

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira – Bejaia –



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Physico -chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du
Diplôme de Master II en Biochimie Appliquée

Thème

Etude de quelques paramètres physico-chimiques et
biochimiques lors de la transformation de muscle de
lapin en viande

Présenté par :

M^{elle} TALAOUANOU Taklit

M^{elle} M'SILI Fouzia

Devant le jury :

Présidente :	M ^{me} KHETTAL B.	FSNV – Université A/MIRA Bejaia
Examinatrices :	M ^{me} IDRES N.	FSNV – Université A/MIRA Bejaia
	M ^{me} BOUCHERBA N.	FSNV – Université A/MIRA Bejaia
Encadreur :	M ^r GAGAOUA M.	INATAA – Université Constantine 1

Année universitaire : 2013 – 2014

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir donné la force et la patience de pouvoir mener ce travail à terme.

*Au terme de la réalisation de ce mémoire, nous tenons à présenter nos remerciements les plus sincères à notre promoteur Monsieur **Gagaoua Mohammed** pour avoir dirigé ce travail, pour ces précieux conseils, son orientation, ses encouragements, sa disponibilité, son aide et sa patience avec nous.*

Nos remerciements vont également à M^{me} Khettal B. de nous avoir fait l'honneur de présider le jury.

Nous remercions également M^{me} Boucherba N et M^{me} Idres N pour avoir acceptés d'examiner ce mémoire.

Merci à M^{me} Boucherba N pour son aide durant notre travail pratique, ainsi que M^r Chikhouné A.

Nous remercions encore une autre fois M^{me} Khettal B. de nous avoir acceptée au sein de laboratoire d'enzymologie et ainsi les deux techniciennes Saïda et Habiba pour avoir mis à notre disposition le matériel et les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail.

Nous témoignons notre reconnaissance à toute personne ayant contribué de pré ou de loin à la réalisation de notre mémoire de fin de cycle.

Dédicaces

Louange à Allah, seigneur de l'univers, le tout puissant et Le miséricordieux, qui nous inspire.

Et combler de bien fais, on lui rend grâce.

A ceux qui nous ont tout donné sans rien attendre en retour.

A ceux qui nous ont encouragés et soutenues dans les moments les plus difficiles

Et ceux à qui nous devons tant

A mon cher père pour son amour et son support continu.

Que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de notre profonde reconnaissance pour tous ce que vous avez fait pour nous.

A la mémoire de ma très chère mère que dieu ait pitié de son âme et l'accueille dans son vaste paradis.

A ma chère grand -mère que dieu me la protège

A ma sœur Nadira et son marie Samir et leurs enfants : Dadi, Oussama, et Adoula

A ma petite sœur Mima

Ames belles sœurs Bahia et Kahina.

A mes frères Salim, Sofiane, Djebar, Samir et ses enfants : Mounir, Amine, et la petite et adorable Fatima.

A mes chères amies : Kahina, Famina, Zakia, Wassila

Et à mon cher binôme Lili avec la quelle j'ai partagé ce travail.

Fouzia



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ceux que j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et je suis très fière de les avoir et tout les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leurs porte ; mes très chers parents pour leurs soutiens et encouragements tout au long de mes études, ma grand-mère que Dieu me les protège.

A mes frères : Mouloud, Zahir, Toufik, M'henni, Salim et Walid

A mes adorables sœurs : Sabrina, Katia et Rima

*A mes amies : Kahina, Nacera, Sabrina, Siham, Tassaadit, Wassila,
Zakia,*

A mes copines de chambre : Warda, hassiba, djedjiga et Melissa

A mon binôme fouzia et sa famille

Et enfin A toute la promotion de biochimie Appliquée 2014.

Et à tous ceux qui me sont chers

Je vous aime beaucoup

Talaouanou Taklit

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Revue bibliographique

Chapitre I. Anatomie et valeur diététique du lapin

I.1. Préambule 3

I.2. Lapin en Algérie 3

 I.2.1. Espèces cunicoles en Algérie 3

 I.2.2. Elevage du lapin en Algérie 4

I.3. Caractérisation de la cuniculture en Algérie 5

I.4. Importance économique du lapin en Algérie 5

I.5. Muscles et croissance musculaire 6

I.6. Caractéristiques des fibres musculaires 6

I.7. La composition chimique de la viande du lapin 7

 I.7.1. Eau 7

 I.7.2. Protéines 7

 I.7.3. Lipides intramusculaires 8

 I.7.4. Matière minérale 8

I.8. Intérêt nutritionnel de la viande de lapin 9

Chapitre II. Muscle, viande et ses qualités

II.1. Muscle 10

 II.1.1. Structure de muscle squelettique 11

 II.1.2. Protéines majeures du muscle 13

II.1.3.Composition chimique de muscle	14
II.2. Viande	15
II.2.1. Evolution du muscle en viande.....	15
II.2.2.Qualités de viande	18
II.2.2.1. Qualité organoleptiques	18
II.2.2.2.Qualité technologique.....	20

Partie pratique

Chapitre III. Matériel et méthodes

Préambule et objectifs	22
III.1. Matériel	24
III.1.1.Matériel biologique.....	24
III.2. Méthodes	24
III.2.1.Abattages et prélèvements des muscles.....	24
III.2.2.Mesures <i>postmortem</i>	25
III.2.2.1. Mesure du pH	25
III.2.2.2. Extraction des protéines myofibrillaires (PMF).....	26
III.2.2.3. Indice de fragmentation myofibrillaire (IFM)	27
III.2.2.4 Capacité de rétention d'eau (CRE).....	28
III.2.2.5. Pertes à la cuisson	30
III.2.2.6. Dosage des protéines par la méthode Bradford.....	31
III.2.2.7. Analyse par électrophorèse en conditions dénaturantes (SDS-PAGE).....	32
III.2.3. Traitement de données.....	34

Chapitre IV. Résultats et discussion

IV.1. Evolution de la cinétique du pH.....	35
IV.2. Pertes en eau à la cuisson	38
IV.3 Capacité de rétention d'eau	40
IV.4.. Indice de fragmentation myofibrillaires (IFM)	42
IV.5. profil électrophorétique de la dégradation des protéines myofibrillaires au cours du temps <i>post mortem</i>	45
Conclusion générale	48

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Anatomie externe et squelette du lapin.....	3
Figure 2 : Structure du muscle squelettique macro-microscopique.....	12
Figure 3 : Les différentes phases de transformation du muscle en viande.....	16
Figure 4 : Schéma générale de l'étude expérimentale.....	23
Figure 5 : Les deux muscles du lapin utilisés au cours de l'étude.	24
Figure 6 : Schéma globale de mesure du pH.....	25
Figure 7 : Schéma de l'extraction des protéines myofibrillaires.....	26
Figure 8 : Schéma récapitulatif de la détermination de l'indice de fragmentation myofibrillaire.....	28
Figure 9 : Etapes de mesure de la capacité de rétention d'eau(CRE).....	29
Figure 10 : Etapes de mesure de la perte en eau.....	30
Figure 11 : Courbe d'étalonnage du gel d'électrophorèse des protéines myofibrillaires.	34
Figure 12 : Profil d'évolution du pH (moyenne \pm écart type) dans le muscle <i>Longissimus dorsi</i> (a) et <i>Biceps femoris</i> (b) au cours du temps <i>postmortem</i> des 6 lapins étudiés.....	35
Figure 13 : comparaison de l'évolution de la cinétique du pH des deux muscles étudiés au cours du temps <i>postmort</i>	35
Figure 14 : Moyennes \pm écartypes des pertes en eau à la cuisson (80°C au bain marie) des deux muscles LD et BF des 6 lapins étudiés.....	39
Figure 15 : Moyennes \pm écartypes de la capacité de rétention d'eau déterminée par la méthode presse papier des deux muscles LD et BF des 6 lapins étudiés à 6, 24 et 48 heures..	41
Figure 16 : Moyennes \pm écartypes de l'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM) des deux muscles LD et BF des 6 lapins étudiés à 6, 24 et 48 heures <i>post mortem</i>	43
Figure 17 : Profil électrophorétique de quelques points de la cinétique représentant la transformation des muscles LD et BF en viande au cours du stockage à 4 °C.....	47

Liste des tableaux

Tableau I : Composition chimique pour 100g de fraction comestible des viandes de taurillon, veau, poulet et la lapin.....	7
Tableau II : Caractéristiques structurales, contractiles et métaboliques des principaux types de fibres du muscle squelettique adulte.....	11
Tableau III : Composition chimique principale du muscle.....	15
Tableau IV : Gamme d'étalonnage utilisée pour le dosage des protéines.....	31

Liste des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

ADP : Adénosine diphosphate

ARN: Acide ribonucléique

ATP: Adénosine triphosphate

BF: Biceps Femoris

BSA: Bovine Serum Albumin

CRE : Capacité de Rétention d'Eau

EDTA : Ethylène Diamine Tétraacétique Acide

EGTA: Ethylene Glycol Tetraacetic Acid

IFM: l'Indice de Fragmentation Myofibrillaire

Kcl: Chlorure de potassium

KH₂PO₄ : dihydrogénophosphate de potassium

LD: Longissimus Dorsi

Mg : Magnésium

Mgcl₂: Chlorure de magnésium

MyHc: Myosin Heavy Chain

MyLc: Myosin Light Chain

Na : sodium

NaN₃: Azoture de sodium

p: phosphore

PAGE : polyacrylamide de gel Electrophoresis

PMF : protéines myofibrillaires

SDS : sodium dodécyl sulfate

SDS-PAGE : Sodium Dodécyl Sulfate – Polyacrylamide Gel Electrophoresis

Tris : Tris (Hydroxyméthyl)-aminométhane

Introduction

La viande de lapin, peu consommée au monde est pourtant elle possède des avantages nutritionnels indiscutables par rapport aux viandes de bœuf ou de porc. Elle se caractérise en effet par un rapport protéines/énergie élevé (Combes et Dalle Zotte, 2005). Les consommateurs recherchent aujourd'hui des produits de qualité faciles à préparer et bénéfiques pour la santé avec des prix raisonnables.

En Algérie, les productions animales sont de plus en plus diversifiées mais leurs performances demeurent toujours insuffisantes pour combler le déficit en protéines animales. En effet, la consommation des protéines d'origines animales est estimée à environ 16,5 g/habitant/jour pour la majeure partie de la population Algérienne, alors que la norme algérienne recommandée est fixée à 35gr/habitant/jour (Berchiche et Kadi, 2002). Malgré que la viande de lapin présente des caractéristiques intéressantes pour l'alimentation humaine, la production de cette dernière est concentrée sur un nombre limité de pays. Le premier pays producteur de cette viande est l'Italie qui produit 18%, alors que l'Algérie produit 0.9% (Zerrouki *et al.*, 2004). Par ailleurs, le niveau de consommation de viande de lapin par habitant et variable d'un pays à l'autre, elle dépasse 1kg/habitant/an dans l'Europe (Italie, France, Espagne,...), et elle est comprise entre 300 grammes à 1kg/habitant/an en Algérie (Colin et Lebas, 1995). Pour ceci, les scientifiques doivent accentuer leurs recherches afin de démontrer les vertus de cette viande et aussi caractériser les paramètres technologiques affectant ses qualités.

La qualité de la viande est un ensemble de caractéristiques que lui confèrent ses propriétés organoleptiques, technologiques, nutritionnelles, hygiéniques et marchandes. Elle est une notion complexe et très variable. La caractéristique organoleptique est très recherchée par les consommateurs et celle-ci évolue considérablement dans le temps (Verbeke *et al.*, 2010). Les attributs sensoriels caractérisant la qualité organoleptique dépendent de nombreux facteurs : ceux-ci qu'ils soient liés à l'animal (espèce, race, âge, sexe,...), au mode d'élevage (vitesse de croissance, alimentation) ou aux facteurs technologiques *post mortem* (vitesse et intensité du refroidissement, stimulation électrique,...).

De part, la tendreté de la viande est la qualité organoleptique la plus dommageable vis-à-vis de la consommation, car c'est le principal motif de choix pour les consommateurs (Gagaoua *et al.*, 2013). Elle est très variable et elle résulte d'une multitude de modifications des caractéristiques biochimiques et physico-chimiques, principalement enzymatiques du

muscle après l'abattage. C'est la raison pour laquelle des recherches ont été initiées, depuis les années 80, dans le but d'identifier de nouveaux indicateurs biologique fiables ayant une forte incidence sur les qualités sensorielles des viandes pouvant expliquer une part importante de leur variabilité.

L'objectif de cette étude est de comprendre les mécanismes physico-chimiques et biochimiques intervenant dans le processus d'attendrissage naturel de viande du lapin conduite en Algérie. Pour atteindre cet objectif nous avons mesuré en cinétique, plusieurs caractéristiques biologiques de deux muscles du lapin à savoir le *Longissimus dorsi* (LD) et le *Biceps femoris* (BF). Les paramètres étudiés sont :

- L'évolution des paramètres physico-chimiques des deux muscles LD et BF tel que la mesure du pH à des temps *post mortem* (15min, 30min, 45 min, 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 7h, 8h, 24h, 30h, 48h), détermination en pourcentage de la capacité de rétention d'eau et l'évaluation de l'indice de fragmentation myofibrillaires aux stade de mesure 6h, 24h et 48h, aussi la détermination des pertes en eau à la cuisson chaque 3 jours *post mortem*.
- L'évolution des paramètres biochimiques des muscles étudiés par estimation de la protéolyse des protéines myofibrillaires par électrophorèse en conditions dénaturantes (SDS-PAGE) sur quelques temps *post mortem* de la cinétique.

Chapitre I : Anatomie et valeur diététique du lapin

I.1. Préambule

Les lapins sont des petits mammifères terrestres herbivores, ne sont pas des rongeurs mais des lagomorphes, avec la particularité d'avoir de grandes oreilles (4 à 8cm). Ces animaux de nature sauvage peuvent être domestiques et élevés par les industriels de l'agroalimentaire, chassés pour leur viande, ou encore utilisés pour des expériences scientifiques (Simon, 2012). Les lapins domestiques sont tous issus de l'espèce *Oryctolagus cuniculus* : le Lapin de garenne, qui est à l'origine de toutes les races du lapin sélectionnées en élevage.

La chair du lapin est classée parmi les viandes blanches, les consommateurs devraient mieux le connaître et l'apprécier, tant pour son goût délicat que pour sa composition nutritionnelle qui en fait un aliment à forte valeur diététique.

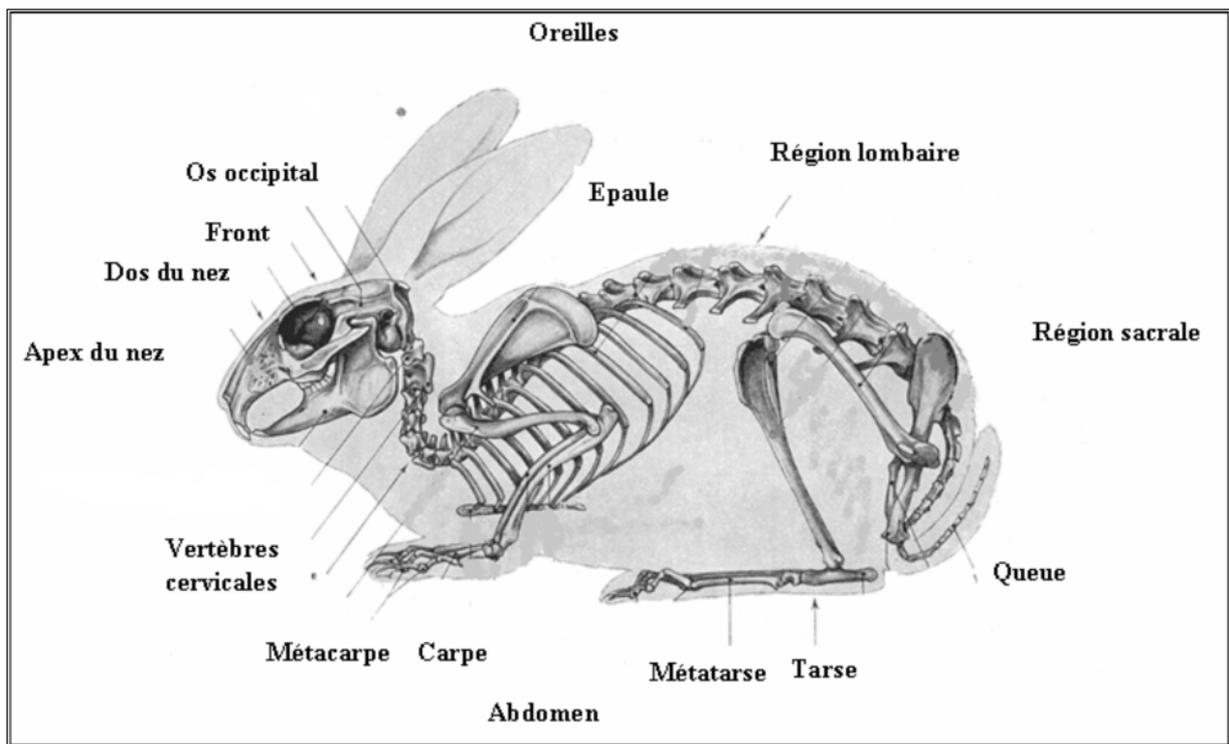


Figure 1. Anatomie externe et squelette du lapin (Barone *et al.*, 1973).

I.2. Le lapin en Algérie

I.2.1. Les espèces cunicoles en Algérie

Les espèces cunicoles en Algérie sont représentées par la famille taxonomique des léporidés, qui intègre les lapins domestiques (*Oryctolagus cuniculus domesticus*).

Le phénotypique résultante des croisements intempestifs et parfois volontaristes (recherche des caractères de performances) avec des races étrangères introduites en Algérie, au cours des années soixante-dix, dans le cadre de certains projets de développement rural. Ce processus s'est aggravé par l'introduction, entre 1985 et 1989, des reproducteurs sélectionnés, destinés aux élevages intensifs (Berchiche et Kadi, 2002; Ferrah *et al.*, 2003; Othmani-Mecif et Benazzoug, 2005; Djellal *et al.*, 2006).

De plus, la tentative d'introduction et d'intensification de l'élevage du lapin a échoué en raison de nombreux facteurs dont la méconnaissance de l'animal, l'absence d'un aliment industriel adapté, l'absence d'un programme prophylactique.... Après cet échec, la stratégie du développement de cette espèce s'est basée sur la valorisation du lapin des populations locales (Gasem et Bolet, 2005).

I.2.2. Elevage du lapin en Algérie

On distingue actuellement deux composantes en Algérie : un élevage traditionnel constitué de très petites unités à vocation vivrière et un élevage rationnel comprenant de grandes ou moyennes unités orientées vers la commercialisation de leurs produits.

a. Elevage traditionnel

Il est constitué de nombreux petits élevages de 5 à 8 lapines, plus rarement 10 à 20 localisés en milieu rural ou à la périphérie des villes. Leur orientation principale est l'autoconsommation, qui représente 66% de la production traditionnelle mais les excédents sont vendus dans les marchés. La gestion de ses unités est très souvent assurée par les femmes, la quasi-totalité des ménagères étant des femmes au foyer (Ait Tahar et Fettal, 1990 ; Berchiche, 1992 ; Djellal *et al.*, 2006). Ainsi, ce type d'élevage constitue parfois une source de revenus supplémentaires pour le foyer (Lukefahr et Cheeke, 1990a, b). Cet élevage n'est pas spécifique à l'Algérie, il est à quelques détails près, commun aux régions rurales (Finzi *et al.*, 1989). L'alimentation est presque exclusivement, à base d'herbe.

L'élevage fermier du lapin en Algérie évolue progressivement; cette évolution s'explique par les qualités intrinsèques de l'espèce et son adaptation à des environnements différents. Aussi son exploitation en petits élevages nécessite peu d'investissements et évite de grandes pertes comparativement à son exploitation en grands élevages. Avec des charges pratiquement nulles, le lapin en élevage fermier arrive à produire environ 18 kg de poids vif de lapin, soit 11 kg de viande par femelle et par an (Djellal *et al.*, 2006).

b. Elevage rationnel

Il n'est apparu qu'au début des années quatre-vingt, à la suite d'une volonté des pouvoirs publics, ainsi, 5000 femelles et 650 mâles ont été installés entre 1985 et 1988, parallèlement ont commencé des fabrications nationales des cages et d'aliment composé pour lapin.

Dans ces élevages, les animaux sont généralement des hybrides importés de France ou de Belgique, mais leur adaptation s'est souvent révélée difficile à cause des conditions climatiques et de l'alimentation locale (Berchiche, 1992).

Les performances obtenues restent moyennes, surtout en raison des fortes mortalités au nid : 30 à 35 lapins/ femelle /an (Ait Tahar et Fettal, 1990; Berchiche, 1992) ; ces élevages rationnels sont regroupés en coopératives, elles mêmes encadrées par différents instituts techniques (Colin et Lebas, 1995).

I.3. Caractérisation de la cuniculture en Algérie

Selon Colin et Lebas (1995), l'Algérie est parmi les pays où la cuniculture est quantitativement assez importante, mais qui reste très traditionnelle et presque exclusivement vivrière, où la production de lapin y est destinée presque uniquement à l'autoconsommation, ou à l'approvisionnement en viande de l'environnement immédiat de l'éleveur (famille, voisinage...). Ces élevages traditionnels vivent pratiquement en autarcie et du fait de leur absence de contact avec d'autres agents économiques, sont généralement sous-estimés lors des recensements officiels, d'où une sous-évaluation du volume de la cuniculture en Algérie, cette cuniculture est commune à celle de la plupart des pays de l'Afrique du nord : Egypte, Maroc, Tunisie...etc. (Colin et Lebas, 1995).

