
Soumis le: 27/10/2019

Forme révisée acceptée le: 23/04/2020

Correspondant: guelmamenerahma@outlook.com



Revue
Nature et Technologie

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN: 1112-9778 – EISSN: 2437-0312

Techniques utilisées pour le contrôle de la qualité structurale des viandes et des produits carnés (Review)

Rahma GUELMAMENE^a, Omar BENNOUNE^a, Rachid ELGROUD^b

^a Institut des sciences vétérinaires et des sciences agronomiques, université Batna 1: Algérie

^b Institut des sciences vétérinaires d'ElKhroub, Université des frères Mentouri de Constantine 1, Algérie

Résumé

Cet article donne un aperçu de quelques techniques développées pour accéder à une information fidèle sur la structure de la viande et des produits carnés. L'industrie de la viande a besoin d'informations fiables sur la qualité de la viande tout au long du processus de production afin de garantir aux consommateurs des produits carnés de haute qualité. Des informations fiables sur les caractéristiques organoleptiques de la viande (tendreté, saveur, jutosité, couleur), qui peuvent être fournies par différentes méthodes d'évaluation de la structure de la viande, soit par la force de cisaillement mécanique (Warner-Bratzler), optique (mesures de couleurs, fluorescence), mesures ultrasonores, ondes électromagnétiques, RMN, NIR, et ainsi de suite. Ces mesures sont souvent utilisées pour construire des images de structure de la viande qui sont fusionnées, puis traitées par analyse multi-image, ce qui nécessite des méthodes de traitement appropriées. Les caractéristiques de qualité liées aux propriétés mécaniques sont souvent mieux évaluées par des méthodes qui tiennent compte de l'anisotropie naturelle de la viande en raison de sa structure myofibrillaire, relativement linéaire. Les méthodes biophysiques d'évaluation peuvent être, soit par la mesure directe des propriétés des composants de la viande, soit par le calcul indirect en utilisant des corrélations évidentes entre une ou plusieurs mesures biophysiques et les propriétés des composants de la viande. Prendre ces calculs et modéliser les principales propriétés biophysiques pertinentes impliquées peut aider à améliorer notre compréhension des propriétés de la viande, des produits carnés et donc de la qualité.

Mots-clés : qualité ; produit carné ; structure de la viande ; contrôle ; microscopie ; propriétés optiques ; propriétés mécaniques ; polarisation ; anisotropie.

Abstract

This article gives an overview of some techniques developed to access an accurate information on the structure of meat and meat products. The meat industry needs a reliable information about the quality of meat throughout the production process in order to guarantee consumers high quality of meat products. Reliable information's about the quality of meat (tenderness, flavor, juiciness, color) can be provided by different methods of evaluating the meat structure, either by mechanical shear force (Warner-Bratzler), optical (measurements color, fluorescence), ultrasonic measurements, electromagnetic waves, NMR, NIR, and so on. These measurements are often used to construct meat structure images that are fused, then processed by multi-image analysis, which requires appropriate processing methods. Quality characteristics related to mechanical properties are often better evaluated by methods that take into account the natural anisotropy of meat because of its relatively linear myofibrillar structure. Biophysical methods, for evaluation, can either directly measure the properties of the meat components, or calculate them indirectly using obvious correlations between one or more biophysical measurements and the properties of the meat components. Taking these calculations and modeling the main relevant biophysical properties involved can help improve our understanding of the properties of meat, meat products and therefore quality.

Keywords: quality; meat product; structure of meat; control; microscopy; optical properties; mechanical properties; polarization; anisotropy.



Cet article est mis à disposition gratuitement selon la licence [BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) de [Creative Commons Attributions 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

This article is available freely under the [BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license of [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

La fiabilité de l'information sur la qualité de la viande, y compris les produits carnés, peut être prouvée par un certain nombre de méthodes utilisées pour l'évaluation de la structure, la composition et l'hygiène. On ne peut décrire en détail, toutes les techniques, leurs modalités et leurs diverses applications (REF). Raison pour laquelle nous nous limiterons aux notions indispensables et qui sont en relation avec notre étude, structure et composition, qu'on passera en revue.

2. Techniques mécaniques

Ces techniques sont utilisées depuis les années trente. Elles présentent surtout l'intérêt pour des attributs sensoriels de texture.

La méthode peut être invasive, destructrice, ce qui nécessite un prélèvement (compression, traction et cisaillement), ou non invasive applicable sur le produit tel qu'il est (tests directs ou de résonance) [1]. La tendreté, la masticabilité et les petites fibres musculaires sont les caractéristiques de texture d'un produit carné [2].

2.1. Tests de cisaillement

Ensemble de tests utilisés pour évaluer la résistance mécanique avec une instrumentation appropriée : la lame Warner-Bratzler et la cellule de Kramer. Le principe est : la simulation de la masticabilité pour déterminer la texture ou la tendreté [3].

2.1.1. Test de force de cisaillement de Warner-Bratzler

Ce test mesure la force de cisaillement maximale. Il a été largement utilisé pour déterminer la tendreté de la viande, des produits carnés, de poisson et des gâteaux [3, 4, 5]. La première étude a été réalisée sur une viande cuite en 1920 par Warner, puis elle a été développée en 1932 par Bratzler [6].

Cette méthode, pour la viande ou les produits carnés, nécessite une lame plate en V : épaisseur de 0,04 pouce, angle du V 60° et une vitesse de travail de 200-500

mm/min. De plus, l'échantillon doit être d'un demi-pouce (12,7mm) de diamètre et être conduit perpendiculairement à la lame [3] ; vu que les résultats ont montré des écarts entre une mesure prise dans l'orientation parallèle ou perpendiculaire à la longueur du muscle.

Cette dernière est plus cohérente avec la tendreté ($r = 0,77$).

Des tentatives rationalisées ont utilisé des lames plates, force de cisaillement de tranche, et elles ont montré une forte corrélation avec la tendreté, $r = 0,82$ [7].

Comme exemple, l'essai de Warner-Bratzler a été utilisé, à 100 mm/min, pour évaluer les changements de la qualité d'une viande ovine en réponse à des cycles congélation-décongélation répétés. Le test a donné de bons résultats, en comparaison avec l'histologie (la microscopie optique), la mesure de pH et de la couleur [8].

2.1.2. La cellule de Kramer

La méthode a été développée, en 1959 par Kramer et Bernard, et utilisée pour évaluer la texture des produits fins, cas de la viande hachée. Elle nécessite une chambre avec un jeu de 5-10 lames parallèles. Le nombre de lames, est supposé, supprimer les écarts [3].

Lame Warner-Bratzler ou cellule de Kramer, la tendreté est appelée la résultante de la longueur des sarcomères, la protéolyse *post-mortem*, la quantité et la distribution spatiale du tissu conjonctif [2, 3], caractères faciles à évaluer en histologie.

2.2. Méthodes échographiques

Deux méthodes échographiques peuvent être utilisées pour évaluer la qualité fonctionnelle des produits carnés : l'élastographie ultrasonore ou "transitoire" [9] et l'analyse spectrale par ultrasons [10].

Le principe est la mesure de la vitesse de propagation des ondes, qui dépend de la composition et la structure de l'échantillon. La proportion et l'orientation des fibres musculaires donnent une bonne prédiction de la texture [1], la teneur en gras est corrélée à la vitesse de propagation des ultrasons, la teneur en viande est inversement corrélée à cette vitesse [11].

Enfin, l'échographie pour des échantillons musculaires, en termes de teneur en gras et en collagène,

a présenté de meilleurs résultats par rapport à une simple analyse des propriétés chimiques et mécaniques [12].

Toutefois, l'élastographie transitoire a été décrite comme une nouvelle technique, non invasive, peu coûteuse et capable de travailler dans des milieux anisotropes : cas du muscle [13].

Nowak (2015) a réalisé une étude, pour évaluer la capacité des ultrasons, de vérifier si un produit carné contient la matière première déclarée par le fabricant : viande de volaille ou de porc. Les résultats ont permis la distinction en fonction de la vitesse des ultrasons [14].

3. Techniques diélectriques

2.3. Mesure d'impédance

L'impédance a une composante résistive et une capacitive (contrairement à la résistance qui est indépendante de la fréquence du courant) ; c'est la propriété d'un milieu de s'opposer à l'écoulement du courant électrique. La première mesure d'impédance appliquée sur la viande a été publiée en 1920, sur des viandes DFD (en Anglais *Dark, Firm, Dry* : foncée/sombre, dure/ferme et sèche), ensuite, et depuis 2000, elle a permis la détection des viandes congelées et PSE (en Anglais *Pale, Soft, Exudative* : Pâle, Molle et Exsudative) [15, 16].

