contre jamais fait allusion à leurs effets, dans l'ensemble négatifs sur les qualités de la viande ainsi produite et plus spécialement de la tendreté. En effet, de quelque nature qu'ils soient, tous les produits utilisés tendent à diminuer la tendreté de la viande.

Il est clair que la qualité de la viande ne se définit pas seulement au stade de la production et que, lorsque les choix sont bien établis à ce stade, de nombreux écueils restent à surmonter après l'abattage pour ne pas anéantir les efforts réalisés jusque là. La réussite passe par une bonne maîtrise des différentes technologies qui seront mises en oeuvre ou, tout au moins, par une bonne connaissance des risques ou des pièges de chacune d'entre elles. La prise en compte de la qualité tout au long de la filière ainsi que l'identification de l'origine du produit par le consommateur seront, à plus ou moins court terme, également nécessaires.

Références bibliographiques

- ARAGNO N., 1980. Le point de la réfrigération des viandes à l'abattoir. *Génie Rural*. Octobre, 19-24.
- BEHNKE J.R., FENNEMA O., CASSENS R.G., 1973. Rates of *postmortem* metabolism in frozen animal tissues. *J. Agric. Food Chem.* 21, 5-11.
- BENDALL J.R., 1960. *Postmortem* changes in muscle. In : Structure and function of muscle (Bourne G.H. Ed), Academic Press, New York. pp 225-274.
- BEVILACQUE A., ZARITZKY N.E., CALVELO A., 1979. Histological measurements of ice in frozen beef. *J. Fd. Technol.* 14, 237-251.
- CARROLL R.J., CAVANADGH J.R., ROKER F.P., 1981. Effects of frozen storage on the ultrastructure of bovine muscle. *J. Fd. Sci.* 46, 1091-1094.
- CEMAGREF, 1982. Manipulation et logement du bétail à l'abattoir. Etude N° 9, 91 pp.
- CHRYSTALL B.B., DEVINE C.E., 1985. Electrical stimulation : Its early development in New Zealand. *Adv. Meat Res.* 1, 73-119.
- DAVEY C.L., CHRYSTALL B.B., 1980. Conditions for an efficient *postmortem* electrical stimulation. *Ann. Technol. Agric.* 29, 547-561.
- DAVEY C.L., GILBERT K.V., 1976. The temperature coefficient of beef ageing. *J. Sci. Food Agric.* 27, 244-250.
- DAVEY C.L., GILBERT K.V., CARSE W.A., 1976. Carcass electrical stimulation to prevent cold shortening toughness in beef. *N.Z. Journal Agric. Res.* 19, 13-19.
- DE MIEULE J.E., 1980. Les conséquences socio-économiques de la stimulation électrique et du désossage à chaud. *Ann. Technol. Agric.* 29, 725-732.
- FARIAS G., OUALI A., BONNET M., KOPP J., 1989. Effets de la congélation sur quelques caractéristiques musculaires, conséquences sur la maturation des viandes. *Viandes et Produits Carnés.* 10, 141-148.

