

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université des Frères Mentouri Constantine

INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION ET DES  
TECHNOLOGIES AGRO-ALIMENTAIRES

(I.N.A.T.A.A.)



N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de  
**MAGISTER**  
En Sciences Alimentaires  
Option : Technologie Alimentaire

### Thème

**Effet de l'âge à l'abattage sur les caractéristiques de  
la carcasse et la qualité de la viande des poules  
pondeuses de réformes de la souche ISA (F15)**

Présenté par : M<sup>elle</sup>. HAFID Kahina

Mémoire soutenue publiquement devant le jury le 07-07-2015

#### Devant le jury :

Président : Mr. KHELIFI D.

Prof. – FSNV – UFMC

Examinatrice : Mme. BENATALLAH L.

MC/ A – INATAA – UFMC

Examinatrice : Mme. BECILA S.

MC/ A – INATAA – UFMC

Promoteur : Mr. BOUDJELLAL A.

Prof. – INATAA – UFMC

Année universitaire 2014 – 2015

# Remerciements

*Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le Tout Puissant et le Miséricordieux, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ma formation de magister.*

*Ce mémoire n'aurait jamais été entrepris ni achevé sans la patiente assistance, les savants conseils et orientations, les méticuleux contrôles et suivis, que m'a prodigué mon promoteur, le Professeur A. BOUDJELLAL. Je lui témoigne ici, de ma gratitude et ma reconnaissance.*

*Mon remerciement particulier à Monsieur Mohamed GAGAOUA, celui qui m'a initiée à la recherche dans la protéomique et la science de la viande, pour sa confiance, son encouragement, son aide scientifique et le temps précieux qu'il m'a accordé pour mener à bien mon travail. La confiance que vous m'avez accordée est l'une des plus rares. Ce travail a vu le jour grâce à vous. Nul remerciement ne saura exprimer la grâce de votre aide et soutien.*

*Mes vifs remerciements vont aux membres du jury:*

*Professeur D. KHELIFI., d'avoir accepté la présidence de jury, par ses conseils éclairés il ne fera qu'enrichir cette étude.*

*Madame BENATALLAH L., pour avoir accepté de faire partie du jury, par ses conseils et remarques elle contribuera à améliorer la qualité de ce travail.*

*Madame S. BECILA, pour sa participation à l'évaluation de ce mémoire, ses remarques ne feront qu'apporter un plus à ce travail. Je lui adresse, aussi, ma gratitude pour les conseils, le soutien et les bonnes conditions de travail qu'elle m'a offert.*

*Je tien aussi à remercier Mr ARFAOUI Saleh qui nous a fournis en poules pondeuses ainsi que le personnel du poulailler qui ne nous ont pas privé d'aide et d'informations.*

*A mes chers parents, qui ont tant sacrifié pour la réussite de mes études, nul remerciement ne saura exprimer la grâce de votre présence et soutien.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude spéciale à monsieur TRAD KHOUDJA D. qui m'a toujours encouragé dans mes études.*

*Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des membres de l'équipe MaQuaV à INATAA, Melle Hiba Rima BOUDCHICHA, Ferhat ZIANE, Sabrina NAIT RABAH, Radia BENLACHEHAB, pour leur présence et leur aide. Je suis particulièrement sensible à la confiance, qu'ils m'ont témoignée et aux excellentes conditions du travail qu'ils m'ont assuré.*

*Je remercie les dégustateurs, Meriem SELLAMA, Ibtissem BOURAFA, Khaled Abderrazak HAIDECH, Ferhat ZIANE, Sabrina NAITRABAH, AyetErrahmene BENATALLAH, Abdelaziz BOUDIAF, Abdessamed BOULAKROUN, Sabrina SERGHINE, Abdenacer BOURATOUA, Lina BENSEGHIR, Oussama MOUATS, qui ont toujours été à ma disposition, grâce à eux l'analyse sensorielle s'est déroulée dans de bonnes conditions. Je leur remercie pour leur discipline, disponibilité et patience.*

*Le soutien et l'encouragement de Anouar BOULOUEH, Fatima, Imen LEULMI, Sameh DJEBILI ont été très importants pour la réussite de mes travaux. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde affection.*

*Sans oublier de remercier tous les enseignants de l'INATAA qui ont contribué à notre formation durant notre parcours universitaire.*

## Dédicace

A mon très cher et respectueux père qui m'a tout appris, pour tous les efforts consentis afin de m'armer du savoir, et me voir réussir dans la vie

A mon adorable mère qui a veillé sur mon épanouissement et partagé mes maux et mes angoisses ainsi que ma joie et mon bonheur

A mes sœurs Ahlem et Dihya et mon frères Aymen pour leur affectueux soutien moral

A ma bien aimé deuxième maman, Tata Latifa, qui a toujours été présente dans ma vie pour me soutenir et m'encourager .

A tous ceux qui m'aiment.

---

<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Introduction</b>	1
<b>Partie 1 : Synthèse bibliographique</b>	
<b>1. Structure et propriétés de la viande de volaille</b>	3
1.1. Définitions	3
1.2. Structure du muscle strié squelettique	3
1.3. Composition chimique et valeur nutritive	6
<b>2. Texture et tendreté de la viande</b>	7
2.1. Définitions	7
2.2. Composants responsable de texture de la viande	7
2.3. Acquisition de la tendreté au cours de la transformation du muscle en viande	8
2.4. Causes de la variabilité de la tendreté de la viande	10
2.4.1. Facteurs biologiques	11
2.4.1.1. Espèce	11
2.4.1.2. Type génétique	11
2.4.1.3. Sexe	11
2.4.1.4. Age	12
2.4.1.5. Type de muscle	12
2.4.2. Facteurs technologiques	12
2.4.2.1. Saison	12
2.4.2.2. Jeûne <i>ante mortem</i>	13
2.4.2.3. Conditions de transports	13
2.4.2.4. Température de conservation	13
2.4.2.5. Stimulation électrique	14
2.4.2.6. Effet de la cuisson sur la tendreté	14
<b>3. Méthodes de mesure de la tendreté</b>	15
3.1. Appréciation sensorielles	16
3.2. Mesure instrumentale de tendreté	18
3.2.1. Tests de cisaillement	19
3.2.1.1. Warner-bratzler shear force WBSF	19

---

3.2.1.2. Allo-Kramer shear	21
3.2.1.3. Slice shear force.	21
3.2.1.4. Razor blade	22
3.2.2. Test de pénétration	23
3.2.2.1. Pénétrromètre	23
3.2.2.2. Tendéromètre Armour	24
3.2.3. Test de Compression	25
3.2.3.1. Simple compression	25
3.2.3.2. Texturomètre développé à l'INRA	26
3.2.3.3. Analyse du profile de texture	26
3.2.3.4. Star-shaped probe	27
3.2.4. Test de mastication	28
3.2.4.1. Tendéromètre de Volodkevich ou de MIRINZ	28
3.2.4.2. Texturomètre denture	28
3.2.5. Test d'extension	29
3.2.6. Test de torsion	29
3.3. Mesure Indirecte de tendreté	30
3.3.1. Longueur du sarcomère	30
3.3.4. Indice de fragmentation myofibrillaire	30

## **Partie 2 : Matériel et Méthodes**

<b>1. Matériel biologique</b>	33
<b>2. Préparation des carcasses</b>	33
<b>3. Mesure instrumentale de la dureté de la viande</b>	33
3.1. Préparation des échantillons	33
3.2. Mesure au pénétromètre	34
<b>4. Appréciation sensorielle de la texture</b>	35
4.1. Préparation des échantillons	35
4.2. Dégustateurs	35
4.3. Test sensoriel	36
<b>5. Caractérisation biochimique</b>	37
5.1. Mesure du pH	37
5.2. Capacité de rétention d'eau et pourcentage d'eau reléguée	37
5.3. Perte de cuisson	39

5.4. Indice de fragmentation myofibrillaire	40
5.5. Caractérisation protéolytique des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires	42
5.5.1. Extractions des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires	42
5.5.2. Dosage des protéines musculaires extraites.	43
5.5.3. Préparation des échantillons pour l'électrophorèse	44
5.5.4. Détermination du poids moléculaire (PM) par méthode électrophorétique	44
<b>Partie 3 : Résultats et discussion</b>	
<b>1. Etude de variation due à l'âge</b>	46
<b>2. Recherche de corrélations entre les différents paramètres étudiés</b>	49
2.1. Relation entre l'âge à l'abattage et les autres variables étudiées	49
2.2. Relation entre les attributs sensoriels	52
2.3. Relation entre la mesure instrumentale et l'analyse sensorielle	52
2.4. Relation entre l'indice de fragmentation myofibrillaire et la tendreté	55
2.5. Relation entre le pH et les autres variables	55
2.6. Relation entre les pertes en eau et les autres variables	56
<b>3. Visualisation des relations entre les paramètres étudiés</b>	57
<b>4. Modèles de prédiction des attributs sensoriels</b>	58
<b>5. Caractérisation électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires</b>	62
5.1. Caractérisation électrophorétiques des protéines myofibrillaires	62
5.2. Caractérisation électrophorétiques des protéines Sarcoplasmiques	65
5.3. Comparaison des profils électrophorétiques des protéines des deux âges	66
<b>Conclusion</b>	68
<b>Références bibliographiques</b>	70
<b>Publication et communications</b>	
<b>Annexes</b>	

## Liste de tableaux

<b>Tableau 1.</b> Composition chimique des différentes parties de la carcasse de poulet (Deumier 2000). .....	6
<b>Tableau 2 :</b> Définition des attributs évalués durant les analyses sensorielles de la viande (Peachey <i>et al.</i> 2002). .....	36
<b>Tableau 3 :</b> Analyse de Variance (moyennes $\pm$ écarts-types) sur les des paramètres mécaniques, biochimiques et sensorielles du muscle <i>Superficial pectoral</i> des deux groupes de poules pondeuses étudiés. ....	46
<b>Tableau 4 :</b> Coefficients de corrélation Spearman entre les variables étudiées pour toutes les poules en un seul batch en utilisant les valeurs centrées réduites (z-scores) après standardisation de l'effet âge. ....	50
<b>Tableau 5 :</b> Coefficients de corrélation Spearman entre les variables étudiées pour les poules du groupe 1 (plus âgées). ....	51
<b>Tableau 6 :</b> Coefficients de corrélation Spearman entre les variables étudiées pour les poules du groupe 2 (moyennement âgées). ....	51
<b>Tableau 7 :</b> Résumé des résultats des études choisies rapportant des corrélations entre les mesures sensorielles et instrumentales de la tendreté du muscle <i>superficialis pectoral</i> du poulet. ....	54
<b>Tableau 8 :</b> Modèles de régressions pour la prédiction des attributs sensoriels par les attributs sensoriels.....	60
<b>Tableau 9 :</b> Modèles de régressions pour la prédiction des attributs sensoriels par les paramètres technologiques.....	60

## Liste de figure

<b>Figure 1 :</b> Anatomie du muscle strié squelettique au niveau macroscopique et microscopique (adapté de (Tortora <i>et al.</i> 1994).....	4
<b>Figure 2 :</b> Les différentes phases de transformation du muscle en viande (Ouali <i>et al.</i> 2005). .....	9
<b>Figure 3:</b> Evolution de la contrainte maximum et du travail total en fonction de la température de cuisson (Combes <i>et al.</i> 2001). .....	15
<b>Figure 4:</b> Différents tests de l'analyse de la texture: (a) cisaillement; (b) pénétration; (c) compression, qui peut simple ou double pour le test de l'analyse du profil de texture; (d) tension; (e) torsion ; (f) mastication (Illustré par O. Barbut, School of Engineering, University of Toronto, Canada.) (Barbut 2009) .....	18
<b>Figure 5:</b> Image du dispositif de Warner-Bratzler (Shackelford & Wheeler 2009). .....	20
<b>Figure 6:</b> Schématisation du test de Warner-Bratzler (Roudot 2002). .....	20
<b>Figure 7:</b> Image du dispositif de Allo-kramer shear.....	21
<b>Figure 8:</b> Image du dispositif de Slice shear force (Shackelford & Wheeler 2009).....	22
<b>Figure 9:</b> Image d'un Razor blade shear (Cavitt <i>et al.</i> 2004). .....	22
<b>Figure 10:</b> Image du pénétromètre PNR 10 Petrotest. ....	23
<b>Figure 11:</b> Tendéromètre d' Armour (Herring 1976) .....	25
<b>Figure 12:</b> Texturomètre développé par l'INRA (Evrat-Georgel 2008). .....	26
<b>Figure 13:</b> Analyse du profil de texture (TPA) (Bourne 2002) .....	27
<b>Figure 14:</b> La mâchoire de Volodkevich et sa courbe typique (Cruz <i>et al.</i> 2014).....	28
<b>Figure 15:</b> Les poignés de tension (Cruz <i>et al.</i> 2014).....	29
<b>Figure 16 :</b> Méthodologie adoptée pour la caractérisation de la viande de poule pondeuse en fonction de l'âge à l'abattage. ....	32
<b>Figure 17 :</b> Les étapes de préparation des échantillons de viande pour l'analyse instrumentale. ....	33
<b>Figure 18 :</b> Image montrant le principe d'utilisation du pénétromètre (PETROTEST PNR10) sur un morceau de viande.....	34
<b>Figure 19 :</b> Schéma globale de mesure du pH. ....	37
<b>Figure 20.</b> Les étapes de mesure de la capacité de rétention d'eau(CRE) et pourcentage d'eau reléguée PRW (Pla et Apolinar, 2000 adapté par Gagaoua, 2014-communication personnelle). ....	39
<b>Figure 21.</b> Etapes de mesure des perte en eau à la cuisson (Pascual & Pla 2007). .....	40
<b>Figure 22.</b> Schéma récapitulatif de la détermination de l'indice de fragmentation	41



myofibrillaire (Culler *et al.* 1978 modifié par Li *et al.* 2012)

<b>Figure.23 :</b> Schéma de l'extraction des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires (Joo <i>et al.</i> , 1999). .....	43
<b>Figure 24 :</b> Analyse en composantes principales (PC). <b>a)</b> Projection des variables étudiés dans les deux premiers axes. <b>b)</b> Bi-plot des observations des animaux correspondant au groupe 1 (les poules âgées en jaune) et groupe 2 (les poules jeunes en rose). <b>c)</b> Coefficients des vecteurs des variables sur les deux premiers axes.....	58
<b>Figure 25 :</b> Profils électrophorétiques des protéines myofibrillaires des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 49 semaines sur SDS PAGE à 12%.....	63
<b>Figure 26 :</b> Profils électrophorétiques des protéines myofibrillaires des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 32 semaines sur SDS PAGE à 12%.....	63
<b>Figure 27 :</b> Profils électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 49semaines sur SDS PAGE à 12%.....	65
<b>Figure 28 :</b> Profils électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 32 semaines sur SDS PAGE à 12%.....	66
<b>Figure 29 :</b> Comparaison des profils électrophorétiques des protéines a) sarcoplasmique et b) myofibrillaires des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 49 (âgées) et 32 semaines (moyennement âgées) sur SDS PAGE à 12%.....	67
<b>Figure 30:</b> Représentation schématique d'un pénétromètre (PETROTEST PNR 10).	
<b>Figure 31:</b> Courbe d'étalonnage du dosage des protéines par la méthode Bradford pour ladéterminationde l'indice de fragmentation myofibrillaire. ....	
<b>Figure 32:</b> Courbe d'étalonnage du dosage des extraits protéiques (protéines myofibrillaires et sarcoplasmiques). ....	
<b>Figure 33 :</b> Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines myofibrillaires des poules âgées (Figure 25). ....	
<b>Figure 34 :</b> Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines myofibrillaires des poules moyennement âgées (Figure 26).....	
<b>Figure 35 :</b> Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines sarcoplasmiques des poules âgées (Figure 27).....	
<b>Figure 36 :</b> Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines sarcoplasmiques des poules moyennement âgées (Figure 28).....	

---

## Liste des abréviations

**ATP** : Adenosine triphosphate

**BSA** : Sérumalbumine bovine

**CRE** Capacité de rétention d'eau

**D.O.** : Densité optique

**DTT** : Dithiothréitol

**EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétracétique

**IFM** Indice de fragmentation myofibrillaire

**J** joule

**kDa** kilo Dalton

**MCE** :  $\beta$ -mercapto-éthanol

**N** newton

**PAGE** : Electrophorèse sur gel de polyacrylamide

**PC** Pertes de cuisson

**PER** pourcentage d'eau reléguée

**pH** : potentiel d'hydrogène

**PM** : Poids moléculaire

**SDS** : Sodium Dodécyl Sulfate

**TEMED** : N, N , N',N'-tétraméthyléthylène diamine

**TPA** Texture Profile Analysis

**WB, WBS** ou **WBSF** Warner-Bratzler shear force

**$\mu\text{m}$**  : micromètre

---

# Introduction

En Algérie, la filière avicole a connu, depuis les années 1980, un essor considérable (Kaci 2015). Portées par l'engouement des consommateurs pour les produits d'origine avicole, la production et la consommation de la viande de volaille s'est développée grâce à la diversification des pratiques de présentation (entier, morceaux découpés, charcuterie. Etc.) et aux importants efforts et investissements consentis par le secteur privé et public (Alloui *et al.* 2003). En effet, cette viande blanche offre de nombreux avantages : moins onéreuse que d'autres produits carnés, diététique, et s'adapte à la plupart des climats comme aux pratiques culturelles des différents pays. De plus, elle ne tombe sous le coup d'aucun interdit religieux et peut être produite même par des agricultures faiblement capitalisées pour lesquelles elle peut constituer un levier de décollage (Malpel *et al.* 2014).

La consommation de volaille (particulièrement le poulet) est en croissance permanente en Algérie où elle est étée de 7.5 kg par an par habitant en 1993 (Ayachi 2010) et elle est de 8kg par an par habitant en 2014 (Kaci 2015). Cette croissance semble devoir se poursuivre selon les projections des experts (Malpel *et al.* 2014). De ce fait, l'aviculture algérienne produit entre 350 et 475 mille tonnes de viande de volailles (soit environ 240 millions de poulets par an) (Alloui 2011).

Le développement et l'évolution du marché des viandes nécessitent une meilleure maîtrise de la qualité de ces produits. Différentes caractéristiques contribuent à la qualité globale de la viande et qui sont l'aspect, la texture, la jutosité et le goût. Parmi ces caractéristiques, la texture, qui englobe tendreté et jutosité, est considérée comme le critère le plus important pour les consommateurs (Wattanachant 2008).

En outre, en Algérie, il y a une expansion intense de production d'œufs menant à l'abondance des poules pondeuses. La viande de cette catégorie de volaille est jugée à tort comme étant dure par les consommateurs. Or, il a été rapporté par de nombreuses études que c'est une viande qui possède des qualités organoleptiques et nutritionnelles très intéressantes (Lee *et al.* 2003; Chueachuaychoo *et al.* 2011; Ramane *et al.* 2012; Biswas *et al.* 2014; Mishra *et al.* 2015). De plus, la maîtrise de la variabilité de la texture de la viande est, par conséquent, l'un des enjeux majeurs de la filière viande. Diverses méthodes ont été développées pour permettre, approximativement, de mesurer et de classer la tendreté de la viande (Coibion 2008). La méthode qui permet d'approcher au plus près l'ensemble des perceptions définissant la tendreté demeure l'analyse sensorielle par un jury de dégustation

(Gagaoua *et al.* 2013). Cependant, cette méthode est jugée très laborieuse et sa mise en place nécessite beaucoup de temps (Combes *et al.* 2000). Afin de y remédier, les chercheurs se sont dirigés vers les techniques instrumentales basées sur les propriétés biochimiques ou mécaniques du muscle (Saláková 2012 ; Becila *et al.* 2014 ; Soltanizadeh & Kadivar 2014).

Afin d'apporter les éléments de réponses et caractériser la viande produite par les poules pondeuses reproductrices de réformes produites en Algérie, ce travail avait pour premier objectif tester le potentiel d'utilisation du pénétromètre pour la prédiction de la tendreté de la viande des poules pondeuses de réforme afin de proposer aux industriels un outil simple permettant de statuer sur le devenir des carcasses, à savoir la consommation directe par les consommateurs ou la transformation en produits de charcuteries. Le second objectif est la caractérisation de la viande de la souche ISA F15 en fonction de l'âge d'abattage.

**Partie1 :**

**Synthèse  
bibliographique**

La synthèse bibliographique sera consacrée à la structure et la composition du muscle squelettique du poulet, Nous aborderons également les différents facteurs affectant la qualité de la viande de volaille principalement sa texture. Le dernier volet de cette partie portera sur les différentes méthodes de mesure de la texture de la viande.

## 1. Structure et propriétés de la viande de volaille

### 1.1. Définitions

Selon Staron (1982), on appelle **viande** la chair des animaux dont on a coutume de se nourrir. Dans ce vocabulaire on inclut la chair des mammifères, des oiseaux et quelque fois des poissons. Les viandes se caractérisent par une très grande hétérogénéité, elles sont principalement constitué de muscle strié squelettique qui comporte aussi des tissus (tissu conjonctif, tissu adipeux, parfois des os et de la peau) en quantité très variables selon les espèces, les races, les régimes alimentaires et la région anatomique concernée.

Une **volaille** est un oiseau domestique, appartenant généralement aux Gallinacés ou aux palmipèdes, élevée pour sa chair ou ses œufs, La volaille est un terme collectif englobant l'ensemble des oiseaux de basse-cour, qui font l'objet de l'aviculture (Van Der Horst 2014).

Les volailles les plus courantes sont, par ordre de masse/taille décroissante (Van Der Horst 2014) :

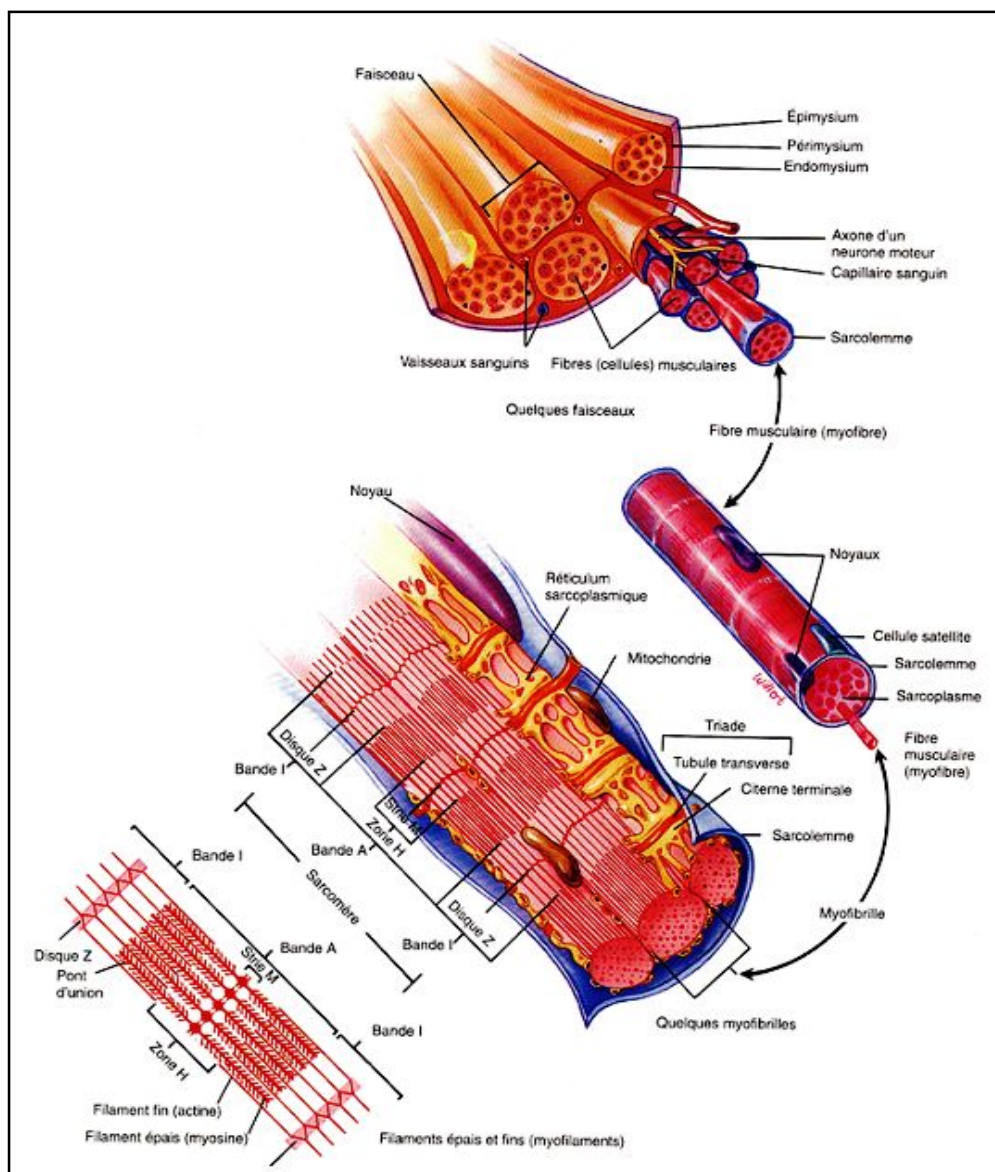
- L'oie (le mâle est le jars, le petit l'oison) ;
- La dinde (le mâle est le dindon, le jeune mâle le dindonneau) ;
- La poule (le mâle s'appelle le coq, et la volaille élevée pour sa chair le poulet). On vend aussi des petits poulets sous le nom de coquelets. L'œuf de poule est de loin l'œuf le plus courant dans la consommation humaine;
- Le canard (la femelle est la cane, le petit le caneton) ;
- La pintade.

### 1.2. Structure du muscle strié squelettique

Le muscle strié squelettique est une structure hétérogène qui se transforme après la mort de l'animal en viande. La connaissance de la structure et de la composition de ce muscle est indispensable à la compréhension des phénomènes déterminants la qualité de la viande.

Le **tissu musculaire** représente 40 à 50 % du poids vif des animaux domestiques élevés pour la production de viande (Jurie & Listart 2010). Il est essentiellement composé de fibres musculaires enveloppées dans plusieurs niveaux de tissu conjonctif. La figure 1

présente la hiérarchisation de la structure du muscle strié squelettique de l'extérieur vers l'intérieur. Le muscle est recouvert d'une enveloppe fibreuse de tissu conjonctif (dense) appelée épimysium. Elle permet de séparer un muscle de l'autre. Dans la plupart des muscles, Il est continu avec le tendon pour lier le muscle à l'os. Vers l'intérieur, se trouve le tissu conjonctif intramusculaire appelé périmysium qui regroupe les fibres musculaires en faisceaux. Ce dernier est un tissu conjonctif lâche, qui est formé de cellules et d'une matrice extracellulaire contenant les lipides intramusculaires et le système vasculaire et nerveux qui alimentent les fibres. Il s'étend jusqu'à l'endomysium qui entoure la fibre musculaire (Lüllmann-Rauch & Sprumont 2008).



**Figure 1** : Anatomie du muscle strié squelettique au niveau macroscopique et microscopique (adapté de (Tortora *et al.* 1994).



La **fibre musculaire** représente la cellule musculaire striée. Elle est entourée d'une membrane plasmique, appelée sarcolemme, alimentée par un vaisseau sanguin et innervée. Son cytoplasme, ou sarcomplasme, contient 75 à 85% d'eau, jusqu'à 100 noyaux, des protéines solubles, des granules de glycogène et des myofibrilles. La myofibrille constitue l'élément contractile de la cellule. En microscopie électronique, elle apparaît en cylindre présentant une alternance de bandes sombres A (anisotropes) et de bandes claires I (isotropes). La partie centrale de la bande I est marquée par la strie Z. Une bande A délimitée par deux demi-bande I est appelée sarcomère (Lieber 2002).

Le **sarcomère** est l'unité structurale et contractile de base du muscle strié. Il s'étend entre deux disques Z, composé d'alignement de filaments épais et fins et de leurs structures d'attache. Les filaments fins s'interpénètrent entre les filaments épais. La longueur normale du sarcomère dans un muscle au repos est de 2  $\mu\text{m}$ . Cette longueur diminue lors de la contraction jusqu'à 70% de sa longueur au repos. Le sarcomère est constitué d'au moins 28 protéines différentes, dont la myosine et l'actine sont les protéines majoritaires des filaments épais et fins respectivement (Lodish *et al.* 2005).

On distingue trois principaux types de fibres musculaires squelettiques, variant selon leur teneur en myoglobine, nommées fibres rouges, fibres intermédiaires ou fibres blanches (Tortora *et al.* 1994). La myoglobine est une protéine qui emmagasine l'oxygène à l'intérieur du muscle. Les fibres rouges possèdent plus de mitochondries et de capillaires que les blanches. Les types de fibres possèdent aussi des métabolismes différents, comme une teneur variée en ATPase (adénosine-triphosphatase), résultant en différentes vitesses de contraction et différentes résistances à la fatigue. La classification se dessine ainsi :

- Fibres **rouge** de Type I: fibres oxydatives à contraction lente et résistantes à la fatigue. Ces fibres contiennent beaucoup de myoglobine, de mitochondries et de capillaires. Ce sont des fibres qui scindent lentement l'ATP (adénosine-triphosphate) et sont petites en diamètre ;
- Fibres **intermédiaires** de Type IIA: fibres oxydatives à contraction rapide et résistantes à la fatigue. Ces fibres contiennent beaucoup de myoglobine, de mitochondries et de capillaires mais, elles possèdent une coloration intermédiaire ;
- Fibres **blanches** de Type IIB: fibres glycolytiques à contraction rapide et sensibles à la fatigue. Ces fibres contiennent peu de myoglobine, de mitochondries et de capillaires. Elles ont une haute teneur en glycogène et possèdent le plus grand diamètre.

le muscle pectoral du poulet est presque à 100 % glycolytiques et à contraction rapide (Papinaho *et al.* 1996; El Rammouz 2005)

### 1.3. Composition chimique et valeur nutritive

La composition globale des muscles est variable entre animaux (espèce, état d'engraissement de l'animal) et chez un animal d'un muscle à l'autre. D'après (Deumier 2000), la viande de volaille contient 73 à 78 % d'eau, 18 à 24 % de protéines, 0,5 à 7,5 % de lipides et environ 1 % de minéraux (Tableau.1).

**Tableau 1.** Composition chimique des différentes parties de la carcasse de poulet (Deumier 2000).

	Masse (g)	Composition (%)				Rapport Collagène/ Protéines
		Eau	Protéines	Lipides	Cendres	
Filet	184 <sup>1</sup>	74,0 <sup>1</sup>	23,5 <sup>1</sup>	1,5 <sup>1</sup>	1,0 <sup>1</sup>	1,5-2,5 <sup>1</sup>
		74,2 <sup>2</sup>	23,8 <sup>2</sup>	0,89 <sup>2</sup>	1,15 <sup>2</sup>	
		74,2 <sup>3</sup>	23,31 <sup>3</sup>	1,63 <sup>3</sup>	1,14 <sup>3</sup>	
		75,2 <sup>4</sup>	22,4 <sup>4</sup>	1,5 <sup>4</sup>		
		74,8 <sup>5</sup>	23,1 <sup>5</sup>	1,2 <sup>5</sup>	1,0 <sup>5</sup>	
Cuisse	nd	72,8 <sup>2</sup>	18,32 <sup>2</sup>	7,67 <sup>2</sup>	1,02 <sup>2</sup>	5-8 <sup>1</sup>
		73,3 <sup>4</sup>	19,0 <sup>4</sup>	6,2 <sup>4</sup>		
		75,8 <sup>5</sup>	19,7 <sup>5</sup>	3,9 <sup>5</sup>	1,0 <sup>5</sup>	
Peau	nd	35-40 <sup>1</sup>	9-12 <sup>1</sup>	45-50 <sup>1</sup>	0,4-0,6 <sup>1</sup>	47-56 <sup>1</sup>
		54,2 <sup>5</sup>	13,3 <sup>5</sup>	32,4 <sup>5</sup>	0,4 <sup>5</sup>	

nd : absence de données ; <sup>1</sup> Paquin, 1988 ; <sup>2</sup> Hamm et al., 1980 ; <sup>3</sup> Smith et al., 1993 ; <sup>4</sup> Xiong et al., 1993 ; <sup>5</sup> USDA, 1997 ;

Selon Paquin & Rosset (1988), la viande de poulet et celle des autres volailles ont les caractéristiques nutritionnelles suivantes :

- Digestibilité élevée due à une teneur en collagène réduite ; richesse en protéine myofibrillaire;
- Faible teneur en graisse ; teneur la plus élevée en acides gras insaturés de toutes les viandes (à égalité avec le lapin). Ainsi, les viandes de volaille correspondent bien aux recommandations nutritionnelles actuelles et aux besoins de la vie moderne.

La volaille est une excellente source de protéine à haute valeur biologique parce qu'elle contient tous les acides aminés essentiels pour la nutrition humaine. Les protéines de viande sont généralement groupées dans trois catégories : Les protéines sarcoplasmiques, les protéines myofibrillaires et les protéines de stroma (protéine de tissu connectif). Les protéines myofibrillaires constituent la fraction principale des protéines de la viande et représentent approximativement 50% de protéines totales du tissu musculaire. Le collagène, molécules fibreuses, est le constituant principal des protéines du tissu conjonctif et explique environ 2 à 6% de poids sec de muscle (Roy *et al.* 2006).

## 2. Texture et tendreté de la viande

### 2.1. Définitions

La **texture** constitue un critère de base pour l'évaluation de la qualité de la viande. Elle réfère, surtout, à ces propriétés mécaniques. Ces dernières, en retour, sont étroitement liées aux caractéristiques des composants structuraux de la viande (Lepetit & Culioli 1994). La texture, selon Oryl (2004), est le signe externe de la structure interne du produit, et tout changement dans la structure se manifeste immédiatement dans les altérations des caractéristiques de la texture.

La **tendreté** correspond à une somme de sensations perçues lors de la mastication de la viande et désigne la facilité avec laquelle celle-ci se laisse trancher ou mastiquer (Ouali *et al.* 2006b). À l'inverse, la dureté désigne la résistance que la viande présente au tranchage ou à la mastication (Evrat-Georgel 2008).

### 2.2. Composants responsables de texture de la viande

La tendreté dépend de deux composantes protéiques structurales. La première correspond aux **myofibrilles**, plus particulièrement aux protéines constitutives des myofibrilles et aux différentes protéines qui leur sont associées et qui en assurent l'intégrité structurale. Les myofibrilles jouent un rôle important après l'abattage, au cours de la transformation du muscle en viande car c'est leur évolution qui est à l'origine de l'attendrissage de la viande. En effet, la protéolyse ménagée qui a lieu après la mort de l'animal, favorisera la fragilisation de la structure myofibrillaire sous l'action de différents systèmes protéolytiques (Koochmaraie *et al.* 2002). La seconde composante musculaire correspond au tissu conjonctif et plus précisément au **collagène**. Le collagène est la protéine la plus abondante de la matrice extracellulaire. Elle représente, selon le muscle, jusqu'à 15% de la matière sèche (Purslow 2005). Vingt-six variants génétiques ont été identifiés, regroupés

en 21 types. Ils sont tous formés d'une triple hélice constituée de chaînes  $\alpha$  polypeptidiques donnant une superstructure dans la matrice extracellulaire (Lepetit 2008).

Les proportions des différents types de collagène varient essentiellement en fonction de l'âge, du sexe, et du type de muscle de l'animal (Listrat *et al.* 2000). Du fait de sa résistance importante, le collagène donne au muscle sa dureté de base. La viande sera donc d'autant plus dure que sa teneur en collagène sera élevée et que sa solubilité, qui reflète le degré des liaisons existantes entre les molécules, sera faible (Cartier & Moevi 2007).

Les différents constituants du muscle (Figure 1) ont un grand effet sur la tendreté de la viande. Plusieurs travaux réalisés (Dransfield *et al.* 2003; Jeremiah *et al.* 2003; Riley *et al.* 2005) ont mis en évidence de fortes corrélations négatives entre la tendreté et la teneur en collagène. Alors que l'étude de (Choi *et al.* 2013) a montré que le nombre et la taille des fibres musculaires avaient un effet considérable sur la variation de la tendreté. En effet, plus la taille des fibres est faible plus la viande est tendre (Lepetit 2008). Aussi Brooks & Savell (2004), Oryl (2004) et An *et al.* (2010) ont montré que, en plus de la taille des fibres, l'épaisseur du périnysium et de l'épinysium avaient un effet sur la tendreté de la viande.

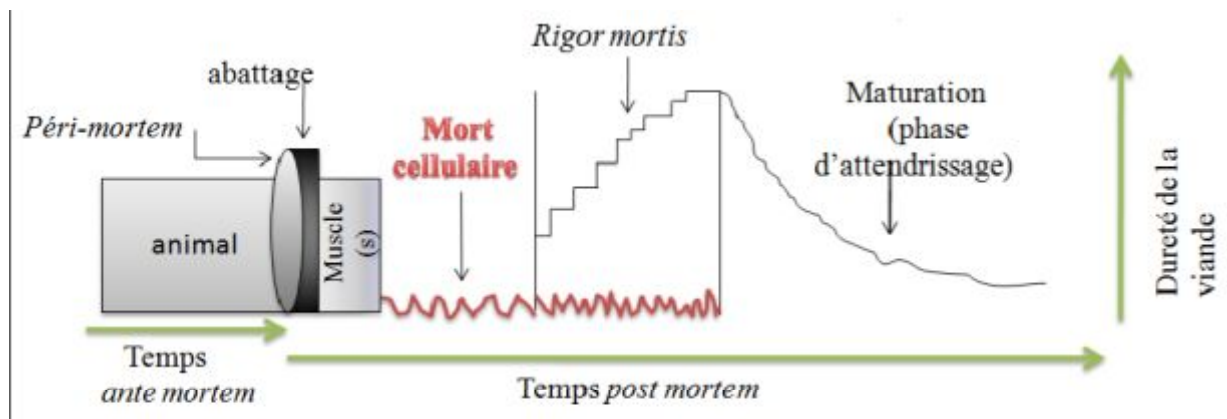
La **longueur du sarcomère** a aussi une influence sur la tendreté. Weaver *et al.* (2008) ont montré qu'une fibre ayant subi un raccourcissement présente une force de cisaillement supérieure à une fibre dont la longueur est augmentée.

En plus de la taille et du nombre des fibres et la teneur du collagène et sa solubilité, la teneur en **lipides** intramusculaires joue un rôle dans la variabilité de la tendreté de la viande. En effet, un certain nombre de travaux ont mis en évidence une relation entre la tendreté et la teneur en lipides intramusculaires (Fiems *et al.* 2000; Christensen *et al.* 2011). Dans ce cas, deux points sont mis en évidence, d'une part, les animaux ayant une couverture adipeuse plus épaisse sont mieux protégés contre la contracture au froid en cas de réfrigération rapide. D'autre part, la teneur en lipides intramusculaires peut intervenir dans la texture de la viande après cuisson, d'autant plus que la température de cuisson est élevée.