La viande a une impédance anisotrope, qui varie selon que le courant est parallèle ou perpendiculaire à la fibre musculaire [17]. De plus, le muscle a une forte impédance, contrairement à celle du gras [16]. La technique couvre un large éventail dans la technologie des produits carnés : mesure de pH et de la teneur en matières grasses, détection des viandes surgelées et prédiction de la tendreté [01].

2.4. Caractérisation par les microondes

Elle repose sur l'interaction des microondes, de faibles puissances électromagnétiques (0,3-300 GHz), avec le tissu pour exploiter ses propriétés diélectriques.

Ces propriétés diélectriques dépendent de la liaison d'eau dans le tissu ainsi que sa composition. La viande a une propriété diélectrique anisotrope qui diminue au cours de la dégradation cellulaire [1]. Comme la technique est liée à la présence d'eau, elle a été exploitée pour déterminer la capacité de rétention d'eau, l'Aw et les viandes DFD/PSE (citées ci-dessus) [18].

2.5. La chromatographie

En phase liquide ou gaz-liquide, la chromatographie n'est pas une méthode concurrente mais complémentaire. Elle repose sur le fait d'une migration différentielle des composants sous l'action du déplacement du support. Pour les produits carnés, elle permet l'analyse des constituants : protéines, lipides, glucides et vitamines [19].

La chromatographie liquide, en interaction à la spectrométrie de masse, a été entreprise pour étudier les changements de la couleur d'une viande, ovine, liés aux conditions de stockage.

Les principaux métabolites détectables dans les échantillons mal stockés étaient : les acides aminés, les sucres, les nucléotides et nucléosides, les acides organiques et leurs produits de dégradation et, pour la première fois, des complexes de bore-sucre-acide malique liés à la chimie de la myoglobine (ils ont des propriétés antioxydantes) [20].

2.6. L'électrophorèse

Le principe est de faire déplacer les macromolécules constitutives de l'échantillon. Cela se fait sous l'action d'un champ électrique et sur un support liquide ou solide.

Il s'agit d'une technique de fractionnement, qui constitue un outil universel d'analyse et de contrôle de la qualité de nombreux produits alimentaires. Pour la lecture, un spectrophotomètre est utilisé donnant des résultats en diagramme [21].

Plusieurs études ont exploité la technique en sciences des viandes et des produits carnés, cas de l'électrophorèse capillaire sur gel. Celle dernière a été utilisée pour différencier des viandes, de poulet, séparées mécaniquement (VSM) de celles désossées à la main HDM (*hand deboned meat* en Anglais) ; en utilisant un réactif spécifique à l'hémoglobine (celle-ci est très élevée dans les VSM).

La technique testée dans des mélanges VSM-HDM a permis de distinguer des mélanges contenant jusqu'à 7,5 % de VSM de celui à 0% [22].

3. Techniques lourdes

3.1. Analyses par les rayons X

La méthode a été utilisée, en industries agro-alimentaires, pour détecter les substances cristallines et semi-cristallines et elle a donné des résultats concernant la structure de l'échantillon [23]. Le principe est de mesurer l'atténuation de l'énergie pénétrante. Pour la viande et les produits carnés, les graisses ont une faible absorption des rayons X, 62 keV, celle de l'os et le muscle est plus élevée, 120 keV [1].

Parallèlement, l'absorptiométrie à DXA (*Dual-energy X-ray Absorption*), a permis de prédire la tendreté et d'analyser la composition des produits carnés. Le principe est d'utiliser deux mesures d'absorption des rayons X, faible et élevée, coupler et soustraire l'une de l'autre, donne le pourcentage du gras et du maigre [24, 25].

Parler des rayons X, pour la viande ou les produits carnés, on prédit qu'il s'agit de la détection de l'os, cela est vrai. L'industrie a évolué de sorte qu'elle offre des appareils, avec des rayons X, qui trouvent automatiquement l'os et d'autres corps étrangers dans la viande.

Cas du système de détection osseuse *SensorX*, où le produit avec os est rejeté sur un poste de travail avec un affichage indiquant l'emplacement précis de l'os (sur un moniteur). Ce dernier est enlevé par un opérateur, avant que le produit ne soit réexaminé. Le *SensorX Smart Sort* combine la détection des os et le classement des viandes, selon la teneur en os [26].

3.2. Analyses par résonance magnétique nucléaire (RMN)

L'analyse a reconnu deux domaines d'application "l'analyse structurale" et "le dosage et le contrôle de la qualité", devenant ainsi une technique assez puissante dans le secteur alimentaire, surtout pour les produits à base de viande. Selon l'objectif recherché, on peut avoir une analyse à basse résolution et à onde continue, impulsionnelle ou de haute résolution à onde impulsionnelle (pour les protéines, surtout) [27].

La technique est basée sur l'absorption et l'émission de l'énergie, dans la gamme de radiofréquence du spectre électromagnétique d'un noyau à nombre d'électrons impairs. L'hydrogène, le carbone et le sodium sont les plus mesurés, cas de la RMN $^{23}\text{Na}^+$ (le sodium) [1, 25]. L'exploitation du phénomène de résonance se fait par spectroscopie ou en imagerie.

3.3. Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire

La spectroscopie et la relaxométrie (T_1 : temps de relaxation longitudinale, T_2 : pour la transversale) sont deux zones de la résonance magnétique nucléaire, très exploitées en sciences des viandes [25]. La première a réussi grâce à sa capacité de caractériser la structure et l'eau des échantillons hétérogènes, la deuxième a permis de mesurer l'Aw [28].

Comme exemple, la spectroscopie RMN a permis de suivre les changements structuraux de la viande pendant la cuisson, la dénaturation thermique du tissu conjonctif [29, 30] et de différencier entre la viande de bœuf et celle de cheval [31]. Alors que la spectroscopie RMN- $^{23}\text{Na}^+$ a été décrite pour la quantification absolue des fractions libres et liées de sodium, facteurs technologiques déterminants pour les produits carnés salés, saumurés et séchés [32]. D'autres chercheurs ont consacré leurs études aux applications RMN pour le poisson [33].

3.4. Imagerie par résonance magnétique (IRM) :

Les premières applications de l'IRM sur les viandes ont permis de déterminer le type des fibres musculaires [34].

Elle a comme principe, l'exécution des séquences de la résonance magnétique nucléaire, en une image ; les signaux des différents composants sont sélectionnés puis identifiés (image distinguant l'eau, l'os, la graisse et le muscle). Alors que la micro-imagerie, des résonances magnétiques nucléaires, donne des résultats quantitatifs [1].

Toutefois, l'IRM combinée à la spectroscopie $^{23}\text{Na}^+$ a donné des résultats complémentaires pour identifier les deux populations du sodium (liée et libre), les localiser et même de les quantifier : données assez importantes pour la saumure [35].

3.5. Elastographie par résonance magnétique

Le principe de cette technique est de mesurer les propriétés viscoélastiques dans un tissu, en suivant une onde acoustique électromécanique [1].

Dans la même revue, il a été mentionné que l'élastographie n'a pas été encore utilisée en sciences des viandes, jusqu'en 2008. Alors qu'elle est en cours de développement à l'institut national de la recherche

agronomique en France, pour mesurer les paramètres mécaniques ainsi que les changements structuraux, survenant dans un produit carné après un traitement donné.

En 2010, elle a été qualifiée comme méthode non destructive, permettant l'obtention des propriétés viscoélastiques des produits alimentaires avant et après l'emballage [36].

4. Techniques optiques

4.1. La spectroscopie

Les méthodes spectroscopiques ont été largement utilisées pour l'évaluation et le contrôle de la qualité des produits carnés, tant en laboratoire qu'en industrie des viandes [37]. Le principe est fondé sur la propriété qu'ont les atomes d'absorber ou d'émettre un flux de photons (spectroscopie d'absorption ou d'émission atomique) [38].

L'évaluation de la teneur en collagène est la principale différenciation tissulaire, utilisée pour les produits carnés en spectroscopie [39, 40].

La spectroscopie couvre le proche infrarouge (PIR), l'infrarouge (IR), le visible et l'ultraviolet (UV) y compris la fluorescence.

4.1.1. Spectroscopie infrarouge

La technique, telle que conclue par les experts, peut être l'avenir dans l'industrie agro-alimentaire.

Les avantages majeurs de celle-ci sont la répétabilité élevée des résultats, et leur corrélation avec ceux estimés par l'évaluation sensorielle experte et le test de Warner-Bratzler [3].

