

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MONTOURI CONSTANTINE

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

n ° d'ordre: 09/ Mag/ 2007  
n ° Série : 003 /INAT/ 2007

## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du

**DIPLOME DE MAGISTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES  
OPTION BIOCHIMIE ET TECHNOLOGIES ALIMENTAIRES**

## **THEME**

**ETUDE DES PARAMETRES BIOLOGIQUES INTERVENANT DANS  
L'ATTENDRISSAGE NATUREL DE LA VIANDE OVINE  
ET LEURS RELATIONS AU FACTEUR TYPE DE MUSCLE**

Par : Ameni HARKATI

Soutenu le : 30/04/2007

Devant le jury:

Président : AGLI A

Rapporteur : ZIDOUNE M. N

Examineur: KHLIFI D

Examineur: MERGHEM R

Professeur UMC INATAA

Professeur UMC INATAA

Professeur UMC Faculté des sciences de la nature

Professeur UMC Faculté des sciences de la nature

# Sommaire

Liste des abréviations.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	

## **INTRODUCTION** **1**

## **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>1/ Aspects économiques.....</b>	<b>3</b>
1.1/Production de viande ovine dans le monde.....	3
1.2/Production de viande ovine en Algérie.....	3
1.3/ races ovines algériennes.....	4
<b>2/ Le tissu musculaire strié.....</b>	<b>5</b>
2.1/Définition du muscle strié.....	5
2.2/Composition chimique.....	5
2.3/Structure du tissu musculaire strié.....	5
2.4/ protéines musculaires.....	7
2.4.1/Les protéines du stroma.....	7
2.4.2/Les protéines sarcoplasmiques.....	7
2.4.3/Les protéines myofibrillaires.....	7
2.5/ Polymorphisme musculaire.....	8
<b>3/ La transformation du muscle en viande.....</b>	<b>9</b>
3.1/ Phases de la transformation du muscle en viande.....	10
3.2/Mécanisme Rigidité cadavérique et maturation.....	11
3.3/ Evolutions de paramètres biologiques au cours de la maturation.....	12
3.3.1/ La température.....	12
3.3.2/ Le PH.....	12
3.3.3/ La pression osmotique.....	12
3.3.4/ La capacité de rétention d'eau.....	13

3.3.5/ Les propriétés électriques.....	14
3.4/ Evolution structurale.....	14
3.4.1/ Evolution de la structure myofibrillaire.....	14
3.4.2/ Evolution de la structure collagénique.....	15
3.5/ Tendreté de la viande.....	15
3.5.1/ Définition.....	15
3.5.2/ Méthode d'évaluation de la tendreté de la viande.....	15
3.6/ Attendrissement naturel de la viande.....	16
3.6.1/ Mécanisme physico-chimique.....	17
3.6.2/ Mécanisme enzymatique.....	19
3.7/ Facteurs de différenciation de la tendreté de la viande.....	20
3.6.1/ Facteurs agissant sur l'animal vivant.....	20
3.6.2/ Facteurs agissant sur la carcasse.....	21

## **MATERIEL ET METHODES**

---

<b>1/ Méthodologie.....</b>	<b>23</b>
<b>2/ Matériel biologique.....</b>	<b>24</b>
<b>3/ Abattage et prélèvement des échantillons.....</b>	<b>25</b>
<b>4/ Mesures et suivi des paramètres physico-chimiques .....</b>	<b>26</b>
4.1/ La température .....	26
4.2/ Le pH .....	26
4.3/ Estimation de la capacité de rétention d'eau tissulaire.....	27
4.4/ La conductivité électrique et estimation de l'osmolarité.....	27
<b>5/ Estimation de la protéolyse des protéines myofibrillaires par électrophorèse.....</b>	<b>29</b>

<b>6/ Estimation de la tendreté de la viande au pénétromètre.....</b>	<b>31</b>
<b>7/ Analyse statistique.....</b>	<b>33</b>
7-1/ caractéristiques des cinétiques de paramètres physico-chimiques.....	33
7-2/ Analyse de la variance.....	34
7-3/ Régression linéaire multiple.....	34

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

---

<b>1/Présentation générale.....</b>	<b>35</b>
<b>2/ Caractéristiques des animaux et des muscles.....</b>	<b>36</b>
<b>3/ Evolution des différents paramètres étudiés au cours du temps <i>post mortem</i>.....</b>	<b>36</b>
3-1/ Evolution des paramètres physico-chimiques .....	36
3-1-1/ Cinétique de la température.....	37
3-1-2/ Cinétique du pH .....	39
3-1-3/ Cinétique de la capacité de rétention d'eau.....	41
3-1-4/ Cinétique de la conductivité électrique.....	43
3-1-5/ Cinétique de l'osmolarité.....	45
3-2/ Discussion des cinétiques des paramètres physico-chimiques.....	46
3-3/ Détermination des caractéristiques des cinétiques des paramètres physico-chimique .....	50
3-2 / Illustration de la protéolyse des protéines myofibrillaires par électrophorèse.....	52
3-2-1/ Détermination de la courbe d'étalonnage du kit des protéines.....	52
3-2-2/ Identification des protéines initiales des quatre muscles.....	53
3-2-3/ Protéolyse des protéines myofibrillaires selon les muscles.....	56
A/ le muscle <i>logissimus dorsi</i> .....	56
B/ le muscle <i>semi membranosus</i> .....	57
C/ le muscle <i>semi tendinosus</i> .....	58
D/ le muscle <i>rectus femoris</i> .....	59
3-2-4/ Discussion des résultats de l'électrophorèse.....	63

3-3/ Evolution de la tendreté .....	61
3-3-1/ Cinétique de l'évolution.....	61
3-3-2/ Discussion de la cinétique d'évolution de la tendreté.....	63
<b>4/ Détermination de l'effet du facteur type de muscle sur les paramètres étudiés.....</b>	<b>64</b>
4-1/Effet sur les paramètres physico-chimiques .....	64
4-1-1/ Effet sur le pH .....	64
4-1-2/ Effet sur la capacité de rétention d'eau.....	66
4-1-3/ Effet sur la conductivité électrique et l'osmolarité.....	66
4-2/ Effet sur les résultats de l'électrophorèse.....	67
4-3/ Effet sur les résultats de la pénétrométrie.....	68
<b>5/ Etude des corrélations entre les différents paramètres étudiés.....</b>	<b>69</b>
5-1/ Corrélations entre les paramètres physico-chimiques .....	70
5-2/ Corrélations entre les paramètres physico-chimiques et la tendreté.....	70

---

**CONCLUSION GENERALE** **73**

---

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES** **74**

## Liste des abréviations

**ATP** : adénosine triphosphate.

**CE** : conductivité électrique.

**CRE** : capacité de rétention d'eau.

**EDTA** : acide éthylène diamine tétra-acétique

**EGTA** : acide éthylène glycol tétra-acétique

**kDa**: kilo Dalton

**LD**: *longissimus dorsi*.

**μS** : micro Siemens.

**pHu** : pH ultime

**Pm** : *post mortem*.

**PM** : poids moléculaire.

**PP** : profondeur de pénétration.

**QJE**: quantité de jus extractible.

**RF** : *rectus femoris*.

**Rf** : rapport frontal.

**SDS** : sodium dodécyl sulfate.

**SM** : *semi membranous*.

**ST** : *semi tendinosus*.

**TEMED**: N, N, N', N'-tetramethylethyldiamine.

**TRIS**: tris (hydroxyméthyl) aminométhane.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Evolution de la production de la viande ovine dans le monde (en milliers d'équivalent poids carcasse FAO.2005).....	3
<b>Tableau2:</b> Evolution de la production de viande en algérie. (En milliers d'équivalent poids carcasse) (FAO,2005).....	3
<b>Tableau 3 :</b> Races ovines connues en Algérie (selon CHELLIG,1992).....	4
<b>Tableau4 :</b> Composition chimique moyenne du muscle (ASHGAR et PEARSIN, 1980).....	5
<b>Tableau5 :</b> Composition et localisation des protéines myofibulaires (PEARSON et YONG, 1989).....	8
<b>Tableau 6 :</b> Coefficients de corrélation entre les propriétés électriques et la qualité de la viande bovine à 2.7 et 14 jours (TROY, 1999).....	17
<b>Tableau 7 :</b> Illustration de la dégradation de la tendreté après un ressuage à 1°C. (LOKER, 1985 ; INTERVEB,1992).....	20
<b>Tableau 8 :</b> Caractéristiques des animaux utilisés dans la partie expérimentale.....	24
<b>Tableau 9 :</b> Concentrations de la gamme étalon de solutions de NaCl et leurs osmolarités équivalentes.....	28
<b>Tableau 10 :</b> Poids des carcasses et des muscles des animaux utilisés dans le travail .....	36
<b>Tableau 11:</b> Evolution <i>post mortem</i> de la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ de muscle) et de l'osmolarité (mOsmol/g de muscle) des muscles.....	46
<b>Tableau 12 :</b> caractéristiques des cinétiques des paramètres physico-chimiques.....	50
<b>Tableau 13 :</b> Indices de ressemblance entre les diagrammes électrophorétiques des muscles étudiés (exprimé en %).....	55
<b>Tableau 14 :</b> Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur le pH <i>post mortem</i> .....	65
<b>Tableau 15 :</b> Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur la CRE <i>post mortem</i> .....	66
<b>Tableau 16 :</b> Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur la CE et l'osmolarité <i>post mortem</i> .....	67
<b>Tableau 17 :</b> Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur la PP <i>post mortem</i> .....	68

<b>Tableau 18 :</b> Matrices de corrélation des paramètres physico-chimiques au cours du temps <i>post mortem</i> .....	70
<b>Tableau 19 :</b> Coefficients de corrélation des paramètres physico-chimiques à la profondeur de pénétration au cours du temps <i>post mortem</i> .....	72
<b>Tableau 20:</b> Coefficients de corrélation des paramètres physico-Chimiques (1.4.6.8.10.12.et 24h PM) à la profondeur de pénétration 48h <i>post mortem</i> .....	73
<b>Tableau 21 :</b> Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des cinétiques des paramètres physico-chimiques et la profondeur de pénétration 48h <i>post</i> <i>mortem</i> .....	73

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Tissu musculaire strié squelettique en microscopie électronique.....	6
<b>Figure 2</b> : Ultra structure du sarcomère (CHERET ,2005).....	6
<b>Figure3</b> : schéma de la myosine et l'actine (CHERET, 2005).....	7
<b>Figure 4</b> : Illustration de l'évolution de la dureté d'un muscle après l'abattage (OUALI,1990) .....	10
<b>Figure 5</b> : Méthodologie adoptée en vue de situer les possibilités de prédiction.....	23
<b>Figure 6</b> : chronométrage des étapes de prélèvement et de conservation des muscles destinés au suivi des cinétiques.....	25
<b>Figure 7</b> : Courbe étalon obtenue à partir de solutions de Na Cl.....	28
<b>Figure 8</b> : Schéma d'extraction des myofibrilles pour analyse électrophorétique selon (ZAMORA, 1997).....	29
<b>Figure 9</b> : Pénétrromètre PNP 10 PETROTEST.....	32
<b>Figure 10</b> : Schéma du principe de la pénétrrométrie.....	33
<b>Figure 11</b> : Détermination in de la vitesse d'évolution des paramètres suivis en cinétique...	33
<b>Figure 12</b> : Evolution <i>post mortem</i> de la température des muscles.....	38
<b>Figure 13</b> : Evolution <i>post mortem</i> du pH des muscles.....	40
<b>Figure 14</b> : Evolution <i>post mortem</i> de la QJE des muscles.....	42
<b>Figure 15</b> : Evolution <i>post mortem</i> de la CE des muscles.....	44
<b>Figure 16</b> : Evolution <i>post mortem</i> de l'osmolarité des muscles.....	45
<b>Figure 17</b> : Présentation du résultat de migration des protéines du kit.....	52
<b>Figure 18</b> : Courbe d'étalonnage des protéines du kit .....	53
<b>Figure 19</b> : Eléctrophorégrammes des quatre muscles à 1 heure <i>post mortem</i> .....	53
<b>Figure20</b> : Profils protéiques des protéines myofibrillaires de différentes espèces.....	54
<b>Figure 21</b> : Eléctrophorégrammes des protéines myofibrilles du muscle LD au cours du temps <i>post mortem</i> .....	56
<b>Figure 22</b> : Eléctrophorégrammes des protéines myofibrilles du muscle SM au cours du temps <i>post mortem</i> .....	57
<b>Figure 23</b> : Eléctrophorégrammes des protéines myofibrilles du muscle ST au cours du temps <i>post mortem</i> .....	58
<b>Figure 24</b> : Eléctrophorégrammes des protéines myofibrilles du muscle RF au cours du temps <i>post mortem</i> .....	59
<b>Figure 25</b> : Profondeurs de pénétration en (mm) au cours du temps <i>post mortem</i> .....	62

## **INTRODUCTION**

Jusqu'à nos jours la viande constitue une denrée de première nécessité dans le monde, suivant qu'elle est une source importante de nutriments et par suite de son tonus émotif, elle est l'aliment par excellence dont la consommation est freinée seulement par les prix .

Par ailleurs, la filière viande représente un chiffre d'affaire important dans l'industrie agroalimentaire, elle fait vivre une fraction notable du monde agricole et participe très largement par l'élevage à l'herbe au maintien de l'environnement rural.

Selon la FAO (2005), la production mondiale de la viande en 2004 s'établit à environ 258 millions tonnes. En Algérie, la même référence note une production de 601 mille de tonnes, formée principalement par la viande ovine qui constitue 215 mille tonnes. Les ovins représentent la tradition en matière d'élevage en Algérie et ils ont toujours constitué l'unique revenu du tiers de la population algérienne. (CHELLIG ,1982).

De part ses qualités vient de plus proche la qualité organoleptique qui intervient largement dans cette filière, et qui s'apprécie essentiellement au travers de deux critères qui sont la couleur et la tendreté. En effet, si l'acte d'achat de la viande fraîche est surtout fonction de l'aspect du produit (couleur, importance du gras,...); la fidélisation du consommateur est largement fonction de sa tendreté (DEBITON, 1994). Cette tendreté qui est perçue par le consommateur comme la qualité organoleptique la plus importante (OUALI et coll., 1987 et KOOHMARAIE, 1993) a été l'objet de recherches qui ont été menées pour tenter de mieux comprendre et contrôler cette caractéristique sensorielle. Le principal problème qui se pose depuis longtemps est la variabilité de la tendreté en fonction des animaux qui est d'autant plus grave que les conditions de conservation des carcasses après l'abattage.

Différentes études ont permis d'identifier les effets de l'espèce, de la race, du sexe, de l'âge des animaux ; cependant les variations individuelles sont très importantes. PICARD et coll (2002) rapportent que chez les animaux producteurs de viande, l'étude des différents types de muscles à travers les fibres musculaires présente un intérêt fort puisque leurs propriétés sont impliquées dans le déterminisme de divers aspects de la qualité de la viande tel que la tendreté, la saveur, la couleur et la rétention d'eau.

Dans ce cadre, des études ont commencé au niveau de l'INATAA dans le but de la détermination de paramètres biologiques responsables de la variabilité de l'attendrissage naturel de la viande avec comme matériel biologique la viande ovine, notre étude vise donc la continuité du travail commencé par BECILA (2002) qui avait le but de déterminer l'influence des paramètres physico-chimiques sur la maturation de la viande d'agneau.

L'objectif principal de ce travail est l'étude des paramètres physico-chimiques et biochimiques intervenant dans le processus d'attendrissage naturel de la viande ovine, en prenant en considération le facteur variabilité du type de muscle.

La démarche suivie s'appuie donc sur les axes suivants:

- suivi des cinétiques des paramètres physico-chimiques à des temps *post mortem* (1, 4, 6, 8, 10, 12,24 et 48h).
- étude de la protéolyse des protéines myofibrillaires au cours de ce phénomène.
- étude des relations qui peuvent exister entre ces différents paramètres et la tendreté afin de prédire la tendreté finale de la viande.
- par analyse statistique des résultats, l'étude de l'effet du facteur type de muscle sur le phénomène de l'attendrissage naturel de la viande ovine a été testé, en utilisant les muscles suivants:

-*Longissimus dorsi* (LD)

- *Semi membranosus* (SM)

-*Semi tendinosus* (ST)

-*Rectus femoris* (RF)

## 1/ASPET ECONOMMIQUE

Au plan économique, la viande de boucherie fait partie des productions agricoles et même industrielles. Elle provient de différentes espèces animales : bovine, ovine, caprine, porcine, cameline, lapine, volaille, et gibier.

### 1-1/Production de viande dans le monde

La production totale de viande dans le monde est donnée par la FAO (2005) ou on note en décembre 2004:258,935 millions de tonnes avec prévision 2005 d'environ 264 millions de tonnes suivant un indice de croissance annuel de 2,5%. Pour la viande ovine les résultats sont présentés dans le tableau n°1.

**Tableau 1** : Evolution de la production de viande ovine dans le monde (En milliers, poids carcasse).

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
<b>Total</b>	10436	10783	10991	11354	11458	11826	12258	12617	12908
<b>Pays développés</b>	3276	3338	3345	3387	3220	3213	3263	3263	3284
<b>Pays en développement</b>	7160	7444	7647	7967	8168	8613	9042	9354	9624

\* : estimations .Source : FAO ; 2005 . Note totale calculée sur des données non arrondie

La croissance progressive doit être imputable essentiellement aux restrictions frappant la production bovine liée à la psychose de l'encéphalopathie spongiforme bovine en 1996 d'une part, et d'autre part aux perturbations du marché de volaille dues aux épidémies de la grippe aviaire.

### 1-2 / Production de viande en Algérie :

La production animale prend appui sur un cheptel en évolution progressive mais qui ne couvre que 25 à 35% des besoins alimentaires de la population dont 80% pour la viande rouge. D'après la FAO (2005) la production algérienne totale en viande est de 601 mille tonnes en 2004 avec un indice de croissance de production annuel de 2% au cours de la période 2003-2004-2005 (tableau2).

**Tableau2** : Evolution de la production de viande en Algérie. (En milliers, poids carcasse).

Année	97	98	99	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
<b>Total</b>	501	527	527	550	595	503	559	601	609
<b>Ovine</b>	179	179	175	176	177	192	200	213	215
<b>Volaille</b>	210	233	224	230	231	244	247	250	252
<b>Autres</b>	112	115	128	144	187	67	112	138	142

\* estimations. Source : FAO ; 2005.Note totale calculée sur des données non arrondie

Ces disponibilités situent la consommation des viandes rouges en Algérie à environ 10kg /an habitant (ONS, 2003).

### 1.3/Les races ovines algériennes

Les ovins représentent la tradition en matière d'élevage en Algérie. Le troupeau est concentré essentiellement dans la région steppique où il est mené en système intensif. C'est le seul animal de haute valeur économique à pouvoir tirer partie des immenses espaces des millions d'hectares de pâturage des régions arides constituées par la steppe. Le cheptel est constitué de races principales et de races secondaires qui sont présentées dans le tableau n°3.

**Tableau 3:** Races ovines connues en Algérie (selon CHELLIG, 1992).

Races	Berceaux	Types	Caractéristiques de la viande
<b>Races principales</b>			
Arabe blanche (Ouled Djellal)	Ouad Touil à la frontière tunisienne	-Laghouat-Cellala-Tagine -Hodna -Ouled Djellal	Excellente, succulente avec goût de l'armoise.
Hamra (Bni Ighil)	Chott Chergui à la Frontiere Marocaine	-El Bayed -El Aricha-Sebdou -Malakon et Chott Chergui	Bonne race à viande avec gigot rond et petit apprécié en Europe
Rumbi	Ouad Touil Chott Chergui		Même que celle de l'arabe blanche.
<b>Races secondaires</b>			
Berbere	Atlas Tellien		Moyenne, un peu dure
Barbarine	Erg Oriental		Engraissement rapide
D'men	Erg occidental		Mediocre et dure
Tergui-sidaou	Hoggar-AinSalah		En dessous de la moyenn et dure.

## 2/ LE TISSU MUSCULAIRE STRIE

### 2.1/Définition du muscle strié

Selon SERG (2005), le terme tissu musculaire recouvre l'ensemble des cellules douées de propriété contractile et groupées au sein de structures organisées qui sont les muscles.

### 2.2/Composition chimique :

ASHGAR et PEARSIN en 1980 rapportent que l'eau et les protéines sont les deux composants principaux du muscle (tableau 4).

**Tableau 4 :** Composition chimique moyenne du muscle

(ASHGAR et PEARSIN, 1980)

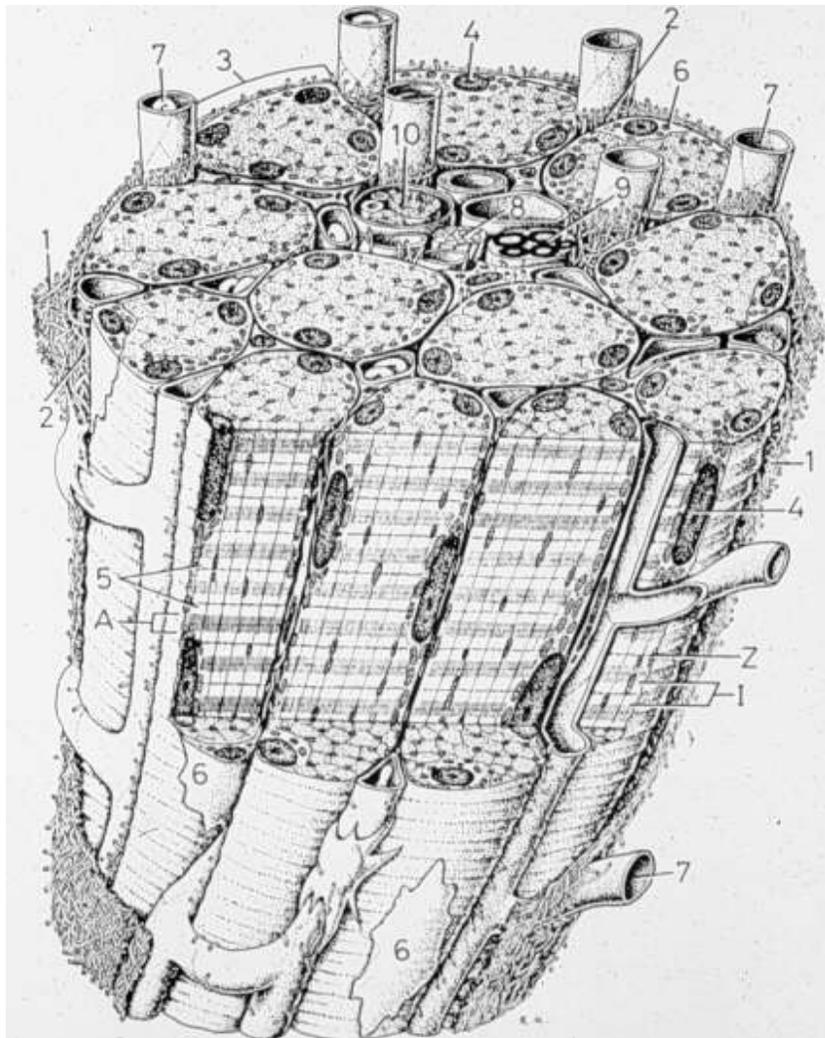
- Eau -----	75%
- Protéines -----	19%
- Lipides -----	2%
- Autres substances : -----	4%

(Glucides, substances azotées non protéiques, sels minéraux et vitamines.)