La mauvaise situation de la cuniculture en Algérie est lié à :

- ✓ l'indisponibilité d'une alimentation équilibrée et de bonne qualité (granulés) ;
- ✓ la méconnaissance ou la très faible connaissance des possibilités d'élevage des populations présentes dans les fermes, et sur la valeur nutritive des aliments effectivement disponibles (Berchiche *et al.*, 1999).

- ✓ Auxquels il faut ajouter le manque de formation des éleveurs et les problèmes techniques non résolus (insuffisance d'alimentation, non maîtrise des maladies ...etc.) (Colin et Lebas, 1995).

I.4. Importance économique du lapin en Algérie

Le lapin peut représenter pour l'Algérie une source de protéines non négligeables compte tenu de sa vitesse de prolifération et de sa capacité à valoriser des sous produits agro industriels (Gasem et Bolet, 2005). La légendaire prolifération des lapines et la capacité de cette espèce à

transformer du fourrage en viande consommable font du lapin un animal économiquement très intéressant.

Les lapines ont en moyenne des tailles de portées supérieures à neuf petits, la durée de gestation 31 à 32 jour, et une maturation sexuelle rapide (quatre mois pour les femelles), ce qui leur permet d'avoir jusqu'à 50 petits par an. Un lapin atteint son poids d'abattage en 10 à 12 semaines.

En effet, jusqu'à 20 % des protéines alimentaires absorbées par un lapin sont fixées en viande. Ce chiffre est de 8 à 12 % chez la vache, seul le poulet a une capacité de transformation supérieure, de 22 à 23 %, mais à partir d'aliments potentiellement consommables par l'homme comme le soja, le maïs ou le blé. (Lebas *et al.*, 1996).

I.5.Muscles et croissance musculaire

Les masses musculaires, quantitativement les plus importantes, sont celles de la partie arrière du corps du lapin : râble et cuisses. Les muscles squelettiques ont pour fonction d'assurer les mouvements de l'animal. Le muscle ayant la masse la plus importante est le muscle *longissimus dorsi*. Au plan anatomique, cette masse musculaire correspond à une succession de muscles différents, le long dorsal, le long épineux, et le muscle multifide dorsolombaire (*longissimus lumborum*) (Gondret, 1997).

Très divers quant à leur forme, leur taille et leur fonction, les muscles du squelette se caractérisent aussi par une forte hétérogénéité tissulaire. Le tissu nerveux (fibres motrices afférentes et fibres sensibles efférentes) assure le contrôle de la contraction et de la relaxation musculaire. Les vaisseaux sanguins assurent la fourniture des nutriments et de l'oxygène, et évacuent les produits du catabolisme musculaire. Les fibres musculaires constituent 75 à 90% du volume musculaire et représentent l'élément de base du muscle strié squelettique. Les fibres musculaires sont entourées d'une mince gaine de tissu conjonctif riche en collagène, l'endomysium (Lebas, 2013).

I.6.Caractéristiques des fibres musculaires

A l'intérieur d'un muscle donné, les fibres se différencient par leurs caractéristiques morphologiques, physiologiques et biochimiques. Chez le lapin, il existe deux grandes catégories de fibres musculaires sur le plan de la vitesse de contraction : les unes à contractions lentes (fibres de type I) et les autres à contractions rapides (fibres de type IIA, IIX et IIB) (Hamalainen et Pette, 1993). L'énergie nécessaire à la contraction des fibres musculaires provient de l'hydrolyse de l'ATP en ADP par l'ATPase myofibrillaire. Les

propriétés contractiles des fibres musculaires dépendent du type d'ATPase portée par la myosine (Guth et Samaha, 1972).

I.7. La composition chimique de la viande du lapin

La viande de lapin se caractérise par de fortes teneurs en eau et en protéines et un faible niveau lipidique en comparaison à d'autres espèces bouchères (Ouhayoun, 1984; Combes, 2004 ; Dalle Zotte , 2004) (Tableau I).

Tableau I. Composition chimique pour 100g de fraction comestible des viandes de taurillon, veau, poulet et la lapin (Combes, 2004 ; Salvini *et al.*, 1998).

	Taurillon	Veau	Poulet	Lapin
Eau	69,1	73,5	72,2	72,5
Protéines	19,5	20,5	20,1	21,0
Lipides	9,0	4,0	6,6	5,0
Minéraux	1,0	1,1	1,1	1,2

I.7.1. L'eau

La teneur moyenne en eau de la viande de lapin est de 72.5g /100g de fraction comestible; cette teneur varie essentiellement en fonction de l'âge (Deltoro et Lopez, 1987, Gondret et Bonneau, 1998; Combes, 2004).

I.7.2. Les protéines

Les quatre grandes fractions azotées du tissu musculaire, les protéines myofibrillaires (actine, myosine, tropomyosine...), les protéines sarcoplasmiques (enzymes du métabolisme Cellulaire, myoglobine...) les protéines du stroma (collagène, réticuline, élastine...) et enfin l'azote non protéique (créatine, acides aminés libres, carnosine et ansérine, bases nucléiques phosphorées) représentent respectivement 51%, 31%, 10% et 8% de l'azote totale. Des proportions voisines sont observées chez le lapin et diffèrent selon les muscles (Ouhayoun, 1985).

Au stade d'abattage des lapins (à 55% de leur poids adulte), l'ensemble des muscles squelettiques représente près de 70 % du poids de la carcasse (Gondret et Bonneau, 1998).

La viande de lapin contient les 9 acides aminés indispensables. Sa chair a une bonne valeur biologique, c'est-à-dire que la bonne complémentarité entre les divers acides aminés assure leur bonne assimilation digestive et permet une synthèse optimale de tissu musculaire. Elle est particulièrement riche en lysine, histidine, thréonine, leucine et phénylalanine, nécessaires à la

croissance et au renouvellement cellulaire quotidien dû au remaniement des tissus. Cette composition en acides aminés confère une excellente digestibilité à la viande de lapin. Sa chair est en outre tendre, du fait de sa faible teneur en élastine et de la grande solubilité de son collagène. La cuisson n'altère pas la qualité des protéines du lapin (Rao *et al.*, 1999 ;Dalle Zotte, 2004).

I.7.3. Les lipides intramusculaires

Les lipides intramusculaires se subdivisent en lipides de structure (phospholipides, cholestérol), constituants des membranes des fibres musculaires et des organites cellulaires, et en lipides de réserve (essentiellement triglycérides), source d'énergie mobilisable par le muscle. Les phospholipides sont présents dans le muscle du lapin en quantité assez peu variable, leur teneur oscillant entre 0,5 à 1,0 g pour 100 g de muscle frais, comme chez la plupart des espèces élevées pour la production de viande (Gandemer, 1990). A l'inverse, la teneur en triglycérides varie largement en fonction du muscle considéré, représentant entre 0,5 et 3,8 g pour 100 g de muscle frais (Alasnier *et al.*, 1996, Gondret *et al.*, 1998).

Au sein du muscle, les lipides de réserve (triglycérides) sont contenus soit dans de fines gouttelettes présentes dans le cytoplasme des fibres musculaires, soit dans les adipocytes intramusculaires. Les triglycérides stockés à l'intérieur du cytoplasme des fibres musculaires ne représentent que 5 à 20 % des triglycérides totaux du muscle chez le lapin à l'âge commercial d'abattage (+2kg), le stockage des triglycérides s'effectuant préférentiellement dans les adipocytes intramusculaires. Certains de ces adipocytes peuvent être isolés entre les fibres (10 % de la population) mais la plupart se regroupent en amas disposés le long des faisceaux de fibres musculaires (Gondret *et al.*, 1998).

I.7.4. La matière minérale

La teneur moyenne en minéraux de la viande de lapin est de 1.2g/100g de fraction comestible fraîche. La composition de la fraction minérale de cette viande se caractérise par un taux particulièrement faible en sodium (Na), en fer (Fe) et en calcium (Ca) et un taux élevé en phosphore (P) et en potassium (K) (Combes, 2004; Dalle Zotte, 2004).

Les sources de variabilité des teneurs en minéraux sont inconnues, bien qu'il soit fort probable que l'alimentation, via notamment la supplémentation, soit le principal facteur de variation; il existe d'autres facteurs tel que l'âge à l'abattage, la localisation anatomique de l'échantillon analysé et l'origine géographique (Combes, 2004 ; Hermida *et al.*, 2006).

I.8. Intérêt nutritionnel de la viande de lapin

La chair du lapin est classée parmi les viandes blanches, sa composition nutritionnelle du lapin est donnée pour les parties comestibles de la carcasse. Manger du lapin permet un important apport en protéines accompagné de lipides de bonnes qualités, sans oublier une source précieuse de sels minéraux et vitamines. 100 g de lapin apportent en moyenne 20,5 g de protéines ([Combes et Dalle Zotte, 2005](#)).

Chapitre II. Muscle, viande et ses qualités

II.1.Le Muscle

Le muscle squelettique est un tissu très hétérogène et hautement spécialisé, représente 40 à 50% du poids vif des animaux domestiques. Il est à l'origine de la transformation de l'énergie nutritive en force motrice. Ce tissu représente aussi le tissu majeur pour la production de viande (Bauchart et Picard, 2010). On distingue 03 types de muscle : le muscle strié, le muscle cardiaque et le muscle lisse.

- a) **Muscle strié** : squelettique qui représentent 30 à 35% du poids du corps d'un animal vivant. Il a pour fonction d'assurer la motricité du corps dans son environnement, en permettant de faire bouger le squelette de manière volontaire grâce à son insertion sur les os via les tendons (Huxley, 1969).
- b) **Muscle cardiaque** : est un muscle de couleur rouge qui n'est pas soumis au contrôle de la volonté et qui se contracte de manière automatique et rythmée. Ce muscle est rapide et puissant. Il est sous le contrôle du système nerveux autonome et se contracte et se relâche en permanence pendant toute la vie pour assurer la circulation du sang et l'apport continu des nutriments et de l'oxygène aux tissus (pearson, 1987).
- c) **Muscle lisse** : composé de cellules nonnucléées et se contracte de manière involontaire, à l'inverse de muscle strié. Il joue un rôle dans la circulation des substances dans le corps. Ce muscle présente au niveau des parois du tube digestif, des artères, mais aussi dans le système urinaire et respiratoire pour favoriser la circulation de l'urine de l'air (Raggi *et al.*, 1975).

Le muscle squelettique est l'un des tissus les plus étudiés en biologie. C'est un organe bien délimité et marqué par une très forte hétérogénéité structurale. Il est constitué de différents tissus tels que les fibres musculaires, le tissu conjonctif, le tissu adipeux intramusculaire, les vaisseaux sanguins et le nerf nécessaire à l'irrigation (Poirier *et al.*, 1999).

La classification des fibres musculaires repose sur un critère fonctionnel (la vitesse de contraction) et sur un critère métabolique (le type de métabolisme énergétique) correspondant respectivement à la vitesse d'utilisation de l'énergie au cours de la contraction et à la source principale d'énergie (Bauchart et Picard, 2010).

Il existe deux types de fibres musculaires : Les fibres à contraction lente (fibres de type I) appelé fibre métabolisme oxydatif d'une couleur rouge, sont trouvées dans les muscles qui ont

une activité répétitive et de longue durée et les fibres à contraction rapide (fibres de type IIA, IIB et IIX), la fibre de type IIA nommé intermédiaire, fibres à vitesse de contraction rapide, ayant un métabolisme oxydatif et glycolytique, la fibre IIB appelé fibre blanche à métabolisme glycolytique, pauvre en myoglobine et la fibre IIX, vitesse de contraction rapide et métabolisme oxydo- glycolytique intermédiaire entre celui des fibres IIA et IIB (Salifou, 2012). L'énergie nécessaire provient de l'hydrolyse d'ATP en ADP par l'ATPase myofibrillaire.

Tableau II. Caractéristiques structurales, contractiles et métaboliques des principaux types de fibres du muscle squelettique adulte (Gondret, 1997).

Caractère	Types de fibres			
	I	IIA	IIX	IIB
Vitesse de contraction	Lente	Rapide	Rapide	Rapide
Résistance à fatigue	+++	++	NI	NI
Couleur	rouge	rouge	blanc	blanc
Myoglobine	+++	+++	++	+
Nombre de mitochondries	+++	+++	++	+
Richesse en collagène	+++	++	NI	++
Utilisation de collagène	+	++	++	++++
Utilisation des lipides	+++	+++	NI	+
ATPase myofibrillaire	+++	++	NI	+
Enzymes des glycolyses anaérobies	+	++	++	++
Enzymes oxydatives Aérobie	+++	++	++	+

NI : non identifier

II.1.1. Structure de muscle squelettique

La fibre musculaire est l'unité structural essentielle à tous les muscles striés squelettiques, elle occupe 75 à 90% du volume musculaire (Choi et Kim, 2009), sont des cellules multi nucléaire présentant une forme allongée dont la longueur pouvant mesurer jusqu'à une trentaine de centimètre. La membrane entourant la fibre musculaire est appelée le

Sarcolemme et la substance intramusculaire, sarcoplasme (FAO, 1994 ; Bottinelli et Reggiani, 2000).

Les myofibrilles occupent la majeure partie de cytoplasme, elles sont constituées de sous unité encore plus petites les filaments ou myofilaments, entre les myofibrilles des bandes étroites de sarcoplasme contiennent les organites de la cellule.

En microscopie électronique, les myofibrilles s'organisent en striation périodique caractérisé par l'alternance de bandes sombre A (anisotrope) et bande claire I (isotrope). La partie centrale des disques I est marqué par la strie Z. La zone la plus claire qui apparait au milieu du disque A est la strie H elle-même centrées par la ligne M. L'élément répétitif et fonctionnel de base et le sarcomère délimité par deux strie Z (Camirand, 2004).

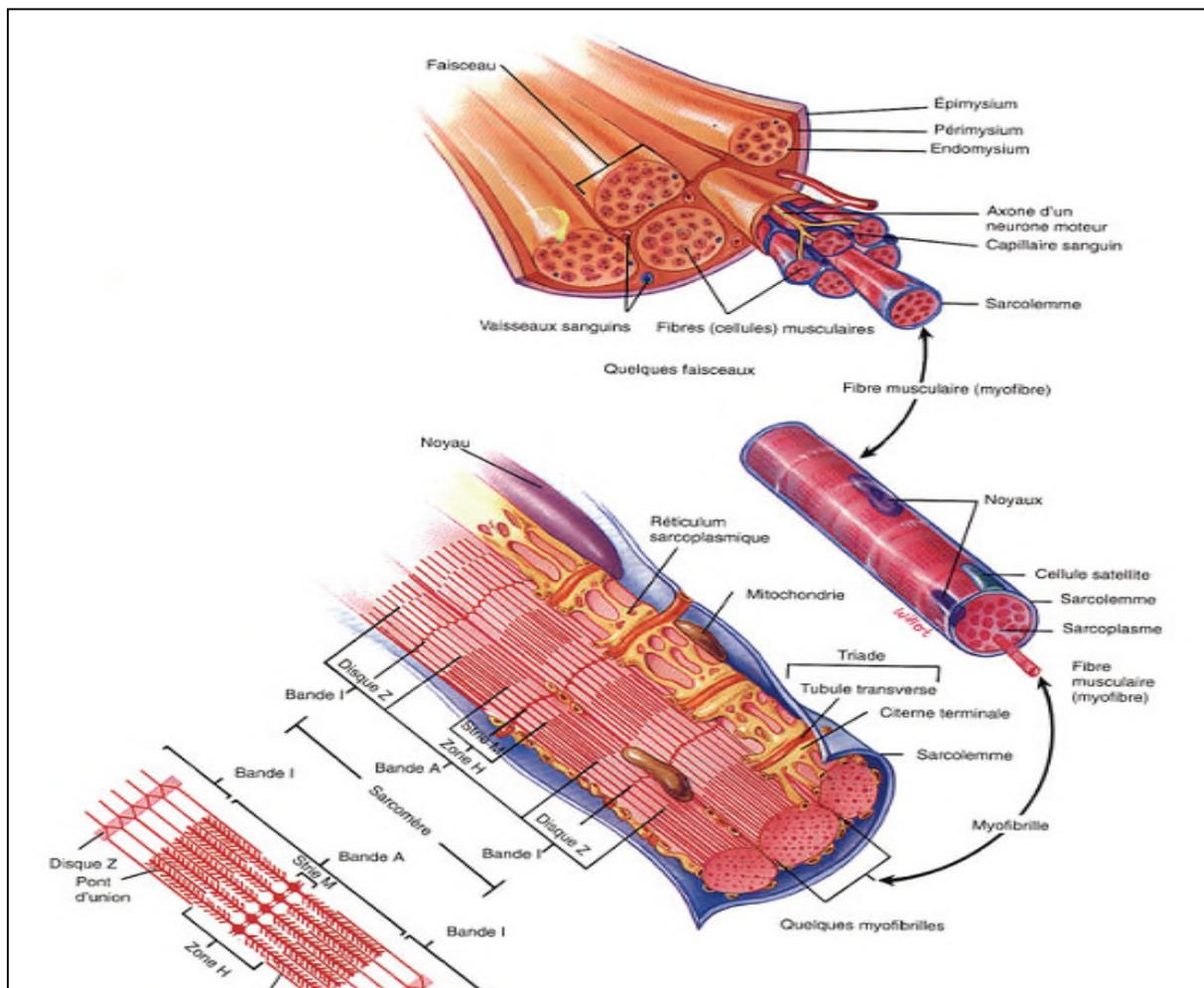


Figure 2. Structure du muscle squelettique macro-microscopique (Camirand, 2004).

II.1.2. Les protéines majeures du muscle

L'ensemble squelettique représente près de 70% du poids de la carcasse. Ces muscles sont caractérisés par une forte teneur en protéines, 20 à 23% dont 60% sont des protéines myofibrillaires, 29% sont des pro-protéines sarcoplasmiques, 11% appartiennent au tissu conjonctif (Garrett, 2000).

On peut classer ces protéines en fonction de leurs localisations au sein de la cellule ou en fonction de leurs rôles suivant le type du muscle considéré.

a. Les protéines sarcoplasmiques

Les protéines sarcoplasmiques représentent environ 30-35% des protéines totales du muscle. Constituées essentiellement d'enzymes impliquées dans le métabolisme cellulaire (Pearson et Young, 1989).

On distingue quatre fractions :

- la fraction nucléaire (contenant l'ADN, l'ARN, la nucléoprotéine et les lipoprotéines) ;
- la fraction mitochondriale (mitochondries, lysosome, enzymes de transport) ;
- la fraction microsomale (microsome, ribosome, réticulum sarcoplasmiques) ;
- la fraction cytoplasmique (enzymes de la glycolyse, myoglobine et hémoglobine) (Davey et winger, 1979).

b. Les protéines myofibrillaires

Les protéines myofibrillaires représentent environ 60% des protéines totales du muscle. Ces protéines peuvent être classées selon leur fonction : protéines contractiles, protéines régulatrices de la contraction et protéines du cytosquelette servant au maintien de l'intégrité et l'organisation tridimensionnelle du sarcomère (Lorient *et al.*, 1988).

c. Les protéines contractiles

- **La myosine**

La myosine est une protéine dimérique, représente 48% des protéines myofibrillaires totales, de poids moléculaire (PM) 470 kDa qui comprend deux chaînes lourdes dans les muscles à contraction rapide, leur PM est de 200 kDa (MyHC : Myosin Heavy Chain) et quatre chaînes légères dans les muscles à contraction lente (MyLC : Myosin Light Chain) de

PM compris entre 16 et 18 kDa. Elle joue un rôle majeur dans la contraction musculaire, et particulièrement les MyHC, qui existent sous différents isoformes et permettant de définir les principaux types de fibres musculaires.

La myosine a deux propriétés importantes :

- Elle possède une propriété ATPasique qui est activée par les ions calcium ;
- Elle se lie à l'actine pour former un complexe l'actomyosine (Bauchart et Picard, 2010).

- **L'actine**

L'actine est une protéine monomérique globulaire dont le diamètre est de 55Å et de poids moléculaire de 43kDa, constitué d'une chaîne Polypeptidique de 376 acides aminés, capable de se lier à des ions bivalents comme Ca^{2+} et Mg^{2+} , à un ATP ou ADP et à une molécule de myosine (Dingova *et al.*, 2009).

Les myofilaments fins sont constitués de 3 protéines : l'actine, la tropomyosine et les troponine. La plus abondante est l'actine (20-25% des protéines myofibrillaires totales).

L'actine possède plusieurs fonctions importantes et semble être impliqué dans le phénomène de la mort apoptotique des cellules (Atencia *et al.*, 2000)

- **Les protéines de la matrice extracellulaire**

Le tissu conjonctif est formé de filaments fins formant le réticule, composé de collagène qui représentent la protéine principale environ 70à80% des protéines de tissu conjonctif (Deffous, 2008).

Le collagène assure la résistance physique et les protéoglycanes permettent la diffusion des métabolites et des nutriments entre le sang et les cellules ciblent. Les protéines de ce tissu représentent entre 10et15% des protéines musculaires élastine est également une protéine présente dans ce tissu, elle apporte une élasticité à la structure (Purslow *et al.*, 2002).

