



HAL
open science

Nouvelles méthodes de mesure de la qualité des viandes de volaille

Véronique Santé-Lhoutellier, Xavier Fernandez, Gabriel Monin, Jean-Pierre Renou

► **To cite this version:**

Véronique Santé-Lhoutellier, Xavier Fernandez, Gabriel Monin, Jean-Pierre Renou. Nouvelles méthodes de mesure de la qualité des viandes de volaille. *Productions Animales*, 2001, 14 (4), pp.247-254. hal-02683103

HAL Id: hal-02683103

<https://hal.inrae.fr/hal-02683103>

Submitted on 1 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Nouvelles méthodes de mesure de la qualité des viandes de volaille

La viande constitue une part importante du régime alimentaire dans les pays industrialisés. Les exigences vis-à-vis de la qualité ne cessent d'augmenter. Les acheteurs exigent un rapport qualité/prix optimal pour une qualité constante. C'est vrai à la fois pour les industriels qui transforment la viande et pour les consommateurs. Ces nouvelles exigences s'appliquent aux qualités technologiques des viandes, du fait de l'industrialisation importante du secteur de la transformation, à l'assurance de la qualité des produits carnés tant relative à leur sécurité alimentaire qu'à leurs propriétés sensorielles et à l'authenticité des produits. Ce concept inclut des notions telles que la fraude sur la composition, la falsification d'origine ou des descriptions incorrectes.

Les acteurs de la filière avicole sont de plus en plus demandeurs de techniques d'évaluation de la qualité des produits, tant pour la conformation des animaux que pour les qualités des carcasses et des viandes. Parallèlement, la recherche dans le domaine des produits carnés s'est largement développée. Dans tous les domaines des sciences de la viande, les chercheurs ont besoin d'accéder à de nouvelles techniques dans le but de mieux comprendre les mécanismes d'élaboration de la qualité.

Ces considérations s'appliquent quelle que soit l'espèce considérée. Toutefois, on peut identifier les demandes spécifiques à la filière volaille en matière de mesure des qualités :

- système automatique de prédiction du rendement en filet. Ceci permettrait de payer les producteurs non plus uniquement sur la base du poids de carcasse mais également en fonc-

tion de la proportion de muscle ;

- système d'analyse automatique des défauts de présentation des carcasses, dans le but de trier celles-ci sur la chaîne et de les orienter vers le schéma de valorisation le plus adapté (vente en carcasse entière, découpe, transformation) ;

- prédiction des qualités sensorielles et technologiques de la viande ;

- méthodes de contrôle de l'authenticité. Ce point est d'autant plus important pour la filière avicole qu'il existe des types de production bien différenciés sur la base des conditions d'élevage, d'alimentation, de souches, etc (production standard ou production Label).

1 / Qualité des carcasses

Évaluation en cours de production

Une étude a été réalisée sur des embryons de poulets de 18 jours issus de 2 souches se différenciant par leur teneur en gras (Liu *et al* 1994). Les ratios ATP/phosphodiester ont été déterminés *in vivo* en utilisant la spectroscopie de résonance magnétique du phosphore 31 (³¹P). A l'âge de 8 semaines, ces mêmes animaux ont été abattus et la teneur en gras mesurée. La relation significative entre la teneur en gras de l'animal et le ratio ATP/phosphodiester mesuré par RMN sur les

Résumé

Cet article fait le point sur les développements techniques récents en matière de prédiction des qualités technologiques et sensorielles des viandes de volaille. Trois composantes de la qualité sont considérées : la qualité des carcasses, la qualité des viandes et l'authenticité qui correspond à une demande croissante de la part des producteurs, des distributeurs et des consommateurs. Les différentes applications de ces nouvelles méthodes sont exposées. Elles ont l'avantage d'être précises, robustes et non destructives. Toutefois, leur coût est souvent élevé et leur mise en œuvre dans le secteur industriel s'avère, à ce jour, difficile.

embryons ($R^2 = 0,62$ à $0,78$) souligne l'intérêt de la RMN comme outil de sélection précoce des animaux.

Cette même technique (RMN du ^{31}P) a été utilisée pour déterminer la concentration de composés renfermant du phosphore dans le foie de deux souches de poulet de chair ayant des teneurs en gras différentes (Liu *et al* 1995). Les concentrations hépatiques de glycérol-3-phosphate, adénosine mono-phosphate et phosphocholine différaient significativement entre les deux souches et étaient reliées à la composition corporelle.

Il est établi que la composition en acide gras varie en fonction du régime alimentaire. Il est difficile de connaître l'impact des variations de régime alimentaire sans prélèvement d'échantillon. Jusqu'à présent, l'obtention de tissu nécessitait un prélèvement par biopsie. L'échantillon était ensuite traité de manière conventionnelle (extraction des lipides par solvants). Fan *et al* (1994) ont montré, chez le rat, que la mobilité segmentaire des chaînes carbonées est influencée par les variations de la composition en acides gras du régime, plus précisément dans la région centrale des chaînes carbonées. Les changements des temps de relaxation T_1 mesurés par RMN du carbone ^{13}C sont corrélés à la composition des chaînes des acides gras. Ces mesures peuvent être réalisées sur l'animal anesthésié et ne nécessitent pas de prélèvement.