### 2.3/Structure du muscle strié

Le tissu musculaire strié comprend quatre composantes qui sont : la composante nerveuse, la composante vasculaire, la composante conjonctive et la composante musculaire (Voire figure n°1).

Les fibres ou cellules musculaires sont délimitées par une membrane plasmique appelée sarcolème et représentent l'unité fonctionnelle de ce tissu. Près de 80% du volume de la fibre est occupé par les myofibrilles, structures constituées de myofilaments dont le glissement les uns par rapport aux autres est à l'origine du phénomène de contraction. En microscopie électronique, les myofibrilles présentent une alternance de bandes sombres ou bandes A (anisotropes) et de bandes claires ou bandes I (isotropes). Le sarcomère, unité de base de l'appareil contractile représente l'espace entre deux lignes sombres appelées lignes Z, située au milieu de la bande I. La bande M quant à elle, est localisée au milieu de la bande A. Les bandes A et I, sont respectivement constituées par les filaments épais de myosine et les filaments fins d'actine (Figure n°2).



Structure d'un faisceau musculaire (G=X 2000)

1. périmysium
2. endomysium
3. fibres musculaires
4. noyau
5. myofibrilles
6. cellules satellites
7. vaisseaux sanguins
8. fibres nerveuses amyéliniques
9. fibres nerveuses myéliniques
10. fuseau neuro-musculaire

A - bande sombre du sarcomère  
I - bande claire du sarcomère

Fig 1 : Tissu musculaire strié squelettique en Microscopie Electronique

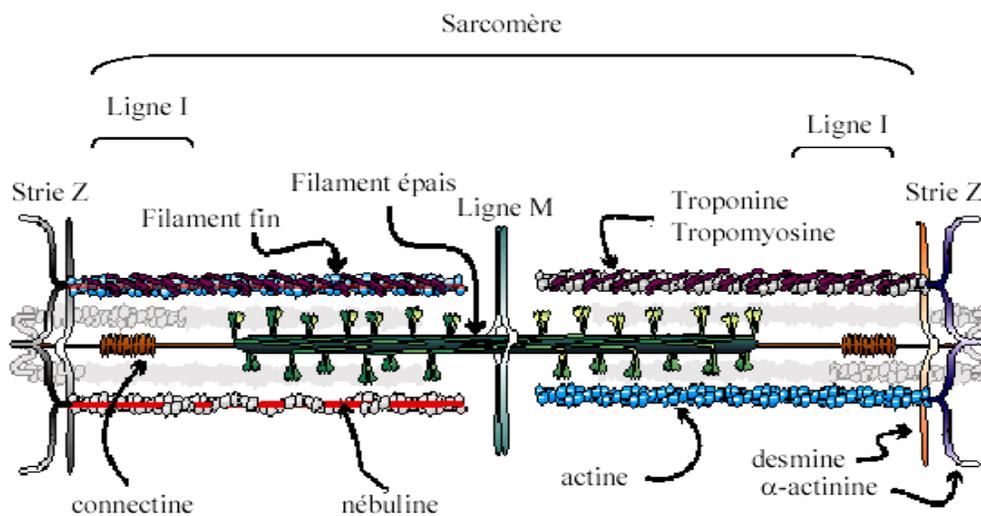


Fig2: Ultra structure du sarcomère (CHERET ,2005).

## **2.4/ Les protéines musculaires**

### **2.4.1/ Les protéines du stroma**

Ce sont les protéines les moins solubles, typiquement fibreuse (ALIAS et LINDEN, 1997).

**\*Le collagène:**Le composé le plus important. Ce sont des chaînes cylindriques non ramifiées en bâtonnet de 280nm de longueur et 1,4 mm de diamètre, avec une masse moléculaire proche de 300 kDa (ALIAS et LINDEN, 1997), ces chaînes sont reliées par des liaisons covalentes et hydrogènes afin de former une triple hélice.

C'est le nombre et la nature des liaisons qui permettent de définir le degré de réticulation du collagène et donc la dureté de la viande (GAZEUX, 1997). CORMICK en 1992 rapporte que Plus de 90 % du collagène intermusculaire sont localisés dans le perimysum (GEAY et coll., 2002).

**\*L'élastine :** L'élastine est le deuxième constituant du tissu conjonctif qui caractérise les tissus élastiques. On la trouve surtout dans les parois artérielles et les ligaments jaunes, elle existe sous forme d'enroulement désordonné contenant des hélices $\alpha$  (ALIAS et LINDEN, 1997).

### **2.4.2/Les protéines sarcoplasmiques**

Les protéines sarcoplasmiques sont des protéines solubles à PH voisin de la neutralité et à force ionique faible. Elle contient principalement les enzymes du métabolisme intermédiaire sarcoplasmique et permettent de classer les muscles selon leur couleur et leur métabolisme. (RANVIER et coll., 1973) cependant, on trouve principalement la myoglobine qui est responsable de la coloration rouge des viandes.

### **2.4.3/Les protéines myofibrillaires**

Se sont des protéines solubles uniquement dans un milieu à forte force ionique, constituées essentiellement par des filaments fins et des filaments épais (SERG, 2005).

Ce groupe dominant des protéines peut se diviser ainsi en :

-protéines contractiles : myosine et l'actine (Figure n°3).

-protéines régulatrices de la contraction formant le reste des consistants. Voir (tableau n°5)



**Fig3:**Schéma de la myosine et l'actine (CHERET, 2005).

**Tableau 5 :** Composition et localisation des protéines myofibrillaires

(D'après PEARSON et YOUNG, 1989 cité par CHERET, 2005).

Composition Pourcentage des Protéines myofibrillaires	Localisation dans le sarcomère	Poids moléculaire (kDa)
<b>Protéines contractiles</b>		
Myosine 50	Filaments épais	500
Actine 20	Filaments fins	42
<b>Protéines régulatrices</b>		
Tropomyosine 3	Filaments fins	68
Troponine C 1,15	Filaments fins	18
Troponine I 1,35	Filaments fins	23
Troponine T 1,95	Filaments fins	37
$\alpha$ -Actinine 1	Disque Z	201
Eu-Actinine 0,3	Disque Z	42
$\gamma$ -Actinine <0,01	Filaments fins	35
$\beta$ -Actinine <0,01	Bande A	71
<b>Protéines du cytosquelette</b>		
Titine (connectine) 5 à 8	Sarcomère	2800
Nébuline 3	Ligne M	500
Protéine C 1,5	Filaments épais	121
Paratropomyosine <1	Bande A et I	68
Myoméline/Protéine M 0,5	Ligne M	185/165
Desmine (skeletine) <0,2	Disque Z	55
Filamine 0,1	Disque Z	480
Vimentine 0,1	Disque Z	57
Protéine X 0,2	Disque Z	152
Protéine I 0,1	Filaments épais	50
Protéine F 0,1	Filaments épais	121
Protéine kinase 0,1	Ligne M	74
Protéine H 0,18	Filaments épais	125

## **2.5/Le polymorphisme musculaire**

En 1973, RANVIER et coll ont mis en évidence deux types de muscles : les muscles rouges et les muscles blancs. Cette différence de couleur est liée à la présence plus ou moins de grande quantité de myoglobine.

Les différentes fibres musculaires sont classées selon deux critères : leur vitesse de contraction et leur métabolisme énergétique et sur cette base on distingue :

- **le type BR ou I** caractérisé par une contraction rapide et un métabolisme oxydatif dominant.
- **Le type a W ou II B** caractérisé par une contraction rapide et un métabolisme glycolytique dominant.
- **Le type a R ou II A** caractérisé par une contraction rapide et un métabolisme mixte.

Plusieurs caractéristiques à la fois morphologiques, physiologiques et biochimiques différencient ces fibres (ASHMORE et DOESE ,1971). Le type musculaire découle directement des proportions relatives des différents types de fibres dans sa composition .Ainsi les muscles entiers sont classés en muscles de type I (rouge lent) II A (rouge rapide) et II B (blanc rapide) en fonction de leur type métabolique prédominant.

La révélation de l'activité ATPasique ainsi que des fibres a été utilisée pour classer les fibres selon leurs vitesses de contraction (PICARD et coll., 2002).D'autres auteurs tels que PETER et coll en 1972 ont combiné la révélation du type contractile par analyse de l'activité ATPasique myofibrillaire, et du type métabolique par révélation de l'activité d'une enzyme du métabolisme oxydatif telle que l'isocitiate déshydrogénase.

Ces classifications, considérées équivalentes, se sont rapidement révélées divergentes, aboutissant à l'identification de sous- types (PETTE et STARON, 1990) en particulier, des fibres appelées II C intermédiaires entre les fibres I et II A, ont été identifiées. Plus récemment l'utilisation d'anticorps anti -MY HC a permis une classification beaucoup plus fine des différents types de fibres.

## **3/TRANSFORMATION DU MUSCLE EN VIANDE**

Après l'abattage des animaux de boucherie, les muscles sont le siège de modifications, plus ou moins importantes qui contribuent à l'élaboration et à la définition des qualités organoleptiques de la viande ; en particulier, la tendreté qui est un facteur limitant de l'acceptabilité de la viande par le

consommateur. La transformation du muscle en viande fait appel à un ensemble de processus très complexes, de nature à la fois enzymatique et physico-chimique, qui ne sont pas encore totalement compris (OUALI, 1990 a et b).

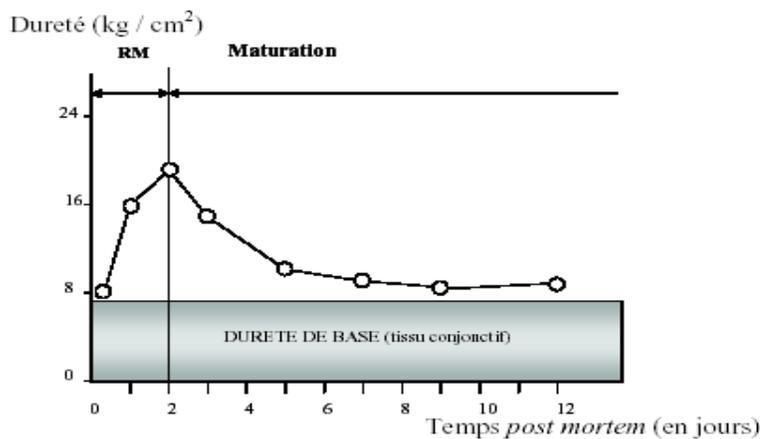
### 3.1/Les phases de la transformation du muscle en viande

Lors de la conservation de la viande à l'état réfrigéré, la tendreté est certainement la qualité qui évolue le plus, car après l'abattage le muscle commence par durcir puis la dureté est réduite de 80% au cours de la maturation dont la durée peut atteindre plusieurs jours (Figure n°4). En fait, on peut considérer qu'au cours de sa transformation en viande, le muscle passe successivement par trois états différents (OUALI, 1990a) qui sont:

- *l'état pantelant* qui se traduit par des contractions persistantes de la musculature probablement dues à des excitations nerveuses, sa durée coïncide en effet avec la durée de survie du système nerveux et n'excède pas 20 à 30 minutes ;

- *l'état rigide* qui est l'aboutissement de la phase d'installation de la rigidité cadavérique ou *rigor mortis*; Il intervient après l'épuisement des réserves énergétiques et l'acidification du tissu musculaire ;

- *l'état mûré* est l'aboutissement de la phase de maturation, qui est de loin la plus importante puisqu'elle conduit à une augmentation de la tendreté. En effet, cette phase débute dès l'abattage, puisque les conditions d'installation de la *rigor mortis* seront déterminantes pour la phase ultérieure de la maturation.



**Fig4 :** Illustration de l'évolution de la dureté d'un muscle après l'abattage. (OUALI, 1990).

L'altération de la structure musculaire est principalement le résultat de l'action des enzymes protéolytiques, qui va se traduire par une altération plus ou moins importante de certaines structures

myofibrillaires comme la strie Z, la bande M, les structures cytosquelettiques. L'altération de ces structures se traduit, par une fragmentation transversale des myofibrilles, au niveau de la bande I et à proximité de la strie Z (OUALI, 1990; KOOHMARAIE, 1993).

### **3.2/ Mécanisme de la rigidité cadavérique et de la maturation**

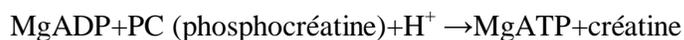
La rigidité cadavérique se caractérise par des tissus musculaires plus durs, inextensibles et des axes osseux plus difficiles à déplacer chez l'animal. C'est la résultante de deux grandes modifications: une baisse de pH, donc une acidification du tissu musculaire et une contraction des fibres musculaires.

**-L'acidification du tissu musculaire:** Dans le tissu musculaire après l'abattage des animaux l'ATP est constamment et lentement hydrolysée selon une réaction du type :



Qui libère 1 H<sup>+</sup> pour 2 ATP consommées.

Selon le bilan de BENDAL EN 1973, Les molécules d'ATP utilisées par la réaction proviennent de molécules de glucose dégradées en anaérobiose, tout apport d'O<sub>2</sub> étant interrompu par l'arrêt de la circulation sanguine(ELRAMOUZ,2005),mais interviennent aussi deux réactions de rephosphorylation :



Se libèrent 2 H<sup>+</sup> pour 2 lactates fournis.

**-La contraction de la cellule musculaire:** Immédiatement après abattage, le muscle possède une réserve d'ATP suffisante pour maintenir la dissociation de l'actine et de la myosine. Par conséquent, il garde son élasticité. Mais les molécules d'ATP hydrolysées doivent être remplacées par de nouvelles molécules provenant de la glycolyse anaérobie, car tout apport d'O<sub>2</sub> étant interrompu par l'arrêt de la circulation sanguine (LAWRI, 1966; BENDAL, 1973). Cette baisse de pH inhibe les ATPases sarcoplasmiques des pompes à Ca<sup>++</sup> maintenant le gradient de Ca<sup>++</sup>, provoquant une fuite de Ca<sup>++</sup> dans le réticulum. Quand la concentration de Ca<sup>++</sup> atteint 10<sup>-6</sup>M, l'activité ATPasique de la myosine commence, formation du complexe actine-myosine, la fibre musculaire se contracte(GAZEAU,1997).

Les réserves énergétiques du muscle (ATP, PC, glycogène) sont peu à peu consommées et l'acidification augmente inhibant les enzymes de la glycolyse anaérobie. On arrive à un pH ultime 5,5

où les complexes actine-myosine sont majoritaires et où l'ATP a été consommée: c'est la rigidité cadavérique, l'état de *rigor mortis*.

**-La maturation:** Après la phase de *rigor mortis*, la viande commence à s'attendrir sous l'effet de la maturation. En aucun cas, la maturation n'est liée à un phénomène bactériologique. Il s'agit d'un phénomène naturel qui 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 diverses protéases citées précédemment. Au cours de la maturation, seuls les protéines et les lipides de la viande sont transformés. Le collagène n'est pas modifié. Il s'agit d'une dureté de base de la viande.

### **3.3/ Evolutions de paramètres biologiques au cours de la maturation**

#### **3.3.1/-La température**

Après la mort de l'animal, la température du muscle n'est plus régulée et décroît de 38°C jusqu'à 4°C, température de stockage de la carcasse. Cette cinétique de refroidissement est différente pour chaque muscle selon son emplacement sur la carcasse. De même, la cinétique de refroidissement sera d'autant plus rapide que la carcasse sera plus maigre, car le tissu adipeux joue un rôle isolant (VALIN et coll., 1975).

#### **3.3.2/-Le pH**

le pH du muscle décroît progressivement après l'abattage et passe de sa valeur physiologique (pH=7.0-7.2) à une valeur voisine de 5.3-5.8 selon l'espèce animale considérée et, au sein d'une même espèce, selon le muscle considéré. Pour la viande ovine BRIAN et coll., (1999) rapportent que le pH passe de 7.0 à 5.5 après 24 h *post mortem*. Cette acidification du tissu musculaire aura des conséquences sur la structure myofibrillaire elle-même en réduisant la solubilité des protéines contractiles, sur les interactions eau-protéines myofibrillaires ainsi que sur les potentialités d'action des protéases endogènes sur ces structures. Le pH peut être mesuré directement sur une suspension de la viande hachée avec une solution tampon.

#### **3.3.3/-La pression osmotique**

Parallèlement à l'acidification du muscle, on observe une augmentation de la pression osmotique des tissus consécutivement à l'accumulation d'acide lactique dans le milieu et à l'accroissement des

ions mono et divalents passant ainsi d'une valeur physiologique 300 mOsmoles à des valeurs voisines de 550-600 mOsmoles (OUALI 1990; MONIN et OUALI, 1991).

Après abattage l'absence de l'ATP dans les cellules provoque l'arrêt de la pompe à calcium et de ce fait les ions ne peuvent plus être contenus dans les compartiments cellulaires et sont libérés dans le sarcoplasme (WINGER et POPE 1981). De même, les liaisons protéines-sels se fragilisent. Parallèlement, il se produit une accumulation des métabolites intermédiaires, en particulier l'acide lactique dont la concentration peut atteindre 30 à 40 mM. (BONNET et coll., 1992).

### **3.3.4/ La capacité de rétention d'eau**

Le pouvoir de rétention d'eau de la viande caractérise son aptitude à conserver dans ses structures au cours des traitements technologiques l'eau qu'elle contient initialement ou qui lui a été ajoutée (GOUTEFOUNGEA et GOUSSAUT, 1982). Lorsque la cohésion entre les molécules est diminuée par une augmentation de la répulsion électrostatique entre les groupes de même charge ou par une diminution des liens hydrogènes, le réseau protéique est élargi et le gonflement augmente. En plus, l'eau peut être alors immobilisée dans les interstices (HAMM, 1975). A l'inverse, si l'attraction entre les molécules adjacentes augmente, il y a moins d'espace disponible pour l'eau qui peut être relâchée sous l'influence d'une faible pression. Deux facteurs peuvent ainsi agir et qui sont le pH et la liaison des métaux aux protéines myofibrillaires (LABORD, 1984). De ce fait, on note une diminution du pouvoir de rétention d'eau durant les premières 24 heures après l'abattage, à cause d'une diminution du pH se rapprochant du point isoélectrique des protéines. Le réseau se resserre ainsi et il y a moins de place pour les molécules d'eau (HAMM, 1960).

Cette quantité d'eau mobilisée dépend de la méthode utilisée pour sa détermination. La plupart des méthodes sont basées sur la mesure du poids d'eau libérée suite à l'application d'une contrainte au tissu musculaire : gravité (sédimentation), gravité accélérée (centrifugation) et pression. UBERTALL et MAZZOCCO (1979) ont cité trois méthodes de mesures de pouvoir de rétention d'eau pour le muscle long dorsal du bœuf : la méthode de pression de Grau et Hamm, la méthode de centrifugation à faible vitesse (WIERBIKI et coll., 1957) et la méthode par ultracentrifugation d'Akroyd. En plus, d'autres méthodes ont été utilisées pour la mesure du pouvoir de rétention d'eau des protéines comme les techniques de capillarité et la résonance magnétique nucléaire (GRAHAM TRONT, 1988).

### **3.3.5/-les propriétés électriques**

Les propriétés électriques de la viande étudiées sont la conductivité électrique et l'impédance. Ces propriétés sont affectées après abattage, en particulier à températures élevées. Cela est lié aux transformations membranaires des cellules. La conductivité augmente avec la diminution des liquides libres à l'intérieur des muscles, contrairement à l'impédance qui décroît (TROY, 1999).

### **3.4/ Evolutions structurales**

#### **3.4.1/ Evolution de la structure myofibrillaire**

A partir d'études de la structure myofibrillaire en fonction du temps *post mortem*, en microscopie à contraste de phases ou électronique, on note plusieurs modifications (PENNY, 1980; OUALI, 1990) : la disparition progressive du disque Z, la diminution de la densité de la bande M, la perte de l'alignement transversal des stries Z et des autres structures sarcomériques et la fragmentation transversale des myofibrilles.

Globalement, on observe une fragilisation de la structure myofibrillaire. Il a été montré que ses myofibrilles, homogénéisés de façon contrôlée, étaient de plus en plus fragmentées au fur et à mesure de la durée de stockage et ce, en étroite relation avec la tendreté de la viande (OLSON et PARRISH, 1977). Ce phénomène mesurable par des méthodes turbidimétriques est utilisé comme un indicateur mécanique de la maturation sous le nom d'Indice de Fragmentation Myofibrillaire (MFI). Il a été montré que l'apparition d'un fragment de 30kDa lors du stockage à 4°C est le produit de la dégradation de la troponine T (OUALI et coll., 1983; HO et STROMER, 1994; NIGISHI et coll., 1996).

Des chercheurs de l'université de Athènes et celle de Tübingen en collaboration avec le centre international de l'alimentation ont identifié les protéines qui se dégradent au cours de la maturation de la viande bovine par électrophorèse et ont trouvé que les principaux fragment apparents sont de : 30, 32, 16, 90, 110kDa. les fragments de 30 et 32 kDa sont liés à la dégradation de la troponine T. pour le fragment de 16 kDa il s'agit d'une protéine sarcoplasmique, glyceraldehyd-3-phosphatedesydrogénase. L'origine du fragment de 90kDa au cours de la maturation est inconnue. Le fragment de 110 kDa en plus de certains autres fragments de 44kDa qui a comme origine la créatine kinase, 23 kDa lié à la glyceraldehyde-3- phosphates déshydrogénas et en fin 21.5 kDa fragment comme la vinculine. (TROY1999). La myosine et l'actine ne sont pratiquement pas dégradées lors des

stockages à 4°C (GREASER et FRITZ, 1995). De même, l' $\alpha$  actinine n'est pas dégradé au cours de la conservation à 4°C (PENNY, 1985; GOLL et coll., 1991).

### **3.4.2/ Evolution de la structure collagenique**

WIERBICK et coll (1954) ont montré que le tissu conjonctif ne subissait pas de modifications significatives lors du stockage et donc n'intervient pas dans l'attendrissage de la viande. La notion de dureté de base de la viande a donc été proposée par ces auteurs.

### **3.5/Tendreté de la viande**

#### **3.5.1/ Définition**

La tendreté est la facilité avec laquelle la structure de la viande est désorganisée au cours de la mastication ; cette qualité est la plus recherchée par le consommateur.