II.1.3.Composition chimique de muscle

La composition chimique du muscle est très variable entre les animaux, chez un même animal et d'un animal à l'autre (Lawrie, 1991) (Tableau III).

Ces muscles se caractérisent sur le plan biochimique par une forte teneur en eau (70 à 74%) qui occupe la partie intracellulaire, de sels minéraux (12 à 15%) occupe les espaces extracellulaire et le glycogène représente une faible part de la composition du muscle ,présente dans le fois de l'animal ,intervient dans les phénomène de transformation de muscle en viande (Pearson et Young, 1989).

Tableau III. Composition chimique principale du muscle (Lawrie, 1974 ; Pearson et Young, 1989).

Composés	Pourcentage(%)
Eau	75
Protéines	19
a) Myofibrillaires	11,5
Myosine	5,5
Actine	2,5
Autres	3,5
b) Sarcoplasmique	5,5
Lipides	2,5
Glucides	0,1
Sels minéraux	2,3

II.2. La viande

La viande se définit comme toute chaire fraîche ou préparée que l'homme utilise pour sa consommation. D'une manière générale, la viande est séparée de la carcasse, obtenue après diverses opérations techniques et réactions biochimiques (Thieuling, 1970), C'est le produit final de la transformation du muscle squelettique en viande après l'abattage d'un animal sain (Kouame, 1992).

II.2.1. L'évolution du muscle en viande

Cette évolution issue de nombreuses réactions biochimiques et phénomènes physico-chimiques qui possède des répercussions perceptibles sur la carcasse après la mort des animaux et qui modifie la composition et la structure du muscle.

Généralement l'évolution de la viande se fait en quatre étapes successives (Ouali *et al.*, 2006) :

- l'état pantelant (*pré-rigor*) ;
- l'apoptose ;
- phase *rigor mortis* ;
- la phase de maturation (attendrissage).

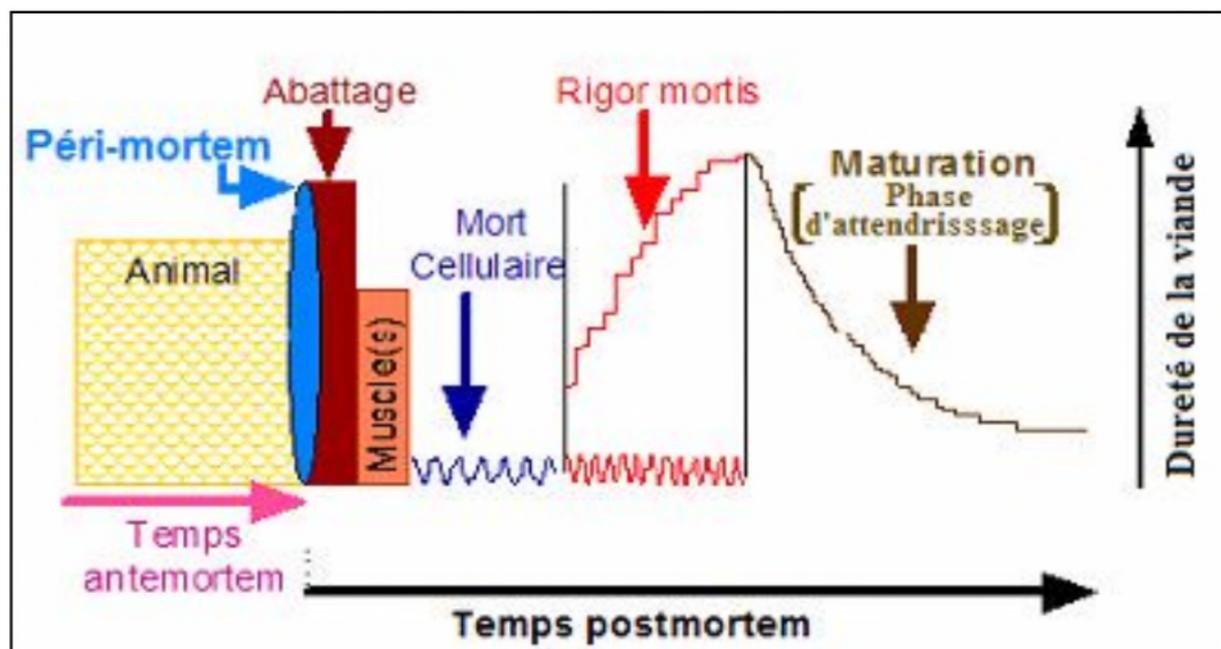


Figure 3. Les différentes phases de transformation du muscle en viande (Ouali *et al.*, 2006).

a. Etat Pantelant

Pendant la phase de pantelance ou *pré-rigor*, le muscle est considéré comme vivant. Il est chaud et extensible et comporte des ressources énergétiques (glycogène, ATP, Phosphocréatine) et son pH varie entre 6,7 et 7,0 (Staron, 1975). Il se caractérise par une succession de contractions et de relaxations du muscle associée à une diminution des réserves énergétiques et au recours à la glycolyse anaérobie.

La Présence de ces contractions musculaires sur la carcasse dépouillée c'est-à-dire après un temps prolongé (au-delà de 15 minutes au minimum= durée des opérations d'abattage pour les observer) sont une preuve que les mouvements des animaux juste après la saignée sans assommage ne peuvent en aucun cas être considérés comme un signe du maintien de l'animal en vie et donc des réactions de douleur (Salifou *et al.*, 2012).

b. Phase d'apoptose

Récemment, l'attendrissage de viande a été reconsidérée par l'introduction d'une nouvelle étape connue sous le nom d'apoptose (Ouali *et al.*, 2013).

Ce dernier est considéré comme une mort cellulaire programmé (ordonnée). Le processus apoptotique se déroule, en général, selon un programme précis, caractérisé successivement par une phase d'initiation, dépendante de la nature du stimulus et du type de cellules, suivie d'une phase d'exécution via les caspases effectrices (Buja *et al.*, 1993 ; Martin *et al.*, 1995 ; Matura *et al.*, 2005 ; Youle et Karbowski, 2005).

Le stimulus déclenchant le processus d'apoptose peut provenir de l'extérieur (voie extrinsèque) par l'intermédiaire de l'activation des récepteurs de mort ou de l'intérieur (voie intrinsèque) en réponse à des conditions très défavorables à la survie de la cellule. Dès lors, les caspases initiateuses vont être activées au niveau des complexes oligomériques et celles-ci vont à leur tour activer les caspases exécutrices qui vont prendre en charge la déstructuration des cellules (Fuentes-Prior et Salvesen, 2004 ; Ouali *et al.*, 2006).

c. Phase *rigor mortis*

Durant cette phase, une chute rapide des réserves énergétiques est observée. Le raffermissement est causé par une série de changements physiologiques dans le muscle, le plus important étant la conversion du glycogène (réserve d'énergie du muscle) en acide lactique qui s'accumule dans le muscle et l'acidifie. L'épuisement des réserves énergétiques entraîne le raidissement des muscles c'est : la rigidité cadavérique qui apparaît quelques heures après la mort de l'animal (Salifou, 2012). La rigidité cadavérique résulte essentiellement de la forte diminution de l'énergie chimique du muscle (ATP), ainsi qu'une baisse du pH jusqu'à atteindre le pH qui se rapproche du point isoélectrique ($pH_i=5$) des protéines myofibrillaires (Bendall, 1973 ; Zamora *et al.* 1996 et Maltin *et al.*, 2003).

La rigidité cadavérique peut être divisée en deux phases (Bendall, 1973) :

- ✓ La phase de latence qui se caractérise par le maintien d'un taux constant d'ATP musculaire ;
- ✓ Phase d'installation de la *rigor mortis* se caractérise par la disparition de l'ATP aboutissant à l'inextensibilité du muscle.

La consommation de la viande durant cette phase est à déconseiller. Elle est dure, difficile à digérer et sans goût car les substances responsables de sa succulence, de sa tendreté ne sont pas encore produites (Deffous, 2008).

d. La phase de maturation

Elle correspond à l'étape la plus importante car elle conduit à une augmentation de la tendreté de la viande, et l'obtention d'une viande de bonne qualité (tendre et succulente) (Blanchet, 2010), C'est également au cours de cette phase que se forment les précurseurs des arômes et de la saveur de la viande (Cartier et Moëvi, 2007 ; Coibion, 2008 ; Eadmusik, 2008). La maturation du muscle ne commence qu'à partir du moment où le pH ultime est atteint (Wheeler et Koohmaraie, 1994).

Sous l'effet des protéines endogènes (enzymes protéolytiques) du muscle, dégradant les protéines musculaires, une fragilisation des tissus est observée entre 24 à 48 h *post mortem*.

Cette fragilisation provoque une large amélioration de la tendreté de la viande et développe ses caractéristiques organoleptiques (flaveur, couleur,...).

La maturation résulte du relâchement des liens entre les fibres musculaires (liens établis lors de la *rigor mortis*). Ce relâchement se fait grâce à l'action de divers enzymes capables de dégrader les protéines du muscle. La dégradation de ces protéines conduit au relâchement des myofibrilles, qui seraient responsables de l'attendrissage de la viande et l'amélioration de la texture caractéristique recherchée par les consommateurs (Ouali, 1990; Wheeler et Koohmaraie, 1994).

Le taux d'attendrissage varie entre les différentes espèces : deux jours *post mortem* pour le poulet, cinq jours pour le porc, sept jours pour le mouton et dix jours pour le lapin et le bœuf (Blanchard et Mantle, 1996).

II.2.2. Qualités de viande

La qualité de la viande est une notion extrêmement variable et évolutive à l'image de la transformation, de l'animal vivant, à la carcasse puis la viande (Salifou, 2012). C'est un terme générique employé pour décrire des propriétés et perceptions de viande et de couleur généralement comportée, saveur, texture, tendresse, et succulence (Maltin *et al.*, 2003). Les mécanismes responsables du développement de ces qualités sont interdépendantes, accentuant la complexité de la conversion du muscle en viande (Ouali *et al.*, 2006).

De manière générale, le terme « viande » recouvre un ensemble très disparate de produits très diversifiés dans leur composition anatomique (Dumont, 1960). La qualité de la viande est l'ensemble des caractéristiques que lui confèrent ses propriétés organoleptiques, technologiques et nutritionnelles. Elle est une notion complexe, très variable, évolue dans le temps.

II.2.2.1. Qualité organoleptiques

Les qualités organoleptiques des viandes regroupent les propriétés sensorielles à l'origine des sensations de plaisir associées à leur consommation. La qualité sensorielle de la viande est déterminée par sa couleur, sa flaveur, sa jutosité et sa tendreté.

- **La couleur de la viande**

La couleur est la première caractéristique qualitative de la viande perçue à l'achat. Le consommateur la considère comme un critère de fraîcheur du produit (Clinquart *et al.*, 2000 ; Coibion, 2008). Elle est la résultante de quatre composantes dont les deux premières expliquent la couleur du produit frais et les deux dernières, son évolution lors de sa conservation (Normand, 2005 ; Cartier et Moëvi, 2007) :

a- la composante structurelle de la couleur est liée à la structure physique du muscle et en particulier à son degré d'acidification (pH) qui modifient la luminosité du produit (rouge plus ou moins clair) ;

b- la composante quantitative, c'est- à- dire la quantité de pigment rouge dans le muscle, qui détermine la saturation de la couleur (rouge vif ou terne, grisâtre). La myoglobine (transporteur de l'oxygène dans le muscle) est le principal pigment responsable de la couleur de la viande ;

c- la composante qualitative, relative à la forme chimique du pigment musculaire, qui évolue au cours du temps ;

d- la composante bactériologique, liée au développement de bactéries en surface de la viande et à de possibles interactions avec le pigment.

- **La flaveur de la viande**

La flaveur de la viande correspond à l'ensemble des impressions olfactives et gustatives que l'on éprouve au moment de la dégustation (Lameloise *et al.*, 1984).

Dans toutes les espèces, une flaveur caractéristique se développe avec le vieillissement des animaux (Hocquette *et al.*, 2005). Les animaux les plus âgés et les plus précoces conduisent aux viandes les plus persillées. Outre les facteurs liés à l'animal, les divers traitements technologiques subis par la viande peuvent influencer la flaveur finale du produit, en particulier les phénomènes d'oxydations des lipides lors de la maturation et de la conservation,

ainsi que la cuisson qui permet à la flaveur de s'exprimer, puisque de nombreux constituants de la flaveur sont synthétisés ou libérés au cours de cette étape (Cartier et Moëvi, 2007).

- **La tendreté de la viande**

La tendreté est le critère de qualité le plus important pour le consommateur. Elle mesure la facilité avec laquelle la structure de la viande peut être désorganisée au cours de la mastication (Ouali *et al.*, 2006). Elle s'oppose à la dureté de la viande.

La tendreté dépend de deux composants protéiques structuraux, le premier 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.

Le second composant musculaire correspond au tissu conjonctif et plus précisément au collagène. 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 aussi, cette propriété détermine le mode de cuisson des viandes (Blanchet, 2010).

Les carcasses les moins conformées, sont associées à des muscles avec plus de collagène, plus de pigments, des fibres de plus grosse section et un pH plus élevé (Renand *et al.*, 2002). Par contre, dès lors on peut considérer que les viandes tendres ont tendance à avoir les fibres fines, une faible teneur en collagène total ou insoluble et un faible pourcentage de fibres de type rapide oxydatif glycolytique (Dransfield *et al.*, 2002).

- **La jutosité**

La jutosité, appelée aussi succulence est la faculté qu'une viande d'exsuder du jus lors de la mastication (Lameloise *et al.*, 1984). On distingue généralement deux composantes (Lawrie, 1991):

- la jutosité initiale qui est associée à la quantité de jus qui s'écoule dans la bouche pendant les premières mastications ;
- la jutosité finale ou seconde jutosité qui est liée à la sécrétion salivaire engendrée par le gras du morceau après la mastication

II.2.2.2. Qualité technologique

La qualité technologique de la viande représente sa capacité à être transformée et conservée (Monin, 1991). Elle dépend du produit que l'on souhaite fabriquer (viande crue hachée et viande crue non hachée) et peut être exprimée principalement par le pH et par la capacité de rétention d'eau. La qualité technologique peut être également exprimée par les paramètres tels que la capacité d'émulsification, la capacité de formation de la couleur et la capacité à produire une saveur, etc.

- **pH**

Le pH est un paramètre chimique qui influence la capacité de conservation et de transformation de la viande (Cartier et Moëvi, 2007). En effet, après l'abattage, le pH du muscle passe d'une valeur proche de 7,0 à environ 6,60 -5,7 en 48 h (Cartier et Moëvi, 2007). La diminution du pH est liée à l'accumulation d'acide lactique issu de la dégradation du glycogène contenu dans le muscle. Le pH se stabilise lorsque les réserves en glycogène sont épuisées : on parle alors de pH ultime. Le pH influence les qualités organoleptiques, notamment la couleur (Monin, 1991). Il est possible de maîtriser la diminution du pH en prenant en compte plusieurs facteurs tel que :

- le stress avant l'abattage : l'apparition des viandes à pH élevé est liée aux différents événements qui surviennent avant la mort de l'animal (Cartier et Moëvi, 2007). Les viandes dont le pH ultime est élevé (5,8 ou plus) se caractérisent par une couleur

sombre, une moindre tendreté et un pouvoir de rétention d'eau élevé qui se manifeste par un aspect sec en surface (Monin, 1991; Eadmusik, 2008). Elles sont peu adaptées à la conservation à l'état frais en raison d'une sensibilité accrue à l'altération d'origine microbienne. De plus, ces viandes sont peu adaptées au traitement de dessiccation (Allen *et al.*, 1998). Les viandes dont le pH ultime est compris entre 5,5 et 5,7 sont dites à pH normal. Elles sont caractérisées par une couleur pâle normale et un faible pouvoir de rétention d'eau car la diminution normale du pH *post mortem* entraîne une diminution de la rétention d'eau par les protéines du système myofibrillaire ;

- une stimulation électrique effectuée sur l'animal après sa mise à mort et avant que le pH n'ait atteint sa valeur finale, accélère la diminution du pH et l'apparition de la rigidité cadavérique . Elle permet par ailleurs d'éviter une contracture irréversible des muscles si un refroidissement trop rapide est appliqué *post mortem* (Eadmusik, 2008).

- **Capacité de rétention d'eaux**

Une viande ayant une bonne capacité de rétention d'eau permet de limiter les pertes de poids au cours de sa conservation et de sa transformation en produits cuits. Cette aptitude dépend de la manipulation et de l'état de la viande. L'eau est retenue dans la viande principalement par les protéines myofibrillaires par capillarité.

Les viandes contenant une teneur importante en gras et une faible proportion de fibres de type rapide glycolytique ont tendance à être juteuses et à avoir une saveur marquée (Dransfield *et al.*, 2002), une viande à pH faible a tendance à perdre son eau et à être sèche. Par contre les viandes à pH élevé ont une très bonne rétention d'eau et présentent donc une jutosité supérieure (Renand *et al.*, 2002).

Les modifications de la capacité de rétention d'eau s'expliquent souvent par des modifications des protéines myofibrillaires (Barton-Gade *et al.*, 1993).

Quelle que soit la méthode de mesure, la capacité de rétention d'eau de la viande est influencée principalement par la vitesse et l'amplitude de la diminution du pH *post mortem*, la taille et la forme de l'échantillon, le traitement de la viande lors du conditionnement, la température de cuisson, de conservation ou de congélation, l'humidité relative du local de conservation et le délai qui s'est écoulé entre l'abattage et la mesure.

Chapitre III. Matériel et méthodes

Préambule et objectifs

Il est admis que les paramètres physico-chimiques et biochimiques jouent un rôle principal dans l'évolution de la tendreté de la viande de toutes les espèces bouchères (bovine, ovine, caprine et lapin) aux cours du temps *post mortem*.

L'objectif de notre étude consiste à identifier quelques paramètres intervenant dans le processus de maturation de la viande du lapin. Ce phénomène est déclenché après la mort de l'animal (*post mortem*), due à la dégradation des constituants de la fibre musculaire notamment les myofibrilles par les systèmes protéolytique.

Pour atteindre cet objectif, nous avons mesuré en cinétique plusieurs paramètres biologiques de deux muscles à savoir le *Longissimus dorsi* et le *Biceps femoris* (figure 5), qui ont un rôle dans l'attendrissage tel que la mesure du pH, la capacité de rétention d'eau, perte à la cuisson, l'indice de fragmentation des protéines myofibrillaires (IFM) et le suivi de la cinétique de la protéolyse par l'électrophorèse en conditions dénaturante (SDS-PAGE).

La viande du lapin, peu consommée au monde, et pourtant connue pour ses qualités diététiques. Pour cela nous nous intéressons à travers cette étude à effectuer notre recherche sur ces animaux afin d'améliorer les connaissances sur leur intérêt nutritionnel pour l'homme et la variabilité de la qualité de la viande du lapin en particulier la tendreté, qui demeure le principal facteur limitant principal de son acceptabilité par le consommateur.

La figure 4 représente le schéma global résumant l'ensemble des étapes du protocole utilisé

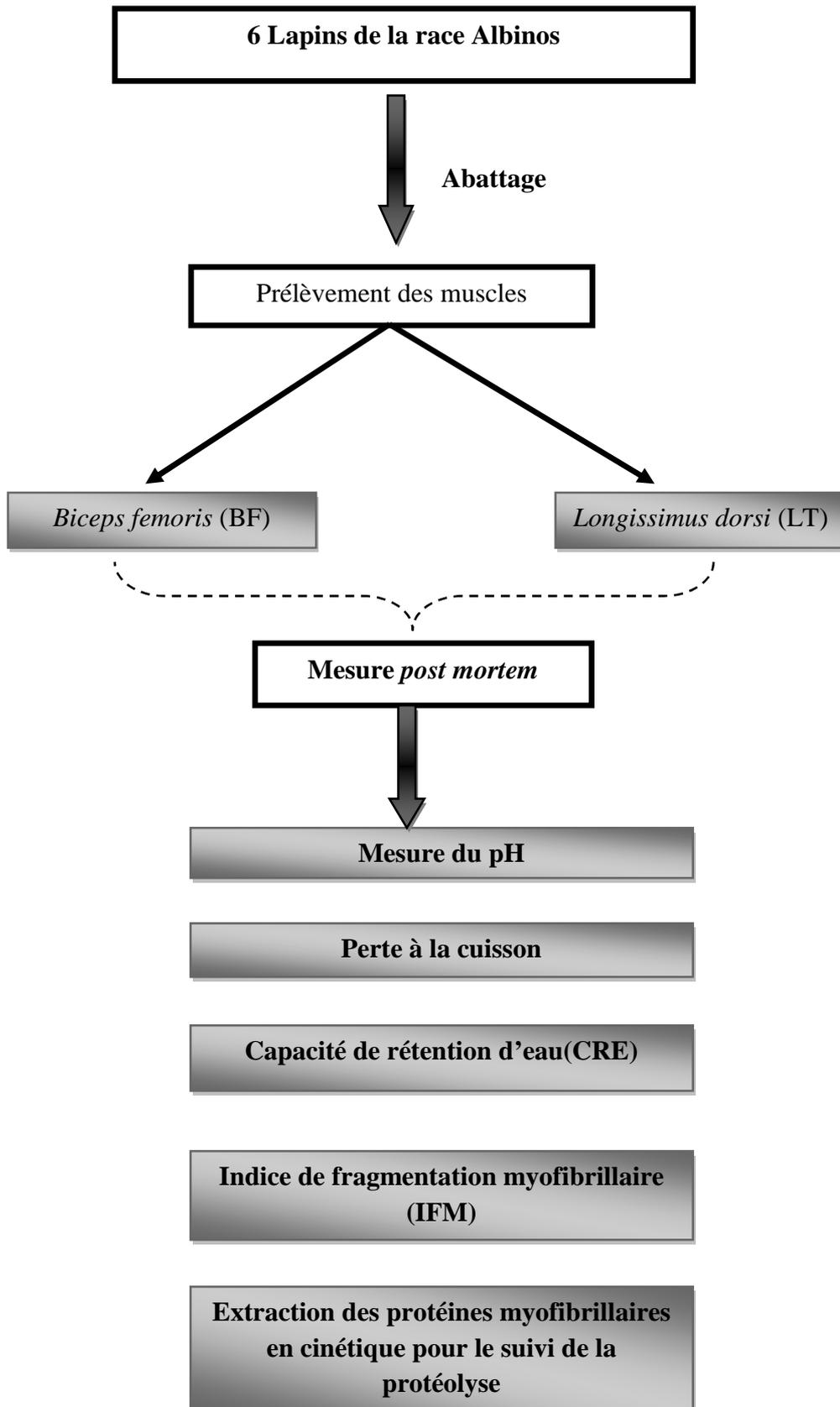


Figure 4. Schéma général de l'étude expérimentale

III.1. Matériel

III.1.1. Matériel biologique

✓ Animaux

Pour étudier la variabilité de l'attendrissage de la viande du lapin liée aux facteurs animale et au type du muscle, nous avons utilisé six lapins de la même race « Albinos » issus essentiellement d'élevage traditionnel (Beni-maouche et Beni-djellil). Ces animaux, âgés de 10 à 11 semaines, du poids d'environ 2kg, reçoivent de l'herbe et de l'eau. Nous examinerons ensuite les caractéristiques biologiques des muscles *post mortem* et la qualité de la viande du lapin.

