

PROBLEMES POSES PAR LA DETERMINATION DES MODIFICATIONS DE LA A 4
STRUCTURE DU MUSCLE AU COURS DE LA MATURATION

P.Salé, C.Valin

L'évolution *post mortem* des éléments composant la structure du muscle et par conséquent des protéines constituant de ces structures conditionne la tendreté de la viande proposée au consommateur. La tendreté de la viande est fonction à la fois des propriétés mécaniques du tissu conjonctif et des myofibrilles. Pour des durées de maturation de l'ordre de huit jours il n'a jamais été possible de mettre en évidence aucune transformation au niveau du collagène et on attribue classiquement les modifications de tendreté enregistrées à des altérations au niveau des protéines myofibrillaires.

Les mécanismes impliqués dans ces transformations sont encore pour le moins largement inconnus. De plus la mesure même de la tendreté pose des problèmes. D'une façon classique et mis à part les jurys de dégustation, la mesure objective de la tendreté repose sur la détermination d'une force de cisaillement qui en fait n'est pas une pure force de cisaillement (Warner Bratzler, Shear Force, Apparatus) ou bien sur la détermination d'une force d'écrasement (Volodkevitch).

Nous avons essayé de caractériser l'influence de la maturation sur la tendreté en utilisant l'appareil développé dans notre laboratoire par P. SALE, appareil qui permet d'une part de procéder à un pur cisaillement et d'autre part de mesurer le travail accompli au cours de ce cisaillement. Parallèlement nous avons suivi l'évolution de l'activité protéolytique libre entre 1 jour et 8 jours *post mortem*.

MATERIEL ET METHODE

L'étude a porté sur trois vaches de réforme âgées de 4 à 7 ans et sur un jeune taurillon de 17 mois.

Sur chaque animal on a prélevé 1 jour après la mort les muscles *Psoas major*, *Longissimus Dorsi* (11ème et 12ème côte), *Semi tendinosus*, *Semi membranosus*, *Pectoralis profundis*, *Triceps brachii caput laterale*.

Les muscles ont été conservés 8 jours à + 4°C. Toutes les mesures ont été effectuées sur le muscle cru.

Les mesures des activités enzymatiques libres et totales ont été effectuées selon la méthode publiée précédemment (VALIN, 1970).

RESULTAT ET DISCUSSION

Le tableau I rapporte l'évolution au cours de la maturation de la force de cisaillement en kg/cm² nécessaire pour trancher l'échantillon de muscle aux jours 1 et 8 *post mortem*.

Ces premiers résultats montrent clairement la complexité du mécanisme de la maturation. En effet on peut constater que l'intensité des transformations *post mortem* mesurée selon ce critère est très variable entre les différents muscles d'une carcasse et entre animaux puisque à la limite sur le jeune bovin étudié nous ne notons aucune diminution de la force de cisaillement. De plus, estimé à partir de la mesure de la contrainte de cisaillement certains muscles ne mûrent pas, puisque l'on enregistre même des augmentations de cette contrainte. Enfin on peut constater que les muscles dits tendres Long Dorsal et Psoas mûrent selon ce critère mieux que les muscles à teneur en conjonctif supérieure qui présentent un comportement plus variable entre animaux. Un résultat semblable est obtenu avec l'appareil de Warner Bratzler (tableau II).

Le tableau III rapporte l'évolution au cours de la même période du travail effectué lors de la mesure de la contrainte de cisaillement.

A partir de ces résultats et mis à part les muscles du taurillon testé on enregistre une diminution du travail après huit jours de maturation, même dans le cas des muscles pour lesquels on enregistrait une augmentation de la contrainte de cisaillement. Rapporté au critère travail, la maturation semble avoir un effet beaucoup plus homogène et allant dans le sens d'un gain de tendreté très notable.

Dans une tentative d'interprétation de l'évolution de la forme de ces courbes nous avons défini un coefficient que nous appellerons facteur de forme, qui est égal au rapport $\frac{W}{\sigma \cdot e}$ du travail sur le produit de la contrainte de

cisaillement par l'épaisseur de l'échantillon.

Si on décompose la courbe du type I on voit que la partie AB correspond à une compression de l'échantillon, la partie BC au cisaillement proprement dit. Dans la courbe de type II on peut noter une importante modification de la résistance au cours de la compression et le palier de cisaillement est très réduit.