#### **3.5.2/ Méthodes d'évaluation**

IL n'existe pas une méthode capable de mesurer l'ensemble des sensations perçues lors de la mastication de la viande. Mais existent diverses méthodes qui permettent, à peu près, de mesurer et classifier la tendreté de la viande.

**-Les méthodes de terrains :** Les professionnels de la viande utilisent la méthode de la pression du pouce qui leur permet de trouver la délimitation entre les zones tendres et les zones dures des muscles, ce qui sert dans la pratique de l'affranchi. Une autre méthode, la seule véritablement fiable, est le jury de dégustation, qui donne une note de tendreté à la viande.

**-Les méthodes de laboratoire :** Dans un laboratoire, la mesure de la tendreté est l'évaluation objective de la texture des muscles. De plus l'analyse de la tendreté doit tenir compte de l'état de la viande : crue ou cuite, car l'analyse instrumentale sur une viande crue définit la tendreté potentielle de cette viande, et l'analyse d'une viande cuite définit sa tendreté instrumentale (SALE ,1980 cité par GAZEAU, 1997).

La viande appartient au groupe des semi solides, dont le comportement de ses corps lors d'une déformation dépend de la vitesse de cette déformation. De plus il faut opérer dans la gamme de vitesse de la mastication de la viande et il se pose le problème de la structure de la viande, qui est

hétérogène, et modifiée lors de la cuisson. Il faut donc connaître précisément le comportement rhéologique de la viande qui n'est pas encore bien maîtrisé.

**-Les appareils utilisés se classent en 2 groupes :**

1/-les appareils empiriques, avec lesquels on tente de caractériser le milieu, hors des conditions de mastication, tel l'appareil de WARNER et BRATZLET(1928-1932) ou le paramètre pris en compte est le maximum de force, qui n'est pas relié aux propriétés du milieu.

2/-les appareils imitatifs, qui tentent de reproduire l'action des dents, tel l'appareil de PROCTON (1955) qui est la reconstitution d'une cavité buccale complète, ou l'appareil de VOLODKEVITCH (1938) qui reproduit l'action d'une dent.

Mais il y a d'importantes variations, dans la signification des résultats, en fonction des caractéristiques de la viande. De plus ces appareils ne permettent de mesurer que la tendreté liée aux tissus conjonctifs, du fait de leurs résistances au cisaillement, alors qu'ils sont insuffisants pour celle liée aux myofibrilles. Le PETIT et BUFFIER (1995), en se basant sur la résistance de la structure myofibrillaire ont mis un protocole en utilisant une machine de traction compression où le taux de déformation est de 20% à la fréquence de 10 Hz ; ce qui permet d'étudier uniquement les propriétés mécaniques des fibres musculaires et non du collagène.

En 1999 l'ADIV en collaboration avec l'ENITA de Clermont-Ferrand a réalisé un programme afin d'évaluer la spectroscopie de fluorescence frontale comme une méthode de mesure de la tendreté de la viande. Le principe de la méthode consiste à éclairer l'échantillon avec une lumière ultraviolette contenant des longueurs d'ondes spécifiques. Certaines protéines de la viande possèdent des propriétés de fluorescence naturelle (FRENCIA, 2000). Une nouvelle technique a été développée pour des analyses quantitatives de la texture de la viande, il s'agit de méthode ultrasonique en se basant sur la vitesse de propagation des ondes soniques dans la viande, sur un résonateur à haute résolution ultrasonique ; les résultats sont très corrélés à ceux d'un jury et à la force de cisaillement (PAUL et coll., 2001).

### **3.6/ L'attendrissage de la viande**

Du point de vu tendreté on peut distinguer 2 phases dans la conversion du muscle en viande : La première pendant laquelle la dureté de la viande augmente jusqu'à un maximum et la seconde où la dureté diminue de façon exponentielle au cours du temps. Cela met en jeu deux types de mécanismes

fortement dépendant de la température et agissant de façon synergique. Ils sont de nature physico-chimique et enzymatique (OUALI, 1991; VALIN et OUALI, 1992).

### 3.6.1/ Les mécanismes physico-chimiques

**A/ la température :** Après la mort de l'animal, la température du muscle n'est plus réglée et décroît jusqu'à 4°C, température de stockage des carcasses. Pour des raisons évidentes d'hygiène ce refroidissement doit se faire le plus rapidement possible. En pratique, deux cas de figure peuvent apparaître :

**1<sup>er</sup> cas:** Le pH devient inférieur à 6 alors que la température est encore supérieure à 10°C, les fibres musculaires se lient entre elles dans un état relâché. La *rigor mortis* s'établit dans des conditions favorables à une tendreté ultérieure;

**2<sup>eme</sup> cas:** Le pH devient inférieur à 6 alors que la température est déjà inférieure à 10°C Les muscles peuvent se contracter violemment par le froid : on parle de *cryochoc*. La *rigor mortis* s'établit dans des conditions défavorables: le muscle devient très dur, son durcissement est irréversible même après maturation prolongée de la viande.

L'idéal est de refroidir à 10°C pendant les 10 heures suivant l'abattage pour trouver un bon compromis entre le développement des bactéries et le phénomène de *cryochoc*. La vitesse de chute de la température dans les carcasses grasses est lente et le *cryochoc* est évité (LOCHNER et coll., 1980). Pour certains auteurs la réfrigération rapide des carcasses « *very fast chelling* » n'est pas obligatoirement néfaste pour la tendreté finale de la viande (JAIME et coll., 1992). Dans les premiers temps *post mortem* la viande provenant des carcasses de mouton refroidies rapidement est plus dure que celle des carcasses refroidies lentement mais au bout de 8 jours les deux types de viande possèdent la même tendreté. Ce phénomène serait dû à une diminution lente du pH lors de la réfrigération rapide et à un fort relargage du calcium du réticulum sarcoplasmique activant les enzymes endogènes (SHERIDAN, 1990). De plus lors du refroidissement rapide l'action des protéases est stoppée, ces dernières peuvent alors agir ultérieurement (DRANSFIELD, 1994). BRIAN et coll (1999) ont confirmé ces résultats pour la viande ovine, car l'ultra rapide refroidissement des carcasses n'affecte pas la qualité de la viande ; Ce type de conservation conduit à l'augmentation de la tendreté par rapport au refroidissement rapide des carcasses (GRAINNE et coll., 2001).

**B/ Le pH :** L'effet du pH sur le processus de maturation en lui-même, n'est pas encore clairement établi. OUALI (1990) a montré chez les bovins une corrélation entre la vitesse de

maturation et le pH 1 heure *post-mortem* ( $r=0.377$ ,  $p<0.001$ ) et l'amplitude de chute entre 1h et 24 h *post-mortem* ( $r=0.368$  ;  $p<0.001$ ). Il semblerait aussi qu'un pH ultime élevé favorise ce processus chez les bovins adultes (GEESINKET et coll., 1992) et chez le veau (MONIN, 1993). TROY en 1995 précise aussi qu'en plus du pH ultime pour le bœuf qui est entre 5.5 et 5.8 il y a aussi l'effet de la vitesse de chute du pH après l'abattage de 7.0 à 5.5 qui est reliée à la tendreté.

**C/ L'osmolarité :** Concernant la pression osmotique, son augmentation après la mort est connue, mais n'a pu être quantifiée avec précision que très récemment en raison de l'absence de méthodes de mesure simples (BONNET et coll., 1992). Il apparaît que cette augmentation de la pression osmotique ou de l'osmolarité est en relation directe et linéaire avec la chute du pH (OUALI, 1990a et b).

L'hypothèse selon laquelle l'augmentation de la force ionique puisse favoriser l'action des protéases, et donc participer à la maturation, a été émise par plusieurs auteurs (WU et SMITHE, 1987 OUALI, 1990a et b). En accord avec celle-ci, GESSINKET et coll (1992) ont montré une relation linéaire et négative entre l'osmolarité maximale et la dureté du muscle à 8 jours *post-mortem* pour huit muscles différents.

**D/ la capacité de rétention d'eau :** Au moment de l'abattage, le pouvoir de rétention d'eau du muscle est très élevé. Il va diminuer régulièrement pendant l'installation de la rigidité cadavérique. Cette diminution a pour origine trois phénomènes (GOUTE FONGEA et GOUAULT, 1982) : la glycolyse anaérobie entraînant l'abaissement du pH des protéines musculaires, la dénaturation des protéines du réticulum sarcoplasmique et en fin les variations du taux de  $Ca^{++}$  myofibrillaire en raison de l'hydrolyse et de la non régénération du stock. D'après OFFER et KNIGHT en 1988, L'aptitude de la viande à retenir son eau est un facteur qui influence très largement sa texture finale.

La vitesse de chute du pH augmente la vitesse de chute de la capacité de rétention d'eau des protéines (BOAKKY et MIHAL, 1993). Plus la température est élevée et plus la capacité de rétention d'eau des protéines sera faible (LESIAK et coll., 1996). La capacité de rétention d'eau peut être un indicateur de l'intensité de la maturation *post mortem* (OFFER et KNIGHT, 1988).

**E/ Propriétés électriques :** Selon TROY (1999), la relation entre les mesures des propriétés électriques et paramètres de qualité au cours de la maturation est largement significative (tableau 6), cela justifie l'utilité de ces mesures pour l'estimation de la tendreté de la viande.

**Tableau 6:** Coefficients de corrélation entre les propriétés électriques et la qualité de la viande bovine à 2,7 et 14 jours. (TROY ,1999).

	<b>Impédance</b>	<b>Conductivité</b>
<b>Force de cisaillement (WARNER BRATZLER)</b>	-0,65 <sup>***</sup>	0,68 <sup>***</sup>
<b>Tendreté</b>	0,56 <sup>***</sup>	0,57 <sup>***</sup>

\*\*\* : niveau significatif à  $p < 0,001$ .

### 3.6.2/Les mécanismes enzymatiques

Les systèmes protéolytiques impliqués dans le processus d'attendrissage vont assurer la dégradation des protéines au cours des cycles de renouvellement successifs (ASHGAR et BHATTY, 1987). Quatre systèmes enzymatiques sont susceptibles d'intervenir.

**A/Les calpaïnes :** la fragilisation de la strie Z, principale modification structurale obtenue au cours de l'attendrissage ainsi que l'apparition d'un fragment de 30 kDa sont reproduites lorsqu'elles sont incubées avec des myofibrilles (TAYLOR et coll.,1995;OUALI et coll.,1983). Cependant, les calpaïnes ne peuvent à elles seules reproduire l'ensemble des modifications *post-mortem* intervenant au niveau de la structure myofibrillaire (TAYLOR et coll., 1995). Ainsi, la fragmentation observée au niveau de la bande I n'est pas retrouvée suite à l'incubation de myofibrilles avec les calpaïnes.

D'autres systèmes protéolytiques doivent donc intervenir dans l'attendrissage de la viande. Le rapport calpaïne/calpastatine joue aussi un rôle très important car il est égal à 1/4,1/2.5 et 1/1.5 pour le bœuf, le mouton et le porc respectivement se qui explique en partie la faible vitesse de l'attendrissage de la viande bovine (GEAY et coll., 2002).

**B/Les enzymes lysosomales :** L'incubation de myofibrilles avec un extrait lysosomal du muscle ou avec de la cathepsine L montre que ces fractions reproduisent des changements structuraux comme la fragmentation transversale des myofibrilles au niveau de la bande I (MIKAMI et coll .,1987). Les cathepsines B, H et D sont également capables d'induire des changements au niveau de la bande M et de la jonction entre les bandes A et I (OUALI ,1992). Par conséquent, les cathepsines sont susceptibles d'intervenir dans le phénomène d'attendrissage de la viande, mais elles ne devraient pouvoir agir que lorsque le pH sera proche de sa valeur ultime.

**C/Le protéasome :** Peu d'études ont été réalisées pour connaître le rôle possible du protéasome dans le muscle *post mortem* et dans le processus d'attendrissage des viandes en particulier. MYKLES (1989) et MYKLES et HAIRE (1995) ont réalisé des incubations de protéines myofibrillaires et de

protéasome purifié à partir de muscle de homard. Dans ces conditions, ces auteurs ont montré que le protéasome pouvait dégrader la plupart des protéines myofibrillaires. D'autres auteurs, comme TAYLOR et coll (1995) ont incubé des myofibrilles avec du protéasome purifié et ont montré que la strie Z et les bandes A et I étaient altérées. KOOMARAIE (1992), quant à lui a montré qu'en incubant une fraction enrichie en protéasome avec des myofibrilles il n'y avait pas de changements structuraux. Concernant les résultats rapportés par ce dernier auteur, il est bon de signaler que la durée d'incubation des myofibrilles en présence de protéasome était probablement trop courte pour pouvoir observer des modifications (4h contre 24h dans le cas du travail rapporté par TAYLOR et coll en 1995). En effet, l'une des modifications structurales communes à ces deux types de viande est l'augmentation de la largeur de la strie Z et sa tendance à diffuser sur la bande I, changement qu'aucun autre système enzymatique ne semble capable de reproduire (DUTAUD, 1998).

**D/Les sérine-protéinases et la maturation des viandes :** Depuis plusieurs décennies, les sérine-protéinases n'ont pas retenu beaucoup l'attention des chercheurs en viande. Cette position a été confortée par les travaux de PARK et coll (1973) qui montrèrent que la majorité des sérine-protéinases musculaires étaient localisées à l'extérieur de la cellule dans des organites décrits sous le nom de mastocytes. Récemment, il a été montré que parmi les paramètres mesurés et apparaissant comme les plus discriminants, le taux d'inhibiteurs de sérine protéinases revenait à plusieurs reprises en première place (ZAMORA et coll., 1996; ZAMORA, 1997; ZAMORA et coll., 2005). La signification de ce résultat reste difficile à apprécier, mais il faut explorer plus en détail la possibilité que des sérine-protéinases puissent contribuer au processus d'attendrissage.

### **3.7/ Les facteurs de différenciation de la tendreté de la viande**

#### **3.7.1/ Facteurs agissant sur l'animal vivant (facteurs *ante-mortem*)**

La tendreté est essentiellement fonction de la proportion et de la nature du tissu conjonctif contenu dans le muscle dont les facteurs de variation les plus importants sont:

- **Les facteurs génétiques:** qui déterminent la teneur en conjonctif et la finesse de la fibre.
- **Le sexe:** D'après POMMIER et coll (1989) l'augmentation de la testostérone des males augmente le total du collagène (BERIAIN et coll., 1999).
- **L'état d'engraissement:** la tendreté augmente avec la présence de graisse.
- **L'exercice:** ou les résultats sont assez contradictoires mais les animaux conduits à l'auge sont généralement plus tendres que ceux conduits à l'herbe.

-**L'âge et la vitesse de croissance:** la tendreté diminue avec l'âge par suite de la modification de la structure du collagène. L'augmentation de la vitesse de croissance surtout après 12 mois provoque le même phénomène. (GAZEUX, 1997; BERIAIN et coll).

- **Les conditions d'élevage :** Parmi ces derniers deux sont apparus comme déterminants. Ils sont :

\*Le contrôle de la croissance par le niveau d'alimentation : Des rations alimentaires à niveau énergétique élevé engendrent un gain significatif de tendreté lié principalement à une hausse de la solubilité du collagène (HALL et HUNT cité par GAZEAU, 1997 ; BERIAN et coll.,).

\* Le contrôle de la croissance par le jeu hormonal : La castration chez le mâle, engendre une meilleure qualité de viande et une facilité du mode de conduite.

-**Le stress de groupe:** car les conditions de transport et d'abattage de l'animal interviennent sur les réserves du muscle en glycogène au moment de l'abattage ; or plus celles-ci seront faibles et plus la maturation de la viande sera difficile. LACOURT et TARRANT (1981) remarquent que 3 jours sont nécessaires pour refaire 80% des réserves en glycogènes avec l'apport d'une alimentation concentrée.

### 3.7.2/ Les facteurs agissant sur les carcasses (facteurs *post-mortem*) :

-**L'accrochage de la carcasse:** la suspension pelvienne à un effet significativement favorable sur la tendreté d'une majorité des muscles, de plus le gain de tendreté procuré par cette technique est entre 1à2 fois le gain obtenu lors d'une maturation de 7 jours pour une carcasse accrochée par le tendon d'Achille (CHERET ,2005).

-**La stimulation électrique :** On recherche par ce biais une inhibition de l'activité ATPasique contractile. On provoque pour cela une baisse de pH avant que la température soit inférieure à 10°C. Cette baisse de pH peut être accélérée si on fait travailler le muscle, ce qui n'est possible *post mortem* que si ce dernier reçoit des stimulations électriques convenables.

-**La réfrigération :** La réfrigération appliquée après l'abattage entraîne une forte altération de la tendreté de la viande, c'est la "contracture au froid" observée par les chercheurs neozelandais dans la recherche sur la viande de mouton. Elle se produit durant les deux premières heures de réfrigération à une température inférieure à 0/2°C et à un pH supérieur à 6. (GAZEUX, 1997). (Tableau 7)

**Tableau 7:**Illustration de la dégradation de la tendreté après un ressuage à 1°C.

(LOKER1985, INTERVEB1992 cité par GAZEUX, 1997).

faux-filet issu de carcasses réfrigérées	à 1°C	à 8°C
note de tendreté (1 à 10) (10 très tendre)	5.6	6.4
Préférence par jury	28%	71%

**-L'attendrissage mécanique :** Il y a une amélioration significative de la tendreté si on utilise des attendrisseurs à lames qui, par l'action des lames, sectionnent les éléments conjonctifs responsables de la dureté de la viande (GAZEUX, 1997).

**- Modes de conditionnement :** Les modes de conditionnements peuvent influencer sur la maturation de la viande, donc sur la tendreté, que ce soit au stade du gros/demi-gros ou au stade du détail. Au stade du gros demi/demi gros, il y a peu de différence entre des viandes conservées en quartier ou sous vide, la méthode allant, selon les morceaux en faveur de l'une ou l'autre des méthodes. De plus, il n'y a pas de différence dans la vitesse de maturation de la viande quelque soit la méthode de conservation. Au stade du détail, trois méthodes de conditionnements sont utilisées: le sous vide, le sous étirable et le sous-athmosphère modifiée.

Un jury de dégustation permet de voir que le conditionnement sous vide permet d'améliorer la tendreté de la viande, pour certains morceaux tel le faux-filet. Par contre une conservation sous-athmosphère n'entraîne pas d'amélioration de la tendreté et une conservation sous-étirable non plus.

**-La cuisson :** Lors de la cuisson, la température atteinte au cœur de la viande influe sur la tendreté de celle-ci, en la réduisant ou l'augmentant selon les morceaux. La cuisson augmentant la dureté due aux fibres musculaire, et réduisant celle due aux tissus conjonctifs.

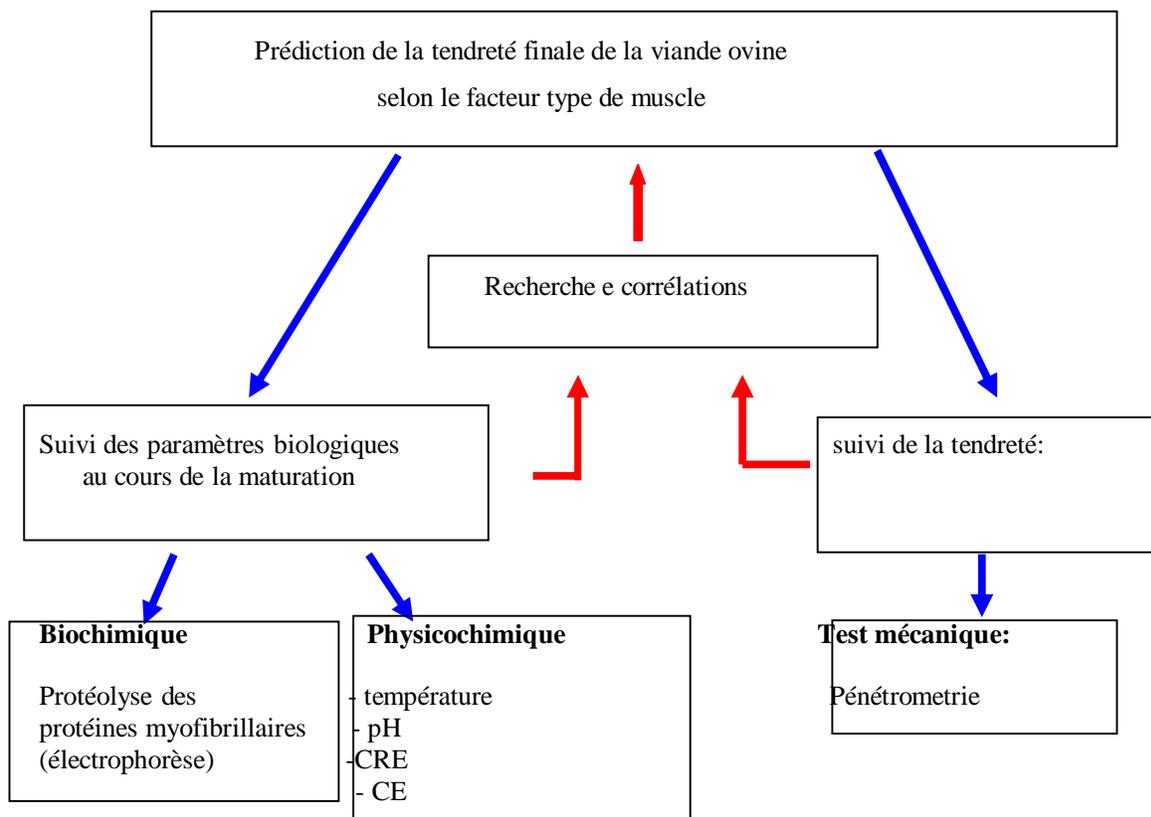
Ainsi, les morceaux à faible teneur en tissus conjonctifs dits morceaux à griller ou à rôtir doivent être chauffés à une température inférieure à 60°C, on saisit la surface de la viande pour former une croûte limitant les pertes d'eau, alors que les autres morceaux dits à braiser ou à bouillir doivent être chauffés à des températures supérieure à 80°C, afin de provoquer la gélatinisation du collagène.

## 1/METHODOLOGIE

Afin de prédire la tendreté finale de la viande ovine, ce travail porte sur l'étude des paramètres biologiques responsables de la variabilité de l'attendrissage naturel d'une part et les relations qui peuvent exister entre ces derniers et le facteur type de muscle d'autre part. Pour cela nous nous sommes fixé de:

- mesurer les caractéristiques biologiques des muscles au cours de la maturation ainsi que la tendreté de ces mêmes muscles.
- procéder à une analyse statistique afin de distinguer la part de chacun des paramètres soit physico-chimiques ou biochimiques dans le processus de l'attendrissage de la viande et parallèlement leur interdépendance.