### **2.3. Acquisition de la tendreté au cours de la transformation du muscle en viande**

La conversion du muscle en viande est un processus complexe dans lequel tous les mécanismes responsables du développement des qualités de viande sont interdépendants (Ouali *et al.* 2006b). Au cours de la transformation du muscle en viande, le muscle passe

successivement par trois phases différentes (Figure 2) qui sont la mort cellulaire programmée (apoptose), la rigor mortis et la maturation :



**Figure 2** : Les différentes phases de transformation du muscle en viande (Ouali *et al.* 2006a).

### 2.3.1. Mort cellulaire programmée (Apoptose)

Lors de l'abattage, l'exsanguination de la carcasse prive les cellules de nutriments et d'oxygène. Face à cet environnement extrême, les cellules musculaires s'engagent dans le processus de la mort cellulaire programmée ou apoptose. Son intervention très précoce est un élément essentiel facilitant l'action des autres systèmes protéolytiques (Ouali *et al.* 2006a).

Le processus apoptotique se déroule, en général, selon un programme relativement précis, caractérisé successivement par une phase d'initiation, dépendante de la nature du stimulus et du type de cellule, suivie d'une phase d'exécution via les **caspases** effectrices. Une intervention immédiate de ces peptidases apporterait la réponse aux affirmations attestant que les premières heures qui suivent l'abattage sont essentielles pour le bon déroulement de la maturation des viandes (Herrera-Mendez *et al.* 2006).

### 2.3.2. Installation de la rigidité cadavérique ou *Rigor mortis*

La période d'installation de la rigidité où une chute rapide des réserves énergétiques est observée. Elle s'accompagne de l'acidification et l'inextensibilité du muscle, la dureté est alors maximale. Sa durée est notamment dépendante du type musculaire (Ouali 1990).

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. 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 5,4 et 6. 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 (Santé *et al.* 2001).

### **2.3.3. Maturation**

C'est durant la phase de maturation du muscle, que la viande commence à s'attendrir. Elle correspond à l'étape la plus importante car elle conduit à une augmentation de la tendreté de la viande. Ce processus de maturation est le résultat principalement de mécanismes enzymatiques qui conduisent à la dégradation partielle (protéolyse ménagée) des constituants myofibrillaires et donc à leur fragilisation structurale. Plusieurs systèmes enzymatiques semblent impliqués, au niveau du tissu musculaire, et agissent conjointement sur la maturation. Parmi les différents systèmes évoqués figurent les cathepsines lysosomales, le couple calpaïnes/calpastatine, système certainement le plus étudié, les protéases à sérine, les matrixines, le protéasome, et les caspases (Blanchet 2010). Ces systèmes protéolytiques vont briser les liens inter et intra myofibrilles, les liaisons myofibrille - sacrolème, et l'attachement des cellules musculaires à la lame basale. Il s'agit d'une protéolyse ménagée qui va détendre progressivement le muscle dont le but de l'obtention d'une valeur de tendreté maximale (Ouali 1991).

Selon Ouali (1991) la maturation commence dès la mort de l'animal et les conditions d'installation de la rigidité cadavérique sont déterminantes pour le bon déroulement de la maturation. En effet, l'activité de ces systèmes enzymatiques dépend de la température, ainsi que de la vitesse et de l'amplitude de la chute du pH (Blanchet 2010).

## **2.4. Causes de la variabilité de la tendreté de la viande**

La tendreté de la viande dépend de nombreux facteurs tels que les facteurs biologiques liés à l'animal (l'espèce, la race, l'âge, le sexe, et le type de muscle) et les facteurs technologiques (conditions d'abattage, conservation et cuisson) responsable d'une grande variabilité qu'il convient de maîtriser au maximum.

## 2.4.1. Facteurs biologiques

### 2.4.1.1. Espèce

La vitesse de maturation ou d'attendrissage des viandes est très différente en fonction de l'espèce animale. Ainsi, l'attendrissage à 4°C, est complet en 2 jours pour le poulet, 5 jours pour le porc, 7 jours pour le mouton et 10 jours pour le lapin et le bœuf (Blanchard & Mantle 1996).

Les raisons de ces différentes vitesses de maturation ne sont pas encore bien comprises. Le potentiel enzymatique, qui se traduit par une dégradation plus ou moins rapide des protéines musculaires, serait responsable de cette variation (Ouali & Talmant 1990).

### 2.4.1.2. Type génétique

L'effet du type génétique sur la tendreté a fait l'objet de plusieurs études. Farmer *et al.* (1997), en comparant les deux types génétiques Ross (croissance rapide) et ISA (croissance lente), rapportent des différences significatives au niveau de la tendreté entre ces derniers. Ces auteurs rapportent que les poulets de souche ISA présente un muscle pectoral plus tendre et plus consistant alors que les poulets Ross ont des cuisses plus tendres. Ce qui est en concordance avec le résultats de Chambers *et al.* (1989) sur la viande de cuisse, mais ils n'ont pas trouvé de différence significative dans la tendreté entre ces deux types génétique.

Aussi, plusieurs études de montrent que les poulets *Label* possèdent des critères de différenciation par rapport aux poulets de type *Standard* ; en effet ces deux types de produits se distinguent sur la base de la texture qui est plus ferme chez le poulet *Label*. (Touraille *et al.* 1985) ; Culioli *et al.* 1990 et Sauveur 1997).

### 2.4.1.3. Sexe

Le sexe de l'animal influe sur la tendreté. La viande de males est généralement considérée comme plus dure que celle des femelles (Kim *et al.* 2007; Jeleníková *et al.* 2008), cette différence est liée à la teneur en collagène plus élevée chez les males (Clinquart *et al.* 2000) car l'augmentation de la testostérone des males augmente le total du collagène (Beriain *et al.* 2000).

Dans l'étude de Ricard & Touraille (1988) le muscle pectoral des poulets femelles âgés de 8 à 12 semaines est jugé plus tendre et plus juteux que celui des mâles. Par contre

Culioli *et al.* (1990) rapportent que , lorsque les animaux atteignent leur maturité sexuelle, les filets des poulets Standard femelles sont plus durs que ceux des mâles.

#### **2.4.1.4. Age**

Les caractéristiques sensorielles des viandes de volaille sont étroitement liées à l'âge d'abattage indépendamment du poids vif. En effet au cours de leur croissance et avec l'âge, les muscles subissent des modifications physicochimiques : la quantité de collagène augmente, les liaisons covalentes entre les molécules de collagène s'accroissent (ce qui conduit à une diminution de sa solubilité), la teneur en graisse diminue et la proportion en acides gras saturés augmente. La conséquence de ces modifications est une viande de volaille plus ferme présentant une flaveur plus intense (Nakamura *et al.* 1975; Sonaiya *et al.* 1990; Maltin *et al.* 2003).

#### **2.4.1.5. Type de muscle**

Le type de muscle est très important pour la tendreté de la viande. Le temps optimum de maturation varie selon les muscles. En fonction de leur position dans les carcasses et leur rôle physiologiques *in vivo*, les muscles sont plus au moins riches en tissu conjonctif et présentent donc une dureté de base plus au moins importante (Valin 1995).

Le muscle *biceps femoris* (la cuisse) est le muscle de poulet le plus dur, tandis que le muscle pectoral est le plus tendre (Liu *et al.* 1996; Wattanachant *et al.* 2004).

### **2.4.2. Facteurs technologiques**

Les facteurs technologiques influencent de façon certaine l'attendrissage de la viande et le niveau final de tendreté. Ainsi, la préparation et la conservation de la carcasse sont des éléments qui conditionneront le bon déroulement du phénomène de maturation *post mortem* du muscle en viande. De même, la tendreté sera dépendante de la méthode de cuisson de la viande. Celle-ci varie d'ailleurs selon les études et les pays en fonction des habitudes de consommation. Ainsi, une cuisson ou une conservation dans des température inappropriées détériorera les qualités gustatives de la viande.

#### **2.4.2.1. Saison**

Simpson & Goodwin (1975) et Hargus & Lee. (1993) ont montré que la saison a une influence sur la tendreté de la viande des poulets. Le muscle pectoral présente un pH et un



pouvoir de rétention d'eau plus élevés pendant la saison froide et par conséquent une viande plus tendre.

#### **2.4.2.2. Jeûne *ante mortem***

Lyon *et al.* (1991) rapportent que le jeûne avant l'abattage influence la tendreté du muscle pectoral de poulet. Ces derniers montrent que la force de cisaillement du muscle pectoral cuit diminue avec l'augmentation de la période de jeûne *ante mortem* (0 à 16h de jeûne). Les animaux mis à jeûne pendant 18 h avant l'abattage présentent une moindre quantité de glycogène associée à un pH ultime plus élevé. Le résultat est donc un pouvoir de rétention d'eau plus important (de faibles pertes à la cuisson) et par la suite une viande plus tendre après la cuisson.

#### **2.4.2.3. Conditions de transports**

Ehinger (1977) et Cashman *et al.* (1989) ont observé, que le transport avant l'abattage réduit la tendreté de la viande des poulets. Ce résultat est confirmé par Mielnik & Kolstad (1991), qui rapportent que la force de cisaillement du *Pectoralis major* augmente avec le temps de transport.

En effet, lors de leur transfert du lieu d'élevage jusqu'au poste d'abattage, les animaux sont soumis à un certain nombre de traitements liés aux opérations indispensables que sont la mise à jeun, le chargement, le transport, le déchargement, l'amenée au poste d'abattage, le changement d'environnement physique et social etc. Même conduites avec soin, ces opérations sont à l'origine de traumatismes et de stress importants. Ces réactions de stress entraînent des modifications du métabolisme musculaire avant et après la mort de l'animal, et par ce biais, ont une influence sur les qualités sensorielles des viandes. En effet, le stress avant l'abattage accélère la chute du pH en augmentant l'activité ATPasique du muscle accompagné par l'épuisement des réserves en glycogène conduisant à des viandes dure (Berri *et al.* 2001).

#### **2.4.2.4. Température de conservation**

La température *post mortem* de la carcasse a un effet primordial sur le développement de la *rigor mortis*. Schneider *et al.* (2012) rapportent que les carcasses exposées à des températures *post mortem* élevées (>30°C) présentent une glycolyse musculaire plus rapide et donnent des viandes moins tendres, alors qu'une température *post mortem* basse (< 10°C) ralentit la glycolyse mais ne diminue pas la tendreté.

La congélation semble avoir un rôle bénéfique sur le processus de maturation, si elle a lieu post rigor. Cet effet bénéfique de la congélation est probablement lié aux altérations de la structure musculaire induites lors de la formation des cristaux de glace dans le muscle. Ces altérations amplifient le processus de fragilisation de la structure contractile due à la maturation elle-même (Daudin 1988).

#### **2.4.2.5. Stimulation électrique**

La stimulation électrique après l'abattage accélère le développement de la rigor mortis (Dickens & Lyon 1995). Sams *et al.* (1991) montrent un effet positif de cette stimulation sur la tendreté de la viande de poulet lorsqu'elle est associée à un désossage à chaud. Ils suggèrent que les filets non stimulés électriquement ne doivent pas être désossés avant 6 heures post mortem, alors qu'une application de la stimulation électrique réduit le temps critique de désossage jusqu'à 3 heures post mortem.

En effet la stimulation électrique après abattage accélère la déplétion de l'ATP, empêche ou réduit la contraction du muscle lors du refroidissement précoce et rapide et donc réduit le durcissement de la viande. Il s'agit d'une prévention du durcissement du muscle et non d'un attendrissage de la viande (Birkhold *et al.* 1992; Lyon & Dickens 1993).

#### **2.4.2.6. Effet de la cuisson sur la tendreté**

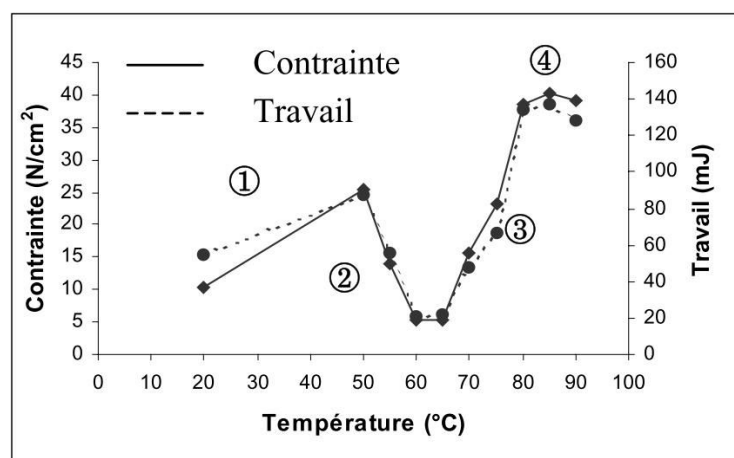
La température et la durée et le mode de cuisson ont un grand effet sur les propriétés physiques et sensorielles de la viande (Combes *et al.* 2000). En effet, les traitements thermiques influencent fortement la texture, les changements protéiques et le rendement de cuisson (Wattanachant *et al.* 2005).

Davey & Gilbert (1974) ont défini la cuisson comme le chauffage de la viande à une température suffisamment haute pour dénaturer les protéines.

Les propriétés mécaniques de la viande sont affectées par les protéines myofibrillaires, sarcoplasmiques et le tissu conjonctif (principalement le collagène). Pendant le chauffage, les différentes protéines dénaturent, et causent des changements structurels dans la viande, telle que la destruction des membranes cellulaires, rétrécissement des fibres, agrégation et formation de gel des protéines myofibrillaires et sarcoplasmiques ainsi que le rétrécissement et la solubilisation du tissu conjonctif (Li *et al.* 2013).

Plusieurs travaux, notamment McCormick (1999), Christensen *et al.* (2000) et Combes *et al.* (2001), ont montré que la dureté de la viande augmente en deux phases (Figure 3), la

première entre 40 et 50°C, et la seconde entre 60 et 80°C. Toutefois, une réduction de la dureté de la viande se produit entre 50 et 60°C. La première augmentation de dureté est due à la dénaturation de myosine, la suivante réduction de dureté de viande est causée par la réduction de la résistance du tissu conjonctive (due à la dénaturation partielle des fibres du collagène), et la seconde augmentation de la dureté est la conséquence de la dénaturation des autres protéines myofibrillaires. Après 80°C, le collagène se gélatinise et la dureté diminue (McCormick 1999). En résumé, la chaleur solubilise le tissu conjonctif, qui cause l'attendrissage, mais aussi le durcissement des protéines myofibrillaire, qui cause la dureté de la viande (Obuz *et al.* 2004).



**Figure 3:** Evolution de la contrainte maximum et du travail total en fonction de la température de cuisson (Combes *et al.* 2001).

La quantité de collagène détermine le mode de cuisson des viandes (viande à bouillir ou à griller). Ainsi, des viandes pauvres en collagène sont plutôt à griller, tandis que des muscles riches en collagène donnent des viandes dures, classées comme des viandes à bouillir et nécessitant un temps et une température de cuisson plus importants (Blanchet 2010).

### 3. Méthodes de mesure de la tendreté

L'étude de la texture sera possible grâce à deux grands types de méthodes : l'évaluation sensorielle (méthode subjective), où l'instrument de mesure est le jury de dégustateurs, et des méthodes instrumentales (méthode objective), dont le principe est soit une déformation du produit avec mesure des forces mise en jeu (mesure directe), soit un dosage des composés responsables des variations de texture (mesure indirecte).

### 3.1. Appréciation sensorielles

L'analyse sensorielle ou évaluation sensorielle permet de définir, mesurer, analyser et interpréter les caractéristiques d'un produit perçues par l'intermédiaire des organes des sens, Certaines normes définissent simplement l'analyse sensorielle comme suit : examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens. Dans ce cadre, l'homme, appelé juge ou répondant, est considéré comme instrument de mesure chargés de décrire les sensations qu'il perçoit au cours de l'observation ou de la consommation du produit (Claustrioux 2001).

Ces sensations peuvent être classées selon trois aspects (Touraille 1986):

- Qualitatif : qui définit la sensation perçue;
- Quantitatif : qui est l'évaluation de l'intensité de cette caractéristique;
- Hédonique : qui est la réponse affective du sujet à cette sensation.

Quatre points importants sont à considérer pour la mise en œuvre des techniques sensorielles : les dégustateurs, la préparation des échantillons, les épreuves et le vocabulaire.

L'analyse sensorielle fait appel à deux types de **jury** : soit un jury d'experts (profil sensoriel), soit un jury constitué de consommateurs naïfs (test hédonique). Ces tests restent cependant subjectifs, et la fidélité, la justesse, la sensibilité de l'analyse sensorielle sont dépendantes d'un nombre suffisant de membres et d'un échantillonnage représentatif de la population testée (Harris & Shorthose 1988).

La constitution d'un jury est le point le plus délicat de toute évaluation sensorielle. En effet l'expérimentateur doit chercher à obtenir les résultats les plus justes avec un nombre de sujets aussi restreint que possible (Touraille 1986). Le recours à un jury composé de 10 à 12 experts constitue la méthodologie souvent considérée comme référente pour acquérir des données proches de la perception des consommateurs (Blanchet 2010). Une fois la sélection réalisée, la deuxième phase consiste à entraîner les dégustateurs.

Le choix et la **préparation** des échantillons sont toujours des points cruciaux pour l'évaluation sensorielle, les résultats seront influencés par le mode et le degré de cuisson ; il est donc impératif de choisir un mode de préparation **standard** (Touraille 1986).

Deux types d'épreuves peuvent être utilisés :

- Epreuves de **différence**, qui visent à répondre à la question « existe-t-il une différence perceptible entre ces deux produits ? » Comme exemple on peut citer l'épreuve triangulaire où l'un des échantillons est doublé et l'autre pas ; les dégustateurs doivent identifier l'échantillon unique (Touraille 1986);
- Epreuves d'**intensité**, il s'agit, dans ce cas, d'évaluer l'intensité de diverses caractéristiques. La quantification peut se faire par classement des échantillons les uns par rapport aux autres, ou bien par l'utilisation d'un terme descriptif ou d'une note. Dans ce dernier cas plusieurs types d'échelles sont utilisables : échelles structurées ou non, en définissant des intervalles égaux ou des rapports (%) (Touraille 1986). Dans une **échelle structurée**, la signification de chaque barreau de l'échelle est indiquée sur le questionnaire au moyen d'un chiffre (d'une note) ou d'un terme alors qu'une échelle **non structurée** est formée par un segment de droite dont les deux extrémités sont définies par des références explicites ; le sujet est invité à sectionner ce segment par un trait à l'endroit correspondant à l'intensité de la sensation perçue (Depledge 2009).

Le principal problème soulevé par ce type d'épreuve est lié à la définition des concepts sensoriels qu'il est souvent difficile de décrire avec des mots (Touraille 1986).

- **Limite de l'analyse sensorielle**

Une des difficultés principales des méthodes sensorielles réside dans la différence d'appréciation des dégustateurs. En effet, les habitudes et goûts alimentaires sont spécifiques de chaque culture ; ainsi, à conditions égales, une population ne jugera pas de la même manière la tendreté qu'une autre population (Evrat-Georgel 2008).

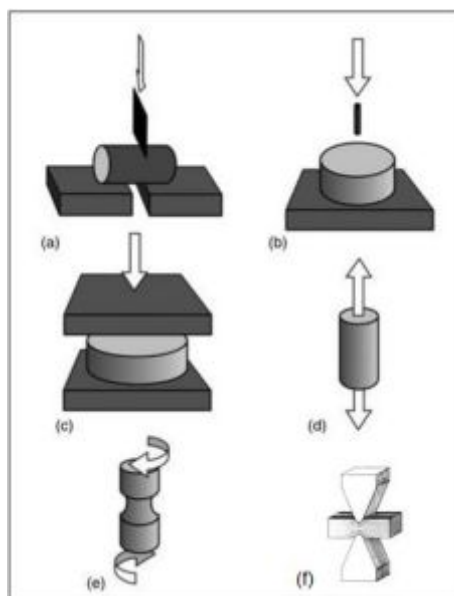
Les préférences individuelles font parties des biais potentiels existant lors d'une analyse sensorielle ; cela dit, elles sont gommées à l'échelle du jury et c'est pourquoi l'outil de mesure n'est pas l'individu mais le jury dans son ensemble. Par contre, entre 2 jurys de populations différentes, ces préférences peuvent induire un réel biais si l'on veut comparer les résultats entre eux. C'est notamment pour cette raison que de nombreux travaux étudiant l'effet d'un même facteur sur la tendreté font apparaître des conclusions contradictoires (Evrat-Georgel 2008).

Les techniques sensorielles sont toujours lourdes à mettre en œuvre, coûteuses en personnes et en produit, aussi de nombreuses techniques instrumentales ont été développées afin de s'affranchir de ces contraintes (Touraille 1986).

### 3.2. Mesure instrumentale de tendreté

Le développement de technologies pour la mesure de la texture de la viande remonte à l'année 1907 où le scientifique allemand Lehmann (Lehmann 1907), qui s'est intéressé au problème de la dureté de la viande, a élaboré deux dispositifs scientifiques pour étudier objectivement ce phénomène. Ces instruments consistent en : (1) un dispositif qui mesure la force requise pour mordre un échantillon de viande, et (2) un dispositif qui mesure la résistance à la rupture d'un muscle (Szczesniak & Torgeson 1965). Depuis les premiers travaux de Lehmann, il y a eu un développement considérable dans ce domaine.

La plupart des méthodes instrumentales de l'évaluation de la texture sont basées sur des tests mécaniques, qui incluent les mesures de la résistance aux forces plus grandes que la force de gravité. Les méthodes mécaniques de mesure de texture sont généralement destructives, parce que les forces appliquées dépassent la force de l'échantillon testé, causant, ainsi, sa destruction (Saláková 2012). La texture de la viande peut être mesurée ou évaluée par différents tests, qui sont classés selon le mode de déformation en : cisaillement, pénétration, compression, tension, torsion et mastication (Figure 4) (Barbut 2009).



**Figure 4:** Différents tests de l'analyse de la texture: (a) cisaillement; (b) pénétration; (c) compression, qui peut être simple ou double pour le test de l'analyse du profil de texture; (d) tension; (e) torsion ; (f) mastication (Illustré par O. Barbut, School of Engineering, University of Toronto, Canada.) (Barbut 2009)

### 3.2.1. Tests de cisaillement

La force de cisaillement correspond à la contrainte nécessaire pour faire passer une arrête tranchante à travers un morceau de viande perpendiculairement aux fibres musculaires. En pratique, les appareils de mesure développés prennent en compte 2 facteurs : d'une part les myofibrilles sont comprimées et se déplacent latéralement sous l'effet de cette pression, et d'autre part le tissu conjonctif est cisailé (Evrat-Georgel 2008).

Historiquement, plusieurs types d'appareils ont été développés pour mesurer les forces de cisaillement d'un morceau de viande. Le premier à être développé est Warner-Bratzler shear force (WBSF). Il a été introduit en 1932 comme un dispositif pour mesurer objectivement la tendreté de la viande cuite. Plusieurs systèmes ont été introduits depuis, comme le dispositif d'Allo-Kramer, développé dans les débuts des années 1950 et qui a été modifié depuis ce temps, Slice shear force en 1999 et Razor blade en 2001.

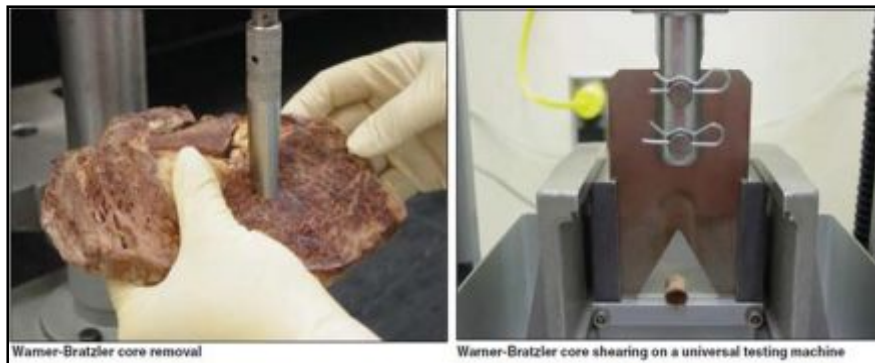
En fait, la différence principale entre ces appareils vient de leur cellule de mesure, c'est-à-dire de la partie de l'appareil permettant de cisailier l'échantillon (taille et épaisseur de la lame, nombre de lames, vitesse de déplacement, force appliquée etc.). Aujourd'hui, la mesure des forces de cisaillement est généralement réalisée avec des machines à essai ou texturomètres de type Instron. Ces machines sont dites universelles car elles sont prévues pour que l'essentiel des cellules de mesure mises au point puissent y être installées. Elles permettent ainsi de réaliser la majorité des tests rhéologiques grâce à l'installation de la cellule spécifique de la méthode que l'on souhaite utiliser (Evrat-Georgel 2008).

Les mesures faites par les différents instruments de cisaillement incluent souvent des forces de tension et de compression comme des forces de cisaillement (Purchas 2014).

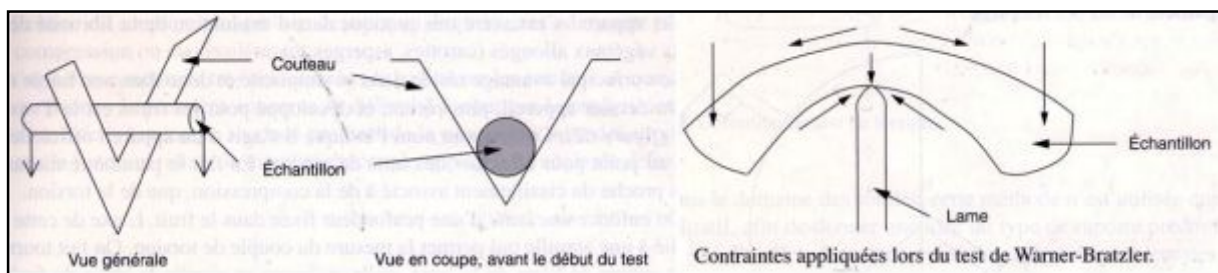
#### 3.2.1.1. Warner-bratzler shear force WBSF

L'idée que cisailier un échantillon de viande cuite pourrait donner des indications sur sa tendreté date de l'année 1928 avec la mise au point de l'appareil de WARNER. Perfectionné progressivement, notamment par BRATZLER vers l'année 1932, la version finale de l'appareil de mesure a été présentée dans les années 50 (Bratzler 1958). L'appareil de Warner-Bratzler développé historiquement n'est plus utilisé tel quel aujourd'hui, ce sont les cellules de mesure issues de cette méthode qui sont largement utilisées (Evrat-Georgel 2008).

L'appareil de Warner-Bratzler est l'archétype des appareils utilisés pour ce genre de test. Il consiste en un couteau de forme triangulaire inférieure au-dessus duquel on pose un échantillon à étudier (Figure 5) (Roudot 2002). L'échantillon de dimensions connues, généralement un noyau circulaire pour viande rouge ou une bande rectangulaire pour la volaille (Lyon & Lyon 2001) est soumis à une force qui l'oblige à se coincer dans l'angle puis à se découper. La méthode consiste à mesurer la force nécessaire à ce tranchage (Roudot 2002). Les échantillons sont positionnés de façon que la lame coupe perpendiculairement aux fibres. Les forces de cisaillement des six noyaux ou plus par échantillon sont enregistrées en dimensions du poids (kg, livre, pound), mais peuvent être convertis en unité de force de Newtons (N) (Montgomery 2007). En fait, lors de ce test, plutôt que du cisaillement pur, on mesure un mélange d'effets, comportant beaucoup d'extension, de compression, de flexion et également, bien entendu, du cisaillement (Figure 6) (Roudot 2002).



**Figure 5:** Image du dispositif de Warner-Bratzler (Shackelford & Wheeler 2009).



**Figure 6:** Schématisation du test de Warner-Bratzler (Roudot 2002).

Les corrélations que l'on trouve entre le résultat des mesures effectuées par ce type d'instrument et l'appréciation gustative de la viande par un jury varient d'excellentes (Bouton & Harris 1972; Dikeman *et al.* 2003) à modérés (Caine *et al.* 2003; Ishihara *et al.* 2013), ce qui pose quelques problèmes quant à cette méthode d'analyse. En fait, le problème provient, pour beaucoup, de la découpe des échantillons, car leur diamètre doit être constant et le même

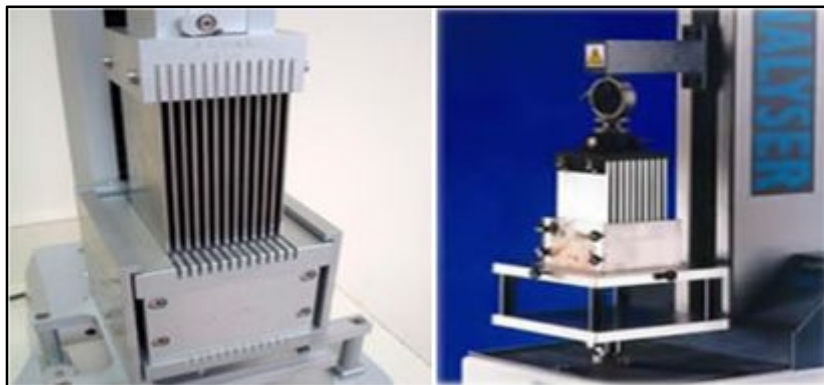


pour toutes les expérimentations. Ce diamètre est, en effet, un paramètre très influent de la valeur de la force nécessaire au tranchage (Roudot 2002).

### 3.2.1.2. Allo-Kramer shear

Un autre appareil utilisé pour évaluer la texture de la viande par cisaillement est Allo-Kramer Shear (AKS). Il a été développé dans les années 1950 par Kramer (Kramer *et al.* 1951) à l'université de Maryland pour les fruits et légumes, et a été, par la suite, adapté à la texture de la viande et utilisé en routine par les chercheurs et le personnel du contrôle de qualité (Herring 1976).

Contrairement au dispositif de Warner-Bratzler qui utilise une seule lame pour couper un noyau uniforme de viande, et enregistre la force maximale nécessaire pour le couper, Allo-Kramer utilise plusieurs lames (Figure 7) pour compresser puis couper l'échantillon de viande (Smith *et al.* 1988). En effet, il emploie une cellule constituée de 10 à 13 lames guidées ou encadrées par une boîte carrée pour couper l'échantillon (Barbut 2009).



**Figure 7:** Image du dispositif de Allo-kramer shear

(Lyon & Lyon 1991) ont rapporté des corrélations entre les mesures obtenues par Allo-Kramer shear force et les analyses sensorielles de tendreté ( $r=0.86$ ).

### 3.2.1.3. Slice shear force

Les avantages et les inconvénients du Warner-Bratzler ont conduit au développement du Slice shear force par Shackelford en 1999 (Shackelford *et al.* 1999a). L'estimation de la force du cisaillement implique la cuisson d'une tranche de viande épaisse de 2.5 cm puis le prélèvement d'une tranche de 1 cm de large  $\times$  5 cm de long parallèlement aux fibres musculaires. Les tranches sont alors coupées une fois avec une lame plate de 50 mm<sup>2</sup> en

utilisant une machine expérimentale universelle (Figure 8) à une vitesse maximale de 500 mm/min (Montgomery 2007).

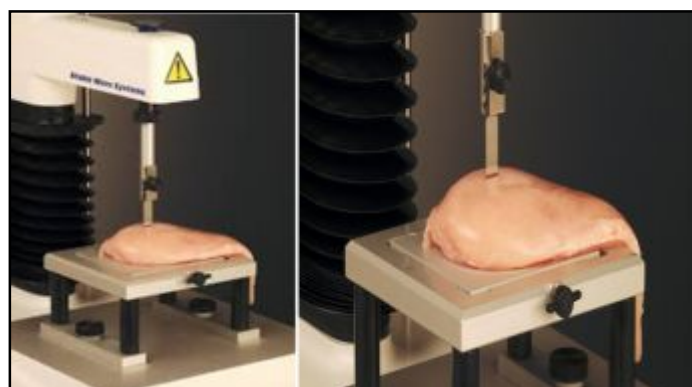


**Figure 8:** Image du dispositif de Slice shear force (Shackelford & Wheeler 2009).

Shackelford et al. (1999b) ont rapporté que les valeurs des forces mesurées par le dispositif de Slice shear force étaient corrélées avec les analyses sensorielles de tendreté ( $r = -0.76$ ) et les valeurs obtenus avec WBSF ( $r = 0.80$ ).

#### 3.2.1.4. Razor blade

Meullenet-Owens razor shear ou Razor blade est une nouvelle méthode instrumentale qui a été développée par l'université de Arkansas pour évaluer la tendreté de la viande de volaille par cisailent (Cavitt et al. 2001). Cet instrument est muni d'une seule lame de 8.9 mm de largeur (Figure 9) qui doit être changée et calibrée après 100 utilisations. Il mesure la force (N) et l'énergie (N/mm) nécessaire pour le cisaillement d'une viande de volaille cuite. Le cisaillement doit être perpendiculaire aux fibres musculaires (Cavitt et al. 2004).



**Figure 9:** Image d'un Razor blade shear (Cavitt et al. 2004).

Plusieurs études rapportent que razor blade présente de forte corrélations avec les attributs sensoriel (tendreté et cohésion) (Cavitt *et al.* 2001; Cavitt *et al.* 2004; Meullenet *et al.* 2004; Cavitt *et al.* 2005a; Cavitt *et al.* 2005b; Xiong *et al.* 2006) . Aussi Cavitt et al. (2004) ont rapporté des coefficients de corrélation de  $r = -0.86$  et  $r = 0.88$  pour la force

maximale et l'énergie totale de cisaillement respectivement du test de razor blade comparé avec Allo-kramer.

Cette méthode s'est avérée plus simple et nécessitant moins de temps, tous en étant aussi performante que WB et AK dans la mesure de texture de la viande de volaille (Cruz *et al.* 2014).

### 3.2.2. Test de pénétration

#### 3.2.2.1. Pénétrromètre

Le pénétromètre représente le plus vieux, et le plus employé des instruments de mesure de la texture des aliments. En principe, il mesure les forces exigées pour réaliser une pénétration partielle ou totale d'une sonde dans le matériel examiné. Plus la force requise est grande, ou plus la profondeur de pénétration est petite, plus le matériel est plus résistant (Saláková 2012).

Cette méthode est basée sur la pénétration de l'échantillon avec une sonde ou un corps pénétrant. Elle peut être employée de deux manières :

- Mesurer la force requise pour la pénétration de la sonde à une certaine profondeur, à une vitesse constante ;
- Mesurer la profondeur de pénétration atteinte dans un temps fixé ou avec une force constante agissant sur la sonde (Saláková 2012).

Le pénétromètre (Figure 10) peut être adapté pour mesurer la texture ou la déformation de plusieurs aliments, il suffit juste d'utiliser le corps pénétrant adapté (Bourne 2002). Dans le cas des viandes et produits carnés, le corps pénétrant, qui est une aiguille conique pesant 2.5 g, pénètre en chute libre dans le morceau de viande cru sous l'action de son propre poids, pendant un temps déterminé (5 sec). La profondeur de pénétration est mesurée en mm ou unité de pénétration (1 UP = 0.1 mm). La contrainte appliquée doit être perpendiculaire aux fibres musculaires (Becila *et al.* 2014).

C'est un test simple, certaines industries l'utilisent en routine comme un test rapide de contrôle de qualité de plusieurs produits alimentaires. Ce test a l'avantage d'être utilisé sur viande crue et cuite, ce qui permet aux chercheurs de suivre l'évolution de la structure de la viande au cours de la cuisson (Barbut 2009).



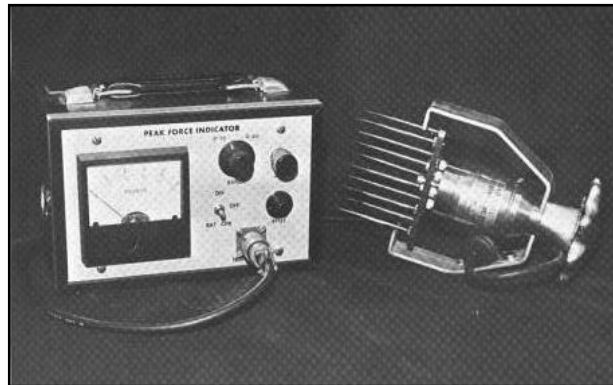
**Figure 10:** Image du pénétromètre PNR 10 Petrottest.

Selon Herring (1976) , Bouton *et al.* (1971) au laboratoire de recherche de viande de la Division de la CSIRO du laboratoire de conservation des aliments de l'Australie ont décrit l'utilisation d'un pénétromètre sur des échantillons de viande cuite de 1.3 cm d'épaisseur. La pénétration a été effectuée deux fois sur le même morceau et les courbes de la force de pénétration ont été enregistrées. La dureté était la force requise pour réaliser la première pénétration et la cohésion était le rapport du travail fait pendant la deuxième et la première pénétration. La masticabilité était définie comme le produit de la dureté et de la cohésion. Ils ont trouvé que la dureté était fortement corrélée avec l'impression initiale ( $r= 0.88$ ) et la masticabilité était corrélée avec l'impression résiduelle ( $r=0.90$ ).

### 3.2.2.2. Tendéromètre Armour

Selon Bourne (2002), Tressler *et al.* (1932) ont réalisé des essais de test de pénétration sur la viande, ces derniers ont conduit à la création d'un appareil portable adapté à la mesure de la texture de la viande : le tendéromètre Armour (Hansen 1971; Hansen 1972). L'objectif était la prévision de la tendreté après cuisson, à partir d'une mesure sur de la viande crue. Diverses études ont montré des corrélations entre le cisaillement avant cuisson et la tendreté finale. Ainsi l'embout choisi a la géométrie d'une aiguille, et n'exerce donc qu'une faible compression alors que sa composante de cisaillement est élevée. A cause du caractère très hétérogène du muscle, il a été décidé d'effectuer simultanément plusieurs mesures sur le même échantillon. Le tendéromètre est un appareil manuel permettant la pénétration simultanée de dix embouts (Figure 11). La mesure retenue est la résistance de la chair lorsque la profondeur atteinte est de 2 pouces (50,8 mm). L'inconvénient majeur de sa version de base

est, bien évidemment, le caractère manuel de la mesure, qui peut être éliminé par utilisation d'un analyseur de texture (Roudot 2002).



**Figure 11:** Tendéromètre d' Armour (Herring 1976)

Certain chercheurs ont trouvé des corrélations entre les valeurs obtenus par le tendéromètre d'armour avec l'appréciation sensorielle des jurys de dégustation (Carpenter *et al.* 1972; Dikeman *et al.* 1972) alors que d'autre ont rapporté de faible corrélations (Henrickson *et al.* 1972; Parrish *et al.* 1973; Campion *et al.* 1975; Harris 1975). Certaines de ces faibles corrélations sont due aux mauvaises manipulations (Voisey 1976). Néanmoins, l'institut des technologues alimentaires a accordé, en 1973, la récompense d'accomplissement industriel à ce Tendéromètre (Bourne 2002).