Composition corporelle

Les résonances magnétiques nucléaires de l'eau et des lipides sont caractérisées par deux pics sur un spectre de fréquence (Renou *et al* 1987). Mitchell *et al* (1991) ont utilisé cette différence de déplacement chimique pour déterminer la teneur en gras d'animaux de faible poids à l'abattage (le poids étant compris entre 93 et 622 g). La corrélation entre les résultats des mesures RMN et la composition chimique était supérieure à 0,9. Une des difficultés liées à la RMN réside dans le fait que la mesure dépend étroitement de l'homogénéité du champ magnétique. De plus, la taille de l'échantillon constitue une étape limitante à l'utilisation de cette technique.

En revanche l'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) semble être une technique prometteuse pour étudier et quantifier, de manière non destructive, la distribution de maigre et de gras en raison des propriétés RMN différentes de l'eau et des lipides (Foster *et al* 1984).

La première étude utilisant l'IRM sur des animaux vivants a été menée par l'équipe de recherche de Foster en Ecosse (Fowler *et al* 1992, Fuller *et al* 1994) qui a mesuré la quantité de tissu adipeux chez le porc. Leurs résultats démontrent que la quantité de tissu adipeux varie significativement entre les animaux de lignées maigre et 'obèse' pour une conformation identique. La relation entre les résultats obtenus par IRM et par dissection est étroite ($R=0,98$, carré des écarts à la

moyenne = 2,1 %). Plus récemment, Kover *et al* (1998) ont effectué des mesures *in vivo* chez le poulet de chair. L'évolution des quantités de gras abdominal, de gras total et du volume des muscles pectoraux a été évaluée par IRM entre 6 et 20 semaines d'âge. En utilisant cette technique, Scollan *et al* (1998) ont mis en évidence une relation étroite entre le poids de muscle pectoral et le poids vif chez le poulet de chair ($R^2=0,92$). De plus, ces auteurs ont montré que l'IRM pouvait être un outil d'évaluation de la taille et de la forme du muscle pectoral.

Rendement en filet

Le poids de filet par rapport au poids carcasse est un critère important dans le cas de la production de volaille de chair. La sélection génétique sur ce critère repose sur la dissection des carcasses des descendants ou collatéraux des candidats à la sélection. Des techniques non invasives et non destructives telles que les ultrasons, l'IRM et la tomographie assistée par ordinateur pourraient être utilisées pour estimer le rendement en filet.

Dans une étude récente, Rémignon *et al* (1999) ont montré qu'en ajoutant au prédicteur poids vif, les aires de section transversale du muscle pectoral déterminées par tomographie, le coefficient de détermination du rendement en filet passe de 0,46 à 0,71. La tomographie paraît être une technique prometteuse pour la détermination du rendement en filet mais la précision de la mesure doit être améliorée. De plus, son coût d'utilisation reste élevé.

La mesure de l'épaisseur du muscle pectoral sur des poulets vivants peut être réalisée par les techniques ultrasonores. Dès les années soixante, Horst (1960) et Richter (1965) ont utilisé les ultrasons en mode A. L'échographie en mode A fournit une image unidimensionnelle et les résultats dépendent fortement du site de mesure. Le mode B fournit une image bi-dimensionnelle et permet ainsi d'améliorer la précision de la mesure (Sorensen et Jensen 1992). La technique des ultrasons est basée sur la réflexion des signaux aux différentes interfaces (limites entre tissus). König *et al* (1997) ont évalué la précision de la mesure en fonction du site anatomique (sternum, os coracoïde et cœur). L'extrémité crâniale du sternum est un site facilement repérable par un opérateur peu entraîné, alors qu'il est plus difficile de localiser le cœur. L'estimation du rendement en filet par la méthode des ultrasons est meilleure que celle réalisée à partir du poids vif (König *et al* 1998). La cadence de mesure atteint 60 poulets à l'heure. Davenel *et al* (1999) ont utilisé l'IRM pour estimer le rendement en filet. La technique consiste à sommer des images de coupes transversales prises tous les 6 mm. La corrélation entre les mesures d'IRM et celles obtenues par dissection est élevée ($R^2=0,92$). L'IRM peut être utilisée comme une méthode de référence pour déterminer les sites anatomiques les plus pertinents pour une mesure aux ultrasons.

Le rendement en filet peut être estimé par une mesure aux ultrasons et les défauts de carcasses identifiés à partir de mesures de la couleur de la peau.

Appréciation des carcasses

Les carcasses de volaille peuvent présenter des défauts d'aspect dont les origines sont variables : conditions d'élevage, ramassage, transport, abattage. Des méthodes d'appréciation 'on line' des défauts d'aspect ont été développées récemment. Park *et al* (1996) ont mis au point un système intégré basé sur la spectroscopie visible/proche infrarouge associée à de l'imagerie multispectrale, qui permet d'identifier les carcasses issues d'animaux présentant des pathologies particulières. Selon Chen *et al* (1998a et 1998b), la spectrophotométrie dans le visible/proche infrarouge est un outil précis et robuste pour apprécier l'état des carcasses. La réflectance est mesurée par une fibre optique placée à une distance de 2 à 5 cm de la carcasse à une vitesse de 60 à 90 animaux par minute. Les mesures sont réalisées en lumière artificielle ou dans le noir. La précision de la classification des carcasses par analyse en réseau de neurones est supérieure à 94 %. Toutefois, si l'on veut réaliser les mesures en continu aux vitesses de chaîne industrielle, il est nécessaire de réduire le temps d'acquisition et de traitement des données. Une solution consiste à diminuer le nombre de variables traitées par individu ainsi que la phase "d'entraînement" du modèle. L'analyse en composantes principales détermine les variables les plus pertinentes; elle permet ainsi d'en réduire le nombre et améliore la précision de la classification. Le Cemagref (Marty-Mahé *et al* 1999) a développé un système qui permet d'identifier 'on line' les défauts de présentation des carcasses de dinde (hématomes, fractures, ampoules de bréchet ...). Ce système est basé sur la décomposition de la couleur de la peau en 3 composantes (bleu, vert, rouge).

