

Un des problèmes majeurs rencontrés par la filière viande, en particulier la filière bovine, réside dans la très grande variabilité de la matière première, ce qui a pour conséquence la mise sur le marché de produits de qualité très variable et non maîtrisée. Ce problème se pose avec d'autant plus d'acuité que l'industrie se trouve dans l'impossibilité de caractériser, de manière satisfaisante, cette qualité afin de pouvoir garantir sa production, condition indispensable à la survie et au développement de toute industrie moderne.

Cette variabilité est liée à la diversité biologique des animaux à partir desquels est obtenue la viande. Les facteurs qui influencent les caractéristiques des viandes sont en partie liés à la race, à l'âge, au sexe, et dépendent du type laitier ou à viande et du mode de conduite. Il existe une variabilité non maîtrisée portant à la fois sur la composante myofibrillaire et sur la composante conjonctive. La dureté de la viande dépend de ces deux structures. La première est fortement influencée par les conditions de stockage de la viande alors que la deuxième est directement liée aux caractéristiques zootechniques de l'animal au moment de l'abattage.

De nombreuses études ont montré l'influence importante de certaines caractéristiques zootechniques sur la tendreté de la viande aussi bien sur le collagène que sur la structure myofibrillaire. L'âge et le sexe sont les caractéristiques les plus déterminantes. Aussi, le développement récent de produits labélisés repose sur une sélection d'animaux de caractéristiques zootechniques voisines. Toutefois à l'intérieur d'un lot d'animaux dits semblables il subsiste des variations très importantes de tendreté dont l'origine, mal connue actuellement, semble être liée aux caractéristiques génétiques de chaque animal. Des travaux sont développés sur ce thème, mais de nombreuses années seront encore nécessaires pour conclure sur l'héritabilité de certaines caractéristiques physico-chimiques du collagène ou de la structure myofibrillaire intervenant dans la tendreté de la viande.

Qualité de la viande

Vers des mesures d'évaluation non destructives

Les industriels ont besoin de caractériser le plus précocement possible la qualité de la viande bovine. Plusieurs techniques de mesures prometteuses sont actuellement testées : l'accent est mis sur l'évaluation objective de la texture et des caractéristiques nutritionnelles du produit.

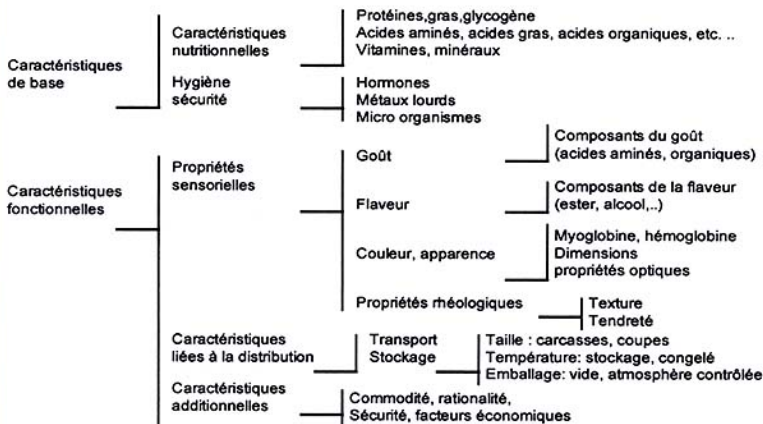
Science et technique

DAMEZ J.-L., LEPETIT J.