Les muscles étudiés sont : le *Longissimus dorsi* (LD) qui se trouve au niveau du dos et le muscle *Biceps femoris* (BF) au niveau de la cuisse (figure 5).



Longissimus dorsi (LD)



Biceps femoris (BF)

Figure 5. Les deux muscles du lapin utilisés au cours de l'étude.

III.2. Méthodes

III.2.1. Abattages et prélèvements des muscles

Les lapins ont été abattus (abattage halal) au niveau du laboratoire d'expérimentation animal de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia (un lapin chaque trois jours). Les muscles ont été prélevés immédiatement après l'abattage, ils ont été emballés dans des sachets en polyéthylène et stockés dans un bain de glace à 4-5°C tout au long de la cinétique. D'autres muscles ont été conservés à -20°C pour l'étude de pertes à la cuisson.

III.2.2. Mesures *post mortem*

Après l'abattage et le prélèvement des muscles, les paramètres suivant : pH, perte à la cuisson, indice de fragmentation myofibrillaire, capacité de rétention d'eau ont été analysés sur chaque lapin sauf pour le protocole d'extraction des protéines myofibrillaires qui à été fait sur un seul lapin.

III.2.2.1. Mesure du pH

Pour la mesure du pH ,1g de muscle à été prélevés et placés dans un bécher contenant 10ml du tampon iodoacétate du sodium (5mM), et du chlorure du potassium (150mM) ajusté à pH 7,0. Les échantillons ont été homogénéisés au polytron (PT-10-35) pendant 15 secondes. La mesure à été réalisée sur l'homogénat ainsi obtenue à l'aide d'un pH mètre (Hanna pH 211) équipé d'une électrode combinée en verre. La valeur du pH sera la moyenne de deux essais pour chaque muscle (McGeehin *et al.*, 2001). Le pH est étudié en cinétique aux temps suivants : 15min, 30min, 45min, 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 7h, 8h, 24h, 30h, 48h *post mortem* (figure 6).

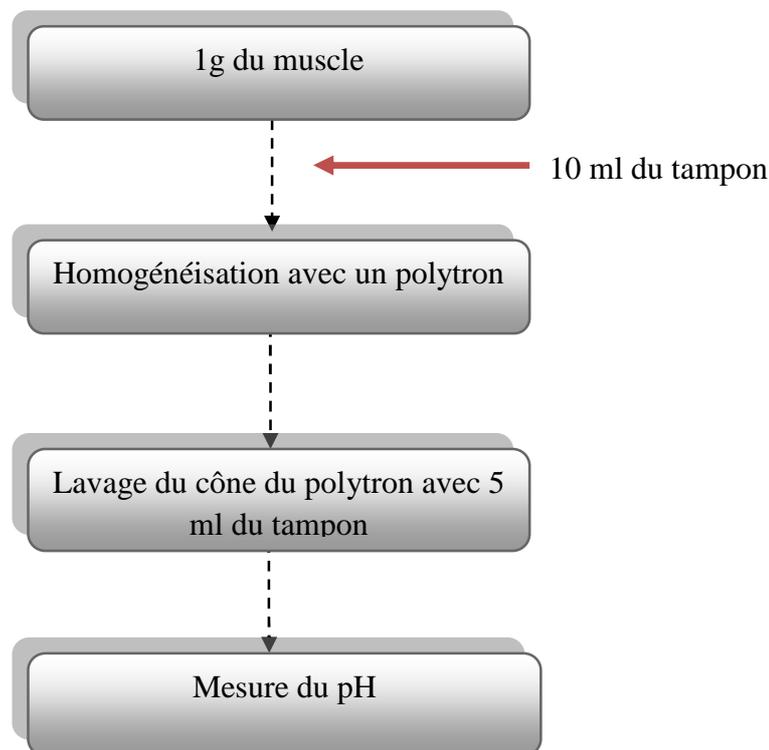


Figure 6. Schéma globale de mesure du pH (McGeehin *et al.*, 2001).

III.2.2.2. Extraction des protéines myofibrillaires (PMF)

Pour l'extraction des PMF, le protocole utilisé est celui de [Joo *et al.* \(1999\)](#) qui consiste à suivre la cinétique pour les deux muscles, sauf que la vitesse de centrifugation utilisée est de 4 500 rpm au lieu de 10 000 rpm vue que la centrifugeuse disponible au laboratoire possède une vitesse limitée de 5 000 rpm. Néanmoins, nous avons allongé le temps nécessaire de centrifugation à 15 min.

Deux échantillons de 0,5 g des deux muscles différents ont été additionnés à 10ml du tampon rigor (Rigor Buffer (RB) : solution tampon contenant 75mM de KCl, 10mM KH_2PO_4 , 2ml MgCl_2 , 2mM EGTA, 1mM NaN_3 à pH 7,0), puis homogénéisé 15 secondes au polytron (PT 10-35). L'homogénat a été centrifugé à 4 500 rpm pendant 15 min. Le surnageant a été jeté afin d'éliminer les protéines sarcoplasmiques et les membranes, le culot obtenue est solubilisé avec 2,5ml du tampon d'extraction (RB) et conservé dans des tubes eppendorfs à -20°C pour les utilisés après dans le dosage des PMF et le suivi de degré de protéolyse par électrophorèse ([Joo *et al.*, 1999](#)) (figure 7).

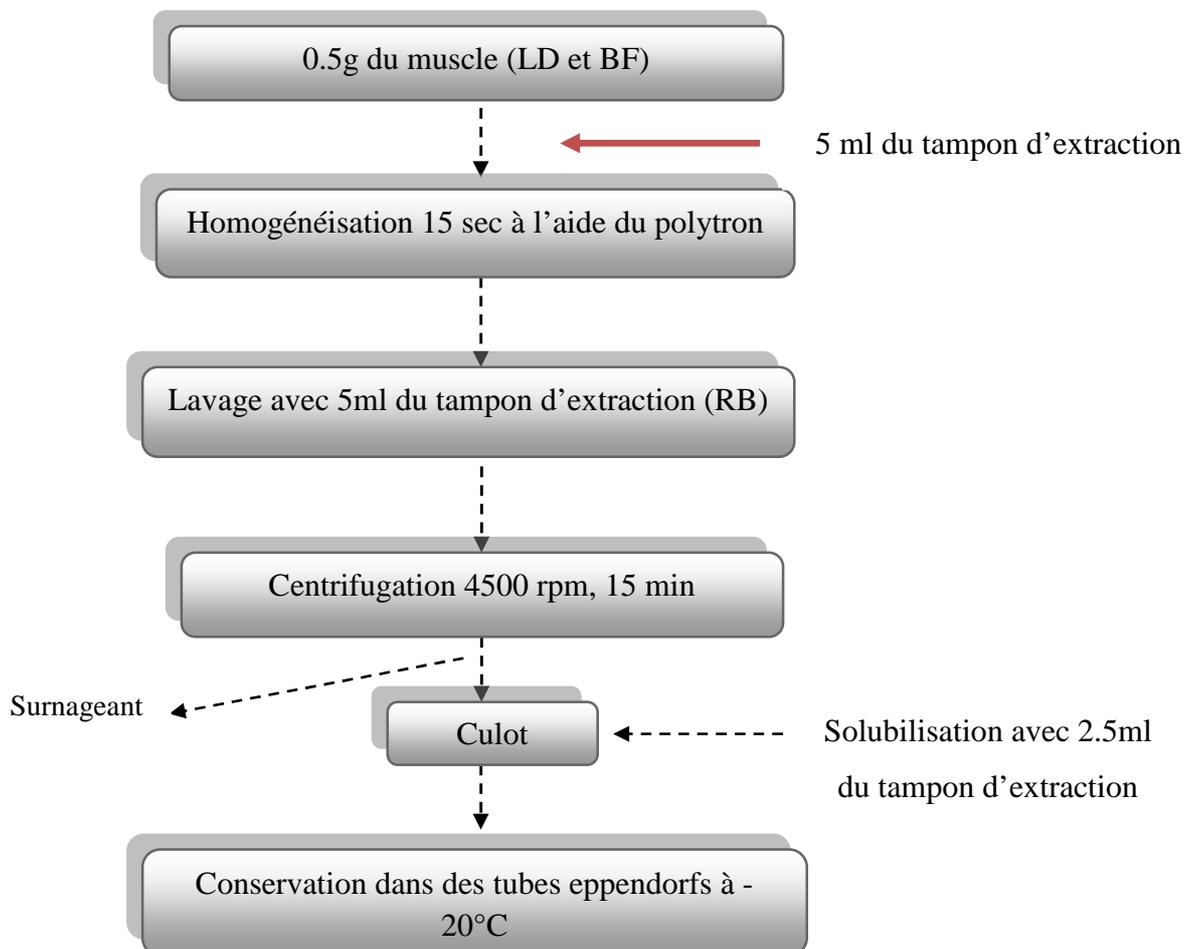
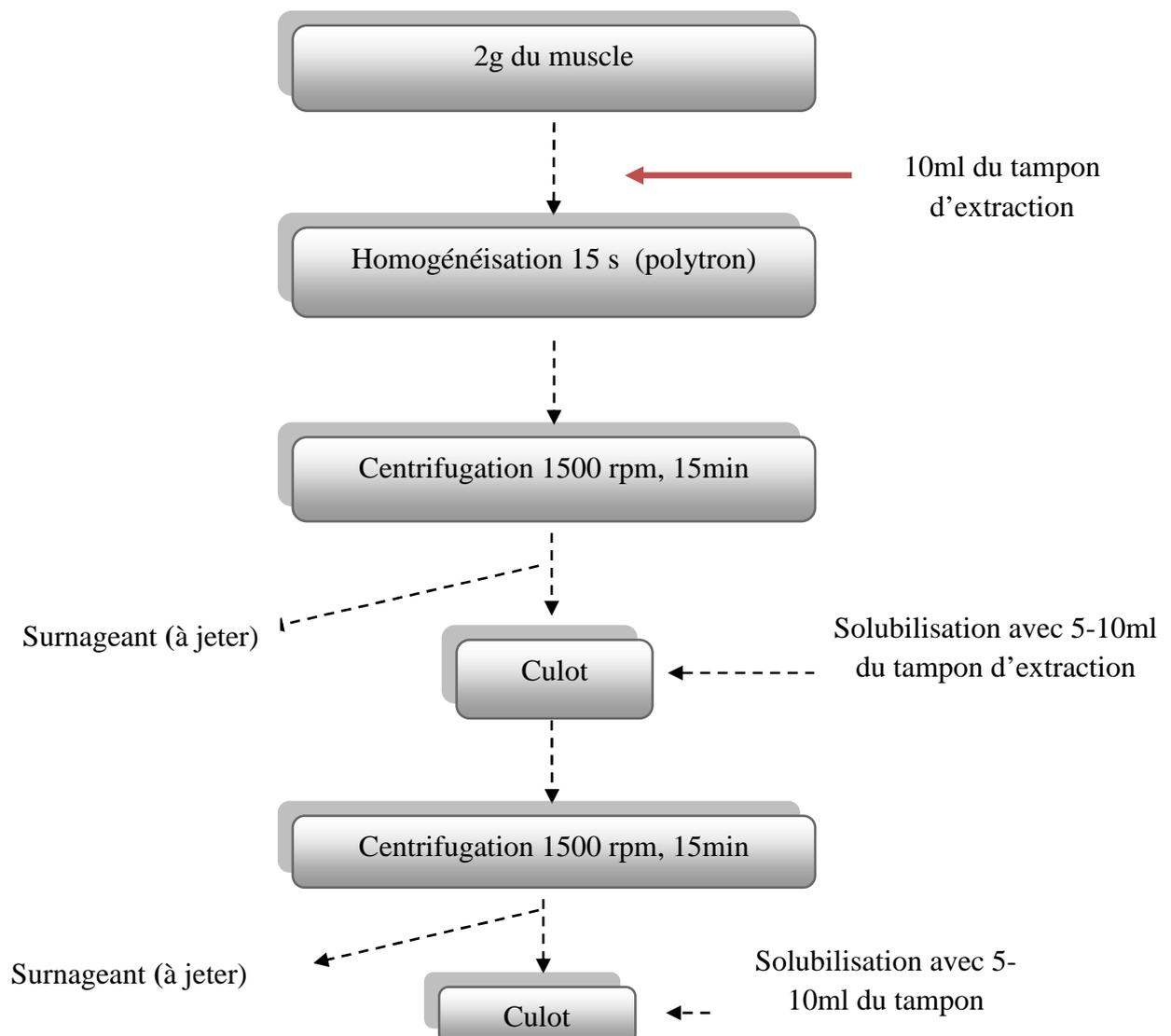


Figure 7. Schéma de l'extraction des protéines myofibrillaires ([Joo *et al.*, 1999](#)).

III.2.2.3. Indice de fragmentation myofibrillaire (IFM)

L'indice de fragmentation myofibrillaire a été déterminé selon le protocole de [Culler *et al.* \(1978\)](#).

Un échantillon de 2g de chaque muscle (LD et BF) a été prélevé à différents points de la cinétique suivante : 6h, 24h, 48h *post mortem*, puis homogénéisés au polytron avec 10ml du tampon d'extraction (RB) pendant 15secondes, après centrifugation à 1500 rpm pendant 15 minutes, le surnageant a été jeté et le culot a été récupéré puis solubilisé avec 5-10ml de RB. Une seconde centrifugation a été réalisée (1500 rpm pendant 15 min), ensuite l'ajout de 5-10ml RB ont été ajouté pour solubiliser le culot. Après filtration à l'aide d'un papier filtre, le filtrat a été conservé dans des tubes eppendorfs à -20°C pour le dosage des protéines par la méthode Bradford ([Bradford, 1976](#)). Le jour du dosage les échantillons ont été décongelés afin de déterminer et de mesurer la DO à 595 nm au spectrophotomètre (Unico 1200), les absorbances obtenues ont été multiplié fois 200 (figure 8).



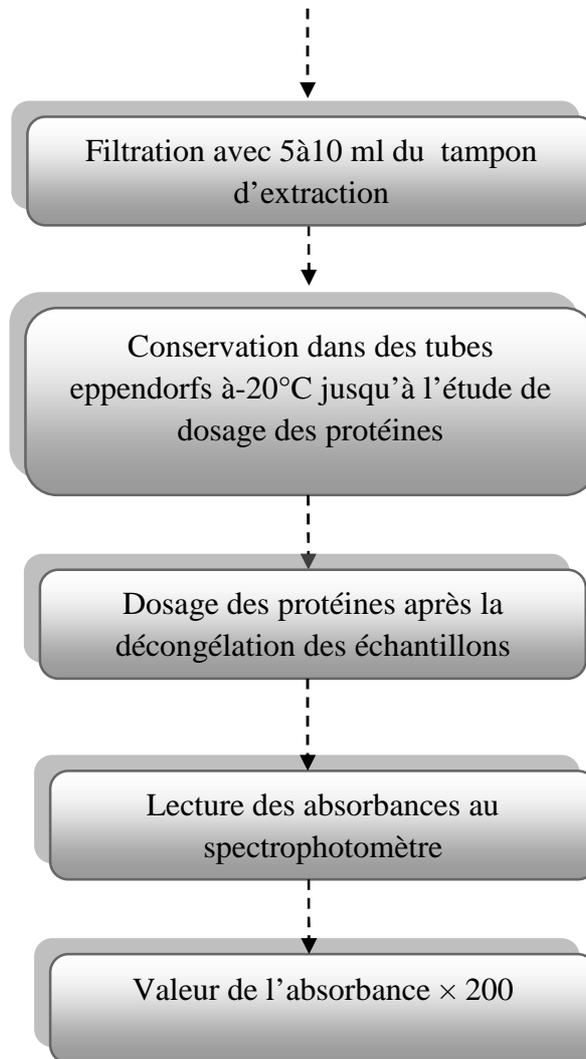


Figure 8. Schéma récapitulatif de la détermination de l'indice de fragmentation myofibrillaire (Ke Li *et al.*, 2012).

III.2.2.4. Capacité de rétention d'eau (CRE)

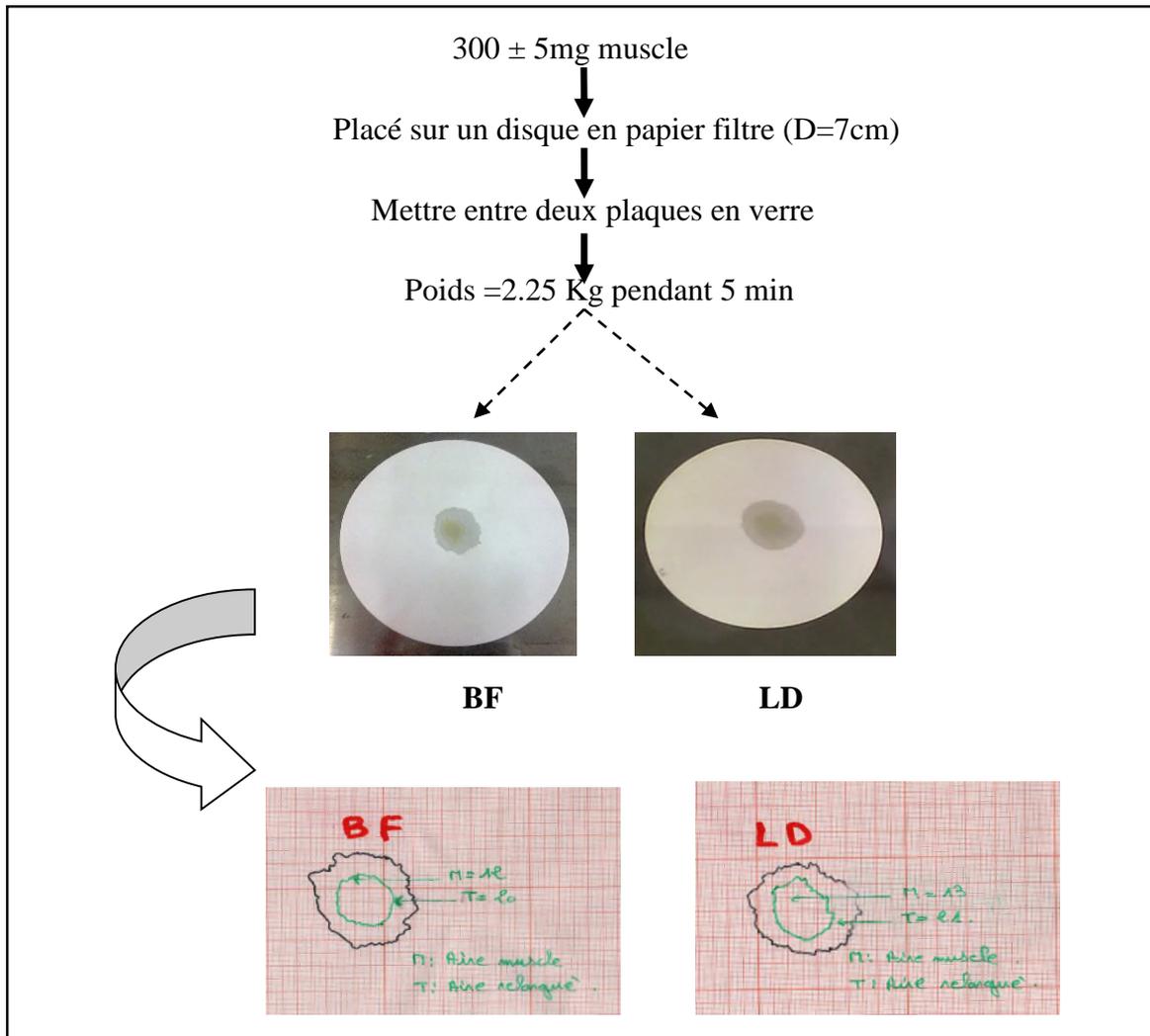
La capacité de rétention d'eau a été étudiée selon la méthode de Ramirez *et al.* (2004), par la pesée de $300 \text{ mg} \pm 5 \text{ mg}$ du muscle intact a été placé sur un papier filtre cylindrique (Wathmann N°1) de 7 cm de diamètre. Ce dernier a été installé entre deux plaques de plexiglass, puis un poids de 2,25 kg a été appliqué pendant 5 min.