2 / Qualité des viandes

Évolution du muscle *post mortem*

La transformation du muscle en viande est une étape clé dans le déterminisme de la qualité des produits. L'abattage et la saignée modifient profondément le métabolisme musculaire. Le muscle, privé d'oxygène, devient anoxique. Le maintien de l'homéostasie musculaire nécessite la synthèse de composés riches en énergie tel que l'ATP. Les réactions de synthèse de l'ATP sont assurées par la dégradation de la créatine phosphate et essentiellement par la glycogénolyse et la glycolyse anaérobie. Les réactions de dégradation de l'ATP et du glycogène ont été décrites en détail par Bendall (1973). Durant l'installation de la rigidité cadavérique, l'hydrolyse de l'ATP s'accompagne de la libération de protons qui contribuent à la diminution du pH. Le pH des muscles se stabilise à une valeur appelée pH ultime, généralement comprise entre 5,7 et 5,9 chez la volaille. Le pH ultime dépend de la concentration de glycogène dans les muscles au moment de l'abattage.

La vitesse et l'amplitude de la diminution du pH *post mortem* déterminent dans une large mesure les qualités de la viande. La vitesse de

diminution du pH est directement liée à l'activité ATPasique du muscle. Par exemple, le muscle *pectoralis superficialis* de dinde contient uniquement des fibres à contraction rapide se caractérisant par une activité ATPasique élevée. L'intensité de la sélection génétique, associée à une meilleure maîtrise des conditions d'élevage des animaux, ont conduit à une augmentation considérable du format des dindes, et plus particulièrement à une augmentation de la masse des muscles pectoraux. Les résultats de la littérature montrent que ces muscles présentent généralement des vitesses de chute de pH élevées (Van Hoof 1979, Addis 1986, Santé *et al* 1991, Sosnicki et Wilson 1991 et 1992) qui entraînent des défauts de qualité caractéristiques des viandes exsudatives (PSE). Il existe des points communs entre les caractéristiques des viandes PSE chez le porc et les défauts de qualité observés dans les muscles pectoraux chez la volaille. Les facteurs d'apparition *ante* et *post mortem* des viandes PSE chez la dinde ont été discutés dans les synthèses bibliographiques de Sosnicki (1995) et Santé *et al* (1995).

Lorsque la vitesse de chute du pH est élevée, un pH bas (< 5,8) est atteint alors que la température dans le muscle est encore élevée (>35°C). La combinaison pH bas et température élevée entraîne une dénaturation des protéines musculaires, à l'origine de l'apparition de défauts de qualité des viandes PSE (Sosnicki *et al* 1998).

pH

Une des préoccupations majeures de l'industrie de la volaille est de fournir une viande de qualité constante et élevée en termes d'aspect, de couleur, de texture, de tendreté et de rendement de transformation. Le pH est la caractéristique de la viande fraîche la plus fréquemment mesurée. L'intérêt de la recherche s'est porté vers le développement de techniques de mesure du pH non invasives. Traditionnellement, le pH est mesuré par insertion d'une électrode dans le tissu musculaire. Chez le porc, la mesure du pH est réalisée en routine dans les ateliers de fabrication de jambon cuit. Chez la volaille, la variabilité du pH ultime est plus faible que celle de la vitesse de chute du pH (estimée par une mesure précoce). Dans la mesure où la vitesse de chute du pH peut être à l'origine de l'apparition des viandes PSE, la mesure précoce du pH est plus importante pour les qualités de la viande de volaille que celle du pH ultime.

L'évolution *post mortem* des composés riches en énergie peut être suivie par RMN du phosphore ³¹. 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 l'apparition de viandes exsudatives chez le porc (Lundberg *et al* 1987, Miri *et al* 1992). Cette technique a

Chez les volailles, la mesure précoce du pH est plus importante que celle du pH ultime. Au laboratoire, le pH précoce est évalué par RMN qui, à terme, pourrait être utilisée en conditions industrielles.

également été utilisée pour étudier le métabolisme *post mortem* dans le muscle *Pectoralis superficialis* de dinde (Santé *et al* 1990). Actuellement, l'utilisation de la RMN se limite au laboratoire. A terme, les progrès technologiques des spectromètres RMN pourraient permettre une utilisation plus large de cet outil, particulièrement dans des conditions industrielles.