INRA
Station de Recherches sur la Viande
Theix
63122 ST GENES CHAMPANELLE



Figure 1
UNE MULTIPLICITÉ DE CRITÈRES DE QUALITÉ



Facteurs de qualités des viandes bovines

La question que l'on peut se poser est : "qu'entend-on par qualité quand on parle de viande bovine?". Si on considère la viande bovine comme un aliment ordinaire, la qualité de la viande dépend des critères qui sont généralement attribués aux aliments. Les caractéristiques de base concernent les nutriments contenus dans l'aliment, tel que les protéines, les matières grasses, les fibres, les vitamines. La sécurité constitue un critère important. Les aliments doivent être exempts de résidus agrochimiques, de métaux lourds, de micro-organismes pathogènes et de toute autre substance dangereuse pour la santé. L'autre aspect de la qualité a trait aux caractéristiques dites fonctionnelles qui concernent aussi bien les propriétés sensorielles, de tendreté, de goût et d'apparence, que des critères de coût et ceux liés au stockage et à la distribution. Tous ces critères peuvent être disséqués en facteurs de qualités liés à des caractères physiques qui peuvent être quantifiés de façon objective par des mesures physiques (figure 1).

Depuis plusieurs années, de nombreuses méthodes ont été développées pour mesurer ces critères de qualités de façon objec-

tives, mais la plupart d'entre elles sont destructives, car elles requièrent la prise d'un échantillon, ou sont difficiles à mettre en œuvre en ligne sur un site industriel. Parmi les caractéristiques qualitatives qu'il est nécessaire de pouvoir déterminer, la texture et la valeur nutritionnelle au travers de la teneur en lipides présentent un intérêt tout particulier. Plusieurs techniques de mesure très prometteuses sont actuellement étudiées, notamment à la Station de Recherches sur la Viande.

L'accent est mis plus particulièrement sur l'analyse du tissu conjonctif dont les composants collagéniques et lipidiques interviennent à la fois sur les propriétés de texture et sur les propriétés nutritionnelles et diététiques. Il s'agit de déterminer non seulement ces composantes en terme de quantité mais aussi en terme de distribution intramusculaire.

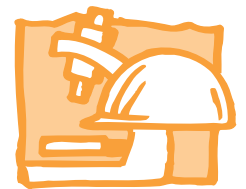
Les méthodes mises au point sont des méthodes optiques par analyse d'image dans les domaines du visible et de l'ultraviolet, des méthodes dynamiques utilisant les ultrasons qui analysent les modes de transmissions et de propagation, et des méthodes électromagnétiques ayant trait à la Résonance Magnétique Nucléaire, à

l'imagerie en Résonance Magnétique, à la mesure en hyperfréquence et en impédance électrique.

L'organisation spatiale du réseau conjonctif, définissant le grain de la viande, est une caractéristique reliée à la tendreté des muscles. Sa détermination présente un intérêt non seulement dans l'optique d'une diagnose permettant de déterminer l'origine musculaire d'un échantillon de viande, mais aussi comme méthode non invasive de classification des muscles sur la base de leur tendreté potentielle. Deux voies ont été envisagées pour l'étude du réseau conjonctif, l'analyse d'images sur coupes de muscles et la diffusion des ultrasons.

DÉTERMINER LES PARAMÈTRES IMPORTANTS PAR ULTRASON

La propagation d'ondes ultrasonores est dépendante des caractéristiques du milieu de propagation. L'analyse de paramètres acoustiques permet de remonter aux caractéristiques du milieu de propagation et de pouvoir le caractériser. La technique ultrasonore repose sur la mesure des paramètres acoustiques suivants : la vitesse de propagation des ondes dans le milieu, l'atténua-



tion des ondes par le milieu et l'intensité de rétrodiffusion.

Le but des mesures ultrasonores est la détermination de paramètres susceptibles d'aider à la caractérisation du tissu musculaire et à la prédiction de ses qualités notamment la tendreté.