Selon ces objectifs nous avons adopté la méthodologie décrite par la figure n°5 ci-dessous présentée:



**Fig5** : méthodologie adoptée en vue de situer les possibilités de prédiction.

## 2/ MATERIEL BIOLOGIQUE

Cinq agneaux de la race *Ouled Djellal*, sont obtenus à partir d'un même producteur ( ferme pilote, Kadri 4 chemins Constantine ) afin d'assurer une certaine homogénéité zootechnique .Ces animaux sont âgés de 11 à 13 mois et leur poids sont donnés dans le tableau n°8 .

**Tableau 8** : caractéristiques des animaux utilisés dans la partie expérimentale.

<b>Animal</b>	<b>Poids vif kg</b>	<b>Poids de carcasse kg</b>
A1	30	16.00
A2	28	14.00
A3	26	11.00
A4	26	11.00
A5	26	11.40
<b>Moyenne</b>	27.5	12.68
<b>Ecartye</b>	1.79	2.24
<b>Coefficient de variation%</b>	6.58	17.66

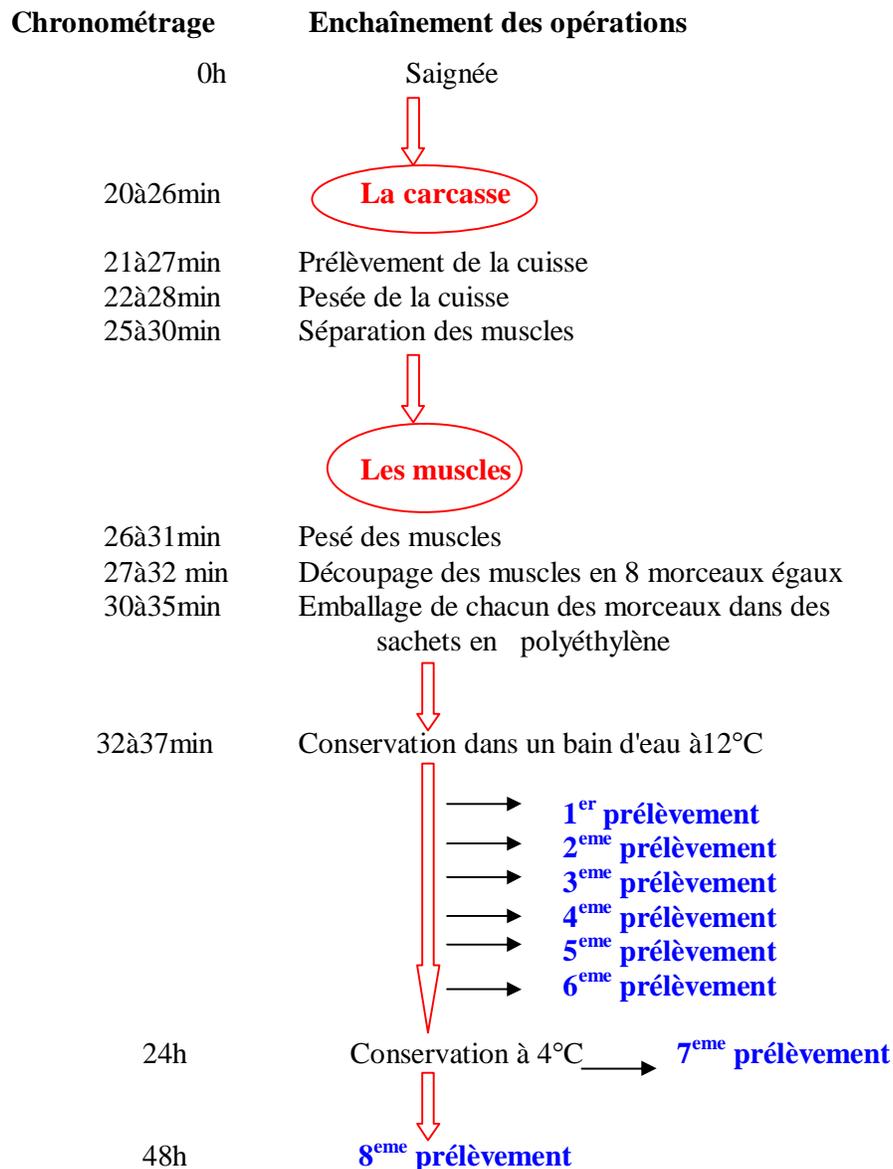
Les muscles étudiés sont : *Longissimus dorsi* (LD), *Semimembranosus* (SM), *Semitendinosus* (ST) et *Rectus femoris* (RF).

L'observation à l'œil nu des quatre muscles permet de voir les différences en particulier, de la couleur. Nous avons le muscle qui se distingue nettement des autres qui est le RF; sa coloration claire par rapport aux autres confirme sont classement parmi les muscles blancs à fibre glycolytiques et contraction rapide (type B ou FG) (GEAY et coll., 2002). Les trois autres sont de coloration rouge c'est à dire à fibres rouges oxydatives. Leur classification dans le type (contraction lente) ou le type A (contraction rapide) nécessite la connaissance de leur vitesse de contraction qui doit être déterminé par l'étude de leur activité ATPasique (OUALI, 1990).

D'après les résultats de ZAMORA (1997) sur la viande bovine le muscle LD possède un métabolisme glycolytique et une contraction rapide. Le SM est un muscle composé uniquement de fibres lentes oxydatives du type (RENON et coll .,1986 cité par GONDRET et BOMNEAU,1998). HAMELIN et coll en 2004 ainsi que GONDRET et coll en 2004 également, ont qualifié le muscle SM comme muscle rouge rapide. Pour Le muscle ST PICARD et coll (2003), ont montré qu'il s'agit d'un muscle mixte glycolytique .LEFAUCHEUR, en 2003, a aboutit au même résultat pour la viande de porc. De ce fait, on conclut que ces muscles sont différents du point de vue comportement métabolique et notre travail tend donc à répondre à la question qui concerne l'effet de ce facteur sur la variabilité de l'attendrissage naturel de la viande ovine.

### 3/ABATTAGE ET PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Au cours de ce travail, les animaux sont transportés à l'INATAA la veille de la journée du travail. L'abattage est effectué par saignée selon le rite musulman. La cuisse est prélevée après dépouille, éviscération et pesé de la carcasse (figure n° 6).



**Fig 6:**Chronométrage des étapes de prélèvement et conservation des muscles destinés au suivi des cinétiques.

Dans cette étude, les paramètres à étudier sont mesurés au cours de la 1h *post mortem*, afin de caractériser les muscles au stade de l'abattage, puis sont suivis en cinétique, pour mettre en évidence leur interdépendance avec l'attendrissage.

Pour les paramètres biologiques: la température, le PH, la capacité de retentions d'eau et la conductivité électrique sont mesurés aux différents temps *post mortem* de 1, 4, 6, 8, 10, 12, 24,48 heures.

En plus, le suivi par électrophorèse a été effectué à ces mêmes temps de la protéolyse des protéines myofibrillaires a été effectué, du fait que l'attendrissage de la viande est principalement la conséquence de la fragilisation de leur structure dans le muscle.

La structure collagénique n'évolue pratiquement pas et donc seule la résistance mécanique liée au réseau myofibrillaire serait estimée parallèlement aux paramètres biologiques (1, 4, 6, 8, 10, 12, 24,48 h *post mortem*). Cette résistance est estimée par pénétrométrie.

#### **4/ MESURE ET SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES**

##### **4.1/ La température**

La température intramusculaire est déterminée afin de vérifier l'homogénéité du régime thermique sur les différents échantillons. La température en degré Celsius est directement lue à partir d'un thermomètre électronique « Testo720 » équipé d'une sonde pénétrante permettant la mesure de la température au cœur du muscle.

Trois mesures sont effectuées pour chaque échantillon et la température sera donc la moyenne.

##### **4.2/ Le pH**

Après l'arrêt de la circulation sanguine, l'acidité liée à la quantité d'acide lactique produite en anaérobiose à partir du glycogène, va conduire les phénomènes ultérieurs de transformation du muscle en viande et de ce fait nous mesurons le pH.

La mesure du pH est effectuée à partir de 2g de muscle préalablement broyés dans une moulinette (hachoir à couteaux type Moulinex) pendant 8 secondes, ensuite homogénéisés dans un homogénéisateur type POLYTRON 10 à 15 secondes dans 20 ml de l'acide Iodoacétique 5mM.

L'acide Iodoacétique bloque l'activité des enzymes glycolytique qui peuvent influencer la valeur du pH, notamment ante rigor (OUALI et coll., 1994 ; ZAMORA et coll., 1996). La mesure est réalisée sur l'homogénat ainsi obtenu à l'aide d'un pH-metre de paillasse type : « MP220 ».

La valeur du pH sera la moyenne de trois essais pour chaque muscle.

#### **4.3/ Estimation de la capacité de retentions d'eau**

La capacité de rétention de l'eau est déterminée pour les différents muscles dans le but de savoir la quantité d'eau retenue dans chacun de ces muscles. Cette mesure est estimée par la quantité de jus relarguée en gramme par gramme de muscle (TRONT, 1988 ; OUALI et coll., 1994 ; ZAMORA et coll. 1996). Elle est déterminée à partir de 5g de viande hachée à la moulinette pendant 8 secondes, centrifugation à 100 000 ×g pendant 30 minutes.

Dans notre cas nous ne disposons pas d'ultra- centrifugeuse et donc nous avons travaillé avec une centrifugeuse Sigma 2-5 à force maximale de 18000x g et cela pendant 30 minutes à 12 C° pendant les premières 24 h et à 4C° pour les prélèvements ultérieurs.

Trois essais sont réalisés pour chaque muscle, le surnageant récupéré à chaque fois est pesé. La capacité de rétention d'eau tissulaire serait donc la moyenne des trois mesures.

#### **4.4/ La conductivité électrique et estimation de l'osmolarité**

La conductivité électrique est une mesure qui renseigne sur la charge en ions dans le liquide cellulaire; de ce fait, elle est très intéressante lors des études des phénomènes de transformation du muscle en viande. L'échantillon de 1g est pesé à partir d'un broyat de muscle. Le jus est extrait par centrifugation à 18 000×g pendant 30 minutes (100000 ×g recommandé par ZAMORA ; 1996).

L'extraction se fait à 12°C pendant les premières 24h puis à 4C° pour le reste. Le volume du jus récupéré à partir de 3g de broyat et ajusté à 20 ml avec de l'eau pure ( $CE \approx 0.04 \mu S/cm^3$ ) afin d'avoir un volume suffisant pour plonger la cellule de conductivité. La conductivité est lue directement sur le conductimètre à microprocesseur du type LF196 (WTW) muni d'une cellule de conductivité type TETRACON 96. Ensuite on détermine la CE du jus extrait de 1g de muscle.

## Estimation de l'osmolarité

L'osmolarité du muscle est généralement déterminée à partir du jus extrait de la viande après centrifugation 30 minutes à 100 000xg et mesurée à l'aide d'un osmomètre (DEBITON, 1994) ou par analyse enthalpique différentielle (AED) selon le protocole décrit par BONAT et coll (1992). En général, ces deux techniques ne donnent pas les mêmes résultats (ZAMORA, 1996).

Dans notre travail à défaut d'osmomètre nous essayons d'approcher l'osmolarité du muscle indirectement en utilisant les mesures de la conductivité électrique des jus extraits dans les mêmes conditions. Les concentrations de NaCl en mol/l sont transformées en osmolarité par l'expression de WELL et coll en 1997.

$$OS = M \times [1 + (P - 1) \times X]$$

**OS** : osmolarité (m Osmol/g)

**M** : molarité en (mol/l)

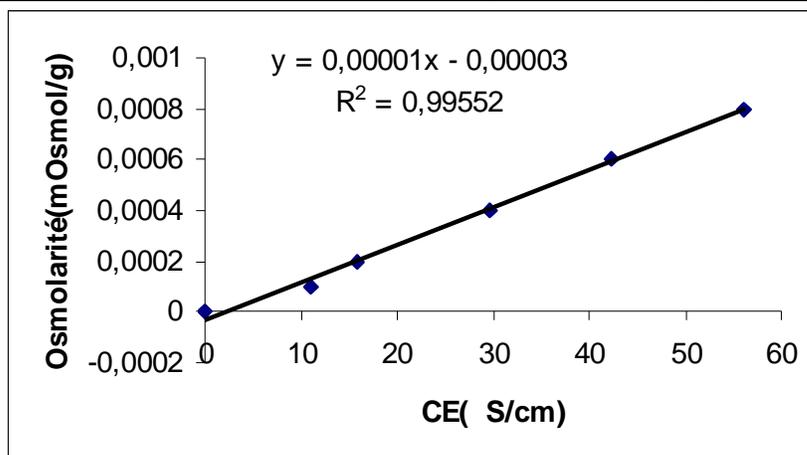
**P** : nombre d'ions formés par la molécule dissociée (2 pour NaCl)

**X** : coefficient de dissociation X NaCl = 1.

L'osmolarité est déterminée ensuite à partir d'une courbe d'étalonnage qui a été établie entre la conductivité électrique et l'osmolarité d'une gamme étalon de solutions de NaCl de concentrations se situant entre 0.00005 à 0.0005Mol/l (Voir tableau n°9 et Figure n°7).

**Tableau 9:** Concentrations de la gamme étalon de solutions de NaCl et leurs osmolarités équivalentes

Molarité (Mol/l)	0,00005	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005
Osmolarité (mOsmol/g)	0,0001	0,0002	0,0004	0,0006	0,0008	0,001

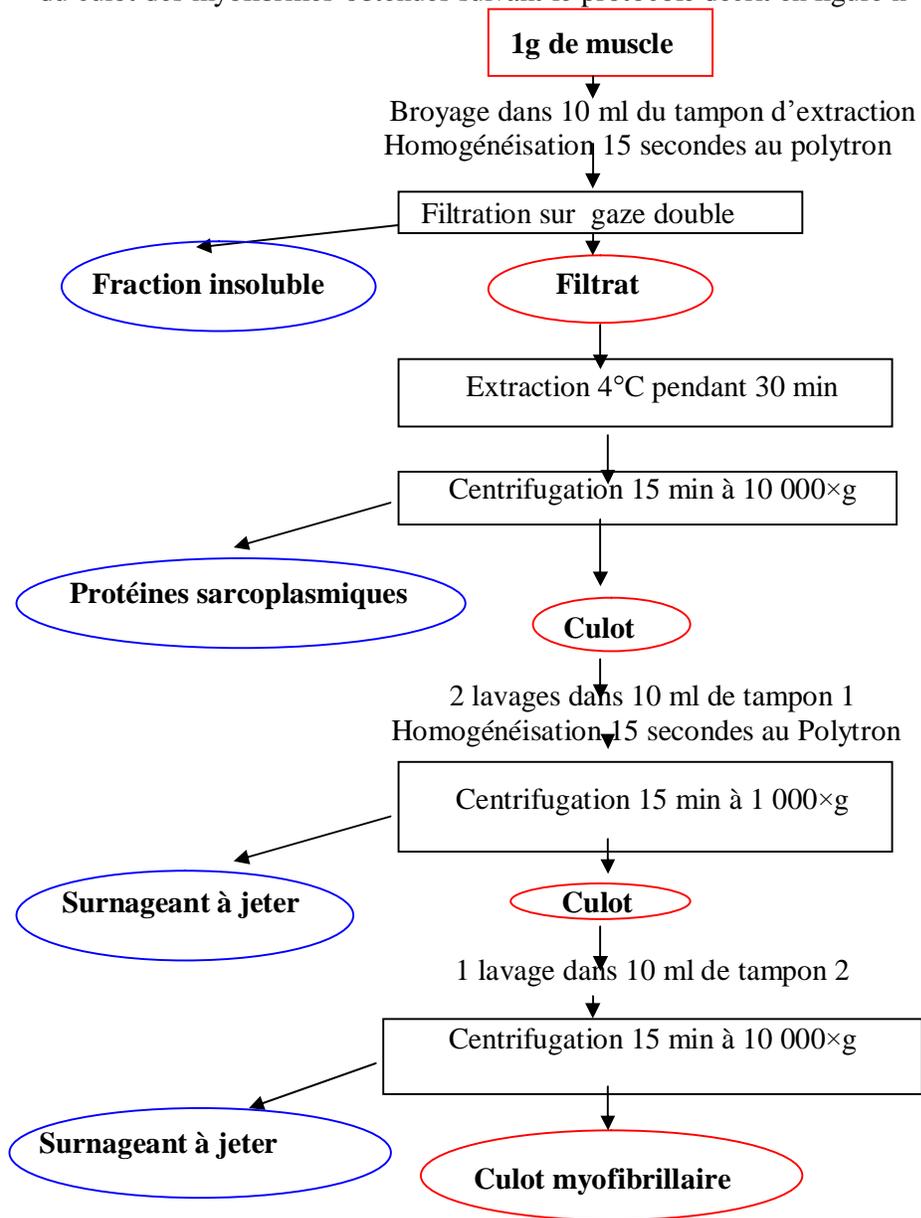


**Fig7:** Courbe étalon obtenue à partir de solutions de NaCl

## 5/ ESTIMATION DE LA PROTEOLYSE DES PROTEINES MYOFIBRILLAIRES PAR ELECTOPHORESE

Nous avons utilisé la méthode d'analyse par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en conditions dénaturantes selon le protocole de LAEMMLI (1970) cité par ZAMORA (1997) (SDS-PAGE). Sa résolution est suffisamment haute pour comparer les protéines de différents muscles, le suivi de la protéolyse et l'identification des protéines myofibrillaires. (BARANY et coll., 1995).

L'estimation de la protéolyse est réalisée au temps *post mortem*: 1, 4, 6, 8, 10, 12,24 et 48h à partir du culot des myofibrilles obtenues suivant le protocole décrit en figure n°8.



**Fig 8:** Schéma d'extraction des myofibrilles pour analyse électrophorétique selon (ZAMORA, 1997).

**-Tampon d'extraction (pH 6.5)**

Le tampon d'extraction est composé de différents sels qui sont: NaCl (15 mM) ,KCl (25 mM) et MgCl<sub>2</sub> (3 mM) en plus de l' EGTA (4 mM) qui permet la coupure des liens calciques.

**-Tampon 1 (PH 6.5)**

Le tampon 1 utilisé au cours du lavage contient du KCl (50mM), du β mercaptoéthanol (5mM) qui assure la coupure des ponts dissulfures et l'EGTA (1mM ).

**-Tampon 2 (PH 6.5)**

De composition analogue au tampon1, sauf l'absence de l'EGTA

Dans notre travail nous avons utilisé à la place de l'EGTA de l'EDTA.

Après extraction les protéines sont solubilisées dans le tampon de solubilisations selon le protocole de l'INRA cité par ZAMORA (1997).

**Tampon de solubilisation :( pH 6.8)**

le tampon de solubilisation sert à diluer les protéines et est constitué de Tris (0.05M), de SDS (3 %), du β mercaptoéthanol (1 %) et du Glycérol (7.5%).

Les échantillons sont dénaturés dans un bain marie bouillant pendant 5 minutes.

Ajouter une goutte de bleu de bromophénol dans du tampon de solubilisation afin de visualiser le front de migration. Les échantillons sont ensuite congelés à - 18C° pour être traités ensemble ultérieurement

**-Conduite de l'électrophorèse**

Le travail a été réalisé sur des gels verticaux de polyacrylamide (18cm de longueur sur 19cm de largeur et 1mm d'épaisseur). Les gels de polyacrylamide utilisés contiennent 12% d'acrylamide pour le gel de séparation et 7.5% d'acrylamide pour le gel de concentration, avec un rapport bisacrylamide sur acrylamide de 1/37.5 dans les 2 cas.

En présence de SDS, détergent anionique, les protéines sont toutes chargées négativement et leur vitesse de migration dans le gel dépend uniquement de leur masse moléculaire.

Les échantillons sont déposés dans les puits à raison de 5 µl. Chaque migration est réalisée à 80mA , dans du tampon de migration contenant 3g de Tris, 14,11 g de glycine et 1 g de SDS pour 1 litre de solution finale, à 80mA jusqu'à ce que le front de migration atteigne le bas du gel de séparation.

Ces protéines sont révélées par coloration au bleu de Coomassi R-250. Cette coloration débute par une étape de fixation dans une solution contenant 30 % de méthanol, 5 % d'acide acétique pendant 15min. La coloration proprement dite est obtenue avec une solution de même composition que la précédente avec en plus 0.12% de bleu de Coomassi et ceci pendant 1 heure .

La décoloration est assurée par la même solution que celle servant à la fixation, elle peut durer une nuit. Enfin, les gels sont conservés et scannés pour être étudiés.

### **-Identification des protéines myofibrillaires**

Les protéines myofibrillaires sont identifiées en fonction de leurs migrations qui sont comparées à celle d'un Kit Amersham biosciences (Low molecular) composé de : phosphorylase b 97kDa, albumine 66kDa, ovalbumine 45kDa, anhydrase carbonique 30kDa, inhibiteur trypsique 20.1kDa,  $\alpha$ -lactalbumine 14.4kDa. En premier lieu on trace à partir de ces protéines étalons une courbe d'étalonnage qui donne l'équation du logarithme du poids moléculaire en fonction du rapport frontal.

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

Avec:  $\text{Rf} = r/R$ .

$r$  = distance parcouru par une protéine.

$R$  = hauteur totale du gel à parcourir.

L'équation obtenue est du type:

$$Y = Ax + B$$

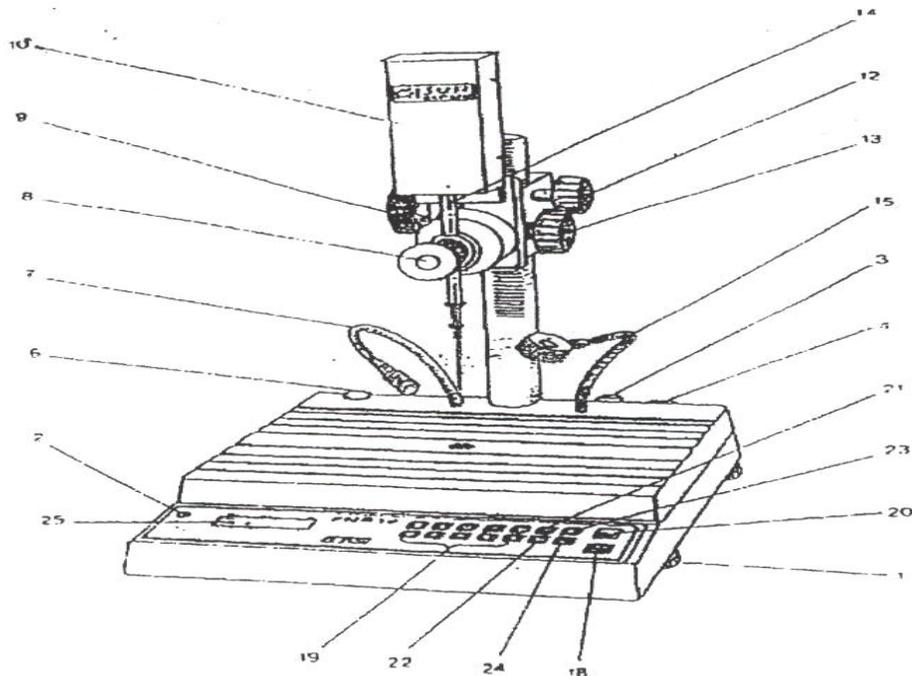
Avec :  $Y = \text{Log PM}$

$X = \text{Rf}$ .