Couleur

La couleur de la viande est une des caractéristiques qui contribue à l'aspect et de ce fait à l'acceptabilité par le consommateur. Santé *et al* (1996) ont montré que la vitesse de chute du pH était un bon prédicteur de l'évolution de la couleur au cours du stockage de la viande de dinde. La couleur de la viande dépend de la concentration du pigment héminique ainsi que de son état physico-chimique, du pH et de la structure de la viande qui influence la réflexion de la lumière. D'une manière générale, la couleur est mesurée par des méthodes photométriques ou spectro-photométriques (réflectance, coordonnées trichromatiques dans le système Lab (CIELab)), ou par la mesure de la réflectance interne (fibres optiques). Swatland (1995) a présenté en détail les principes et les limites des différentes méthodes de mesure de la couleur.

Les défauts d'apparence de la viande tels que pâleur excessive, exsudation importante ou mauvaise tenue, ont été décrits par de nombreux auteurs. Il est bien établi que ces défauts sont liés à une chute du pH rapide alors que la température du muscle est élevée (Barbut 1993 et 1996, McCurdy *et al* 1996). Santé *et al* (1996) ont montré que l'on pouvait prédire l'apparition des caractéristiques PSE chez la dinde à partir des mesures précoces de pH et de couleur (coordonnées trichromatiques). L'analyse statistique par réseau de neurones permet d'améliorer l'efficacité de la prédiction (Santé *et al* 1996). Selon Barbut une luminance supérieure à 50 (L*) dans le muscle pectoral de dinde peut être considérée comme un seuil permettant de séparer les viandes normales des viandes PSE. Swatland (1997) a développé un système de fibre optique qui permet de contrôler l'angle de la lumière incidente par rapport au grand axe des myofibrilles. En effet, la diffusion de la lumière dépend étroitement de l'orientation du faisceau incident. Un tel système, assisté par ordinateur, permet d'intégrer le fait que les myofibrilles agissent comme des guides du faisceau lumineux. Ces résultats seront probablement à la base du développement de nouvelles sondes utilisables en conditions industrielles.

Pouvoir de rétention d'eau

Les pertes en eau de la viande sont particulièrement préjudiciables à l'acceptabilité par le consommateur. Les méthodes généralement utilisées pour mesurer le pouvoir de rétention d'eau ont peu évolué depuis des décennies (pression : Grau et Hamm 1952, centrifugation : Wierbicki *et al* 1957, temps

d'imbibition : Goutefongea 1971, mesure de l'exsudat : Penny 1977). 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 de la modification associée de la compartimentation de l'eau dans le tissu musculaire (Offer et Knight 1988). Ces changements ont été étudiés chez le porc par microscopie et par diffraction aux rayons X (Irving *et al* 1990). La mesure du temps de relaxation des protons de l'eau par RMN donne des informations sur la dynamique de l'eau. Cette technique a été peu utilisée à ce jour. La relaxation des protons dans le muscle se caractérise par le temps de relaxation longitudinale (T_1) et transversale (T_2). Dans le muscle en rigor, chaque compartiment d'eau est caractérisé par un temps de relaxation T_2 différent. Chez le porc, Fjellkner-Modig et Tornberg (1986) et Tornberg *et al* (1993) ont mis en évidence trois compartiments spécifiques en fonction du T_2 des protons de l'eau : le T_2 le plus élevé correspondrait à l'eau "libre" c'est-à-dire à la fraction de l'eau qui s'écoule facilement (moins de 1 % de l'eau totale); la principale fraction de l'eau (80 % de l'eau totale) présenterait le T_2 le plus court et correspond à la fraction retenue par les myofibrilles. Tornberg *et al* (1993) ont montré qu'il était possible, en utilisant la RMN, d'estimer l'eau présente à l'extérieur des faisceaux de fibres. La mesure par RMN des temps de relaxation des protons de l'eau est utilisée pour contrôler certaines denrées alimentaires (céréales, huiles, vin) mais pas encore dans l'industrie de la viande. D'après Borowiak *et al* (1986) la combinaison des temps de relaxation T_1 et T_2 mesurés 2 h après la mort permet de prédire le caractère PSE des viandes de porc. Des corrélations significatives entre les mesures de temps de relaxation et des indicateurs de qualité de la viande tels que pH, pouvoir de rétention d'eau ou pertes à la cuisson ont été mises en évidence (Renou *et al* 1985, Fjellkner-Modig et Tornberg 1986, Tornberg *et al* 1993). La mesure des temps de relaxation par RMN peut s'appliquer à la viande de volaille. Il faut cependant noter que le temps d'acquisition des signaux reste trop long pour que cette technique puisse être utilisée sur site industriel.

Texture

La tendreté de la viande de volaille dépend de la quantité de tissu conjonctif (collagène), de la structure myofibrillaire et des interactions structurelles entre les fibres et la matrice extra-cellulaire. La tendreté peut être estimée directement par des méthodes mécaniques mais ces mesures doivent être validées par l'analyse sensorielle. La force de cisaillement obtenue avec l'appareil de Warner-Bratzler est généralement la mesure la mieux corrélée avec la tendreté estimée par un jury d'analyse sensorielle (Tornberg 1996). Il existe d'autres indicateurs de la tendreté de la viande tels que la longueur des sarcomères (indiquant l'état de contraction du muscle) ou l'index de fragmentation des myofibrilles (lié à l'état de maturation).