Ce type de spectroscopie traite la région infrarouge du spectre électromagnétique, 800 à 2500 nm, et qui est exploitée pour le contrôle de la qualité des produits carnés [1].

Le principe est que le tissu peut absorber des parties des rayons infrarouges, entrants, et donner une "empreinte digitale" ou un spectre, lorsque son état vibratoire change [39]. Parallèlement, plusieurs techniques de spectroscopie infrarouge existent ; elles diffèrent, les unes des autres, par la fréquence et les paramètres optiquement mesurés (transmission, réflexion, diffusion...) [25].

En industrie alimentaire, la spectroscopie infrarouge a été utilisée pour surveiller et évaluer la composition et la qualité depuis le début des années soixante [41].

Alors qu'elle a un défi majeur, qui est la présentation de l'échantillon ; la spectroscopie infrarouge est inappropriée pour les échantillons solides non dilués, contrairement à la spectroscopie de réflexion dans le proche infrarouge [1]. Cette dernière permet, pour le contrôle de la qualité des produits carnés, le dosage de l'eau, des protéines, des lipides et des glucides [42].

4.1.2. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Les développements de la spectroscopie infrarouge ont élargi ses applications dans n'importe quelle partie d'un produit, cas de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (spectroscopie IRTF). C'est une technique relativement récente, qui offre un grand potentiel pour le contrôle de la qualité et la structure de la viande. Elle a permis aussi l'évaluation de la capacité de rétention d'eau [43], le tri des viandes en une de première classe et de haute qualité, pour être vendus à un prix élevé, ou en une viande à transformer [44]. Alors que la micro-spectroscopie IRTF a montré des changements microscopiques (dans une viande salée) [45].

L'interprétation quantitative des résultats de la spectroscopie IRTF est possible, en utilisant des méthodes chimiométriques avancées. Celles-ci permettant des calculs rapides tel que l'estimation de la charge bactérienne, directement, à partir de la surface de la viande [46].

Enfin, la spectroscopie infrarouge avec sa rapidité, facilitée d'utilisation, polyvalence et disponibilité pour l'évaluation finale des produits carnés, elle ne permet pas la mesure directe de texture, mais seulement une prédiction et une détermination approximative : des étalonnages précis doivent être établis par des tests chimiques de référence [3].

4.1.3. Spectroscopie Raman

C'est une spectroscopie en diffusion [38], qui dérive de la spectroscopie infrarouge moyenne.

Le principe est la mesure de la décroissance des vibrations, qui est observée après une forte excitation de l'échantillon (avec laser) [25].

Avant d'être étudiés en sciences des aliments, la spectroscopie Raman a été utilisée en biomédecine pour déterminer le degré de saturation des acides gras [47] ; un aspect nutritionnel important qui a permis son utilisation ultérieure en sciences alimentaires.

Bocker *et al.*, (2007) ont conclu que la spectroscopie Raman est aussi forte que la spectroscopie infrarouge, informations similaires et complémentaires, pour détecter les changements de la structure musculaire [121]. Il a été démontré, aussi, que la diffusion Raman est capable de déterminer la capacité de rétention d'eau de la viande fraîche [48], et de prédire la tendreté, en mettant la relation entre les pertes à la cuisson et la force de cisaillement, les résultats étaient prometteurs selon Schmidt *et al.*, (2013) [49].

L'un des grands avantages de cette technique est sa capacité à fournir des informations à l'échelle macroscopique et microscopique, sur la structure et la concentration d'une substance donnée dans son microenvironnement, dans des tissus et des cellules intactes (c'est-à-dire *in situ*) [1, 25].

4.1.4. Spectroscopie visible et la colorimétrie

La couleur est une propriété organoleptique impliquée dans l'évaluation de la qualité et la salubrité de toute denrée alimentaire. La stabilité de la couleur de la viande est déterminée par des facteurs inhérents à l'animal, les propriétés antioxydantes endogènes, maintenant par la myoglobine à l'état oxygéné et par les conditions du post-abattage [20].

L'utilisation de la lumière visible pour accéder aux informations structurales du muscle n'est pas un nouveau concept. Rome (1967) a appliqué la diffusion de la lumière sur le muscle de lapin isolé, pour mesurer la longueur du sarcomère [50].

Cependant, la détection précoce des viandes pâles, molles et exsudatives (PSE) a été l'application majeure de la spectroscopie visible et de la colorimétrie ; Liu et Chen (2001) ont étudié les changements structuraux de la viande par rapport à la dégradation *post mortem* [51]. Xia *et al.*, (2007) ont mesuré la longueur des sarcomères et la teneur en collagène [52].

Quant à la colorimétrie, la technique est simple, rapide et applicable dans plusieurs branches, entre autre, les viandes et les produits carnés ; le principe est de comparer la couleur de l'échantillon avec des échelles colorimétriques, et parfois elle est couplée à la spectroscopie [53]. La mesure de couleur se fait aussi par des colorimètres, où les coordonnées de couleur seront enregistrées [8].

Ces techniques ont été utilisées par de nombreux chercheurs : Gurol et Kahraman (2011) ont caractérisé l'effet de l'étirement sur l'ultrastructure musculaire, Kadim *et al.*, (2013) ont évalué la composition, la qualité et les traits histologiques de certains muscles de dromadaire [5].

La couleur indique, aussi, la tendreté de la viande et l'état d'oxydation de la myoglobine dans les produits carnés (rouge : oxy-myoglobine, marron : met-myoglobine) [16].

4.2. La spectrométrie

C'est l'exploitation quantitative de l'interaction matière-rayonnement, on distingue :

- Spectrométrie d'absorption moléculaire (identification et mesure de concentration).
- Spectrométrie d'émission atomique (dosage chimique).
- Spectrométrie d'absorption atomique : capable de quantifier plus de soixante éléments, surtout ceux qui sont en forme de "traces" [54].

4.2.1. Spectrométrie de fluorescence

La fluorescence frontale a été utilisée, surtout, pour les échantillons opaques, cas de la viande et les produits carnés, comme ces produits sont riches en tryptophane (l'élément révélé par la fluorescence frontale). Le tissu conjonctif est le fluorophore le plus intrinsèque dans la viande, son intensité est un bon marqueur de la tendreté [55].

Swatland, depuis 1985, a publié plusieurs études sur la capacité de l'auto-fluorescence d'évaluer la qualité de la viande, jusqu'au temps où il a développé des sondes pour des mesures en ligne de la fluorescence et de la réflexion [56]. La spectroscopie de fluorescence frontale a montrée sa capacité d'évaluer la texture de la viande [57], et même la fraîcheur du poisson [58].

Comme les tissus musculaires sont des structures anisotropes, celles-ci diminuent la fluorescence en *post mortem* montrant ainsi les changements structuraux dans les tissus à cette période [59].

En fin, il est important de noter que la fluorescence frontale est une analyse sélective, car elle dépend de la longueur d'onde d'excitation [60].

4.2.2. Spectrométrie de masse

Utilisée pour reconnaître la structure fine d'une denrée alimentaire, la technique est dite performante, mais lourde, de plus en plus envisageable et peut devenir une spectrométrie de paillasse dans les laboratoires de recherche et de contrôle de qualité [61].

5. Techniques biochimiques

5.1. L'analyse enzymatique

C'est une branche de la chimie analytique, dont le principe est "*la pratique de dosages dans les quels interviennent une ou plusieurs réactions enzymatiques*". Dans le domaine alimentaire, l'analyse enzymatique permet de déterminer la présence du substrat et le quantifier ; elle a été utilisée pour contrôler la qualité des boissons (dosage des sucres par exemple), du lait (dosage de matière grasse), des viandes et produits carnés (évaluation de la maturation) et de poisson (différenciation entre frais et congelé) [62].

La méthode de β -hydroxyacyl-CoA-déshydrogénase, par exemple, est une analyse enzymatique récente, utilisée pour distinguer les viandes fraîches et décongelées [63].

5.2. L'analyse immunologique ou immunochimique

C'est une branche fondamentale des sciences médicales mais également une technologie, dont le principe est l'interprétation des réactions antigène-anticorps (Ag-Ac). Elle est appliquée en industrie agro-alimentaire sur plusieurs secteurs : l'évaluation de la composition de la matière première et du produit fini (protéines d'un produit carné), la distinction des additifs, le suivi de la fabrication et la détection des défauts (dégradation) [64].

Par exemple, dans un mélange contenant 300 viandes de différentes espèces animales, la détection d'une espèce donnée est possible grâce à l'utilisation d'antisérum spécifique à un antigène de l'espèce cible ou recherchée.[65]. Les tests ELISA, indirect, compétitif et Sandwich, sont des méthodes hautement sensibles permettant la détection jusqu'à 2 % d'adultération [66]. Cependant, Chen et Hsieh (2000) ont utilisé des anticorps monoclonaux pour détecter la viande de porc ajoutée frauduleusement dans des produits carnés [67].