### **6/ESTIMATION DE LA TENDRETE AU PENETROMETRE**

La tendreté est approchée par des essais de pénétration au pénétromètre numérique à interface RS232C standart (Figure n°9).

Les tests de pénétration sont les plus utilisés en raison de leurs simplicité. Ils déterminent la profondeur de pénétration (en millimètre) de l'aiguille (de 2.5g) du pénétromètre en fonction d'un corps de masse définie de 47.5g dans le cas des viandes, donc un totale de 50g.

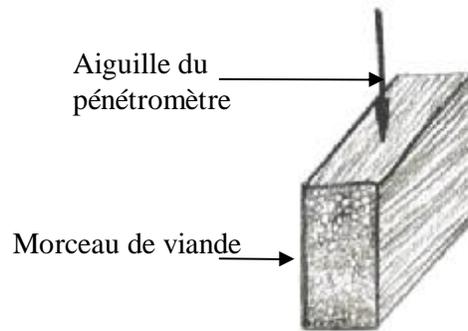


- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| 1-Pieds à vis            | 15-La loupe           |
| 2-Detecteur électrique   | 18-La touche RESET    |
| 3-Fusible                | 19-Bloc de mesure     |
| 4-Interrupteur principal | 20-La touche START    |
| 5-Bulle de niveau        | 21-La touche LIMIT    |
| 7-Dispositif d'éclairage | 22- La touche LIMIT   |
| 8-Bouton poussoir        | 23-La touche PEN(S)   |
| 9-Bouton de réglage      | 24-La touche PAUSE    |
| 10-Detecteur de course   | 25-Cadran d'affichage |
| 12-Bouton d'arrêt        |                       |
| 13-Molette micrométrique |                       |
| 14-Guidage de tige       |                       |

**Fig 9:** pénétromètre PNR 10 PETROTEST.

La pénétration est effectuée sur un échantillon de viande de dimensions d'environ 2 cm de longueur, 2cm de hauteur et 1cm de largeur. Il faut éviter au maximum les parties contenant beaucoup de collagène ou de tissu adipeux. La viande est placée sur support horizontal et la contrainte est appliquée perpendiculairement aux fibres musculaires pendant 5 secondes. (Figure n° 10).

Dans ce cas les mesures sont répétées 5 fois. Il est important de veiller à ce que la hauteur des tranches soit identique ( $\approx 2$ cm) (BECILA, 2002).



**Fig 10:** Schéma du principe de la pénètrométrie.

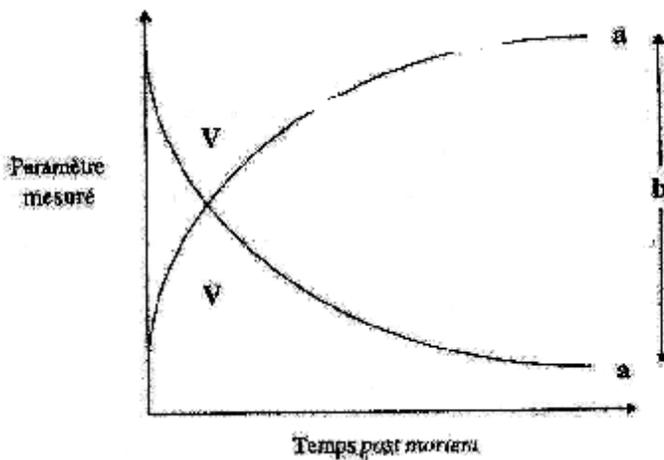
## 7/ ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse des données a été réalisée à l'aide des logiciels Excel 2003, StatITCF et Minitab13. Les données chiffrées sont présentées sous forme de moyenne  $\pm$  écartype. Le coefficient de variation (CV) est calculé selon la formule:

$$CV\% = (\text{écartype}/\text{moyenne} \times 100).$$

### 7.1/ Caractérisations des paramètres suivis en cinétique

L'évaluation des paramètres suivis en cinétique (température, pH, capacité de rétention d'eau, conductivité électrique et osmolarité) a été caractérisé à partir des courbes obtenues en fonction du temps *post mortem*. Un ajustement, à l'aide d'une équation monomoléculaire, permet de déterminer la vitesse d'évolution des différents paramètres suivis en cinétique, voir figure n°11.



**Fig 11:** détermination de la vitesse d'évolution des paramètres suivis en cinétiques.

Ces courbes sont ajustées à l'aide d'un modèle monomoléculaire (ZAMORA, 1997) dont l'équation est:

$$Y = a - b \times \text{Exp}(-c x)$$

Avec : **a** : la valeur ultime du paramètre.

**b** : l'amplitude d'évolution du paramètre.

**c** : la vitesse d'évolution du paramètre .

## **7.2/ Analyse de la variance**

L'analyse de la variance est une méthode statistique qui permet de tester l'hypothèse d'homogénéité d'un ensemble de moyennes, dans notre travail, l'analyse de la variance permet de déterminer si l'effet du facteur type de muscle est significatif ou non sur les valeurs des paramètres suivis en cinétique.

## **7.3/ La régression linéaire multiple**

La régression linéaire permet d'étudier la relation entre une variable expliquée Y et des variables explicatives  $X_1, X_2, \dots, X_p$  à l'aide du modèle:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_p X_p + \text{erreur.}$$

Ce modèle est linéaire car les coefficients  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_p$  interviennent de façon linéaire. Le terme erreur signifie que la relation n'est pas exacte. Dans notre étude Y représente la profondeur de pénétration et les variables X représentent les mesures physico-chimiques (pH, QJE, CE, Osmolarité).

Par cette statistique on peut étudier les corrélations entre les différents paramètres suivis en cinétique et prédire la tendreté de la viande par les variables du modèle, la qualité de prédiction est estimée par le coefficient de détermination  $R^2$ , qui représente le R:

$$R = \text{variation expliquée par le modèle} / \text{variation totale.}$$

## **1/PRESENTATION GENERALE**

Notre travail porte sur l'étude des paramètres biologiques responsables de la variabilité de l'attendrissage naturel de la viande ovine liée au facteur type de muscle, ainsi que les relations pouvant exister entre les différents paramètres afin de prédire la tendreté finale de la viande ovine.

Le travail a été réalisé sur un lot d'animaux homogène pour éviter au maximum toutes les variations liées au facteur animal.

Cette variabilité liée au facteur type de muscle à été étudiée en utilisant les muscles suivants:

- *Longissimus dorsi* (LD)
- *Semimembranosus* (SM)
- *Semitendinosus* (ST)
- *Rectus femoris* (RF)

Les résultats obtenus vont être représentés comme suit : dans un premier temps nous allons présenter:

- \*les évolutions des différents paramètres physico-chimiques mesurés dans le temps *post mortem*.
- \*l'évolution de la protéolyse des protéines myofibrillaires à partir des résultats de l'électrophorèse.
- \*l'évolution de la tendreté de la viande au cours du temps *post mortem* d'après les résultats de la pénétrométrie.

Dans un deuxième temps par analyse statistique nous allons :

- \*déterminer des caractéristiques intéressantes des courbes des cinétiques, qui peuvent avoir un effet sur la tendreté finale du produit et il sagit de la vitesse et l'amplitude de l'évolution au cours du temps *post mortem*.
- \*discuter la variabilité des mesures en fonction du facteur type de muscle à travers le test d'ANOVA à un facteur.
- \*rechercher la possibilité d'existence de corrélations entre les paramètres mesurés en cinétique et la tendreté, par des matrices de corrélations.
- \*Enfin tester la possibilité de mise au point du modèle de prédiction de la tendreté de la viande ovine en fonction des différents paramètres mesurés par la régression multiple.

## 2 / CARACTERISTIQUES DES MUSCLES ET DES ANIMAUX

Le travail a porté sur un lot de cinq animaux constituant une population homogène du point de vue poids des carcasses qui sont compris entre 11 et 16 kg.

Au niveau du laboratoire nous avons commencé par pesé des cuisses et des muscles afin de voir les différences pondérales entre les animaux et les muscles. Tous ces résultats sont groupés dans le tableau n°10.

**Tableau 10** : Poids des carcasses et des muscles des animaux utilisés dans le travail.

	Animal1	Animal2	Animal3	Animal4	Animal5	Moyenne	Ecartype	CV%
Poids de la carcasse (kg)	16.00	14.00	11.00	11.00	11.40	11.85	1.45	12.20
Poids de la cuisse droite en (kg)	-	1.60	1.60	1.60	1.50	1.58	0.05	3.17
Poids de la cuisse gauche (kg)	-	1.70	1.70	1.60	1.50	1.63	0.10	5.89
Poids du LD (g)	-	282.00	234.10	317.20	276.50	277.45	34.06	12.28
Poids du SM droit (g)	-	228.30	210.10	224.00	232.90	223.83	9.85	4.40
Poids du SM gauche (g)	-	226.70	182.90	215.70	184.70	202.50	22.07	10.90
Poids du ST droit (g)	-	205.90	223.90	206.60	182.90	204.83	16.82	8.21
Poids du ST gauche (g)	-	225.20	200.00	200.50	185.50	202.80	16.47	8.12
Poids du RF droit (g)	-	72.80	70.20	58.00	67.10	67.03	6.45	9.63
Poids du RF gauche (g)	-	82.20	64.50	60.50	66.20	68.35	9.54	13.95

Le poids du muscle noté LD dans le tableau ne concerne que sa partie lombaire. D'après le tableau on remarque que le muscle SM est le plus important selon le poids suivi du ST puis le RF.

Les coefficients de variations varient de 4.4% à 13.95 %, ce qui nous permet de considérer que le lot d'animaux est homogène du point de vue poids.

## 3/ EVOLUTION DES DIFFERENTS PARAMETRES MESURES AU COURS DU TEMPS

### 3.1/ Evolution des paramètres physico-chimiques

D'après la revue bibliographique après l'abattage des animaux différentes transformations se produisent dans le muscle pour aboutir à une viande de propriétés organoleptiques définies.

Dans notre travail suite à nos disponibilités nous avons déterminé certains paramètres physico-chimiques (la température, le pH, CRE, CE et Osmolarité) et biochimiques (protéolyse des protéines myofibrillaires) pour comparer leurs évolutions à l'évolution de la tendreté de la viande.

Les cinétiques de ces paramètres sont présentées pour les quatre muscles à différents temps *post mortem*.

### **3.1.1/ Cinétique de la température :**

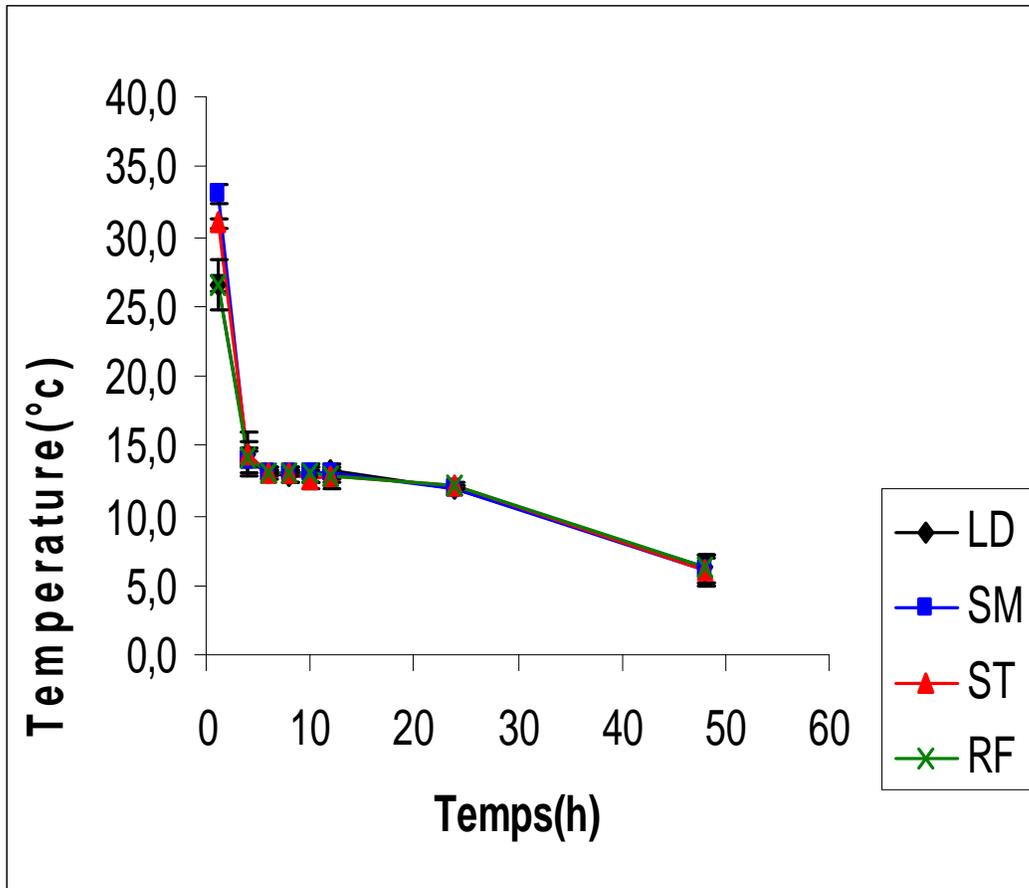
La température est un facteur très important lors des différentes manipulations des muscles *post mortem*, son influence au cours du stockage peut aboutir à des variations importantes sur le phénomène global de la transformation du muscle en viande et de ce fait, sur les propriétés organoleptiques finales du produit.

Pour cela les muscles des différents animaux ont subi un régime thermique identique, afin que ce facteur ne soit pas à l'origine des différences d'attendrissage pouvant exister entre eux. Le régime thermique de 12°C pendant 24h *post mortem* puis le lendemain à 4°C a été choisi afin d'éviter le phénomène de contracture au froid des muscles (MARSH et LEET, 1966; ZAMORA, 1997).

Le suivi de la température dans notre travail avait donc pour intérêt le contrôle du régime thermique d'une part et la distinction de la vitesse de transfert thermique des différents muscles d'autre part.

Les résultats permettent de noter que les quatre muscles représentent la même cinétique à part quelques différences au départ. Nous avons pour le SM et le ST des valeurs de 32.9±0.5°C et 30.9±0.6°C respectivement alors que les valeurs sont inférieures pour le LD et RF (26.6±0.3°C et 26.5±1.8°C).

A 4 h *post mortem* les quatre muscles atteignent des températures voisines à celle de leur conservation, qui est de 12°C. Après 24h on fait descendre cette température à 4°C, mais aucun des muscles n'atteint cette température après 48h car ces valeurs restent entre 6 et 6.2°C (Figure n° 12).



**Fig12:** Evolution *post mortem* de la température des muscles.

La variabilité des valeurs de la température pourrait être liée à la combinaison de trois facteurs qui sont : la température de l'animal au moment de l'abattage, la température de l'environnement et en fin la résistance du muscle à la chute de température par effet de masse.

### **3.1.2/ Cinétique du pH :**

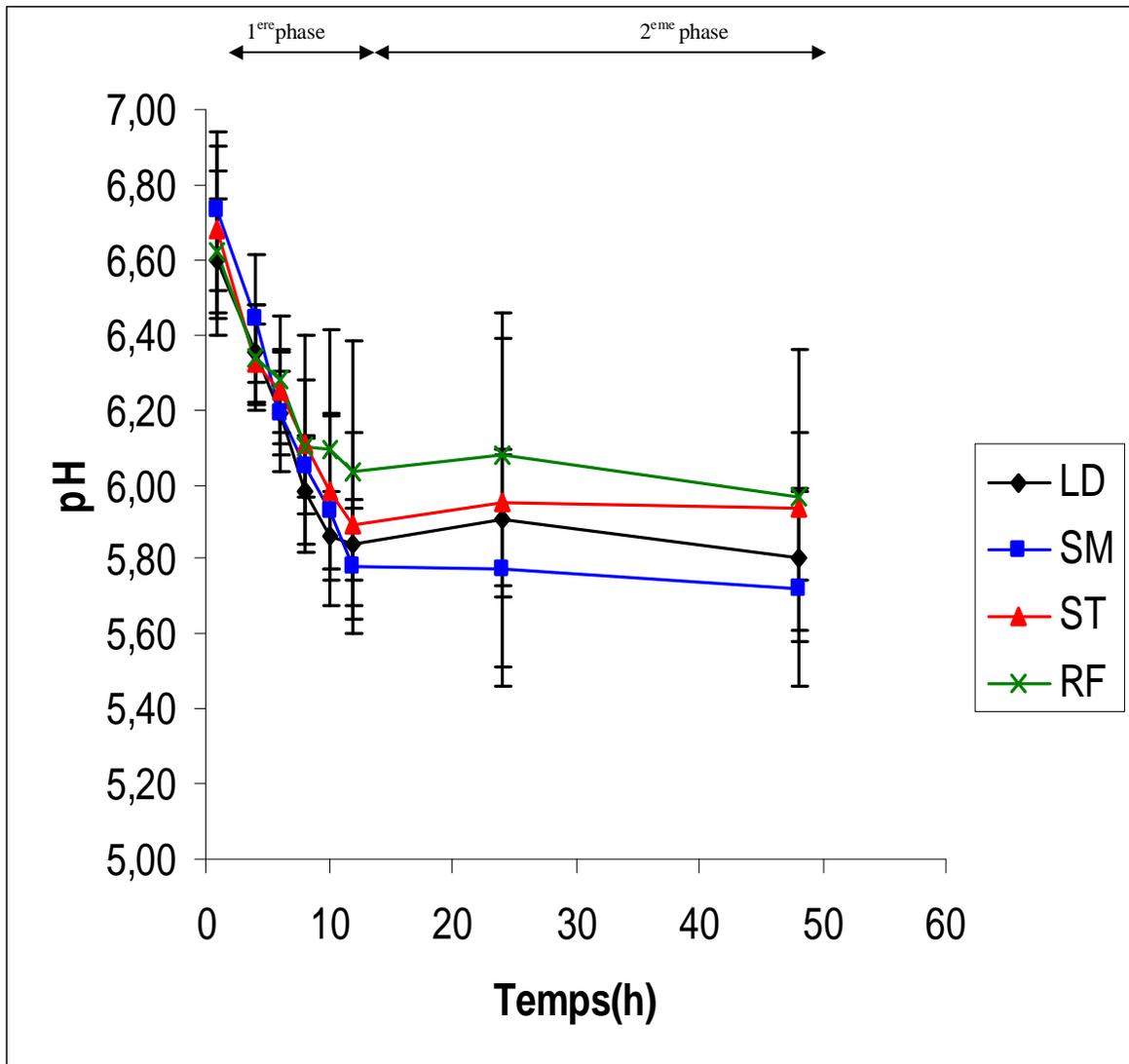
Après abattage l'évolution du pH au cours du temps suit pour les 4 muscles un même profil. Ce dernier se caractérise globalement par deux zones bien définies: la première correspond à une chute rapide et la deuxième représente une stabilité avec quelque variation selon les muscles (Figure 13).

La valeur initiale du pH varie de  $6.73 \pm 0.16$  pour le muscle SM à  $6.60 \pm 0.22$  pour le muscle LD, tandis que pour la valeur finale c'est le SM qui représente le plus bas pH avec une valeur finale de  $5.72 \pm 0.19$  et le RF la plus haute valeur de  $5.97 \pm 0.39$ .

Le début de la deuxième zone est noté pour les quatre muscles à 12h *post mortem* ou les pH arrivent à des valeurs presque ultimes. Une légère augmentation du pH a été notée à 24h pour les muscles RF, LD et ST (Figure 13).

L'observation des écartypes dans la figure n°13, permet de voir une étape de stabilité ou bien une légère augmentation des valeur du pH les premières heures pour les muscles ST, LD, et RF surtout pour deux animaux du lot de cinq.

Les coefficients de variation calculés pour toutes les moyennes de chaque muscle aux différents temps *post mortem*, présentent des valeurs inférieures à 6.53%, ceci montre que l'échantillon étudié est homogène du point de vue évolution du pH.



**Fig13:** Evolution *post mortem* du pH des muscles.

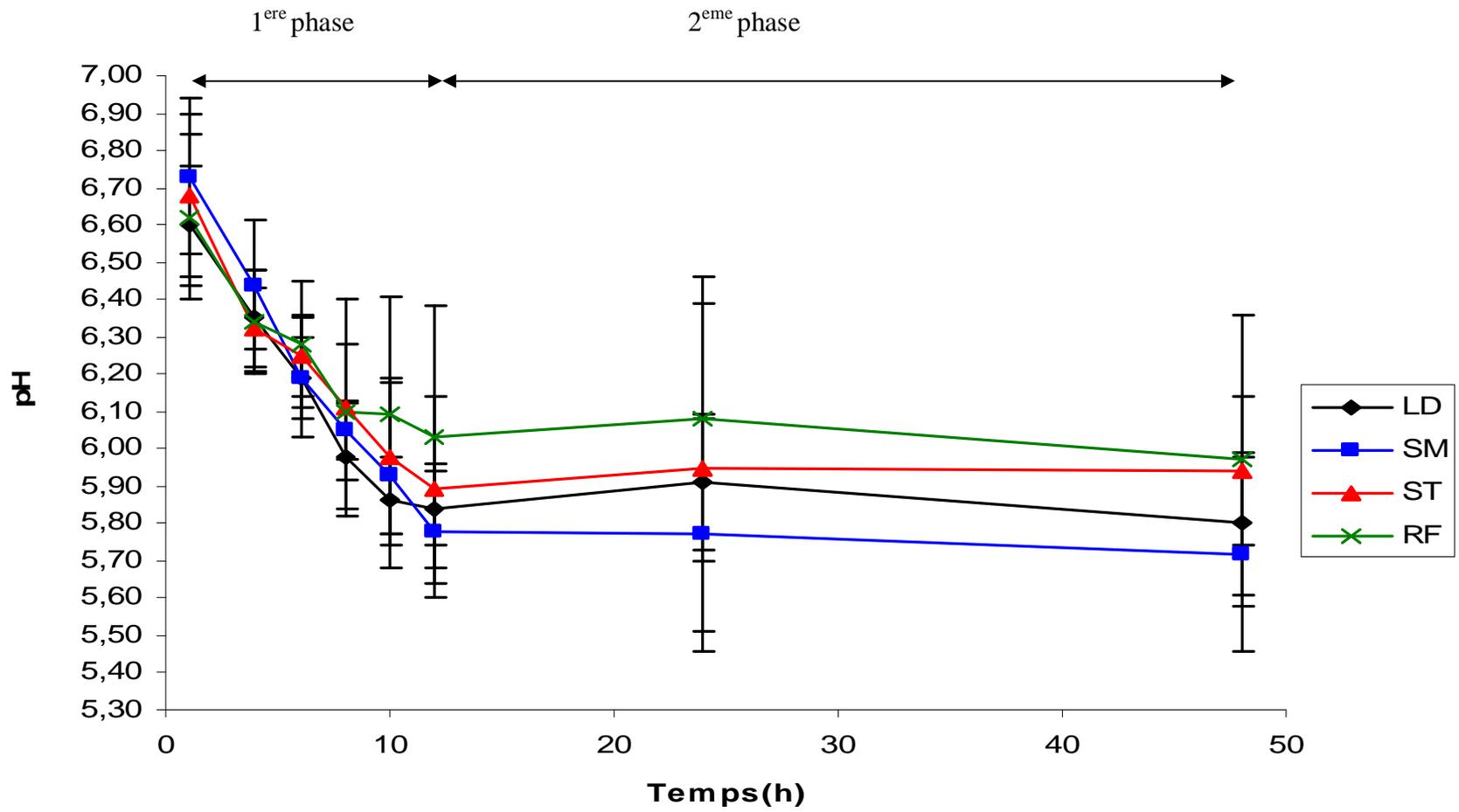


Fig13: Evolution *post mortem* du pH des muscles.