### 3.2.3. Test de Compression

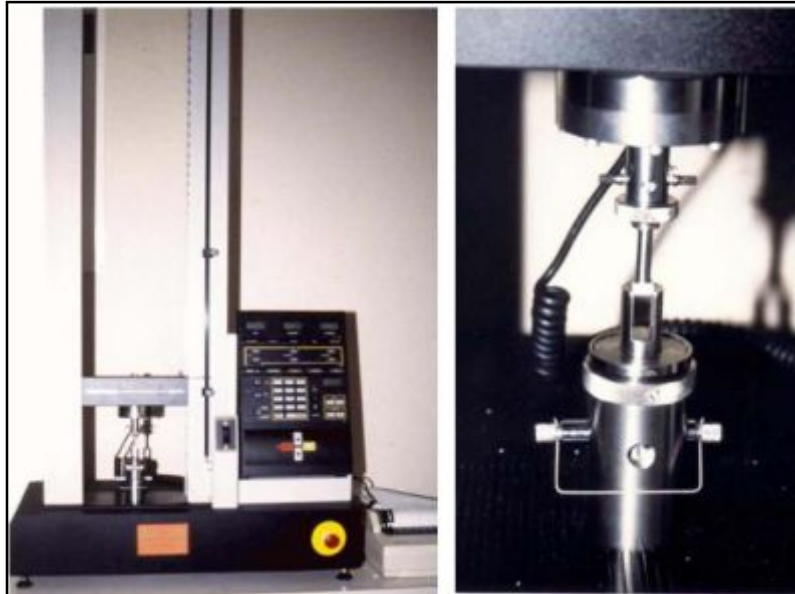
Dans ce test, l'échantillon est compressé axialement entre deux plaques plates (Figure 6.c). La force, la position ou le pourcentage de la taille originale de l'échantillon peuvent être employés pour interpréter l'essai de compression (Cruz *et al.* 2014). La force de compression correspond à la contrainte nécessaire pour déformer un échantillon jusqu'à un degré défini (Evrat-Georgel 2008).

#### 3.2.3.1. Simple compression

Dans le cas de la compression simple, l'échantillon est compressé ou comprimé jusqu'à ce qu'il se casse. Alternativement, l'épreuve peut être faite à un point prédéterminé où la déformation est mesurée (Barbut 2009). Il est possible d'évaluer la dureté ou la fermeté, et la fracturabilité de l'échantillon (Cruz *et al.* 2014). Voisey *et al.* (1975) ont rapporté une forte corrélation ( $r= 0.89$ ) de la compression simple avec l'analyse sensorielle de la mastication.

### 3.2.3.2. Texturomètre développé à l'INRA

Selon le même principe de compression avec un mouvement linéaire, et permettant des vitesses élevées, un texturomètre a été développé à l'INRA (Figure 12) (Salé *et al.* 1984). Grâce à cet appareil il a été possible de réaliser un ou plusieurs cycles successifs, et le taux de compression était réglable entre 10 et 90 % de déformation. Une des particularités de cet appareil est qu'il permet de s'affranchir des variations de l'épaisseur initiale de l'échantillon (Touraille 1986).



**Figure 12:** Texturomètre développé par l'INRA (Evrat-Georgel 2008).

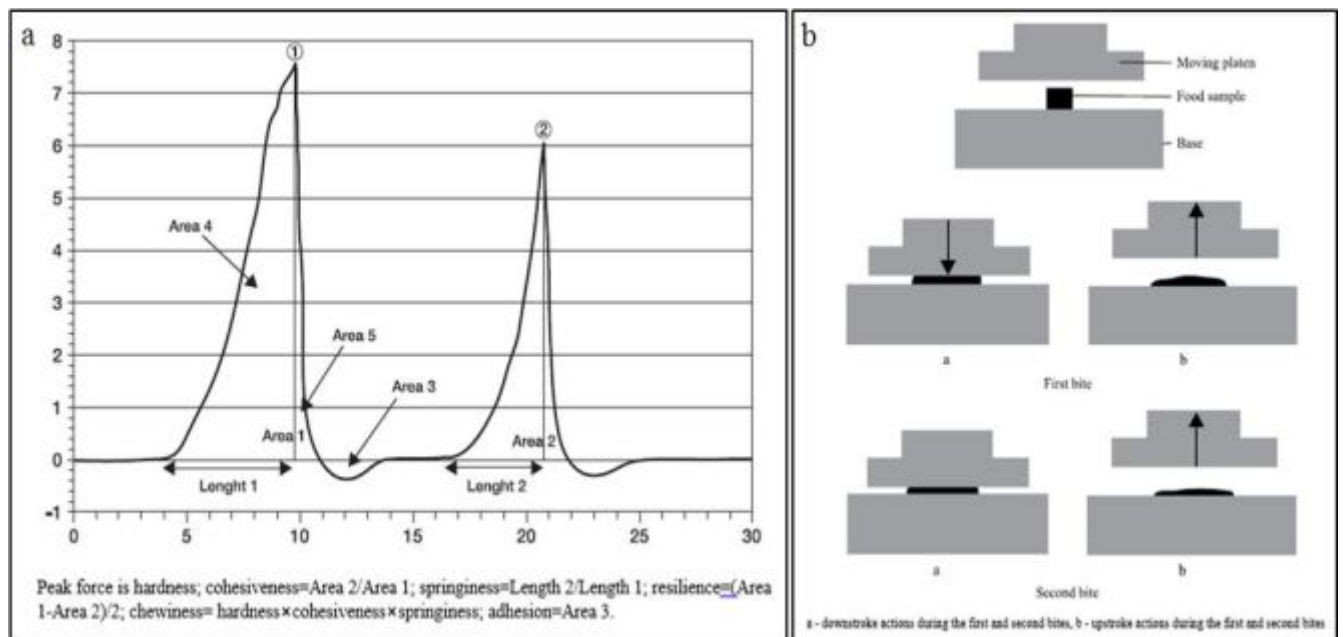
### 3.2.3.3. Analyse du profil de texture

Le test de la double compression, connus dans l'industrie alimentaire par Analyse du profil de texture (Texture Profile Analysis TPA), a été développé par un groupe de scientifiques à General Foods dans les débuts des années 1960 (Szczesniak 1963; Szczesniak *et al.* 1963).

Le test consiste en la compression de l'échantillon de viande de forme cylindrique (2.54 cm de diamètre) à un certain pourcentage de sa hauteur (70%) dans deux cycles (Figure 13.a) (Montgomery 2007). En effet, il se fait en 4 étapes : première compression, relaxation, une deuxième compression et enfin une dernière relaxation (Figure 13.b) (Cruz *et al.* 2014).

La courbe résultante affiche les forces comme une fonction de la déformation de l'échantillon. La fonction force *vs.* déformation permet de dériver les paramètres individuels de la texture, à savoir dureté, tendreté, adhésion, élasticité, mastication, et cohésion. (Saláková 2012). La dureté, qui est une indication de la première morsure, est la force (N) maximale

durant cette compression. La cohésion est le rapport de surface de force maximale durant le deuxième et le premier cycles de compression (la première surface est le dénominateur). L'élasticité est la taille (mm) que l'échantillon récupère entre les deux cycles de compression. La viscosité est le produit de la mesure de dureté et de cohésion, alors que la masticabilité (J) est le produit de la viscosité et de l'élasticité. Une vitesse maximale de 100mm/min est utilisée (Montgomery 2007).



**Figure 13:** Analyse du profil de texture (TPA) (Bourne 2002)

Plusieurs chercheurs ont comparé le test TPA aux autres méthodes tel que l'épreuve WBS. (Caine *et al.* 2003), par exemple, a indiqué que TPA a expliqué plus la variation de la tendreté sensorielle subjective de viande de bœuf évaluées comparé à l'épreuve WBS. Cependant, ce n'est pas nécessairement une découverte universelle (Barbut 2009).

#### 3.2.3.4. Star-shaped probe

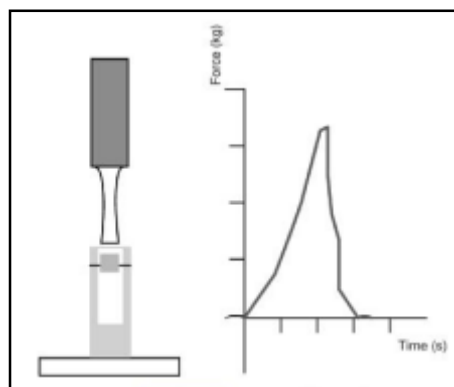
L'appareil de Star-shaped (en forme d'étoile) ou cherry-pitter probe (Dénoyauter de cerise) est utilisée pour mesurer la résistance au cisaillement. La sonde est fixée à une machine électrique expérimentale universelle, tel que Instron. Les échantillons sont alignés de sorte que la sonde de Star-shaped perce les échantillons perpendiculairement à l'orientation des fibres musculaire. Chaque échantillon est comprimé deux fois à 80% avec une vitesse maximale de 200 mm/min. Cette méthode est également utile pour les petits muscles où le prélèvement de morceau de 2.5 cm ou au minimum six noyaux est impossible (Montgomery 2007). Dans l'étude faite par (Caine *et al.* 2003), l'appareil de Star-shaped était très corrélée avec les scores de tendreté de la viande de bœuf obtenus par un panel de dégustateur entraînés

( $r = -0.64$ ) et s'est avéré être un meilleur indicateur des scores de tendreté que WBSF, tandis que (Huff-Lonergan et al. 2002) ont rapporté qu'avec cet appareil ils ont eu une corrélation de  $r = -0.54$  avec les scores de tendreté de la viande de porc.

### 3.2.4. Test de mastication

#### 3.2.4.1. Tendéromètre de Volodkevich ou de MIRINZ

L'appareil de Volodkevich (Volodkevich 1938) fut le premier d'une série de dispositifs cherchant à mimer l'action des dents incisives (Figure 4.f) (Touraille 1986). L'appareil comporte deux poinçons arrondies qui ressemblent à la géométrie d'une dent, un étant fixe et l'autre mobile se déplaçant vers la précédente. L'échantillon est posé sur la dent inférieure et la valeur mesurée est la force maximale nécessaire pour mordre l'échantillon (Figure 14). La limitation de la dimension de l'échantillon et parfois la rétention gênante de l'échantillon à la mâchoire supérieure ont réduit l'utilisation de cette méthode. Les résultats sont corrélés avec la tendreté de l'échantillon. Le tendéromètre de Volodkevich a été modifié par les Néozélandais MacFARLANE et Marer en 1966 pour devenir le tendéromètre de MIRINZ (Evrat-Georgel 2008; Cruz *et al.* 2014).



**Figure 14:** La mâchoire de Volodkevich et sa courbe typique (Cruz *et al.* 2014).

#### 3.2.4.2. Texturomètre denture

Proctor *et al.* (1956) avaient mis au point un appareil plus complexe, le texturomètre denture, représentant des mandibules humaines montées sur une articulation motorisée avec une cavité buccale artificielle. Cette idée a été développée par une équipe de l'INRA qui a mis au point un premier prototype de masticateur très perfectionné quasiment unique dans le monde. Certes, cette « bouche artificielle » est encore très loin de posséder toutes les caractéristiques et les fonctionnalités de son homologue naturelle, mais elle n'en comporte pas moins des dents, une langue, et est alimentée en salive artificielle. A ce jour, les performances

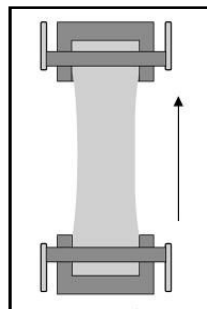


de ce prototype pour évaluer la tendreté de la viande n'ont pas été étudiées (Evrat-Georgel 2008)

### 3.2.5. Test d'extension

Les tests d'extension consistent à mesurer la capacité d'étirement de la viande (Figure 4.d), c'est-à-dire son élasticité et/ou la force de rupture. La force de rupture représente plus particulièrement la résistance du tissu conjonctif, celle des fibres musculaires étant négligeable, alors que c'est l'inverse pour la mesure d'élasticité (Evrat-Georgel 2008). L'orientation des fibres musculaire est encore une fois très importante car les fibres musculaires tractées ou tirées à 90° par rapport à leur axe longitudinal exigeront une force moindre à ceux tirées le long de leur axe longitudinal. Sous le microscope, les surfaces à pauvre intégrité révèle un faible tissu conjonctif qui lie les fibres musculaires (Barbut 2009).

Ce test peut être utilisé en se servant de poignées d'extension comme montré dans la figure 15. Les paramètres déterminés sont la force et l'énergie nécessaire pour la rupture de l'échantillon (Cruz *et al.* 2014). Les résultats sont affectés par la taille de l'échantillon et l'effort fournis (Honikel 1998).



**Figure 15:** Les poignées de tension (Cruz *et al.* 2014).

Ce test peut s'effectuer sur une viande crue ou cuite (Honikel 1998) et il peut être combiné avec TPA pour déterminer les propriétés de la texture des saucisses de viande cuite (Cruz *et al.* 2014).

### 3.2.6. Test de torsion

Le test de torsion est effectué en tortillant un échantillon qui va être découpé en deux (Figure 6.e). La rotation contrôlée peut être effectuée par un viscomètre après que les extrémités de l'échantillon aient été collées aux disques plastiques. La force requise pour couper l'échantillon est mesurée puis utilisée pour calculer la force réelle de cisaillement et la valeur du stress de cisaillement. L'avantage de ce test est que les changements du volume sont minimisés et les libérations d'eau (qui se produisent lors du test de compression) sont évitées. En

générale, le stress de cisaillement est en rapport avec la tendreté et la force de cisaillement est en rapport avec la cohésion (Barbut 2009).

Montejano *et al.* (1985) ont comparé les résultats du test de torsion et de TPA avec les scores des attributs sensorielles (l'élasticité, dureté, cohésion, compacité, mastication). Globalement, ces deux paramètres instrumentales étaient fortement corrélés ( $r= 0.83$ ), même chose pour les attributs sensoriel.

### **3.3. Mesure Indirecte de tendreté**

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) (Santé *et al.* 2001).

#### **3.3.1. Longueur du sarcomère**

Plusieurs études ont rapporté que la longueur du sarcomère est liée à la tendreté, avec des longueurs du sarcomère plus courtes étant liées à une viande plus dure (Wheeler & Koohmaraie 1994; Koohmaraie *et al.* 1996; Rhee *et al.* 2004). Cross *et al.* (1981) ont comparé un certain nombre de méthodes pour mesurer la longueur du sarcomère notamment une méthode de diffraction de laser, la méthode filaire de micromètre, et la méthode de mesure de la taille de Shearicon. Malgré que ces trois méthodes soient semblables, la méthode de diffraction de laser est la plus utilisée. Dans cette dernière, des échantillons sont fixés dans une solution de glutaraldehyde et la longueur du sarcomère est mesurée à l'aide d'un laser d'hélium avec une lamelle de microscope en dessous et un écran de mesure dessous (Figure 18). Cette méthode est assez rapide, bien que la préparation du témoin doive se faire au moins un jour avant la mesure de longueur du sarcomère. Après fixation des échantillons, 25 différentes fibres sont taquinées du faisceau de muscle et placées sur une lamelle de microscope avec une goutte de solution. Les lamelles sont placées horizontalement dans le chemin du rayon laser orienté verticalement pour donner une rangée de bandes de diffraction sur le faisceau, qui sont perpendiculaires à l'axe des fibres (Montgomery 2007).

#### **3.3.4. Indice de fragmentation myofibrillaire**

Les essais de transmission de lumière visible dans des suspensions de myofibrilles sont également des exemples intéressants de mesure indirecte de texture. On peut montrer que la fragmentation des myofibrilles musculaires est directement reliée à la tendreté du muscle. Ainsi, la mesure de leur indice de fragmentation est une mesure simple et originale de la

tendreté. Cette fragmentation correspond au phénomène de cassure des myofibrilles en plus petits segments, au niveau des stries Z du sarcomère, pendant la conservation du muscle. Or l'absorption de la lumière par une suspension de myofibrilles est proportionnelle à la taille de ces éléments. Il suffit donc de mesurer l'absorption (ou la transmission) de la lumière à une longueur d'onde bien choisie (540 nm) pour déterminer un index de fragmentation et, par suite, une valeur de tendreté. La corrélation a été démontrée avec la méthode de Warner-Bratzler (Roudot 2002).

La phase de calibration est un passage imminent et très important pour toutes les méthodes de mesure indirectes de la tendreté. Elle consiste à adapter l'instrument de mesure par rapport à des données de référence (score de tendreté par exemple) de façon à ce que le paramètre indirect mesuré par l'appareil puisse exprimer le paramètre directement recherché, c'est-à-dire la tendreté ou l'état de maturation (Evrat-Geogel, 2008).

**Partie 2 :**

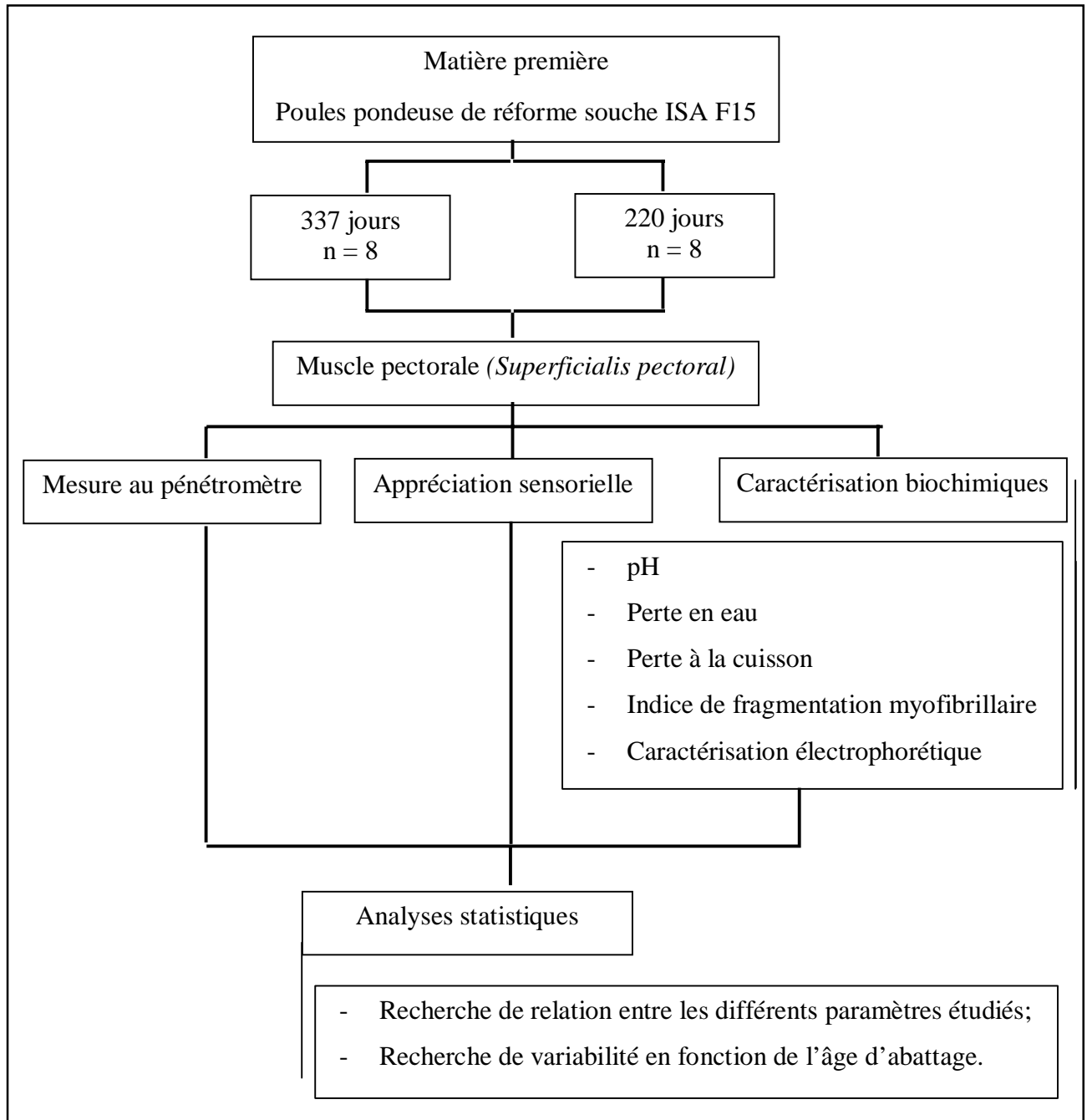
**Matériels et  
Méthodes**

Cette partie est destinée à la démarche expérimentale entreprise pour atteindre nos objectifs qui sont:

- Tester le potentiel d'utilisation du pénétromètre pour la prédiction de la tendreté de la viande des poules pondeuses de réforme ;

- La caractérisation de la viande de la souche ISA F15 en fonction de l'âge d'abattage.

Ci- dessous le protocole expérimental synthétisant les différentes analyses réalisés dans le cadre de notre mémoire :



**Figure 16** : Protocole expérimental suivi pour la caractérisation de la viande de poules pondeuses en fonction de l'âge à l'abattage.

## 1. Matériel biologique

Nous avons travaillé avec 16 poules reproductrice (pondeuses) de la même souche (ISA F15) et toutes issues d'un même poulailler appartenant à l'entreprise SARL Nutri Aliment Plus (NAP) situé dans 98 zone industrielle Etaref ouled rahmoune dans la commune de El Khroub willaya de Constantine. Deux lots d'âge différents ont été constitués, le premier lot de 49 semaines et le deuxième lot de 32 semaines. Chaque groupe est fait de 8 animaux.

## 2. Préparation des carcasses

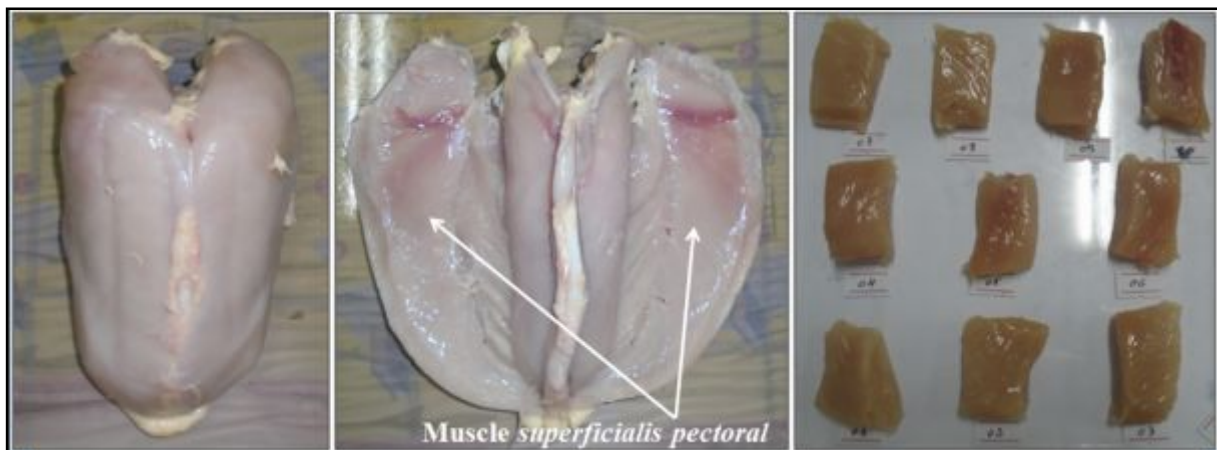
Les poules ont été abattues sur place, pour éviter les effets de stress du au transport. Après la saignée, les poules sont transportées jusqu'à domicile où elles ont subi un plumage à chaud (70°C), une éviscération et un ressuage pour en fin être mis au réfrigérateur (4°C) pour la maturation.

## 3. Mesure instrumentale de la dureté de la viande

### 3.1. Préparation des échantillons

L'ensemble des opérations qui suivent ont été effectué au niveau du laboratoire de Biotechnologie et qualité des aliments BIOQUAL, l'équipe marqueurs de la qualité des viandes MaQuaV à l'institut de nutrition, d'alimentation et des technologies agro-alimentaire INATAA.

A 14h post mortem les carcasses ont été pesées et le muscle pectoral (*superficialis pectoral*) du poulet a été séparé manuellement avec une lame de bistouri stérile. Une fois le muscle séparé ; dix morceaux rectangulaires (longueur 4 cm, largeur 2 cm, hauteur 1.5 cm) ont été découpés longitudinalement dans le sens des fibres (Figure 17).



**Figure 17** : Les étapes de préparation des échantillons de viande pour l'analyse instrumentale.

### 3.2. Mesure au pénétromètre

Pour réaliser la mesure instrumentale de la dureté des morceaux de viande, nous nous sommes servis d'un pénétromètre (PETROTEST PNR 10 Germany) disponible au niveau du laboratoire de l'INATAA. Cet instrument est muni d'un corps pénétrant (aiguille conique qui pèse 2.5 g), qui pénètre en chute libre dans le morceau de viande cru sous l'action de son propre poids, pendant un temps déterminé (5 sec). La profondeur de pénétration est mesurée en mm ou unité de pénétration (1 UP = 0.1 mm). La contrainte appliquée était perpendiculaire aux fibres musculaires (Becila *et al.* 2014). Une description plus détaillée de l'appareil est donné en annexe 1.

Après être assuré de la propreté du pénétromètre. Le morceau de viande est placé sur le support (la table de pénétration) tout en respectant le sens des fibres musculaires qui doit être perpendiculaire au corps pénétrant. Cela est vérifié à l'aide du dispositif d'éclairage qui doit être placé derrière le corps pénétrant de telle sorte que sa pointe projette une ombre bien nette sur la surface de l'échantillon. A l'aide de la molette ; le corps pénétrant est baissé avec précaution jusqu'à ce qu'il effleure la surface de l'échantillon sans le pénétrer (Figure 18). En appuyant sur la touche « START », l'ensemble corps pénétrant/tige est libéré. La profondeur de pénétration est affichée en millimètre après un temps de 5 secondes. Après avoir noté la valeur dans le tableau de résultats, le dispositif est remis à son état initial et la procédure est répétée sur un autre emplacement dans le même morceau.



**Figure 18 :** Image montrant le principe d'utilisation du pénétromètre (PETROTEST PNR10) sur un morceau de viande

Pour chaque muscle nous avons pris 10 morceaux. La mesure est répétée 5 fois pour chaque morceau, donc 50 mesures de profondeur de pénétration sont obtenus par échantillon.

## 4. Appréciation sensorielle de la texture

### 4.1. Préparation des échantillons

Afin de préparer les échantillons pour l'évaluation sensorielle nous avons suivie la procédure de (Honikel 1998). En effet, les mêmes morceaux ayant servie à la mesure instrumentale, placés dans des sacs de cuisson étiqueté et bien scellé, ont été immergés dans un bain marie maintenu à température constante de 80°C pendant environ 1h afin d'atteindre une température à cœur de 75 °C, cela est vérifié sur un échantillon témoin avec un thermocouple.

Dans notre étude, le choix du bain-marie comme mode de cuisson s'explique par sa plus grande stabilité thermique dans le temps (Combes *et al.* 2001). En effet, selon (Cyril *et al.* 1996), le coefficient de variation de la température d'un four à 200°C ou d'un bain d'huile à 175°C est de 5 %, tandis qu'il n'est que de 1 % pour un bain-marie. Aussi selon (Rødbotten *et al.* 2004), ce mode de cuisson au bain marie donne un produit sain pour la consommation humaine et qui préserve le goût agréable. Aussi, (Combes *et al.* 2000) après avoir testé différentes températures de cuisson, recommandent au minimum une température de cuisson de 80°C afin d'avoir une mesure de dureté représentative. De plus, il a été montré qu'à une température inférieur à 80°C, le panel de dégustateur jugeait que la viande n'été pas assez cuite (Juin *et al.* 1998).

Après 1 heure de cuisson, les échantillons sont transvasés dans un bain marie à 70°C pour être immédiatement servis à chaud aux dégustateurs (Caine et al. 2003).

### 4.2. Dégustateurs

Le jury est constitué de 10 sujets (5 hommes et 5 femmes) (Gagaoua *et al.* 2014) ayant un âge moyen de 23 ans, ces derniers sont des étudiant de fin de cycle de graduation initiés à l'analyse sensorielle de par leur formation. Ils sont non fumeurs et en bonne santé et ayant de bonne condition dentaire. De ce fait, ils sont considérés comme qualifiés à ce genre d'analyse. Les dégustateurs ont reçus une séance de formation afin d'être initié et bien saisir ces différents attributs.



### 4.3. Test sensoriel

Pour l'analyse sensorielle nous avons utilisé le protocole adapté de (Gagaoua *et al.* 2013).

Les panelistes évaluent les échantillons de viande cuite pour la tendreté globale, la jutosité, la cohésion, la mastication (ou masticabilité), résidus en bouche ainsi que l'appréciation globale sur une échelle non structurée de 10 cm. En effet, pour chaque attribut, l'échelle va du score le plus faible vers le plus important (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Définition des attributs évalués durant les analyses sensorielles de la viande (Peachey *et al.* 2002).

<i>Attribut sensoriel</i>	<b>Définitions</b>
<b>Tendreté globale</b>	Facilité de rupture lors de la mastication (témoignant du nombre de mastication nécessaires avant d'avaler) : de dur à extrêmement tendre
<b>Jutosité</b>	Intensité du jus libéré lors de la mastication : non juteux à extrêmement juteux
<b>Cohésion</b>	Comment le morceau de viande fragmente-il à la troisième mastication : de faiblement cohésif (se fragmentant seul) à très cohésif (le morceau garde son intégrité).
<b>Mastication</b>	Nombre de fois nécessaires à mâcher le morceau de viande avant de pouvoir l'avaler : pas difficile à mâcher à extrêmement difficile à mâcher
<b>Résidus</b>	Quantité de résidus avant d'avaler : du nihil à l'extrême
<b><i>Test hédonique</i></b>	
Appréciation globale	Quelle est l'appréciation globale du produit : de je n'aime pas à extrêmement j'aime

Les analyses sensorielles se sont déroulées dans une salle exempte d'odeurs et de bruit, située dans le voisinage immédiat du laboratoire. La salle est équipée de 10 cabines individuelles sous un éclairage artificiel non coloré. Chaque dégustateur trouve dans sa cabine, en plus de l'assiette codée contenant l'échantillon de viande, le bulletin d'évaluation sensorielle (annexe 2) ainsi qu'un gobelet contenant de l'eau (90%) et du jus de pomme (10%) pour nettoyer le palais entre les échantillons. Les séances de dégustation se sont

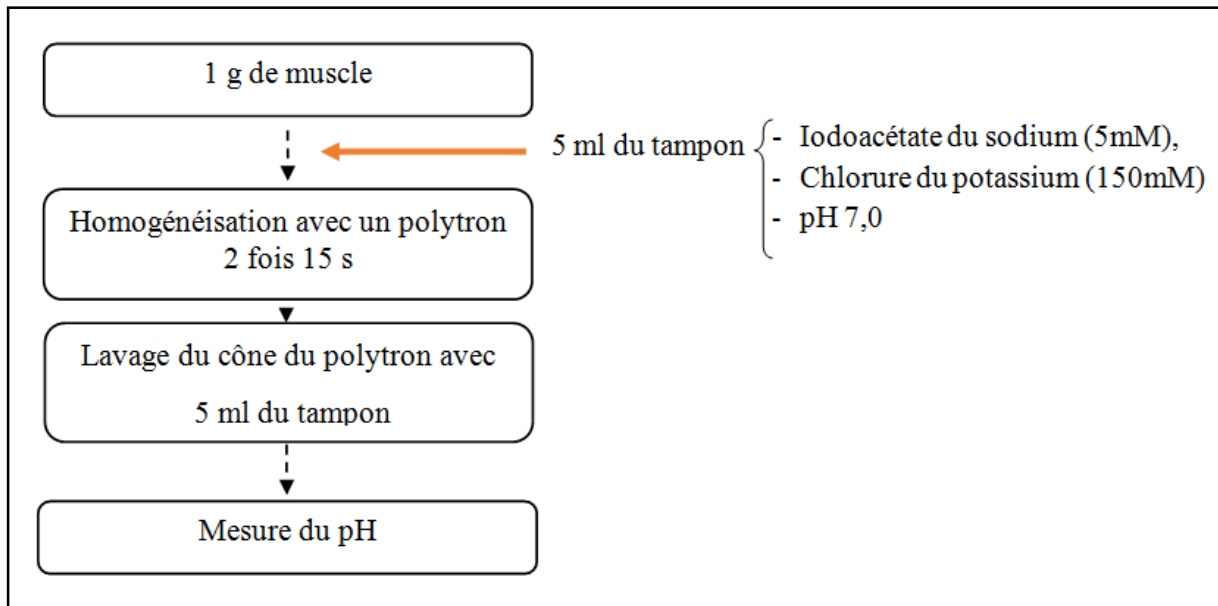
déroulé entre 10h et 11h 30 du matin afin d'éviter les situations critiques (faim, satiété, fatigue et stress).

## 5. Caractérisation biochimique

Au stade de maturation (14 h *post-mortem*), le muscle pectorale des poules étudiées a été caractérisé par plusieurs paramètres à savoir le pH, les pertes à la cuisson, indice de fragmentation myofibrillaire, capacité de rétention d'eau et pourcentage d'eau reléguée.

### 5.1. Mesure du pH

Pour la mesure du pH qui est une mesure de la glycolyse, le protocole utilisé est celui de (McGeehin *et al.* 2001) ; 1g de muscle ont été prélevés et placés dans un tube contenant 10ml du tampon iodoacétate du sodium (5mM), et du chlorure du potassium (150mM) ajusté à pH 7,0 pour bloquer la glycolyse. Les échantillons ont été homogénéisés au polytron (Polytron ® PT- MR 2100, Kinematica AG, Switzerland) pendant 15 secondes. La mesure a été réalisée sur l'homogénat ainsi obtenue à l'aide d'un pH mètre (PHS-3CW microprocessor pH /mV meter, BANTE instrument) équipé d'une électrode combinée en verre. La valeur du pH sera la moyenne de trois essais pour chaque muscle (Figure 19) (McGeehin *et al.* 2001).



**Figure 19** : Schéma globale de mesure du pH.

### 5.2. Capacité de rétention d'eau et pourcentage d'eau reléguée

Les pertes en eau sont originaires du changement de volume des myofibrilles induites par la chute de pH pré-rigor et l'attachement des filaments myosine aux filaments d'actine

pendant la rigor où les myofibrilles se rétractent à cause de la chute du pH. La dénaturation des protéines peut aussi contribuer à la réduction de la capacité de rétention d'eau (CRE) particulièrement dans le cas d'une chute rapide du pH. Ainsi le fluide expulsé s'accumule entre les faisceaux fibrillaires et coulera facilement sous les forces de gravité si la viscosité du fluide est assez faible et les forces capillaires ne le retiennent pas (Honikel 1998).

Dans notre mémoire, nous avons utilisé la méthode de (Grau & Hamm 1953) aussi connu sous le nom de *Filter Paper Press Method* ou méthode à pression sur papier filtre est très connu et facile à mettre en place, mais elle a fait l'objet de nombreuses modifications suggérées : définir la pression, peser l'échantillon de viande et le papier filtre avant et après pression (Hamm 1986) , mesurer la surface non-régulière par la superposition d'une grille de plastique transparente (Fischmeister, 1976), calculer la surface de la viande et la surface total comme ellipses (cercle) après avoir mesuré l'axe avec un compas vernier (Hoffman, 1982), utiliser un papier filtre à point réticulés (Zamorano & Gambaruto 1997; Pla & Apolar 2000).

Nous avons pesé  $300 \pm 5$  mg de viande intacte puis nous l'avons placé sur un papier filtre Wathmann n°1 de 11cm de diamètre préalablement séché et pesé (environ 0.81g). Ces derniers ont été installés entre deux plaques en verre, puis un poids de 2,25 kg a été appliqué pendant 5 min. Des cercles de la viande (M) et du jus relégué (T) ont été alors soigneusement rapportés sur une feuille plastique transparente. Par la suite, le papier filtre humide et pesé après avoir enlevé la viande compressée. Cette méthode est utilisée en duplicate. La figure 20 résume les différentes étapes effectuées.

Selon le protocole, les aires de la tache de viande (M) et de liquide libéré (T) de chaque feuille de plastiques sont mesurés à l'aide des petits carrés d'un papier millimétrique, (Ramirez *et al.* 2004). Mais dans notre cas, les aires de la tache de viande (M) et de liquide libéré (T) ont été mesuré en utilisant le logiciel Image J 1.48 en libre accès, il suffit d'ouvrir l'image scanné des aires reportées sur la feuille plastique transparente par le logiciel Image J, puis se servir de l'application « freehand section » pour délimiter les aires. Ensuite appuyer sur « analyze » puis « measure » pour obtenir les surfaces en mm ou en pixel.

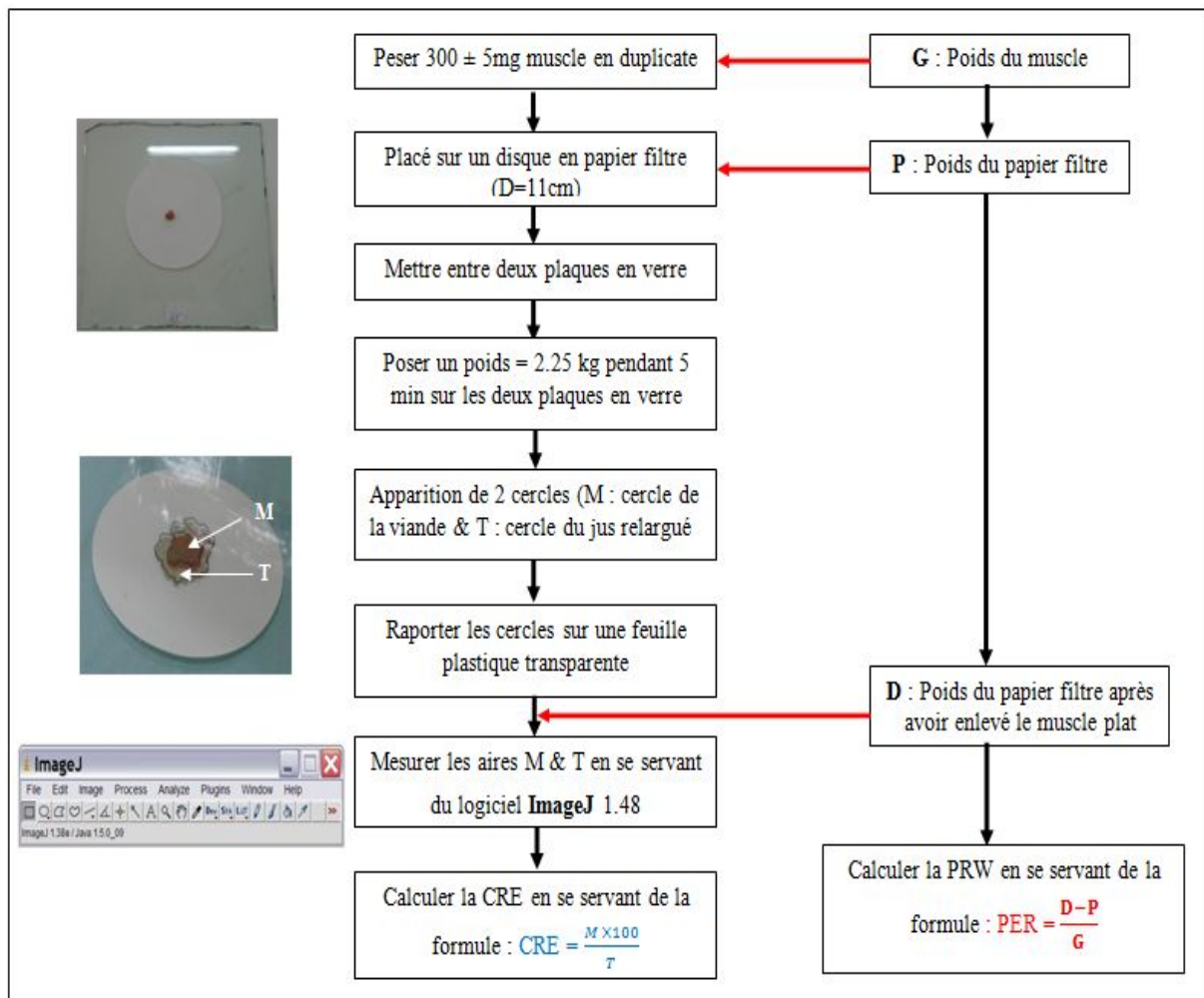
La capacité de rétention d'eau (CRE) a été déterminée suivant la formule :

$$\text{CRE} = \frac{\text{M} \times 100}{\text{T}}$$

**M** : Aire muscle  
**T** : Aire liquide relégué

Et le pourcentage d'eau reléguée (PER) est calculé selon la formule :

$$\text{PER} = \frac{\text{Poids du papier filtre humide} - \text{Poids du papier filtre sec}}{\text{poids de l'échantillon de viande}} \times 100$$



**Figure 20.** Les étapes de mesure de la capacité de rétention d'eau (CRE) et pourcentage d'eau reléguée PRW (Pla et Apolinar, 2000 adapté par Gagaoua, 2014-communication personnelle).