Des cercles de la viande (M) et du jus relargué (T) ont été alors soigneusement rapportés sur une feuille plastique transparente. Des aires de la tache de viande (M) et de liquide libéré (T) de chaque feuille de plastiques ont été mesurés à l'aide de petits carrés d'un papier millimétrique, par la suite, la capacité de rétention d'eau a été déterminé suivant la formule : Ramirez *et al.*(2004).

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

- **M** : Aire muscle
- **T** : Aire relarguée

Ce paramètre est étudié suivant une cinétique pour chaque animale (6h, 24h, 48h *post mortem*) (figure 9).



BF: *Biceps femoris*, **LD:** *Longissimus dorsi*

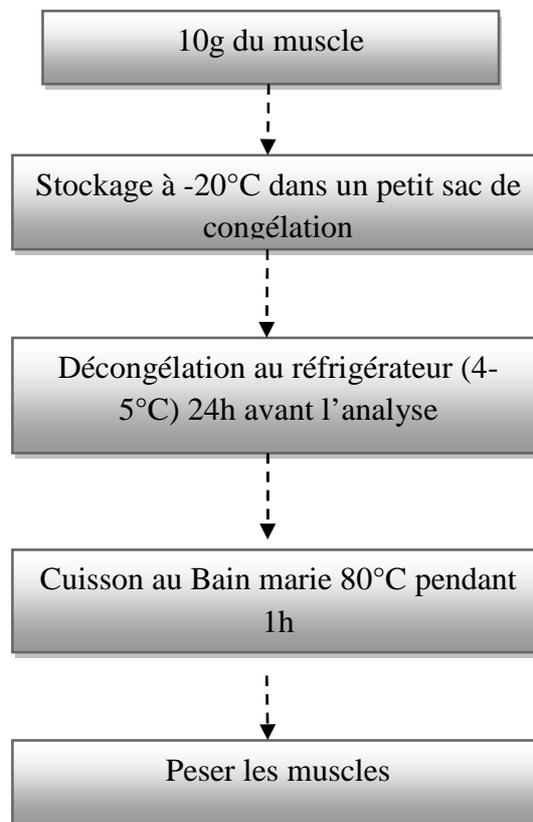
Figure 9. Les étapes de mesure de la capacité de rétention d'eau (CRE) (Ramirez *et al.*, 2004).

III.2.2.5. Pertes en eau à la cuisson

La détermination du pourcentage des pertes en eau à la cuisson a été effectuée selon le protocole de [Pascual et Pla \(2007\)](#).

Les muscles *longissimus dorsi* et *biceps femoris* de chaque animale ont été pesés (P_1), emballés dans des sachets en plastique, mentionnés le nom de chaque muscle et congelé à -20°C . Une fois requis, les deux muscles ont été décongelés au réfrigérateur 24h avant l'analyse.

Les échantillons ont été maintenus 1h dans un bain Marie thermostaté à 80°C . Après cuisson, les muscles ont été légèrement séchés avec un papier absorbant puis pesés (P_2) (figure 10) ([Pascual et Pla, 2007](#)).



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

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

P1 : pesée 1 : muscle frais

P2 : pesée2 : muscle cuit

Figure 10. Etapes de mesure de la perte en eau ([Pascual et Pla., 2007](#)).

III.2.2.6. Dosage des protéines par la méthode Bradford

Le principe de base de dosage, est la liaison du colorant (Bleu de Coomassie G250) à pH acide au résidu de l'arginine, de l'histidine, de la phénylalanine, de tryptophane et de la tyrosine. Sur la protéine de liaison, un changement métachromatique à 595 nm est observé en raison de la stabilisation de la forme anionique du colorant. La majorité du signal observé est dû à l'interaction avec les résidus arginine, résultant dans la variation de l'interaction protéine-protéine.

Le dosage des protéines selon [Bradford \(1976\)](#) est une méthode colorimétrique utilisant comme colorant le bleu de coomassie G250 (réactif Bio-rad : acide phosphorique et méthanol). Ce réactif est rouge/brun à l'état libre et lorsqu' il se lie aux protéines, il prend une teinte bleue. Il possède donc un coefficient d'extinction molaire élevé dans le visible (595nm) qui rend donc le dosage protéique très sensible. L'intensité de la coloration est donc proportionnelle à la quantité de protéiques présentes dans l'échantillon. On mesure la DO à 595 nm au spectrophotomètre ([Bradford, 1976](#)).

La solution mère étalon est établie à partir l'albumine du sérum bovine (BSA) à une concentration de 2mg/ml. Le dosage consiste, dans un premier temps à ajouter 25 µl d'échantillon convenablement dilué dans 75 µl du tampon (RB), à 3000 µl de réactif de Bradford. Le mélange, après homogénéisation est ensuite placé 5 min à l'obscurité et l'absorbance est mesuré à 595nm.

Les résultats obtenus ont été exprimés en µg/µl de protéines par interpolation linéaire à partir d'une gamme d'étalon (Tableau IV) contenant Bovine Serum Albumin (BSA).

La courbe d'étalonnage des protéines myofibrillaires est déterminée par les valeurs d'absorbance et la concentration en BSA (Annexe II. figure II.1).

Tableau IV. Gamme d'étalonnage utilisée pour le dosage des protéines.

Gamme BSA en µl	0	10	20	30	40	50
BSA (µl)	0	5	10	15	20	25
Tampon (RB µl)	100	95	90	85	80	75
Réactif Bradford (µl)	3000					

III.2.2.7. Analyse par électrophorèse en conditions dénaturantes (SDS-PAGE)

➤ Préparation des échantillons pour l'électrophorèse

Dans des tubes eppendorfs, mettre 50 µl de l'échantillon à analyser (échantillon d'extraction des protéines myofibrillaires) avec l'ajout de 50 µl du tampon dénaturant (de solubilisation). Il se compose de Tris 312,5 mM, EDTA 0,4 mM, SDS 7,5 %, glycérol 25 %, β-mercaptoéthanol 0,1 % et bleu de bromophénol 0,05%, le tout ajusté à pH 6,8. (Gagaoua, 2011). (Annexe III). Le SDS confère à l'ensemble des protéines une charge globale négative et le β-mercaptoéthanol permet de protéger l'oxydation des protéines et de rompre les ponts disulfures. Les échantillons sont ensuite chauffés 10 minutes dans l'eau bouillante au bain marie afin de compléter la dénaturation. L'échantillon est conservé jusqu'à son utilisation à -20°C.

➤ Electrophorèse en conditions dénaturantes (SDS-PAGE, Sodium Dodecyl Sulfate-PolyAcrylamide Gel Electrophoresis)

L'électrophorèse sur gel de polyacrylamide (PAGE) est une méthode de routine employée dans le domaine de l'analyse protéomique pour la séparation des protéines car elle demeure une technique robuste et reproductible (Garfin, 2003).

L'analyse électrophorétique des échantillons du protocole d'extraction des protéines myofibrillaires, en conditions dénaturantes, est effectuée en présence du SDS (Sodium Dodécyl Sulfate) à 3%, un agent tensioactif et de β-mercaptoéthanol (1%) dans des gels d'acrylamide à 12 % (bis-acrylamide 0,8%) selon la méthode de référence de Laemmli (1970).

Le SDS, en solubilisant les protéines (1,4 g de SDS par gramme de protéines) et en leur conférant une charge négative identique, permet la séparation des protéines uniquement sur la base de leur poids moléculaire. Leur vitesse de migration sera donc en fonction de la taille des protéines et de la taille des mailles du gel. Le β-mercaptoéthanol est un agent réducteur des ponts disulfures et permet de mettre en évidence les différentes sous-unités d'une protéine. 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.

Des dépôts de 20 µl (à raison de 10 µg) sont réalisés dans les puits formés dans les gels après polymérisation en présence de marqueurs protéiques utilisés comme standards, puis on dépose les gels dans une cuve d'électrophorèse remplie du tampon d'électrophorèse ou tampon de migration, Tris 25 mM, glycine 192 mM, SDS 0,1%, et β-mercaptoéthanol 0,05 % à pH 8,3 (Gagaoua, 2011). (Annexe III). Puis, la cuve a été reliée à un générateur (Avantec),

généralant un courant électrique faisant migrer les protéines, d'abord à 80 volts pendant 15 à 20 minutes afin de concentrer les protéines dans le gel de concentration, et ce fort courant électrique force la migration de la glycine et des protéines qui vont déconcentrer 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.

Ensuite, ce gel de séparation (gel résolvant), 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.

Pour colorer et par conséquent mettre en évidence les protéines, la coloration au bleu de Coomassie R250 est utilisée.

➤ **Coloration des gels au bleu de Coomassie R-250**

Après migration, les protéines sont fixées dans une solution d'éthanol à 30 % et d'acide acétique 5 % (Gagaoua, 2011). (Annexe III). Pour l'utilisation du Coomassie Brilliant Blue R-250 (Fluka), le gel de polyacrylamide est directement incubé avec le bleu de Coomassie R 250, solubilisé dans la solution de coloration contenant de l'éthanol 40 %, acide acétique 10 % et 2,9 mM du R 250 pendant au moins 50 minutes sous agitation. 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 servi à la fixation des protéines jusqu'à avoir une bonne visibilité des bandes protéiques. La masse moléculaire des protéines est déterminée en utilisant la courbe étalon.

La courbe étalon est obtenue par le $\text{Log PM} = f(\text{Rf})$ dont Rf : Rapport frontal = Distance parcourue par la protéine / Distance de front de migration.

$$\text{Log PM} = f(\text{Rf})$$

$\text{RF} = r/\text{Rr}$: distance parcourue par la protéine

R : Hauteur totale du gel à parcourir

Les PM des protéines seront calculés à partir des courbes d'étalonnage

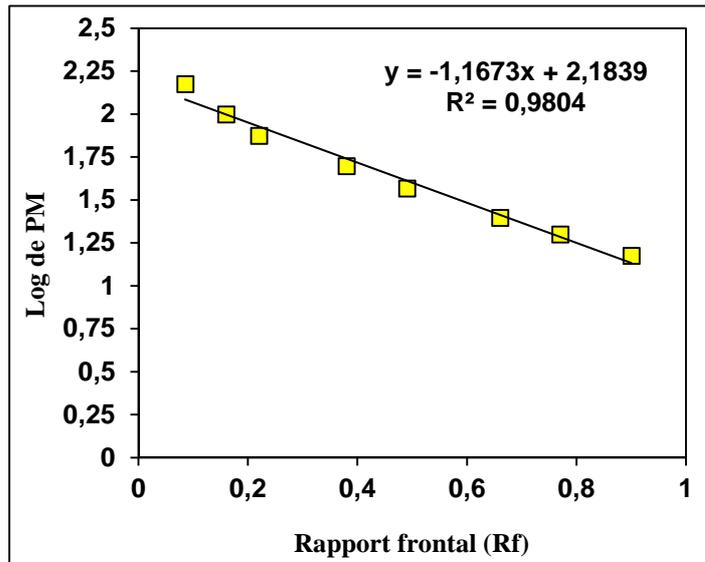


Figure 11. Courbe d'étalonnage du gel d'électrophorèse des protéines myofibrillaires.

III.2.3. Traitement de données

Les résultats obtenus ont été traités par le logiciel Microsoft Excel. L'analyse statistique a été réalisée en utilisant le package de XISTAT 2009. L'analyse de variance a été réalisée au seuil de signification $P < 0,05$.

Chapitre IV. Résultats et discussion

IV.1. Evolution de la cinétique du pH

La figure 12 représente le profil d'évolution du pH dans les deux muscles *Longissimus dorsi* et *Biceps femoris* au cours du temps *post mortem* des 6 lapins étudiés.

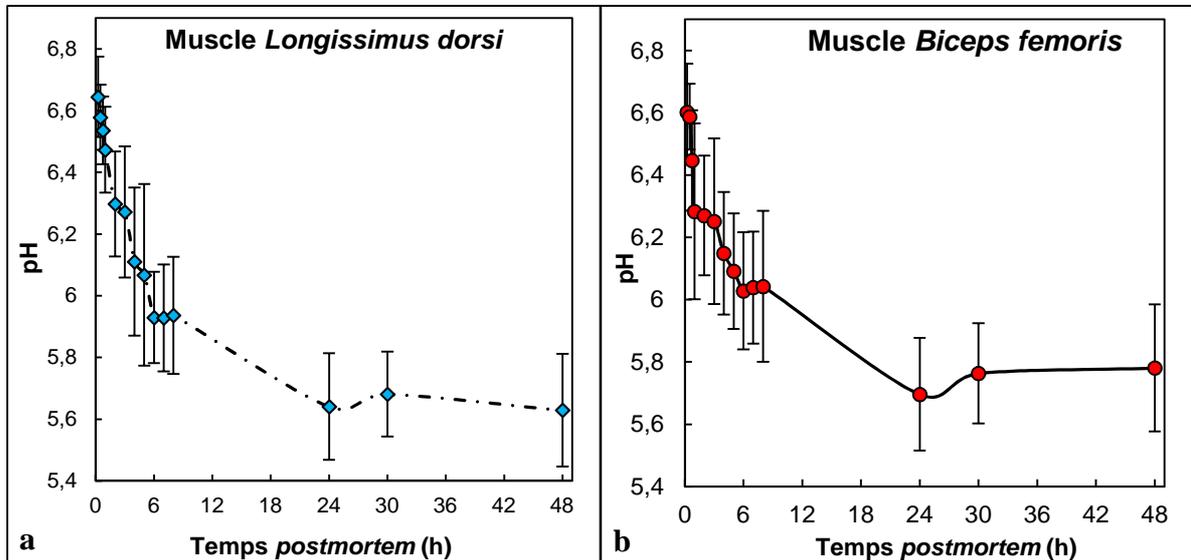


Figure 12. Profil d'évolution du pH dans le muscle *Longissimus dorsi* (a) et *Biceps femoris* (b).

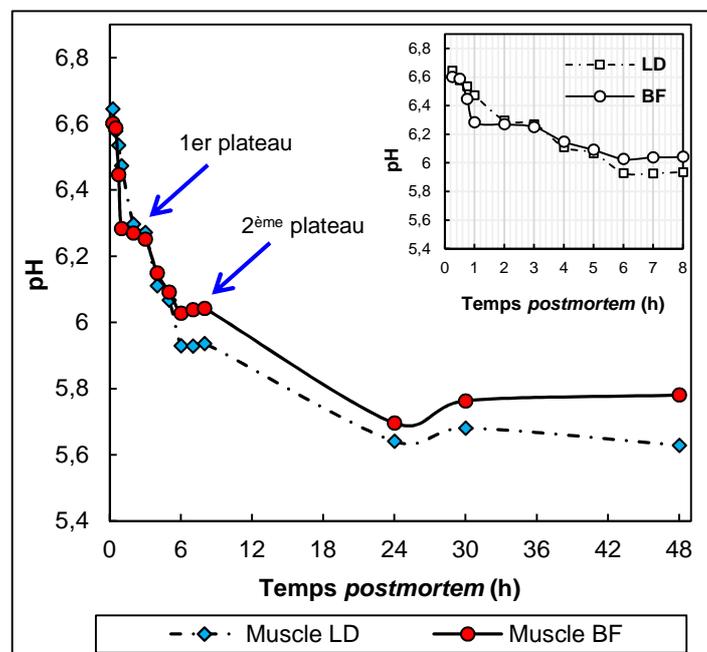


Figure 13. Comparaison de l'évolution de la cinétique du pH des deux muscles.

L'évolution du pH est un facteur très important dans la maturation des viandes vu qu'il intervient dans l'évolution des modifications physico-chimiques et enzymatiques régissant la transformation du muscle en viande. En effet, ce paramètre a une très forte influence sur la variabilité des qualités de la viande, en agissant sur l'activité des systèmes protéolytiques endogènes, comme les calpaïnes, les cathepsines, les peptidases à sérine, le protéasome 20 S et récemment les caspases (Sentandreu *et al.*, 2002 ; Ouali *et al.*, 2006, Gagaoua *et al.*, 2012).

Les deux muscles étudiés, à savoir le *Longissimus dorsi* (LD) et le *Biceps femoris* (BF) des 6 lapins étudiés ont montré une même allure du profil d'évolution de pH. Ces valeurs sont illustrées dans la figure 13. Ce paramètre a été mesuré suivant une cinétique *post mortem* de 15 min pendant la première heure puis chaque 1 heure jusqu'à 8h. Puis la cinétique a été enregistrée pour les points 24 h, 30h et 48h.

Les courbes a et b de la figure 12 montrent une chute rapide des valeurs du pH pour atteindre une valeur dite pH ultime (pHu) à 24h *post mortem*. Le pH ultime d'une viande est estimé au moment où sa valeur se stabilise pour donner un palier entre pH 5,7 à 5,9 selon les espèces bouchères. Il est généralement estimé à 24 h *post mortem* puisqu'à ce temps, le muscle (dans notre cas le muscle LD et BF) présente une stabilité avec une faible variation et les réserves énergétiques ne sont que très minimes pour toute évolution générant une amplitude accélérée.

Plusieurs travaux ont montré que l'attendrissage de la viande est étroitement lié à la vitesse de chute de pH. Honikel *et al.* (2004), ont expliqué qu'après l'abattage, le muscle utilisera toutes les réserves énergétiques pour subvenir à ses besoins après épuisement de la phosphocréatine, notamment durant les 2 heures qui suivent l'exsanguination. Pour la survie des cellules, l'énergie est produite à travers une dégradation anaérobie du glycogène par glycolyse, suite à laquelle l'acide lactique est produit et s'accumule à l'intérieur des cellules. Ce processus se déroule à une vitesse variable selon le type de muscle considéré (oxydatif ou glycolytique) mais demeure continu tant que les enzymes impliquées ne sont pas inhibées. Donc la discontinuité dans la chute du pH observée ne peut pas être expliquée par une diminution transitoire de la vitesse d'action de la phosphocréatine kinase ou des enzymes de la glycolyse mais par une modification transitoire du pouvoir tampon ou de la répartition des charges dans la cellule musculaire (Jia *et al.*, 2006 ; Boudjellal *et al.*, 2008). Ceci est facilement visualisable dans nos résultats illustrés dans la figure 13 (flèches 1 et 2), ou deux

plateaux de stabilité de pH ont été obtenus. Ces résultats corroborent à ceux rapportés par plusieurs études (Ouali *et al.*, 2006 ; Boudjellal *et al.*, 2008).

La valeur moyenne du pHu enregistrée dans la figure 12a pour le muscle LD de l'ensemble des animaux étudiés est de 5,64. Une valeur très proche de celle rapportée par Blasco et Piles. (1990) et qui est de 5,66. Néanmoins, la valeur du pH initiale obtenu dans notre étude (6,64) est légèrement inférieure à celle enregistrée par les mêmes auteurs (6,72). Par contre, on observe une même valeur du pH initial dans le muscle BF qui est égale à 6,60 (figure 12b) menant à une baisse plus prononcée pour atteindre un pHu de 5,69 dans notre cas et une valeur de 5,77, légèrement supérieure à celle rapportée par Blasco et Piles. (1990). Il n'est pas étonnant de constater que certains auteurs ont noté quelques différences dans le pH des deux muscles. Ces résultats sont conduits par un ralentissement du processus d'acidification qui est en relation avec le type de fibre musculaire à métabolisme oxydatif ou glycolytique (Mc Geehin *et al.*, 2001 ; Hopkins *et al.*, 2014). Selon Ke Li *et al.* (2012) la réduction du taux de chute de pH est due à l'affaiblissement des activités enzymatiques glycolytiques et l'installation de la rigidité cadavérique.

Par ailleurs, les valeurs obtenues de pHu sont nettement inférieures à celles rapportées par Carrillo *et al.* (2009) sur une étude menée sur 156 lapins et mesurées après 24h *post mortem* sur les deux muscles LD et BF. Les valeurs du pH de muscle BF varient de 5,81 à 5,85 et de 5,73 à 5,83 dans le muscle LD. Pour les mêmes muscles chez le porc), les résultats obtenus dans notre étude corrobore à ceux rapportés par Hanne *et al.* (2001). Cependant, les travaux effectués sur les agneaux par Miriam *et al.* (2000) et sur les bovins par Hopkins *et al.* (2014), les valeurs de pH sont inférieures comparées à celles obtenues dans notre étude. Cela s'explique l'influence de type d'animal, l'âge, le sexe et la race. Nous devons aussi signalé la faible population étudiée dans notre cas en comparaison aux autres études.