6. Techniques d'analyse d'image

L'analyse d'image, comme le nom l'indique, consiste en l'obtention d'une image par un capteur photosensible, caméra par exemple, et de la traiter par des logiciels.

Pour la science des viandes et des produits carnés, la technique permet de relever trois utilisations principales : le contrôle de la qualité, l'analyse de la microstructure des produits (par la microscopie optique) et la thermographie infrarouge [68].

L'analyse de l'image par ordinateur est une méthode qui permet de réaliser l'évaluation de toutes les caractéristiques visuelles, grâce à l'utilisation d'algorithmes spécifiques, à savoir : la couleur du muscle, la distribution de la graisse et du tissu conjonctif [69], la taille, la forme, la localisation, y compris l'épaisseur et la composition des fibres musculaires. Enfin, l'analyse d'image donne des résultats rapides et peut être utilisée dans la recherche "en ligne" : méthode répétitive, non destructive et bien corrélée à l'évaluation chimique et sensorielle [3].

La technique d'analyse d'image est appelée, aussi, bioimagerie [70].

Les images peuvent être macroscopiques ou microscopiques, histologiques, et leur analyse peut générer des mesures précises et objectives des principales composantes structurales du tissu musculaire.

6.1. L'image macroscopique

La notion n'est pas récente, Shiranita et al., (1998) ont décrit la méthode pour déterminer la qualité de la viande, le "score persillé" et analyser la texture [71].

D'ailleurs l'inspection visuelle a été largement utilisée pour évaluer la qualité des denrées alimentaires, allant jusqu'au consommateur, et de nombreuses recherches ont étudié cette possibilité : prédire la qualité de la viande à partir d'une image macroscopique [72, 73, 74].

La teneur en tissu conjonctif, ainsi que sa distribution spatiale définissent le grain de la viande (marbrée ou persillé), il est lié à la tendreté. Ses deux composants clés, le collagène et la graisse, sont clairement visibles sur les images macroscopiques ; la technique a été utilisée pour prédire la tendreté [75]. Chandraratne et al., (2006) ont utilisé les caractéristiques de surface dans le même contexte, les résultats ont montré une relation significative entre la surface de la viande crue, cuite et la tendreté (relation géométrie-texture) [76].

6.2. L'image microscopique

Il y a plus de deux mille ans où la découverte que l'on pouvait voir une image agrandie d'un petit objet en utilisant les "lentilles" est possible [77].

Pour obtenir une image microscopique d'un tissu, le type du microscope utilisé est variable, selon l'objectif de l'étude et la nature de l'échantillon, et nécessite la préparation de tranches tissulaires fines. On parle, donc, d'histologie qui a toujours besoin de coupes en micromètres [78]. La technique a été largement utilisée pour contrôler la qualité structurale de la viande et des produits carnés :

6.2.1. Le microscope optique

Depuis plus d'un siècle, le microscope optique a été l'un des instruments les plus importants, indispensable aux biologistes de toutes les disciplines. En réalité, il reste l'équipement le plus important en histologie, permettant d'ouvrir les secrets des choses trop petites à percevoir avec l'œil nu [77, 79, 120] :

- Ordre de grandeur entre quelques millimètres à quelques micromètres (μm).
- Pouvoir de résolution de 0,3 à 0,1 μm [80, 81].

Plusieurs études ont été publiées sur l'utilisation du microscope optique pour le contrôle de la qualité des produits carnés, comme un outil d'analyse topographique [70, 114, 115]. Toutefois, pour des analyses plus poussées des microscopes optiques spéciaux sont

utilisés, selon l'objectif recherché, et pour plus d'informations, principes et domaines d'utilisation, voir les détails expliqués par Douglas (2001), Macé et al., (2008), Wayne (2009) et Chen et al., (2011) [67, 78, 116, 117].

6.2.2. Le microscope confocale à balayage laser

C'est une technique de fluorescence, issue d'un développement du microscope optique en épi-fluorescence, avec des capacités à produire des images en 3D [1, 80].

La microscopie à balayage laser confocale est la plus applicable en sciences des viandes ; elle est surtout utilisée pour prédire les changements de la microstructure, la distribution de l'eau dans la viande fraîche et cuite [80] et pour évaluer la tendreté [82].

Ce type de microscopie peut être combiné à d'autres techniques pour mieux exploiter ses qualités ; cas de la microscopie électronique à balayage, pour une révélation détaillée de la microstructure [83].

6.2.3. Le microscope électronique

Le microscope électronique, à balayage ou à transmission selon l'application, est aussi utilisé dans les investigations biologiques. Le principe est l'interaction des composants du tissu avec un faisceau d'électrons ; permettant une augmentation de la résolution à mille fois par rapport au microscope optique et qui est de l'ordre de 0,1 nanomètre (nm) [79, 81].

Récemment, il y eu même le couplage de sonde à rayons X au microscope électronique pour réaliser une X-microanalyse, *in situ* [84].

6.2.3.1. Le microscope électronique à balayage

Ce type de microscope donne des images microscopiques avec une grande profondeur, et un affichage en 3D caractéristique de la surface de l'échantillon observé. Le faisceau d'électrons ne traverse pas le spécimen, il est balayé à la surface du tissu et il sera reflété et capturé par un détecteur. Ce dernier le traite en une image microscopique, en noir et blanc, sur un moniteur, facile à interpréter : c'est une vue en 3D illuminée d'en haut [1, 81].

Revenant à l'utilisation du microscope électronique à balayage dans la science des viandes et des produits

carnés, l'outil est de haute performance. Il permet, à titre d'exemple, de suivre les changements de l'ultrastructure du muscle liés au chauffage [85], ou liés au marinage [86] et de juger la tendreté [87]. De plus, ce microscope peut augmenter de ses qualités en le "modifiant", cas du :

- Cryo-microscope électronique à balayage. Le tissu est observé après une cryofixation qui le protège des pertes causées par les traitements classiques. À titre d'exemple, la technique a été utilisée pour évaluer les effets de la température de cuisson sur la microstructure de l'endomysium et du périmysium ; Celle-ci affecte, à son tour, la couleur et les propriétés mécaniques de la viande [88].
- Microscope électronique à balayage environnemental, conçu pour observer les tissus sans les déshydrater ou les congeler [01]. Ce type de microscope a été utilisé pour prédire la tendreté et montrer la dénaturation des fibres musculaires, liées à différentes méthodes de cuisson [89].

6.2.3.2. *Le microscope électronique à transmission*

Sur des coupes histologiques ultraminesces, 30 à 80 nm d'épaisseur, ce genre de microscope donne des images de qualité et de résolution supérieure à celles obtenues par son équivalent à balayage ; les électrons passent à travers l'échantillon [80, 81, 90].

Cependant, la technique est rendue difficile, car les échantillons doivent être très minces et mis sur une grille pour être observés [1, 79] . Ce type de microscope peut être utilisé pour :

- Évaluer certaines techniques utilisées pour amplifier la tendreté de la viande, comme l'utilisation d'enzymes protéolytiques [91].
- Montrer, en association avec l'histologie, que si la congélation est appliquée dans les bonnes conditions, les cycles de congélation-décongélation répétés ne modifient pas l'ultrastructure du muscle d'une manière significative [92].
- Suivre les propriétés ultrastructurales du muscle pendant le stockage réfrigéré [93].

En fin, la combinaison ou l'analyse "multi-microscopique" peut être utilisée pour créer une carte corrélative détaillée de la structure et la composition de l'échantillon examiné [94].

7. Autres techniques

7.1. L'analyse microbiologique

La viande et les produits carnés sont d'excellents milieux de croissance pour les microorganismes. McClure (2002) a énuméré les principales bactéries comme il a mentionné les conditions dans lesquelles elles peuvent contaminer un produit carné [95].

L'analyse microbiologique classique consiste à qualifier et quantifier les microorganismes dans un échantillon, elle passe par une série d'étapes :

- Revivification : réaliser une suspension dans laquelle le prélèvement est dilué.
- Mise en culture, sur les milieux de culture.
- Confirmation et sélection des colonies, en vue de les purifier puis les caractériser par voie biochimique, moléculaire ou sérologique [96].