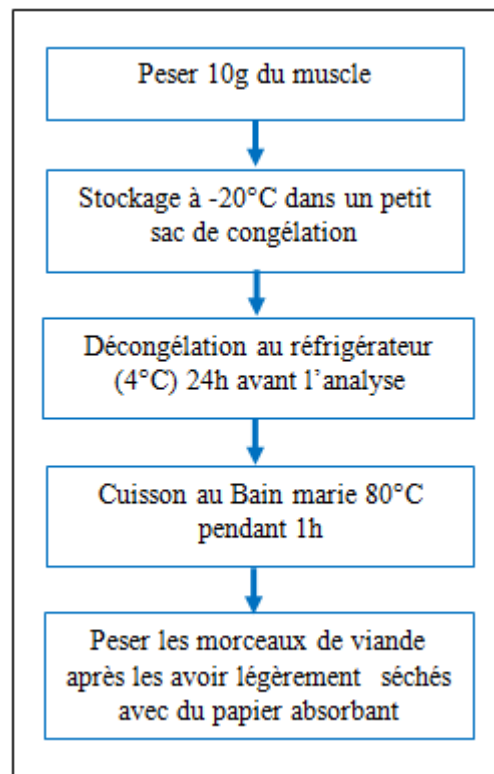
### 5.3. Perte de cuisson

Durant la cuisson, les différentes protéines de la viande dénaturent à des températures variées ( $37 - 75^\circ\text{C}$ ). La dénaturation cause des changements structuraux comme la destruction des membranes cellulaires, rétrécissement transversal et longitudinal des fibres musculaires, l'agrégation des protéines sarcoplasmiques et rétrécissement du tissu conjonctif. Tous ces événements, particulièrement les changements du tissu conjonctif, aboutissent à la perte de cuisson de la viande (Honikel 1998).

La détermination du pourcentage des pertes en eau à la cuisson a été effectuée selon le protocole de (Pascual & Pla 2007). 10g de chaque muscles ont été pesés ( $P_1$ ), emballés dans des sachets en plastique et congelé à  $-20^{\circ}\text{C}$ . Une fois requis, les muscles ont été décongelés au réfrigérateur 24h avant l'analyse. Les échantillons ont été maintenus 1h dans un bain marie thermostaté à  $80^{\circ}\text{C}$ . Après cuisson, les muscles ont été légèrement séchés avec un papier absorbant puis pesés ( $P_2$ ) (Figure 21). Cette mesure a été effectuée en duplicate.

Les pertes en eau à la cuisson ont été calculées suivant la formule :

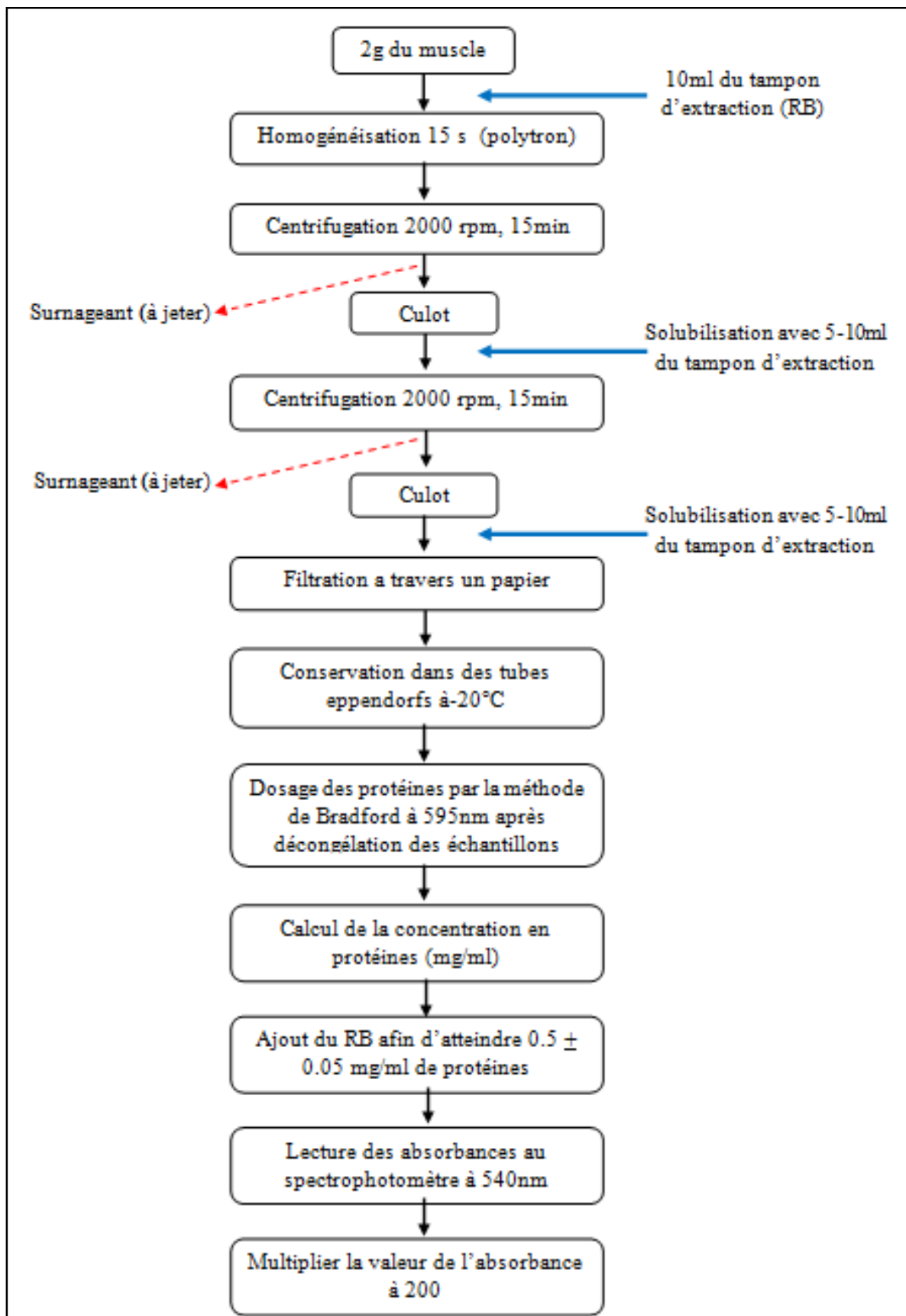
$$\text{Perte en eau} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$



**Figure 21.** Etapes de mesure des perte en eau à la cuisson (Pascual & Pla 2007).

#### 5.4. Indice de fragmentation myofibrillaire

L'indice de fragmentation myofibrillaire a été déterminé selon le protocole de (Culler *et al.* 1978) qui a été légèrement modifié par (Li *et al.* 2012). Un échantillon de 2g du muscle pectorale de la poule a été prélevé à 24h *post mortem*, puis homogénéisés pendant 15secondes au polytron avec 10ml du tampon d'extraction (rigor buffer RB) contenant 75mM de KCl, 10mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 2mM  $\text{MgCl}_2$ , 2mM EGTA, 1mM  $\text{NaN}_3$  à pH 7.0.



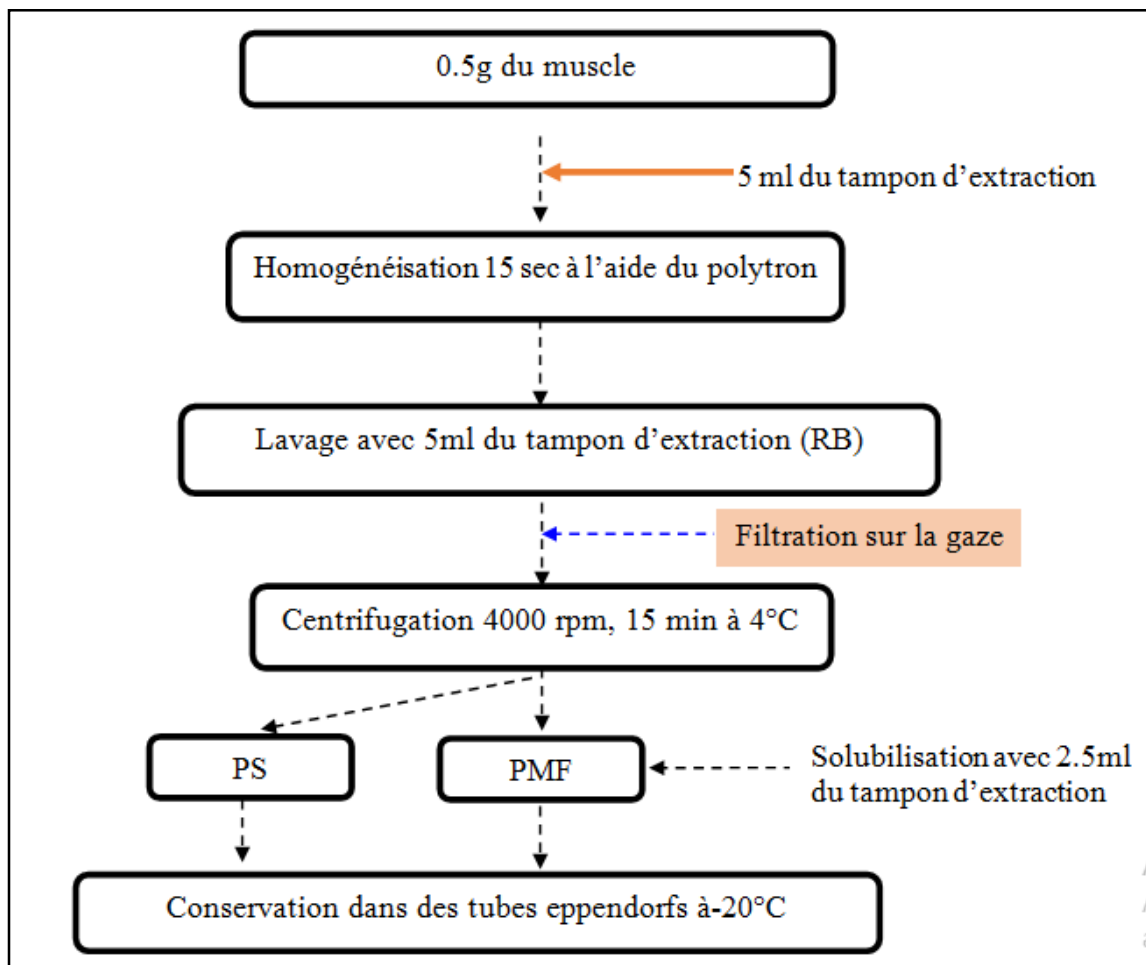
**Figure 22.** Schéma récapitulatif de la détermination de l'indice de fragmentation myofibrillaire (Culler *et al.* 1978 modifié par Li *et al.* 2012).

Après centrifugation à 2000 rpm pendant 15 minutes à 4°C, le surnageant a été jeté et le culot a été récupéré puis solubilisé avec 5-10ml de RB. Une seconde centrifugation a été réalisée (2000 rpm pendant 15 min à 4°C), le culot a encore une fois été solubilisé dans 5-10ml RB et filtré à l'aide d'un papier filtre afin d'enlever les tissus conjonctive et le gras. 10 ml supplémentaires de RB ont été utilisée pour faciliter le passage des protéines myofibrillaire à travers le filtre. Le filtrat a été conservé dans des tubes eppendorfs à -20°C (Li *et al.* 2012). Le jour du dosage, les échantillons ont été décongelés afin de déterminer la concentration des protéines dans les suspensions de protéines myofibrillaires par la méthode Bradford à 595 nm (Bradford 1976). Ensuite les suspensions ont été diluées avec RB afin d'obtenir une concentration en protéines de  $0.5 \pm 0.05$  mg/ml. L'indice de fragmentation myofibrillaire est la valeur de l'absorbance de la suspension diluée de protéines myofibrillaires mesuré à 540 nm multiplier par 200 (Figure 22) (Li *et al.* 2012).

## **5.5. Caractérisation protéolytique des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires**

### **5.5.1. Extractions des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires**

Un échantillon de 0.5g de muscle a été additionné à 10ml du tampon rigor contenant 75mM de KCl, 10mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2ml MgCl<sub>2</sub>, 2mM EGTA, 1mM NaN<sub>3</sub> à pH 7.0), puis homogénéisé 15 secondes au polytron (Polytron ® PT- MR 2100, Kinematica AG, Switzerland). L'homogénat a été filtré sur une gaze ensuite le filtrat est centrifugé à 4000 rpm pendant 15 min à 4°C. Le surnageant contenant les protéines sarcoplasmiques est récupéré dans des tubes eppendorfs. Le culot contenant les protéines myofibrillaires, quand à lui, est solubilisé avec 2,5ml du tampon d'extraction (RB) puis filtré sur un papier filtre et conservé dans des tubes eppendorfs. Les tubes eppendorfs contenant les solutions de protéines sont conservé à -20°C jusqu'à utilisation pour le dosage des protéines et le suivi de degré de protéolyse par électrophorèse (Joo et al. 1999). La figure 23 résume ces différentes étapes.



**Figure.23** : Schéma de l'extraction des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires (Joo *et al.*, 1999).

### 5.5.2. Dosage des protéines musculaires extraites

La concentration des protéines extraites est déterminée selon la méthode de Bradford (1976). C'est une méthode colorimétrique qui utilise le bleu de Coomassie G-250. Ce dernier se lie aux protéines, provoquant l'augmentation de l'absorbance de 365 à 595 nm. Une fois lié aux protéines sa couleur vire du rouge vers le bleu. Le haut coefficient d'extinction permet d'avoir un dosage des protéines même à de faibles concentrations, inférieures à 20  $\mu\text{g/mL}$ . L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de protéines présente dans l'échantillon. La densité optique des échantillons est mesurée au spectrophotomètre à 595 nm.

La solution mère de BSA (Sérum Albumine de Bovin) utilisée pour la préparation de la gamme d'étalonnage a une concentration de 2 mg/mL. Les dilutions préparées ont des concentrations de 0, 10, 20, 30, 40 et 50  $\mu\text{g/mL}$  de BSA, additionnées de tampon d'extraction et du réactif de Bradford (de chez Bio-rad). L'absorbance de la gamme étalon à la longueur



d'onde 595 nm permet de tracer la courbe d'étalonnage (annexe 4). En fonction de la densité optique des protéines extraites, leur concentration est calculée à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage.

### 5.5.3. Préparation des échantillons pour l'électrophorèse

Après le dosage des protéines par la méthode de Bradford (Bradford 1976) et le calcul des concentrations en protéines, 100 µl de l'échantillon ou solution de protéines à analyser et 20 µl de tampon dénaturant (de solubilisation 5 fois concentré) sont mise dans des tubes eppendorfs. Le Tampon dénaturant se compose de Tris/HCl 312,5 mM, EDTA 0,4 mM, SDS 7,5 %, glycérol 25 %, DTT 150 mM et bleu de bromophénol 0,05 %, le tout ajusté à pH 6,8. Le SDS (Sodium déodécyl sulfate) détergent anionique qui rompt presque toutes les interactions non covalentes des protéines natives et permet de conférer à l'ensemble des protéines une charge globale négative et le DTT (Dithiothréitol) permet de protéger l'oxydation des protéines et de rompre les ponts disulfures. Les échantillons sont ensuite chauffés 5 minutes au bain marie thermostatée à 95°C afin de compléter la dénaturation. Les protéines vont être dépliées perdant subséquemment leurs structures primaires et quaternaires (spatiales). Les échantillons sont conservés jusqu'à leur utilisation à - 20°.

### 5.5.4. Détermination du poids moléculaire (PM) par méthode électrophorétique

Les protéines sont séparées sur la base de leur masse par électrophorèse dans un gel de polyacrylamide (PAGE) dans des conditions dénaturantes. Le SDS (agent tensioactif) conférant une charge négative identique et le DTT (agent réducteur des ponts disulfures) mettant en évidence les différentes sous-unités d'une protéine, permettent la séparation des protéines uniquement sur la base de leur poids moléculaire. Leur vitesse de migration sera donc fonction de la taille des protéines et de la taille des mailles du gel. Elles vont donc être séparées suivant leurs poids moléculaires : les protéines de fortes tailles auront des difficultés à traverser les mailles du gel d'acrylamide.

Les dépôts sont réalisés dans les puits formés dans les gels après polymérisation. Sur chaque gel, une solution contenant des marqueurs de masses moléculaires est déposée dans le premier puits. Cette méthode permet donc de déterminer la masse moléculaire des protéines inconnues de chaque échantillon déposé dans chaque puits formé dans le gel de concentration, en comparant leur déplacement à celui des protéines connues (marqueurs standards). Les marqueurs de poids moléculaire utilisés proviennent de chez Bio-Rad (#161-0373), et qui sont des protéines recombinantes pré-marquées au bleu permettant d'estimer de haut en bas la

distance de migration et qui sont par ordre décroissant comme suit (kDa) : 250, 150, 100, 75, 50, 37, 25, 20, 15 et 10. La masse moléculaire des protéines est ainsi estimée à partir d'une courbe d'étalonnage (Annexe 4).

Puis les gels sont placés dans une cuve d'électrophorèse remplie de tampon d'électrophorèse ou tampon de migration, Tris 25 mM, glycine 192 mM, SDS 0,1 %, et  $\beta$ -mercaptoéthanol 0,05 % à pH 8,3. Puis, la cuve est reliée à un générateur, générant un courant électrique (1000 mA, 300 W) faisant migrer les protéines, d'abord à 80 volts pendant 15 à 20 minutes afin de concentrer les protéines dans le premier gel de concentration « Stacking » (annexe 3), et ce fort courant électrique force la migration des protéines qui vont stacker au front de migration des ions chlorure et d'obtenir ainsi de très fines bandes de protéines concentrées à la limite supérieure du second gel (Gagaoua 2011).

Ensuite, ce dernier gel de séparation « Résolving » (Annexe 3), permet de séparer les protéines selon un gradient de taille, par un maillage moléculaire, en augmentant le potentiel électrique à 140 volts pendant 2 heures environ. Toute cette opération est réalisée à température ambiante. Le dégagement de chaleur généré par le courant électrique nécessite un circuit de refroidissement qui est assuré par une circulation de l'eau du robinet froide.

Une fois la migration terminée, les protéines sont fixées dans une solution d'éthanol 30 %, acide acétique 5 %. Le gel est, en suite, mis dans une solution coloration au bleu de Coomassie contenant 0.03g du bleu de Coomassie R 250 dissout dans 100mL d'une solution à 10% (v/v) d'acide acétique pendant au moins 20 minutes sous agitation. La coloration au bleu de Coomassie se base sur la fixation de cette molécule aux acides aminés basiques (notamment Arg) et aromatiques (Phe, Tyr et Trp). Le gel est ensuite décoloré par des lavages successifs et sous agitation dans une solution de décoloration, qui est la même solution que celle ayant servie à la fixation des protéines jusqu'à bonne lisibilité des bandes protéiques (Gagaoua 2011).

## 6. Analyses statistiques

Pour répondre aux objectifs fixés et exploiter nos données, nous avons réalisé une analyse de variance sur les différents paramètres étudiés afin de déceler les variations dues à l'effet âge. Ensuite, une série d'analyses de corrélations ont été effectuées dans le but de révéler les relations entre les paramètres étudiés. L'analyse en composante principale (ACP) nous a permis de visualiser les relations entre les paramètres étudiés ainsi que la distribution des individus des poules en fonction des paramètres reliés à l'âge. Les modèles de régression

pas à pas ont été conduits pour tenter de prédire les différents attributs sensoriels et la pénétration par les attributs sensoriels ou les paramètres technologiques. Notre travail a été achevé par une caractérisation électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaire des deux lots de poules.

**Partie 3 :**

**Résultats et  
discussion**

## 1. Etude de variations due à l'âge

Les moyennes  $\pm$  écarts types des mesures instrumentales, biochimiques et sensorielles effectuées sur le muscle pectoral (*Superficialis pectoral*) des deux groupes de poules pondeuses de réformes étudiés (âgées et moyennement âgées) sont présentés dans le tableau 3.

Les résultats du tableau 3 montrent que les deux groupes de poules ayant des âges différents n'ont aucune différence significative dans leur poids final à l'abattage. Par ailleurs, des différences significatives ( $P < 0,05$ ) ont été trouvées pour le pH, le pourcentage de pertes en eaux (PE), les pertes à la cuisson (PC), et les scores de tendreté et résidus. Le groupe 1, correspondant aux poules très âgées (âge moyen de 337 jours) se caractérise par un pH, un pourcentage d'eau reléguée (PE), une perte de cuisson (PC) et des scores de tendreté significativement faibles par rapport à ceux du 2<sup>ème</sup> groupe (âge moyen de 220 jours). Malgré la différence significative trouvée pour la tendreté mesurée par analyse sensorielle, aucune différence n'a été constatée pour la profondeur de pénétration. Aussi, les autres attributs sensoriels de texture, à savoir la jutosité, la cohésion et la mastication ne sont pas différents entre les deux groupes. Nos résultats semblent être en accord malgré le faible effectif des groupes à ceux rapportés par (Larmond & Moran 1969). Ces auteurs n'ont pas aussi trouvé un effet âge pour la jutosité entre des poulets âgés de 42, 49, 56, 63 et 70 jours. Baéza et ses collaborateurs rapportent que la viande des pintades à 87 jours sont moins juteuses que celles à 101 jours (Baéza *et al.* 2003). Il est admis que la jutosité perçue d'un morceau de viande est liée à la quantité d'eau dans la viande et au taux des lipides intramusculaires car quand la matière grasse est chauffée, elle fond et lubrifie les fibres musculaires dans la viande, aidant à maintenir son humidité (Bejerholm & Aaslyng 2003). Par ailleurs, il a été aussi montré que les pertes à la cuisson seules n'expliquent pas toute la variabilité observée dans la jutosité (Toscas *et al.* 1999).

**Tableau 3 :** Analyse de Variance (moyennes  $\pm$  écarts-types) sur les des paramètres mécaniques, biochimiques et sensorielles du muscle *Superficial pectoral* des deux groupes de poules pondeuses étudiés.

Variables <sup>1</sup>	Groupes de poules pondeuses étudiées		ESM <sup>2</sup>	P-value <sup>3</sup>
	Groupe 1 Age (337 $\pm$ 16.24)	Groupe 2 Age (220 $\pm$ 1.00)		
<b>Poids (kg)</b>	1,79 $\pm$ 0,18	1,78 $\pm$ 0,29	0,06	Ns
<b>pH</b>	5,76 $\pm$ 0,25	6,24 $\pm$ 0,27	0,09	**
<b>CRE</b>	32,72 $\pm$ 3,54	29,63 $\pm$ 3,48	0,99	Ns
<b>PE (%)</b>	34,09 $\pm$ 2,80	39,31 $\pm$ 2,94	1,00	**
<b>PC</b>	33,38 $\pm$ 1,40	31,14 $\pm$ 2,24	0,56	*
<b>Pénétration (mm)</b>	6,83 $\pm$ 0,54	6,58 $\pm$ 0,55	0,14	Ns
<b>Tendreté (0 – 10)</b>	6,16 $\pm$ 1,11	7,42 $\pm$ 0,47	0,27	*
<b>Jutosité (0 – 10)</b>	4,01 $\pm$ 1,31	3,10 $\pm$ 0,70	0,30	Ns
<b>Cohésion (0 – 10)</b>	5,05 $\pm$ 1,55	3,76 $\pm$ 1,25	0,40	Ns
<b>Mastication (0 – 10)</b>	5,15 $\pm$ 1,38	4,27 $\pm$ 0,93	0,32	Ns
<b>Résidus (0 – 10)</b>	4,35 $\pm$ 1,09	3,13 $\pm$ 0,70	0,28	*
<b>Appréciation globale (0 – 10)</b>	5,69 $\pm$ 1,03	6,30 $\pm$ 0,81	0,25	Ns
<b>IFM</b>	22,20 $\pm$ 3,39	23,25 $\pm$ 4,86	1,09	Ns

<sup>1</sup> **Abréviations:** CRE: Capacité de rétention d'eau ; PER: pertes en eaux ; PC: Perte à la cuisson ; IFM: Indice de fragmentation myofibrillaire.

<sup>2</sup> **ESM :** erreur standard de la moyenne.

<sup>3</sup> **Signification:** \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$ ; Ns: non significative.

Certaines études ont émis des hypothèses impliquant l'état biochimique et biophysique de l'eau dans la viande ainsi que sa distribution, et spéculent qu'il peut jouer un rôle majeur dans la texture et en particulier la jutosité de la viande (Trout 1988). Cependant, ceci n'a pas pu être vérifié dans le cas de cette étude par faute de moyens. Par ailleurs, nous pouvons supposer que dans le cas des poules pondeuses, se caractérisant pas de faibles taux lipidiques, auront à influencer négativement les scores de la jutosité. De plus, les scores devront être

faibles et proches et ceci en étroite relation à la faible mobilité de l'eau retenue dans l'espace intracellulaire.

En accord avec les résultats de (Baéza *et al.* 2003) et (Northcutt *et al.* 2001), les pertes en eau à la cuisson de la viande des poules du groupe 1 sont significativement plus élevées (33,38% vs 31,14% ;  $P < 0,05$ ) que celles des poules moyennement âgées (groupe 2). Les pertes en eau à la cuisson représentent un paramètre technologique et économique très important (Lawrie & Ledward 2006), vu l'impact engendré sur les qualités nutritionnelles (biodisponibilité de micronutriments comme les minéraux essentiels (fer et zinc) et aussi les vitamines (notamment du groupe B) du produit final. Les différences trouvées entre les deux groupes sont probablement dues en partie au collagène et à ses propriétés de solubilisation lors de la cuisson. Nous supposons un rôle prépondérant de la contraction du tissu conjonctif dans la migration des jus hors du morceau de viande en fonction de l'âge. Néanmoins, il est très difficile à élucider ce qui impacte les pertes en eaux dans nos groupes d'animaux avec les moyens actuels. Il est par ailleurs à rappeler, qu'au cours du début de cuisson (passage de l'état cru à l'état « bleue »), le phénomène qui se produit est une dé-liaison de l'eau. Une partie de l'eau liée se transforme en eau libre, ce qui se traduit par des pertes de jus à la cuisson. Nous supposons que l'état microstructural en interaction avec l'âge intervient dans notre cas. Puis, au cours des étapes suivantes de la cuisson (passage de l'état « bleue » à l'état « bien cuit »), la dé-liaison de l'eau se poursuit mais lentement, gardant ainsi les différences entre les deux groupes. Pour exemple, des investigations plus poussées chez le porc ont été largement documentées concernant cette problématique (Bertram *et al.* 2007).

Les valeurs des pertes en eaux ont été significativement différentes entre les deux groupes (34,09 vs 39,31 ;  $P < 0,01$ ) pour le groupe 1 et 2, respectivement. Ces résultats corroborent à ceux rapportés dans plusieurs études (El Rammouz *et al.* 2004); (Fraqueza *et al.* 2006); (Berri *et al.* 2007; Janisch *et al.* 2011). Les pertes en eaux dépendent en une partie des caractéristiques des protéines et pour exemple (Janisch *et al.* 2011) suggèrent que la rétention d'eau des poules âgées peut être liée à l'état biophysique des protéines sarcoplasmiques.

Les valeurs du pH de la viande du muscle pectoral des poules étudiées varient entre 5,55 et 6,51. Les pH ultimes obtenus se placent dans la marge des valeurs rapportées dans la littérature et qui varient de 5,77 à 6,12 (Zheng *et al.* 1999; Qiao *et al.* 2002 ; Jaturasitha *et al.* 2008; Kirmaci & Singh 2012). Les valeurs du pH ultime des deux groupes sont significativement différentes (5,76 vs 6,24,  $P < 0,01$ ) pour le groupe 1 et 2, respectivement.

Les poules très âgées du groupe 1 se caractérisent par un pH ultime bas. Ce résultat est concordant avec ceux obtenus dans la viande de dinde (Sarica *et al.* 2011).

Pour ce qui est des caractéristiques sensorielles, les dégustateurs ont attribué des scores élevés pour l'attribut hédonique, l'appréciation globale, indépendamment des groupes. Aucun effet significatif pour âge n'a été trouvé pour cet attribut. Il ressort que malgré les idées perçues par les consommateurs sur la viande des poules pondeuses de réformes, leur viande dans le cas de cette étude a été jugée appréciable par les membres du jury indépendamment de l'âge. Il a été déjà rapporté par (Horsted *et al.* 2012), que la viande des poules âgées est appréciée malgré les différences enregistrées dans leur scores de tendreté. Dans cette étude et comme attendu la viande des poules moins âgées a été jugée plus tendre. De ce fait, il ressort que la tendreté n'est pas le facteur qui impacte les notes de l'appréciation globale et ceci a été confirmé par les modèles de prédiction (voir partie 4. de la discussion).

## **2. Recherche de corrélations entre les différents paramètres étudiés**

Les coefficients de corrélations de Spearman entre les paramètres étudiés pour tous les animaux (en enlevant l'effet âge après standardisation par la procédure 'Proc Standard' de SAS pour les deux groupes) et pour chaque groupe (1 puis 2) ont été présentés dans les Tableaux 4, 5 et 6 respectivement.

### **2.1. Relation entre l'âge à l'abattage et les autres variables étudiées**

Selon (Baéza *et al.* 2003), l'âge a un effet significatif sur le poids vif à l'abattage des pintades. Les auteurs spéculent que plus les animaux sont abattus à un âge tardif, plus leur poids vif est élevé. Ceci est probablement dû à l'effet que l'âge a sur l'évolution de la structure globale des constituants du muscle. Dans cette étude, aucune relation n'a été trouvée pour l'ensemble des animaux lorsque regroupés en un seul batch. Par ailleurs, une corrélation hautement significative a été trouvée pour le groupe des poules âgées ( $r = 0,73$ ,  $P < 0,05$ ) en accord aux travaux de (Baéza *et al.* 2003).



**Tableau 4 :** Coefficients de corrélation Spearman entre les variables étudiées pour toutes les poules en un seul batch en utilisant les valeurs centrées réduites (z-scores) après standardisation de l'effet âge.

Variables	Poids kg	Age	pH	CRE	PER	Pénétration	Tendreté	Jutosité	Cohésion	Mastication	Résidus	Appréciation	PC
Age	0,30												
pH	-0,07	<b>-0,69</b>											
CRE	<b>0,51</b>	0,40	-0,41										
PER	-0,21	<b>-0,67</b>	0,47	<b>-0,61</b>									
Pénétration	0,13	0,29	-0,21	-0,09	-0,39								
Tendreté	-0,28	<b>-0,63</b>	0,36	-0,25	<b>0,52</b>	<b>-0,53</b>							
Jutosité	0,07	0,02	-0,29	0,07	-0,17	<b>0,58</b>	-0,48						
Cohésion	0,04	0,21	0,01	0,19	-0,29	0,19	<b>-0,51</b>	0,15					
Mastication	0,36	0,19	0,04	0,20	-0,25	0,12	-0,39	0,21	0,40				
Résidus	0,11	0,46	-0,22	0,24	-0,39	0,09	-0,32	0,08	0,43	0,33			
Appréciation	0,12	-0,17	-0,19	-0,07	0,28	-0,02	<b>0,50</b>	-0,05	<b>-0,58</b>	-0,21	-0,43		
PC	-0,15	0,36	-0,26	0,08	-0,22	-0,13	-0,36	0,10	0,49	0,27	<b>0,56</b>	-0,48	
IFM	-0,11	-0,05	-0,06	0,12	0,22	<b>-0,58</b>	0,32	-0,13	-0,25	-0,07	0,26	0,33	0,15

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$*

CRE : capacité de rétention d'eau, PER : pourcentage d'eau reléguée, PC : pertes à la cuisson, IFM : indice de fragmentation myofibrillaire.

**Tableau 5 :** Coefficients de corrélation Spearman entre les variables étudiées pour les poules du groupe 1 (plus âgées).

Variables	Poids	Age	pH	CRE	PER	Pénétration	Tendreté	Jutosité	Cohésion	Mastication	Résidus	Appréciation	PC
Age	<b>0,73</b>												
pH	0,21	0,62											
CRE	0,52	0,08	-0,50										
PER	-0,14	-0,34	-0,31	-0,05									
Pénétration	-0,55	-0,43	0,14	<b>-0,76</b>	0,14								
Tendreté	-0,17	-0,15	-0,43	0,33	0,12	-0,21							
Jutosité	-0,52	<b>-0,79</b>	-0,57	-0,24	0,21	<b>0,69</b>	0,09						
Cohésion	0,21	-0,16	0,19	0,00	0,33	-0,05	-0,43	-0,05					
Mastication	-0,21	-0,02	0,38	-0,36	-0,05	-0,14	-0,17	-0,29	0,55				
Résidus	0,26	0,33	0,29	-0,48	0,24	0,14	-0,26	-0,02	0,33	0,38			
Appréciation	-0,19	-0,29	<b>-0,67</b>	0,33	0,36	-0,07	<b>0,90</b>	0,33	-0,48	-0,43	-0,21		
PC	0,24	0,24	-0,12	0,12	0,12	-0,59	-0,09	-0,36	0,26	0,55	0,55	-0,12	
IFM	0,19	0,14	-0,44	0,24	0,39	-0,39	0,59	-0,04	-0,17	0,00	0,44	<b>0,66</b>	0,60

**Tableau 6 :** Coefficients de corrélation Spearman entre les variables étudiées pour les poules du groupe 2 (moyennement âgées).

Variables	Poids	Age	pH	CRE	PER	Pénétration	Tendreté	Jutosité	Cohésion	Mastication	Résidus	Appréciation	PC
Age	0,22												
pH	-0,02	<b>-0,87</b>											
CRE	0,45	-0,22	0,48										
PER	-0,31	-0,11	-0,33	<b>-0,74</b>									
Pénétration	0,59	0,44	-0,05	0,31	-0,45								
Tendreté	-0,33	-0,11	-0,05	-0,24	0,09	<b>-0,55</b>							
Jutosité	0,55	-0,22	0,31	0,29	0,00	0,43	<b>-0,86</b>						
Cohésion	0,00	-0,44	<b>0,74</b>	0,26	-0,52	0,24	-0,19	0,24					
Mastication	<b>0,86</b>	0,00	0,19	0,62	-0,33	0,55	<b>-0,69</b>	<b>0,83</b>	0,14				
Résidus	0,02	<b>-0,65</b>	0,62	0,17	-0,09	-0,33	0,57	-0,14	0,19	-0,12			
Appréciation	0,33	<b>0,87</b>	<b>-0,71</b>	0,07	-0,36	0,29	-0,07	-0,17	-0,40	0,17	-0,43		
PC	-0,29	-0,44	0,43	-0,50	0,19	-0,19	0,14	0,07	0,50	-0,31	0,48	-0,48	
IFM	-0,38	-0,22	0,00	0,07	0,05	<b>-0,76</b>	0,24	-0,21	-0,31	-0,21	0,24	0,14	-0,05

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

Les valeurs en rouge sont des tendances de signification  $\alpha = 0.1$ .

CRE : capacité de rétention d'eau, PER : pourcentage d'eau reléguée, PC : pertes à la cuisson, IFM : indice de fragmentation myofibrillaire.

Les scores de tendreté étaient négativement corrélés avec l'âge de l'animal ( $r = -0,63$  ;  $P < 0,05$ ). Ce résultat corrobore avec ceux rapportés dans de nombreuses études antérieures (Larmond & Moran 1969 ; Touraille *et al.* 1981 ; Iqbal *et al.* 1999 ; Poole *et al.* 1999 ; Northcutt *et al.* 2001). Ceci nous conduit à conclure qu'une relation linéaire existe entre la texture de la viande et l'âge à l'abattage. Cette relation est la résultante de plusieurs facteurs non encore maîtrisés, mais en partie à l'accroissement des réticulations du collagène ainsi que le diamètre des fibres musculaires. Plusieurs études ont confirmé leur contribution à la variation de la tendreté de la viande de volailles (Coró *et al.* 2002 ; Nakamura *et al.* 2004 ; Wattanachant 2008 ; Janisch *et al.* 2011). Les changements qui se produisent pendant le stockage *post-mortem* sur la longueur du sarcomère et l'activité protéolytique sont des facteurs déterminants (Kriese *et al.* 2007).

Par ailleurs, la mesure instrumentale par pénétrométrie n'a pas été trouvée reliée à l'âge des poules. Ces résultats préliminaires corroborent à ceux rapportés récemment par (Schneider *et al.* 2012) en utilisant la force de cisaillement de Allo-Kramer pour la mesure de la dureté des poules âgées de 28, 35, 42, 49, et 56 jours. Nous avons également trouvé des corrélations entre l'âge et les scores de jutosité mais uniquement pour le 1<sup>er</sup> groupe ( $r = -0,79$  ;  $P < 0,05$ ) et l'âge et les scores de l'appréciation globale pour le 2<sup>ème</sup> groupe ( $r = 0,87$  ;  $P < 0,05$ ). Nous avons aussi trouvés des tendances de corrélations entre l'âge et les scores de résidus ( $r = 0,66$  ;  $P < 0,1$ ) pour le groupe 2.

## 2.2. Relation entre les attributs sensoriels

Les caractéristiques sensorielles, en particulier la tendreté, la cohésion et l'appréciation globale avaient des corrélations significatives entre elles et les coefficients de corrélation varient de  $r = 0,51$  à  $r = 0,58$  ( $P < 0,05$ ) (Tableau 4). Pour exemple, (Lyon & Lyon 1990) ont rapporté une relation positive entre la tendreté et l'appréciation globale.