Enfin, dans la figure 13 on observe pour les deux muscles LD et BF respectivement deux plateaux de stabilité de pH entre 1h-3h, puis 6h-8h *post mortem*. Ces plateaux de stabilité ont été rapportés auparavant chez les bovins, où ils apparaissent avant 8h ou 9h *post mortem* dans un intervalle de pH entre 6,8 et 6,2 et ce quelque soit leur âge, sexe et race (Boudjellal *et al.*, 2008). La présence de plateaux indique un ralentissement du processus d'acidification. Ceci ne peut pas s'expliquer par une diminution transitoire de la vitesse d'action de la phosphocréatine kinase ou des enzymes de la glycolyse sur leurs substrats mais plutôt par des modifications soit du pouvoir tampon des cellules ou une transition contrôlée plus efficace du

pH de la cellule. Le contrôle plus efficace est supposé par une légère augmentation du pH dans les plateaux (Boudjellal *et al.*, 2008). Le pouvoir tampon du muscle est défini par sa capacité à maintenir sa valeur de pH à un intervalle donné en présence d'un acide ou d'une base (Dalle-Zotte *et al.*, 1996).

Parmi les constituants à caractère basique présents dans la cellule qui peuvent intervenir dans la neutralisation des protons générés par la glycolyse, nous avons les phosphatidylcholine et phosphatidyléthanolamine qui sont les phospholipides basiques constituant la couche externe de la membrane plasmique. L'inversion de la polarité membranaire appelée également «flip-flop» rapportée lors du processus d'apoptose implique un phénomène d'externalisation des phosphatidylserines, qui sont les phospholipides à caractère acide constituant la couche interne de la membrane plasmique. Ces derniers se déplacent vers la couche externe de la membrane cellulaire alors que les phospholipides basiques se déplacent vers l'intérieur de la cellule. Cette redistribution des ions peut agir sur le pouvoir tampon de la cellule et expliquer ces paliers (Ouali *et al.*, 2006 ; Boudjellal *et al.*, 2008 ; Becila *et al.*, 2010).

IV.2. Pertes en eau à la cuisson

Parmi les facteurs qui influencent la tendreté de la viande, les pertes en eau à la cuisson vu qu'elle est étroitement liée à la jutosité, un des attributs sensoriels recherchés par le consommateur (Gagaoua *et al.*, 2013). Généralement, la tendreté, la jutosité et la flaveur sont les attributs de palatabilité communément utilisés pour décrire la qualité de la viande (Voges *et al.*, 2007). Parmi ces diverses caractéristiques subjectives déterminant la qualité de la viande, la tendreté et la jutosité sont les plus importantes (Jeremiah, 1982).

En effet, une cuisson lente et à faible température améliore la tendreté. La diffusion de la chaleur qui se fait de façon lente et de manière homogène, augmente ainsi la solubilisation du collagène et rend la viande plus facile à trancher (Penfield et Meyer, 1975). Cependant, ce n'est pas le cas pour tous les muscles, et on fait allusion aux viandes maigres (pauvres en lipides) comme la viande du dromadaire ou du lapin.

Les résultats moyens de la caractérisation des pertes en eau à la cuisson dans le muscle LD et BF sont illustrés dans la figure 14.

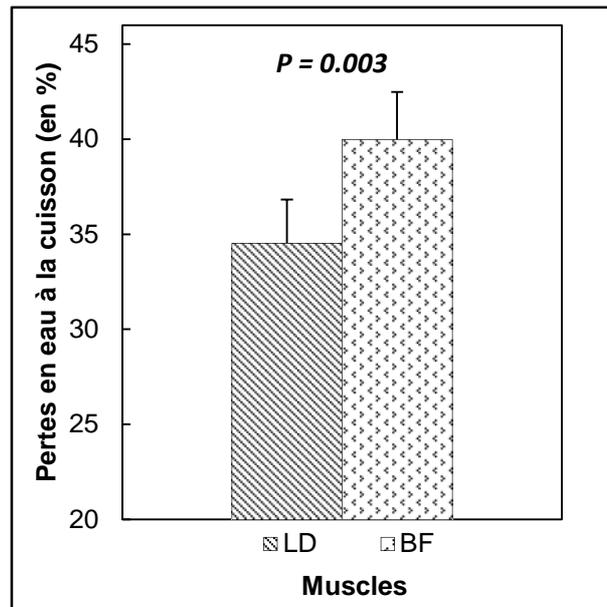


Figure 14. Moyennes des pertes en eau à la cuisson des deux muscles LD et BF.

Nos résultats, montrent que le pourcentage des pertes en eau à la cuisson des 6 lapins pour le muscle BF ($39,98\% \pm 2,51$) est supérieur à celui du muscle LD ($34,53\% \pm 2,30$). Une différence hautement significative ($P < 0,01$) est enregistrée pour ce paramètre entre les deux muscles réalisés le même jour et avec le même protocole. Ces résultats semblent être en accord avec ce qui est communément rapporté dans la littérature (El Rammouz, 2005), notamment pour le muscle LD. Généralement, il est presque admis qu'une viande qui atteint une température interne de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, aura perdu jusqu'à 30 à 35 % de son eau.

Cela s'exprime par l'équilibre entre la conversion du collagène en gélatine et de la coagulation des fibres musculaires qui se diffère d'un muscle à un autre, c'est-à-dire durant la cuisson, les protéines contenues dans les fibres polymérisent et elles se resserrent. Les liaisons chimiques qui retiennent les molécules de collagène ensemble se défont sous l'effet de la chaleur et de l'humidité, ce qui permet de les solubiliser c'est-à-dire de les transformer en gélatine, facile à mastiquer.

Donc, les pertes en jus sont causées par le rétrécissement de l'endomysium, le collagène qui entoure chacune des fibres musculaires. Lorsque la viande atteint une température interne d'environ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, la perte de jus s'accroît, car à cette température, le périmysium (collagène qui gaine les faisceaux musculaires) se contracte à son tour et exerce une pression supplémentaire sur les cellules, poussant ces dernières à libérer leur eau (Culioli, 1994).

Les pourcentages des pertes en eau obtenues dans notre étude corroborent à ceux obtenus par [Combes *et al.* \(2003\)](#) qui est de 34% pour le muscle LD. Par contre, nos valeurs sont inférieures à celles obtenues pour le même muscle par une étude réalisée par [Pla *et al.* \(1998\)](#) qui ont trouvé des valeurs proches de 39%. Ces résultats sont proches de celles rapportées (38,9%) par le même auteur dans une autre étude réalisée en 2007 ([Pla *et al.*, 2007](#)).

Par ailleurs, [Ke Li *et al.* \(2012\)](#) ont obtenu chez le bovin pour le muscle LD des valeurs qui oscillent entre 26 à 29%. Chez le poulet, [El-Rammouz *et al.* \(2004\)](#) ont rapporté des valeurs plus élevées arrivant jusqu'à 14.54%. Cela signifie que les pertes en eau à la cuisson dépendent de nombreux facteurs et qui diffèrent d'un animal à un autre. Par exemple, l'âge est un facteur important et joue un rôle considérable sur la quantité de jus relargué. La tendreté de la viande de lapin a tendance à s'accroître avec l'âge (par exemple: un lapin âgé de 18 semaines est plus tendre que celui de 11 semaines) ([Juin *et al.*, 1998](#)). Il est à noter aussi que la teneur et le degré de réticulation du collagène ont un impact essentiel sur le relargage d'eau en plus de la capacité des protéines myofibrillaires et emprisonner (retenir) leur eau.

IV.3. Capacité de rétention d'eau

L'étude de la capacité de rétention d'eau des protéines myofibrillaires, composante importante de la qualité et de l'acceptabilité des viandes, fait intervenir des connaissances pluridisciplinaires dans le domaine de l'analyse sensorielle. C'est un phénomène physico-chimique connu, se produisant dans le muscle *post mortem* ([Ouali, 1990](#)). L'évolution de ce paramètre est variable d'un animal à un autre et également d'un muscle à un autre.

L'évolution de la capacité de rétention d'eau des protéines myofibrillaires des deux muscles LD et BF au cours du temps *post mortem* (6, 24 et 48 heures) exprimée en pourcentage (%) a été évaluée par la quantité de jus libéré sur un muscle pressé en adaptant la méthode de [Ramirez *et al.* \(2004\)](#), et les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 15.

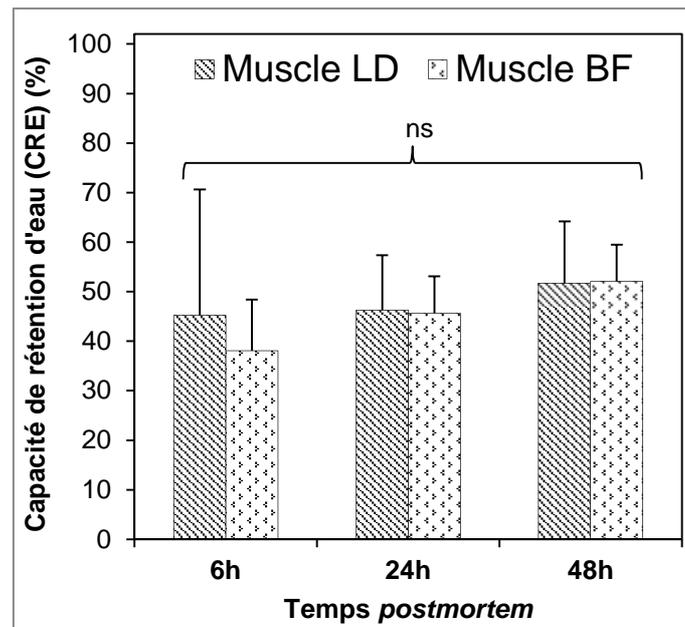


Figure 15. Moyennes \pm écart-types de la capacité de rétention d'eau (CRE) déterminée par la méthode presse papier sur les deux muscles LD et BF à différents temps *post mortem* à 6, 24 et 48 heures.

La quantité de jus extractible qui reflète la capacité du muscle à conserver son eau, pour le muscle LD pendant 6 et 24h *post mortem* est à peu près identique. Elle représente une valeur de 45% et elle augmente progressivement jusqu'à atteindre 52% pendant 48h *post mortem*. Par contre le muscle BF représente des valeurs inférieures à celles du LD, allant de 38 à 45% à 6 et 24h respectivement, alors qu'une augmentation similaire pour les deux muscles à 48h *post mortem*. Néanmoins, aucune différence significative n'a été trouvée ($P < 0.05$). D'après ces résultats, nous remarquons que le muscle LD présente une meilleure capacité de rétention d'eau par rapport au muscle BF, ceci peut être expliqué par le type des protéines myofibrillaires présentant dans chaque muscle et aussi la quantité de ces protéines qui existent dans un muscle par rapport à l'autre. Ces résultats rejoignent ceux obtenus ci-haut concernant les pertes à la cuisson.

Offer et Trinick (1983), ont montré que les myofibrilles étaient largement responsables de la capacité de rétention d'eau de la viande. Les modifications de la capacité de rétention d'eau s'expliquent souvent par des modifications des protéines myofibrillaires. L'exsudation est expliquée par le passage au cours de la rigor d'environ 17% de l'eau intra filamentaire à l'espace sarcoplasmique et par la suite à la diffusion du fluide sarcoplasmique vers l'espace extracellulaire. Ceci est causé par la dénaturation des protéines et/ou la contraction *post mortem* (Penny, 1977).

La capacité des myofibrilles à retenir l'eau est influencée par la chute du pH *post mortem*. En s'approchant de leur point isoélectrique, le pH agit sur les liaisons eau/protéines, qui conduisent à une diminution de la quantité d'eau immobilisée (eau liée) dans le réseau protéique (Hamm, 1982). Boakye et Mittal (1993) ont montré, que la capacité de rétention d'eau du muscle diminue plus rapidement quand la vitesse de chute du pH augmente.

Les résultats obtenus dans notre étude sont en désaccord avec ceux rapportés par Pascual et Pla (2007) et Pla *et al.* (1998) ou nous avons enregistré des valeurs supérieures à 45%. Par exemple, pour le muscle LD, la CRE est de 33,6% à 24h *post mortem* et quasiment la même (34,95%) les travaux conduits par Miriam *et al.* (2000). Ceci peut être expliqué par plusieurs raisons, à savoir le sexe, l'âge, le poids et la race, mais aussi aux facteurs d'origine technologique tel que les conditions de transport des animaux et les méthodes d'abattage qui sont associées à une multitude de facteurs pouvant induire aussi un stress important chez les animaux (Culioli, 1999). De plus, la conservation des viandes, est également un élément important pouvant influencer leurs qualités sensorielles (Ouali, 1991 ; Culioli, 1999). Les conditions de réfrigération jouent un rôle important à la fois sur la vitesse et l'intensité de la maturation. En effet, une réfrigération trop rapide ou trop lente va diminuer la capacité de maturation du muscle (Daudin, 1988 ; Hertzman *et al.*, 1993) et influencera d'une manière directe ou indirecte la jutosité.

IV.4. Indice de fragmentation myofibrillaires (IFM)

L'attendrissage de la viande est liée aux propriétés structurales et biochimiques des fibres musculaires squelettiques, particulièrement à ceux des myofibrilles et des filaments intermédiaires. On observe au cours de la maturation, des modifications au niveau de la strie Z ainsi qu'au niveau de la jonction du disque I et de la strie Z. Les stries Z deviennent de plus en plus diffuses et peu à peu apparaissent des zones de rupture à la jonction filaments fins/stries Z. Ces modifications se traduisent par une augmentation de l'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM). L'homogénéisation d'un échantillon mûré conduit à la libération de fragments plus courts, constitués d'un nombre de sarcomères plus réduit. De ceci il ressort que l'augmentation de l'IFM au cours de la maturation est proportionnelle à l'augmentation de la tendreté. Cela signifie que la fragmentation des myofibrilles est l'un des mécanismes responsables de l'attendrissage *post mortem* de la viande (Devine, 2004 ; Čandek- Potokar *et al.*, 1999).

La figure 16 représente les résultats de l'évolution de l'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM) des deux muscles LD et BF à différents temps *post mortem*.

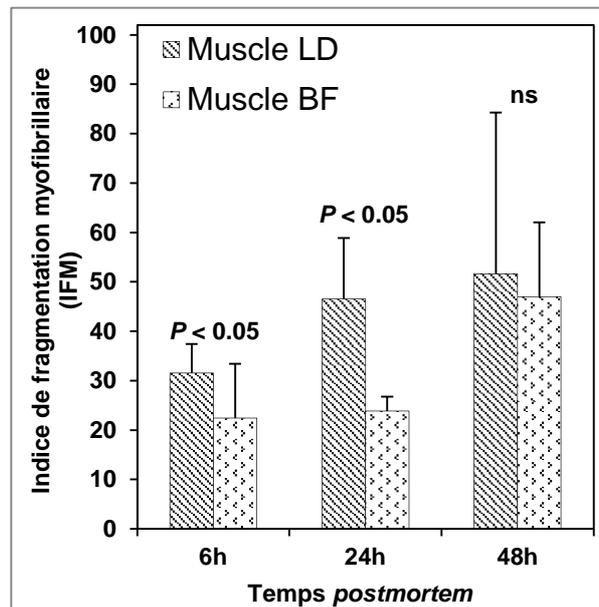


Figure 16. Moyennes \pm écart-types de l'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM) des deux muscles LD et BF des 6 lapins étudiés à 6, 24 et 48 heures *post mortem*.

Nous résultats montrent une augmentation de l'IFM au cours du stockage à 4°C pour les deux muscles. Des différences significatives ont été trouvés pour les temps 6 et 24 h *post mortem* dans les deux muscles. A 48h *post mortem* aucune différence n'a été trouvée. On remarque clairement que le muscle LD est plus tendre que le muscle BF, si on le juge sur la base cet indice. Les résultats obtenus dans notre étude sont en accords à ceux rapportés dans la littérature, notamment ceux de 24 et 48h.

Veiseth *et al.* (2001) ont considéré que le phénomène de la fragmentation des myofibrilles est un indicateur utile de la maturation de la viande. La fragmentation des protéines myofibrillaires peut être estimée par différentes méthodes telles que : les composants structuraux du muscle pendant le stockage ; la protéolyse des protéines myofibrillaires ce qui induit l'affaiblissement des myofibrilles qui est à l'origine de la dégradation des protéines de structure et des liaisons intermoléculaires sous l'action d'enzymes endogènes ; l'attendrissage de la viande (Koochmaraie, 1994 ; Taylor *et al.*, 1995) et l'amélioration de son goût et arôme (Nishimura *et al.*, 1988 ; Smith *et al.*, 1978). Cependant, la sensibilité de la méthodologie protéomique, récemment utilisée dans le cas de la biochimie des viandes, a considérablement identifié des produits de dégradation provenant de la chaîne lourde d'actine et de myosine, signifiant qu'ils sont dégradés en temps *post mortem* (Lametsch *et al.*, 2002, 2004).

Par exemple, des investigations sur les effets de la maturation (stockage pendant plusieurs jours à 4°C) des carcasses, et sur l'IMF ont été effectués sur le muscle *Longissimus dorsi* congelé et décongelé au cours de 16 jours (Culler *et al.*, 1978 ; Parrish *et al.*, 1979), et ils ont trouvé que la valeur moyenne de IMF était semblable pour les muscles frais et les muscles congelés, et les valeurs de 24h et 48h sont respectivement 29,4 % et 52,8 %. Par contre, Hopkins *et al.* (2000) ont signalé que des valeurs de IMF étaient inférieures pour les échantillons congelés par rapport aux échantillons frais et que cette différence est due à la vitesse d'homogénéisation. Mais c'est probablement injustifié parce que les données de Hopkins *et al.* (2000) sont limitées à un seul agneau. Ces valeurs varient de 28,5 % pendant 24 h *post mortem* à 44,8 % à 48 h *post mortem*.

Ces différences sont dues fort probablement à la vitesse de maturation de la viande qui dépend majoritairement de deux composantes : les fibres musculaires, notamment leurs tailles et leurs types, et du collagène, notamment de sa teneur et de sa solubilité. Les caractéristiques du tissu conjonctif et des fibres musculaires déterminent respectivement la dureté de base et l'évolution de la tendreté pendant la maturation *post mortem*, car au cours de la maturation des viandes on observe des modifications au niveau de la strie Z ainsi qu'au niveau de la jonction du disque I.

Par comparaison, on constate que la moyenne de l'évolution de l'indice de fragmentation myofibrillaire de muscle LD des 6 lapins étudiés évolue rapidement par rapport au muscle BF. Ces résultats vont à l'encontre d'autres travaux faisant référence à la variabilité individuelle, ou la variabilité entre muscles. Ces travaux démontrent que la vitesse de maturation *post mortem* est plus rapide dans les muscles qui ont la plus forte proportion de fibres à contraction rapide et métabolisme glycolytique. Cette vitesse de maturation rapide améliore la tendreté de la viande (Caroline, 2008).

Pour conclure, des fibres de petite taille, une moindre teneur en collagène et un collagène plus soluble sont favorables à la tendreté. La majorité des études tendent à conclure que les animaux dont le métabolisme dominant des muscles est plus oxydatif ont tendance à produire une viande qui mature moins vite et qui est donc plus dure.

IV.5. Profil électrophorétique de la dégradation des protéines myofibrillaires au cours du temps *post mortem*

La séparation des PMF sur gel de polyacrylamide en présence de Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) est une méthode très utilisée pour séparer les chaînes peptidiques selon leurs poids moléculaires et est appelée communément SDS-PAGE (Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis).

La transformation du muscle en viande est gouvernée par des interactions très complexes issues des processus biochimiques (modifications physicochimiques et enzymatiques) qui prennent place lors de la conservation *post mortem* des carcasses (Ouali, 1992). La fragmentation des protéines myofibrillaires au cours de cette conservation et les produits de fragmentation (fragments) sont en relation étroite à l'attendrissage du muscle (Koochmaraie, 1994).

Au cours du temps *post mortem*, des variations dans le profil protéique des protéines myofibrillaires sont notées pour le muscle LD et le muscle BF. Les électrophorégrammes des temps *post mortem* des quelques points étudiés de la cinétique permettent de visualiser ces modifications au cours de la maturation (figure 16). Les gels des deux muscles étudiés démontrent une analogie dans le comportement des principales bandes protéiques et nous avons :

Pour les bandes à poids moléculaire supérieurs à 97 kDa et qui représentent en général les chaînes lourdes de myosine, la nubeline et la titine. Ces composantes ont des poids moléculaires très élevés et ne peuvent être séparés par des gels à 12% de polyacrylamide. Leur séparation donc nécessite des concentrations inférieures de 5 à 8% (Baranny *et al.*, 1995). Les fragments de 42 kDa correspondant à l'actine ne marque pas de variations au cours du temps *post mortem* pour les deux muscles, caractérisée par ces bandes intenses suite à sa concentration élevée dans le muscle, ceci confirme les résultats de Greyser *et Fritz.* (1995).

Pour les variations qui se produisent au cours du temps *post mortem* et qui sont révélées par les gels nous avons comme commun pour tous les muscles l'apparition de fragments de différents poids moléculaires mais à des temps *post mortem* différents et nous avons l'apparition des :

- ✓ fragment de 61,5 kDa qui apparait dès les premières heures *post mortem* dans le muscle BF, ce fragment ne vari pas et reste important avec la même intensité de coloration des

bandes, par contre on note l'apparition de ce fragment dans le muscle LD au même temps *post mortem* mais disparaît après 2h (bandes entourées avec un cercle vert).

