

Caractérisation ultrasonore des tissus musculaires bovins

S. ABOU EL KARAM, P. BERGE, J. CULIOLI

INRA, Station de Recherches sur la Viande, Centre de Clermont-Fd / Theix, 63122 St Genès-Champanelle

RÉSUMÉ – L'étude de la propagation d'ondes ultrasonores dans la viande constitue un moyen non destructif de caractérisation des différents tissus musculaires. En effet, la mesure de paramètres acoustiques, notamment la vitesse, l'atténuation des ondes, peut donner des informations sur la composition et les caractéristiques mécaniques du milieu étudié. Dans ce travail, une méthode de détermination des paramètres acoustiques a été appliquée à la viande bovine.

Deux muscles ont été étudiés (*M. semimembranosus* et *M. semitendinosus*). Ils ont été prélevés sur les carcasses de 20 veaux de même race répartis en 4 classes d'âge (4, 8, 12 et 16 mois). Parallèlement aux mesures acoustiques, des mesures biologiques et mécaniques ont été effectuées sur ces mêmes muscles.

La vitesse de propagation, le coefficient d'atténuation et l'énergie de rétrodiffusion des ondes acoustiques dans les échantillons de viande ont été déterminés. Ces paramètres acoustiques ont été reliés à la composition de la viande, notamment aux teneurs en collagène et en lipides, ainsi qu'à la résistance mécanique. Sur la base des données ultrasonores, 70 % des échantillons ont été classés correctement en fonction de l'âge des animaux et 80 % en fonction du muscle.

Ultrasonic characterization of bovine muscle tissues

S. ABOU EL KARAM, P. BERGE, J. CULIOLI

INRA, Station de Recherches sur la Viande, Centre de Clermont-Fd / Theix, 63122 St Genès-Champanelle

SUMMARY – The study of the propagation of ultrasonic waves in meat is a non destructive method of tissue characterization. The measurement of acoustical parameters such as speed and attenuation of ultrasound waves can provide useful information on the composition and the mechanical properties of the medium. A method of measurement of acoustical parameters was investigated to study beef meat characteristics.

Two muscles (*M. semimembranosus* and *M. semitendinosus*) were excised from the carcasses of 20 calves distributed in 4 age classes (4, 8, 12 and 16 months). Acoustical, mechanical and chemical measurements were performed on each muscle.

Propagation speed, attenuation coefficient and backscattering energy of ultrasound waves in meat samples were measured and related to meat composition (collagen and lipid contents) and mechanical resistance.

The ultrasonic characterization allowed a successful classification of 70 % of the samples according to age and 80 % to muscle type.

INTRODUCTION

Les ultrasons constituent un moyen physique non destructif et non invasif d'analyse de milieux composites tels que la viande. Depuis plusieurs décennies, ils sont notamment utilisés pour évaluer l'état d'engraissement des animaux et la composante lipidique des carcasses. La mesure de l'épaisseur du gras sous cutané a été employée avec succès dans le classement des carcasses de porc, en raison du dépôt de gras très caractéristique dans cette espèce animale. En revanche, chez les bovins et les ovins, une grande partie des dépôts adipeux musculaires est sous formes intra et intermusculaire. De ce fait, son estimation depuis l'extérieur s'avère plus difficile à réaliser par une simple mesure d'épaisseur. D'autres techniques plus ou moins élaborées sont alors employées. L'importance du gras intramusculaire (persillé) peut être évaluée sur des images échographiques du muscle *M. longissimus* entre les 12^{ème} et 13^{ème} côtes de la carcasse (Brethour, 1990). En effet, le gras déposé dans le muscle confère à l'image un pouvoir échogène caractéristique. D'autres techniques sont basées sur la mesure de paramètres acoustiques caractéristiques du milieu : vitesse de propagation, atténuation, rétrodiffusion des ondes ultrasonores, analyse spectrale du signal échographique. Pour la plupart, ces paramètres ne dépendent que de la nature du milieu de propagation. D'où, l'idée de les utiliser pour la caractérisation de la viande. Whittaker et al (1992) ont utilisé quelques uns de ces paramètres pour estimer le gras intramusculaire de muscles de bovins en mesurant la vitesse et l'atténuation des ondes ultrasonores et en faisant une analyse fréquentielle de signaux échographiques (Park et al, 1994). De même, Miles et al (1987) ont utilisé la vitesse de propagation pour l'estimation du pourcentage de gras dans les carcasses de bovins. Un appareil, basé sur la mesure de ce paramètre, a été développé en vue de prédire la composition des carcasses (Miles et al, 1990). L'objectif de la présente étude a été d'utiliser les paramètres acoustiques (vitesse de propagation, atténuation et énergie rétrodiffusée des ondes ultrasonores) pour réaliser une classification de viandes issues de muscles de types différents prélevés sur des animaux d'âges variés.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le banc ultrasonore était composé d'une cuve d'eau thermostatée dans laquelle étaient placés des échantillons de viande conditionnés sous vide. Un ensemble de moteurs pas à pas permettait aux sondes ultrasonores (fréquence 5 MHz) d'effectuer un balayage plan de l'échantillon. Un micro-ordinateur gérait la commande des moteurs, l'émetteur-récepteur relié aux sondes ultrasonores, l'acquisition et le traitement des signaux. Les échantillons de viande (L : 7 cm ; l = 5 cm ; h : 4 cm) ont été prélevés sur les muscles *M. semitendinosus* (ST) et *M. semimembranosus* (SM) de veaux Montbéliard âgés de 4, 8, 12 ou 16 mois élevés à l'INRA de Theix (Laboratoire Croissance et Métabolismes des Herbivores). Chaque classe d'âge était composée de cinq animaux. La viande étant anisotrope, les échantillons ont été étudiés en orientant leurs fibres perpendiculairement puis parallèlement à la direction de propagation des ondes. L'acquisition des données ultrasonores a été réalisée à quatre températures différentes (5, 10, 20 et 30 °C).