On utilise, au stade du laboratoire, une cuve d'eau thermostatée dans laquelle sont placés des capteurs ultrasonores mobiles (à l'aide de moteurs pas à pas assurant le balayage de l'échantillon), reliés à un échographe qui assure l'émission et la réception des signaux ultrasonores. Les échographes permettent de faire l'acquisition du signal à des fréquences de 1 à 5 MHz et à des fréquences d'échantillonnage allant de 12 MHz à 104 MHz. Les données ultrasonores ont été utilisées pour réaliser la classification [1] d'échantillons de muscles et ont permis d'obtenir de meilleures classifications qu'avec les données chimiques et mécaniques. La propagation des ondes ultrasonores dépend non seulement de la composition (teneur en eau et en lipides) mais également [2] de la structure de la viande (orientation des fibres musculaires, organisation de la trame conjonctive) (photo 1). Une autre approche [3] repose sur l'analyse du comportement rhéologique des corps en combinant ondes ultrasonores hautes fréquences et sollicitations mécaniques basses fréquences afin de déterminer les propriétés viscoélastiques du milieu. Ces méthodes d'investigation sont des méthodes fonctionnelles de laboratoire mais leur utilisation sur site industriel, du moins sous cette forme ne sont pas à l'ordre du jour.

ANALYSE D'IMAGE PAS ENCORE AU STADE INDUSTRIEL

L'approche analyse d'image consiste à analyser la texture d'images réalisées sur coupes de muscles et tranches de viande en lumière visible ou en fluorescence. Cette technique permet de bien mettre en évidence les structures collagéniques et lipidiques du tissu musculaire. La texture des images est analysée à l'aide d'algorithmes spécifiques. Les paramètres les plus discriminants

sont utilisés pour faire de la classification [4] des viandes sur la base des caractéristiques du tissu conjonctif. L'adaptation de ces méthodes pour un usage industriel nécessite néanmoins des travaux supplémentaires spécifiques aux contraintes d'un environnement industriel.

LA RMN, PARFAITE POUR LA RECHERCHE

La RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) peut contribuer à la caractérisation de nombreux produits. Son coût élevé ne permet pas aujourd'hui d'envisager l'installation d'appareils RMN sur des lignes de production. Cet outil permet néanmoins de nombreuses recherches notamment pour l'authentification des produits et il peut être considéré comme un appareil de référence de par la précision des résultats et la qualité des mesures. Cette technique est non-invasive, non-destructrice et quantitative. L'imagerie RMN (IRM) permet sur un même échantillon d'avoir une image morphologique : séparation os, gras, muscle. La différenciation entre tissus est possible par la différence de teneur en eau et également par la différence de mobilité de l'eau dans les diffé-

rents tissus. Teneur en eau et mobilité de l'eau sont des variables qui peuvent être appréhendées par la mesure de certains paramètres RMN (densité de protons, T_1 , T_2 , T_2^* , coefficient de diffusion...). Le dosage des gras dans les steaks hachés a été réalisé par RMN. Les résultats montrent une excellente corrélation ($R^2 = 0,992$) avec la méthode Soxhlet. Pour une gamme testée de 5 à 15 % de matières grasses, l'erreur maximale enregistrée sur la détermination du taux réel de gras est de $\pm 0,3$ unité [5]. L'imagerie paramétrique est obtenue après acquisition et traitement du signal pour obtenir, dans chaque pixel de l'image, une valeur d'un des paramètres mesurés par RMN (photo 2). Il est ainsi possible de caractériser le pérymysium du tissu conjonctif [6], [7] et [8]. Outre cette information structurale, les paramètres de relaxation sont un bon indice du pouvoir de rétention de l'eau de la viande. Les pertes en eau de la viande sont particulièrement préjudiciables à l'acceptabilité par le consommateur. Le pouvoir de rétention d'eau de la viande dépend essentiellement du degré de rétrécissement latéral des myofibrilles au cours de l'installation de la rigidité cadavérique et