Nous avons également trouvé des corrélations entre les scores de jutosité et les scores de tendreté et mastication ( $r = -0,86$  et  $r = 0,83$  ;  $P < 0,05$  ; respectivement). De plus, des tendances de corrélations entre les scores de tendreté et de mastication ( $r = -0,69$  ;  $P < 0,1$ ) pour le groupe 2 (Tableau 6). Plusieurs études ont rapportés des relations entre les attributs sensorielles (Destefanis *et al.* 2000 ; Hernández *et al.* 2000 ; Kopuzlu *et al.* 2011).

## 2.3. Relation entre la mesure instrumentale et l'analyse sensorielle

La force de cisaillement de Warner-Bratzler (WB) a été largement utilisée pour l'appréciation de la texture de la viande (Barbanti & Pasquini 2005 ; Destefanis *et al.* 2008).

Des corrélations allant de fortes à modérés entre la mesure instrumentale par la force de cisaillement de WB et les attributs sensorielles caractérisant la texture, à savoir la tendreté, la cohésion, la mastication et autres ont été rapportées (Caine *et al.* 2003; Hopkins *et al.* 2013). Pour exemple, (Lyon & Lyon 1990) ont trouvé des corrélations entre la tendreté de la viande de poulet et les forces de WB et Allo-kramer et aussi entre l'appréciation globale et les forces WB et Allo-kramer. De plus, (Cavitt *et al.* 2005) en caractérisant le muscle pectoral de poulet à différents temps *post-mortem*, ont rapporté une valeur de  $r = 0,82$  entre la force WB et la dureté et une corrélation de 0,71 entre la force WB et la cohésion. Globalement, les résultats de la relation entre la force de cisaillement et la texture vont dans le même sens pour de nombreuses études (Lyon & Lyon 1997; Xiong *et al.* 2006; Zhuang *et al.* 2007). Le tableau 7 résume des résultats de quelques études choisies rapportant des corrélations entre les mesures sensorielles et instrumentales de la tendreté du muscle *superficialis pectoral* du poulet.

Selon (Zhuang & Savage 2010), ces relations suggèrent que la mesure de force de cisaillement de WB peut être utilisée d'une part, pour refléter l'intensité des mesures des propriétés sensorielles de texture, à savoir la cohésion, la dureté et la mastication, ou d'autre part pour refléter les effets de la combinaison de ces trois caractéristiques.

Dans la présente étude, nous avons pu montrer que les scores de tendreté étaient, comme prévus, négativement corrélés avec les profondeurs de pénétration ( $r = -0,54$  ;  $P < 0,05$ ). Toutefois, nous n'avons pas trouvé de corrélations entre les distances de pénétration et les autres attributs représentant la texture. Comme attendu ceci peut varier entre les panels utilisés et les conditions de préparation (température et temps de cuisson) de la viande pour la dégustation. Les comparaisons resteront difficiles à faire vu l'impossibilité de reproduire parfaitement les protocoles utilisées par les autres études. Par exemple, dans l'étude sur l'évaluation sensorielle de l'effet du temps de maturation sur la qualité de la viande bovine, (Brewer & Novakofski 2008) ont trouvé que un coefficient de corrélation inférieur à 0,42 entre les scores de tendreté et les valeurs obtenues par WB lorsque données brutes individuelles ont été utilisés. Or, la corrélation était presque parfaitement linéaire si les mêmes données étaient regroupées avant d'être analysées. (Bouton *et al.* 1975) suggèrent que les plus ou moins faibles relations entre les mesures objectives et subjectives de tendreté peuvent être expliquées par les variations d'échantillonnage et le fait que le stress et la contrainte développé dans la bouche pendant la mastication de la viande ne sont pas adéquatement représentés par des techniques instrumentales.

**Tableau 7 :** Résumé des résultats des études choisies rapportant des corrélations entre les mesures sensorielles et instrumentales de la tendreté du muscle *superficialis pectoral* du poulet.

	Simpson et Goodwin (1974)	Lyon et Lyon (1990)	Cavitt et al. (2004)	Cavitt et al. (2005)	Xiong et al. (2006)	Hafid et al. (2015) Notre étude
Source du muscle et nombre	Muscle <i>superficialis pectoral</i> à partir de 48 poulets âgés de 8 semaines	Muscle <i>superficialis pectoral</i> à partir de 288 poulets âgés de 49 jours	Muscle <i>superficialis pectoral</i> à partir de 270 poulets âgés de 7 semaines	Muscle <i>superficialis pectoral</i> à partir de 75 males et 75 femelles âgés de 7 semaines	Muscle <i>superficialis pectoral</i> à partir de 504 poulets	Muscle <i>superficialis pectoral</i> à partir de 16 poules pondeuses âgées de 337 et 220 jours
Traitement thermique	Autoclave 101°C pendant 20min	Micro-onde à 180°C pendant 4min Bain marie à 85°C pendant 25min	Four jusqu'à T° à cœur 76°C	Four jusqu'à T° à cœur 76°C	Bain marie à 85°C pendant 25min	Bain marie à 80°C pendant 1h
Taille du panel	5 panelistes non entraînés	24 panelistes entraînés	6 panelistes entraînés	6 panelistes entraînés	7 panelistes entraînés	10 panelistes entraînés
Echelle utilisée	Structurée de 1 à 5	Structurée de 1 à 6	Structurée de 1 à 15	Structurée de 1 à 15	Structurée de 1 à 9	Non structurée de 10 cm
Instrument utilisé	Allo-kramer	- Warner-Bratzler (WB) - Allo-Kramer (AK)	- Allo-Kramer (AK) - Razor blade (RB)	Warner-Bratzler	- Warner-Bratzler (WB) - Allo-Kramer (AK) - Razor blade (RB)	Pénétrömètre
Taille de l'échantillon		1.9×1.9×1.9cm	4×2×7cm	1.9×1.9×1.9cm	1.9×1.9×1.9cm (WB) 4×2×7cm (AK) 2.4×8.9cm (RB)	4×2×1.5cm
Coefficient de corrélation : score de tendreté versus instrument	0.71	0.82(WB) 0.84 (AK)	0.68 (AK) 0.75 (RB)	0.82	0.82 (WB) 0.77 (AK) 0.87(RB)	-0.54

Enfin, une corrélation positive entre la distance de pénétration et les scores de jutosité a été trouvée ( $r = 0,58$  ;  $P < 0,05$ ). Ces résultats sont en accord avec les travaux de (Lyon & Lyon 1990) ou des résultats similaires ont été rapportés ( $r = 0,53$  ;  $P < 0,01$ ) entre la mesure de WB et les scores de jutosité. Par ailleurs, Caine *et al.* (2003) n'ont pas trouvé de corrélation entre la jutosité et l'analyse du profil de texture (TPA) ou WBSF.

#### **2.4. Relation entre l'indice de fragmentation myofibrillaire et la tendreté**

Dans notre étude, les valeurs de la profondeur de pénétration étaient négativement corrélées aux valeurs de l'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM) ( $r = -0,58$  ;  $P < 0,05$ ). Ces résultats corroborent à ceux reportés par Yu *et al.* (2005) et Kriese *et al.* (2007). La fragmentation myofibrillaire est montrée pour avoir une forte corrélation avec les forces de cisaillement et l'analyse sensorielle de la tendreté de la viande (Møller *et al.* 1973 ; Olson *et al.* 1976). Par ailleurs, (Kriese *et al.* 2007), qui ont trouvé des corrélations négatives ( $r = -0,93$  ;  $P < 0,05$ ) entre l'IFM et WB, suggèrent que plus l'activité de protéases est haute plus la viande de poulet est tendre. De plus, Davey & Gilbert (1969) ont montré que la turbidité de la suspension myofibrillaire préparée augmente avec le temps de stockage *post-mortem*. L'IFM est considéré comme étant un indicateur de tendreté de la viande, particulièrement pour les muscles qui ne sont pas assez volumineux pour être utilisés en analyses sensorielles ou instrumentales (Veiseth *et al.* 2001).

Nous avons pu aussi trouver une tendance de corrélation entre l'IFM et les scores d'appréciation globale ( $r = 0,66$  ;  $P < 0,1$ ) pour le groupe 1 uniquement.

#### **2.5. Relation entre le pH et les autres variables**

La qualité de viande est connue être influencée par le pH ultime (pHu). Le pH est l'un des paramètres physiques les plus importants pour le profil qualitatif de la viande et il est largement utilisé comme prédicteur des qualités technologiques et sensorielles de la viande (El Rammouz *et al.* 2004). Fletcher (1999) et Van Laack *et al.* (2000) ont rapporté des corrélations significatives entre le pH et les paramètres technologiques de la volaille.

Nous avons trouvé dans notre cas des corrélations négatives entre le pHu et l'âge de l'animal ( $r = -0,69$  ;  $P < 0,005$ ). Ceci veut dire que plus l'âge de l'animal augmente plus le pH est bas. Baéza *et al.* (2003) ont trouvé des résultats comparables et ont expliqué cette diminution du pH avec l'âge par l'augmentation du métabolisme glycolytique des muscles

avec l'âge et probablement des réserves en glycogène déjà démontrées chez le poulet par Bacou & Vigneron (1976) et chez le canard de Barbarie par Baéza *et al.* (1998).

Le pH *post-mortem* est l'un des événements les plus importants dans la transformation du muscle en viande en raison de son effet sur la capacité de rétention d'eau (Swatland 2008). En outre, il a été montré que les changements du pH ultime affecte d'une manière directe la quantité des pertes en eau d'un morceau de viande en altérant la répulsion électrostatique entre les filaments épais et fins (Yu *et al.* 2005).

Dans notre étude nous n'avons pas trouvé de corrélations significatives entre le pH et la capacité de rétention d'eau, néanmoins nous avons remarqué que les poules du groupe 1 ayant un pH légèrement inférieur par rapport au groupe 2, avaient une capacité de rétention d'eau légèrement supérieur ainsi qu'un pourcentage de pertes en eau (PE) légèrement inférieur en comparaison au deuxième groupe (Tableau 3). Cependant, Musa *et al.* (2006) et Schneider *et al.* (2012) ont trouvé des corrélations négatives entre le pH et la capacité de rétention d'eau. Le sens des relations rapportées dans notre étude soutiennent l'hypothèse, que les faibles capacité de rétention d'eau résulte d'un pH supérieur.

Musa *et al.* (2006) ont trouvé que le pH était positivement relié à la tendreté. Toutefois, la même relation n'a pas été montrée dans la présente étude. Par contre, en étudiant les corrélations de chaque groupe à part nous constatons des tendances de corrélations négatives entre le pH et l'appréciation globale avec  $r = -0,67$  et  $r = -0,71$  ( $P < 0,1$ ) pour le groupe 1 et 2, respectivement (Tableau 5 et 6). Aussi des corrélations positives entre le pH et la cohésion ( $r = 0,74$  ;  $P < 0,05$ ) pour le groupe 2.

## 2.6. Relation entre les pertes en eau et les autres variables

La quantité d'exsudat de muscle est un indicateur de la capacité de rétention d'eau (CRE), qui se rapporte à la capacité de la viande crue à maintenir son eau inhérente ou supplémentaire par le traitement et le stockage *post-mortem* (Honikel & Hamm 1994). La capacité de rétention d'eau est un critère très déterminant de la qualité, notamment technologique de la viande. Une viande de volaille avec une faible CRE et des pertes en eau élevée est estimée indésirable par les industriels et aussi les consommateurs. La perte excessive d'eau cause l'accumulation accrue d'humidité dans l'emballage, ce qui réduit par conséquent le rendement du produit (Bowker & Zhuang 2013).

Dans notre étude nous avons trouvé des corrélations entre le pourcentage des pertes en eaux (PE) et les scores de tendreté ( $r = 0,52$  ;  $P < 0,05$ ) (Tableau 3). Aussi des corrélations entre la CRE et les scores de tendreté mais uniquement pour le groupe 1 ( $r = -0,76$  ;  $P < 0,05$ ) (Tableau 5). A titre comparatif, Musa *et al.* (2006) ont rapporté des corrélations négatives entre la CRE et la tendreté.

Les pertes en eau à la cuisson sont un autre indicateur de la capacité de rétention d'eau. Il est un important attribut sensoriel et technologique de la viande vu sa relation avec les autres attributs qui peuvent affecter crucialement la qualité finale de la viande (Mehaffey *et al.* 2006). Les pertes en eau à la cuisson est une caractéristique très importante pour l'industrie de transformation, parce que la préservation d'une viande à son eau est un facteur important pour la valeur marchande du produit. Le contenu d'eau et sa distribution dans la viande cuite influence d'une manière considérable les caractéristiques sensorielles comme la dureté, la jutosité, la fermeté et/ou l'apparence (Yu *et al.* 2005).

Plusieurs études ont rapporté des corrélations entre les pertes en eau à la cuisson et les mesures de dureté de la viande (Barbanti & Pasquini 2005 ; Betti *et al.* 2009 ; Schneider *et al.* 2012). Ces études ont rapporté que la diminution de la tendreté était en étroite relation avec les pertes excessives en eau lors de la cuisson. Ceci est cohérent avec la théorie que les pertes de l'humidité pendant la cuisson affectent négativement la tendreté de la viande (Betti *et al.* 2009). Mais dans notre étude, nous n'avons pas trouvé de corrélation entre les pertes de cuisson avec les distances de pénétration mesurée par pénétromètre, ni aussi avec les scores de tendreté. Liu *et al.* (2004) ont trouvé des résultats comparables. Toutefois, nous avons trouvé des corrélations positive entre les pertes de cuisson et la présence de résidus ( $r = 0,56$  ;  $P < 0,05$ ).

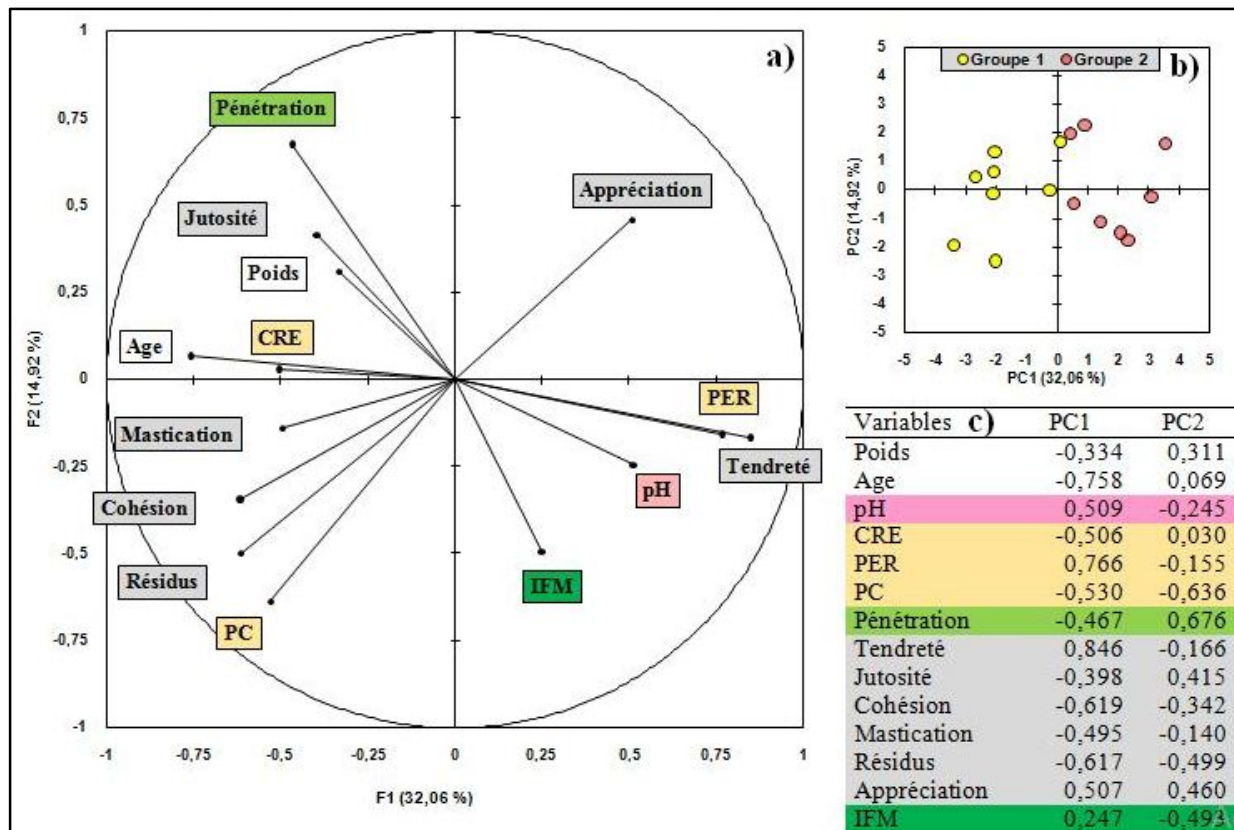
### 3. Visualisation des relations entre les paramètres étudiés

Les analyses en composantes principales sont présentées dans la figure 24. Les deux premiers axes expliquent 47% de la variabilité (Figure 24a). Le bi-plot de la distribution des individus a été illustré en Figure 24b. Les poules les plus jeunes (groupe 2 ; rose) sont groupées dans le côté droit et les plus âgées (groupe 1, jaune) sont dans le côté gauche. La première composante expliquant 32% de variabilité se caractérise principalement par les PER, la tendreté, l'appréciation globale et le pH sur le côté positif et les attributs de la texture (cohésion, mastication et résidus) représentant les propriétés indésirables et l'âge sur le côté négatif. La deuxième composante expliquant 15% de la variabilité était principalement



caractérisée par la pénétration sur le côté positif et les pertes en eau à la cuisson, les scores de résidus et l'IFM sur le côté négatif.

Nous constatons la performance de l'analyse en composantes principale à bien discriminer les deux groupes de poules en fonction de leur âge, propriétés musculaires, technologiques et sensorielles.



**Abbréviations:** CRE: Capacité de rétention d'eau ; PER: pertes en eaux ; PC: Perte à la cuisson ; IFM: Indice de fragmentation myofibrillaire.

**Figure 24 :** Analyse en composantes principales (PC). **a)** Projection des variables étudiées dans les deux premiers axes. **b)** Bi-plot des observations des animaux correspondant au groupe 1 (les poules âgées en jaune) et groupe 2 (les poules jeunes en rose). **c)** Coefficients des vecteurs des variables sur les deux premiers axes.

#### 4. Modèles de prédiction des attributs sensoriels

Dans l'objectif d'expliquer les attributs sensoriels et la pénétration (mesure instrumentale de la dureté) de la viande des poules pondeuses étudiées par les attributs sensoriels ou les paramètres technologiques, des régressions multiples pas à pas ont été réalisés.

Le tableau 8 illustre les différents modèles expliquant l'appréciation globale, la tendreté et la pénétration par les autres attributs sensoriels. Pour leur construction i) l'appréciation globale n'a pas été prise en compte comme variable explicative pour la tendreté ; ii) la pénétration n'a pas été utilisée comme variable explicative de l'appréciation globale et iii) la mastication et l'appréciation globale n'ont pas été utilisées comme variables explicatives de la pénétration.

Les modèles d'explications de la pénétration par les attributs sensoriels retiennent la jutosité comme variable explicative, expliquant ainsi 29% (pour toutes les poules) ou 51% pour les poules âgées. Cependant, aucun modèle n'a été trouvé pour le groupe 2.

La tendreté a été trouvée orientée négativement par la mastication pour un modèle global de 36%. Alors que la tendreté du groupe 2 a été expliquée à 86% par deux variables, à savoir la mastication (négativement) et les résidus (positivement). Cette fois-ci aucun modèle n'a pu être établi pour le groupe 1 (poules âgées).

L'appréciation globale comme attendu a été expliquée en partie par la tendreté. Le modèle du groupe 1 s'explique à 71% par seulement la tendreté. Les poules du groupe 2 (moins âgées) ayant été jugées les plus tendres ne semblent pas être appréciées par leur tendreté élevée mais fort probablement pour d'autres paramètres non déterminées dans cette étude et qui peuvent être soit les lipides ou la saveur. Pareil que les autres modèles globaux, l'appréciation globale de l'ensemble des poules s'explique à 46% par la tendreté.

Il est remarquable que les pouvoirs de prédiction des modèles de toutes les poules en un seul ensemble soient plus faibles que les groupes séparément. Ce pouvoir de prédiction faible, lorsque un ensemble regroupant des divergences a été étudié, est en accord à ce qui a été rapporté dans la littérature pour les autres espèces (Renand *et al.* 2001; Chriki *et al.* 2013; Gagaoua *et al.* 2013; Bonny *et al.* 2015). Par ailleurs, il est à signaler que cette étude est la première à se pencher sur la possibilité d'explications de la variabilité de la qualité de la viande des poules pondeuses avec les autres traits d'où l'impossibilité de comparer ces résultats à la littérature.

**Tableau 8 :** Modèles de régressions pour la prédiction des attributs sensoriels par les attributs sensoriels

Attributs	Groupe 1			Groupe 2			Les deux groupes (Z-scores)		
	Signification	R <sup>2</sup>	Equation	Signification	R <sup>2</sup>	Equation	Signification	R <sup>2</sup>	Equation
Pénétration	0,04	0,51	5,66 + 0,29 Jutosité			Aucun model	0,031	0,29	0,54 Jutosité
Tendreté			Aucun model	0,005 0,025	0,58 0,28	8,01– 0,40 Mastication + 0,35 Résidus	0,013	0,36	–0,60 Mastication
Appréciation	0,009	0,71	0,87 + 0,78 Tendreté			Aucun model	0,004	0,46	0,68 Tendreté

**Tableau 9 :** Modèles de régressions pour la prédiction des attributs sensoriels par les paramètres technologiques

Attributs	Groupe 1			Groupe 2			Les deux groupes (Z-scores)		
	Signification	R <sup>2</sup>	Equation	Signification	R <sup>2</sup>	Equation	Signification	R <sup>2</sup>	Equation
Pénétration	0,042	0,52	10,42 – 0,11 CRE	0,005	0,75	8,86 – 0,10 IFM	0,0008	0,56	–0,75 IFM
Tendreté	0,004	0,76	28,51 – 3,88 pH			Aucun model	0,08	0,20	–0,44 PC
Jutosité	0,08	0,41	12,19 – 4,56 poids			Aucun model			Aucun model
Cohésion			Aucun model	0,017 0,024 0,037	0,28 0,15 0,40	6,03 + 4,66 pH – 0,49 PER – 0,40 CRE	0,035	0,28	0,53 PC
Mastication	0,08	0,42	-16,18 + 0,64 PC	0,032 0,062	0,37 0,34	12,39 + 2,34 poids + 2,0 pH	0,050	0,24	0,49 PC
Résidus	0,002 0,007 0,008	0,53 0,15 0,28	-15,78 + 0,59 PC + 3,35 Poids – 0,17 CRE			Aucun model	0,01	0,39	0,62 PC

CRE: Capacité de rétention d'eau ; PER: pertes en eaux ; PC: Perte à la cuisson ; IFM: Indice de fragmentation myofibrillaire.

Le tableau 9 illustre les modèles de régression des attributs sensoriels et de la pénétration expliqués par les paramètres technologiques. Les groupes 1 et 2 se sont les variables brutes qui ont été utilisés et pour l'ensemble des animaux en un seul groupe se sont les valeurs centrées et réduites qui ont été utilisées après avoir effectuer une normalisation pour l'effet âge.

Les résultats du tableau 9 nous révèlent que l'ensemble des paramètres sensoriels représentant la texture : la tendreté (négativement), la cohésion, la mastication et les résidus (tous positivement) sont orientés par les pertes à la cuisson. Les pouvoirs de prédiction des modèles vont de 20 à 39%. Malgré les faibles pouvoirs de prédiction, ces résultats préliminaires sont en accord à ceux des études antérieurs rapportant l'impact négatif des pertes à la cuisson sur les scores de tendreté de la viande du poulet. (Barbanti & Pasquini 2005; Betti *et al.* 2009; Schneider *et al.* 2012). Les caractéristiques musculaires ne semblent pas pouvoir expliquer une grande partie la variabilité de la qualité de la viande de volaille comme c'est le cas aussi chez le bovin (Prost *et al.* 1975; Renand *et al.* 2001; Maltin *et al.* 2003; Bauchart & Picard 2010; Prache *et al.* 2011; Ellies-Oury *et al.* 2012; Van Wezemael *et al.* 2014).

Par ailleurs, l'explication des attributs par groupe semblent être plus prédictive mais de point de vue industriel est moins efficace. Des pouvoirs de prédiction hautement élevées ont été enregistrés. Pour exemple, les résidus du groupe 1 s'expliquent à 96% par trois variables à savoir les pertes à la cuisson et le poids à l'abattage (positivement) et la capacité de rétention d'eau (négativement). La capacité de rétention d'eau, les pertes en eau à la cuisson, le pH et le poids à l'abattage sont souvent retenus dans les autres modèles.

Pour exemple, le groupe 2 (poules moyennement âgées), 83% de la variabilité de la cohésion est expliqué dans l'ordre par le pH (positivement), le pourcentage d'eau reléguée (PER) et la capacité de rétention d'eau (négativement), et 71 % de la variabilité de la mastication est expliquée par le poids en premier lieu puis le pH (les deux positivement). Malgré le faible effectif utilisée pour chaque groupe, ces résultats tendent à spéculer que les paramètres étudiés peuvent considérablement prédire les paramètres de qualité de texture de la viande des poules pondeuses étudiées.

Enfin, l'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM) apparait dans les modèles de prédiction de la profondeur de pénétration. 75 % (groupe 2) et 56 % (toutes les poules) de la

variabilité de ce paramètre s'expliquent par le taux de protéolyse. Ces résultats corroborent à de nombreuses études discutées déjà ci-haut.

## 5. Caractérisation électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires

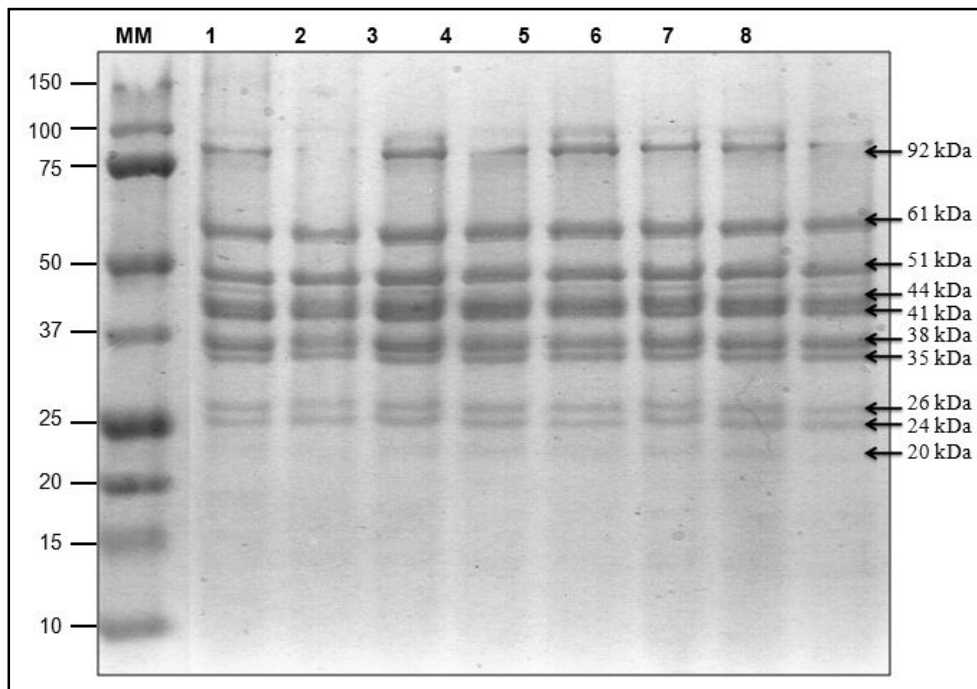
La caractérisation électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires permet d'avoir une appréciation globale des protéines présentes dans le muscle des poules pondeuse de réforme (ISA F15). L'effet de l'âge sur ces protéines et les modifications qu'elles subissent sont également évalués.

La séparation des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires, sur gel de polyacrylamide à 12% en présence de SDS, a permis l'estimation des poids moléculaires des protéines présentes dans le muscle *superficialis pectoral* des poules des deux catégories d'âge. Pour la détermination des poids moléculaires des bandes protéiques, la courbe d'étalonnage (Annexe 4) de chaque gel est établie à partir des protéines de références. L'équation de régression entre le logarithme décimal du poids moléculaire des protéines de référence et leur rapport frontal permet le calcul des poids moléculaires des bandes apparues sur le gel.

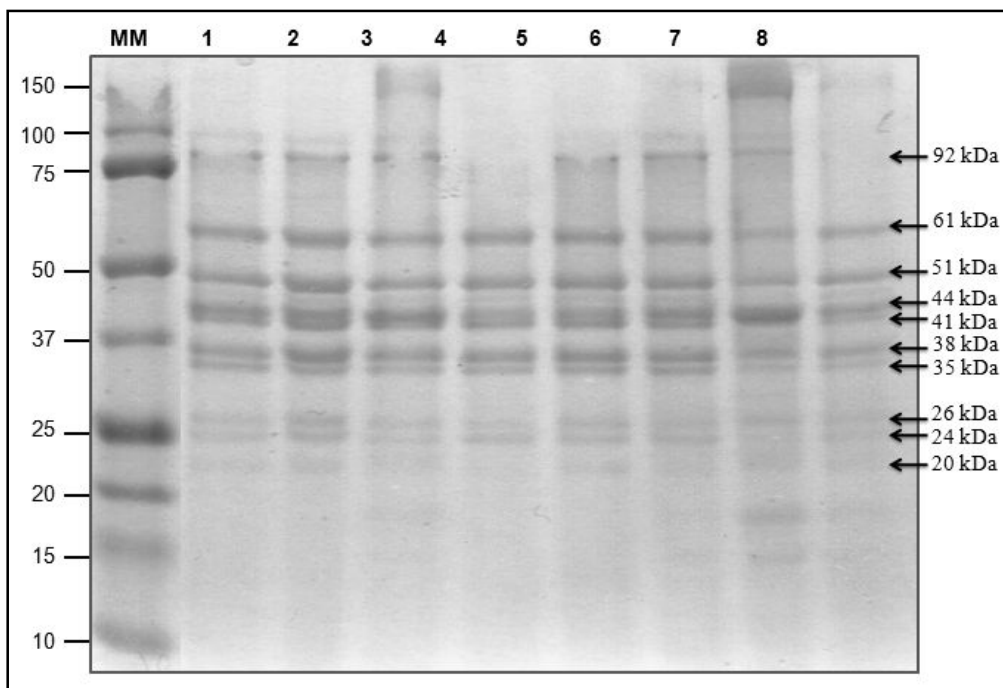
### 5.1. Caractérisation électrophorétiques des protéines myofibrillaires

Les profils électrophorétiques des protéines myofibrillaires des poules pondeuses de réformes âgées et moyennement âgées sont représentés respectivement dans les Figures 25 et 26 Les profils ont été réalisés sur les huit poules de chaque âge.

Les bandes des protéines à haut poids moléculaire (supérieur à 150 kDa) ne sont pas mis en évidence par ces gels car elles ne peuvent passer à travers les mailles de ces derniers. Ce sont essentiellement les chaînes lourdes de myosine, la titine et ses produits de dégradation (Huff Lonergan *et al.* 2010)-



**Figure 25 :** Profils électrophorétiques des protéines myofibrillaires des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 49 semaines sur SDS PAGE à 12%.



**Figure 26 :** Profils électrophorétiques des protéines myofibrillaires des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 32 semaines sur SDS PAGE à 12%.

Les profils électrophorétiques de la fraction myofibrillaire ont permis d'identifier 10 bandes principales avec des poids moléculaires relatifs de 92, 61, 51, 44, 41, 38, 35, 26, 24 et 20 kDa.

(Rasolofoharitseheno *et al.* 2015), en travaillant sur du poulet âgé de 2 mois et demi ont trouvé un profil électrophorétique des protéines myofibrillaires comparable à celui que nous avons obtenus.

Une spectrométrie de masse est nécessaire pour statuer sur l'identité des protéines des bandes d'intérêt. Néanmoins, nous avons fait une identification approximative des différentes bandes en se basant sur les résultats des études antérieurs.

La bande de 92 kDa représente probablement l' $\alpha$ -actinine (Bárány *et al.* 1995). L' $\alpha$ -actinine est libérée non dégradée de la ligne Z durant la maturation à des températures de réfrigération. Cependant, durant la maturation à des températures élevées ( $>25^{\circ}\text{C}$ ) une dégradation substantielle de cette protéine prend place (Roncalés *et al.* 1995).

La protéine à 61 kDa représente probablement la desmine (Bond & Warner 2007; Kemp & Parr 2008). Protéine principale des filaments intermédiaires, elle encercle le disque Z et attache les myofibrilles entre elles (Bartoli & Richard 2005). Elle maintient aussi la continuité des sarcomères (Got 1997).

La protéine à 51 kDa représente probablement la protéine I, qui est une protéine du cytosquelette, elle se localise dans les filaments épais du sarcomère (Roussilhes 1994).

La protéine à 44 kDa représente probablement l'actine (Bárány *et al.* 1995). et la protéine à 41 kDa représente probablement la Tropomoduline (Puolanne & Halonen 2010). On remarque que la bande de l'actine est volumineuse par rapport aux autres bandes, ceci est dû à sa concentration élevée dans le muscle.

Les bandes de 38 et 35 kDa représentent probablement la troponine T et la tropomyosine respectivement (Ho *et al.* 1994; Bárány *et al.* 1995; Kemp & Parr 2008). Ces dernières jouent un rôle central dans la régulation contractile (Ho *et al.* 1994).

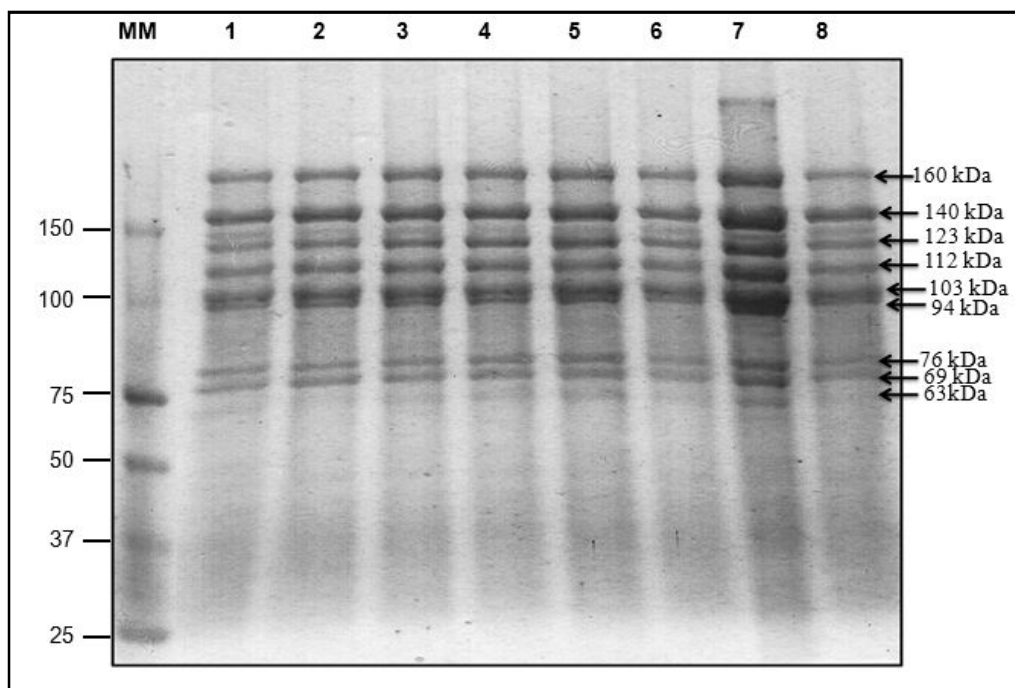
Les bandes de 26, 24 et 20 kDa sont présentes dans les deux âges, elles correspondent probablement aux chaînes légères de myosine I, la troponine I et la troponine C respectivement (Bárány *et al.* 1995). La troponine I régule la contraction musculaire et inhibe l'activité ATPasique de l'actomyosine. La troponine C régule, elle aussi, la contraction

musculaire et fixe le calcium, ces deux protéine se localise dans les filaments fin du myofibrille (Got 1997).

## 5.2. Caractérisation électrophorétiques des protéines Sarcoplasmiques

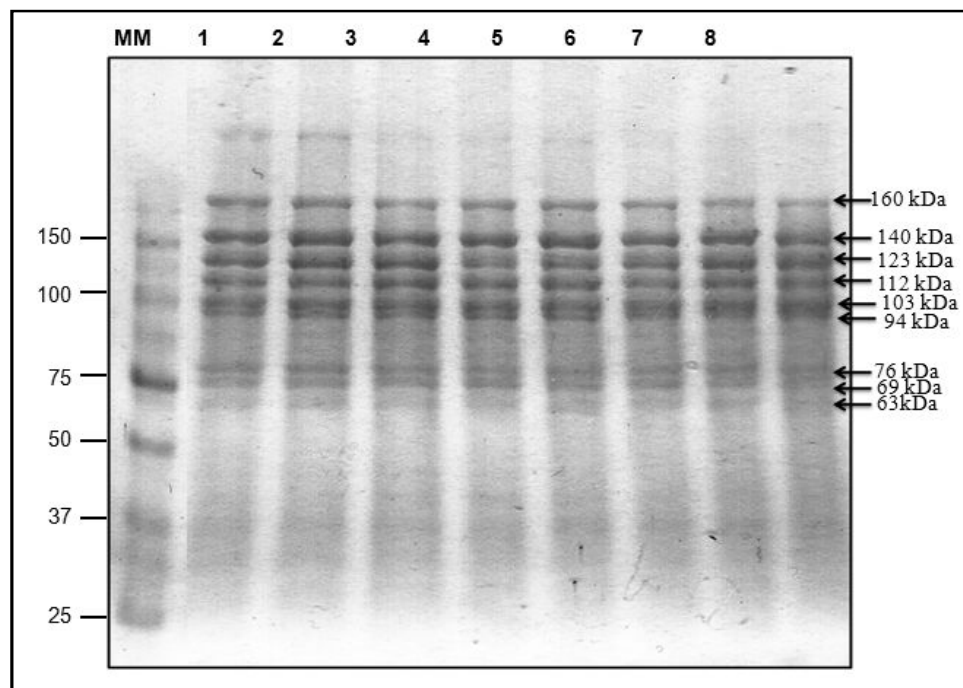
Les protéines sarcoplasmiques, qui représente 30-35% de protéines totales du muscle, ne sont pas directement impliqué dans la tendreté de la viande, parce que les protéines sarcoplasmiques ont des fonctions non-structurales et elles sont soluble *in situ* (Ohlendieck 2010), quoique des études chez le porc ont indiqué que la dénaturation des protéines sarcoplasmiques a un impact sur des paramètres de la qualité de la viande tels que la couleur et la capacité de rétention d'eau (Joo *et al.* 1999; Sayd *et al.* 2006; Marino *et al.* 2014).