- ✓ A ces mêmes temps *post mortem*, apparaît aussi un fragment correspondant à 58,34 kDa dans les deux muscles mais, il est plus intense dans le muscle LD que dans le muscle BF et on remarque une augmentation de l'intensité de cette bande à 30 h *post mortem* seulement dans le muscle LD. (bandes entourées avec un cercle noir)
- ✓ apparition d'une bande de 23,14 kDa dès 30 min *post mortem* dans le muscle LD, cette bande est visualisée nettement après 2 h *post mortem*. Cependant, ce résultat n'a pas été trouvé dans le cas dans du muscle BF ou elle sous-exprimée (bandes entourées de cercle jaune)
- ✓ Trois bandes dans le muscle LD correspondant aux fragments : 20,72 ; 18,91 et 16,99kDa ont été observées dès 30 h *post mortem*. Ces fragments apparaissent après 6 h *post mortem* dans le muscle BF et on visualise clairement que l'intensité de la bande ayant une masse moléculaire égale à 16,99 kDa est très faible (presque absente) (bandes entourées avec un cercle violet)
- ✓ En bas du gel on observe l'apparition de bandes à faibles poids moléculaires, environ 15 kDa dans les deux muscles dès les premières heures *post mortem* (deux bandes : une de 12,24 kDa et l'autre de 10,90 kDa) avec des variations dans leurs intensité qui augmente au cours du temps *post mortem* dans les deux muscles (bandes entourées avec un cercle rouge).

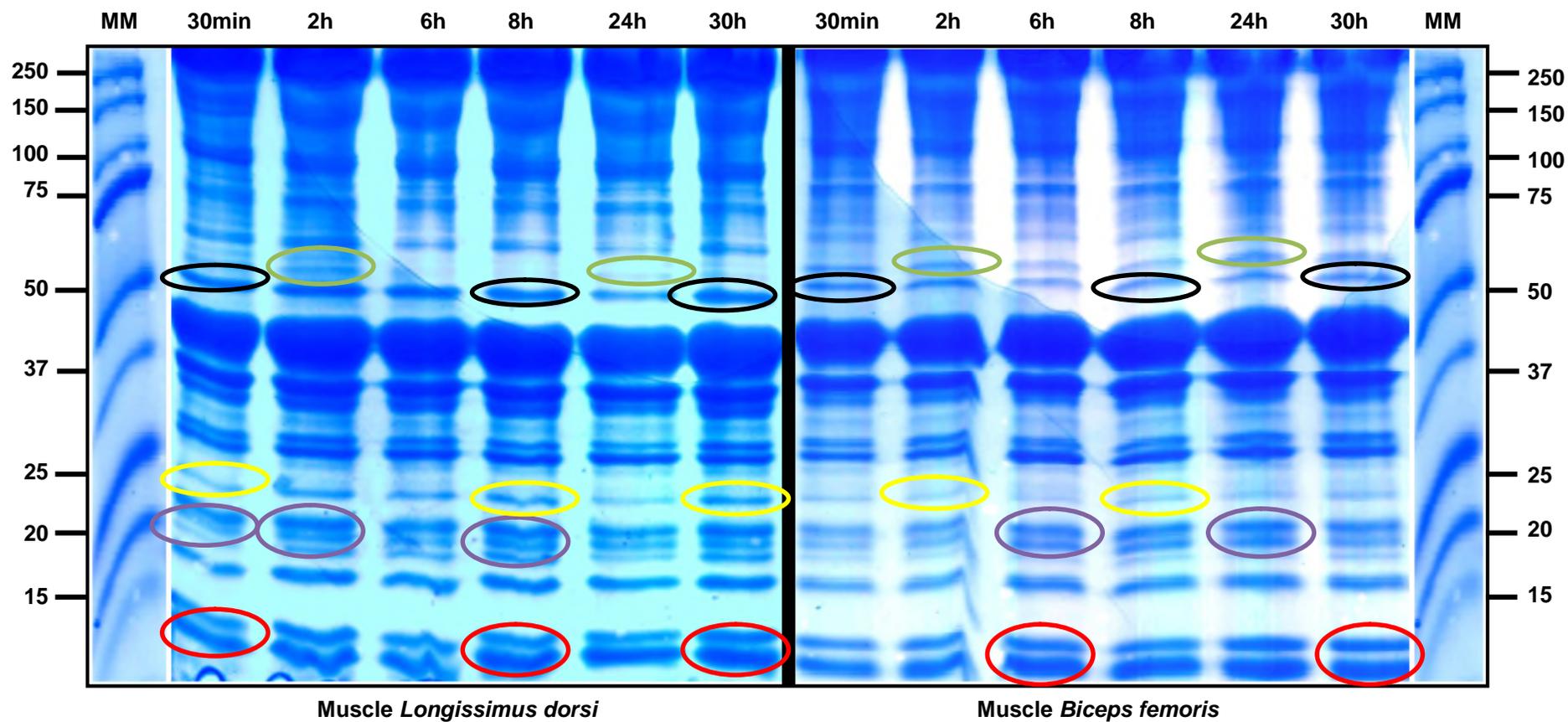


Figure 17 : Profil électrophorétique de quelques points de la cinétique représentant la protéolyse des muscles LD et BF.

Conclusion

Ce travail a été réalisé dans le but d'étudier quelques paramètres physico-chimiques et biochimiques intervenant dans le processus d'attendrissage de la viande de lapin au cours du temps *post mortem* de deux muscles à savoir le *Longissimus dorsi* (LD) et le *Biceps femoris* (BF).

Pour la réalisation de notre étude, nous avons adopté une stratégie consistant à mesurer en cinétique plusieurs caractéristiques biologiques des deux muscles, connus pour avoir des rôles importants dans le processus d'attendrissage, tel que l'évolution du pH au cours du temps *post mortem*, ce dernier à un effet sur la variation des autres paramètres tel que la capacité de rétention d'eau et la dégradation des protéines myofibrillaires par les systèmes protéolytiques. Ces paramètres de variation de la qualité de la viande font l'objet de nombreuses études dans le but d'améliorer sa qualité et de satisfaire les consommateurs.

Lors de cette étude, nous avons caractérisé et étudié l'importance de l'évolution de la chute du pH au cours des 8 premières heures *post mortem* dans les deux muscles, jusqu'à atteindre une valeur dite pH ultime. La vitesse de chute du pH est déterminée principalement par l'activité ATPasique qui est plus importante dans les fibres à contraction rapides que dans les fibres à contraction lente.

L'étude de la cinétique de pH révèle que l'évolution de ce paramètre diminue progressivement pour atteindre une valeur moyenne de pH ultime de 5,64 pour le muscle LD et 5,69 pour le muscle BF. Ces valeurs montrent que la vitesse de la tendreté de la viande du lapin est plus rapide comparant à celle du porc et du bovin. Ceci confirme que, les muscles des lapins sont riches en fibres à contraction rapides spécifiquement les muscles LD.

Par ailleurs, parmi les méthodes de mesure utilisées pour apprécier la qualité de l'attendrissage de la viande de lapin : la capacité de rétention d'eau qui montrent un pourcentage plus élevé dans le muscle LD par rapport au BF, et les pertes en eau à la cuisson qui sont fortement liés aux types et quantités de protéines myofibrillaires.

Les résultats obtenus mettent en évidence que la cinétique d'évolution des différentes caractéristiques est variable en fonction de l'animal, bien que les animaux aient été choisis les plus similaires possible.

Parmi les perspectives envisagées pour compléter et enrichir cette étude :

- Il nous semble intéressant de mesurer l'ensemble des caractéristiques et paramètres cinétiques, surtout les paramètres biochimiques car ces résultats sont défectueux pour atteindre les mécanismes impliqués dans le processus de la transformation du muscle en viande chez le lapin ;
- Il serait important de travailler sur effectif d'animaux (échantillons) plus élevés pour assurer la répétabilité des résultats et leurs confirmations ;
- D'autres facteurs de variabilité de la tendreté doivent être étudiés, comme l'espèce, la race, le sexe et aussi ce qui concerne le rôle du régime alimentaire des animaux dans l'établissement des caractéristiques finales des fibres musculaires ;
- Caractériser l'identité des fragments obtenus par spectrométrie de masse ;
- Utilisation d'électrophorèse bidimensionnelle (2 DE), pour la séparation des protéines des différentes extractions des espèces étudiées.

-A-

Ait Tahar H. & Fettal M. (1990). Témoignage sur la production et l'élevage du lapin en Algérie. 2ème conférence sur la production et la génétique du lapin dans la région méditerranéenne, Zagazig (Egypte) ,3 -7 septembre.

Alasnier C., Remignon H. & Gandemer G. (1996). Lipid characteristics associated with oxidative and glycolytic fibres in rabbit muscles. *Meat Sci*, **43**, 213-224.

Allen C.D., Fletcher D.L. & Northcutt J.K. (1998). The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poultry Sci.*, **77**, 361-366.

Alterations of the actin polymerization status as an apoptotic morphological effector in HL-60 applicable à la transplantation de myoblastes comme traitement de la dystrophie musculaire de Duchenne. Ph D. Thesis. Faculté de Medecine, Université Laval, Québec, Canada.

Atencia R., Asumendi A. & Garcia-Sanz M. (2000). Role of cytoskeleton in apoptosis. *Vitam Horm*, **58**,267–297.

-B-

Barany K., Barany M. & Giomtti C.S. (1995). Polyacrylamide gel electrophoretic methods in the separation of structural muscle proteins, *Journal of chromatography A*, **698**, 301-332.

Barone R., Pavaux C., Blin B.C. & Cuq P. (1973). Atlas d'anatomie du lapin. Masson éditeur, Paris, 220p.

Barton-Gade P.A., Demeyer D., Honikel K.O., Joseph R.L., Puolanne E., Severini M., Smulders F.J.M. & Tornberg E. (1993). Final version of reference methods for water holding capacity in meat and meat products. In : Organisation for Economic Co-operation and Development, 39th International Congress of Meat Science and Technology, 5 p.

Bauchart D., Picard B. (2010). Muscle et viande de ruminant. Éditions Quae, do Inra, RD 10, 78026 Versailles Cedex. p61-70

Becila S., Herrera-Mendez C.H., Coulis G., Labas R., Astruc T., Picard B., Boudjellal A., Pelissier P., Bremaud L. & Ouali A. (2010). Postmortem muscle cells die through apoptosis. *European Food Research and Technology* **231**, 485-93.

Bendall J.R. (1973). *Post mortem* in muscle. In *The structure and function of Muscle*. Vol. 2, Part. 2, pp. 243-309. Edited by G. H. Bourne. London: Academic Press.

Berchiche M. & Kadi S. A. (2002). The kabyle rabbits (Algeria). *Rabbit Genetic Resources in Mediterranean Countries*.

Berchiche M. (1992). Systèmes de production de viande de lapin au Maghreb. Séminaire approfondi, Institut agronomique méditerranéen de Saragosse (Espagne) ,14-26 septembre.

- Berchiche M., Lounaouci G., Lebas F. & Lamboley B. (1999).** Utilisation of three diets based on different protein sources by Algerian local growing rabbits. 2nd international Conference on Rabbit Production in Hot Climates .Cahiers options méditerranéennes, pp:51-55. *Bio.l*, **131**: 425–434.
- Blanchard P.J. & Mantle D. (1996).** Comparison of proteolytic enzyme levels in chicken, pig, lamb, rabbit muscle at point of slaughter: role in meat tenderization post mortem. *J. Sci. Agric.*, p79, 83-91.
- Blanchet X. (2010).** Des gènes impliqués dans la variabilité de la tendreté des viandes bovines : gène bovin SERPINA 3-3. Thèse de doctorat. Université de Limoge.
- Blasco A. & Piles M. (1990).** Muscular pH of the rabbit, *Ann zootech* **39**, 133-136 , Elsevier/INRA.
- Boakye K. & Mittal G.S. (1993).** Changes in pH water-holding properties of *longissimus dorsi* muscle during beef ageing. *Meat Sci.*, **34**, 335-349.
- Bottinelli R. & Reggiani C. (2000).** Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Biophys. & Mol. Biol.*, **73**, 195-262.
- Boudjellal A., Bacilla S., Coulis G., Herrer-Mendez C., Aubry L., Lepetit J., Harhoura,K., Sentandreu M.A., Ait Amar H. & Ouali A. (2008).** Is the pH drop profile curvilinear and either monophasic or polyphasic ? consequences on the ultimate bovine meat texture, *African Journal of Agricultural Research* vol **3**, 195-204.
- Bradford M.M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analetical Biochemica* **72**: 248-254.
- Buja L. M., Eigenbrodt M. L. & Eigenbrodt E. T. (1993).** Apoptosis and necrosis. Basic types and mechanisms of cell death. *Arch. Pathol. Lab. Mead.*, **117**, 1208-1214.

-C-

Čandek-Potokar M., Lefaucheur L., Žlender B. & Bonneau M. (1999). Effect of slaughter weight and/or age on histological characteristics of pig *Longissimus dorsi* muscle as related to meat quality. *Meat Sci.*, **52**, 195–203.

Camirand J. (2004). Développement d'un protocole d'induction de tolérance immunologique applicable à la transplantation de myoblastes comme traitement de la dystrophie musculaire de Duchenne. Ph D. Thesis. Faculté de Medecine, Université Laval, Québec, Canada.

Cartier P. & Moevi I. (2007). Le point sur la qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. Institut de l'Élevage : Paris, 72p.

Choi Y.M., Ryu Y.C. & Kim B.C. (2007). Influence of myosin heavy-and light chain isoforms on early postmortem glycolytic rate and pork quality. *Meat Science*, **76**: 281-288.

Clinquart A., Leroy B., Dottreppe O., Hornick J.L., Dufrasne I.L. & 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, Journée du Centre d'Excellence du Secteur agricole et son Management (CESAM), 19 p.

Coibion L. (2008). Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine : adaptation à la demande du consommateur. Mémoire pour l'obtention du grade de Docteur vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire de Toulouse: 97 p.

Colin M. & Lebas F. (1995). Le lapin dans le monde. AFC éditeur Lempdes, 330 pp.

Combes S. (2004). Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. *INRA Prod. Anim.*, **17** (5), 373-383.

Combes S., & Dalle Zotte A. (2005). La viande de lapin: valeur nutritionnelle et particularités technologiques. Proc. 11èmes Journées de la Recherche Cunicole, 29–30 November 2005, Paris, France (pp. 167–180).

Combes S., Lepetit J., Darche B. & Lebas F. (2003). Effect of cooking temperature and cooking time on Warner-Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. *Meat Sci.*, **66** (1), 91-96.

Culioli J. (1994). Le chauffage de la viande: incidences sur la dénaturation des protéines et la texture. *VPC* **15**(5), p.159-164.

Culioli J. (1999). La qualité de la viande bovine : aspects biologiques et technologiques de la gestion de la tendreté. *Bull. Acad. Vét. de France*, **72** : 25-46.

Culler R. A., Parrish F. C., Smith G. C. & Cross H. R. (1978). Relationship of MFI to certain chemical, physical, and sensory characteristics of bovine LD muscle. *Journal of Food Science*, **43**, 1177–1180.

-D-

Dalle Zote A., Ouhayoun J., Parigi Bini R., & Xiccato G. (1996). Effect of age, diet and sex on muscle energy metabolism and related physicochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, **43**, 15–24.

Dalle Zotte A. (2004). Le lapin doit apprivoiser le consommateur : avantages diététiques. *Viandes Produits Carnés*, **23**, 161-167.

Daudin J.D. (1988). La congélation. In: technologie de la viande et des produits carnés. Girard J.P. et Valin C., *APRIA INRA. Technique et documentation. Lavoisier, Paris*, 280p.

Davey C. L. & Winger R. J. (1979). The structure of skeletal muscle and meat toughness. In *Fibrous proteins: scientific, industrial and medical aspects*. Pp. 97-132. Edited by D. A. Oparry & L. K. Creamer. London: Academic Press.

Deffous Y. (2008). L'électroéducation après la saignée et ses conséquences du rendement au nom du bien être animal et au mépris du respect du consommateur et de santé. www.institut-vioscope.com

Deltoro J. & Lopez A.M. (1987). Changes in the chemical composition of rabbit meat during growth *Meat Sci*, **19**, 15-25.

Devine C.E. (2004). Conversion of muscle to meat/Ageing. In: *Encyclopedia of meat sciences* (Eds.: Jensen, W.K./ Devine, C./ Dikeman, M.). Oxford, Elsevier, 336 p.

Dingová H., Fukalová J., Maninová M., Philimonenko V.V. & Hozák P. (2009). Ultrastructural localization of actin and actin-binding proteins in the nucleus. cells. *J. Cell Biochem.* **75**, 686 – 697.

Djellal F., Mouhous A. & Kadi S. A. (2006). Performances de l'élevage fermier du lapin dans la région de Tizi-Ouzou, Algérie *Live stock Research for Rural Development* ,**18** (7) 2006. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/7/djel18100.htm>

Dransfield E., Abouelkaram A., Bauchart D., Culioli J., Jurie C., Lepetit J., Listrat A., Martin J.F. & Picard B. (2002). Qualité sensorielle de la viande provenant de trois muscles de taurillons de réforme de quatre races allaitantes du massif central. *Renc. Rech. Ruminants*, 255-258.

Dumont B.L. (1960). Quelques aspects de la qualité des viandes de boucherie. *Bull. Soc. Sci. Hyg. Aliment*, **48**, 137-146.

-E-

Eadmusik S. (2008). Effets de la vitesse de glycolyse post mortem du muscle de dinde : une analyse biochimique et protéomique. (Rapport de thèse pour l'obtention du grade de Docteur). Université de Toulouse : Toulouse, 193 p.

El Rammouz R. (2005). Etude des changements biochimiques *post mortem* dans le muscle des volailles – contribution au déterminisme de l'amplitude de la diminution du pH. Thèse de doctorat. Ecole doctorale : S.E.V.A.B.

El Rammouz R., Berri C., Le Bihan-Duval E., Babilé R. & Fernandez X. (2004). Poultry Science, **83**, 1445-1451.

-F-

FAO. (1994). Etude FAO production et sante animales, p91- 97.

Ferrah A., Yahiaoui S., Kaci A. & Kabli L. (2003). Les Races De Petits Elevages (Aviculture, Cuniculture, Apiculture, Pisciculture). Recueil des Communications Atelier N°3 «Biodiversité Importante pour l'Agriculture» MATEGEF/PNUD Projet ALG/97/G31.tome X.52-61.

Finzi A., Scappini A. & Tanni A. (1989). Tunisian non conventional rabbit breeding systems. Journal of Applied rabbit research ,**12**, 181 - 184.

Fuentes-Prior P. & Salvesen G. S. (2004). The protein structures that shape caspase-activity, specificity,activation, and inhibition. *Biochem. J.*, **384**, 201-232.

-G-

Gacem M. & Bolet G. (2005). Création d'une lignée issue du croisement entre une population locale et une souche européenne pour améliorer la production cunicole en Algérie. 11èmes Journées de la Recherche Cunicole, 29-30 novembre, Paris, 15-18.

Gagaoua M. (2011). Serpines A₃ bovine : relation fonctionnelles avec leur homologue humain,l'alpha-1-antichymotrypsine.Thèse Magistère en science alimentaires. INATAA Université Mentouri Constantine.171 p.URL : <http://bu.umc.edu.dz/these/agronomie/GAG6051.pdf>.

Gagaoua M., Boudida Y., Becila S., Picard B., Boudjellal A., Sentandreu M.A. & Ouali A. (2012). New Caspases' inhibitors belonging to the serpin superfamily: A novel key control point of apoptosis in mammalian tissues. *Advances in Bioscience and Biotechnology* **3**, 740-50.

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 of the 59th International Congress of Meat Science and Technology*, p. 1- 4, Izmir, Turkey.

Gandemer G. (1990). Les phospholipides du muscle: composition et altération au cours des traitements technologiques. Rev. Fr. Corps Gras, **37**, 75-81.

Garfin D.E. (2003). Two-dimensional gel electrophoresis: an overview, *Trends in Analytical Chemistry*, **22**, 263 – 272.

Garrett G.(2000). Biochimie: protéines majeurs de muscle. Chapitre 17 : Moteurs Moléculaires, 546-563p.

Gondret F. & Bonneau M. (1998). Mise en place des caractéristiques du muscle chez le lapin et incidence sur la qualité de la viande. *Prod. Anim.*, **11**, 335-347.

Gondret F. (1997). Caractéristiques des fibres musculaires et des lipides intramusculaires chez le lapin : effets de l'âge et de l'alimentation. Thèse de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 168 p.

Gondret F., Mourot J. & Bonneau M. (1998). Comparison of intramuscular adipose tissue cellularity in muscles differing in their lipid content and fiber type composition during rabbit growth. *Livest. Prod. Sci*, **54**, 1-10.

Greysen M.L. & Fritz D. (1995). *Post mortem* changes in myofibrillar proteins in relation to meat texture In: Expression of tissue proteases and regulation of protein degradation as related to meat quality.

Guth L. & Samaha F.J. (1972). Erroneous interpretations which may result from application of the " myofibrillar ATPase" histochemical procedure to developing muscle. *Exp. Neurol.*, **34**, 465-475.

-H-

Hamalainen N. & Pette D. (1993). The histochemical profiles of fast fiber types IIB, IID and IIA in skeletal muscles of mouse, rat and rabbit. *J. Histochem. Cytochem.*, **41**, 733-743.

Hamm G. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurement. In P. J. Betchel (Ed.), *Muscle as food* (pp. 135–199). London: Academic Press Inc.

Hamm R. (1982). *Post mortem* changes in muscle with regard to processing of hot boned beef. *Food Technol.*, **13**, 105-115.