1.2. ACQUISITION DES SIGNAUX ULTRASONORES

Une région d'intérêt (RDI), de 20 mm sur 20 mm, a été balayée par le faisceau ultrasonore suivant deux directions (x et y) par pas de 1 mm. Cela représentait un balayage de 20 plans de 20 lignes soit un sondage de l'échantillon en 400 points équidistants. Les signaux ainsi recueillis ont été traités à l'aide de logiciels spécifiques développés pour l'extraction des paramètres acoustiques recherchés.

1.3. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES

1.3.1. Vitesse, Atténuation, Énergie rétrodiffusée

Les paramètres vitesse, atténuation et énergie rétrodiffusée, liés aux propriétés mécaniques, à la composition ainsi qu'à la distribution des constituants du milieu étudié ont été déterminés pour chacun des 400 points de sondage de la RDI. Les valeurs moyennes des différents paramètres ont été exprimées en m/s pour la vitesse ultrasonore, en dB/(MHz.cm) pour l'atténuation et en V^2 (homogène à une amplitude au carré) pour l'énergie rétrodiffusée.

1.3.2. composition chimique

La teneur en collagène des échantillons a été exprimée par la concentration en hydroxyproline (HyPro) déterminée par la méthode de Bergman et Loxley (1963). La teneur en matière sèche a été mesurée par séchage à l'étuve à 105 °C pendant 24 h. La teneur en lipides intramusculaires totaux a été déterminée par la méthode d'Arneth (1972).

1.3.3. mesure mécanique

Les tests mécaniques ont été réalisés sur des échantillons de viande chauffée au bain marie à 55 ou 75 °C pendant 30 min. Découpée en parallélépipèdes de section carrée, la viande était ensuite soumise à une compression linéaire sur une surface de 1 cm². La déformation a été appliquée perpendiculairement à l'axe principal des fibres musculaires. La résistance mécanique de la viande chauffée a été évaluée par les contraintes maximales aux taux de compression de 20 et 80% (Kamoun et Culioli, 1988).

1.4 ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse de variance appliquée aux paramètres acoustiques, mécaniques et biochimiques a été réalisée en utilisant la procédure ANOVA du logiciel SAS (Version 6.10). Les facteurs âge, type de muscle et interaction âge-muscle ont été testés. Les comparaisons de moyennes ont été effectuées en utilisant le test de Newman-Keuls. L'analyse discriminante pas à pas a été réalisée à l'aide du même logiciel.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Description des variables ultrasonores utilisées : «Vit», vitesse ultrasonore dans le milieu (m/s) ; «Att», atténuation du milieu (dB/(MHz.cm)) ; «En», énergie rétrodiffusée (αV^2). Per et Par ont été utilisés respectivement pour l'orientation perpendiculaire et parallèle des fibres musculaires par rapport à la direction de propagation des ondes ultrasonores. Les chiffres 5, 10, 20 et 30 correspondaient à la température en °C. Exemple de variable, VitPer20 = Vitesse perpendiculaire à 20 °C.