On peut interpréter ces résultats en disant qu'à un jour *post mortem* les protéines myofibrillaires offrent une résistance appréciable au cours de la compression et qu'il y a cisaillement du tissu conjonctif dans un milieu de protéines myofibrillaires. Par contre à huit jours *post mortem* (courbe de type II) la cohésion de la structure myofibrillaire est suffisamment faible pour

que ces protéines soient chassées de la trame de tissu conjonctif avant que le cisaillement de ce dernier s'opère et le cisaillement ne se produit alors que sur une très faible épaisseur ce qui pourrait expliquer une contrainte de cisaillement plus faible dans certains cas.

On peut noter que dans le cas des muscles du taurillon étudié pour lesquels il n'y a pas diminution de la contrainte de cisaillement ni du travail nous avons obtenu à 1 jour et 8 jours *post mortem* des courbes du type II.

Pour se rendre compte quantitativement de la signification du facteur de forme, on peut voir que si le diagramme se réduisait à un triangle, ce qui signifierait que la résistance est proportionnelle à la déformation avec cisaillement brusque, le rapport $\frac{W}{\sigma, e}$ serait égal à 0,5. Or les valeurs correspondant aux courbes de type I sont voisines de 0,5 (tableau IV) et pour des courbes de type II cette valeur doit être inférieure à 0,5 ce que nous enregistrons.

Si l'on compare les mesures de cisaillement et les mesures effectuées au Warner Bratzler on constate que l'on obtient des résultats comparables avec une variabilité très supérieure pour les mesures au Warner Bratzler. Nos résultats confirment que ces deux types de mesure ne constituent pas une bonne méthode de mesure des transformations *post mortem* de la structure du muscle. La détermination du travail conduit à des résultats différents car cette mesure fait intervenir d'autres paramètres, en particulier la déformation de la viande avant le cisaillement ce qui est intéressant à connaître pour obtenir une meilleure compréhension des mécanismes de la maturation. En effet à ce niveau interviennent les propriétés des myofibrilles elles-mêmes, et les interactions myofibrilles-tissu conjonctif. La détermination du facteur de forme qui fait intervenir force de cisaillement et travail peut donc constituer un excellent critère d'appréciation de l'intensité des phénomènes de maturation.

Parallèlement à ces mesures physiques nous avons déterminé l'évolution de l'activité protéolytique libre dans les différents muscles au cours de cette période de huit jours de maturation.

Nous avons pu constater que pendant cette période de maturation l'activité protéolytique totale ne diminuait pas. D'autre part l'activité libre *in situ* reste faible, ce qui corrobore nos résultats antérieurs en les étendant à différents muscles de la carcasse (VALIN, 1970). Comme nous l'avions déjà noté l'essentiel de la libération de l'activité protéolytique à pH acide se produit au cours de l'installation de la *rigor* pendant l'acidification du muscle.

Si on considère les chiffres du tableau VI qui rapporte l'évolution des activités spécifiques libres, on peut constater une variabilité importante inter animaux et entre muscles qui ne correspond pas aux résultats des mesures physiques de cisaillement et de travail, ce qui tend à montrer que les altérations des éléments de structure du muscle au cours de la maturation ne sauraient être ramenées à une simple protéolyse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

VALIN C. 1970 Activation des enzymes lysosomales du muscle au cours de la maturation de la viande.

Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys. Sous presse.