La technique est importante, voire primordiale, pour toutes les denrées alimentaires. Cependant, il est utile de signaler que :

- La détérioration de la viande dépend d'une fraction de microorganismes, dite l'ODE : les organismes de détérioration éphémères [97].
- La réduction de la détérioration et des bactéries inductrices est importante pour la stabilité microbiologique de la viande et des produits carnés [98].
- Dans les produits prêts à consommer les Staphylocoques étaient les plus détectés suivis de Listeria et en fin les E. coli [99].
- Les produits emballés sous atmosphère modifiée présentent une croissance microbienne retardée et une durée de conservation augmentée [100].
- L'irradiation gamma, pour la conservation, était efficace pour réduire la charge microbienne sans nuire à la physicochimie des produits carnés [98].
- Pour accélérer la détection de l'altération microbienne, la spectroscopie de Fourier (IRTF) utilisée directement à la surface des aliments donne des "empreintes digitales", biochimiquement interprétables, permettant de quantifier la charge microbienne en 60 secondes [101].
- La mise en œuvre des mesures d'HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) obligatoire dans les

établissements de transformation de la viande est la solution idéale [102].

- Les vétérinaires sont les spécialistes ayant les outils scientifiques nécessaires pour la mise en œuvre du concept "One Health", pour mieux protéger le consommateur [103, 105]

En dehors de la notion de l'écosystème microbiologique des produits carnés, déjà révélé, les microorganismes présentent des spécificités enzymatiques qui autorisent leurs utilisations au laboratoire, comme ils sont capables de réactions d'analyses qualitatives et quantitatives, cas de la détection des vitamines [105].

7.2. Techniques utilisant la PCR et l'analyse d'ADN

Les techniques basées sur la PCR (*polymerase chain reaction*) sont assez puissantes, cas du polymorphisme de longueur des fragments de restriction et l'amplification aléatoire d'ADN polymorphe [63].

Néanmoins, l'analyse de l'ADN, par hybridation ou par amplification, est supérieure en termes de spécificité, d'exactitude, de fiabilité et d'acceptabilité juridique :

- L'ADN présente une stabilité thermique assez élevée et permet potentiellement d'obtenir des informations rapides et pratiques [66].
- Les molécules d'ADN sont dégradées en post mortem (par les endo et les exo nucléases). L'hydrolyse, l'oxydation et le degré d'endommagement de celui-ci contribue à la distinction des viandes fraîches et congelées [63].

D'ailleurs, l'ADN est relié directement à la spécificité de l'espèce animale source de la matière première ; il est omniprésent avec des informations génétiques indépendantes de la source de l'échantillon [66]. Parallèlement, la majorité des études publiées, que ce soit pour l'ADN ou la PCR, porte sur ce sujet, la spécificité de l'espèce. Exemples :

- Un test basé sur la PCR a été utilisé pour la détection de la viande de porc, dans des saucisses fraîches de cheval. Le test développé a montré la présence de celle-ci dans 6/30 des échantillons examinés [106].
- Une PCR en temps réel a été utilisée pour authentifier des produits carnés avec des mélanges contenant de la viande de bœuf, porc, cheval, mouton, poulet et de la dinde. Il a été possible d'identifier les viandes de

ces espèces à des teneurs allant jusqu'à 0,05 % voire même 0,01% [117].

- L'ARNr 12S et 16S mitochondriaux ont été révélés par PCR, pour l'identification de la plupart des espèces animales et pour distinguer les différentes viandes ajoutées frauduleusement dans les aliments [107].
- Un test de PCR en temps réel spécifique au porc (SYBR vert I) a été développé pour résoudre le problème de substitution de viande de porc. La technique a été considérée comme une méthode robuste pour l'authentification Halal de la viande [108].
- Singh et Sachan (2011) ont exposé, en revue, les techniques utilisées pour authentifier l'espèce animale source de matière première, ADN et PCR ont été parmi les méthodes citées [109].

7.3. Évaluation sensorielle

Dans l'évaluation des attributs sensoriels par le consommateur, la qualité de la viande, y compris les produits carnés, est associée à quatre caractéristiques principales qui sont la tendreté, la jutosité, la couleur et la saveur [3].

Pour décrire la technique de l'évaluation sensorielle, on peut redire que l'homme est le "générateur des données", puis dire que la procédure est délicate et obéit à un ensemble de règles (par exemple, définir les caractères du groupe qui évaluera les échantillons), et elle consiste à donner des résultats "sensoriels" à savoir le goût [110, 111].

7.4. Analyse des produits Halal

À l'échelle mondiale, les consommateurs musulmans s'inquiètent d'un certain nombre de problèmes concernant la viande et les produits carnés qu'ils consomment ; cas de la substitution avec tous ce qui est d'origine "porc", le plasma sanguin non déclaré, l'utilisation d'ingrédients interdits, les boyaux et les méthodes d'abattage non Halal [112, 113].

Nakyinsige et al., (2012) ont donné une explication complète de ce type de fraudes alimentaires, ainsi que les techniques utilisées pour les mettre en évidence, à savoir :

- Substitution de porc : PCR, détection de protéines spécifiques par l'ELISA et détection du lard par spectroscopie.
- Plasma sanguin : utilisation de la focalisation isoélectrique sur couche ultramince.
- Ingrédients non-viande : les certificats Halal sont indispensables [112].

8. Conclusion

Toutes ces techniques nécessitent un équipement spécial, non seulement pour effectuer le test mais également pour interpréter les résultats. D'une part, chacune présente des avantages et des inconvénients. De l'autre part, l'application de l'une ou de l'autre et même la combinaison des techniques dépend de l'objectif de la recherche, et est fondée sur un ensemble de critères. Le but restant toujours le même : réduire le rapport coût sur bénéfice de l'analyse. Le bénéfice escompté est de pouvoir prendre une décision, avec des risques acceptés, de déclarer qu'une denrée alimentaire est conforme ou non.

La science est en évolution exponentielle et la porte est toujours ouverte pour de nouvelles techniques, ce qui répond aux besoins de l'industrie des produits carnés.

Aujourd'hui, les technologies modernes non destructives, non invasives, y compris les méthodes de spectroscopie dans le proche infrarouge et l'analyse d'image par ordinateur sont les méthodes les plus recommandées [3].

Références

- [1] Damez J. & Clerjon S., Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80 (1) (2008) : 132–149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.039>
- [2] Dinh T.N, Meat quality: understanding of meat tenderness and influence of fat content on meat flavor. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ*, 9(12) (2008): 65–70.
- [3] Guzek D., Pogorzelska E., Pogorzelski G. & Wierzbicka A., Instrumental texture measurement of meat in a laboratory. *Advances in Science and Technology – Research Journal*., 7 (19) (2013) : 5–11. <https://doi.org/10.5604/20804075.1062329>
- [4] Bayraktaroglu A. G. & Kahraman T., Effect of muscle stretching on meat quality of biceps femoris from beef. *Meat Science MESC*, 88 (3) (2011) : 580–583. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.021>
- [5] Kadim I. T., Al karousi A., Mahgoub O., Al Marzooqi W., Khalaf S. K., Al Maqbali R. S., Chemical composition, quality and histochemical characteristics of individual dromedary camel (*Camelus dromedarius*) muscles. *Meat Science MESC*, 93 (3) (2013) : 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.028>
- [6] Wheeler T. L., Shackelford S. D., Johnson L. P., Miller M. F., Miller R. K. & Koohmaraie M. A., Comparison of Warner-Bratzler shear force assessment within and among institutions. *Journal of Animal Science*, 75 (9) (1997) : 2423–2432. <https://doi.org/10.2527/1997.7592423x>
- [7] Wheeler T. L., Vote D., Leheska J. M., Shackelford S. D., Belk K. E., Wulf D. M., Gwartney B. L. & Koohmaraie M. A., The efficacy of three objective systems for identifying beef cuts that can be guaranteed tender. *Journal of Animal Science*, 80 (12) (2002) : 3315–3327. <https://doi.org/10.2527/2002.80123315x>
- [8] Qi J., Li C., Chen Y., Gao F., Xu X. & Zhou G., Changes in meat quality of ovine longissimus dorsi muscle in response to repeated freeze and thaw. *Meat Science*, 92 (4) (2012) : 619–626. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.009>
- [9] Ophir J., Miller R. K., Ponnekanti H., Cespedes I. & Whittaker A. D., Elastography of beef muscle. *Meat Science*, 36 (1–2) (1994) : 239–250. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90043-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90043-4)
- [10] Abouekaram S., Berge P. & Culioli J., Application of ultrasonic data to classify bovine muscles. In *Proceedings of IEEE Ultrasonics Symposium*. (1997) : 1197–1200. <https://doi.org/10.1109/ULTSYM.1997.661793>
- [11] Benedito J., Carcel J. A., Rossello C. & Mulet A., Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science*, 57 (4) (2001) : 365–370. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00113-3)
- [12] Mörlein D., Rosner F., Brand S., Jenderka K. V. & Wicke M., Non-destructive estimation of the intramuscular fat content of the longissimus muscle of pigs by means of spectral analysis of ultrasound echo signals. *Meat Science*, 69 (2) (2005) : 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.06.011>
- [13] J. L. Gennisson, C. Comu, S. Catheline, M. Fink & P. Portero, Human muscle hardness assessment during incremental isometric contraction using transient elastography. *Journal of Biomechanics*, 38 (7) (2005) : 1543–1550. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.07.013>
- [14] K. W. Nowak, Identification of meat types by ultrasonic methods. *Technical Sciences*, 18 (2) (2015) : 79–84. [Version électronique]. Disponible sur internet. URL : <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-2ddd0161-a814-486c-b958-8734b4a42c48>
- [15] C. E. Byrne, D. Troy, D. & D.J. Buckley, Postmortem changes in muscle electrical properties of bovine M. longissimus dorsi and their relationship to meat quality attributes and pH fall. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00055-8) *Meat Science*, 54 (1) (2000) : 23–34.
- [16] H. J. Swatland, On-line monitoring of meat quality. In *Meat processing improving quality*. Woodhead Publishing Limited (2002) : 193–212. <https://doi.org/10.1533/9781855736665.2.193>
- [17] J. L. Damez, S. Clerjon, S. Abouekaram & J. Lepetit. Dielectric behavior of beef meat in the 1-1500 kHz range: Simulation with the Fricke/Cole-Cole model. *Meat Science*, 77 (4) (2007) : 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.028>
- [18] S. Clerjon, J. D. Daudin & J. L. Damez, Water activity and dielectric properties of gels in the frequency range 200 MHz–6 GHz. *Food Chemistry*, 82 (1) (2003) : 87–97. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00580-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00580-0)
- [19] D. Lorient, J. C. Lhuguenot & A. Voilley, La chromatographie Lorient, D Lhuguenot, J.C Voilley, A. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires*, Volume 2 : principes des techniques d'analyse. Paris: Lavoisier Tech & Doc (1991) : 74–114.
- [20] A. K. Subbaraj, Y. H. B. Kim, K. Fraser & M. M. Farouk, A hydrophilic interaction liquid chromatography-mass spectrometry (HILIC-MS) based metabolomics study on colour stability of ovine meat. *Meat Science*, 117 (2) (2016) : 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.028>