Variables mécaniques : K, contrainte de compression (N/cm²). 20 et 80 % caractérisaient les taux de compression et, 55 et 75 °C les températures de chauffage. Exemple, K8055 : contrainte à 80 % de compression et 55 °C.

2.1. ANALYSE DE LA VARIANCE

Les effets de l'âge et du muscle sur l'ensemble des paramètres chimiques, mécaniques et ultrasonores sont portés dans le tableau 1. Seuls les résultats significativement différents au seuil de 5 % ont été retenus.

La teneur en matière sèche a augmenté avec l'âge des animaux mais la différence n'a été significative qu'entre les âges extrêmes (4 et 16 mois). Ce résultat peut être expliqué par la forte augmentation de la teneur en lipides, de 0,6 à 1,7 %, entre 4 et 16 mois.

Le muscle SM s'est distingué de manière significative du muscle ST par une plus forte teneur en MS et une plus faible teneur en hydroxyproline, donc en collagène.

Parmi les paramètres mécaniques seuls ceux mesurés dans des conditions destructives (compression à 80 %) ont été significativement influencés par l'âge. L'effet a été cependant différent selon la température considérée. A 55 °C les muscles des animaux de 16 mois ont présenté une résistance significativement plus élevée qu'aux autres âges. Par contre, à 75 °C la résistance mécanique des muscles d'animaux de 4 mois a été significativement plus faible qu'aux autres âges. Malgré une teneur en collagène plus faible, le muscle SM a présenté une résistance mécanique significativement plus élevée que celle du muscle ST pour les 2 températures de chauffage.

Le type de muscle n'a eu un effet significatif que sur la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans les

2 configurations. Celle-ci a été plus élevée de 5 à 8 m/s pour le muscle SM. L'écart a été d'autant plus marqué que la température était plus élevée, en raison d'une plus faible dispersion des résultats.

En revanche, l'âge des animaux a surtout eu une incidence sur l'atténuation et à moindre degré sur l'énergie rétrodiffusée. La configuration perpendiculaire a été celle pour laquelle les effets ont été les plus marqués. Les basses températures ont été plus adaptées dans le cas de l'atténuation, alors que l'énergie rétrodiffusée n'a donné des résultats significatifs qu'à des températures plus élevées.

Pris individuellement, aucun paramètre ultrasonore n'a été significativement corrélé à la teneur en lipides et collagène ainsi qu'aux mesures mécaniques pour l'ensemble des âges et des muscles. Cependant, la combinaison de plusieurs paramètres ultrasonores a permis de classer de manière relativement satisfaisante les échantillons.

2.2. ANALYSE DISCRIMINANTE

L'analyse discriminante pas à pas a permis d'isoler un nombre réduit de paramètres acoustiques pertinents pour classer les échantillons en fonction de l'âge et du type de muscle.

Lorsque les mesures ont été effectuées à 20 °C, la combinaison des paramètres VitPer20, AttPer20, EnPer20 et AttPar20 a permis de bien classer 78 % des échantillons par type de muscle (tableau 2). Les mesures à 30 °C (VitPer,

Tableau 1
Analyse de la variance.

	4 mois	8 mois	12 mois	16 mois	SM	ST
MS %	24,6 b	25,3 ab	25,2 ab	26,0 a	25,7	24,8
Lipides %	0,6 b	0,7 b	0,9 b	1,7 a		
HyPro. µg/g					937,8	1167,4
K8055	85,13 b	97,51 b	102,24 b	127,78 a	114,7	91,62
K8075	111,57 b	125,07 a	128,30 a	128,50 a	128,79	117,93
VitPer10					1578	1573
VitPer30					1619	1613
AttPer5	0,66 b	0,45 c	0,60 b	0,82 a		
AttPer10	0,60 a	0,41 b	0,51 a	0,57 a		
EnPer20	23,5 b	30,4 ab	33,4 ab	44,5 a		
EnPer30	25,5 b	35,4 ab	40 ab	51,4 a		
VitPar5	1587 ab	1577 b	1593 a	1584 ab		
VitPar10	1594 ab	1591 b	1602 a	1600 ab		
VitPar20					1622	1615
VitPar30					1637	1629
AttPar5	2,88 a	2,12 b	2,39 b	2,45 b		
AttPar10	2,60 a	1,93 b	2,18 b	2,18 b		
EnPar5	8,67 a	6,61 b	6,51 b	6,8 b		

HyPro = Hydroxyproline ⇒ collagène. K : (N/cm²), Vit : m/s, En : V², Att : dB/(cm.MHz).