| | | Vache n° 1 | | Vache n° 2 | | Vache n° 3 | | Taurillon | |
|--------------------|----|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| | | σ Kg/cm ² | $\frac{\sigma_8 - \sigma_1}{\sigma_1}$ | σ Kg/cm ² | $\frac{\sigma_8 - \sigma_1}{\sigma_1}$ | σ Kg/cm ² | $\frac{\sigma_8 - \sigma_1}{\sigma_1}$ | σ Kg/cm ² | $\frac{\sigma_8 - \sigma_1}{\sigma_1}$ |
| Psoas | 1j | 2,32 | - 37 | 2 ± 0,17 | - 9,5 | 1,85 ± 0,15 | - 29 | 1,21 ± 0,23 | + 17 |
| | 8j | 1,47 ± 0,31 | | 1,81 ± 0,34 | | 1,32 ± 0,17 | | 1,40 ± 0,29 | |
| Long dorsal | 1j | 2,05 ± | - 34 | 1,93 ± 0,25 | - 47 | 1,55 ± 0,3 | - 52 | 1,36 ± 0,32 | + 27 |
| | 8j | 1,35 ± 0,5 | | 1,03 ± 0,18 | | 0,74 ± 0,18 | | 1,73 ± 0,28 | |
| 1/2 Membraneux | 1j | 2,05 | - 27 | 2,47 ± 0,75 | - 11 | 1,7 ± 0,3 | + 130 | 1,81 ± 0,48 | + 30 |
| | 8j | 1,50 ± 0,5 | | 2,19 ± 0,42 | | 3,95 ± 0,7 | | 2,35 ± 0,44 | |
| 1/2 Tendineux | 1j | 2,94 | - 22,5 | 2,78 ± 0,22 | + 20 | 2,5 ± 0,35 | + 36 | 2,11 ± 0,37 | + 16 |
| | 8j | 2,28 ± 0,36 | | 3,35 ± 0,21 | | 3,4 ± 0,3 | | 2,46 ± 0,43 | |
| Pectoral ascendant | 1j | 2,72 | - 34 | 2,98 ± 0,36 | - 11 | 4,4 ± 0,57 | + 14,5 | 2,48 ± 0,43 | - 7 |
| | 8j | 1,80 ± 0,33 | | 2,65 ± 0,45 | | 2,75 ± 0,75 | | 2,31 ± 0,4 | |

TABLEAU I - Evolution de la contrainte de cisaillement au cours de la maturation

| | | Vache n° 2 | | Vache n° 3 | | Taurillon | |
|--------------------|-----|--------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|--|
| | | σ Kg/cm ² | $\frac{\sigma_8 - \sigma_1}{\sigma_1} \%$ | σ Kg/cm ² | $\frac{\sigma_8 - \sigma_1}{\sigma_1} \%$ | σ Kg/cm ² | $\frac{\sigma_8 - \sigma_1}{\sigma_1}$ |
| Psoas | 1 j | 2,14 ± 0,35 | + 27 | 2,1 ± 0,86 | + 24 | 2,36 ± 0,68 | + 5,6 |
| | 8 j | 2,72 ± 0,5 | | 2,6 ± 0,95 | | 2,5 ± 0,62 | |
| Long dorsal | 1 j | 2,7 ± 0,9 | + 11 | 2,2 ± 1 | - 23 | 2,85 ± 1,15 | + 2,5 |
| | 8 j | 3 ± 1 | | 1,7 ± 0,7 | | 2,92 ± 0,8 | |
| 1/2 Membr aneux | 1 j | 5,9 ± 3,6 | + 20 | 2,7 ± 1,4 | + 47 | 3,86 ± 1,4 | + 3,6 |
| | 8 j | 7,1 ± 2,5 | | 3,96 ± 1,7 | | 4 ± 1,35 | |
| 1/2 Tendineux | 1 j | 4,6 ± 0,75 | + 8,7 | 5,45 ± 1,2 | + 8,3 | 4,35 ± 0,94 | - 3,5 |
| | 8 j | 5 ± 1,35 | | 5,9 ± 1,3 | | 4,2 ± 0,86 | |
| Pectoral ascendant | 1 j | 7,1 ± 1,45 | + 12,5 | 3,7 ± 1,85 | + 49 | 3,64 ± 1,08 | + 31 |
| | 8 j | 8 ± 1,75 | | 5,5 ± 1,9 | | 4,8 ± 1 | |