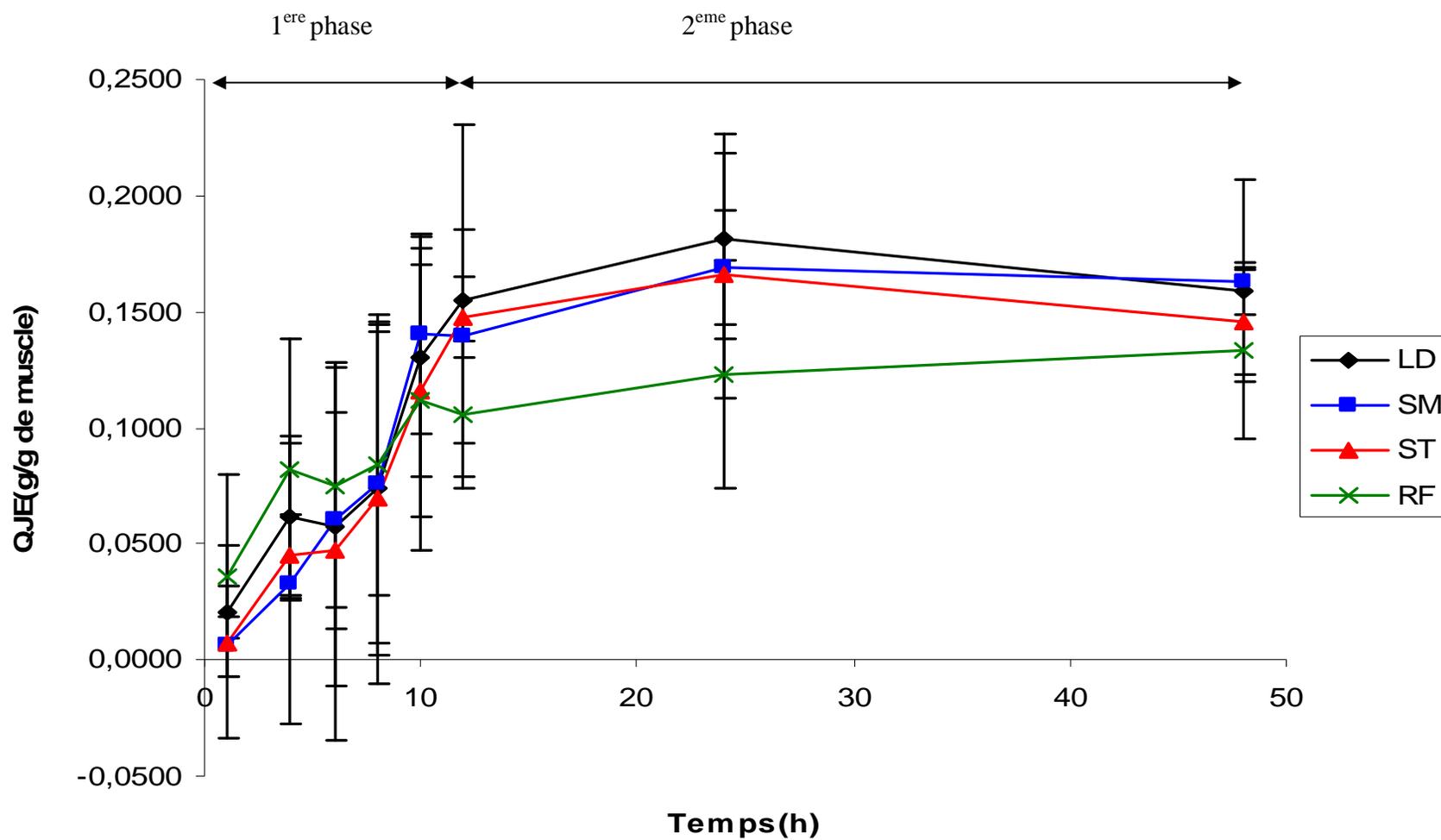
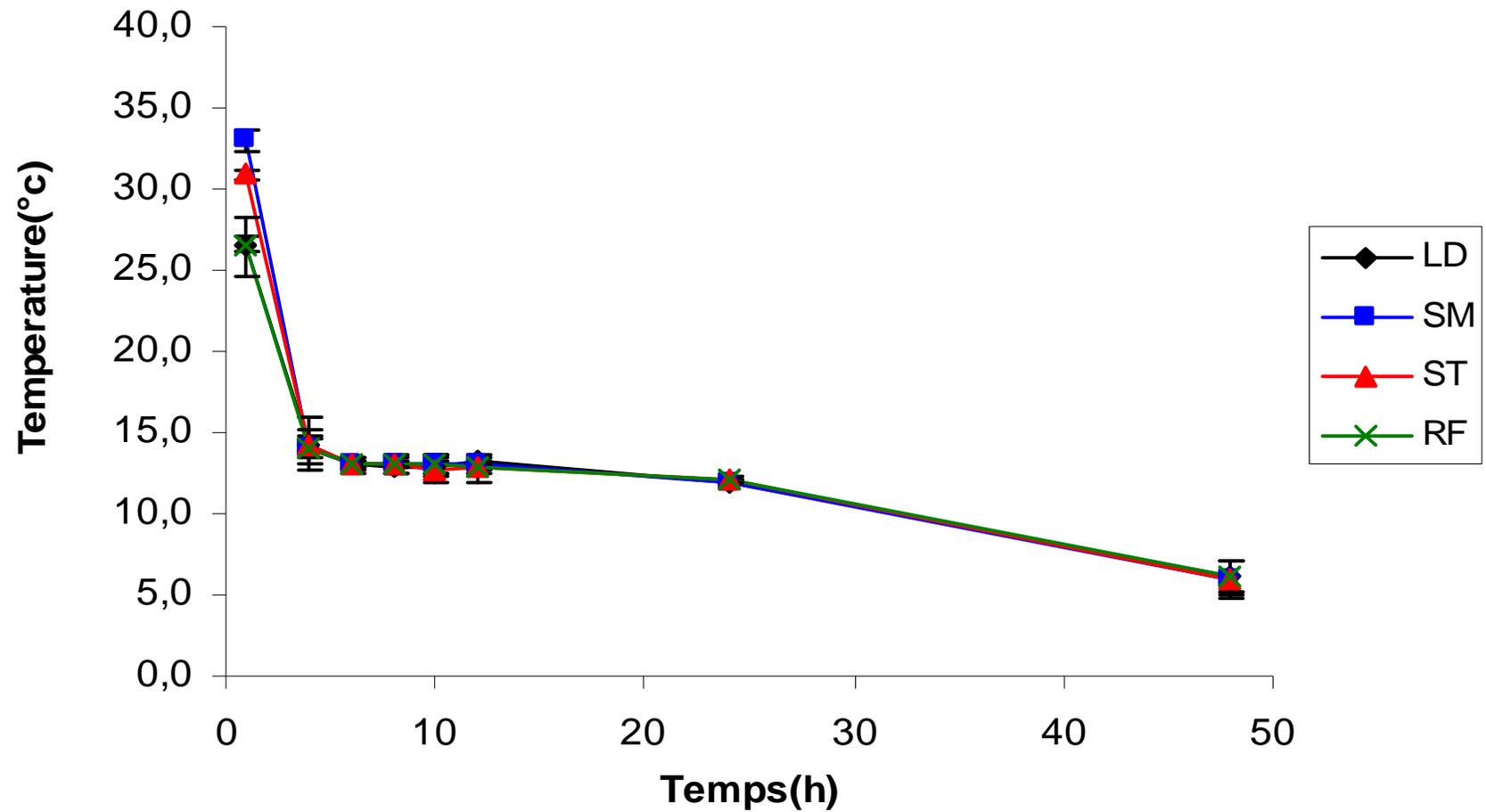


Fig14: Evolution *post mortem* De la QJE des muscles.



**Fig12:** Evolution *post mortem* de la température des muscles.

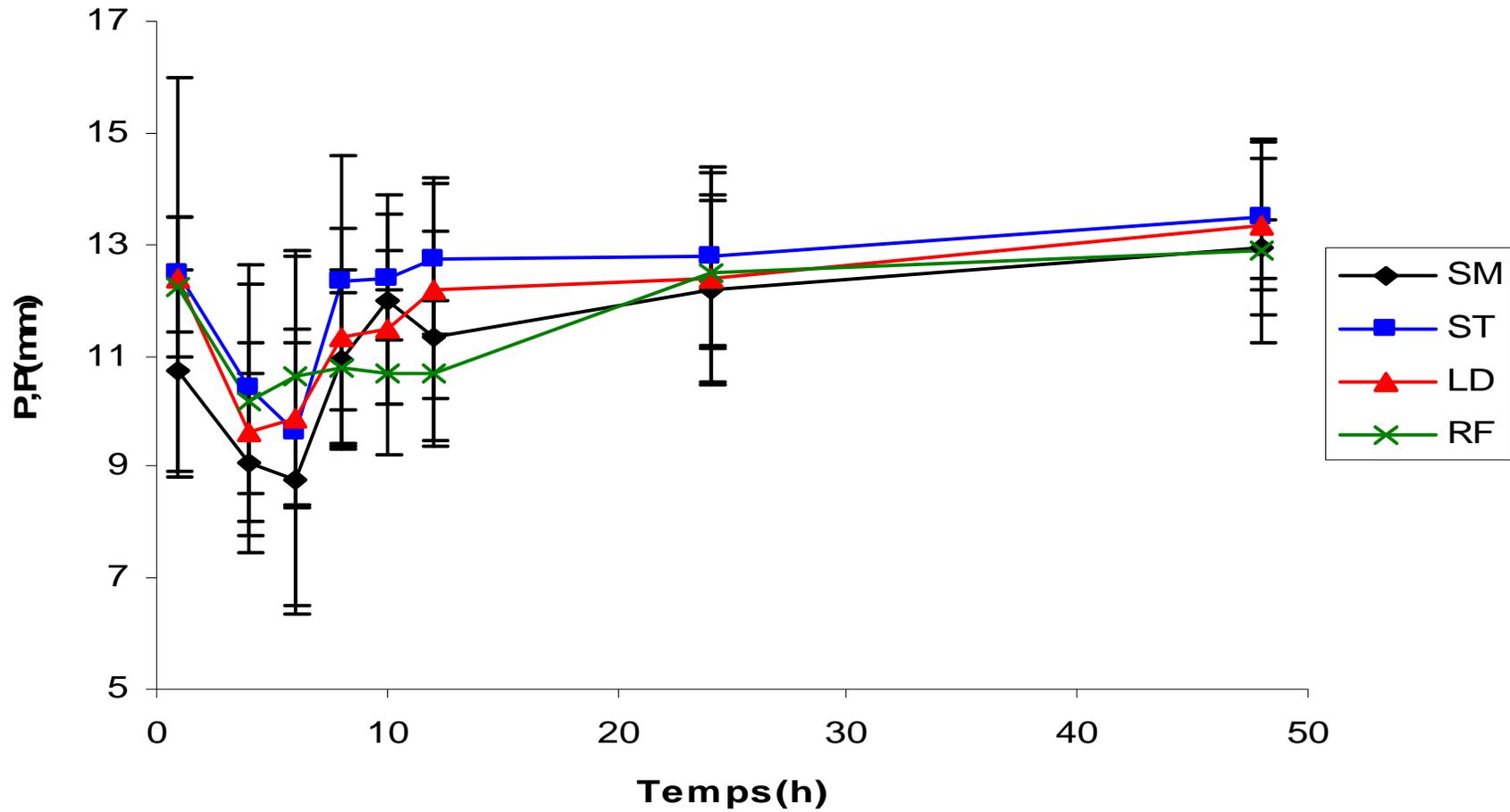
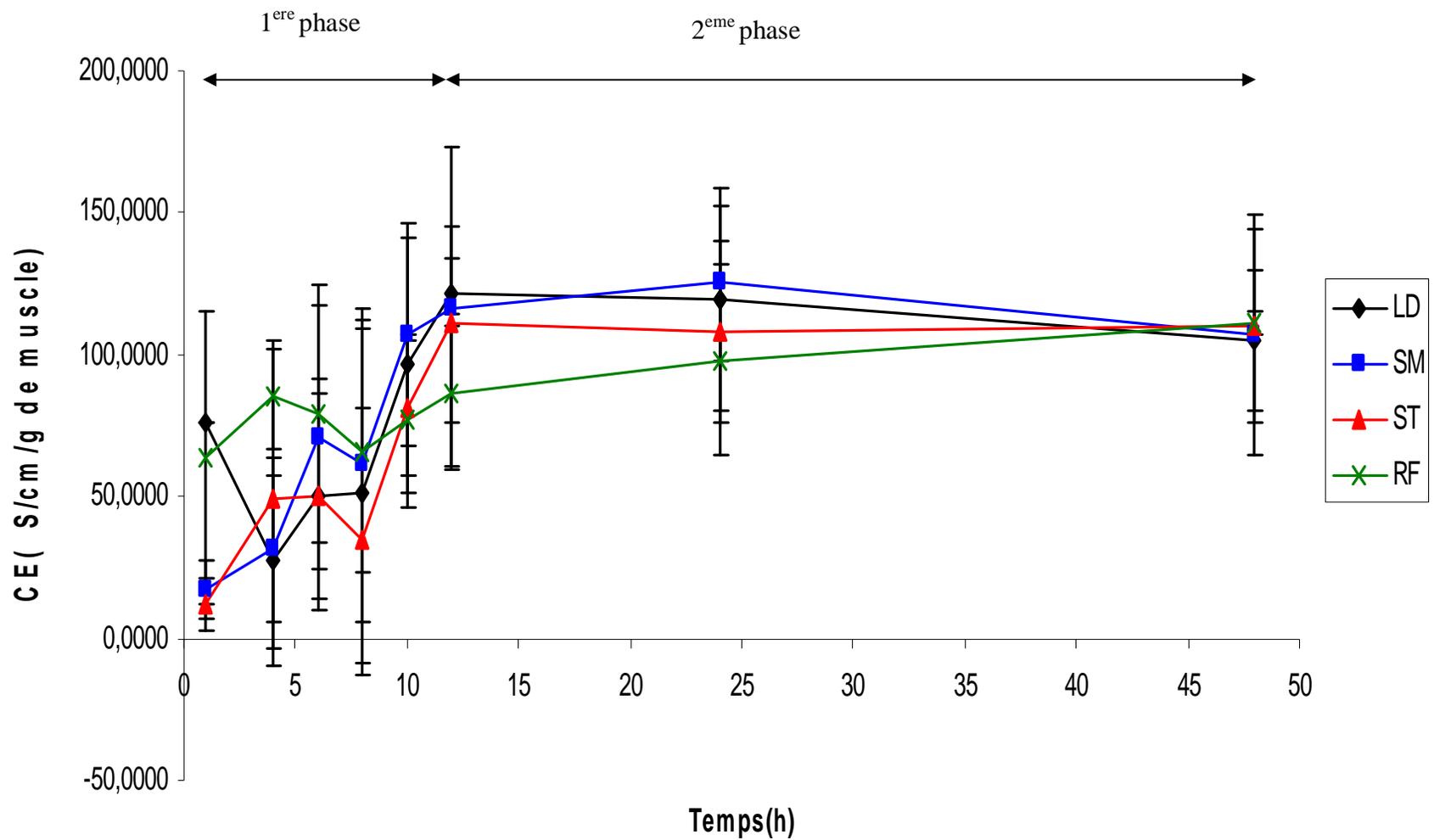


Fig25: Profondeur de pénétration en mm au cours du temps *post mortem*.



**Fig15:** Evolution *post mortem* De la CE des muscles.

### **3.1.3/ Cinétique de la capacité de rétention d'eau tissulaire :**

Inversement à la chute de pH on note pour la quantité d'eau extractible une augmentation au cours du temps *post mortem*, qui signifie la diminution de la capacité de rétention d'eau des protéines.

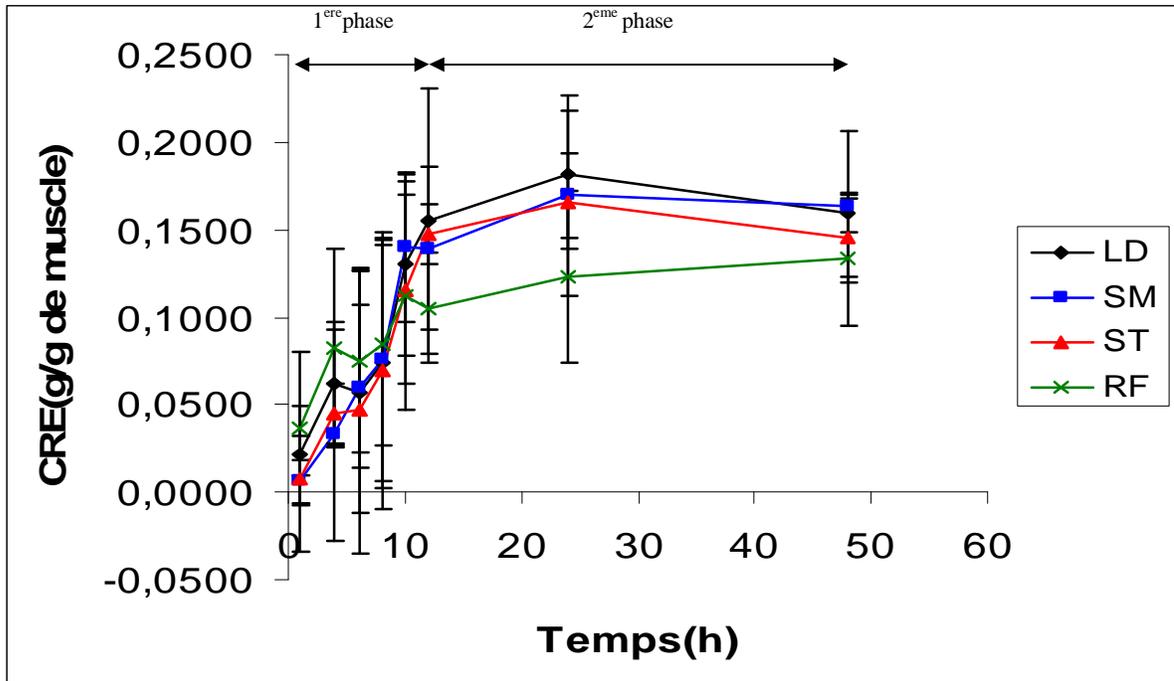
L'évolution est caractérisée encore par deux zones où nous avons l'augmentation rapide et ensuite la stabilité. À 1h *post mortem* la quantité de jus relarguée varie de  $0.0061 \pm 0.0114$  g/g de muscle pour le muscle SM à  $0.0363 \pm 0.0434$  g/g de muscle pour le muscle RF.

En ce qui concerne les valeurs de la QJE après les 10h *post mortem*, les variations deviennent moins importantes à 12 h *post mortem* puis une augmentation lente jusqu'à  $0.1333 \pm 0.0382$  g/g de muscle qui est la valeur finale minimale pour les quatre muscles.

Le maximum de QJE est noté pour le muscle ST avec une valeur de  $0.1632 \pm 0.0103$  g/g de muscle (Figure n° 14).

Dans la première phase on note beaucoup plus de fluctuation dans les profils d'évolution où nous avons des valeurs des coefficients de variations qui dépassent 100%, et qui peuvent être dues probablement à la qualité de séparation qui peut être moindre à une force centrifuge de  $18000 \times g$  par rapport à  $100000 \times g$  (ZAMORA, 1997) et  $37500 \times g$  (VEISETH et coll., 2004).

Dans la deuxième zone on a moins de variations car les CV% sont nettement inférieures variant ainsi entre 6.3% et 54.1%, mais cela n'empêche que leurs valeurs sont élevées surtout pour le RF et ST. Pour le LD dans cette zone les CV% sont acceptables et varient de 11.23% à 14.98%.



**Fig14:** Evolution *post mortem* De la QJE des muscles.

### **3.1.4/ Cinétique de la conductivité électrique :**

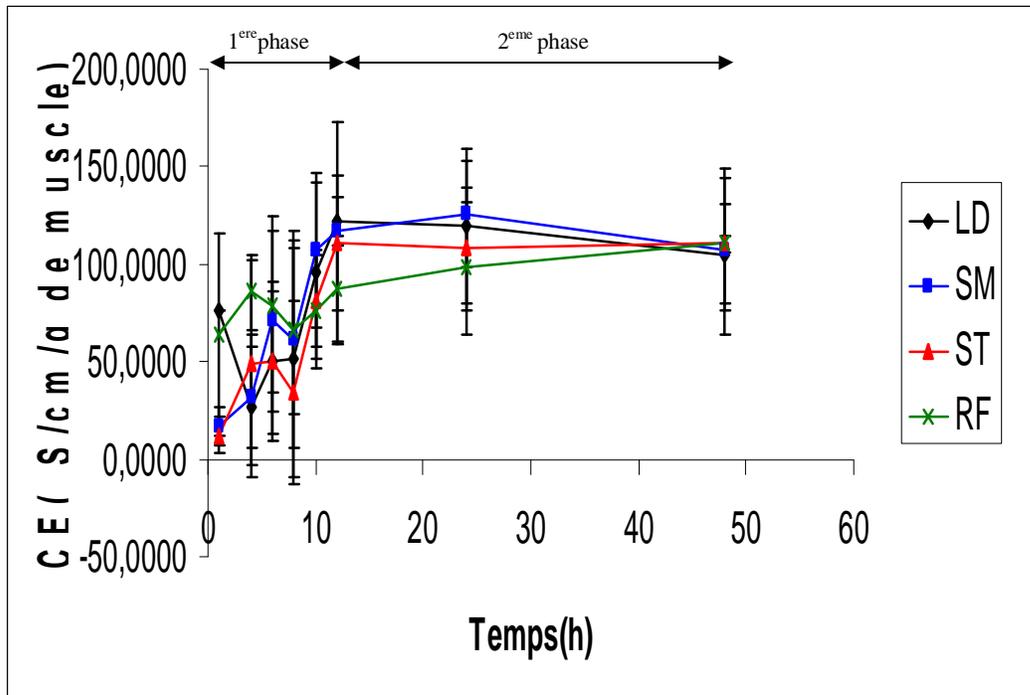
La conductivité électrique du jus relargué par le tissu musculaire augmente avec le temps .On note pour les trois muscles SM, ST et RF le même profil d'évolution qui se caractérise par une augmentation suivie d'une diminution et ensuite une augmentation, puis une légère stabilité mais avec des vitesses différentes. Ceci n'est pas le cas du muscle LD qui commence par une diminution de  $75.81\pm 0.0$  à  $27.04\pm 36.72$   $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle. Une augmentation entre 4h et 6h *post mortem* est notée ensuite. On note une étape de stabilité entre 6et 8h qui est suivie d'une augmentation jusqu'à  $121.79\pm 12.02$   $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle, valeur maximale notée pour ce muscle.