Photo 1 :
VISUALISER L'ORGANISATION DE LA TRAME CONJONCTIVE

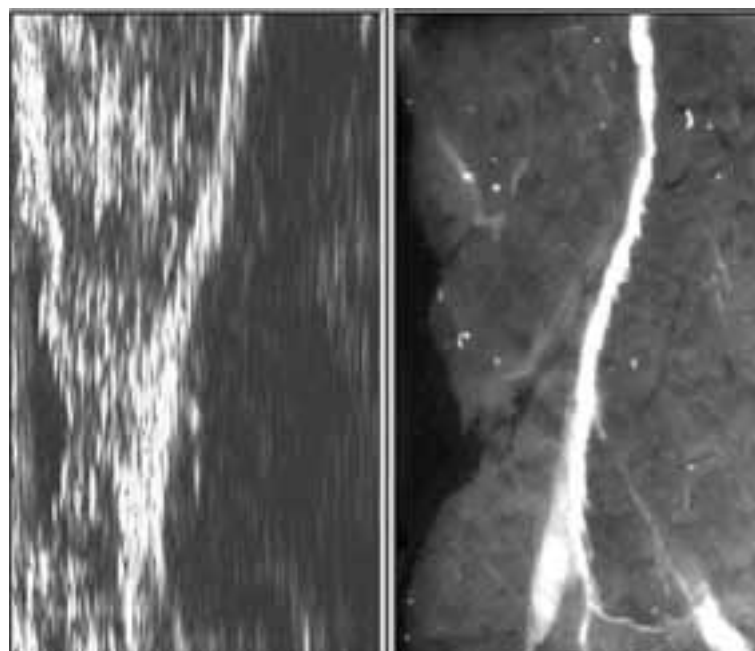
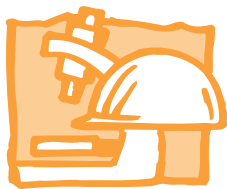


Image obtenue par Ultrason (a)

Image en lumière visible (b)

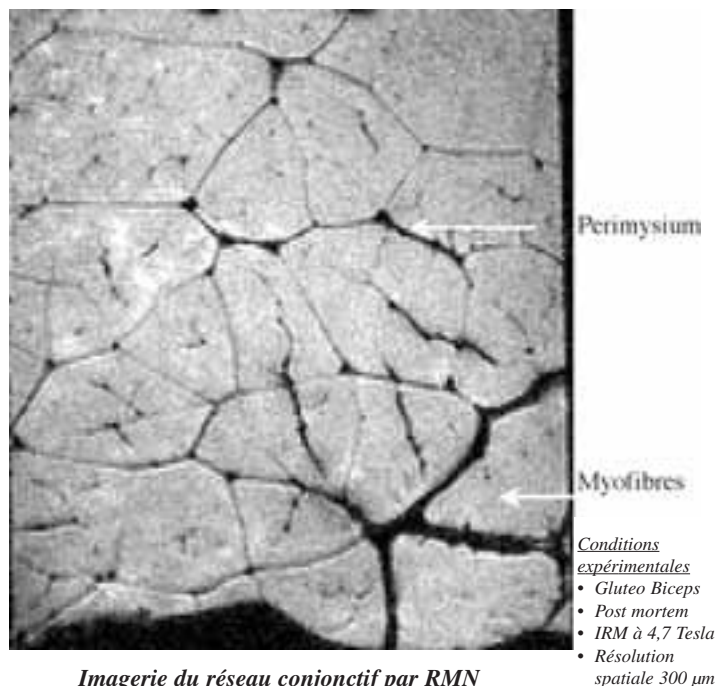


de la modification associée de la compartimentation de l'eau dans le tissu musculaire [9]. La mesure du temps de relaxation des protons de l'eau par RMN donne des informations sur la dynamique de l'eau. Des corrélations significatives entre les mesures de temps de relaxation et des indicateurs de qualités de viandes tels que pH, pouvoir de rétention d'eau ou pertes à la cuisson ont été mises en évidence [10] et [11]. L'évolution *post mortem* des composés riches en énergie peut être suivie par RMN du phosphore 31 [12]. Cette technique permet de mesurer les concentrations d'ATP, de créatine phosphate, de sucres phosphates et de phosphate inorganique (Pi). Le pH est calculé à partir du déplacement du pic de résonance du Pi. Jusqu'à présent, la RMN s'avère être un outil unique pour étudier les changements métaboliques et l'évolution du pH dans le muscle en relation avec la qualité technologique des viandes.