- [21] J. Autran, L'électrophorèse. In Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse. Paris: Lavoisier tech&doc. (1991) : 115–140.
- [22] L. Day & H. Brown, 2001. Detection of mechanically recovered chicken meat using capillary gel electrophoresis. *Meat Science*, 58 (1) (2001) : 31–37. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00127-3)
- [23] A. Buleon. Diffraction des Rayon X. In Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse. Paris: Lavoisier Tech & Doc (1991) : 252–259.
- [24] C. Kröger, C.M Bartle, J.G Est, R. W. Purchas & C. E. Devine, Meat tenderness evaluation using dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *Computers and Electronics in Agriculture*, 54 (2) (2006) : 93– 100. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2006.09.002>
- [25] J. L. Damez, & S. Clerjon, Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview. *Meat Science*, 95 (4) (2013) : 879–896. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.037>
- [26] P. Marel, 2017. Superior bone detection, SensorX poultry products, p.6.
- [27] D. N. Rutledge & D. Tome, 1991. La resonance magnetique nucléaire (RMN). In Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse. pp. 234–251.
- [28] L. Venturi, P. Rocculi, C. Cavani, G. Placucci, M. D. Rosa & M. A. Cremonini, 2007. Water absorption of freeze-dried meat at different water activities: A multianalytical approach using sorption isotherm, differential scanning calorimetry, and nuclear magnetic resonance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (26) (2007) : 10572–10578. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf072874b>
- [29] E. Micklander, B. Peshlov, P. P. Purslow, & S. B. Engelsens, NMR-cooking: monitoring the changes in meat during cooking by low-field H-1-NMR. *Trends in Food Science & Technology*, 13 (9–10) (2002) : 341–346. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00163-2)
- [30] H. C. Bertram, R. H. Andersen & H. J. Andersen, Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Science*, 75 (1) (2007) : 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.020>
- [31] W. Jakes, A. Gerdova, M. Defernex, A. D. Watson, C. McCallum, E. Limer, I. J. Colquhoun, D. C. Williamsont & E. K. Kemsley, Authentication of beef versus horse meat using 60 MHz 1H NMR spectroscopy. *Food Chemistry*, 175 (5) (2015) : 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.110>
- [32] M. Mouaddab, L. Foucat, J. P. Donnat, J. P. Renou, J. M. M Bonny, Absolute quantification of Na⁺ bound fraction by double-quantum filtered Na-23 NMR spectroscopy. *Journal of Magnetic Resonance*, 189 (1) (2007) : 151–155. <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2007.09.003>
- [33] U. Erikson, I. B. Standal, I. G. Aursand, E. Veliyulin & M. Aursand, Use of NMR in fish processing optimization: A review of recent progress. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 50 (7) (2012) : 471–480. <https://doi.org/10.1002/mrc.3825>
- [34] I. K. Adzamlı, F. A. Jolesz, A. R. Bleier, R. V. Mulkern & T. Sandor, The effect of Gadolinium Dtpa on tissue water compartments in slow-twitch and fasttwitch rabbit muscles. *Magnetic Resonance in Medicine*, 11 (2) (1989) : 172–181. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910110205>
- [35] H. C. Bertram, S. J. Holdsworth, A. K. Whittaker & H. J. Andersen, Salt diffusion and distribution in meat studied by Na-23 nuclear magnetic resonance imaging and relaxometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (20),(2005) : 7814–7818. <https://doi.org/10.1021/jf051017+>
- [36] M. L. H. Gruwel, Characterization of food stuffs using Magnetic Resonance Elastography. *Food Research International*, 43 (8) (2010) : 2087–2092. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.015>
- [37] K. I. Hildrum, J. P. Wold, H. S. Vegard, J. P. Renou & E. Dufour, New spectroscopic techniques for on-line monitoring of meat quality. In *Advanced technologies for meat processing*. New York: CRC Press. Taylor & Francis Group (2006) : 37–180.
- [38] C. Ducauze, 2003. *Fraudes alimentaires : approche réglementaire et méthodologie analytique*, Paris: Lavoisier Tech&Doc.
- [39] M. L. Colgrave, P. G. Allingham & A. Jones, Hydroxyproline quantification for the estimation of collagen in tissue using multiple reaction monitoring mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1212 (1–2) (2008) : 150–153. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.10.011>
- [40] J. Sadeghinezhad, B. Hajimohammadi, F. Izadi, F. Yarmahmoudi & R. Latorre, Evaluation of the Morphologic Method for the Detection of Animal and Herbal Content in Minced Meat. *Czech J. Food sciences*, 33 (6) (2015) : 564–569. <https://doi.org/10.17221/167/2015-CJFS>
- [41] C. W. Huck, Advances of infrared spectroscopy in natural product research. *Phytochemistry Letters*, 11 (2015) : 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2014.10.026>
- [42] D. Bertrand, & P. Robert, 1991. Spectroscopie de réflexion dans le proche infrarouge (SPIR). In Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse. Paris: Lavoisier Tech&Doc (1991) : 55–61.
- [43] A. H. Hoving Bolink, H. W. Vedder, J. W. M. Merks, W. J. H. De Klein, H. G. M. Reimert & R. Frankhuizen, Perspective of NIRS measurements early post mortem for prediction of pork quality. *Meat Science*, 69 (3) (2005) : 417–423. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.08.012>
- [42] S. Andres, I. Murray, E. A. Navajas, A. V. Fisher, N. R. Lambe, N.R.& L. Bunger, Prediction of sensory characteristics of lamb meat samples by near infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science*, 76 (3) (2007) : 509–516. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.01.011>
- [45] U. Böcker, R. Ofstad, H. C. Bertram, B. Egelandsdal & A. Kohler, Salt-induced changes in pork myofibrillar tissue investigated by FT-IR microspectroscopy and light microscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (18) (2006) : 6733–6740. <https://doi.org/10.1021/jf060178q>
- [46] M. S. Ammor, A. Argyri, & G. J. E. Nychas, Rapid monitoring of the spoilage of minced beef stored under conventionally and active packaging conditions using Fourier transform infrared spectroscopy in tandem with chemometrics. *Meat Science*, 81 (3) (2009) : 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.10.015>
- [47] R. Manoharan, Y. Wang & M. S. Feld, Histochemical analysis of biological tissues using Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 52 (2) (1996) : 215–249. [https://doi.org/10.1016/0584-8539\(95\)01573-6](https://doi.org/10.1016/0584-8539(95)01573-6)
- [48] U. Böcker, R. Ofstad, Z. Y. Wu, H. C. Bertram, G.D. Sockalingum, & M. Manfait, Revealing covariance structures in Fourier transform infrared and Raman microspectroscopy spectra: A study on pork muscle fiber tissue subjected to different processing parameters. *Applied Spectroscopy*, 61 (10) (2007) : 1032–1039. <https://doi.org/10.1366/2F000370207782217707>
- [49] H. Schmidt, R. Scheier & D. L. Hopkins, Preliminary investigation on the relationship of Raman spectra of sheep meat with shear force and cooking loss. *Meat Science*, 93 (1) (2013) : 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.019>
- [50] E. Rome, Light and X-ray diffraction studies of the filament lattice of glycerol-extracted rabbit Psoas muscle. *Journal of Molecular Biology*, 27 (3) (1967) : 591–602. [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(67\)90061-7](https://doi.org/10.1016/0022-2836(67)90061-7)
- [51] Y.L. Liu. & Y. R. Chen, Analysis of visible reflectance spectra of stored, cooked and diseased chicken meats. *Meat Science*, 58 (4) (2001) : 395–401. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00041-](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00041-)