- FISCHER K., 1981. Influence of temperature, fasting and transportation. In : The problem of dark-cutting in beef (Hood D.E. et Tarrant P.V. Eds), Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, Netherlands. pp 395-403.
- FISCHER K., HAMM R., 1978. Fast glycolysing bovine muscle (« PSE beef »). 24th Eur. Meet. Meat Res. Workers. Kulmbach. Vol. 1. A6.
- GILBERT K.V., DAVEY C.L., NEWTON K.C., 1977. Electrical stimulation and the hot boning of beef. N.Z. Journal Agric. Res. 20, 139-144.
- HOULBERT J.M., 1986. Désossage précoce : plutôt à « tiède » qu'à « chaud ». Viandes et Produits Carnés. 7, 86-90.
- HOULIER B., VALIN C., MONIN G., SALE P., 1984. Effect of muscle type on electrical stimulation efficiency. Sci. Aliments. 4, 167-175.
- JOSEPH R.L., CONNOLLY J., 1977. The effects of suspension method, chilling rate and *postmortem* ageing period on beef quality. J. Fd. Technol. 12, 231-247.
- KOH K.C., BIDNER T.D., McMILIN K.W., HILL G.M. 1987. Effects of electrical stimulation and temperature on beef quality and tenderness. Meat Sci. 21, 189-201.
- KOPP J., 1973. Influence d'un cycle congélation-décongélation à différents stades de maturation sur la tendreté de la viande bovine mesurée par cisaillement. 19th Eur. Meet. Meat Res. Workers, Paris, C8, 581-597.
- LACOURT A., BORDES P., CANISTRO J., LACOURT P., 1986. Hétérogénéité des réponses cellulaires du muscle pectoral de carcasses de bovins stimulées électriquement à haute et basse tension. Viandes et Produits Carnés. 7, 141-143.
- LACOURT A., CHARPENTIER J., 1971. Influence du régime thermique lors de la congélation du tissu musculaire *ante rigor mortis* sur la contraction à la décongélation. Rev. Gen. Foid. 62, 1031-1037.
- LACOURT A., TARRANT P.V., 1981. Selective glycogen depletion and recovery in skeletal muscle fibre types of young bulls subjected to a behavioural stress. In: The problem of dark-cutting in beef (Hood D.E. et Tarrant P.V. Eds), Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, Netherlands. pp 417-429.
- LEE Y.B., ASHMORE C.R., 1985. Effect of early *postmortem* temperature on beef tenderness. J. Anim. Sci. 60, 1588-1596.
- LEGRAS P., 1980. Etude de la couleur de la viande de veau. Diplôme d'Etudes Supérieures, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.
- LIU LI, 1988. Comparaison des qualités organoleptiques de viande bovine fraîche et congelée. Diplôme d'Etude Approfondies de Sciences Alimentaires, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- LOCHNER J.V., KAUFFMAN R.G., MARSH B.B., 1980. Early *postmortem* cooling rate and beef tenderness. Meat Sci. 4, 227-241.
- LOCKER R.H., HAGYARD C.J., 1963. A cold shortening effect in beef muscle. J. Sci. Food Agric. 14, 787-793.
- MAC CAUSLAND I.P., MILLAR H.W.C., 1982. Time of occurrence of bruising in slaughter cattle. Austral. Vet. J. 58, 253-255.
- MARSH B.B., RINGKOB T.P., RUSSELL R.L., SWARTZ D.R., PAGEL L.A. 1988. Mechanisms and strategies for improving meat tenderness. Reciprocal meat conference proceedings of the A.M.S.A.(USA). 41, 113-118.
- MARTINO M.N., ZARITZKY N.E., 1987. Ice crystal modifications during frozen beef storage. J. Fd. Sci. 53, 1631-1637.
- Mc CRAE S.E., SECOMBE C.G., MARSH B.B., CARSE W.A., 1971. Studies in meat tenderness. IX. The tenderness of various lamb muscles in relation to their skeletal restraint and delay before freezing. J. Food Sci. 36, 566-570.
- MERKEL R.A., 1988. Is meat quality affected by the use of repartitioning agents ? Recip. Meat Conf. Proc. 41, 101-112.
- MONIN G., 1980. Catabolisme de l'ATP pendant la stimulation électrique. Influence du type métabolique et contractile. Ann. Technol. Agric. 29, 563-572.
- MONIN G., 1988. Stress d'abattage et qualités de la viande. Rec. Méd. Vét. 164, 835-842.
- MONIN G., GIRE P., 1980. Influence of injection of alpha-blocking and beta-blocking agents on the muscle glycolysis during transport stress in lambs. 26th Eur. Meet. Meat Res. Workers. A8, 30-34.
- OFFER G., KNIGHT P., 1988a. The structural basis of waterholding in meat. Part 1: General principles and water uptake in meat processing. In : Development in Meat Science-4 (Lawrie R.A. Ed), Applied Science Publishers, London. pp 63-171.
- OFFER G., KNIGHT P., 1988b. The structural basis of waterholding in meat. Part 2: Drip loss. In : Development in Meat Science-4 (Lawrie R.A. Ed), Applied Science Publishers, London. pp 173-243.
- OUALI A. 1981. Variation entre muscles de l'effet de la maturation sur l'activité ATPasique des myofibrilles. Sci. Aliments. 1, 1-6.
- OUALI A. 1990. Meat tenderization : Possible causes and Mechanisms. A review. J. Muscle Foods. 1, 129-165.
- OUALI A., OBLED A., TALMANT A., MONIN G., VALIN C. 1983. Influence du type contractile et métabolique des muscles sur la vitesse et l'intensité de maturation de la viande bovine. Viandes et Produits Carnés, Numéro Spécial Réunion des Chercheurs en Viande, Paris. pp 25-26.
- OUALI A., ROCHDI A., BONNET M., KOPP J., VALIN C., 1983. Influence de la vitesse de congélation et de la température finale de congélation sur la structure contractile du muscle strié de bovin. 16th International Congress of Refrigeration, Paris. C2, 252-257.
- OUALI A., VALIN C., 1984. Principaux facteurs technologiques et biologiques influant sur le processus de maturation des viandes. Bull. Tech. CRZV-Theix, INRA. 55, 73-78.
- OUALI A., ZABARI M., RENO J.P., TOURAILLE C., KOPP J., BONNET M., VALIN C., 1988. Anabolic agents in beef production : effects on muscle traits and meat quality. Meat Sci. 24, 151-161.
- PATTERSON R.L.S., SALTER L.J., 1985. Anabolic agents and meat quality : a review. Meat Sci. 14, 191-220.
- PITRE J., 1977. La viande, connaissance biologique et bases de la technologie. Tome 2, Fascicule 1, 206 pp.
- ROCHDI A., 1984. Contribution à l'étude de quelques facteurs de variation de la stabilité thermique des protéines musculaires de structure. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- SALE P., 1973. Influence de la congélation-décongélation sur la conductance des viandes. Rev. Gen. Froid. 64, 183-188.
- SALE P., 1980. Les impératifs électriques de la stimulation. Ann. Technol. Agric. 29, 615-624.
- SHENOUDA S.Y.K., 1980. Theories of protein denaturation during frozen storage of fish fleish. Adv. Food Res. 26, 275-293.
- TALMANT A., MONIN G., BRIAND M., DADET M., BRIAND Y., 1986. Activities of metabolic and contractile enzymes in 18 bovine muscles. Meat Sci. 18, 23-40.
- TARRANT P.V., MOTHERSILL C., 1977. Glycolysis and associated changes in beef carcasses. J. Sci. Food Agric. 28, 739-749.
- VALIN C., 1968. Transformation *postmortem* du muscle et qualités organoleptiques des viandes. Ann. Nut. Alim., 22, 57-92.
- VALIN C., 1973. La conservation de la viande bovine réfrigérée : transformations biochimiques du muscle et qualité de la viande. 19th Eur. Meet. Meat Res. Workers, Paris. B/O. 155-180.
- VALIN C., 1982. Electrical stimulation in France. In : Meat Science and Technology (Franklin K.R., Cross H.R. Eds), National Live Stock and Meat Board, Chicago. pp 107-113.
- VALIN C., 1986. Caractéristiques qualitatives et technologiques des viandes bovines : influence des conditions d'abattage et de la technologie. In : Production de Viande Bovine. (Micol D. Ed), INRA, Paris. pp 85-97.
- VALIN C., LACOURT A., 1974. Action du froid sur les tissus musculaires des animaux abattus. Rev. Gén. Froid. 10, 1053-1065.
- VALIN C., TOURAILLE C., OUALI A., LACOURT A., 1981. Effects of electrical stimulation on ageing and eating quality of beef. Sci. Aliments. 1, 467-476.
- WAGNER, J.R., ANON M.C., 1986. Effect of frozen storage on protein denaturation in bovine muscle. 1. Myofibrillar ATPase activity and differential scanning calorimetric studies. J. Fd. Technol. 21, 9-18.
- WU F.Y., DUTSON T.R., VALIN C., CROSS H.R., SMITH S.B., 1985. Aging index, Lysosomal enzyme activities and meat tenderness in muscles from electrically stimulated bull end steer carcasses. J. Food Sci. 50, 1025-1028.