Les profils électrophorétiques de la fraction sarcoplasmique des protéines musculaires des poules pondeuses de réformes âgées et moyennement âgées sont représentés respectivement dans les Figures 27 e 28. Les profils ont été réalisés sur les huit poules de chaque âge. Les profils électrophorétiques de la fraction sarcoplasmique ont permis d'identifier 9 bandes principales avec des poids moléculaires relatifs de 160,140, 123, 112, 103, 94, 76, 69 et 63 kDa.



**Figure 27 :** Profils électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 49 semaines sur SDS PAGE à 12%.



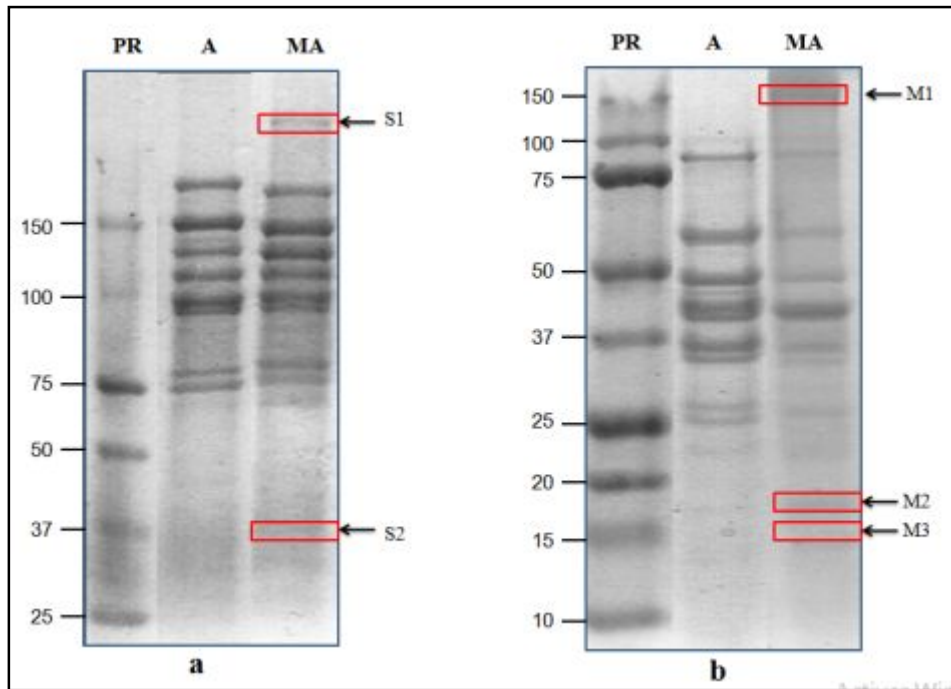


**Figure 28 :** Profils électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 32 semaines sur SDS PAGE à 12%.

### 5.3. Comparaison des profils électrophorétiques des protéines des deux âges

En comparant entre les profils électrophorétiques des protéines sarcoplasmiques des deux âges de poules pondeuses étudiées (Figure 29.a), Nous constatons la présence de 2 bandes S1 et S2 chez les poules moyennement âgées qui disparaissent chez les plus âgées, c'est deux bandes correspondent à un poids moléculaire de 227 et 36 kDa respectivement.

En comparant entre les profils électrophorétiques des protéines myofibrillaires des deux âges de poules pondeuses étudiées (Figure 29.b), Nous constatons la présence de 3 bandes chez les poules moyennement âgées qui disparaissent chez les plus âgées. La première M1 a un poids moléculaire supérieur à 100kDa, probablement la protéine C (125 kDa) qui est une protéine du cytosquelette, elle se localise dans les filaments épais du sarcomère. Elle a pour rôle la régulation de la contraction musculaire (Roussilhes 1994; Got 1997). Les deux autres bandes sont en dessous de 20 kDa, elles sont probablement comme des chaînes légères de myosine 2 (M2-18 kDa) et des chaînes légères de myosine 3 (M3-15 kDa) (Bárány *et al.* 1995; Kemp & Parr 2008). Ces trois bandes protéiques disparaissent chez les poules les plus âgées. Par ailleurs, Une électrophorèse bidimensionnelle des extraits protéiques va mettre encore plus en évidence les différences entre les profils électrophorétiques entre les groupes d'âge d'animal.



**Figure 29** : Comparaison des profils électrophorétiques des protéines a) sarcoplasmiques et b) myofibrillaires des poules pondeuses de réforme (ISA F15) âgés de 49 (A : âgées) et 32 semaines (MA : moyennement âgées) sur SDS PAGE à 12%.

# Conclusion

## CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif la caractérisation des paramètres sensoriels et technologiques de la viande du muscle pectoral de poules pondeuses de réforme de la souche ISA F15 produites en Algérie, en fonction de l'âge à l'abattage.

L'analyse de variance ainsi que l'analyse en composante principale (ACP) ont mis en évidence l'effet significatif de l'âge à l'abattage sur certains paramètres à savoir la tendreté, les résidus, le pH ultime, les pertes en eau et les pertes en poids à la cuisson. Les deux lots de poules étudiés ont été significativement séparés par l'ACP en deux groupes distincts en fonction de leur âge.

L'analyse des corrélations de Spearman ont révélé que la pénétration a été négativement corrélée ( $r = -0.54$  et  $-0.59$ ;  $P < 0.05$ ) avec la tendreté et l'indice de fragmentation myofibrillaire et positivement corrélée ( $r = 0.58$ ;  $P < 0.05$ ) avec la jutosité pour l'ensemble des poules. Par ailleurs, la tendreté a été négativement ( $r = -0.51$ ;  $P < 0.05$ ) et positivement ( $r = 0.50$ ;  $P < 0.05$ ) corrélée avec la cohésion et l'appréciation globale, respectivement. De plus, la cohésion a été négativement ( $r = -0.58$ ;  $P < 0.05$ ) liée à l'appréciation globale.

L'analyse en régressions multiples a révélé que la mastication a été retenue dans les modèles comme étant le principal attribut sensoriel orientant et affectant la tendreté des poules suivi par la présence de résidus en bouche. Les résultats ont révélé, aussi, que l'ensemble des paramètres sensoriels représentant la texture : la tendreté (négativement), la cohésion, la mastication et les résidus (tous positivement) sont orientés par les pertes à la cuisson. Les pouvoirs de prédiction des modèles vont de 20 à 39%. L'appréciation globale s'explique en partie par la tendreté. Le modèle de régression des poules âgées explique 71% de la variabilité par une seule variable, la tendreté. Les poules moyennement âgées et ayant été jugées les plus tendres ne semblent pas être appréciées par leur tendreté élevée mais pour d'autres caractéristiques non identifiées dans cette étude.

L'IFM a été trouvée comme une variable fortement explicative de la profondeur de pénétration ou plus de 56% de la variabilité de ce paramètre instrumental s'explique par le taux de protéolyse.

La caractérisation électrophorétique par SDS-PAGE (monodimensionnelle) des protéines musculaires (sarcoplasmique et myofibrillaire) du muscle pectoral des poules, révèle des profils protéomiques légèrement différents au niveau de certaines bandes protéiques. Malgré l'inadéquation de cette technique pour la mise en évidence des mécanismes sous-jacents de la texture de la viande des poules pondeuses étudiées, les essais préliminaires sont d'une importance capitale pour élargir nos investigations d'avenir.

Le pénétromètre semble avoir un grand potentiel pour être un excellent outil de prédiction de la tendreté de la viande des poules pondeuses de réforme. Vu sa facilité d'utilisation et sa non destruction de la matrice musculaire, le pénétromètre peut être un outil prédictif que les industriels de la filière viande en Algérie adopteront afin de statuer sur le devenir des carcasses des poules pondeuses, à savoir la consommation directe par les consommateurs ou la transformation en produits de charcuteries.

Enfin, la viande de poules pondeuses de réforme ISA F15, jugée à tort comme étant très dure par les consommateurs, s'est révélée posséder des qualités organoleptiques et technologiques très intéressantes. Nous pouvons spéculer que les poules pondeuses étudiées peuvent être utilisées si besoin pour la consommation directe.

Comme perspectives, nous suggérons:

- d'augmenter les effectif pour chaque tranche d'âge ;
- d'étudier d'autres tranches d'âges notamment les plus jeunes ;
- d'introduire d'autres facteurs de variation de la texture à savoir le type du muscle, le mode de cuisson et le stress à l'abattage ;
- d'approfondir l'analyse protéomique avec des outils adaptés pour caractériser les extrêmes et pouvoir identifier des indicateurs précoces associable à la mesure instrumentale par pénétromètre.

# Références Bibliographiques

**A**

- Alloui N. (2011) Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie. In: Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 29 et 30 mars 2011.
- Alloui N., Ayachi A., Alloui Lombarkia O. & Zeghina D. (2003) Evaluation de l'effet du statut hygienique des poulaillers sur les performances zootechniques. In: Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 26 et 27 mars 2003.
- An J., Zheng J., Li J., Zeng D., Qu L., Xu G. & Yang N. (2010) Effect of myofiber characteristics and thickness of perimysium and endomysium on meat tenderness of chickens. *Poultry science* **89**, 1750-4.
- Ayachi A. (2010) Epidemiologie de salmonella typhimurium et salmonella enteritidis dans la filiere avicole. Thèse de doctorat. Université de Batna.

**B**

- Bacou F. & Vigneron P. (1976) Evolution périnatale des voies métaboliques glycolytique et oxydative de divers types de muscles squelettiques du lapin et du poulet. In: Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique, pp. 675-86. EDP Sciences.
- Baéza E., Lessire M., Juin H., Chartrin P., Bordeau T. & Berri C. (2003) Incidence de l'âge sur la qualité des carcasses et de la viande de pintade label. In: Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 26 et 27 mars 2003.
- Baéza E., Salichon M., Marche G. & Juin H. (1998) Effect of sex on growth, technological and organoleptic characteristics of the Muscovy duck breast muscle. *British poultry science* **39**, 398-403.
- Bárány K., Bárány M. & Giometti C.S. (1995) Polyacrylamide gel electrophoretic methods in the separation of structural muscle proteins. *Journal of Chromatography A* **698**, 301-32.
- Barbanti D. & Pasquini M. (2005) Influence of cooking conditions on cooking loss and tenderness of raw and marinated chicken breast meat. *LWT-food Science and Technology* **38**, 895-901.
- Barbut S. (2009) Chapter 18 : Texture Analysis. In: Handbook of processed meats and poultry analysis (eds. by Nollet LM & Toldrá F), pp. 375-84. CRC Press, Taylor and Francis group, new york.
- Bartoli M. & Richard I. (2005) Calpains in muscle wasting. *The international journal of biochemistry & cell biology* **37**, 2115-33.
- Bauchart D. & Picard B. (2010) Muscle et viande de ruminant. Ed Quae.
- Becila S., Hafid K., Gagaoua M., Boudjellal A., Agli A. & Ouali A. (2014) Prediction de la tendreté de la viande d'agneau par penetrometrie. In: 15ème journée sciences de muscle et technologies des viandes JSMTV pp. 105-6, 4 et 5 novembre 2014. Clermont-Ferrand.

- Bejerholm C. & Aaslyng M.D. (2003) The influence of cooking technique and core temperature on results of a sensory analysis of pork—Depending on the raw meat quality. *Food Quality and Preference* **15**, 19-30.
- Beriain M., Bas P., Purroy A. & Treacher T. (2000) Effect of animal and nutritional factors and nutrition on lamb meat quality. *Sheep and goat nutrition: Intake, digestion, quality of products and rangelands*, 75-86.
- Berri C., Bihan-Duval L., Debut M., Santé-Lhoutellier V., Baéza E., Gigaud V., Jégo Y. & Duclos M. (2007) Consequence of muscle hypertrophy on characteristics of Pectoralis major muscle and breast meat quality of broiler chickens. *Journal of animal science* **85**, 2005-11.
- Berri C., Wacrenier N., Millet N. & Le Bihan-Duval E. (2001) Effect of selection for improved body composition on muscle and meat characteristics of broilers from experimental and commercial lines. *Poultry science* **80**, 833-8.
- Bertram H.C., Straadt I.K., Jensen J.A. & Aaslyng M.D. (2007) Relationship between water mobility and distribution and sensory attributes in pork slaughtered at an age between 90 and 180 days. *Meat Science* **77**, 190-5.
- Betti M., Schneider B., Wismer W., Carney V., Zuidhof M. & Renema R. (2009) Omega-3-enriched broiler meat: 2. Functional properties, oxidative stability, and consumer acceptance. *Poultry science* **88**, 1085-95.
- Birkhold S., Janky D. & Sams A. (1992) Tenderization of early-harvested broiler breast fillets by high-voltage post-mortem electrical stimulation and muscle tensioning. *Poultry science* **71**, 2106-12.
- Biswas A., Beura C., Yadav A. & Lal N. (2014) Development of poultry meat finger chips using combination of turkey and spent hen meat. *Indian Journal of Poultry Science* **49**, 77-80.
- Blanchard P.J. & Mantle D. (1996) Comparison of proteolytic enzyme levels in chicken, pig, lamb and rabbit muscle at point of slaughter: role in meat tenderisation post mortem. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **71**, 83-91.
- Blanchet X. (2010) Des gènes impliqués dans la variabilité de la tendreté des viandes bovines: étude structure-fonction de l'anti-protéase codée par le gène bovin SERPINA3-3. Limoges. Thèse de doctorat à l'université de Limoges.
- Bond J. & Warner R. (2007) Ion distribution and protein proteolysis affect water holding capacity of Longissimus thoracis et lumborum in meat of lamb subjected to antemortem exercise. *Meat Science* **75**, 406-14.
- Bonny S.P., Gardner G.E., Pethick D.W., Legrand I., Polkinghorne R.J. & Hocquette J.F. (2015) Biochemical measurements of beef are a good predictor of untrained consumer sensory scores across muscles. *Animal* **9**, 179-90.
- Bourne M. (2002) *Food texture and viscosity: concept and measurement*. Academic Press.
- Bouton P., Ford A.L., Harris P. & Ratcliff D. (1975) Objective-subjective assessment of meat tenderness. *Journal of texture studies* **6**, 315-28.



- Bouton P. & Harris P. (1972) A comparison of some objective methods used to assess meat tenderness. *Journal of food science* **37**, 218-21.
- Bouton P., HARRIS P.t. & Shorthose W. (1971) Effect of ultimate pH upon the water-holding capacity and tenderness of mutton. *Journal of food science* **36**, 435-9.
- Bowker B. & Zhuang H. (2013) Relationship between muscle exudate protein composition and broiler breast meat quality. *Poultry science* **92**, 1385-92.
- Bradford M.M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry* **72**, 248-54.
- Bratzler L.J. (1958) Fifty years of progress in meat research. *Journal of animal science* **17**, 1079-87.
- Brewer S. & Novakofski J. (2008) Consumer sensory evaluations of aging effects on beef quality. *Journal of food science* **73**, S78-S82.
- Brooks J.C. & Savell J. (2004) Perimysium thickness as an indicator of beef tenderness. *Meat Science* **67**, 329-34.

### C

- Caine W., Aalhus J., Best D., Dugan M. & Jeremiah L. (2003) Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science* **64**, 333-9.
- Campion D., Crouse J. & Dikeman M. (1975) The Armour Tenderometer as a predictor of cooked meat tenderness. *Journal of food science* **40**, 886-7.
- Carpenter Z., Smith G. & Butler O. (1972) Assessment of beef tenderness with the Armour Tenderometer. *Journal of food science* **37**, 126-9.
- Cartier P. & Moevi I. (2007) Le point sur La qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. *Compte rendu final*, 05.
- Cashman P., Nicol C.J. & Jones R. (1989) Effects of transportation on the tonic immobility fear reactions of broilers. *British poultry science* **30**, 211-21.
- Cavitt L., Meullenet J., Gandhapuneni R., Youm G. & Owens C. (2005a) Rigor development and meat quality of large and small broilers and the use of Allo-Kramer shear, needle puncture, and razor blade shear to measure texture. *Poultry science* **84**, 113-8.
- Cavitt L., Meullenet J.F., Xiong R. & Owens C. (2005b) The relationship of razor blade shear, allo-kramer shear, warner-bratzler shear and sensory tests to changes in tenderness of broiler breast filets. *Journal of Muscle Foods* **16**, 223-42.
- Cavitt L., Owens C., Meullenet J., Gandhapuneni R. & Youm G. (2001) Rigor development and meat quality of large and small broilers and the use of Allo-Kramer shear, needle puncture, and razor blade shear to measure texture. *Poultry science* **80 (suppl.1)**, 113-8.

- Cavitt L., Youm G., Meullenet J., Owens C. & Xiong R. (2004) Prediction of Poultry Meat Tenderness Using Razor Blade Shear, Allo-Kramer Shear, and Sarcomere Length. *Journal of food science* **69**, SNQ11-SNQ5.
- Chambers J., Fortin A., Mackie D. & Larmond E. (1989) Comparison of sensory properties of meat from broilers of modern stocks and experimental strains differing in growth and fatness. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* **22**, 353-8.
- Choi Y., Nam K., Choe J., Ryu Y., Wick M., Lee K. & Kim B. (2013) Growth, carcass, fiber type, and meat quality characteristics in Large White pigs with different live weights. *Livestock Science* **155**, 123-9.
- Chriki S., Renand G., Picard B., Micol D., Journaux L. & Hocquette J.F. (2013) Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics. *Livestock Science* **155**, 424-34.
- Christensen M., Ertbjerg P., Failla S., Sañudo C., Richardson R.I., Nute G.R., Olleta J.L., Panea B., Albertí P. & Juárez M. (2011) Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. *Meat Science* **87**, 61-5.
- Christensen M., Purslow P.P. & Larsen L.M. (2000) The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue. *Meat Science* **55**, 301-7.
- Chueachuaychoo A., Wattanachant S. & Benjakul S. (2011) Quality characteristics of raw and cooked spent hen Pectoralis major muscles during chilled storage: Effect of salt and phosphate. *International Food Research Journal* **18**.
- Claustrioux J.-J. (2001) Considérations sur l'analyse statistique de données sensorielles. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* **5**, 155-8.
- Clinquart A., Leroy B., Dottreppe O., Hornick J., Dufrasne I. & Istasse L. (2000) Les facteurs de production qui influencent la qualité de la viande des bovins Blanc Bleu belge. *L'élevage du Blanc Bleu Belge*, CESAM, 19pp.
- Coibion L. (2008) Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine: adaptation à la demande du consommateur.
- Combes S., Auvergne A. & Lebas F. (2000) Effect of cooking temperature on Warner-Bratzler tenderness measurement in rabbit meat. In: *Proceedings of the 7th World Rabbit Congress*, Valencia, pp. 4-7.
- Combes S., Lepetit J., Darce B. & Lebas F. (2001) Influence de la température et du temps de cuisson sur la tendreté mécanique et la teneur en collagène de la viande de lapin. In: *9èmes Journ. Rech.*, pp. 7-10, Cunicole Paris.
- Coró F.A., Youssef E.Y. & Shimokomaki M. (2002) Age related changes in poultry breast meat collagen pyridinoline and texture. *Journal of food biochemistry* **26**, 533-41.
- Cross H., West R. & Dutson T. (1981) Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science* **5**, 261-6.
- Cruz R.M., Khmelinskii I. & Vieira M. (2014) *Methods in Food Analysis*. CRC Press. 250p.

- Culioli J., Touraille C., Bordes P. & Girard J. (1990) Caractéristiques des carcasses et de la viande du poulet label fermier. *Archiv fur Geflugelkunde* **54**, 237-45.
- Culler R., Smith G. & Cross H. (1978) Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *Journal of food science* **43**, 1177-80.
- Cyril H., Castellini C. & Dal Bosco A. (1996) Comparison of three cooking methods of rabbit meat. *Italian journal of food science* **8**, 337-40.

## D

- Daudin J.-D. (1988) La congélation. In: *Technologie de la viande et des produits carnés*. (ed. by Girard JPeVC), p. 280. APRIA INRA. Technique de documentation. Lavoisier, Paris,.
- Davey C.L. & Gilbert K. (1969) Studies in meat tenderness. 7. Changes in the fine structure of meat during aging. *Journal of food science* **34**, 69-74.
- Davey C.L. & Gilbert K.V. (1974) Temperature-dependent cooking toughness in beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **25**, 931-8.
- Depledt F. (2009) *Évaluation sensorielle: manuel méthodologique* (3ème édition). Lavoisier.
- Destefanis G., Barge M., Brugiapaglia A. & Tassone S. (2000) The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef. *Meat Science* **56**, 255-9.
- Destefanis G., Brugiapaglia A., Barge M. & Dal Molin E. (2008) Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force. *Meat Science* **78**, 153-6.
- Deumier F. (2000) *Formulation et déshydratation de viande de volaille par immersion. Étude des transferts de matière à pression atmosphérique et sous vide*. ENSIA (AgroParisTech).
- Dickens J. & Lyon C. (1995) The effects of electric stimulation and extended chilling times on the biochemical reactions and texture of cooked broiler breast meat. *Poultry science* **74**, 2035-40.
- Dikeman M., Tuma H., Glimp H., Gregory K. & Allen D. (1972) Evaluation of the tenderometer for predicting bovine muscle tenderness. *Journal of animal science* **34**, 960-2.
- Dikeman M.E., Pollak E., Taylor J., Davis S., Holm T., Koontz S., Gill C., Moser D.W. & Dressler E. (2003) Warner-Bratzler shear force values and ranges of steaks from cattle of known sires. *Cattlemen's Day*.
- Dransfield E., Martin J., Bauchart D., Abouelkaram S., Lepetit J., Culioli J., Jurie C. & Picard B. (2003) Meat quality and composition of three muscles from French cull cows and young bulls. *Animal Science* **76**, 387-99.

## E

- Ehinger F. (1977) The influence of starvation and transportation on carcass quality of broilers. The quality of poultry meat, 117-24.
- El Rammouz R. (2005) Etude des changements biochimiques post mortem dans le muscle des volailles. In: Contribution au déterminisme de l'amplitude de la diminution de pH. Institut national polytechnique de toulouse.
- El Rammouz R., Berri C., Le Bihan-Duval E., Babilé R. & Fernandez X. (2004) Breed differences in the biochemical determinism of ultimate pH in breast muscles of broiler chickens--a key role of AMP deaminase? Poultry science **83**, 1445-51.
- Ellies-Oury M.P., Renand G., Perrier G., Krauss D., Dozias D., Jailler R. & Dumont R. (2012) Influence of selection for muscle growth capacity on meat quality traits and properties of the rectus abdominis muscle of Charolais steers. Livestock Science **150**, 220-8.
- Evrat-Georgel C. (2008) Bibliographie critique des méthodes instrumentales de mesure de la tendreté de la viande bovine. Département technique d'Elevage et Santé, Service Qualité des Viandes: Paris.

### *F*

- Farmer L., Perry G., Lewis P., Nute G., Piggott J. & Patterson R. (1997) Responses of two genotypes of chicken to the diets and stocking densities of conventional UK and Label Rouge production systems—II. Sensory attributes. Meat Science **47**, 77-93.
- Fiems L., De Campeneere S., De Smet S., Van de Voorde G., Vanacker J. & Boucqué C.V. (2000) Relationship between fat depots in carcasses of beef bulls and effect on meat colour and tenderness. Meat Science **56**, 41-7.
- Fletcher D. (1999) Broiler breast meat color variation, pH, and texture. Poultry science **78**, 1323-7.
- Fraqueza M., Cardoso A., Ferreira M. & Barreto A. (2006) Incidence of pectoralis major turkey muscles with light and dark color in a Portuguese slaughterhouse. Poultry science **85**, 1992-2000.

### *G*

- Gagaoua M. (2011) Serpines A3 bovines : relations fonctionnelles avec leur homologue humain, l'alpha-1-antichymotrypsine. Mémoire de magistère en Sciences Alimentaires Option : Biotechnologies Alimentaires. Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires I.N.A.T.A.A. Université des frères Mentouri. Constantine.
- Gagaoua M., Micol D., Richardson R.I., Hocquette J.F., Terlouw E.M.C., Météau K., Juin H., Moloney A.P., Nuernberg K., Scollan N.D., Boudjellal A. & Picard B. (2013) Relationships between overall liking score and sensory meat attributes in different types of beef cattle. In: Proceedings of the 59th International Congress of Meat Science and Technology, p. 4, Izmir, Turkey.
- Got F. (1997) Accélération des processus de maturation de la viande bovine par traitements technologiques: injections de calcium; applications d'ultrasons de puissance.

Grau R. & Hamm R. (1953) A simple method for the determination of water binding in muscles. *Naturwissenschaften* **40**, 29-30.

## *H*

Hamm R. (1986) Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In: *Muscle as food* (ed. by Bechtel P-J). Academic Press, London.

Hansen L.J. (1971) Meat tenderness testing. U.S. Patent 3,602,038 (W. Armour & Co.).

Hansen L.J. (1972) Development of the Armour Tenderometer for tenderness evaluation of beef carcasses. *Journal of texture studies* **3**, 146-64.

Harris P. (1975) Meat chilling. *CSIRO Food Res. Q* **35**, 50-5.

Harris P. & Shorthose W. (1988) Meat texture. In: *Developments in meat science 4* (ed. by Lawrie ER), pp. 361p.245-96. Elsevier, , UK: London.

Henrickson R., Marsden J. & MORRISON R. (1972) An evaluation of the Armour Tenderometer for an estimation of beef tenderness. *Journal of food science* **37**, 857-9.

Hernández P., Pla M., Oliver M. & Blasco A. (2000) Relationships between meat quality measurements in rabbits fed with three diets of different fat type and content. *Meat Science* **55**, 379-84.

Herrera-Mendez C.H., Becila S., Boudjellal A. & Ouali A. (2006) Meat ageing: Reconsideration of the current concept. *Trends in Food Science & Technology* **17**, 394-405.

Herring H.K. (1976) Evaluation of beef texture. In: *Objective Methods for Food Evaluation: Proceedings of a Symposium, November 7-8, 1974, Newton, Massachusetts*, p. 7. National Academy of Sciences.

Ho C., Stromer M. & Robson R. (1994) Identification of the 30 kDa polypeptide in post mortem skeletal muscle as a degradation product of troponin-T. *Biochimie* **76**, 369-75.

Honikel K. & Hamm R. (1994) Measurement of water-holding capacity and juiciness. In: *Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products* (pp. 125-61). Springer.

Honikel K.O. (1998) Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science* **49**, 447-57.

Hopkins D., Lamb T., Kerr M. & van de Ven R. (2013) The interrelationship between sensory tenderness and shear force measured by the G2 Tenderometer and a Lloyd texture analyser fitted with a Warner–Bratzler head. *Meat Science* **93**, 838-42.

Horsted K., Allesen-Holm B.H., Hermansen J.E. & Kongsted A.G. (2012) Sensory profiles of breast meat from broilers reared in an organic niche production system and conventional standard broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **92**, 258-65.

Huff-Lonergan E.J., Baas T.J., Malek M., Dekkers J., Prusa K.J. & Rothschild M.F. (2002) Correlations among selected pork quality traits. *Journal of animal science* **80**, 617.

Huff Lonergan E., Zhang W. & Lonergan S.M. (2010) Biochemistry of postmortem muscle—Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science* **86**, 184-95.

/

Iqbal M., Kenney P. & Klandorf H. (1999) Age-related changes in meat tenderness and tissue pentosidine: effect of diet restriction and aminoguanidine in broiler breeder hens. *Poultry science* **78**, 1328-33.

Ishihara Y., Moreira R., de Souza G., Salviano A. & Madruga M. (2013) Study of the Warner-Bratzler Shear Force, Sensory Analysis and Sarcomere Length as Indicators of the Tenderness of Sun-Dried Beef. *Molecules* **18**, 9432-40.

J

Janisch S., Krischek C. & Wicke M. (2011) Color values and other meat quality characteristics of breast muscles collected from 3 broiler genetic lines slaughtered at 2 ages. *Poultry science* **90**, 1774-81.

Jaturasitha S., Srikanchai T., Kreuzer M. & Wicke M. (2008) Differences in carcass and meat characteristics between chicken indigenous to northern Thailand (Black-boned and Thai native) and imported extensive breeds (Bresse and Rhode Island Red). *Poultry science* **87**, 160-9.

Jeleníková J., Pipek P. & Staruch L. (2008) The influence of ante-mortem treatment on relationship between pH and tenderness of beef. *Meat Science* **80**, 870-4.

Jeremiah L., Dugan M., Aalhus J. & Gibson L. (2003) Assessment of the relationship between chemical components and palatability of major beef muscles and muscle groups. *Meat Science* **65**, 1013-9.

Joo S., Kauffman R., Kim B. & Park G. (1999) The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle. *Meat Science* **52**, 291-7.

Juin H., Lebas F., Malineau G. & Gondret F. (1998) Aptitude d'un jury de dégustation à classer différents types de viande de lapin selon des critères sensoriels: aspects méthodologiques et application à l'étude des effets de l'âge et du type génétique. 7èmes Journ. Rech. Cunicole Fr, 13-14 mai 1998, 123-6.

Jurie C. & Listart A. (2010) Structure et fonction des constituants du muscle squelettique. In: *Muscle et viande des ruminants* (eds. by Bauchart D & Picard B), pp. p. 61-70, 292 p. Éditions Quae.

K

Kaci A. (2015) La filière avicole algérienne à l'ère de la libéralisation économique. . *Cah Agric* **24** 1-10. .

Kemp C. & Parr T. (2008) The effect of recombinant caspase 3 on myofibrillar proteins in porcine skeletal muscle.

- Kim Y.S., Ong A., Bobbili N., DuPonte M.W. & Fukumoto G.K. (2007) Evaluation of Meat Tenderness of Forage-Finished Cattle Produced in Hawai'i, and Factors Affecting the Tenderness. *Food Safety and Technology, FST-27*.
- Kirmaci B. & Singh R.K. (2012) Quality of chicken breast meat cooked in a pilot-scale radio frequency oven. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **14**, 77-84.
- Koohmaraie M., Doumit M. & Wheeler T. (1996) Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *Journal of animal science-menasha then albany then champaign illinois-* **74**, 2935-42.
- Koohmaraie M., Kent M.P., Shackelford S.D., Veiseth E. & Wheeler T.L. (2002) Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat Science* **62**, 345-52.
- Kopuzlu S., Onenc A., Bilgin O. & Esenbuga N. (2011) Determination of meat quality through principal components analysis. *The Journal of Animal and Plant Sciences (Pakistan)* **21(2)**, 151-6.
- Kramer A., Aamlid K., Guyer R. & Rogers H. (1951) New shear press predicts quality of canned limas. *Food Eng* **23**, 112-3.
- Kriese P.R., Soares A.L., Guarnieri P.D., Prudencio S.H., Ida E.I. & Shimokomaki M. (2007) Biochemical and sensorial evaluation of intact and boned broiler breast meat tenderness during ageing. *Food chemistry* **104**, 1618-21.
- L
- Larmond E. & Moran E. (1969) Eating quality of chicken broilers as influenced by age and sex. *Canadian Institute of Food Technology Journal* **2**, 185-7.
- Lawrie R. & Ledward D.A. (2006) *Lawrie's meat science*, 7th ed. Boca Raton New York Washington, DC: CRC, 600pp.
- Lee S., Min J., Kim I. & Lee M. (2003) Physical evaluation of popped cereal snacks with spent hen meat. *Meat Science* **64**, 383-90.
- Lehmann K. (1907) Studies on the toughness of meat and its origin. *Arch. Hyg* **63**, 134-46.
- Lepetit J. (2008) Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. *Meat Science* **80**, 960-7.
- Lepetit J. & Culioli J. (1994) Mechanical properties of meat. *Meat Science* **36**, 203-37.
- Li C., Wang D., Xu W., Gao F. & Zhou G. (2013) Effect of final cooked temperature on tenderness, protein solubility and microstructure of duck breast muscle. *LWT-food Science and Technology* **51**, 266-74.
- Li K., Zhang Y., Mao Y., Cornforth D., Dong P., Wang R., Zhu H. & Luo X. (2012) Effect of very fast chilling and aging time on ultra-structure and meat quality characteristics of Chinese Yellow cattle *M. Longissimus lumborum*. *Meat Science* **92**, 795-804.
- Lieber R.L. (2002) *Skeletal muscle structure, function, and plasticity*. Lippincott Williams & Wilkins. USA, 13-26, 375 p. .

- Listrat A., Lethias C., Hocquette J., Renand G., Menissier F., Geay Y. & Picard B. (2000) Age-related changes and location of types I, III, XII and XIV collagen during development of skeletal muscles from genetically different animals. *The Histochemical Journal* **32**, 349-56.
- Liu A., Nishimura T. & Takahashi K. (1996) Relationship between structural properties of intramuscular connective tissue and toughness of various chicken skeletal muscles. *Meat Science* **43**, 43-9.
- Liu Y., Lyon B., Windham W., Lyon C. & Savage E. (2004) Principal component analysis of physical, color, and sensory characteristics of chicken breasts deboned at two, four, six, and twenty-four hours postmortem. *Poultry science* **83**, 101-8.
- Lodish H., Berk A., Matsudaira P., Masson P.L. & Sanlaville C. (2005) *Biologie moléculaire de la cellule*. 3ème édition. De Boeck Supérieur. Bruxelles, p. 81.1096p.
- Lüllmann-Rauch R. & Sprumont P. (2008) *Histologie*. De Boeck Supérieur.
- Lyon B. & Lyon C. (1991) Research Note: Shear value ranges by Instron Warner-Bratzler and single-blade Allo-Kramer devices that correspond to sensory tenderness. *Poultry science* **70**, 188-91.
- Lyon B. & Lyon C. (1997) Sensory descriptive profile relationships to shear values of deboned poultry. *Journal of food science* **62**, 885-97.
- Lyon B.G. & Lyon C.E. (2001) Meat quality: sensory and instrumental evaluations. In: *Poultry meat processing* (pp. 334p. 97-120).
- Lyon C. & Dickens J. (1993) Effects of electric treatments and wing restraints on the rate of post-mortem biochemical changes and objective texture of broiler pectoralis major muscles deboned after chilling. *Poultry science* **72**, 1577-83.
- Lyon C. & Lyon B. (1990) The relationship of objective shear values and sensory tests to changes in tenderness of broiler breast meat. *Poultry science* **69**, 1420-7.
- Lyon C., Papa C. & Wilson R. (1991) Effect of feed withdrawal on yields, muscle pH, and texture of broiler breast meat. *Poultry science* **70**, 1020-5.

## M

- Malpel G.-P., Marigeaud M. & Marty S. (2014) *La filière volaille de chair. Rapport du Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces ruraux (CGAAER) et Inspection générale des finances*. Mars 2014.
- Maltin C., Balcerzak D., Tilley R. & Delday M. (2003a) Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society* **62**, 337-47.
- Maltin C.A., Balcerzak D., Tilley R. & Delday M. (2003b) Determinants of meat quality: tenderness. *Proc Nutr Soc* **62**, 337-47.
- Marino R., Albenzio M., Della Malva A., Caroprese M., Santillo A. & Sevi A. (2014) Changes in meat quality traits and sarcoplasmic proteins during aging in three different cattle breeds. *Meat Science* **98**, 178-86.



- McCormick R.J. (1999) Extracellular modifications to muscle collagen: implications for meat quality. *Poultry science* **78**, 785-91.
- McGeekin B., Sheridan J. & Butler F. (2001) Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter. *Meat Science* **58**, 79-84.
- Mehaffey J., Pradhan S., Meullenet J., Emmert J. & Owens C. (2006) Meat quality evaluation of minimally aged broiler breast fillets from five commercial genetic strains. *Poultry science* **85**, 902-8.
- Meullenet J.F., Jonville E., Grezes D. & Owens C.M. (2004) Prediction of the texture of cooked poultry pectoralis major muscles by near-infrared reflectance analysis of raw meat. *Journal of texture studies* **35**, 573-85.
- Mielnik M. & Kolstad N. (1991) The influence of transportation time on the quality of broiler meat. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences (Norway)*.
- Mishra B.P., Chauhan G., Mendiratta S., Sharma B., Desai B. & Rath P. (2015) Development and quality evaluation of dehydrated chicken meat rings using spent hen meat and different extenders. *Journal of food science and technology* **52**, 2121-9.
- Møller A., Vestergaard T. & Wismer-Pedersen J. (1973) Myofibril fragmentation in bovine longissimus dorsi as an index of tenderness. *Journal of food science* **38**, 824-5.
- Montejano J., Hamann D. & Lanier T. (1985) Comparison of two instrumental methods with sensory texture of protein gels. *Journal of texture studies* **16**, 403-24.
- Montgomery J.L. (2007) Chapter 7: Objective methods of sensory analysis. In: *Handbook of meat, poultry and seafood quality* (ed. by Nollet LML), pp. 71-88. Blackwell Publishing, USA.
- Musa H., Chen G., Cheng J., Shuiep E. & Bao W. (2006) Breed and sex effect on meat quality of chicken. *International Journal of Poultry Science* **5**, 566-8.

## N

- Nakamura R., Sekoguchi S. & Sato Y. (1975) The contribution of intramuscular collagen to the tenderness of meat from chickens with different ages. *Poultry science* **54**, 1604-12.
- Nakamura Y.-N., Iwamoto H., Shiba N., Miyachi H., Tabata S. & Nishimura S. (2004) Developmental states of the collagen content, distribution and architecture in the pectoralis, iliotibialis lateralis and puboischiofemoralis muscles of male Red Cornish× New Hampshire and normal broilers. *British poultry science* **45**, 31-40.
- Northcutt J., Buhr R., Young L., Lyon C. & Ware G. (2001) Influence of age and postchill carcass aging duration on chicken breast fillet quality. *Poultry science* **80**, 808-12.

## O

- Obuz E., Dikeman M., Grobbel J., Stephens J. & Loughin T. (2004) Beef longissimus lumborum, biceps femoris, and deep pectoralis Warner–Bratzler shear force is affected differently by endpoint temperature, cooking method, and USDA quality grade. *Meat Science* **68**, 243-8.

- Ohlendieck K. (2010) Proteomics of skeletal muscle glycolysis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics* **1804**, 2089-101.
- Olson D.G., Parrish J.F.C. & Stromer M. (1976) Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage. *Journal of food science* **41**, 1036-41.
- Oryl B. (2004) Structure and hardness of selected muscles in young bulls. *Polish journal of food and nutrition sciences* **13**, 57-64.
- Ouali A. (1990) Meat tenderization: possible causes and mechanisms. A review. *Journal of Muscle Foods* **1**, 129-65.
- Ouali A. (1991) Conséquences des traitements technologiques sur la qualité de la viande. *INRA Productions animales* **4**, 195-208.
- Ouali A., Herrera-mendez C., Becila S. & Boudjellal A. (2006a) Maturation des viandes: Une nouvelle donne pour la compréhension de la maturation des viandes. *Viandes et produits carnés* **24**, 205-13.
- Ouali A., Herrera-Mendez C.H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L. & Sentandreu M.A. (2006b) Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science* **74**, 44-58.
- Ouali A. & Talmant A. (1990) Calpains and calpastatin distribution in bovine, porcine and ovine skeletal muscles. *Meat Science* **28**, 331-48.