Tableau 2

AFD sur le muscle. TBC* : 77,5 %

(*) TBC : Total des échantillons bien classés

	SM	ST
SM	15 75 %	5 25 %
ST	4 20%	16 80 %

Paramètres utilisés : VitPer20, AttPer20, EnPer20, AttPar20.
Âges confondus.

Tableau 3

AFD sur le muscle. TBC : 80 %

	SM	ST
SM	16 80 %	4 20 %
ST	4 20%	16 80 %

Paramètres : VitPer30, EnPer30, VitPar30.
Âges confondus.

EnPer et VitPar) ont permis d'atteindre un pourcentage de bien classés du même ordre, 80 % (tableau 3).

Avec les paramètres VitPer5, AttPer5, VitPar5 et EnPar20, 70 % des individus ont été bien placés dans leur classe d'âge respective (tableau 4).

CONCLUSION

Les résultats obtenus ont confirmé la forte incidence des conditions expérimentales, à savoir la température et l'orientation des fibres musculaires, sur les paramètres ultrasonores. Une température basse est apparue plus adaptée pour la détermination de l'atténuation et une température élevée pour l'énergie rétrodiffusée et la vitesse de propagation. De plus, il est apparu que les mesures effectuées dans les configurations perpendiculaire et parallèle ont apporté des informations complémentaires.

Malgré des différences relativement faibles des teneurs en matière sèche, en lipides et en collagène, qui ne reflètent pas la diversité existant dans les viandes commercialisées, il a été possible de réaliser une classification satisfaisante

des échantillons de viande en fonction du type de muscle ou de l'âge à l'abattage.

Les méthodes ultrasonores présentent donc un potentiel intéressant pour classer différents types de viande. Toutefois, leur application nécessite la détermination, dans des configurations variées, de plusieurs paramètres acoustiques, qui, pris individuellement, ne suffisent pas à caractériser de manière satisfaisante les viandes, mais une fois combinés, peuvent servir de base à une méthode de classification.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient J.F. Martin pour l'aide apportée dans le traitement statistique, R. Fournier et Ch. Damergi pour l'analyse chimique et B. Dominguez pour les mesures mécaniques. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une Action Incitative Programmée INRA associant la Station de Recherches sur la Viande et le Laboratoire Croissance et Métabolismes des Herbivores du Centre INRA de Clermont Fd - Theix.

Tableau 4
AFD sur l'âge. TBC : 70 %

	4 mois	8	12	16
4	7 70 %	0 0 %	1 10 %	2 20 %
8	1 10 %	7 70 %	1 10 %	1 10 %
12	0 0 %	2 20 %	7 70 %	1 10 %
16	2 20 %	0 0 %	1 10 %	7 70 %

Paramètres utilisés : VitPer5, AttPer5, VitPar5, EnPar20.
Muscles confondus.

RÉFÉRENCES

- ARNETH W., 1972. Fleischwirtsch, 52, 1455-1458.
- BERGMAN I., LOXLEY R., 1963. Anal. Chem., 35, 1961-1965.
- BRETHOUR J.R., 1990. J. Anim. Sci., 68, 2603-2613.
- KAMOUN M., CULIOLI J., 1988. J. Texture Stud. 19, 117-136.
- MILES C.A., FISHER A.V., FURSEY G.A.J., PAGE S.J., 1987. Meat Sci., 21, 175-188.
- MILES C.A., FURSEY G.A.J., PAGE S.J., FISHER A.V., 1990. Meat Sci., 28, 119-130.
- PARK B., WHITTAKER A.D., MILLER R.K., HALE D.S., 1994. J. Food. Sci., 59, 697-701 & 724.
- PARK B., CHEN Y.R., WHITTAKER A.D., MILLER R.K., HALE D.S., 1994. Trans. ASAE, 37, 1547-1553.
- WHITTAKER A.D., PARK B., THANE B.R., MILLER R.K., SAVELL J.W., 1992. J. Anim. Sci., 70, 942-952.