DES CAPTEURS HYPERFRÉQUENCES POUR DES MESURES SANS CONTACT

Les capteurs électromagnétiques présentent l'avantage d'être non invasifs et sont d'ores et déjà utilisés dans les IAA [13]. Actuellement, leur domaine d'application porte essentiellement sur la teneur en eau et/ou la densité des produits agroalimentaires. Le principe de ce type de capteur permet l'étude de la propagation d'un champ électromagnétique haute fréquence (de 300 MHz à 300 GHz) dans le matériau sous test. Cette propagation dépend de la nature du matériau en termes de composition et d'organisation structurale. Le laboratoire travaille depuis quelques années sur ces types de capteurs, avec comme objectif d'étudier la faisabilité de nouveaux capteurs hyperfréquences, permettant par exemple de connaître l'état de maturation de la viande ou l'activité de l'eau d'un produit. Un capteur utilisant la polarimétrie en espace libre (sans contact) à 10 GHz est étudié dans le but de contrôler l'état de maturation de la viande de bœuf via l'évolution *post mortem* de son anisotropie diélectrique

Photo 2 LA RMN DONNE DES INFORMATIONS STRUCTURALES

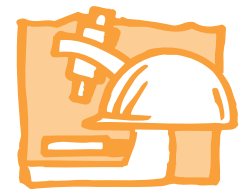


Imagerie du réseau conjonctif par RMN

[14]. Le muscle et donc la viande ont une structure fortement anisotrope organisée sur plusieurs dimensions. Le muscle peut être vu comme un matériau composite formé d'un ensemble de fibres contractiles attachées par le tissu conjonctif. Ces fibres sont composées d'un ensemble aligné de myofibrilles. Les myofibrilles sont assemblées par le cytosquelette lui-même constitué de faisceaux de filaments intermédiaires. Chaque fibre musculaire ou myofibre est entourée d'une fine enveloppe d'endomysium. Ces divers éléments constitutifs du muscle ont des propriétés diélectriques très contrastées : la permittivité du tissu conjonctif est très proche de celle mesurée sur le tendon et, du fait de la faible quantité de tissu conjonctif, celle des fibres peut être assimilée à la permittivité de la viande. D'un point de vue électrique, la viande peut être représentée de façon simplifiée par un ensemble de cellules très allongées et conductrices (conductivité due principalement à la présence d'ions Na⁺, K⁺, Cl⁻) isolées les unes des autres par les membranes. Pendant la phase de maturation surviennent des dégradations des protéines de liaison qui produisent des ruptures structurales ainsi qu'une fragmentation des

myofibrilles et une dégradation du cytosquelette. Ainsi, le caractère fortement anisotrope de la structure évolue et peut être observé à l'aide d'un capteur micro-onde basé sur l'émission d'une onde polarisée. Il suffit alors de suivre les variations de l'amplitude de l'onde réfléchie, en fonction de l'angle entre la direction du champ électrique et la direction principale des fibres, pour avoir une mesure de l'état de maturation d'un muscle.

Un autre volet des mesures hyperfréquence consiste à évaluer l'état de l'eau dans les produits agroalimentaires et en particulier dans les viandes. Cette mesure est déjà réalisée au laboratoire via deux techniques : la résonance magnétique nucléaire (RMN), et le tracé des isothermes de sorption. Les mesures diélectriques hyperfréquences sont un outil complémentaire pour l'évaluation de la nature des liaisons eau/substrat. En outre, elles permettent de suivre les modifications de l'état de l'eau dans les produits agroalimentaires pendant les procédés de transformation, puisqu'elles sont rapides et non-invasives. Les méthodes de mesures hyperfréquences, et particulièrement dans la gamme de fréquences 0,3-



6 GHz, ne sont pas sujettes aux difficultés de mesure que l'on rencontre à plus basses fréquences (problèmes de capacités parasites entre les électrodes et le matériau sous test) ou à plus hautes fréquences (sensibilité des systèmes de mesure aux variations de géométrie et de température). Il est possible, par simple application d'une sonde de mesure sur l'échantillon sous test, d'avoir accès à sa permittivité complexe, via la mesure des phases et des amplitudes des ondes transmises par la sonde et réfléchies sur l'échantillon.