Hanne C.B., Sune D., Anders H. K., Henrik J.A. & Hans S.(2001). *Post mortem* energy metabolism and pH development in porcine *M. longissimus dorsi* as affected by two different cooling regimes. A ³¹P-NMR spectroscopic study. *Magnetic Resonance Imaging* **19**, 993–1000.

Hermida, M., Gonzalez, M., Miranda, M., & Rodriguez-Otero J.L. (2006). Mineral analysis in rabbit meat from Galicia (NW Spain). *Meat sci.* 03.004.

Hertzman C., Olsson U. & Tornberg E. (1993). The influence of high temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor, ageing and tenderness of beef muscles. *Meat Science*, **35**, 119–141.

Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Listrat A., Jurie C., Jailler R. & Picard B. (2005). Evolution des recherches sur le muscle des bovins et la qualité sensorielle de leur viande : Influence des facteurs d'élevage sur les caractéristiques musculaires. *Cah. Agric.*, **14**, 365-372.

Honikel K. O. (2004). Water-holding capacity of meat. In M. F. te Pas, M. E. Everts, & H. P. Haagsman (Eds.), *Muscle development of livestock animals: Physiology, genetics and meat quality* (pp. 389–400). Cambridge, MA: CABI Publishing.

Hopkins D. L., Littlefield P.J. & Thompson J. M. (2000). A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. *Meat Sci*, **56**, 19–22.

Hopkins D. L., Ponnampalam E.N., van de Ven R.J. & Warner R.D. (2014). The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. *Animal Production Science*, **54**, 407–413.

Huxley, H. E. (1969). The Mechanism of Muscular Contraction. [Review] *Science*.164: 1356-1365.

-J-

Jeremiah L.E. (1982). A Review of Factors Influencing Consumption, Selection and Acceptability of Meat Purchases. *Journal of Consumer Studies and Home Economics* **6**, 137-54.

Jia X., Hollung K., Therkildsen M., Hildrum K.I. & Bendixen E. (2006b). Changes in enzymes associated with energy metabolism during the early *postmortem* period in *longissimus thoracis* bovine muscle analyzed by proteomics, *J. Proteome Res.* **5**, 1763-1769.

Jia X., Hollung K., Therkildsen M., Hildrum K.I. & Bendixen E. (2006a). Proteome analysis of early *post mortem* changes in two bovine muscle types: *M.longissimus dorsi* and *M. semitendinosus*, *Protéomics*, **6**, 936-944.

Joo S.T., Kauffman R.G., Kim B .C. & Park G.B. (1999). The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility, *Meat science* **52**,291-297.

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. In: *Proceeding of the 7e`mes Journées de la Recherche Cunicole*, Lyon, France, pp. 123–126.

Ke Li., 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* xxx, xxx-xxx.

Koohmaraie M. (1994). Muscle proteinases and meat aging. *Meat Sci*, **36**, 93–104.

Kouame K.G.G. (1992). Contribution à l'étude de la filière traditionnelle des viandes en Côte d'Ivoire: cas de la région d'Abidjan. Th. Méd. Vét.: Dakar:13.

-L-

Laemmli U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680-685.

Lameloise P., Roussel-Ciquard N. & Rosset R. (1984). Evolution des qualités organoleptiques : les viandes : hygiène, technologie. *Inf. Tech. Serv. Vet.*, 88-91, 121-125.

Lametsch R., Roepstorff P. & Bendixen E. (2002). Identification of protein degradation during post-mortem storage of pig meat. *J. Agric. Food Chem.* **50**, 5508–5512.

Lametsch R., Roepstorff P., Moller H. S. & Bendixen E. (2004). Identification of myofibrillar substrates for μ -calpain. *Meat Sci.* **68**, 515–521.

Lawrie R. A. (1974). Chemical and Biochemical Constitution of Muscle. in: *Lawrie's Meat Science*. 2nd ed. Pergamon Press, Oxford, NY. Pages 70-123.

Lawrie R.A. (1991). Chemical and Biochemical Constitution of Muscle. Ed Pergamon Press, New York, Meat Science P 48.

Lebas F. (2013). La biologie du lapin, chapitre 3: Squelette et croissance musculaire.

Lebas F., Coudert P., De Rochambeau H. & Thébault R.G. (1996). Le lapin: Elevage et pathologie (nouvelle version revisitée).FAO éditeur, Rome, 227 pp.

Lorient D., Colas B., Le Meste M. (1988). Propriétés fonctionnelles des macromolécules alimentaires. Diffusion. p7.

Lukefahr S. D. & Cheeke P. R. (1990a). Rabbit project planning strategies for developing countries (1) Practical considerations. *Livestock Research for Rural Development*. (2)2consulté : mars 2006. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd2/3/cheeke1.htm>

Lukefahr S. D. & Cheeke P. R. (1990b). Rabbit project planning strategies for developing countries (2): Research applications. *Live stock Research for Rural Development*. (2)2 consulté: mars 2006. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd2/3/cheeke2.htm>

-M-

Maltin C. (2004). Effect of selection for growth rate on biochemical, quality and texture characteristics of meat from rabbits , *Meat science* **67**,617-624.

Maltin C., Balcerzak D. & Tilley R. (2003). Determinants of meat quality: tenderness, *proceedings of the nutrition society*, **62**, 337-347.

Martin S.J., Reutelingsperger C.P., McGahon A.J., Rader J.A., van Schie,R.C. & LaFace D.M. (1995). Early redistribution of plasma membrane phosphatidylserine is a general feature of apoptosis regardless of the initiating stimulus: Inhibition by over expression of Bcl-2 and Abl. *J. Exp. Med.*, **182**, 1545-1556.

Matsura T., Togawa A., Kai M., Nishida T., Nakada J. & Ishibe Y. (2005). The presence of oxidized phosphatidylserine on Fas-mediated apoptotic cell surface. *Biochim. Biophys. Acta*, **1736**, 181-188.

McGeehin B., Sheridan J.J., & Butler F. (2001).Factor affecting the pH decline in lamb after slaughter, *Meat science* **58**,79 - 84.

Miriam P., Blasco A. & Pla M. (2000). The effect of selection for growth rate on carcass composition and meat characteristics of rabbits. *Meat Science* **54**, 347-355.

Monin G. (1991). Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Productions Animales*, **4**(2):151-160.

-N-

Nishimura T., Rhue M.R., Okitani A. & Kato H. (1988) .Components contributing to the improvement of meat taste during storage. *Agric. Biol. Chemistry*, **52**, 2323–2330.

Normand J. (2005). Couleur de la viande de veau et de gros bovins. *Interbev* : Paris, 28 p.

-O-

Offer G. & Trinick J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, **8**, 245–281.

Othmani-Mecif K. & Benazzoug Y. (2005). Caractérisation de certains paramètres biochimiques plasmatiques et histologiques (tractus génital femelle) chez la population locale de lapin (*Oryctolagus cuniculus*) non gestante et au cours de la gestation. *Sciences et technologie C-N°23*, pp.91-96.

Ouali A. (1990). La maturation des viandes: facteurs biologiques et technologiques de variation. *Viandes et produits carnés*, **11**, 281-290.

Ouali A. (1990). La maturation des viandes: facteurs biologiques et technologiques de variation. *Viandes et produits carnés*, **11**, 281-290.

Ouali A. (1992).Proteolytic and physiochemical mechanisms involved in meat texture development. *Biochme* **747**,251-265.

Ouali A., Gagaoua M., Boudida Y., Becila S., Boudjellal A., Herrera-Mendez C.H. & Sentandreu M.A. (2013) Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and

perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. *Meat Sci* **95**, 854-70.

Ouali A., Herrera-Mendez C.H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L. & Sentandreu M.A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, **74**(1):44-58.

Ouhayoun J. (1984). La croissance et le développement du lapin de chair. *Cuni Sci*, **1** (1):1-15.

Ouhayoun J. (1985). La viande de lapin : caractéristiques, technologie. Viandes de volaille, lapin, gibier d'élevage: Bilans et perspectives. Apria, Toulouse, 117-142.

-P-

Parrish F. C., Vandell C. J. & Culler R. D. (1979). Effect of maturity and marbling on the myofibril fragmentation index of bovine longissimus muscle. *J. Food Sci.* **48**, 1668–1671.

Pascual M. & Pla M. (2007). Changes in carcass composition and meat quality when selecting rabbits for growth rate. *Meat Science* **77**, 474–481

Pearson A. M. (1987). Muscle Function and Post Mortem Changes. in : *The Science of Meat and Meat Products*. Price, J. F., and Schweigert, B. S., eds. Food and Nutrition Press, Inc. Westport, Connecticut. Pages 307-327.

Pearson, A. M. & Young, R. B. (1989). *Muscle and Meat Biochemistry*. San Diego: Academic Press Inc. 457 pp.

Penfield M.P. & Meyer B.H. (1975). Changes in tenderness and collagen of beef semitendinosus heated at two rates. *Journal of Food Science*, **40**(1):150-154.

Penny I. F. (1977). The effect of temperature on the drip denaturation an extra cellular space of pork *Lgongissimus dorsi* muscle. *J. Sci. Food Agric.*, **28**, 329-338p.

Pla M., Guerrero L., Guardia D., Oliver M.A. & Blasco A. (1998). Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: I. Between lines comparison. *Livest. Prod. Sci.* **54**, 115–123p.

Pla M., Hernandez P., Arino B., Ramirez J. A. & Diaz I. (2007). Prediction of fatty acid content in rabbit meat and discrimination between conventional and organic production systems by NIRS methodology. *Food Chemistry*, **100**(1), 165–170p.

Poirier J., Ribadeau J. L., Catila M., Andre J. M., Gherardi R. & Bernaudin J. F. (1999). *Histologie Moléculaire*. Paris : Masson. 430 pp.

Purslow P. P. (2002). The structure and functional significance of variations in the connective tissue within muscle. *Comparative Biochememistry and Physiology, Part A*, **133**, 947–966.

-R-

Raggi A., Bergamini, C.& Ronca G. (1975). Isozymes of AMP Deaminase in Red and White skeletal Muscle. *FEBS Lett.* **58** : 19-23.

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 biochemicals quality and texture Characteristics of meat from rabbits. *Meat science.* **67**, 617-624.

Rao, J.Y., Jin, Y.S., Zheng, Q., Cheng, J., Tai, J., et Hemstreet, G.P., (1999).

Renand G., Havy A., & Turin F. (2002). Caractérisation des aptitudes bouchères et qualités de la viande de trois systèmes de production de viande bovine à partir des races rustiques françaises Salers, Aubrac et Gasconne. *Prod. Anim.*, 171-183.

-S-

Salifou C.F.A., Youssao A.K.I., Ahounou G.S., Tougan P.U., Farougou S., Mensah G.A. & Clinquart A. (2012). Critères d'appréciation et facteurs de variation des caractéristiques de la carcasse et de qualité de la viande bovine. *Ann. Méd. Vét.*, 2013, **157**, 27-42

Salvini S., Parpinel M., Gnagnarella P., Maisonneuve P. & Turrini A. (1998). Banca dati di composizione degli alimenti per studi epidemiologici in Italia. Ed Istituto Superiore di Oncologia. Milano, 958p.

Sentandreu M.A., Coulis G. & Ouali A. (2002). Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends Fd. Sci. Technol.* **13**(12), 400-21.

Simon G. (2012). Les lapins et leurs multiples qualités mises en scène dans la publicité. COMGOM.

Smith G.C., Culp G.R. C& arpenfer Z.L. (1978). *Post mortem* aging of beef carcasses. *J. Food Sci.*, **43**, 823–826.

Staron T. (1975). Viande et alimentation humaine, 116p.

-T-

Taylor R. G., Geesink G. H., Thompson V. F., Koohmaraie M. & Goll D. E. (1995). Is technologiques, Journées de recherche Cunicole ; Paris Grignon.

Thieulin G. (1970). La viande. Paris: Edition Max Brezel, 1970-184 p.

-V-

Veiseth E., Shackelford S.D., Wheeler T.L. & Koohmaraie M. (2001). Technical note: Comparison of myofibril fragmentation index from fresh and frozen pork and lam *Longissimus*. *J. Anim. Sci.*, **79**, 904–906.

Verbeke W., Van Wezemael L., De Barcellos M.D., Kugler J.O., Hoquette J.F., Ueman O. & Grunert K.G.(2010). European beef consumers' interest in a beef eating quality guarantee insights from a qualitative study in four eu countries. *Appetite*, **54**, 289-296

Voges K.L., Mason C.L., Brooks J.C., Delmore R.J., Griffin D.B., Hale D.S., Henning W.R., Johnson D.D., Lorenzen C.L., Maddock R.J., Miller R.K., Morgan J.B., Baird B.E., Gwartney B.L. & Savell J.W. (2007). National beef tenderness survey – 2006: Assessment of Warner–Bratzler shear and sensory panel ratings for beef from US retail and foodservice establishments. *Meat Science* **77**, 357-64.

-W-

Wheeler T.L. & Koohmaraie M. (1994). Pré rigor and post rigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle, *Journal of Animal Sci.*,**72**, 1232-1238.

-Y-

Youle R.J. & Karbowski M. (2005). Mitochondrial fission in apoptosis. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.*, **6**, 657-663.

-Z-

Zamora F., Debiton E., Lepetit J., Lebert A., Dransfield E. & Ouali A. (1996). Predicting variability of ageing and toughness in beef M. *Longissimus lumborum et thoracis*. *Meat Sci.*, **43**, 321-333.

Zerrouki, N.; Bolet, G.; Berchiche, M.1.; Lebas, F. (2004). Breeding performance of local kabylian rabbits does in Algeria. 8th World Rabbit Congress (accepted communication), 371-377.

Annexe I

❖ Préparation du réactif Bradford

Dissoudre 100 mg de bleu de Coomassie G-250 dans 50 ml d'éthanol à 95% et ajouter 100ml d'acide phosphorique à 85% en remuant sans cesse. Lorsque le colorant est dissous diluée à 1L dans l'eau. Le réactif est stable pendant jusqu'à un mois à température ambiante, mais à long terme de stockage conserve à 4 °C, si les précipitations se produisent avant l'utilisation du filtre.

❖ Réactifs et produits utilisés

Produits
Tris
SDS
TEMED
Persulfate d'ammonium
Glycérol
Tricine
Bleu de coomassie R250
Ethanol
Acide acétique
KCl
K ₂ HPO ₄
KH ₂ PO ₄
EDTA
MgCl ₂
B-mercaptoéthanol
Glycine

Annexe II

Courbe d'étalonnage, dosage des protéines par la méthode [Bradford \(1976\)](#)

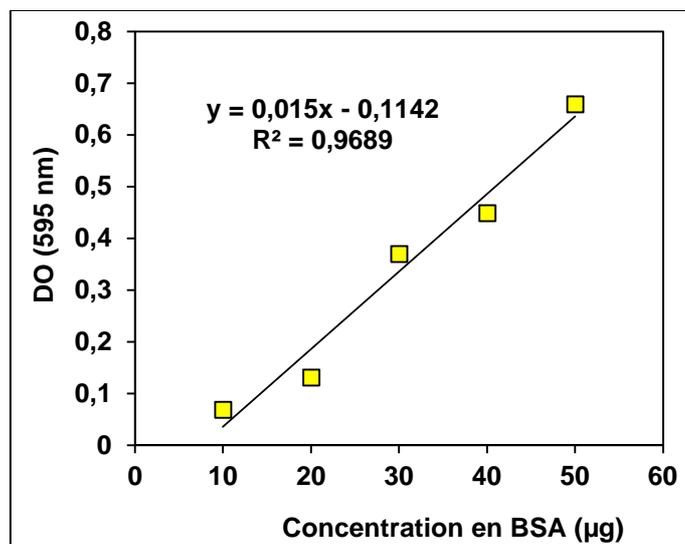


Figure II.1. Courbe d'étalonnage de dosage des protéines myofibrillaires par la méthode de Bradford.

Annexe III

« Protocole SDS-PAGE » (Laemmli, 1970)

1. Solution de solubilisation des protéines (tampon échantillon)

Tampon de solubilisation: pH 6,8

Produit	Concentration pourcentage	Quantité (g)
Tris-HCl	312,5 mM	1,892
EDTA	0.4 mM	0,007
SDS	7.5 %	3,75
Glycérol	25 %	12,5
β -mercaptoéthanol	/	0.025
Bleue de bromophénol	0.05%	800 μ l

Volume : 50 mL

2. Solutions tampons utilisées pour l'électrophorèse

2.1. Tampon de migration : pH 8.3

Produit	Concentration/pourcentage	Quantité
Tris	0.025 M	1,06 g
Glycine	0.192 M	5,04 g
MCE	0.05 %	175 μ L
SDS	0.1 %	0,35 g

Volume : 350 mL

2.2. Solution de fixation et de décoloration

Produit	Quantité
Acide acétique	5 %
Alcool (éthanol)	30 %

Volume : 300 mL

2.3. Solution de coloration

Produit	Quantité
Acide acétique	10 %
Alcool (éthanol)	40 %
Bleu de coomassie R250	2,9 mM

Volume : 200 mL

3. Solution pour les gels d'électrophorèse

3.1. Tampon Résolving (séparation): pH 8.8

Produit	Concentration/pourcentage	Quantité
Tris-HCL	3 M	36.35 g
SDS	0.8 %	0.8 g
Mercaptoéthanol (MCE)	0.4 %	400 µl

Volume : 100 mL

3.2. Tampon Stacking (concentration) : pH 6.8

Produit	Concentration/pourcentage	Quantité
Tris-HCL	0.5M	6.054 g
SDS	0.4 %	0.4 g
MCE	0.2 %	200 µl

Volume : 100 mL

3.3. Solution d'acrylamide

Produit	Pourcentage	quantité (g)
Acrylamide	30%	15
Bis acrylamide	0.8%	0.4

4. Gels d'électrophorèse

4.1 Gel de séparation à 12%

Réactif	Volume
Solution d'acrylamide	2.5ml
Tampon de séparation (Résolving)	5.2ml
TEMED	20µl
Persulfate d'ammonium(APS)	100µl
Eau distillée	4.4ml

4.2. Gel de concentration à 7.5%

Réactif	Volume
Solution d'acrylamide	2.5ml
Tampon de concentration (Staking)	2.5ml
Temed	10 μ l
Persulfate d'ammonium (APS)	100 μ l
Eau distillée	4900 μ l

Résumé

Le processus de transformation du muscle en viande est un concept complexe qui englobe une multitude de propriétés différentes influencées par : des paramètres physico-chimiques et biochimiques. Dans ce contexte, notre objectif à travers cette étude est une contribution à l'étude de quelques mécanismes biochimiques responsables de l'évolution de ces paramètres durant la maturation du viande de lapin. Nos expériences ont été réalisées sur deux types de muscle à savoir le *Longissimus dorsi* (LD) et le *Biceps femoris* (BF) de 6 lapins de la race *Albinos*, âgés d'environ 10 à 11 semaines. Les deux muscles LD et BF ont été prélevés après l'abattage de l'animal suivi d'une cinétique afin d'étudier l'évolution du pH *postmortem*, la capacité de rétention d'eau (CRE), les pertes en eau à la cuisson, l'indice de fragmentation des protéines myofibrillaires (IFM) et le suivi de la cinétique de la protéolyse par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en conditions dénaturantes (SDS-PAGE).

Les résultats obtenus à travers cette étude nous permis de préciser le rôle important du pHu dans le phénomène d'attendrissage de la viande du lapin et leur influence sur l'évolution des autres paramètres. La vitesse de la chute du pH *post mortem* est plus élevée dans le muscle oxydatif lent (LD) que dans le muscle BF à métabolisme glycolytique rapide. Il ressort de ceci que le muscle BF exhibe les qualités technologiques plus faibles que le muscle LD. Ainsi une différence dans la capacité de rétention d'eau et la dégradation des protéines myofibrillaires a été observée entre ces deux muscles, les valeurs obtenus sont plus élevées dans le muscle LD que le muscle BF, donc ces paramètres sont des facteurs de tendreté de la viande. En conclusion, nos résultats tendent à qualifier le muscle LD d'avoir une maturation plus rapide que le muscle BF.

Mots clés : Muscle de lapin, qualités des viandes, attendrissage, *postmortem*, pHu, protéolyse.

Abstract

The transformation of the muscle to meat process is a complex concept that includes a multitude of different properties influenced by physico-chemical and biochemical parameters. In this context, our objective through this study is a characterization of some biochemical characteristics responsible in the evolution of these parameters during maturation of the muscle meat rabbit. Our experiences have been carried out on two muscles: *Longissimus dorsi* (LD) and *Biceps femoris* (BF) from six rabbits of the *Albinos* breed, aged of about 10 to 11 weeks. The two muscles sampled after slaughtering of the animals were subjected to a kinetic study, in order to follow the evolution of the *postmortem* pH, water holding capacity (WHC), cooking losses (CL), myofibrillar fragmentation index (IFM) and *postmortem* protein degradation using a polyacrylamide gel electrophoresis.

The obtained results in this study allowed us to specify the potential role of ultimate pH in the tenderizing process of rabbit meat and its influence on the evolution of the other parameters. The rate of the *postmortem* pH fall is more significant in slow oxidative muscle (LD) than BF muscle known to be a glycolytic muscle. It is obvious from the obtained results that BF muscle exhibits the weakest technological qualities than the LD one. Therefore, WHC was found to be significantly different between the two muscles. In conclusion, our results have characterized the LD muscle tender than BF.

Keywords: Muscle of rabbit, qualities of meats, attendrissage, *post mortem*, pHu, proteolysis.