## P

- Papinaho P., Ruusunen M., Suuronen T. & Fletcher D. (1996) Relationship between muscle biochemical and meat quality properties of early deboned broiler breasts. *The Journal of Applied Poultry Research* **5**, 126-33.
- Paquin J. & Rosset R. (1988) Valeur nutritionnelle des viandes de volailles. *L'Aviculture Française, Informations Techniques des Services Vétérinaires*, Ed. R. Rosset, Paris, 743-8.
- Parrish F., Olson D., Miner B., Young R. & Snell R. (1973) Relationship of tenderness measurements made by the Armour tenderometer to certain objective, subjective and organoleptic properties of bovine muscle. *Journal of food science* **38**, 1214-9.
- Pascual M. & Pla M. (2007) Changes in carcass composition and meat quality when selecting rabbits for growth rate. *Meat Science* **77**, 474-81.
- Peachey B., Purchas R. & Duizer L. (2002) Relationships between sensory and objective measures of meat tenderness of beef m. longissimus thoracis from bulls and steers. *Meat Science* **60**, 211-8.
- Pla M. & Apolinar R. (2000) The Filter Paper Press as a method for measuring water holding capacity of rabbit meat. *Word Rabbit Sci.*, Valencia. Jul. 2000, vol. A, 659 **662**.
- Poole G., Lyon C., Buhr R., Young L., Alley A., Hess J., Bilgili S. & Northcutt J. (1999) Evaluation of age, gender, strain, and diet on the cooked yield and shear values of broiler breast fillets. *The Journal of Applied Poultry Research* **8**, 170-6.

- Prache S., Gatellier P., Thomas A., Picard B. & Bauchart D. (2011) Comparison of meat and carcass quality in organically reared and conventionally reared pasture-fed lambs. *Animal* **5**, 2001-9.
- Proctor B.E., Davison S. & Brody A.L. (1956) A recording strain gage denture tenderometer for foods. 2. Studies on the masticatory force and motion, and the force-penetration relationship. *Food Technology* **10**, 327-31.
- Prost E., Pełczyńska E. & Kotula A.W. (1975) Quality Characteristics of Bovine Meat. II. Beef Tenderness in Relation to Individual Muscles, Age and Sex of Animals and Carcass Quality Grade. *Journal of Animal Science* **41**, 541-7.
- Puolanne E. & Halonen M. (2010) Theoretical aspects of water-holding in meat. *Meat Science* **86**, 151-65.
- Purchas R. (2014) Tenderness measurement. In: *Encyclopedia of meat sciences* (pp. 452-9. Elsevier Ltd.
- Purslow P.P. (2005) Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science* **70**, 435-47.

*Q*

- Qiao M., Fletcher D., Smith D. & Northcutt J. (2002) Effects of raw broiler breast meat color variation on marination and cooked meat quality. *Poultry science* **81**, 276-80.

*R*

- Ramane K., Strautniece E. & Galoburda R. (2012) Chemical and sensory parameters of heat-treated vacuum-packaged broiler and hen fillet products. *Proceedings of the Latvia University of Agriculture* **27**, 54-8.
- Ramirez J.A., Oliver M., Pla M., Guerrero L., Arino B., Blasco A., Pascual M. & Gil M. (2004) Effect of selection for growth rate on biochemical, quality and texture characteristics of meat from rabbits. *Meat Science* **67**, 617-24.
- Rasolofoharitseheno H., Mompi W.M., Boudida Y. & Gagaoua M. (2015) Highlighting the Degradation of Actin in Longissimus dorsi Muscle of Different Species: Bovine, Ovine, Caprine, Poultry and Freshwater Fish. *British Biotechnology Journal* **7**, 169-76.
- Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P. & Lepetit J. (2001) Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science* **59**, 49-60.
- Rhee M., Wheeler T., Shackelford S. & Koohmaraie M. (2004) Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *Journal of animal science* **82**, 534-50.
- Ricard F. & Touraille C. (1988) Influence du sexe sur les caracteristiques organoleptiques de la viande de poulet. *Archiv fur Geflugelkunde*.

- Riley D., Johnson D., Chase C., West R., Coleman S., Olson T. & Hammond A. (2005) Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Science* **70**, 347-56.
- Rødbotten M., Kubberød E., Lea P. & Ueland Ø. (2004) A sensory map of the meat universe. Sensory profile of meat from 15 species. *Meat Science* **68**, 137-44.
- Roncalés P., Geesink G., Van Laack R., Jaime I., Beltran J., Barnier V. & Smulders F. (1995) Meat tenderisation: enzymatic mechanisms. Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality, 311-32.
- Roudot A.-C. (2002) *Réologie et analyse de texture des aliments*. Editions Tec & Doc.
- Roussilhes V. (1994) *Etude ultrastructurale des gels de protéines myofibrillaires de deux types musculaires. Mémoire d'étude approfondies option Sciences Alimentaires. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II*.
- Roy B., Oshima I., Miyachi H., Shiba N., Nishimura S., Tabata S. & Iwamoto H. (2006) Effects of nutritional level on muscle development, histochemical properties of myofibre and collagen architecture in the pectoralis muscle of male broilers. *British poultry science* **47**, 433-42.

## S

- Saláková A. (2012) Instrumental measurement of texture and color of meat and meat products. *maso-international-2012-2*, pp 107- 14.
- Salé P., Noel Y., Lasteyras A. & Oleon C. (1984) A sinusoidal compression system to study rheological properties of foods in the transient state. *Journal of texture studies* **15**, 103-14.
- Sams A., Birkhold S. & Mills K. (1991) Fragmentation and tenderness in breast muscle from broiler carcasses treated with electrical stimulation and high-temperature conditioning. *Poultry science* **70**, 1430-3.
- Santé V., Renou J.-P., Fernandez X. & Monin G. (2001) Nouvelles méthodes de mesure de la qualité des viandes de volaille. *Productions animales* **14**, 247-54.
- Sarica M., Ocak N., Turhan S., Kop C. & Yamak U. (2011) Evaluation of meat quality from 3 turkey genotypes reared with or without outdoor access. *Poultry science* **90**, 1313-23.
- Sauveur B. (1997) Les critères et facteurs de la qualité des poulets Label Rouge. *INRA Prod. Anim* **10**, 219-26.
- Sayd T., Morzel M., Chambon C., Franck M., Figwer P., Larzul C., Le Roy P., Monin G., Chérel P. & Laville E. (2006) Proteome analysis of the sarcoplasmic fraction of pig semimembranosus muscle: implications on meat color development. *Journal of agricultural and food chemistry* **54**, 2732-7.
- Schneider B., Renema R., Betti M., Carney V. & Zuidhof M. (2012) Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poultry science* **91**, 468-77.

- Shackelford S., Wheeler T. & Koohmaraie M. (1999a) Tenderness classification of beef: II. Design and analysis of a system to measure beef longissimus shear force under commercial processing conditions. *Journal of animal science-menasha then albany then champaign illinois*- **77**, 1474-81.
- Shackelford S., Wheeler T. & Koohmaraie M. (1999b) Evaluation of slice shear force as an objective method of assessing beef longissimus tenderness. *Journal of animal science* **77**, 2693-9.
- Shackelford S.D. & Wheeler T.L. (2009) Slice Shear Force. BEEF FACTS Product Enhancement Research. Cattlemen's Beef Board and National Cattlemen's Beef Association.
- Simpson M. & Goodwin T. (1975) Tenderness of broilers as affected by processing plants and seasons of the year. *Poultry science* **54**, 275-9.
- Smith D., Lyon C. & Fletcher D. (1988) Comparison of the Allo-Kramer shear and texture profile methods of broiler breast meat texture analysis. *Poultry science* **67**, 1549-56.
- Soltanizadeh N. & Kadivar M. (2014) Nanomechanical Characteristics of Meat and Its Constituents Postmortem: A Review. *Critical reviews in food science and nutrition* **54**, 1117-39.
- Sonaiya E., Ristic M. & Klein F. (1990) Effect of environmental temperature, dietary energy, age and sex on broiler carcass portions and palatability. *British poultry science* **31**, 121-8.
- Staron T. (1982) Viandes et alimentation humaine. Edition Apria, Paris. 110p.
- Swatland H. (2008) How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Science* **80**, 396-400.
- Szczesniak A.S. (1963) Objective Measurements of Food Texture. *Journal of food science* **28**, 410-20.
- Szczesniak A.S., BRANDT M.A. & FRIEDMAN H.H. (1963) Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and the sensory methods of texture evaluation. *Journal of food science* **28**, 397-403.
- Szczesniak A.S. & Torgeson K.W. (1965) Methods of meat texture measurement viewed from the background of factors affecting tenderness. *Adv. Food Res* **14**, 165.

## T

- Tortora G., Grabowski S. & Parent J. (1994) *Principes d'anatomie et de physiologie*. . Anjou: CEC collégial et universitaire.
- Toscas P., Shaw F. & Beilken S. (1999) Partial least squares (PLS) regression for the analysis of instrument measurements and sensory meat quality data. *Meat Science* **52**, 173-8.
- Touraille C. (1986) Réactions sensorielles à la structure des produits. PP 183-193. In: *La restructuration des viandes* (ed. by Dumont BL), p. p 514. CNRS-CNERNA. Ed ERTI.

- Touraille C., Kopp J., Valin C. & Ricard F. (1981) Chicken meat quality. 1. Influence of age and growth-rate on physicochemical and sensory characteristics of the meat. *Archiv fur Geflugelkunde* **45**, 69-76.
- Touraille C., Lassaut B. & Sauvageot F. (1985) [Organoleptic qualities of the meat from labelled chickens]. *Viandes et Produits Carnes* (France).
- Tressler D.K., Birdseye C. & Murray W.T. (1932) Tenderness of Meat I. Determination of Relative Tenderness of Chilled and Quick-Frozen Beef. *Industrial & Engineering Chemistry* **24**, 242-5.
- Trout G.R. (1988) Techniques for measuring water-binding capacity in muscle foods—A review of methodology. *Meat Science* **23**, 235-52.



- Valin C. (1995) Animal and muscle variability in tenderisation: Possible causes. In: *Expression of tissue proteinases and regulation of protein as related to meat quality* (eds. by Ouali A, Deneyer DI & M. SFJ), pp. 435-42. ECCEAMST, Utrecht, Pays-Bas.
- Van Der Horst F. (2014) Volailles de chair et de ponte. p 283. In: *Les filières animales françaises - caractéristiques, enjeux, perceptives* (ed. by Marie-Pierre E), p. 528. Tec & Doc. Lavoisier., Pris.
- Van Laack R., Liu C.-H., Smith M. & Loveday H. (2000) Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry science* **79**, 1057-61.
- Van Wezemaal L., De Smet S., Ueland Ø. & Verbeke W. (2014) Relationships between sensory evaluations of beef tenderness, shear force measurements and consumer characteristics. *Meat Science* **97**, 310-5.
- Veiseth E., Shackelford S., Wheeler T. & Koohmaraie M. (2001) Technical note: Comparison of myofibril fragmentation index from fresh and frozen pork and lamb longissimus. *Journal of animal science* **79**, 904-6.
- Voisey P.W. (1976) Engineering assessment and critique of instruments used for meat tenderness evaluation. *Journal of texture studies* **7**, 11-48.
- Voisey P.W., Randall C. & Larmond E. (1975) Selection of an objective test of wiener texture by sensory analysis. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* **8**, 23-9.
- Volodkevich N. (1938) Apparatus for measurements op chewing resistance or tenderness of foodstuffs. *Journal of food science* **3**, 221-5.



- Wattanachant S. (2008) Factors affecting the quality characteristics of Thai indigenous chicken meat. *Suranaree Journal of Science and Technology* **15**, 317-22.
- Wattanachant S., Benjakul S. & Ledward D. (2004) Composition, color, and texture of Thai indigenous and broiler chicken muscles. *Poultry science* **83**, 123-8.

Wattanachant S., Benjakul S. & Ledward D.A. (2005) Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle. *Food chemistry* **93**, 337-48.

Weaver A., Bowker B. & Gerrard D. (2008) Sarcomere length influences postmortem proteolysis of excised bovine semitendinosus muscle. *Journal of animal science* **86**, 1925-32.

Wheeler T. & Koohmaraie M. (1994) Prerigor and Postrigor Changes in Tenderness of Ovine Longissimus Muscle<sup>1</sup>. *J. Anim. Sci* **72**, 1232-8.

### X

Xiong R., Cavitt L., Meullenet J.F. & Owens C. (2006) Comparison of Allo-Kramer, Warner-Bratzler and razor blade shears for predicting sensory tenderness of broiler breast meat. *Journal of texture studies* **37**, 179-99.

### Y

Yu L., Lee E., Jeong J., Paik H., Choi J. & Kim C. (2005) Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Science* **71**, 375-82.

### Z

Zamorano J. & Gambaruto M. (1997) Contribution to improving the meat water holding capacity test by the filter paper press method. A comparison of three methods for measuring areas. *Meat Science* **46**, 129-37.

Zheng M., Toledo R. & Wicker L. (1999) Effect of phosphate and pectin on quality and shelf-life of marinated chicken breast. *Journal of food quality* **22**, 553-64.

Zhuang H. & Savage E. (2010) Comparisons of sensory descriptive flavor and texture profiles of cooked broiler breast fillets categorized by raw meat color lightness values. *Poultry science* **89**, 1049-55.

Zhuang H., Savage E.M., Kays S.E. & Himmelsbach D.S. (2007) A survey of the quality of six retail brands of boneless, skinless chicken breast fillets obtained from retail supermarkets in the athens, georgia area. *Journal of food quality* **30**, 1068-82.

# Publication et communications



# A COMPARISON OF THE CARCASS AND MEAT QUALITY OF ISA (F15) SPENT HENS AT TWO DIFFERENT AGES

Kahina Hafid<sup>1(\$)</sup>, Mohammed Gagaoua<sup>1(\*)</sup>, Hiba-Ryma Boudechicha<sup>1</sup>, Samira Becila<sup>1</sup> and Abdelghani Boudjellal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Equipe Maquav, INATAA, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Route de Ain El-Bey, 25000 Constantine, Algeria

Correspondence: <sup>(\$)</sup> hafidkahina@hotmail.com ; <sup>(\*)</sup> mgagaoua@inataa.org ; gmber2001@yahoo.fr

**Abstract**– Total of 16 spent hens (ISA F15) were slaughtered at about 220 and 337 days of age (8 animals per age). Tenderness was estimated from breast muscle using Penetrometer PNR 10 and sensory trained panel. Water holding capacity, percentage of released water, cooking loss, pH and myofibril fragmentation index were also estimated. The result revealed that penetration values were found negatively correlated with tenderness and Myofibril fragmentation index ( $r = -0.54$  and  $r = -0.59$  respectively). Moreover, tenderness score was negatively correlated with animal age. pH was positively related with tenderness. Acceptability of spent hens meat was higher irrespective of age.

**Key Words** – spent hens, meat, penetrometer, sensory analysis, age.

## I. INTRODUCTION

In Algeria, there is an intense expansion of eggs production leading to abundant availability of spent hens. Also, since the beginning of the 1980's, the Algerian ministry of agricultural oriented consumer's meat consumption to white meat as an alternative to beef and lamb for numerous economical and health reasons. Poultry is well known to contain low cholesterol and fat with very high omega-3 fatty acids contents [1]. Also, meat from spent hen is described as a good protein source. Nevertheless, much remain to be done to increase the value of spent hen meat in Algeria, which is perceived as very tough by consumers. Moreover, there is little information on muscle characteristics and meat quality of ISA (F15) spent hen, the largest produced poultry in the country. The aim of this study was first a characterization of muscle and meat quality of spent hens and second, investigation of the potential of penetrometer to predict meat tenderness. This approach can be very useful to choose the final destination of the carcasses toward direct consumption or transformation.

This is also an open research window to increase our knowledge on spent hen ISA (F15) muscle to propose alternatives for the Algerian poultry industries.

## II. MATERIALS AND METHODS

Two groups of 16 spent hens (F15) obtained from INAP Constantine (Algeria) were slaughtered at about 337 (batch 1) and 220 (batch 2) days of age (8 animals by group). They were slaughtered in compliance to Halal slaughter method in accordance with the Islamic legislation. Carcasses were then chilled at 4°C for 14h, before sampling of the pectoral muscles (breast muscles) for i) textural, ii) sensory analyses and iii) biochemical traits measurements. For instrumental texture, the Petrotest PNR 10 penetrometer was used [2]. For that, ten parallelepipedic samples (4 × 2 × 1.5 cm) were dissected from m. superficial pectoral of each animal. The instrument device is provided with a discerning body (2.5 g) which penetrates in free fall (perpendicularly to the muscular fibers) the sample under its own weight, during approximately 5s. The depth of penetration was measured in mm or unit of penetration (1 UP = 0.1 mm).

After textural measurements, the same samples were cooked in a bath water until reaching an internal end-point temperature of 75°C [3]. Just after cooking, the samples were immediately served to the panellists (10 persons) to evaluate on a unstructured scale (0 to 10) [4]: tenderness, juiciness, cohesiveness, chewiness, residues and overall liking in which a score of 0 means tough, not juicy, not cohesive, not chewy, nothing and dislike, and score of 10 means tender, extremely juicy, very cohesive, very chewy, extreme and like too much, respectively. The panellists were seated in individual boxes with a drinking cup containing water (90%) and apple juice (10%) to cleanse the palate between tastes [5].

The pH in triplicate was determined using sodium iodoacetate (5 mM) and potassium chloride (150 mM) according to McGeehin *et al.* [6]. Water holding capacity (WHC) was determined according to the Grau-Hamm method [7, 8] with slight modifications concerning the areas determination. Traditionally, the areas of meat spot (M) and released juice (T) were measured using a Planimeter, but the method is not very precise and instrument dependent. To do it, we developed in this study a simple technique using image analysis. For that, the areas were measured using the open source ImageJ 1.48 software. The areas drawn in clear plastic were scanned and quantified using freehand selection option. For cooking loss, 10g of each weighed ( $P_1$ ) muscle (in duplicate) were vacuum packed and frozen at  $-20^{\circ}\text{C}$  until use. When required, the samples were thawed at  $4^{\circ}\text{C}$  for 24h and cooked in plastic bags at  $80^{\circ}\text{C}$  for 1h by immersion in a water bath. After cooling, samples were removed from the bags and weighed ( $P_2$ ). Cooking losses were calculated as  $(P_1 - P_2) \times 100 / P_1$  [9].

Myofibril fragmentation index (MFI) was determined using the procedure of Li *et al.* [10]. Determination of protein concentration was done by the Bradford method [11]. Dilutions were done to obtain  $0.5 (\pm 0.05)$  mg/mL of protein concentration. MFI is the value of absorbance of the myofibrillar suspension, measured at 540 nm multiplied by 200.

Statistical analyses were conducted using all the spent hens XIStat (Version 2009.1.01, Addinsoft®). The software was used to conduct variance, principal component (PCA) and Pearson correlations analyses.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

Means and standard deviations of the mechanical, biochemical and palatability traits of m. superficial pectoral of the two hens' batches are displayed in Table 1. The two batches were highly different in their age but without difference in their body weight. They were very different in terms of pH, percentage of released water (PRW), cooking loss (CL), tenderness and residues scores. The batch 1 (old spent hens) had significant lower pH, PRW%, CL% and tenderness scores. Residues scores were significantly different and are as expected the highest within the old spent hens (batch 1).

We can speculate that the oldest the spent hens are,

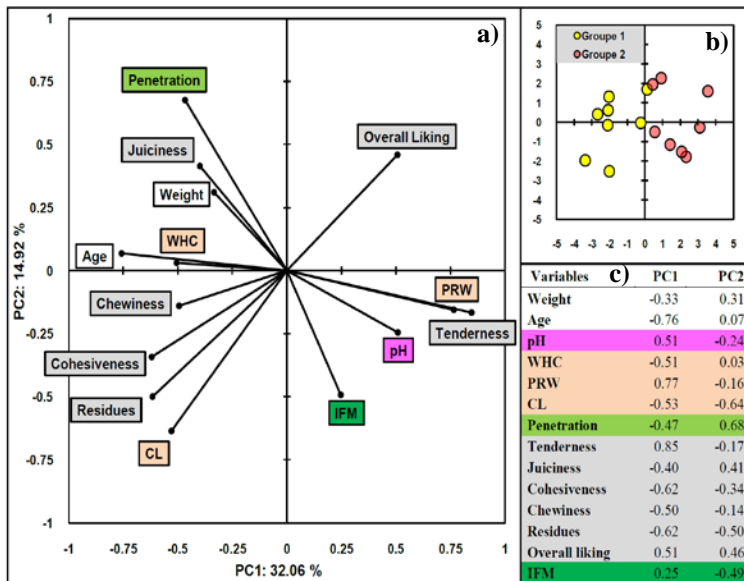
**Table 1.** Variance analysis and LSMeans ( $\pm$  SD) of mechanical, biochemical and palatability traits of superficial pectoral muscle of the two spent hens batches.

Variables	Spent hens batches		SEM	P-value
	1	2		
Age (days)	337 $\pm$ 16.24	220 $\pm$ 1.00	15.41	***
Weight (kg)	1.79 $\pm$ 0.18	1.78 $\pm$ 0.29	0.06	Ns
pH	5.76 $\pm$ 0.25	6.24 $\pm$ 0.27	0.09	**
WHC	32.72 $\pm$ 3.54	29.63 $\pm$ 3.48	0.99	Ns
PRW	34.09 $\pm$ 2.80	39.31 $\pm$ 2.94	1.00	**
CL	33.38 $\pm$ 1.40	31.14 $\pm$ 2.24	0.56	*
Penetration	6.83 $\pm$ 0.54	6.58 $\pm$ 0.55	0.14	Ns
Tenderness	6.16 $\pm$ 1.11	7.42 $\pm$ 0.47	0.27	*
Juiciness	4.01 $\pm$ 1.31	3.10 $\pm$ 0.70	0.30	Ns
Cohesivness	5.05 $\pm$ 1.55	3.76 $\pm$ 1.25	0.40	Ns
Chewiness	5.15 $\pm$ 1.38	4.27 $\pm$ 0.93	0.32	Ns
Residues	4.35 $\pm$ 1.09	3.13 $\pm$ 0.70	0.28	*
Overall liking	5.69 $\pm$ 1.03	6.30 $\pm$ 0.81	0.25	Ns
MFI	22.20 $\pm$ 3.39	23.25 $\pm$ 4.86	1.09	Ns

Significance: \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ ; \*\*\*  $P < 0.001$ ; Ns: not significant. Abbreviations: WHC: water holding capacity, PRW: percentage of released water, CL: cooking loss, MFI: myofibril fragmentation index.

the lowest are pH, PRW, CL and tenderness and the highest are residuals scores. Otherwise, there is no significant difference in penetration depth between the two batches. The other textural sensory attributes, likely juiciness, cohesiveness, chewiness were also not different ( $P < 0.05$ ). The panellists scored the two poultry batches very high for the hedonic attribute, overall liking. It seems clearly that the meat of spent hens is judged acceptable by the panellists irrespective of age.

The Pearson correlation coefficients between the studied traits are shown in Table 2. As expected, the sensory characteristics had close and significant correlations with each other ( $P < 0.05$ ) and most are above 0.5. Accordingly, numerous studies reported close relationships between sensory traits [12]. As expected, tenderness was negatively correlated with penetration depth values ( $r = -0.54$ ). These findings are in line to those reported in earlier studies from Gregory *et al.* [13], Crouse *et al.* [14] and Caine *et al.* [15]. These authors reported high negative correlations between sensory measures of tenderness and Warner-Bratzler shear force (WBSF) values ( $-0.55$ ,  $-0.58$  and  $-0.60$  respectively). Other studies reported very close relationships ( $0.65 < r < 0.85$ ) between sensory toughness and WBSF [16-17]. It is worth mentioning that other studies failed to found any relationships.



**Fig. 1.** Principal component (PC) analysis. **a)** Projection of the studied variables in the two first components (47%). **b)** Bi-plot of the animal observations corresponding to batch 1 (old spent hens in yellow) and 2 (young spent hens in pink). **c)** Coefficients in the eigenvectors (loadings) for the first two PC.

Bouton *et al.* [18] suggested that the lack of closer relationships between objective and subjective measures of tenderness could be explained by sampling variation and the fact that stress and strain patterns developed in the mouth, during chewing and mastication of meat are not adequately represented by instrumental techniques. Moreover, penetration values in this study were negatively related to myofibrillar fragmentation index (MFI) values. This result is in agreement to those reported earlier [19-20]. In this study, penetration had significant positive correlation with juiciness. In contrast, Caine *et al.* [15] found no significant correlation between juiciness and Texture Profile Analysis (TPA) or WBSF. On another hand and as expected, tenderness scores were negatively correlated with animal age together with ultimate pH, that is in accordance with earlier findings reported by [21, 22, 23]. Furthermore, Age had a significant effect on cooking loss which confirms the result of Northcutt *et al.* [23] and many other studies. The results of the PC analysis are shown in Fig. 1. The two first PCs explained 47% of variability (Fig. 1a). Two distinctive groups according to slaughter age of the spent hens are obtained and presented in the bi-plot (Fig. 1b). The young spent hens are grouped in the right side and the aged

**Table 2.** Significant Pearson correlation coefficients ( $P < 0.05$ ) obtained between the studied variables for all spent hens considered as one data set using Z-scores.

Variables	Wt	Age	PRW	Pe	Te	Co	Re
pH		-0.69					
WHC	0.51		-0.61				
PRW			-0.67				
CL							0.56
Te				-0.63	0.52	-0.54	
Ju					0.58		
Co						-0.51	
OL						0.50	-0.58
MFI					-0.59		

Abbreviations: Wt: weight; WHC: water holding capacity; PRW: percentage of released water; CL: cooking loss; Te: tenderness; Ju: juiciness; Co: cohesiveness; OL: overall liking; MFI: myofibrillar fragmentation index.

ones are in the left side. The first PC explaining 32% of variability was mainly characterized by PRW, tenderness, overall liking and pH on the positive side and textural attributes (cohesiveness, chewiness and residues) representing the undesirable properties and age on the negative side. The second PC explaining 15% of variability was mainly characterized by penetration on the positive side and CL, residues scores and IFM on the negative side.

We failed in this study to found significant relationship between pH and water holding capacity ( $r = -0.41$ ,  $P < 0.1$ ) and pH and tenderness ( $r < 0.36$ ). Musa *et al.* [24] reported positive relationship between pH and tenderness which is in the same direction within this study.

#### IV. CONCLUSION

There were differences between the two poultry badges in terms of water activity (PRW and CL) and tenderness. The study revealed that age at slaughter had a significant effect on tenderness without effect on meat acceptability by the panellists. Penetrometry seems to have a great potential of being an excellent predictor of meat tenderness. We can speculate that the old spent hens can be used for direct human consumption if required but we should provide the effect of ageing time on its structural properties to improve its textural scores. Although a number of significant correlations were observed between penetration measurements and tenderness scores and MFI.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We express our sincere thanks to Mr ARFAOUI, the director of INAP – Constantine Algeria, whom provided us graciously the studied spent hens.

## REFERENCES

1. Lee S.O., Min J.S., Kim I.S., Lee M. (2003). Physical evaluation of popped cereal snacks with spent hen meat. *Meat Science*, 64: 383-390.
2. Becila S., Hafid K., Gagaoua M., Boudjellal A., Agli A., Ouali A. (2014). Prédiction de la tendreté de la viande d'agneau par pénétrométrie. In proceeding 15ème journée sciences de muscle et technologies des viandes JSMTV (pp. 105-106) 4 et 5 novembre 2014. Clermont-Ferrand.
3. Honikel K.O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat science*, 49: 447-457.
4. Gagaoua M., Micol D., Richardson R.I., Hocquette J.F., Terlouw E.M.C., Meteau K., Juin H., Moloney A.P., Nuernberg K., Scollan N.D., Boudjellal A., Picard B. (2013). Relationships between overall liking score and sensory meat attributes in different types of beef cattle. In Proceedings 59th International Congress of Meat Science and Technology (pp. 4), 18-23rd August 2013, Izmir, Turkey.
5. Hutchison C., Mulley R., Wiklund E., Flesch J., (2012). Effect of concentrate feeding on instrumental meat quality and sensory characteristics of fallow deer venison. *Meat science*, 90: 801-806.
6. McGeehin B., Sheridan J., Butler F. (2001). Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter. *Meat Science*, 58: 79-84.
7. Hamm R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements, in: P.-J. Bechtel (Ed.) *Muscle as food* (pp135-199), Academic Press, London.
8. Ramirez J.A., Oliver M.A., Pla M., Guerrero L., Arino B., Blasco A., Pascual M., Gil M. (2004). Effect of selection for growth rate on biochemical, quality and texture characteristics of meat from rabbits. *Meat Science*, 67: 617-624.
9. Pascual M., Pla M. (2007). Changes in carcass composition and meat quality when selecting rabbits for growth rate. *Meat science*, 77: 474-481.
10. Li K., Zhang Y., Mao Y., Cornforth D., Dong P., Wang R., Zhu H., Luo X. (2012). Effect of very fast chilling and aging time on ultra-structure and meat quality characteristics of Chinese Yellow cattle *M. Longissimus lumborum*. *Meat science*, 92: 795-804.
11. Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72: 248-254.
12. Kopuzlu S., Onenc A., Bilgin O. & Esenbuga N. (2011) Determination of meat quality through principal components analysis. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(2): 151-156.
13. Gregory K., Seideman S. & Ford J. (1983) Effects of late castration, zeranol and breed group on composition and palatability characteristics of longissimus muscle of bovine males. *Journal of animal science* 56: 781-6.
14. Crouse J., Cross H. & Seideman S. (1985) Effects of sex condition, genotype, diet and carcass electrical stimulation on the collagen content and palatability of two bovine muscles. *Journal of animal science* 60: 1228-34.
15. Caine W., Aalhus J., Best D., Dugan M. & Jeremiah L. (2003) Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Sci* 64: 333-9.
16. Bouton P., Ford A.L., Harris P. & Ratcliff D. (1975) Objective-subjective assessment of meat tenderness. *Journal of texture studies* 6: 315-28.
17. Shackelford S., Wheeler T. & Koohmaraie M. (1995) Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of animal science* 73, 3333-40.
18. Bouton P., Harris P.t. & Shorthose W. (1971) Effect of ultimate pH upon the water-holding capacity and tenderness of mutton. *Journal of food sci* 36: 435-9.
19. Yu L., Lee E., Jeong J., Paik H., Choi J. & Kim C. (2005) Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Sci* 71: 375-82.
20. Kriese P.R., Soares A.L., Guarnieri P.D., Prudencio S.H., Ida E.I. & Shimokomaki M. (2007) Biochemical and sensorial evaluation of intact and boned broiler breast meat tenderness during ageing. *Food chemistry* 104: 1618-21.
21. Touraille C., Kopp J., Valin C. & Ricard F. (1981) Chicken meat quality. 1. Influence of age and growth-rate on physicochemical and sensory characteristics of the meat. *Archiv fur Geflugelkunde* 45: 69-76.
22. Iqbal M., Kenney P. & Klandorf H. (1999) Age-related changes in meat tenderness and tissue pentosidine: effect of diet restriction and aminoguanidine in broiler breeder hens. *Poultry science* 78: 1328-33.
23. Northcutt J., Buhr R., Young L., Lyon C. & Ware G. (2001) Influence of age and postchill carcass aging duration on chicken breast fillet quality. *Poultry science* 80: 808-12.
24. Musa H., Chen G., Cheng J., Shuipe E. & Bao W. (2006) Breed and sex effect on meat quality of chicken. *International Journal of Poultry Science* 5: 566-8.

## **Analyse sensorielle vs mesure instrumentale (pénétrométrie) de la tendreté/dureté de la viande : effet de l'espèce bouchère, l'âge de l'animal et le type du muscle**

**Kahina HAFID**, Mohammed GAGAOUA, Samira BECILA, Abdelghani BOUDJELLAL

*Equipe Maquav, Laboratoire Bioqual, INATAA, Université Constantine 1, Route de Ain El Bey, 25000 Constantine, Algérie.*

*Correspondance : [hafidkahina@hotmail.com](mailto:hafidkahina@hotmail.com)*

### **Résumé**

Les scientifiques et les technologues portent un grand intérêt à la prédiction et la mesure ou l'estimation de la tendreté de la viande. La tendreté constitue un critère d'appréciation essentiel pour les consommateurs et joue un rôle prépondérant dans l'acceptabilité du produit final c'est-à-dire la viande après maturation. La méthode de référence de l'appréciation de la tendreté est l'analyse sensorielle qui fait appel à un panel de dégustation. Cependant, la difficulté de mise en œuvre, le coût et le temps nécessaire pour la réalisation de ces techniques font que l'estimation de la qualité de la viande par l'évaluation sensorielle soit limitée à grande échelle. Pour y remédier les spécialistes du domaine se sont orientés vers la mesure instrumentale comme alternative. D'ailleurs, Il existe une grande variété de méthodes instrumentales qui peuvent être utilisées pour mesurer la dureté / tendreté de la viande. La plus utilisée est Warner-Bratzler Shear Force (WBSF), c'est une approche fréquemment rencontrée dans la littérature. Dans notre cas, notre objectif est de mettre en évidence la relation entre l'analyse sensorielle et la mesure instrumentale de la tendreté/ dureté de viande. Au niveau de notre équipe nous avons réalisé des essais préliminaires de mise au point de la technique de mesure de la texture de la viande ovine (agneau) et de volaille (poule pondeuse) par pénétrométrie. Cette méthode présente l'avantage d'être rapide, moyennement destructive et surtout applicable sur des carcasses fraîches. Les résultats ont montré de fortes corrélations entre les mesures instrumentales et les analyses sensorielles. Nous sommes sur le point de faire une étude plus complète avec des effectifs plus important et pour différentes espèces (bovine, ovine, caprine, cameline et volaille). Trois facteurs de variation de la tendreté ont été introduits à savoir l'espèce bouchère, l'âge de l'animal et le type du muscle. Nous utiliserons des modèles statistiques robustes (régression multiples et Partiel Liste Squares) la validation de cette technique.

**Mots clés** : viande, tendreté, Analyse sensorielle, analyse instrumentale, pénétrométrie.

<b>Orale</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Affiche</b>	<input checked="" type="checkbox"/>

**VERS UNE NOUVELLE APPROCHE PAR TRAITEMENT D'IMAGE POUR LA  
MESURE DE LA CAPACITE DE RETENTION D'EAU DE LA VIANDE**

**Kahina HAFID\***, Mohammed GAGAOUA, Samira BECILA, Abdelghani BOUDJELLAL  
*Equipe Maquav, Laboratoire Bioqual, INATAA, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Route d'Ain El  
Bey, 25000 Constantine, Algérie.*

*\* Correspondance : hafidkahina@hotmail.com*

**Résumé**

La capacité de rétention d'eau (CRE) de la viande et des produits carnés est l'un des plus importants paramètres affectant sa qualité. La méthode la plus largement utilisée et qui s'est révélée la plus efficace, c'est la méthode proposée par Grau-Hamm (1956) aussi connue sous le nom de *Filter Paper Press Method* ou méthode à pression sur papier filtre. En utilisant ce protocole, la capacité de rétention d'eau est calculée à partir des aires de l'échantillon de viande pressé et de liquide libéré par l'utilisation d'un planimètre. Cette stratégie est jugée de nos jours comme étant non précise, laborieuse et nécessitant beaucoup de temps. Pour y remédier les chercheurs des sciences de la viande se sont dirigés vers les outils d'analyse d'image sur ordinateur. Ces nouvelles stratégies ont montré leur fiabilité sur le terrain, tant au niveau des laboratoires de recherches et qu'au niveau des industries agro-alimentaires. Les outils en question sont pour exemple « PIAS, LA-525 » et « Nikon NIS- Elements BR 2.2 ». Cependant, c'est derniers sont payant et non accessible à tous. Pour faire face nous avons tenté de trouver une nouvelle alternative ; en utilisant le logiciel ImageJ 1.48 en libre accès. Nous présenterons à travers cette communication la méthode développée pour la quantification des aires de pression de la CRE de la méthode Grau-Hamm (1956). La validation a été réalisée sur des poules pondeuses de réforme. Cette approche c'est avérée avantageuse, facile et précise, et nous la proposons pour les industriels et les scientifiques du domaine afin de leur faciliter les mesures de routine de la CRE de la viande et autres produits nécessitant cette technique.

**Mots clés :** *Viande, Capacité de rétention d'eau (CRE), ImageJ 1.48, traitement d'image.*

# Annexes

## PRESENTATION DU PENETROMETRE PNR10 (Catalogue)

### A. Domaines d'application

Un pénétromètre est un instrument de mesure muni d'un corps de pénétration, en général une aiguille ou un cône, qui pénètre en chute libre dans une matière, c'est à dire sous l'action de son propre poids, pendant une période déterminée. Cette profondeur de pénétration, mesurée en 1/10 mm ou unités de pénétration (1 U.P. =0.1 mm), constitue alors une grandeur objective de la consistance de la substance analysée.

Le pénétromètre s'accompagne d'une vaste gamme d'accessoires : corps de pénétration de formes et de poids différents (aiguilles, cônes, calottes, plaque-passoires, tiges cylindriques, etc.) ; tiges de chutes de poids différents servant de support pour les corps de pénétration, ainsi que poids supplémentaires, récipients à essai, bains thermostatés, etc.

Ces nombreux et divers accessoires vous permettent d'investir un champ d'application étendu, allant de constances semi-liquides à semi-dures : pour les contrôles-qualité sur les graisses, cires, pâtes, flans, crèmes, chocolats, la viande et le chocolat pour l'appréciation de l'état optimal de fruits et de légumes destinés à subir une transformation plus poussée (sous forme de confitures, ketchup, conserves, coulis ou yaourts) ou bien encore pour une exploitation optimisée des pâtes à pain et à pâtisserie selon des critères de qualité et de fraîcheur.

### B. Installation et préparatifs

#### 1. Choix de l'emplacement

Choisissez un endroit sec, non exposé à la poussière et le plus éloigné possible de toute source de chaleur. Protégez l'appareil des rayons du soleil, afin d'éviter les erreurs de mesures dues à une influence thermique sur l'échantillon.

#### 2. Branchement sur secteur

Avant de raccorder l'appareil sur le secteur, assurez-vous que la tension et la fréquence de celui-ci correspondent aux valeurs indiquées sur la plaque signalétique au dos de la table de l'appareil. Assurez-vous que votre prise de courant comporte un fil de terre, conformément aux normes en vigueur.

#### 3. Ajustage de l'appareil

Ajustez soigneusement le pénétromètre à l'horizontale ou à la verticale à l'aide des pieds à vis (1) et de la bulle de niveau (6). Tout ajustage insuffisant engendre des erreurs de mesure.

### C. OPERATIONS

#### 1. Mise sous tension

Actionner l'interrupteur principal (4) sur la face dorsale de l'appareil. Sur le cadran d'affichage (25) apparaissent les valeurs standards suivantes :

50 mm	limite supérieure
0 mm	limite inférieure



5.0 sec	temps de pénétration
0.0 sec	retard au démarrage pré réglé
C	valeur c pour méthode Unilever 80 g
Mm	profondeur de pénétration

## 2. Montage de la tige de chute et du corps de pénétration

2.1. Tournez la molette micrométrique (13) dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à la butée supérieure.

2.2. Desserrez légèrement le bouton d'arrêt (12) jusqu'à ce que le bloc de mesure ne puisse plus descendre de lui-même le long de la crémaillère.