L'étude de la relaxation diélectrique sur une large gamme de fréquences est un moyen non invasif d'étudier la mobilité de l'eau dans un matériau. La fréquence de relaxation des molécules d'eau dépend de la nature de leur liaison avec la matrice alimentaire notamment constituée de protéines. La fréquence de relaxation de l'eau libre est de l'ordre de 20 GHz à température ambiante. Celle de l'eau liée (également appelée eau d'hydratation, eau monocouche...) est inférieure et sa fréquence dépend de la nature des liaisons en jeu. Une molécule d'eau peut par exemple être soumise au champ coulombien d'un ion, ou liée chimiquement par une liaison hydrogène à la matrice. Les états de l'eau dans les produits biologiques et alimentaires sont complexes et déterminent leurs propriétés. La spectroscopie diélectrique peut donc être un outil pour l'analyse en laboratoire et le contrôle des procédés unitaires mettant en jeu une modification de l'état de l'eau dans le produit en cours de traitement.

L'IMPÉDANCE POUR ÉVALUER LE TAUX DE GRAS ET LA MATURATION

Ce n'est pas à proprement parlé une méthode nouvelle car les premiers travaux sur la viande sont ceux de Callow 1936 [15]. L'impédance électrique est la propriété d'un matériau à s'opposer au passage du courant. Lorsque cette propriété ne dépend pas de la fréquence du courant, on parle de résistance sinon, et c'est le cas des tissus biologiques, l'impédance a une composante résistive et

une composante capacitive. Les tissus biologiques sont schématiquement composés de cellules entourées par un liquide extracellulaire. La membrane des cellules est un isolant aux basses fréquences et se comporte donc comme un condensateur. Les tissus biologiques et la viande en particulier sont anisotropes vis-à-vis de l'impédance c'est-à-dire que l'impédance varie selon que le courant se propage parallèlement ou perpendiculairement aux fibres musculaires.

L'impédance de la viande diminue rapidement à la *rigor* puis continue à diminuer, mais beaucoup plus lentement au cours du stockage

Dans le domaine viande l'impédance électrique a été utilisée à des fins très diverses.

Détection des viandes congelées

Dans les années 1975, il a été montré que lorsqu'un échantillon de viande a été congelé son impédance est très faible. Aujourd'hui, on sait que cette mesure ne permet pas de certifier qu'une viande a été congelée car une viande très mûrée peut avoir une impédance aussi faible.

Évaluation du pH

La grande majorité des travaux sur l'impédance depuis les années 1970 a porté sur l'utilisation de cette mesure pour le contrôle de la chute de pH ou encore l'évaluation du pH ultime, ceci principalement dans la viande de porc mais également sur la viande bovine. Dans le cas du porc, un des problèmes majeurs est la détection des viandes PSE, qui présentent un bas pH et sont fortement exsudatives, et donc impropres à la transformation. Dans le cas du bovin, le problème est l'apparition de viandes DFD à pH élevé et qui se conservent mal. Ces deux défauts sont associés à des modifications membranaires et à des modifications du milieu extracellulaire et sont donc susceptibles d'affecter les propriétés électriques. Les mesures électriques ont été utilisées pour pallier l'imprécision des mesures de pH. La majorité des études dans ce domaine s'est focalisée sur la détection précoce des défauts, c'est-à-dire à 45 min ou 1 h après l'abattage. Les résultats

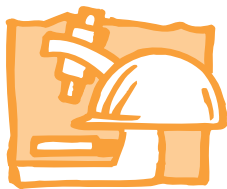
les plus récents [16] montrent que cette détection précoce n'est pas fiable. Par contre, l'impédance (conductivité) est plus à même de permettre une détection des viandes PSE lorsque le pH ultime est atteint. Toutefois, les mesures électriques ne permettent pas la détection des viandes DFD. La difficulté à détecter les viandes PSE pendant l'installation de la *rigor* tient au fait que, pendant cette période, le produit est en rapide évolution (pH, température) et que les modifications métaboliques qui se déroulent n'auront qu'ultérieurement d'effet sur la structure et donc sur les propriétés électriques.