Dans le cas de la viande de volaille, les problèmes de texture relèvent aussi bien d'une dureté excessive que d'un manque de cohésion de la viande. La sélection génétique sur la vitesse de croissance a des effets défavorables sur la cohésion de la viande en diminuant la part relative de collagène dans le muscle (Swatland 1990). Néanmoins, la dureté excessive de la viande est devenue un problème réel en production avicole depuis le développement de la découpe des carcasses chaudes, alors que le muscle n'est pas encore en rigor. En évitant la réfrigération des carcasses entières, on réduit effectivement les coûts de traitement des carcasses, mais on augmente les risques de durcissement des viandes.

De nouvelles techniques non destructives, basées sur la spectroscopie dans le proche infrarouge, ont été développées. Swatland et Barbut (1995) ont développé une technique basée sur la fluorescence naturelle du tissu conjonctif et sur la biréfringence des myofibrilles dans le proche infrarouge. Dans le cas de la viande de dinde cuite, la fluorescence était corrélée avec une mesure mécanique de la dureté : la force de pénétration dans la viande. La biréfringence dans le proche infrarouge dépendait du pH de la viande et de l'intégrité structurale des myofibrilles.

3 / Authenticité

Certification d'origine

Par rapport aux produits standards, les produits d'origine certifiée sont généralement chers et à forte valeur ajoutée pour le producteur. Dans le cas de la certification d'origine, il apparaît nécessaire de renforcer les contrôles de qualité en portant une attention particulière au lieu de production, au régime alimentaire et au type génétique des animaux. Le type génétique des animaux peut être contrôlé par des techniques de génétique moléculaire (marqueurs ADN) (Castellanos *et al* 1997). Les techniques de chromatographie en phase gazeuse (CPG) ou liquide (HPLC) permettent d'étudier la composition du tissu adipeux et la nature des acides gras, en relation avec le régime alimentaire. La spectroscopie dans le proche infrarouge, couplée à l'analyse par réseau de neurones a été utilisée pour l'analyse de la composition du tissu adipeux chez le porc (Hervàs *et al* 1994). La RMN du ¹³C met en évidence deux pics de résonance du carbone à 130 et 128 ppm, caractéristiques des atomes de carbone non saturés des acides gras poly-insaturés, alors que les atomes de carbone insaturés des acides gras mono-insaturés résonnent à 130 ppm. Le ratio des signaux 130/128 ppm est un bon indicateur du rapport entre l'apport et la synthèse d'acides gras mono-insaturés d'une part, et l'apport alimentaire d'acides gras poly-insaturés d'autre part (Cunnane *et al* 1993). Lorsque l'insaturation des acides gras alimentaires, et de ce fait des lipides déposés, augmente, le ratio 130/128 ppm diminue. La caractérisation de l'origine géographique des

produits peut être réalisée par des techniques isotopiques. Martin et Martin (1995) ont montré que l'on pouvait déterminer avec succès l'origine géographique de produits alimentaires tels que les huiles, les jus de fruit et les vins en utilisant la spectrométrie de masse pour l'étude des isotopes stables et la RMN pour l'étude de l'enrichissement en deutérium sur des sites spécifiques des molécules (par exemple, sur un atome de carbone particulier d'un acide gras).

Identification des produits irradiés

Les modifications induites par l'irradiation des produits alimentaires sont minimales et des efforts considérables ont été consentis au développement de méthodes permettant d'identifier les produits alimentaires ayant été irradiés. Certaines méthodes permettent une identification qualitative des produits traités mais la spectroscopie RPE (Résonance paramagnétique électronique) permet de quantifier la dose d'irradiation adsorbée (Stevenson et Gray 1995). Le champ d'application de la spectroscopie RPE est large. Cette technique peut être utilisée sur des produits carnés contenant des os, comme les carcasses ou les produits de découpe de poulets (Stevenson et Gray 1989 et 1991), de canards, d'oies ou de dindes (Dodd *et al* 1988). Des études ont montré que la spectroscopie RPE est un indicateur spécifique de l'irradiation (Gray et Stevenson 1989). Elle a été utilisée avec succès aussi bien sur de la viande de poulet cuite que crue, et ceci à n'importe quel moment durant la période correspondant à la date limite de consommation du produit (Stevenson et Gray 1989). Néanmoins l'intensité de la réponse du tissu osseux est plus faible dans le cas des carcasses de poulet congelées que pour les carcasses simplement réfrigérées (Dodd *et al* 1992).

Congélation/décongélation

Le prix de vente de la viande de volaille fraîche est plus élevé que celui de la viande qui a été congelée puis décongelée. Différentes méthodes d'identification des viandes ayant subi une congélation ont été développées. Une de ces méthodes consiste à comparer l'activité de l'enzyme beta-hydroxyacyl-CoA déshydrogénase avant et après un cycle congélation-décongélation. Cette technique a été appliquée chez le poulet à partir du liquide obtenu après pression du muscle pectoral (Billington *et al* 1992). La distinction entre viande fraîche et viande décongelée a été également réalisée chez le bœuf par spectroscopie dans le proche infrarouge, à partir d'échantillons de muscle ou de liquide obtenu par exsudation ou centrifugation (Thyholt et Isaksson 1997). Les spectres obtenus entre 1100 et 2500 nm, traités par des techniques d'analyse multivariée, permettent une classification des viandes avec 100 % de précision. Cette technique pourrait être appliquée à la viande de volaille, de même que l'IRM, utilisée avec succès sur le bœuf, l'agneau et le porc pour détecter les viandes ayant subi une congélation (Evans *et al* 1998).