La valeur initiale de la CE varie de  $12.00\pm 9.34$   $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle, pour le muscle ST à  $75.8174\pm 00$   $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle, pour le muscle LD.

La valeur maximale pour le muscle SM  $125.37\pm 27.2734$   $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle, est notée à 24h *post mortem*, pour le ST et le LD les valeurs maximales sont notées à 12h car elles sont respectivement de  $111.06\pm 34.54$  et  $121.79\pm 12.02$   $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle, puis nous avons une légère diminution jusqu'au 48h *post mortem*.

Le muscle RF n'atteint son maximum qu'après 48h *post mortem* ou on note  $110.83\pm 4.28$   $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle, Voir Figure n°15.

On note la même remarque que celle notée pour la QJE concernant les coefficients de variations qui sont très importants dans ce cas aussi, et cela parce qu'il sagit d'un test qui dépend de la quantité de jus extractible (tableau n°11).

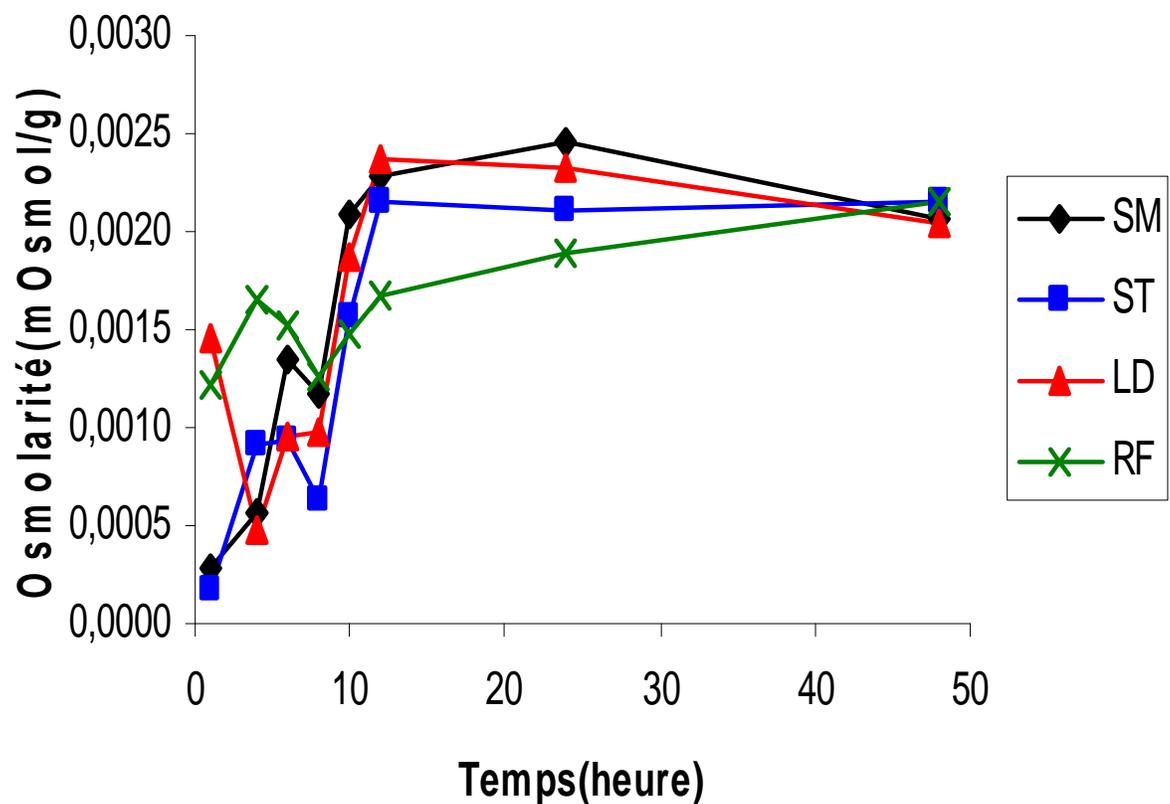


**Fig15:** Evolution *post mortem* De la CE des muscles.

### 2.1.5/ Cinétique de l'Osmolarité:

Comme nous avons notée dans la partie matériel et méthode, l'évolution de l'osmolarité est proportionnelle à celle de la conductivité électrique, dont les allures vont être les même comme le montre la figure n°16.

On note aussi les mêmes remarques concernant ces évolutions.



**Fig16:** évolution *post mortem* de l'Osmolarité (mOsmol/g) des muscles.

Pour les coefficients de variations aussi, on note les mêmes remarques car ils sagit des mêmes coefficients que ceux de la conductivité électrique (tableau n°11).

Ces coefficients de variations ne permettent pas l'exploitation de ces résultats ultérieurement ni la confirmation des cinétiques de l'évolution de ces paramètres.

**Tableau11:** Evolution *post mortem* de la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  de muscle) et l'osmolarité des muscles (en mOsmol/g de muscle).

muscle	Temps (h)	1h	4h	6h	8h	10h	12h	24h	48h
LD	CE	75,8174	27,0391	50,5368	51,7298	96,4661	121,7949	119,6150	105,3008
	Osmolarité	0,0015	0,0005	0,0010	0,0010	0,0019	0,0024	0,0023	0,0020
	Ecartype	0,0000	36,7172	40,8285	60,4534	45,1055	12,0243	39,3151	24,9412
	CV%	0,0000	135,7930	80,7896	116,8638	46,7579	9,8726	32,8680	23,6857
SM	CE	16,8721	31,5724	70,8807	61,2797	107,2590	116,7820	125,3770	106,7480
	Osmolarité	0,0003	0,0006	0,0014	0,0012	0,0021	0,0023	0,0024	0,0021
	Ecartype	10,2618	26,2961	46,2182	55,2985	39,1458	56,2638	27,2767	42,4930
	CV%	60,8211	83,2883	65,2056	90,2395	36,4965	48,1785	21,7557	39,8068
ST	CE	12,0005	49,0627	49,8471	34,2725	81,1304	111,0658	108,0833	110,4327
	Osmolarité	0,0002	0,0009	0,0009	0,0006	0,0016	0,0022	0,0021	0,0021
	Ecartype	9,3404	52,5799	36,1518	47,2740	24,0493	34,5402	31,8101	34,2890
	CV%	77,8334	107,1688	72,5254	137,9357	29,6428	31,0989	29,4311	31,0497
RF	CE	63,9239	85,8392	78,9816	65,7972	76,7394	86,7954	97,9423	110,8364
	Osmolarité	0,0012	0,0017	0,0015	0,0013	0,0015	0,0017	0,0019	0,0022
	Ecartype	51,8185	19,2458	45,3014	42,7777	30,3982	27,7258	33,7763	4,2846
	CV%	81,0628	22,4208	57,3569	65,0145	39,6122	31,9439	34,4859	3,8657

### 3.1.6 / Discussion des résultats des cinétiques des paramètres physico-chimiques

La mesure des paramètres physico-chimiques et la mise en évidence des cinétiques de leurs évolutions, par le suivi au cours du temps *post mortem*, est un moyen d'avoir une idée sur les transformations majeures qui se produisent lors du passage du muscle en viande. Nos résultats présentés ci avant, nous permettent de faire des comparaisons avec d'autres études menées dans le même cadre.

#### - Cas du pH :

Dans le muscle *post mortem*, l'accumulation de l'acide lactique et des protons  $\text{H}^+$  induisent la chute du pH. C'est une acidification progressive qui se poursuit jusqu'à l'arrêt des réactions biochimiques anaérobies (ELRAMMOUZ, 2005).

Au cours de notre étude, nos résultats illustrent ce phénomène car nous avons des allures comparables à celles citées par la bibliographie.

Pour la viande bovine l'expérience de DEBITON (1994) a montré une chute de pH de 6.5-7 à 5.6-5.38 pour le muscle LD. Ces résultats sont très proches de ceux de ZAMORA (1997) qui a obtenu des pH ultimes de 5.49 à 5.51. TROY et coll en 1999 ont trouvé pour le LD une chute de 6.8 à 5.6, c'est presque le même résultat obtenu par CHERET (2005), mais pour le muscle *Biceps femoris*.

Pour la viande ovine les résultats sont très proches de ceux de la viande bovine ou on note pour le muscle LD une chute de 6.8 à 5.6 (BRIAN et coll., 1999; VEISETH et coll., 2004) cela malgré la différence du régime thermique appliqué après abattage.

Dans notre cas pour le muscle LD on a trouvé une chute de 6.6 à 5.8, se qui montre bien que le pH ultime est un peu plus élevé par rapport à ces résultats et ceux aussi de VALIN et coll (1981) et PINKAS et coll (1982) qui ont obtenu des pH ultimes de 5.68 et 5.55 respectivement.

Pour les autres muscles on note des résultats très proches car nous avons pour le muscle SM, ST et RF des valeurs de  $pH_u$  de 5.72, 5.94 et 5.97 respectivement. Ces mêmes muscles ont été étudiés par BECILA (2002) qui a trouvé des  $pH_u$  inférieurs et inférieurs même aux valeurs des autres travaux ils sont de 5.20 pour le SM, 5.5 pour le ST et 5.46 pour le RF.

D'après nos cinétiques on peut dire que ces valeurs ultimes de pH sont atteintes après 12h *post mortem*. Après les variations ne sont pas importantes et permettent d'avoir un palier de stabilité. Ce résultat a été obtenu aussi par BECILA (2002).

#### **- Cas de la capacité de rétention d'eau :**

Au cours du temps *post mortem*, la quantité d'eau relargée par le tissu, suite à l'application d'une force centrifuge, reflète la capacité du muscle à conserver son eau, grâce aux myofibrilles. En s'approchant du point isoélectrique de ces protéines, le pH agit sur les liaisons eau/protéines qui conduit à une diminution de la quantité d'eau immobilisée dans le réseau protéique (HAMM, 1982); donc les variations de cette mesure sont liées aux variations du pH.

BOAKYE et MIHAL ont montré en 1993, que la capacité de rétention d'eau du muscle diminue plus rapidement quand la vitesse de chute du pH augmente (ZAMORA, 1997). Ce paramètre

intervient dans le phénomène de transformation du muscle en viande et renseigne sur sa jutosité et sa tendreté finale.

D'une manière générale nos résultats reflètent l'augmentation de la quantité de jus au cours du temps *post mortem*, et présentent une allure d'évolutions semblable à celles données par la bibliographie mais avec des valeurs nettement inférieures. En plus on note à 8h *post mortem* une légère diminution puis une remontée de la QJE ceci est remarqué pour tous les muscles étudiés.

En 1997 ZAMORA a obtenue pour le muscle long dorsal des bovins des valeurs ultimes de l'ordre de 0.27g/g de muscle, cette valeur se rapproche de celle de OUALI et coll (1991) et celle de DEBITON (1994) qui étaient de 0.25 et 0.28 g/g de muscle respectivement. Dans notre cas nous avons une valeur de 0.16g/g de muscle pour ce même muscle.

Pour la viande ovine BECILA (2002) a obtenu pour : le *Semi membranosus* 0.59 g/g de muscle, *Semi tendinosus* 0.65 g/g de muscle et le *Rectus femoris* 0.60 g/g de muscle. Ces valeurs sont très importantes même par rapport à nos résultats qui sont de : 0.16 g/g de muscle pour le *Semi membranosus*, 0.14 g/g de muscle pour le *Semi tendinosus* 0.14 g/g de muscle et 0.13 g/g de muscle pour le *Rectus femoris*.

Nous pouvons peut lier ces variations beaucoup plus à la force centrifuge qui n'a pas permis une bonne séparation de la phase aqueuse de celle solide.

#### **- Cas de la conductivité électrique:**

C'est un paramètre physico-chimique qui nous renseigne sur l'évolution de la totalité des ions dans le tissu au cours du temps *post mortem*.

TROY et coll en 1999 rapportent pour le muscle LD du bovin, une augmentation puis une stabilité de la conductivité électrique au cours du temps *post mortem*, dont les valeurs passent de 2.5mS/cm à 0h à 14mS/cm à 24h.

Dans le cas de viande ovine, plus récemment VEISETH et coll (2004) ont obtenu cette augmentation de la CE, mais de 8.13 mS/cm à 9.78 mS/cm cela à 23°C, cependant un ajustement à la température du muscle a montré une décroissance au cours du temps *post mortem* de 11.3mS/cm à 5.87mS/cm. Revenant à nos résultats, on note qu'ils sont très bas, avec en plus des coefficients de variations très importants surtout dans la première phase, et qui ne permettent pas leurs exploitations

total, ceci malgré l'observation d'une augmentation de la conductivité électrique au cours du temps ou on note pour le muscle LD une augmentation de 0.075mS/cm à 1h jusqu'à 0.12mS/cm à 12h, puis une légère diminution jusqu'à 48 h *post mortem*. Pour les autres muscles les valeurs sont très proches de celles-ci.

**- cas de l'osmolarité:**

Ce paramètre est connu pour être corrélé de façon négative au pH, et pour lequel le profil d'évolution augmente rapidement jusqu'à une valeur maximale, où il se stabilise après. ceci est obtenu dans notre cas, mais on note les mêmes remarques que celles de la conductivité électrique concernant l'obtention de valeurs assez basses. OUALI et coll (1991) ont rapporté des valeurs d'osmolarité de 0.55 et 5.80 mOsmol/g de muscle. En 1996 ZAMORA et coll, donnent des valeurs comprises entre 0.38 et 0.47 mOsmol/g de muscle et cela pour le LD. Les valeurs trouvées dans notre étude sont comprises entre 0.0015 et 0.0021mOsmol/g de muscle pour ce même muscle. Pour les autres muscles étudiés les valeurs sont très proches de celles ci comme le montre le tableau n°11.

Ces valeurs sont inférieures aux valeurs données par BECILA (2002), qui a obtenu des osmolarités très importantes (0.09 au départ à 0.66 mOsmol/g de muscle après 24 h *post mortem*) et même importantes à celles trouvées par VEISETH et coll (2004) qui étaient de 0.37 au départ à 0.52 mOsmol / g de muscle comme valeur ultime et cela pour le long dorsale de l'ovin.

**Conclusion**

D'une manière générale nos résultats montrent une diminution du pH au cours du temps *post mortem*, au fur et à mesure de l'augmentation de la QJE, la CE et l'osmolarité, ce qui convient aux résultats des travaux cités pour ces mesures et concernant tous types de viande

Un phénomène très important à été mis en évidence, il sagit d'une stabilité ou bien une légère augmentation du pH pendant les premiers heures *post mortem* (4 -10h),est remarqué pour tous les muscles et spécialement pour deux animaux sur cinq.

CARLOS HERMAN et coll en 2006 ont cité q'une étude menée sur le muscle long dorsale de 180 bovins de différents ages, sexes et conduites d'élevage apporte que 98% présentent une ou deux étapes transites de stabilité de pH qui apparaissent rapidement après l'abattage (1 à 8 h *post mortem*) et persistent à différents temps le long de l'intervalle précisément 2 à 6h *post mortem*. A ce moment de stabilité de pH entre 1à 8h *post mortem*, probablement prend place une inversion de la polarité des membranes plasmique quand le pH est entre 6.4 et 6.8. Cette observation est liée aux changements observés dans le même intervalle de pH et de la conductivité du tissu musculaire assisté par impédencimétrie (OUALI et coll., 2006).

Le travail avec une force centrifuge de 18000×g, n'a pas permis l'établissement de la cinétique d'évolution exacte aux premières heures *post mortem* des paramètres QJE, CE et l'osmolarité, ceci malgré que les allures générales entre la première heure et 24 et 48h *post mortem* sont comparables à celles des viandes ovines et bovines données par la bibliographie.

### 3.1.7/ Caractéristiques des cinétiques des paramètres physico-chimiques

Comme nous avons cité en méthodologie, les cinétiques des paramètres physicochimiques ont une courbe d'évolution en fonction du temps *post mortem* qui peut être caractérisée par une équation de la forme:

$$Y=a - b \times \exp (-c \times x).$$

A partir de l'ajustement à l'aide du modèle monomoléculaire avec le logiciel statITCF, on peut avoir la vitesse d'évolution des différents paramètres (tableau n°12).

**Tableau12:** caractéristiques des courbes de cinétique des paramètres physico-chimiques au cours temps *post mortem*.

Parametre	Mesure	LD	SM	ST	RF
pH	initial	6.6	6.73	6.68	6.62
	ultime	5.8	5.72	5.94	5.97
	amplitude	-0.80	-1.01	-0.74	-0.65
	vitesse	-0.012	-0.015	-0.0756	-0.0042
QJE	initial	0.0210	0.0061	0.0077	0.0363
	ultime	0.1591	0.1632	0.1455	0.1333
	amplitude	0.1381	0.1571	0.1454	0.0970
	vitesse	0.005	0.018	0.012	0.005
CE	initial	75.81740	16.87210	12.00050	63.92390
	ultime	105.30000	106.74800	110.43200	110.83600
	amplitude	29.48260	89.87590	98.43150	46.91210
	vitesse				
Osmolarité	initial	0.0015	0.0003	0.002	0.0012
	ultime	0.002	0.0021	0.0021	0.001
	amplitude	0.0005	0.0018	0.0010	0.0010
	vitesse				

**- pour le pH :**

La vitesse et l'amplitude de chute du pH sont des facteurs de variation très importants des qualités de la viande. Une diminution rapide du pH peut induire une dénaturation des protéines musculaires et par conséquent une viande moins tendre, moins juteuse avec une couleur moins intense (SOLOMON et coll., 1998 cité par ELRAMMOUZ, 2005).

D'après les résultats obtenus on note que le muscle qui a le plus grand pH est celui qui présente le plus bas pH ultime et c'est donc le SM rouge rapide ; cela conduit à avoir l'amplitude de chute la plus importante par rapport au ST mixte glycolytique et LD et RF qui sont à fibres glycolytique.

L'amplitude de chute du pH pour le muscle LD était de -0.80 elle est inférieure à celle obtenue par VEISETH et coll (2004) qui est de -1.19 pour la viande ovine et même celle de -1.43 obtenue par ZAMORA (1997) pour le LD du bovin.

La vitesse de chute obtenue par ajustement avec le modèle monomoléculaire pour ce même muscle est de 0.012 elle est inférieure aux résultats de ZAMORA (1997) qui était de 0.086.

En ce qui concerne la vitesse de chute c'est le ST qui à la plus grande valeur suivie du RF et ensuite le SM et le LD qui possèdent des valeurs relativement proches, concordant ainsi les résultats rapportés par VALIN (1988) cité par ZAMORA (1997). Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) dans ce cas sont à 99%.

**-pour la QJE :**

Pour ce paramètre les résultats montrent que nous avons de même que le pH, le muscle qui présente la plus grande valeur de la QJE au départ possède celle la plus faibles après 48h, c'est le RF, cependant le contraire est noté pour le SM. De se fait l'amplitude la plus importante est notée pour le SM. ZAMORA en 1997 rapporte que c'est le muscle LD qui présente l'amplitude la plus importante par rapport aux autres muscles, cela malgré les différences négligeables à 1 h *post mortem*. Pour la vitesse d'évolution on peut dire que c'est le SM qui présente encore la plus grande valeur suivie par le ST et enfin le RF et le LD. On note que les coefficients de détermination dans ce cas ( $R^2$ ) sont tous  $\approx 83\%$ , ceci est dû probablement aux variations très importantes notées spécialement dans les mesures des premières heures et qui ne permettent pas l'exploitation des résultats de cet ajustement.

**-pour la CE et l'osmolarité :**

Dans le cas de ces deux paramètres vu la grande variabilité notée entre les valeurs des différents échantillons de l'expérience nous n'avons pas pu ajuster les valeurs pratiques par un modèle d'évolution déterminé et donc nous n'avons pas leurs vitesses d'évolution.

## Conclusion

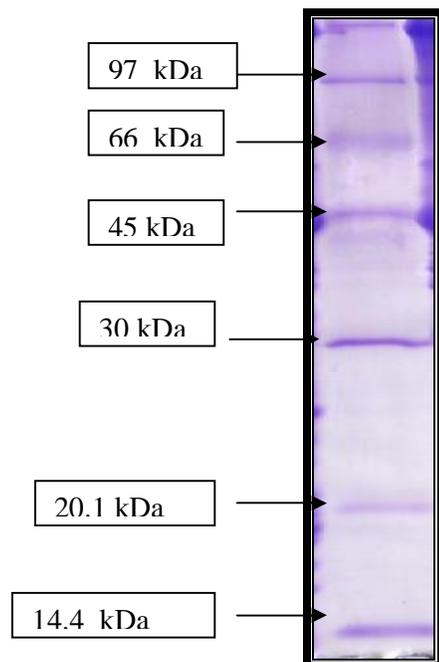
D'après les résultats obtenus nous pouvons conclure que c'est le muscle qui présente le plus haut pH 1h *post mortem* qui aura le plus bas  $pH_u$ , de ce fait la plus grande amplitude de variation, c'est le SM (muscle rouge rapide). Ce muscle présente aussi la plus grande amplitude d'augmentation de QJE. Pour la plus grande vitesse de chute du pH, elle est notée pour le ST qui est un muscle mixte glycolytique. La vitesse minimale de chute du pH est notée pour le muscle RF (fibre glycolytique) qui a en plus la valeur minimale de l'amplitude de chute du pH et le pH 48 h *post mortem*.

## 3.2 / Protéolyse des protéines myofibrillaires

La maturation de la viande est caractérisée par une protéolyse des protéines myofibrillaires, par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en présence de SDS.