Évaluation du taux de gras

Depuis les années 1980 de nombreuses études ont porté sur l'utilisation des propriétés électriques pour l'estimation du taux de gras des carcasses ou des viandes. Le gras, fort isolant électrique, influe sur l'impédance des tissus. Dans ce domaine, l'impédance électrique a permis d'obtenir des résultats remarquables. Une simple mesure de conductivité électrique de la carcasse immédiatement après l'abattage, associée à des mesures de dimensions, permet d'estimer le taux de gras de la carcasse avec un R^2 de l'ordre de 0,95. Ceci tient au fait que juste après l'abattage il n'y a pas de modification des membranes ni du compartiment extracellulaire et que les mesures sont faites à une température stable. Un appareillage récent [17] a été développé pour la mesure du taux de gras des muscles. Cet appareil portable est constitué de 12 électrodes disposées en cercle. L'estimation du taux de gras du muscle est obtenue à partir de mesures à plusieurs fréquences. Les mesures du taux de gras après la *rigor* ne sont pas aussi fiables car l'impédance dans ce cas est influencée aussi par les modifications membranaires.

Évaluation de la tendreté

Une étude récente [18] a tenté de mettre en relation des propriétés électriques avec la résistance mécanique de la viande. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de relation directe entre ces deux grandeurs. Ceci tient au fait que



le tissu conjonctif qui joue un rôle décisif dans la tendreté, a une impédance semblable à celle des fibres musculaires et ne peut donc pas être détecté par des mesures électriques.

Évaluation de l'état de maturation

La maturation est un phénomène biochimique et physico-chimique qui se déroule au cours du stockage et qui est nécessaire pour que la viande atteigne sa tendreté maximale. Le problème qui se pose, surtout pour la viande bovine, est la très grande variabilité de vitesse de maturation pour un muscle donné selon l'animal.

Pour pallier cela, dans l'industrie, les viandes bovines sont conservées très longtemps (12 - 14 jours) ce qui occasionne des coûts de stockage importants. Il est possible de diminuer ces coûts si l'on dispose d'une mesure précoce de l'état de maturation. Les mesures électriques peuvent fournir cette information rapidement et de façon non destructive. Il n'y a pas une relation directe entre l'impédance et la résistance mécanique des fibres musculaires, par contre il y a une relation linéaire entre l'anisotropie électrique et la résistance mécanique des fibres musculaires [19]. Ces travaux, financés actuel-

lement par l'Interbev et l'Ofival, permettent d'envisager prochainement la mise au point d'un capteur.

UN FORT POTENTIEL POUR LE CONTRÔLE QUALITÉ

En conclusion on peut dire que les mesures électriques ont une potentialité importante d'utilisation dans le domaine du contrôle de la qualité de la viande. Il reste toutefois des recherches à faire pour séparer l'effet des différents facteurs tel que pH, état des membranes, taux de gras, état de maturation.