- 9
- [52] J. J. Xia, E. P. Berg, J. W. Lee & G. Yao, Characterizing beef muscles with optical scattering and absorption coefficients in VIS–NIR region. *Meat Science*, 75 (1) (2007) : 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.002>
- [53] A. Driou, 1991. Autres techniques optiques et spectroscopiques. A : Techniques optique. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse*. Paris: Lavoisier Tech&Doc (1991) : 43–61.
- [54] G. Linder & M. Guingamp, 1991. Techniques spectrométriques. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse*. Paris: Lavoisier Tech& doc (1991) : 03–42.
- [55] N. Light, A. E. Champion, C. Voyle & A. J. Bailey, The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. *Meat Science*, 13 (3) (1985) : 137–149. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(85\)90054-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(85)90054-3)
- [56] H. J. Swatland, Connective and adipose tissue detection by simultaneous fluorescence and reflectance measurements with an on-line meat probe. *Food Research International*, 33 (9) (2000) : 749–757. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00065-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00065-X)
- [57] E. Dufour, J. P. Francia, & E. Kane, Development of a rapid method based on front-face fluorescence spectroscopy for the monitoring of fish freshness. *Food Research International*, 36 (5) (2003) : 415–423. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00174-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00174-6)
- [58] C.M. Andersen & J. P. Wold, Fluorescence of muscle and connective tissue from cod and salmon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (2) (2003) : 470–476. <https://doi.org/10.1021/jf020524d>
- [59] S. Clerjon, F. Peyrin, & J. Lepetit, Frontal UV-visible fluorescence polarization measurement for bovine meat ageing assessment. *Meat Science*, 88 (1) (2011) : 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.027>
- [60] R. Karoui & C. Blecker, Fluorescence spectroscopy measurement for quality assessment of food systems—A review. *Food and Bioprocess Technology*, 4 (3) (2011) : 364–386.
- [61] J. Adda & J. Le Quere, 1991. Technique physique, Spectrométrie de Masse. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse*. Paris: Lavoisier Tech& doc (1991) : 282–303.
- [62] P. Le roux, 1991. Techniques biochimiques, L'analyse enzymatique. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse*. Paris: Lavoisier Tech&Doc (1991) : 325–340.
- [63] N. Z. Ballin, Authentication of meat and meat products. *Meat Science*, 86 (6) (2010) : 577–587. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.06.001>
- [64] J.L. Berger, 1991. Techniques biochimiques, L'analyse immunochimique. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse*. Paris: Lavoisier Tech&Doc (1991) : 343–366.
- [65] A. T. Sherikar, J.B. Khot, B. M. Jayarao & S. R. Pillai, Use of species specific antisera to adrenal heat stable antigens for the identification of raw and cooked meats by agar gel diffusion and counter immunoelectrophoretic techniques. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 44 (1) (1988) : 63–73. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740440108>
- [66] M. M. Bhat, H. Jalal, P. A. Para, S. A. Bukhari, S. Ganguly, A. A. Bhat, R. Wakchaure & J. Qadri, Fraudulent Adulteration/Substitution of Meat: A Review. *International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS)*, 2 (12) (2015) : 22–33. [Version électronique]. Disponible sur internet. URL : <http://ijrras.com/fraudulent-adulteration-substitution-of-meat-a-review/>
- [67] F. C. Chen & Y. H. P. Hsieh, Detection of Pork in Heat-Processed Meat Products by Monoclonal Antibody-Based ELISA. *Journal of AOAC International*, 83 (1) (2000) : 79–85.
- [68] A. Tasser, 1991. Techniques optiques, Techniques d'analyse d'image. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires, Volume 2 : principes des techniques d'analyse*. Paris: Lavoisier Tech&Doc (1991) : 62–73.
- [69] D. Guzek, D. Glabska & A. Wierzbicka, Analysis of Beef Topside RGB Components of Colour After Thermal Treatment Executed in the Steam-Convection Oven, on the Basis of fresh meat colour. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 57 (1) (2012) : 55–58. [Version original en Polonais]. Disponible sur internet. URL : https://www.pimr.eu/wp-content/uploads/2019/05/2012_1_GGW.pdf
- [70] N. Z. Ballin & R. Lametsch, Analytical methods for authentication of fresh vs. thawed meat – A review. *Meat Science*, 80 (12) (2008) : 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.024>
- [71] K. Shiranita, T. Miyajima & R. Takiyama, Determination of meat quality by texture analysis. *Pattern Recognition Letters*, 19 (14) (1998) : 1319–1324. [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(98\)00113-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(98)00113-5)
- [72] C. J. Du & D. W. Sun, Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15 (5) (2004) : 230–249. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.006>
- [73] T. Brosnan & D. W. Sun, Improving quality inspection of food products by computer vision – A review. *Journal of Food Engineering*, 61 (1) (2004) : 3–16. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00183-3)
- [74] P. Jackman, D. W. Sun, C. J. Du, P. Allen & G. Downey, Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features. *Meat Science*, 80 (4) (2008) : 1273–1281. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.06.001>
- [75] J. Li, J. Tan, F. A. A. Martz & H. Heymann 1999. Image texture features as indicators of beef tenderness. *Meat Science*, 53 (1) (1999) : 17–22. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00031-5)
- [76] M. R. Chandraratne, S. Samarasinghe, D. Kulasiri, A. E. Bekhit & R. Bickerstaffe, Prediction of lamb tenderness using image surface texture features. *Journal of Food Engineering*, 77 (3) (2006) : 492–499. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.063>
- [77] X. Chen, B. Zheng & H. Liu, Optical and digital microscopic imaging techniques and applications in pathology. *Analytical Cellular Pathology*, 34 (1–2) (2011) : 5–18. <https://doi.org/10.3233/ACP-2011-0006>
- [78] M. B. Douglas, 2001. Fundamentals of light microscopy and electronic imaging. New York: Wiley-Liss.
- [79] J. R. Harris, 2006. Basic Electron Microscopy. In *Cell Biology Protocols*. England: John Wiley & Sons (2006) : 21–50.
- [80] J. Sobotta & U. Welsch, 2004. Précis d'histologie: Cytologie, histologie, anatomie macroscopique. Edition Fr., Paris: Lavoisier EMiner.
- [81] A. L. Mescher, 2013. Junqueira's Basic Histology text and atlas 13th ed., USA: McGraw-Hill Education.
- [82] T. Bolumar, U. Bindrich, S. Toepfl, F. Toldrá & V. Heinz, Effect of electrohydraulic shockwave treatment on tenderness, muscle cathepsin and peptidase activities and microstructure of beef loin steaks from Holstein young bulls. *Meat Science*, 98 (7) (2014) : 759–765. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.024>
- [83] W. Liu & T. C. Lanier, Combined use of variable pressure scanning electron microscopy and confocal laser scanning microscopy best reveal microstructure of comminuted meat gels. *LWT - Food Science and Technology*, 62 (2) (2015) : 1027–1033. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.001>
- [84] Y. Sato, T. Saito, K. Tsuchiya, M. Terauchi, H. Saito & M. Takeda, Electron energy-loss and soft X-ray emission