2.3. A l'aide du bouton de réglage approximatif (9) que vous tournez dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre, amenez le bloc de mesure à sa position supérieure.

2.4. Choisissez, en fonction des indications du paragraphe E ou conformément à une norme ou protocole d'essai, une tige de chute et un corps de pénétration adéquats.

Assurez-vous de la propreté impeccable et du parfait état de ces derniers. Engagez le corps de pénétration dans la tige : pour ce faire, il vous faut - selon les versions – soit dévisser la pince située à l'extrémité inférieure de la tige, soit desserrer la vis latérale, puis engager le corps de pénétration jusqu'à la butée; resserrez ensuite la vis ou la pince afin d'empêcher le corps de pénétration de retomber.

2.5. Fixez, si nécessaire, un poids supplémentaire sur le corps de la tige de chute.

2.6. Désarmez le dispositif de blocage de la tige de chute, soit par pression du bouton (8) de blocage mécanique, soit en actionnant la touche RESET (18) de verrouillage électrique. Le dispositif de blocage reste désarmé aussi longtemps que ces éléments de commandes sont à l'état actionné.

Engagez l'ensemble tige-corps dans le guidage (14) et bloquez la tige de chute en libérant le bouton poussoir (8) ou la touche (18).

3. Pour les mesures standards (5 s), il n'est pas nécessaire de modifier les valeurs affichées et l'on peut commencer immédiatement la mesure en actionnant la touche START. Si vous désirez modifier les valeurs affichées, procédez comme suit :

a) Modification de la limite supérieure de profondeur de pénétration

Entrez un nombre à trois chiffres (affichage à 1/10) dans la zone inférieure gauche du cadran d'affichage (25) et validez-le à l'aide de la touche LIMIT (21).

b) Modification de la limite inférieure de profondeur de pénétration

Procédez comme indiqué en a, mais validez ici la valeur entrée à l'aide de la touche LIMIT (22).

c) Modification du temps de pénétration

Entrez un nombre à 4 chiffres (affichage en 1/10 s) dans la zone inférieure du cadran d'affichage et validez-le à l'aide de la touche PEN (23). Une valeur entrée à 5 chiffres sera reprise en un nombre entier de secondes.

d) Réglage du retard au démarrage

Il est possible de retarder le début de la pénétration en sélectionnant un temps de retard au démarrage devant s'écouler préalablement (application : substances à plusieurs composants

pour lesquels le processus de mesure est déclenché dès le mélange des adjuvants ; la mesure proprement dite est alors retardée d'un certain laps de temps correspondant au temps de réaction chimique). Lorsque le temps de retard au démarrage, procédez comme indiqué en c), mais validez la valeur entrée à l'aide de la touche PAUSE (24).

e) Conversion en valeur C (méthode unilever)

L'appareil peut être commuté sur c, soit 80 g, ou sur C, soit 160 g, en appuyant deux fois consécutives sur la touche LIMIT (22). L'affichage de la valeur c apparaît toujours dans le champ inférieur droit du cadran d'affichage, sous une forme analogue à la valeur de profondeur indiquée au-dessus en mm. Attention : seules peuvent être affichées à titre de valeurs c des profondeurs de pénétration supérieures ou égales à 1.30 mm.

f) Traceur de courbe

Lorsqu'un traceur de courbe est connecté sur la sortie analogue de l'appareil, le détecteur électronique de course peut effectuer son déplacement en simultané de son processus de mesure. Pour programmer ou annuler ce mode de mesure, appuyez deux fois consécutives sur la touche LIMIT (23). Lorsque ce mode est sélectionné, la lettre R (record modus) s'affiche sur le cadran.

#### 4. Mise en place du corps de pénétration

4.1. Placez l'échantillon à analyser sur la table du pénétromètre.

Assurez-vous de la parfaite stabilité du récipient. Tout mauvais équilibre de la prise d'essai engendre des erreurs de mesure !

4.2. Abaissez le bloc de mesure en tournant le bouton de réglage approximatif (9), de façon à obtenir un écart de 0.5 à 1mm entre la pointe du corps de pénétration et la surface de l'échantillon.

4.3. Serrez le bloc de mesure à l'aide du bouton d'arrêt (12).

4.4. Placez le dispositif d'éclairage derrière le corps de pénétration de telle sorte que sa pointe projette une ombre bien nette sur la surface de l'échantillon.

4.5. A l'aide de la molette micrométrique (13), abaissez avec précaution le corps de pénétration jusqu'à ce qu'il effleure la surface de l'échantillon, c'est à dire qu'il la touche sans la pénétrer. La meilleure façon de procéder ici est de prendre comme point de repère le moment où le rai de lumière disparaît entre la pointe du corps de pénétration et l'ombre. Pour une observation encore plus nette, servez-vous de la loupe (15).

4.6. Basculez le dispositif d'éclairage sur le côté pour éviter tout rayonnement de chaleur de la lampe sur l'échantillon et sur le corps de pénétration.

#### 5. Utilisation du détecteur électronique pour échantillons conducteurs d'électricité

Si vous travaillez sur un échantillon électro-conducteur, le détecteur électronique constitue un moyen très commode pour un positionnement de haute précision du corps de pénétration sur l'échantillon.

- Isolez l'échantillon de la table de mesure par une feuille de plastique.

- Branchez le détecteur électronique sur la prise (2) puis suspendez ou enfoncez l'étrier de contact dans l'échantillon.
- A l'aide du bouton de réglage approximatif (9), abaissez le bloc de mesure jusqu'à obtenir un écart de 0.5 à 1 mm entre la pointe du corps de pénétration et la surface de l'échantillon.
- Serrez légèrement le bouton d'arrêt (12).
- A l'aide de la molette micrométrique (13), abaissez lentement la pointe du corps de pénétration sur l'échantillon, tout en observant le dispositif d'éclairage. Lorsque le corps de pénétration effleure la surface de l'échantillon, la lampe s'éteint.

#### 6. Déclenchement du processus de mesure

Appuyez brièvement une fois sur la touche « START » (20). Le blocage de l'ensemble corps/tige est alors libéré pour la durée d'essai sélectionnée. Si un retard au démarrage a été programmé, le corps de pénétration n'est libéré qu'une fois ce laps de temps écoulé.

#### 7. Relevé de la mesure

La profondeur de pénétration est affichée en mm dans le champ supérieur droit du cadran d'affichage (25) avec, au-dessous, sa conversion en valeur c.

#### 8. Remise à l'état initial et préparatifs pour les mesures suivantes

8.1. Tournez de nouveau la molette micrométrique (13) dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à la butée (faute de quoi vous ne disposeriez pas d'une liberté d'ajustage suffisante pour la mesure suivante).

8.2. Désarmez le blocage de la tige de chute à l'aide de la touche (18) et, de l'autre main, remontez le corps de pénétration et la tige de chute en position initiale.

8.3. Désarmez le bouton d'arrêt (12) et remontez le bloc de mesure en tournant le bouton de réglage approximatif (9) jusqu'à pouvoir sans peine éliminer tout résidu de l'échantillon précédent sur le corps de pénétration et remplacer la prise d'essai ou la tige de chute.

8.4. Vissez le bouton d'arrêt (12) pour empêcher tout glissement inopiné du bloc de mesure.

Pour le nettoyage du corps de pénétration, ne jamais utiliser une matière abrasive.

#### 9. Sortie d'imprimante (option)

9.1. L'interface série (RS 232, 8 bits, 2 bits d'arrêt, sans parité, PIN7 = OV, PIN2 = sortie en série, PIN 5 = entrée pour rétro signal d'imprimante) est terminée par une fiche 25 pôles située sur la face dorsale de l'appareil.

9.2. Dans sa version standard, l'appareil est réglé sur 9 600 bauds. En cas d'utilisation d'autres imprimantes, il peut être réglé sur des valeurs différentes.

#### 9.3. Réglage du nombre de bauds (option)

9.3. Mettre l'appareil hors tension.

9.3.1. Maintenir simultanément les touches 21 et 24 enfoncées tout en mettant l'appareil sous tension.

9.3.2. Actionner la touche 20 jusqu'à affichage du nombre de bauds désiré.

9.3.3. Acquitter la valeur obtenue à l'aide de la touche RESET (18).

9.4. L'édition de chaque essai intervient ligne par ligne le long des colonnes imprimées lors de la mise sous tension de l'appareil.

Ce réglage demeure mémorisé dans l'appareil même à l'état hors tension et ne doit donc pas être de nouveau programmé.

Recommandations d'ordre general

a) Après achèvement de chaque mesure, veillez à ce que la tige de chute soit bien remise à sa position d'origine (par pression de la touche « RESET »). Ceci est indispensable à la réinitialisation automatique du point d'origine. C'est pourquoi il faut en premier lieu, après chaque mise sous tension, actionner la touche « RESET ».

b) A partir de 10.0 mm, les valeurs sont affichées non plus au 0.01 mm près, mais au 0.1 mm près.

## **D. Entretien et reparations**

### 1. Entretien général

En raison de la solidité de leur construction, les pénétromètres PNR ne nécessitent aucun entretien particulier. Cependant, il faut toujours maintenir les corps de pénétration, les tiges de chute et le guidage de tige (14) propres, secs et non gras. Pour le nettoyage de ces pièces, il faut utiliser un chiffon doux et non pelucheux, imbibé d'un peu d'alcool ou autre solvant.

Pour le nettoyage de l'appareil et des pièces, toute matière abrasive et tout produit corrosif sont à proscrire absolument.

Pour une mesure exacte, il ne faut jamais utiliser des tiges de chute et corps de pénétration rayés ou ébréchés.

### 2. Dépannages

2.1. Le dispositif d'éclairage ne fonctionne pas

a) L'étrier de contact du détecteur électronique repose sur la table de mesure ou bien l'échantillon n'est pas suffisamment isolé de la table.

b) L'ampoule est grillée. Pour la changer, retirez la gaine de protection du dispositif d'éclairage (7) et vissez une ampoule-lentille neuve 3.7V-0.3L - culot E 10.

2.2. La tige de chute n'est pas libérée

Actionnez le bouton-poussoir (8) pour désarmer le blocage mécanique de la tige de chute et, à l'aide d'un chiffon doux et non pelucheux imbibé d'un peu d'alcool, nettoyez le corps de la tige ainsi que le guidage (14).

2.3. Panne générale

a) Vérifiez que le câble d'alimentation est bien raccordé.

b) Contrôlez le fusible en retirant le cache du logement de fusible (3) sur la face dorsale de l'appareil près de l'interrupteur principal. Le cas échéant, remplacez le fusible.

c) Si le fusible saute trop fréquemment de façon anormale, vérifier si la présence éventuelle de surtensions sur le secteur peut en être à l'origine. Si vous ne pouvez en détecter la cause, informer-nous de cette anomalie par l'intermédiaire de notre succursale.

2.4. Panne ou anomalie de l'imprimante. Reportez-vous au mode opératoire spécifique à l'imprimante.

Nous attirons votre attention sur le fait que nous n'accordons aucune garantie ni n'assurons de service après-vente sur des imprimantes provenant d'autres fournisseurs. De nombreux problèmes de compatibilité peuvent en effet apparaître, problèmes dont nous avons tenu compte dans notre gamme complète de livraison (imprimante avec câble).

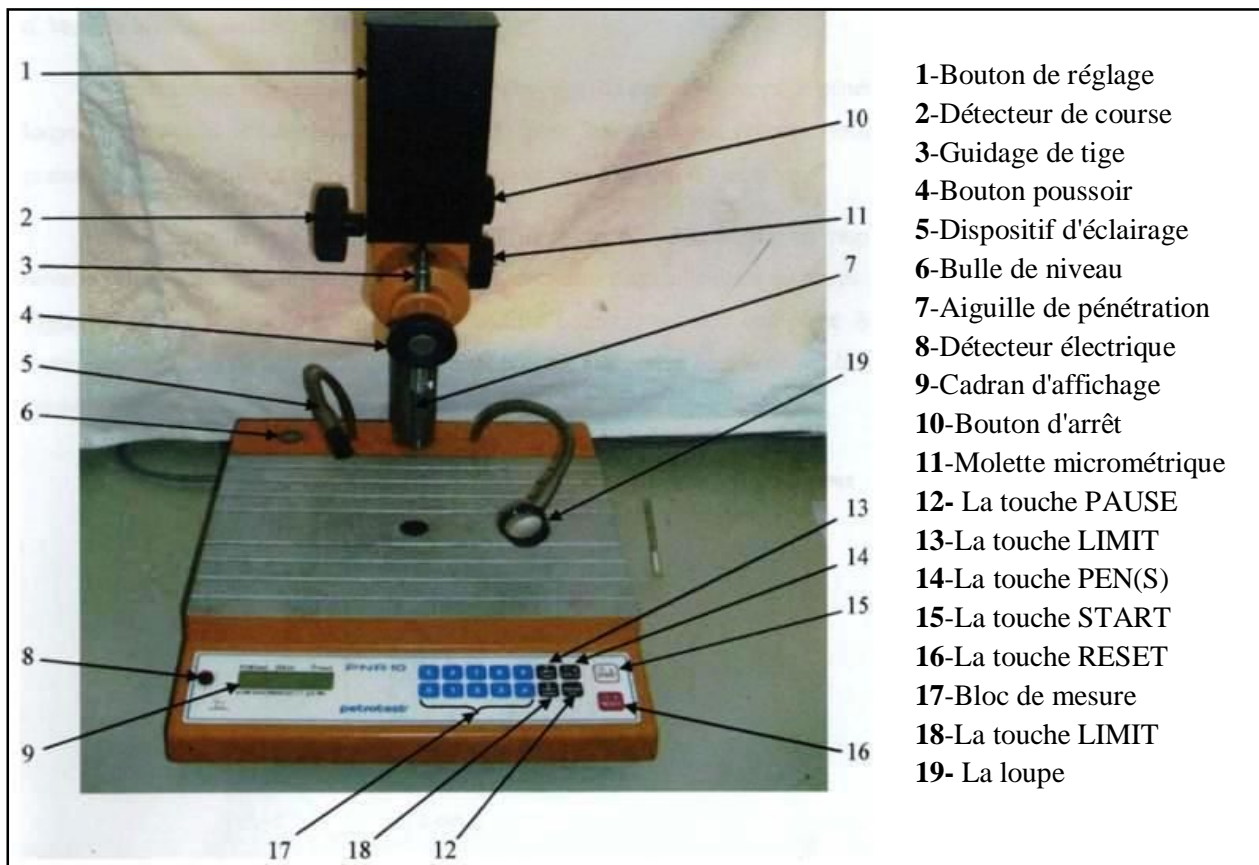
En tout état de cause, indiquez toujours le numéro de fabrication de l'appareil. Ce numéro est gravé sur la plaque signalétique apposée au dos de l'appareil.

Des réparations ou interventions autres que celles mentionnées ici ne peuvent être effectuées qu'après consultation de nos services ou de notre succursale.

Si l'appareil doit être expédié pour une maintenance ou réparation quelconque, veuillez respecter les instructions d'emballage.

2.5. Résultats erronés

Appuyer deux fois sur la touche LIMIT (21). La lettre R (record modus) s'affiche sur le cadran (25).



**Figure 30:** Représentation schématique d'un pénétromètre (PETROTEST PNR 10).

**Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires****Laboratoire BIOQUAL, Equipe MaQuaV****Bulletin d'évaluation sensorielle de la viande**(Gagaoua et *al.* 2013)

Définitions des attributs sensoriels utilisés durant l'évaluation sensorielle de chaque morceau de viande.

<i>Attribut sensoriel</i>	<b>Définitions</b>
<b>Tendreté globale</b>	Facilité de rupture lors de la mastication (témoignant du nombre de mastication nécessaires avant d'avaler) : de dur à extrêmement tendre
<b>Jutosité</b>	Intensité du jus libéré lors de la mastication : non juteux à extrêmement juteux
<b>Cohésion</b>	Comment le morceau de viande fragmente-il à la troisième mastication : de faiblement cohésif (se fragmentant seul) à très cohésif (le morceau garde son intégrité).
<b>Mastication</b>	Nombre de fois nécessaires à mâcher le morceau de viande avant de pouvoir l'avaler : pas difficile à mâcher à extrêmement difficile à mâcher
<b>Résidus</b>	Quantité de résidus avant d'avaler : du nihil à l'extrême
<b><i>Test hédonique</i></b>	
Appréciation globale	Quelle est l'appréciation globale du produit : de je n'aime pas à extrêmement j'aime

Merci pour votre aimable collaboration.

Code du Bulletin :

Sexe : M

Age : .....

### Bulletin de l'évaluation sensorielle de la viande

Veillez SVP renseigner par une croix (X), après dégustation de chaque morceau de viande, la grille d'évaluation pour chaque attribut sensoriel. Veillez rincer la bouche avec de l'eau au goût pomme après chaque dégustation.

Tendreté - |-----| +

Jutosité - |-----| +

Cohésion - |-----| +

Mastication - |-----| +

Présence de résidus - |-----| +

Selon vous, sur une échelle de 0 à 100 quelle est votre appréciation globale du morceau de viande évalué.

0 |-----| 100

Merci pour votre aimable collaboration.

**1. Tampon d'extraction (Rigor buffer) pH 7.0**

Produits	Concentration (mM)	Masse molaire (g/mol)	Quantité (g)
Chlorure de potassium KCl	75	74,56	5.592
Potassium phosphate monobasique $\text{KH}_2\text{PO}_4$	10	136.09	1.360
Chlorure de magnésium $\text{MgCl}_2$	2	203.30	0.406
Ethylene glycol tetraacetic acid EDTA	2	380.35	0.760
Sodium azide $\text{NaN}_3$	1	65.01	0.065

Eau pure qsp: 1000ml

**2. Tampon pH**

Produits	Concentration (mM)	Masse molaire (g/mol)	Quantité (g)
Iodoacétate de sodium	5	207.93	1.0396
Chlorure de potassium KCl	150	74,56	11.184

Eau pure qsp: 1000ml

**3. Tampon dénaturation (Bleu 5X) pour glycine SDS-PAGE**

Produits	Concentration / Pourcentage initial	Concentration / Pourcentage final	Masse molaire (g/mol)	Quantité
Tris-HCL	312.5 mM	62.5 mM	121.14	1.89 g
EDTA	0.4 mM	0.08 mM	372.24	7.6 mg
SDS	7.5 %	1.5 %	288.38	3.75 g
Glycérol	25 %	5 %		12.5 ml
DTT	150 mM	30 mM	154.25	1.16 g
Bleu de bromophénol	0.05%	0.01 %		25 mg

Eau pure qsp: 50ml

**4. Solution d'acrylamide**

Produits	Pourcentage (%)	Masse molaire (g/mol)	Quantité (g)
Acrylamide	30	71.08	29
Bis acrylamide	0.8	154.17	1

Eau pure qsp: 100ml

**5. Tampon resolving Tris-HCl 3M pH 8.8**

Produits	Concentration Pourcentage volume	Masse molaire (g/mol)	Quantité
Tris	3 M	121.14	36.34 g
SDS	0.8 %	288.38	0.8 g
$\beta$ -Mercaptoéthanol	0.8 ml	78.13	0.8 ml

Eau pure qsp: 100ml

Adjuster à 8.8 avec du HCl.



**6. Tampon stacking Tris-HCl 0.5 M pH 6.8**

Produits	Concentration Pourcentage volume	Masse molaire (g/mol)	Quantité
Tris	0.5 M	121.14	6.075 g
SDS	0.4 %	288.38	0.4 g
$\beta$ -Mercaptoéthanol	0.2 %	78.13	200 $\mu$ l

Eau pure qsp: 100ml

Adjuster à 6.8 avec du HCl.

**7. Ammonium Persulfate APS à 15%**

Dissoudre 0.15 g d'ammonium persulfate dans 1 ml d'eau distillée.

**8. Gel resolving à 12 %**

Produits	Volume
Solution d'acrylamide	5200 $\mu$ l
Tampon resolving	1570 $\mu$ l
Eau distillée	5725 $\mu$ l
Temed	6.25 $\mu$ l
APS	70 $\mu$ l

**9. Gel stacking à 7.5 %**

Produits	Volume
Solution d'acrylamide	2500 $\mu$ l
Tampon stacking	2500 $\mu$ l
Eau distillée	4890 $\mu$ l
Temed	10 $\mu$ l
APS	100 $\mu$ l

**10. Tampon de migration pour Glycine SDS-PAGE pH 8.3**

Produits	Concentration / Pourcentage	Masse molaire (g/mol)	Quantité
Tris	0.025 M	121.14	1.06 g
Glycine	0.192 M	75	5.04 g
SDS	0.1 %	288.38	0.35 g
$\beta$ -mercaptoéthanol	0.05 %	78.13	175 $\mu$ l

Eau pure qsp: 350ml

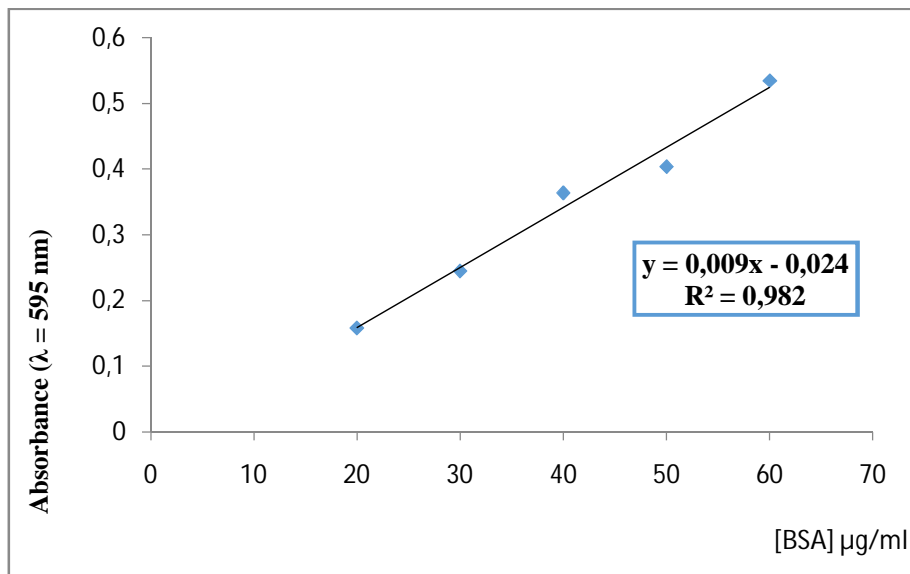
**11. Solution de fixation/ décoloration**

Produits	Pourcentage
Alcool	30 %
Acide acétique	5 %
Eau distillée	65 %

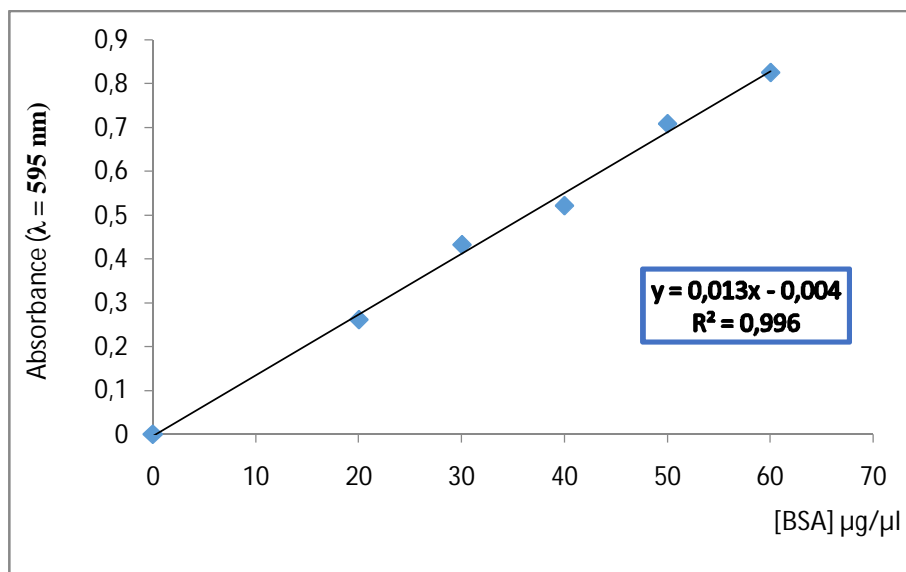
**12. Solution de coloration**

Produits	Quantité
Acide acétique 10 %	10 ml
Eau distillée	90 ml
Bleu de Coomassie R 250	0.03 g

### 1. Courbes d'étalonnage de dosage des protéines par la méthode de Bradford

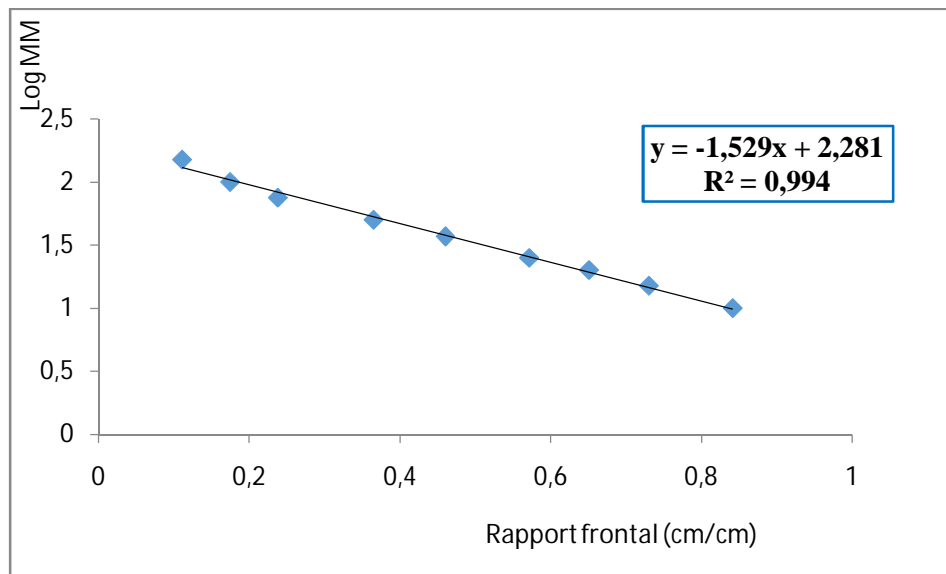


**Figure 31:** Courbe d'étalonnage du dosage des protéines par la méthode Bradford pour la détermination de l'indice de fragmentation myofibrillaire.

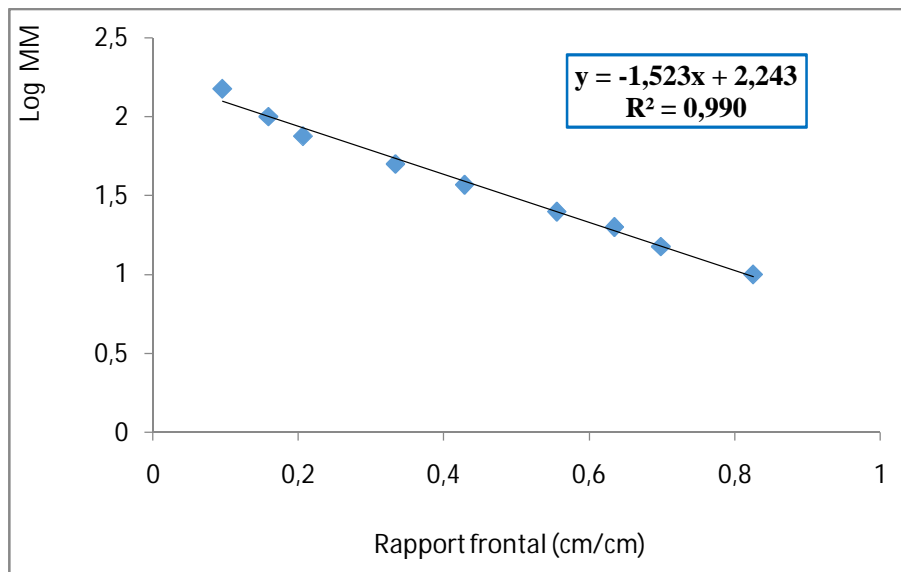


**Figure 32:** Courbe d'étalonnage du dosage des extraits protéiques (protéines myofibrillaires et sarcoplasmiques).

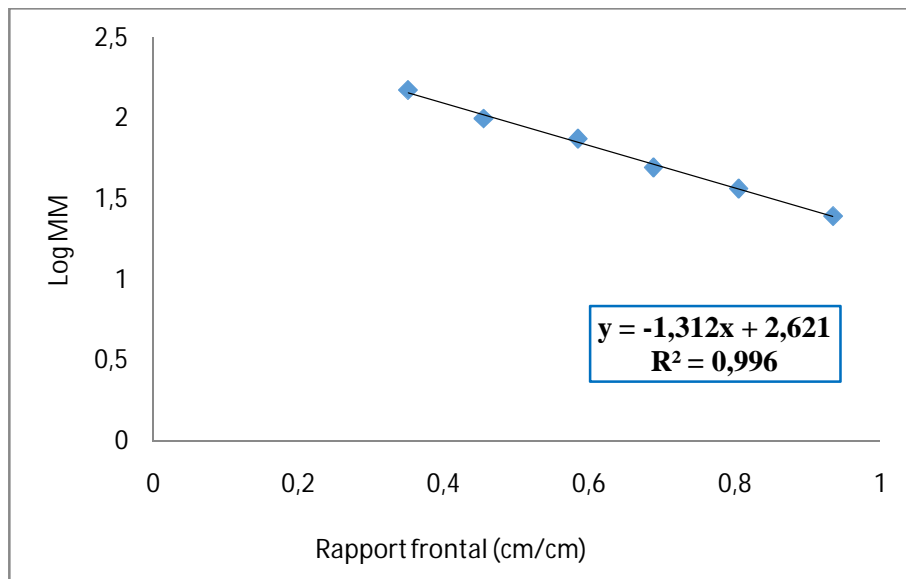
## 2. Courbe d'étalonnage des gels d'électrophorèses



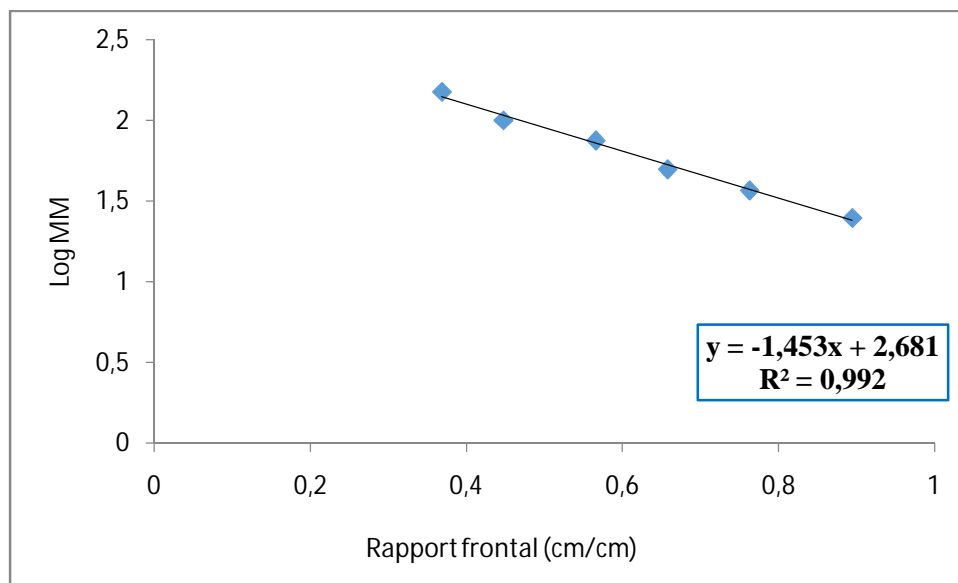
**Figure 33** : Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines myofibrillaires des poules âgées (Figure 25).



**Figure 34** : Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines myofibrillaires des poules moyennement âgées (Figure 26).



**Figure 35** : Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines sarcoplasmiques des poules âgées (Figure 27).



**Figure 36** : Courbe d'étalonnage pour l'estimation du poids moléculaire du gel SDS-PAGE des protéines sarcoplasmiques des poules moyennement âgées (Figure 28).

## **Abstract**

The intense production of eggs in Algeria, leads to an overabundant and availability of spent hens. Hens' meat is perceived and judged to be very tough and undesirable for direct consumption; hence it is entirely oriented to the transformation. The main objective of this preliminary study was to study the effect of slaughter age on the carcass traits and meat quality of ISA (F15) spent hens, the largest produced poultry in Algeria. To reach those objectives, total of 16 spent hens at different ages (220 vs 337 days, 8 animals per batch) were used. Toughness and texture/acceptability attributes (tenderness, juiciness, cohesiveness, chewiness, residues and overall liking) of breast muscle have been assessed by penetrometry and sensory analysis using a trained panel, respectively. Water holding capacity, percentage of released water, cooking losses, ultimate pH and myofibril fragmentation index (MFI) were also determined. A proteomic characterization of sarcoplasmic and myofibrillar proteins was done on each animal of the two hen groups. The preliminary results of this study showed that the penetration depth was negatively correlated with tenderness scores and myofibril fragmentation index. Tenderness scores were negatively correlated with animal age and positively with ultimate pH. The meat of the studied hens has been judged very acceptable according to the highest scores (scores > 5.5/10) given by the panelists. Consequently, it appears that the overall liking scores are independent of hens' age. Otherwise, monodimensional SDS-PAGE analysis displayed some differences in the proteomic profiles of the two groups in spite of the usefulness of the bi-dimensional electrophoresis (2-DE) in this study to determine the underlying mechanisms of toughness/tenderness. Through this preliminary study, it seems that ISA F15 spent hens can be used for a domestic consumption.

---

**Key Words:** spent hens, ISA F15, meat, penetrometer, sensory analysis, age.

## ملخص

تطور إنتاج البيض في الجزائر أدى إلى توفر كم هائل من الدجاج البياض. لحوم هذا النوع من الدجاج يعتبر صلب وغير مرغوب من قبل المستهلكين. لذلك يوجه مباشرة إلى التحويل. الهدف من هذه الدراسة المبدئية هو دراسة المميزات البيوكيميائية (العوامل التكنولوجية) والحسية للحم الدجاج البياض من أصل ISA F15 المنتجة بكثرة في الجزائر. للوصول إلى هذه الأهداف، استعملنا 16 دجاجة بياضه ذات أعمار مختلفة (220 و 337 يوم، 8 دجاجات لكل فوج). شدة الطراوة و الخصائص التكوينية /درجة القبول (الطراوة، العصير الناتج، التماسك، المضغ، البقايا والتقييم الشامل). تم تقييم العضلة الصدرية بجهاز الإختراق بينيتروميتر و التحليل الحسي من قبل هيئة التذوق على التوالي. تم أيضا دراسة القدرة على الاحتفاظ بالمياه، ونسبة الماء المخرجة، خسائر الطبخ، ودرجة الحموضة وكذلك مؤشر تجزئة الميوفبريلية. قمنا بالتوصيف الكهربائي للبروتينات الميوفبريلية و ساركلازمية على كل فرد من مجموعتي الدجاج. وأظهرت النتائج الأولية لهذه الدراسة أن عمق الإختراق ارتبط سلبيا مع درجة الطراوة و مؤشر تجزئة الميوفبريلية. ارتبطت درجات الطراوة سلبيا مع عمر الحيوان و إيجابيا مع درجة الحموضة. و اعتبرت لحوم الدجاج المدروسة مقبول جدا (الدرجة < 5.5 / 10) حيث تم منحها درجات عالية من طرف هيئة التذوق. يبدو أن التقييم الشامل، ودرجة الاستمتاع مستقلة عن عمر الدجاج. علاوة على ذلك، ساعد تحليلها من قبل SDS-PAGE أحادي الأبعاد على تسليط الضوء على بعض الاختلافات في المقاطع البروتينية بين المجموعتين على الرغم من أن ثنائي الأبعاد الكهربائي هي الأكثر الموصى بها لتحديد الآليات التي تحكم سمات كل مجموعة فيما يتعلق الطراوة / صلابة. من خلال هذه الدراسة الأولية تبين أن الدجاج البياض ISA F15 يمكن أن تستخدم للاستهلاك المنزلي.

---

**الكلمات المفاتيح :** الدجاج البياض، ISA F15، العضلات الصدرية، بينيتروميتر، التحليل الحسي، العمر.

## Résumé

L'expansion de production des œufs en Algérie a conduit à une surabondance de poules pondeuses de réforme. La viande de ces poules est jugée à tort comme étant dure et non souhaitable pour la consommation directe. De ce fait elle est presque entièrement orientée vers les charcuteries pour sa valorisation/transformation. Les objectifs de cette étude préliminaire étaient donc de tester le potentiel d'utilisation du pénétromètre pour la prédiction de la tendreté de la viande des poules pondeuses de réforme afin de proposer aux industriels un outil simple permettant de statuer sur le devenir des carcasses, à savoir la consommation directe par les consommateurs ou la transformation en produits de charcuteries. Ainsi que la caractérisation de la viande de la souche ISA F15 en fonction de l'âge d'abattage. la caractérisation biochimique (paramètres technologique) et organoleptique de la viande de poules de réforme de la souche ISA F15 largement produite en Algérie en fonction de l'âge. Pour atteindre nos objectifs, 16 poules pondeuses d'âges différents (220 vs 337 jours, 8 poules par groupe) ont été utilisées. La dureté et les attributs de texture/acceptabilité (tendreté, jutosité, cohésion, mastication, résidus et l'appréciation globale) du muscle pectoral ont été évaluées par un pénétromètre et analyse sensorielle par un jury, respectivement. La capacité de rétention d'eau, le pourcentage d'eau reléguée, les pertes à la cuisson, le pH ultime ainsi que l'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM) ont été aussi étudiés. Une caractérisation électrophorétique des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires a eu lieu sur chaque individu des deux groupes de poules. Les résultats préliminaires de cette étude ont montré que la profondeur de pénétration était négativement corrélée avec le score de tendreté et l'indice de fragmentation myofibrillaire. Les scores de tendreté étaient négativement corrélés avec l'âge de l'animal et positivement avec le pH ultime. La viande des poules étudiées a été jugée très acceptable au vu des scores élevés (scores > 5.5/10) attribués par le jury de dégustation. Il ressort que les scores de l'attribut hédonique, l'acceptabilité, est indépendante de l'âge des poules. Par ailleurs, l'analyse en SDS-PAGE monodimensionnelle a permis de mettre en évidence quelques différences dans les profils protéomiques des deux groupes malgré que c'est l'électrophorèse bidimensionnelle (2-DE) qui est la plus recommandé pour déterminer les mécanismes qui régissent les traits de chaque groupe en ce qui concerne la tendreté/dureté. A travers cette étude préliminaire, il ressort que les poules pondeuses de réforme de la souche ISA F15 peuvent être utilisées pour une consommation ménagère.

---

**Mots clés :** Poules pondeuses, souche ISA F15, muscle pectoral, pénétromètre, analyse sensorielle, âge.