B I B L I O G R A P H I E

- (1) **ABOUELKARAM, S., BERGE, P., and CULIOLI, J. (1997).** Application of ultrasonic data to classify bovine muscles. Proceedings of IEEE Ultrasonics Symposium, Toronto, Canada, 5-8 October 1997 2 (OF2), 1197-1200.
- (2) **ABOUELKARAM S., SUCHORSKI K., BUGUET B., BERGE P., CULIOLI J., DELACHARTRE P. and BASSET O., (2000).** Effect of bovine muscle composition and structure on ultrasonic measurements. Food Chem. 69, 447-4 55..
- (3) **ESSOUFI E., ABOUELKARAM S. (2000).** Identification de paramètres pour un modèle viscoélastique : application à la caractérisation de tissus biologiques. CD-ROM proceedings of Third international conference on applied mathematics and engineering sciences. Casablanca, october 23-24-25, 2000.
- (4) **BASSET O., DUPONT F., ABOUELKARAM S., HERNANDEZ A., ODET C., GIMENEZ G., CULIOLI J., (1999).** Texture image analysis : application to the classification of bovine muscles from meat slices images. J. Optical Engineering, 38, 1950-1959.
- (5) **BONNY, J.-M., LAURENT, W., LABAS, R., TAYLOR, R., BERGE, P., RENO, J.-P. (2001)** Magnetic resonance imaging of connective tissue : a non-destructive method for characterizing muscle structure. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2001, 81, 337-341.
- (6) **LAURENT, W. ; BONNY, J.-M. ; RENO, J.-P. (2000).** Muscle characterization by NMR imaging and spectroscopic techniques. Food Chemistry 2000, 69, 419-426.
- (7) **LAURENT, W., BONNY, J. M., AND RENO, J. P. (2000).** Imaging of water and fat fractions in high-field MRI with multiple slice chemical shift-selective inversion recovery. Journal of Magnetic Resonance Imaging 2000, 12, 488-96.
- (8) **FOUCAT, L., DONNAT, J. P., HUMBERT, F., MARTIN, G., AND RENO, J. P. (1997).** On-line determination of fat content in ground beef. Journal of Magnetic Resonance Analysis 97, 108-112.
- (9) **OFFER, G., KNIGHT, P. (1988).** The structural basis of water-holding in meat. Part 2 : drip losses. In Development in meat science; Lawrie ..
- (10) **RENO, J. P., MONIN, G., AND SELLIER, P. (1985).** Nuclear Magnetic Resonance measurements on pork of various qualities. Meat Science. 85, 15, 225-233.
- (11) **FJELKNER-MODIG, S., PERSSON, J., TORNBERG E.** Sensory and biophysical properties of pork. Sofia, Bulgaria Proceedings, 31st European Meeting of Meat Research Workers 8, 782-785
- (12) **RENO, J. P., CANIONI, P., GATELIER, P., VALIN, C., AND COZZONE, P. J. (1986).** Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study of post mortem catabolism and intracellular pH in intact excised rabbit muscle. Biochimie 86, 68, 543-554.
- (13) **TRABELSI S., KRASZEWSKI A.W., NELSON S.O. (1998).** A microwave method for on-line determination of bulk density and moisture content of particulate materials. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 1998 ; 47 : 127-132
- (14) **CLERJON S., DAMEZ JL.,(2001).** Microwave sensing for meat process control, Symposium Food factory of the future, Gothenburg, 27-29 juin 2001, pp 91-95
- (15) **CALLOW, E. H. (1936).** The electrical resistance of muscular tissue and its relation to curing. Report Food Invest. Board, 1935, HMSO, London, 57
- (16) **JAUD, D. ; WEISSE, K. ; GEHLEN, K. H., AND FISCHER, A. (1992)** pH and conductivity - Comparative measurements on pig carcasses and their relationship to drip loss. Fleischwirtschaft.; 72 (10) : 1416-1418.
- (17) **MADSEN, N. T. ; RASMUSSEN, A. J. ; BORGGAARD, C., AND CHRISTENSEN, L. B. (2001)** Quick and accurate determination of intramuscular fat in beef. Poster, Danish Meat Research Institute.
- (18) **BYRNE, C. E. ; TROY, D. J., AND BUCKLEY, D. J. (2000)** Postmortem changes in muscle electrical properties of bovine m. longissimus dorsi and their relationship to meat quality attributes and pH fall. Meat Science.; 54 : 23-34.
- (19) **LEPETIT, J., DALLE, R., FAVIER, R., SALÉ, P. (2001),** "Electrical impedance and tenderisation in bovine meat", Meat Science, 60, pp. 51-62.