L'origine des viandes de volailles peut être certifiée à partir d'une technique utilisant les marqueurs ADN pour le type génétique des animaux et de différentes techniques de chromatographie et de RMN pour caractériser leur alimentation.

Conclusion

Parmi toutes les nouvelles méthodes d'évaluation des qualités des viandes présentées dans cet article, peu d'entre elles pourraient être utilisées en l'état en situation industrielle. Les méthodes de laboratoire sont très sensibles, précises et robustes, mais leur coût est élevé et leur utilisation relativement compliquée. Toutefois, les ultrasons, l'analyse d'image et la spectroscopie dans le proche infrarouge semblent être les méthodes dont le potentiel d'application en conditions industrielles est le plus prometteur du fait de leur faible coût et de leur facilité d'utilisation. Les ultrasons permettent d'obtenir des informations sur l'animal vivant mais la précision des mesures pourrait être améliorée en étudiant

l'influence des sites anatomiques de mesures et de la position des sondes. L'analyse d'image et la spectroscopie dans le proche infrarouge sont d'une grande utilité pour l'évaluation des défauts de carcasse et ces techniques correspondent à un réel besoin de la filière avicole. La RMN peut être utilisée dans des situations particulières comme la sélection génétique ou le contrôle de l'authenticité des produits. Le contrôle de l'authenticité des produits correspond à une attente des consommateurs en termes de sécurité alimentaire et de qualités organoleptiques. Il peut être réalisé par des méthodes isotopiques (spectrométrie de masse et RMN) pour l'origine géographique et par la spectroscopie RPE pour l'identification des produits irradiés.

Références

- Addis P.B., 1986. Poultry muscle as food. In : Muscle as Food, 371-404. Academic Press, New York.
- Barbut S., 1993. Colour measurements for evaluating the pale soft exudative (PSE) occurrence in turkey meat. Food Res. Int., 26: 39-43.
- Barbut S., 1996. Estimates and detection of the PSE problem in young turkey breast meat. Can. J. Anim. Sci., 76, 455-457.
- Bendall J.R., 1973. Post mortem changes in muscles. In: G.H. Bourne (ed), The structure and function of muscle, 2nd Ed., Vol. II, 243-309. Academic Press, New York.
- Billington M., Bowie H., Scotter S., Walker H., Wood R., 1992. The differentiation of fresh and frozen-thawed poultry meat by the determination of the beta-hydroxyacyl-CoA-dehydrogenase (HADH) activity of chicken breast press juice : Collaborative trial. J. Association of Public Analysts., 28, 103-116.
- Borowiak P., Adanski J., Olszewski K., Bueko J., 1986. The identification of normal and watery pork by pulsed NMR. Measurements Proceed. 32nd EMMRW, Ghent, 467-470.
- Castellanos C., Barragan C., Rodriguez C., Toro M., Silio L., 1997. In 48th meeting EAAP 3, G1.34
- Chen Y.R., Nguyen M., Park B., 1998a. Neural networks with principal component analysis for poultry carcass classification. J. Food Process Eng., 21, 351-367.
- Chen Y.R., Park B., Huffman R.W., Nguyen M., 1998b. Classification of on-line poultry carcasses with backpropagation neural networks. J. Food Process Eng., 21, 33-48.
- Cunnane S.C., Allman T., Bell J., Barnard M., Coutts G., Williams S.C.R., Iles R.A., 1993. In vivo fatty acid analysis in humans and animals using carbon-13 NMR spectroscopy Basic Life Sci., 60, 355-358.
- Davenel A., Seigneurin F., Collewet G., Réminon H., 1999. Estimation in vivo du rendement en filet chez le poulet par Imagerie de Résonance Magnétique. In Troisièmes journées de la Recherche Avicole, St-Malo 23-25 mars, 367-370.
- Dodd N.J., Lea J.S., Swallow A.J., 1988. ESR detection of irradiated food. Nature, 334, 387.
- Dodd N.J.F., Haishun J., Lea J.S., Swallow A.J., 1992. Factors influencing the yield of free radicals in irradiated chicken bones. Int. J. Food Sci. Technol., 27, 371-383.
- Evans S.E., Nott K.P., Kshirsagar A.A., Hall L.D., 1998. The effect of freezing and thawing on the magnetic resonance imaging parameters of water in beef, lamb and pork meat. Int. J. Food Sci. Technol., 33, 317-328.
- Fan T.W.M., Clifford A.J., Higashi E.M., 1994. In vivo ¹³C NMR analysis of acyl chain composition and organization of perirenal triacylglycerides in rats fed vegetable and fish oils. J. Lipid Res., 35, 678-689.
- Fjellkner-Modig S., Tornberg E., 1986. Water distribution in porcine M. Longissimus dorsi in relation to sensory properties. Meat Sci., 17, 213-231.
- Foster M.A., Hutchison J.M.S., Mallard J.R., Fuller M., 1984. NMR pulse sequence and discrimination of high- and low-fat tissues. Magn. Reson. Imaging, 2, 187-192.
- Fowler P.A., Fuller M.F., Glasbey C.A., Cameron G.C., Foster M.A., 1992. Validation of the in vivo measurement of adipose tissue by MRI of lean and obese pigs Am. J. Clin. Nutr., 56, 7-13.
- Fuller M.F., Fowler P.A., McNeill G., Foster M.A., 1994. Imaging techniques for the assessment of body composition. J. Nutr., 124, 1546S-1550S.
- Goutefongea R., 1971. Etude comparative de différentes méthodes d'appréciation de l'intensité du caractère exsudatif de la viande de porc. Proceed. 17th EMMRW, 356-365.
- Grau R., Hamm R., 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Fleisch. Fleischwirtschaft, 4, 295-298.
- Gray R., Stevenson M.H., 1989. The effect of post-irradiation cooking on the ESR signal in irradiated chicken drumsticks. Int. J. Food Sci. Technol., 24, 447-450.
- Hervás C., Garrido A., Lucena B., Garcia N., De Pedro E., 1994. Near infrared spectroscopy for classification of iberian pig carcasses using an artificial neural network. J. Near Infrared Spectrosc., 2, 177-184.
- Horst P., 1960. Fleischdickenmessung mit Hilfe des Ultraschalls an lebenden Hühnern Arch. Geflügelk., 24, 524-535.
- Irving T.C., Swatland H.J., Millman B.M., 1990. Effect of pH on Myofibril Spacing in Pork Measured by X-Ray Diffraction. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., 23, 79-81.
- Kover G., Romvari R., Horn P., Berenyi E., Jensen J.F., Sorensen P., 1998. In vivo assessment of breast muscle, abdominal fat and total fat volume in meat-type chickens by magnetic resonance imaging. Acta Veterinaria Hungarica, 46, 135-144.
- König T., Grashorn M.A., Bessei W., 1997. Estimation of breast meat yield in living broilers using B-scan sonography. 1. Report Defining sites of measurement. Arch. Geflügelk., 61, 227-231.
- König T., Grashorn M.A., Bessei W., 1998. Estimation of breast meat yield in living broilers using B-scan sonography Second report : Accuracy of the method. Arch. Geflügelk., 62, 121-125.