- spectroscopy of electronic structure of MgB 4. *Journal of Solid State Chemistry*, 253 (3) (2017) : 58–62.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/500/19/192013>
- [85] E. Tornberg, Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70 (9) (2005) : 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
- [86] C. Qihe, H. Guoqing, J. Yingchun & N. Hui, Effects of elastase from a *Bacillus* strain on the tenderization of beef meat. *Food Chemistry*, 98 (4) (2006) : 624–629.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.043>
- [87] B. James & S. W. Yang, Testing meat tenderness using an in situ straining stage with variable pressure scanning electron microscopy. *Procedia Food Science*, 1 (2011) : 258–266.
<https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.041>
- [88] P. García-Segovia, A. Andrés-Bello & J. Martínez-Monzó, Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*, 80 (3) (2007) : 813–821.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.010>
- [89] M. S. Yarmand & A. Homayouni, Quality and microstructural changes in goat meat during heat treatment. *Meat Science*, 86 (2) (2010) : 451–455. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.033>
- [90] L. C. Junqueira, J. Carneiro, & R. O. Kelley, 2001. *Histologie* 2nd ed., Italie: PCCIN.
- [91] B. Gerelt, Y. Ikeuchi & A. Suzuki, Meat tenderization by proteolytic enzymes after osmotic dehydration. *Meat Science*, 56 (3) (2000) : 311–318. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00060-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00060-7)
- [92] A. R. Sen, & N. Sharma, Effect of freezing and thawing on the histology and ultrastructure of buffalo muscle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17 (9) (2004) : 1291–1295.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2004.1291>
- [93] Y. N. Nakamura, M. Ando, M. Seoka, K. Kawasaki & Y. Tsukamasa, Changes in physical/chemical composition and histological properties of dorsal and ventral ordinary muscles of full-cycle cultured Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, during chilled storage. *Journal of Food Science*, 71 (2) (2006) : E45–E51. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb08896.x>
- [94] J. R. Lawrence, G. D. W. Swerhone, G. G. Leppard, T. Araki, T. X. Zhang, M. M. West & A. P. Hitchcock, Scanning transmission X-ray, laser scanning, and transmission electron microscopy mapping of the exopolymeric matrix of microbial biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 69 (9) (2003) : 5543–5554. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.9.5543-5554.2003>
- [95] P. J. McClure, Microbiological hazard identification in the meat industry. In *Meat processing improving quality*. New York: CRC Press (2002) : 217–236.
<https://doi.org/10.1533/9781855736443.3.157>
- [96] N. Cohen & H. Karib, Risque hygiénique lié à la présence des *Escherichia coli* dans les viandes et les produits carnés : Un réel problème de santé publique ? Les technologies de laboratoire, 1 (January 2006) : 4–9. [Version électronique]. Disponible sur internet. URL : <https://revues.imist.ma/index.php?journal=technolab&page=article&op=view&path%5B%5D=317>
- [97] G. J. E. Nychas, P.N. Skandamis, C. C. Tassou & K. P. Koutsoumanis, 2008. Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78 (1–2) : 77–89.
- [98] R. P. Fregonesi, R. G. Portes, A. M. M. Aguiar, L. C. Figueira, C. B. Gonçalves, V. Arthur, C. G. Lima, A. M. Fernandes & M. A. Trindade, Irradiated vacuum-packed lamb meat stored under refrigeration: Microbiology, physicochemical stability and sensory acceptance. *Meat Science*, 97 (2) (2014) : 151–155.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.026>
- [99] S. M. Syne, A. Ramsubhag & A. A. Adesiyun, Microbiological hazard analysis of ready to eat meats processed at a food plant in Trinidad, West Indies. *Infection Ecology & Epidemiology*, 3 (6) (2013) : 12. <https://dx.doi.org/10.3402%2Fiee.v3i0.20450>
- [100] E. B. Bingol & O. Ergun, Effects of modified atmosphere packaging (MAP) on the microbiological quality and shelf life of ostrich meat. *Meat Science*, 88 (4) (2011) : 774–785.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.013>
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.013>
- [101] D. I. Ellis, D. Broadhurst, D. B. Kell, J. J. Rowland & R. Goodarce, Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of meat by Fourier transform infrared spectroscopy and machine learning. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (6) (2002) : 2822–2828.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.03.060>. [Version électronique]. Disponible sur internet. URL : <https://aem.asm.org/content/68/6/2822.full>
- [102] I. Tomasevic J., Kuzmanovic A., Andelkovi M., Saračević M., Stojanović M. & Jekic L., The effects of mandatory HACCP implementation on microbiological indicators of process hygiene in meat processing and retail establishments in Serbia. *Meat Science*, 114 (1) (2016) : 54–57.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.008>
- [103] F. Kechrid, 2017. L'importance de One Health pour la sécurité alimentaire dans le monde et rôle majeur du vétérinaire. In *Espace vétérinaire Agérien*. Oran: EVA 12^e édition, p. 3.
- [104] M. Vitalae, 2017. One Health approach to control infections, antimicrobial resistance and assure a major food safety. In *Espace vétérinaire Agérien*. Oran: EVA 12^e édition, p. 5.
- [105] M. Boux, B. Carpentier, G. Durant & J. Y. Leveau, 1991. Techniques bactériologiques d'analyse chimique. In *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires*, Volume 2 : principes des techniques d'analyse. Paris: Lavoisier Tech&Doc (1991) : 367–378.
- [106] A. Di Pinto, V. T. Forte, M. C. Conversano & G. M. Tantilto, Duplex polymerase chain reaction for detection of pork meat in horse meat fresh sausages from Italian retail sources. *Food Control*, 16 (5) (2005) : 391–394.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.04.004>
- [107] S. Ghovvati, M. R. Nassiri, S. Z. Mirhoseini, A. Heravi Moussavi, & A. Javadmanesh, Fraud identification in industrial meat products by multiplex PCR assay. *Food Control*, 20 (8) (2009) : 696–699. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.09.002>
- [108] R. Farrokhi & R. J. Joozani, Identification of pork genome in commercial meat extracts for Halal authentication by SYBR green I real-time PCR. *International Journal of Food Science and Technology*, 46 (5) (2011) : 951–955.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02577.x>
- [109] V. P. Singh & N. Sachan, Meat species-Review. *Meat Science*, 1 (1) (2011) : 15–26. <http://dx.doi.org/10.3923/ijmeat.2011.15.26>
- [110] F. Sauvageot, 1991. Evaluation sensorielle. In : *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro alimentaires*, Volume 2 : principes des techniques d'analyse. 2^{ème} éd. Paris : Lavoisier Tech & Doc (1991) : 382–448.
- [111] R. G. Nute, 2002. Sensory analysis of meat. In *Meat processing improving quality*. pp. 175–190.
- [112] K. Nakyinsige, Y. B. C. Man & A. Q. Sazili, Halal authenticity issues in meat and meat products. *Meat Science*, 91 (3) (2012) : 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.02.015>
- [113] S. Malakauskiene, I. Alioniene, D. Dziugiene, V. Babrauskiene, C. Riedel, T. Adler & M. Malakouskas, Histological analysis for quality evaluation of cured meat. *Veterinarija ir zootechnika (Vet Med Zoot)*, 74 (96) (2016) : 23–26. [Version électronique]. Disponible sur internet. URL : <https://vetzoo.lsmuni.lt/data/vols/2016/74/pdf/malakauskiene.pdf>
- [114] B. E. Prayson, J.T. McMahon & R. A. Prayson, Applying morphologic techniques to evaluate hotdogs: what is in the hotdogs we eat? *Annals of Diagnostic Pathology*, 12 (2) (2008) : 98–102. <https://doi.org/10.1016/j.anndiagpath.2007.04.012>
- [115] K. M. Jonker, J. J. H. C. Tilburg, G. H. Hägele & E. De Boer,

-
- Species identification in meat products using real-time PCR. Food Additives & Contaminants: Part A, 25 (5) (2008) : 527–533. <https://doi.org/10.1080/02652030701584041>
- [116] B. Macé, J. Costentin, A. Défossez & D. Felimann, 2008. Histologie, Bases fondamentales, Roumanille : Omniscience. 365 p. ISBN : 978-2-916097-17-6
- [117] R. Wayne, 2009. Light and Video Microscopy, USA: Academic Press, Elsevier.
- [118] K. Botka-petrak, A. Hraste, H. Luci, Z. Gottstein, D. Martina & S. Jakši, Petrak, Tomislav., Histological and chemical characteristics of mechanically deboned meat of broiler chickens. Veterinarski Arhiv, 81 (2) (2011) : 273–283. [Version électronique]. Disponible sur internet. URL : https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=100600&lang=en