TABLEAU II - Mesure de la tendreté au Warner Bratzler en kg/cm²

| | | Vache n° 1 | | Vache n° 2 | | Vache n° 3 | | Taurillon | |
|--------------------|-----|------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|
| | | W Kg.cm | $\frac{W_8 - W_1}{W_1} \%$ | W Kg.cm | $\frac{W_8 - W_1}{W_1} \%$ | W Kg.cm | $\frac{W_8 - W_1}{W_1} \%$ | W Kg.cm | $\frac{W_8 - W_1}{W_1} \%$ |
| Psoas | 1 j | 1,13 | | 0,94 | | 1 ± 0,08 | | 0,44 ± 0,09 | |
| | 8 j | 0,5 | - 56 | 0,68 ± 0,07 | - 27,5 | 0,41 ± 0,06 | - 59 | 0,48 ± 0,07 | + 9 |
| Long Dorsal | 1 j | 0,82 | | 0,60 ± 0,14 | | 0,75 ± 0,1 | | 0,4 ± 0,15 | |
| | 8 j | 0,3 | - 62 | 0,28 ± 0,08 | - 53 | 0,15 ± 0,04 | - 80 | 0,36 ± 0,1 | - 10 |
| 1/2 Membraneux | 1 j | 0,97 | | 0,62 ± 0,21 | | 0,74 ± 0,12 | | 0,48 ± 0,15 | |
| | 8 j | 0,29 | - 70 | 0,57 ± 0,09 | - 8 | 0,63 ± 0,11 | - 15 | 0,56 ± 0,11 | + 16 |
| 1/2 Tendineux | 1 j | 0,80 | | 1,21 ± 0,16 | | 0,68 ± 0,12 | | 0,56 ± 0,12 | |
| | 8 j | 0,39 | - 51 | 1 ± 0,2 | - 17 | 0,81 ± 0,15 | + 19 | 0,52 ± 0,12 | - 7 |
| Pectoral Ascendant | 1 j | 1,28 | | 1,12 ± 0,13 | | 0,79 ± 0,14 | | 0,71 ± 0,16 | |
| | 8 j | 0,32 | - 75 | 0,61 ± 0,17 | - 45 | 0,48 | - 38 | 0,63 ± 0,14 | - 11 |

TABLEAU III - Evolution du travail de cisaillement au cours de la maturation

| | | Vache n° 1 | Vache n° 2 | Vache n° 3 | Taurillon |
|--------------------|-----|------------|------------|------------|-----------|
| | | Psoas | 1 j | 42 | 52 |
| | 8 j | 34 | 42 | 38 | 38 |
| Long dorsal | 1 j | 39 | 33 | 49 | 34 |
| | 8 j | 25 | 29 | 22 | 22 |
| 1/2 Membraneux | 1 j | 42 | 26 | 50 | 30 |
| | 8 j | 21 | 27 | 22 | 25 |
| 1/2 Tendineux | 1 j | 25 | 46 | 29 | 26 |
| | 8 j | 13 | 32 | 23 | 23 |
| Pectoral ascendant | 1 j | 46 | 39 | 36 | 32 |
| | 8 j | 21 | 25 | 17 | 24 |

TABLEAU IV - Variation du facteur de forme: $100 \times \frac{W}{\sigma \cdot B}$

| | Vache n° 2 | | Vache n° 3 | | Taurillon | |
|-----------------------|------------|------|------------|------|-----------|------|
| | 1 j. | 8 j. | 1 j. | 8 j. | 1 j. | 8 j. |
| Psoas | 42 | 29,6 | - | - | 33,8 | 29 |
| Long dorsal | 17,2 | 29,8 | 13,1 | 17,6 | 13 | 21,7 |
| 1/2 Membraneux | 16 | 28,8 | 10,9 | 15,3 | 13,8 | 11,2 |
| 1/2 Tendineux | 19,4 | 41 | 22,6 | 23 | 15,8 | 2,9 |
| Pectoral ascendant | 6 | 30 | 17,8 | 14,8 | 20 | 11,4 |

TABLEAU V - Pourcentage d'activité protéolytique libre.

| | Vache n° 2 | | Vache n° 3 | | Taurillon | |
|-----------------------|------------|------|------------|------|-----------|------|
| | 1 j. | 8 j. | 1 j. | 8 j. | 1 j. | 8 j. |
| Psoas | 15,8 | 12 | | | 6,75 | 10 |
| Long dorsal | 7,5 | 10,9 | 3,2 | 4,3 | 3,9 | 4,9 |
| 1/2 Membraneux | 8,1 | 11,8 | 3 | 4,7 | 3,8 | 2,35 |
| 1/2 Tendineux | 7,6 | 13,8 | 5,4 | 6,2 | 4,2 | 0,7 |
| Pectoral ascendant | 3,8 | 12,3 | 3,6 | 4 | 5 | 3 |

TABLEAU VI - Activité spécifique libre en γ de tyrosine libérés par mg de protéine et par heure.