- Liu Z., Lirette A., Fairfull R.W., McBride B.W., 1994. Embryonic adenosine triphosphate : phosphodiester ratios obtained with in vivo nuclear magnetic resonance spectroscopy (^{31}P) : a new technique for selecting leaner broiler chickens. *Poult. Sci.*, 73, 1633-1641.
- Liu Z., McBride B.W., Lirette A., Fairfull R.W., Brauer M., 1995. Phosphorus -31 nuclear magnetic resonance spectroscopy of liver from two broiler chicken lines. *Can. J. Anim. Sci.*, 74, 687-694.
- Lundberg P., Vogel H.J., Fabiansson S., Ruderus H., 1987. Post mortem metabolism in fresh porcine, ovine and frozen bovine muscle. *Meat Sci.*, 19, 1-14.
- Martin G.J., Martin M.L., 1995. Stable isotopes analysis of food and beverages by NMR. In: Annual reports on NMR spectroscopy, vol.31, 81-104.
- Marty-Mahé P., Raffy G., Michel O., Marchal P., 1999. Détection de défauts sur carcasses de dinde sur chaîne d'abattage par vision numérique couleur. In : Troisièmes journées de la Recherche Avicole, St-Malo 23-25 mars, 371-374.
- McCurdy R.D., Barbut S., Quinton M., 1996. Seasonal effect on pale soft exudative (PSE) occurrence in young turkey breast meat. *Food Research Int.*, 29, 363-366.
- Miri A., Talmat A., Renou J.P., Monin G., 1992. ^{31}P NMR study of post mortem changes in pig muscles. *Meat Sci.*, 31, 165-173.
- Mitchell A.D., Wang P.C., Rosebrough R.W., Elsasser T.H., Schmidt W.F., 1991. Assessment of body composition of poultry by nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy. *Poult. Sci.*, 70, 2494-500.
- Offer G., Knight P., 1988. The structural basis of WMC in meat. *Develop. Meat Sci.*, 4, 63-243.
- Park B., Chen Y.R., Huffman R.W., 1996. Integration of visible /NIR spectroscopy and multispectral imaging for poultry carcass inspection. *J. Food Eng.*, 30, 197-207.
- Penny I.F., 1977. The effect of temperature on the drip, denaturation and extracellular space of pork longissimus dorsi muscle. *J. Sci. Fd Agric.*, 28, 329-338.
- Rémignon H., Seigneurin F., Rose-Desrosiers V., 1999. Estimation in vivo du rendement en filet chez le poulet par tomographie assistée par ordinateur. In : Troisièmes journées de la Recherche Avicole, St-Malo 23-25 mars, 363-366.
- Renou J.P., Monin G., Sellier P., 1985. Nuclear magnetic resonance measurements on pork of various qualities. *Meat Sci.*, 15, 225-233.
- Renou J.P., Briguet A., Gatellier P., Kopp J., 1987. Determination of fat and water ratios in meat products by High Resolution NMR at 19.6 MHz. *Int. J. Food Sc. Tech.*, 22, 169-172.
- Richter W., 1965. Untersuchungen über die Messung der Brustmuskelaufgabe mit Ultraschallur Beurteilung des Schlachtwertes am lebenden Hühn. *Arch. Geflügelz. Kleintierk.*, 14, 211-226.
- Santé V., Bielicki G., Lacourt P., Miri A., Lacourt A., Renou J.P., 1990. Installation de la rigor mortis dans le muscle de dinde et comparaison avec d'autres espèces animales. 5ème Journées Recherche Viande, Paris, 11-12 octobre. *Viandes et Produits Carnés*, 11, 279.
- Santé V., Bielicki G., Renner M., Lacourt A., 1991. Post mortem evolution in the Pectoralis superficialis muscle from two turkey breeds. Relationship between pH and colour changes. Proceedings of the 37th I.C.M.S.T., Kulmbach, 1-6 September, 1, 465-468.
- Santé V., Sosnicki A., Greaser M.L., Pietrzak M., Pospiech E., Ouali A., 1995. Impact of turkey breeding and production on breast meat quality. *Proc. World Poultry Sci. Conf., Session M2 : Meat quality in other birds*, 151-156.
- Santé V., Lebert A., Le Pottier G., Ouali A., 1996. Comparison between two statistical models for prediction of turkey breast meat colour. *Meat Sci.*, 43, 283-290.
- Scollan N.D., Caston L.J., Liu Z., Zubair A.K., Leeson S., McBride B.W., 1998. NMR imaging as a tool to estimate the mass of pectoralis muscle of chickens in vivo. *Br. Poult. Sci.*, 39, 221-224.