Summary

Meat quality as affected by technological practices.

It has long been established that meat quality is greatly influenced by technological procedures. Of these qualities, tenderness is very likely the most important for the consumer, particularly in beef and, hence, most of the section concerns this eating characteristic of meat. In this paper, we therefore attempted to review the main effects of various technologies including chilling conditions, freezing, rate of pH fall, electrical stimulation and growth promoters on meat tenderness and the tenderising process.

Fast and slow chilling conditions were thus found to cause a decrease in meat tenderness. As rate of pH fall and temperature are highly interdependent, a similar relationship between tenderness of meat and rate of pH drop was observed, fast and slow pH fall leading to more rougher meat. Hence, improvement in

meat tenderness would be better achieved by using intermediate chilling conditions.

Freezing of *post-rigor* meat is known to decrease water binding properties of meat and, in every case, this quality was mostly preserved by using rapid freezing together with slow thawing conditions. By contrast, this technological practice seems to increase meat tenderness, probably through damage of both the contractile structure and myofibrillar proteins themselves caused by ice crystals.

Electrical stimulation of carcasses which prevents meat from cold shortening has a beneficial effect on tenderness only when associated with fast chilling conditions. When electrically stimulated muscles were slowly chilled, meat tenderness decreased significantly.

The last point concerns growth promoters which appeared to negatively affect meat qualities especially tenderness.

OUALI A., 1991. Conséquences des traitements technologiques sur la qualité de la viande. INRA Prod. Anim. 4 (3), 195-208.