- Sorensen P., Jensen J.A., 1992. Use of ultrasonic techniques to detect breast muscle proportion in live ducks. 19th World poultry Congress, Amsterdam, Holland.
- Sosnicki A.A., 1995. The domestic turkey : a model of the impact of selection and production practices on meat quality. In : Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality, 363-380. Audet Tijdschriften bv, Nijmegen, The Netherlands.
- Sosnicki A., Wilson B.W., 1991. Pathology of turkey skeletal muscle: implications for the poultry industry. *Food structure*, 10, 317-326.
- Sosnicki A., Wilson B.W., 1992. Relationship of focal myopathy of turkey skeletal muscle to meat quality. *Proc. 19th World 's Poultry Congress*, 3 : 43-47, Amsterdam, The Netherlands.
- Sosnicki A.A., Greaser M.L., Pietrzak M., Pospiech E., Santé V., 1998. PSE-like syndrome in breast muscle of domestic turkeys : a review. *J. Muscle Food*, 9, 13-23.
- Stevenson M.H., Gray R., 1989. Effect of irradiation dose, storage time and temperature on the ESR signal in irradiated chicken bone. *J. Sci. Food Agric.*, 48, 269-274.
- Stevenson M.H., Gray R., 1991. Effect of dose rate and length of storage on the ESR signal strength in irradiated chicken bone. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 26, 669-672.
- Stevenson M.H., Gray R., 1995. The use of ESR spectroscopy for the identification of irradiated food. In : Annual reports on NMR spectroscopy, vol.31, 123-142.
- Swatland H.J., 1990. A note on the growth of connective tissues binding turkey muscle fibres together. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 23, 239-241.
- Swatland H.J., 1995. In : On-line evaluation of meat. Technomic Publ. Co., Lancaster (USA).
- Swatland H.J., 1997. Using a computer-assisted microscope spectrophotometer to investigate optical and electrical anisotropy in skeletal muscle. *J. Computer-assisted Microscopy*, 9, 183-189.
- Swatland H.J., Barbut S., 1995. Optical prediction of processing characteristics of turkey meat using UV fluorescence and NIR birefringence. *Food Research Int.*, 28, 227-232.
- Thyholt K., Isaksson T., 1997. Differentiation of frozen and unfrozen beef using near-infrared spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.*, 73, 525-532.
- Tornberg E., 1996. Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Sci.*, 43:175-191.
- Tornberg E., Andersson A., Göransson A., Von Seth G., 1993. Water and fat distribution in pork in relation to sensory properties. In : E. Puolanne and D. Demeyer (eds), *Pork quality, genetic and metabolic factors*, 239. CAB International, Townbridge.
- Van Hoof J., 1979. Influence of ante- and peri-mortem factors on muscle biochemical and physical characteristics of turkey breast muscle. *Vet. Quart.*, 1, 29-36.
- Wierbicki E., Kunkle L.E., Deatherage F.E., 1957. Changes in the water-holding capacity and cationic shifts during the heating and freezing and thawing of meat as revealed by a simple centrifugal method for measuring shrinkage. *Food Technol.*, 11, 69-73.

Abstract

New techniques to predict quality of poultry meat.

This paper reviews the new technological developments intended to predict technological and sensory quality of poultry meat. Three topics are discussed: carcass quality, meat quality and authenticity, which correspond to increasing demands from producers, carcass purchasers and consumers. The different applica-

tions of these methods are shown. They have the great advantage to be accurate and robust and often non-invasive, but they are often expensive and too sophisticated to be implemented in meat industries.

SANTÉ V., FERNANDEZ X., MONIN G., RENO J.-P., 2001. Nouvelles méthodes de mesure de la qualité des viandes de volaille. INRA Prod. Anim., 14, 247-254.