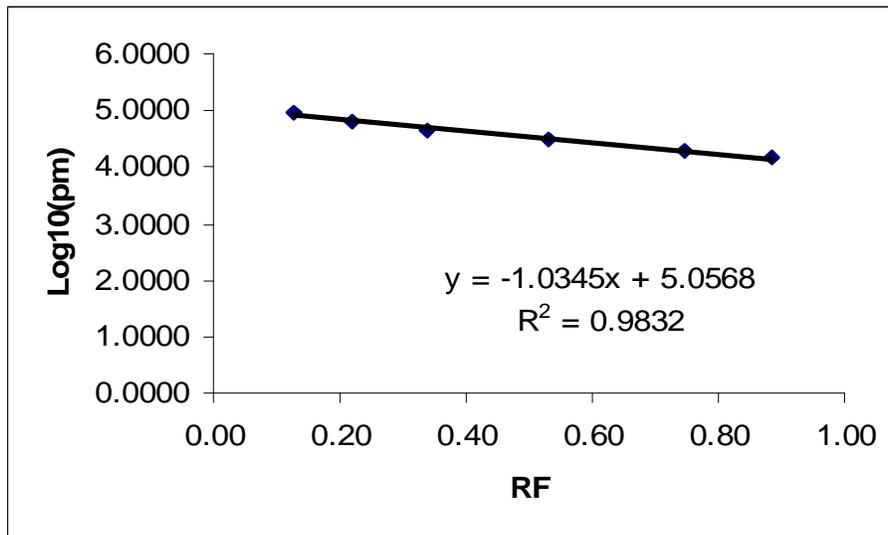
### 3.2.1/ Détermination de la courbe d'étalonnage du kit des protéines :

Dans un premier lieu on détermine la courbe d'étalonnage du kit ( comprend les protéines de référence à poids moléculaires connues) à partir du logarithme décimal du poids moléculaire en fonction du rapport frontal de la migration sur le gel. La figure n°17 montre la migration des protéines de référence (kit) utilisées au cours de cette étude.



**Fig17:** présentations du résultat de migration des protéines du kit

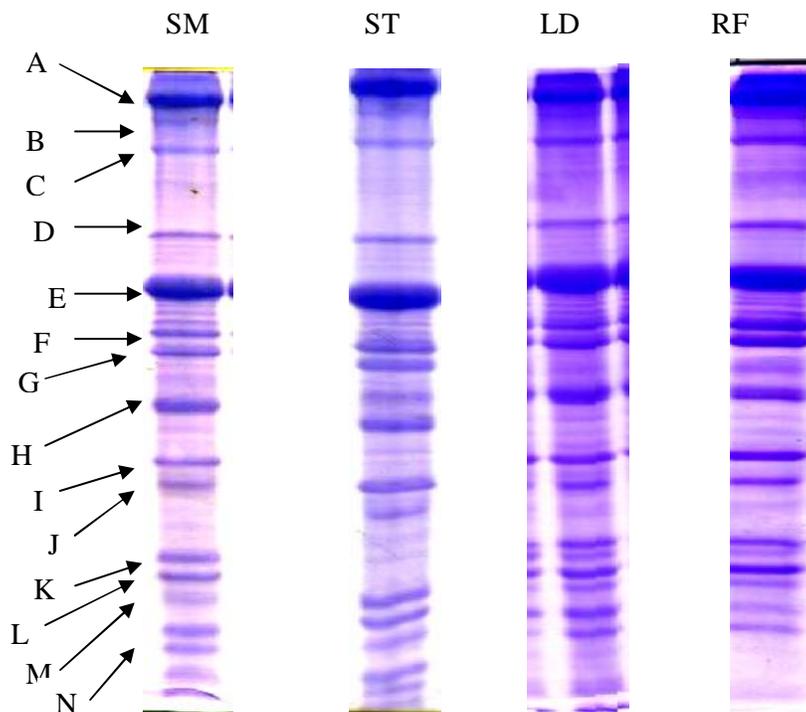
D'après ces migrations des protéines du kit on établit la courbe d'étalonnage (Figure n°18).



**Fig18:** courbe d'étalonnage des protéines du kit.

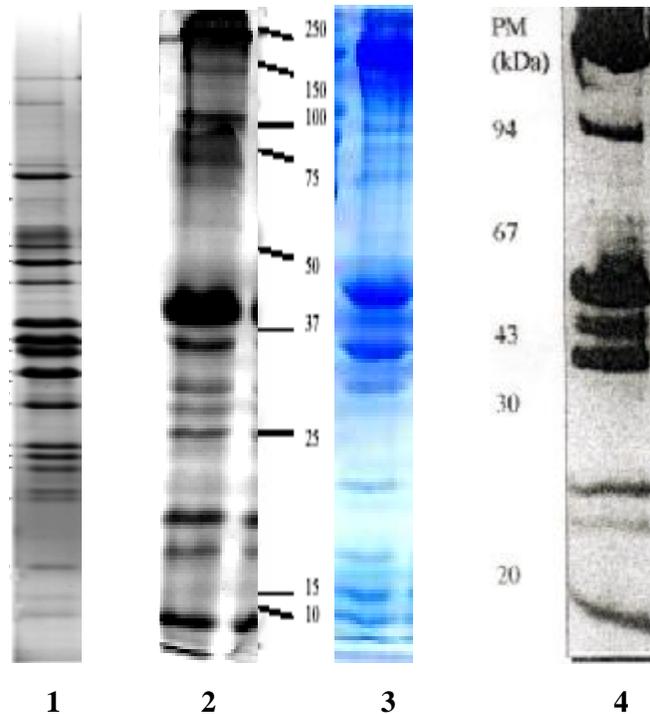
### 2.2.2/ Identification des protéines initiales pour les quatre muscles :

Les quatre muscles présentent presque les mêmes électrophorégrammes au départ, c'est à dire à 1 heure *post mortem*. Voir la figure19.



**Fig19:**Électrophorégrammes des quatre muscles à 1 heure *post mortem*

Ces résultats sont comparés aux profils protéiques de certains travaux notés dans la figure n°20. En globale on peut voir que nous avons obtenu des résultats analogues à ceux ci-dessous présentés concernant spécialement les principales bandes.



**Fig20:** Profils protéiques des protéines myofibrillaires de différentes espèces. 1 porc ( LARREA et coll., 2006), 2 bovin - 3 poisson (CHERET, 2005), 4 bovin (ZAMORA, 1997).

Les principales bandes notées sont:

- des bandes(A), de poids moléculaire supérieur à 97 kDa, il s'agit de chaînes lourdes de myosines(101-103kDa) . LARREA et coll, en 2006 notent 140kDa pour ces chaînes de myosine dans le muscle SM du porc.
- selon BARANY et coll en 1995, l' $\alpha$ -actinine est un dimère dont chacune des sous unités a un poids moléculaire variant de 94 à 103 kDa. Nos gels ont révélés la présence de bandes B et C de 98 à 99kDa et 93 à 94 kDa respectivement.
- la bande D de 50-52kDa peut correspondre à la desmine ,car selon PEARSON et YOUNG , 1989 elle a un poids moléculaire  $\approx$ 55kDa .
- la bande E (42-43 kDa) correspond sans doute à l' actine. En 1989 , PEARSON et YOUNG ont cité que l'actine possède un poids moléculaire de 42 kDa, LARREA en 2006 rapportent 46.4 kDa.
- la bande F(37 kDa), c'est la troponin T, qui confirme les résultats de PEARSON et YOUNG , 1989.

- la bande G(36à35 kDa) , c'est la  $\beta$ -tropomyosine, presque le même resultat donné par LARREA et coll, en 2006 qui a donné 35.2 kDa .
- la bande H correspond à 30-31kDa.
- la bande I de 24 à 27 kDa chaines légères 1 de myosine, LARREA et coll (2006) rapportent pour ces chaies légères 24.75kDa .
- la bande J avec 23 kDa coresspond à la troponineI ce qui confirme les resultats de LARREA et coll (2006) et PEARSON et YOUNG( 1989) .
- la bande Kde 21 kDa .
- la bandeL c'est une chaine légère 2 de myosine avec 18kDa , selon BARANY et coll en 1995, la molécule de myosine contient 4 chaines légères dont la gamme de poids moléculaire s'etale de 27 à 16 kDa , mê.me constatation donnée par LARREA et coll (2006) .
- la bande M: myoglobine de 17kDa .
- la bande N c'est des chaines légère 3 de myosine +produits de dégradations ( $\leq 16$  kDa) .

Pour comparer les différents profils protéiques des quatre muscles on calcule l'indice de similarité selon la méthode de DEDIO et coll (1969), en rapportant l'indice de similarité absolu (IAS) au nombre total des bandes présentées dans l'un, au moins des diagrammes des échantillons comparées :

$$\text{IRS} = \text{IAS} / \text{N} \times 100$$

Avec : **IAS**: totale des bandes qui ne sont pas différentes.

**N** : nombre totale des bandes dans un diagramme.

Les valeurs de l'IRS sont rassemblées dans le tableau n°13. L'IRS de 85 à 100% est considéré comme significativement élevé, comme significativement faible lorsqu'il est de 0 à 10%.

**Tableau 13:** Indice de ressemblance entre les diagrammes électrophorétiques des muscles étudiés (exprimés en %).

<b>MUSCLE</b>	<b>SM</b>	<b>ST</b>	<b>LD</b>	<b>RF</b>
<b>SM</b>	100.00	92.60	88.40	92.00
<b>ST</b>		100.00	92.50	88.88
<b>LD</b>			100.00	92.30
<b>RF</b>				100.00

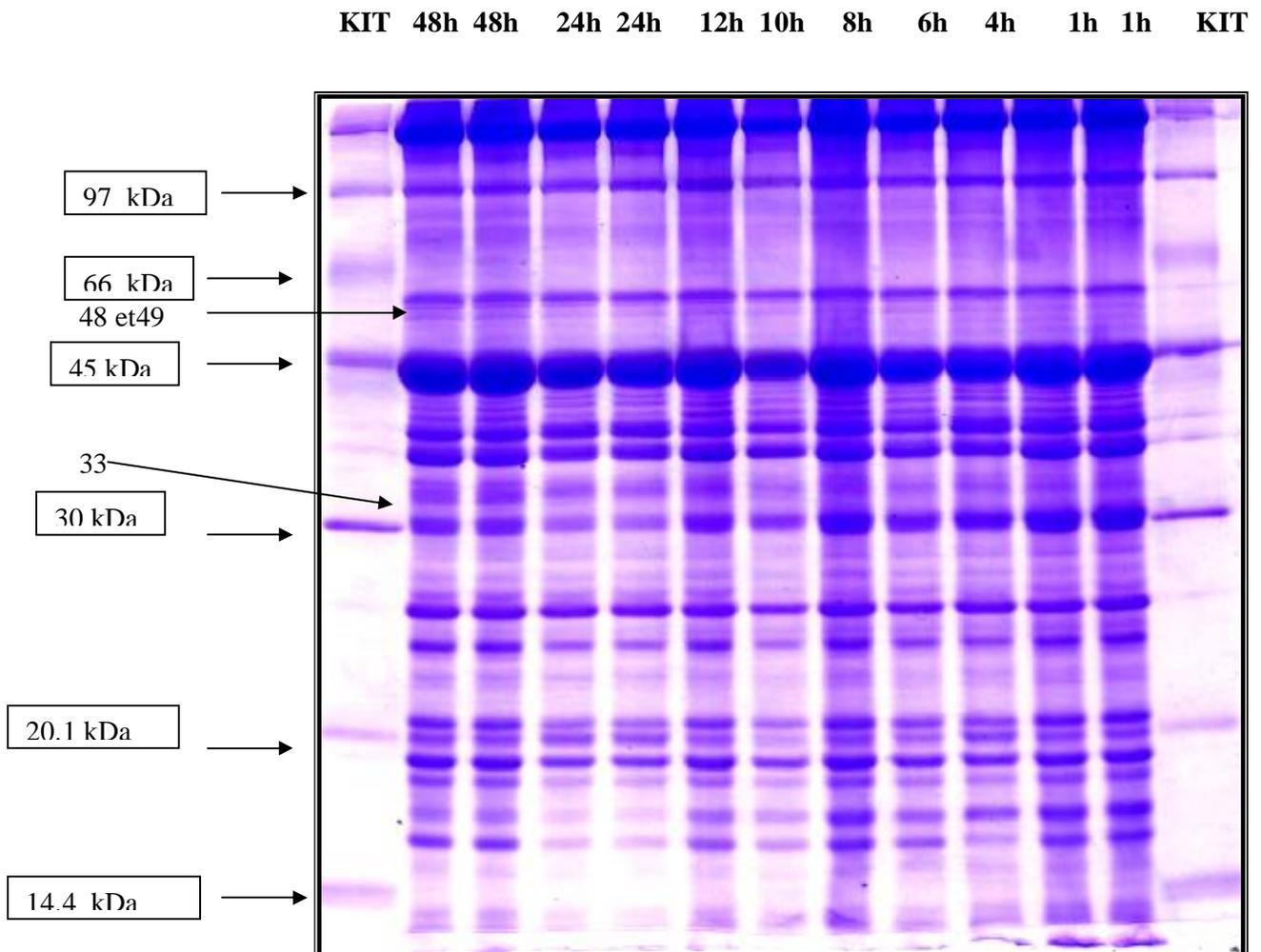
D'après le tableau n°13 on constate que les indices de ressemblance entre les différents couples de muscle sont significativement élevés. La plus grande valeur est notée entre le SM et le ST. L'IRS entre tous les muscles a été calculé et il est de 89.29%. C'est une valeur significativement élevée et de ce fait on peut dire que les muscles se ressemblent au départ du point de vue profil protéique des protéines myofibrillaires.

### 2.2.3/ Protéolyse des protéines myofibrillaires :

Au cours du temps *post mortem* les protéines myofibrillaires vont être sujet à quelques dégradations dans leurs structures. Les profils électrophorétiques de ces protéines en différents temps *post mortem* permettent l'illustration de cette protéolyse qui permet d'obtenir un suivi du comportement de ces protéines pour les muscles étudiés.

#### A / le muscle *Longissimus dorsi*:

Au cours du temps *post mortem* des variations dans le profil protéique des protéines myofibrillaires sont notées pour le muscle LD ; les électrophorégrammes de chaque temps de prélèvement permettent de les voir (figure n° 21).



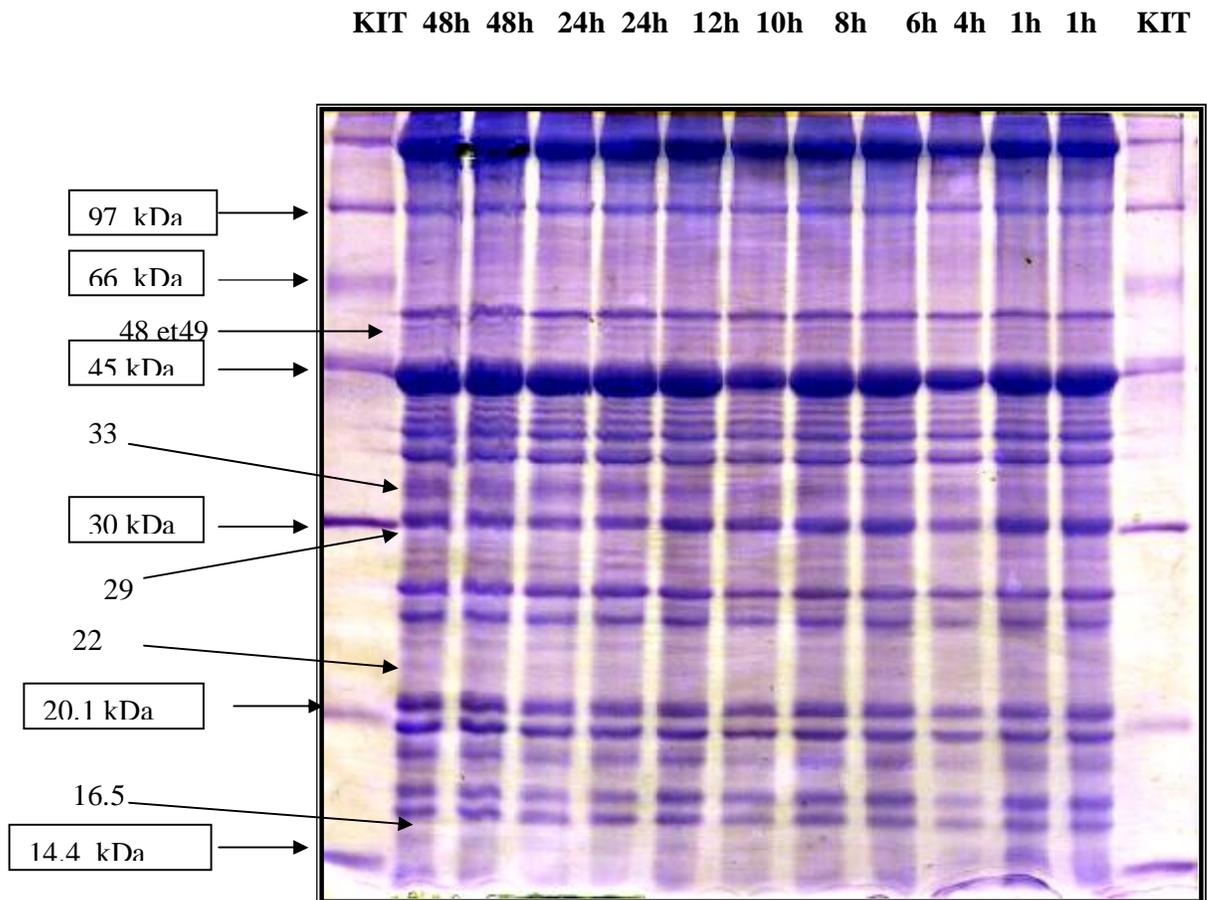
**Fig21:** Électrophorégrammes des protéines myofibrillaires du muscle LD au cours du temps *post mortem* .

Pour ce muscle on note que les fragments de 49 et 48 kDa sont présents dès la première heure.

La disparition de la bande de 35 kDa et l'apparition de la bande de 33 kDa après 8 h *post mortem* sont notées aussi pour ce muscle. A 6h PM , on note aussi la disparition des bandes de 23 kDa .

### B / le muscle *Semi membranosus*:

Les résultats de migration du muscle SM sont noté dans la figure n°22 ci dessous présentée.



**Fig22:** Eléctrophorégrammes des protéines myofibrillaires du muscle SM au cour du temps *post mortem*

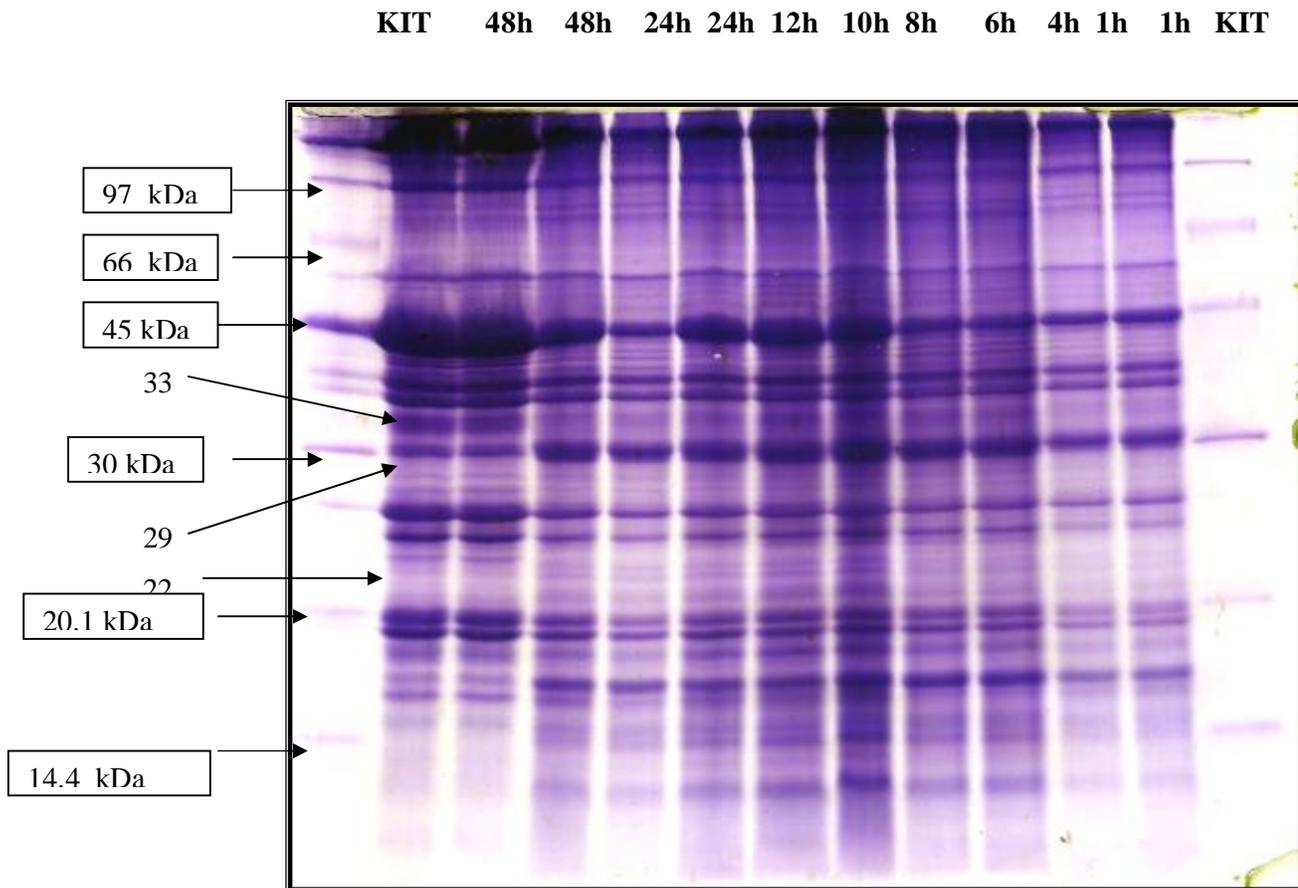
D'une manière générale on ne note pas de variation pour les principales bandes. Les chaînes lourdes de myosine ne présentent aucune variation. Même constatation pour l' $\alpha$ -actinine et l'actine qui ne varient pas et restent importantes avec la même intensité de coloration des bandes.

Pour les deux premiers temps on ne note pas de variations car les profils protéiques sont les mêmes pour toutes les bandes. Après 6h *post mortem* les variations commencent à apparaître car nous avons auprès de la desmine l'apparition nette de fragments de : 49 et 48 kDa. Après 12 h *post mortem* on

note l'apparition d'une bande qui correspond à 29 kDa avec aussi une autre de 22 kDa. On note la disparition de la bande de 35 kDa et l'apparition de la bande de 33 kDa après 48 h *post mortem*, à ce même temps, apparaît aussi la bande correspondant à 16.5 kDa.

### C / le muscle *Semi tendinosus*:

Comme nous l'avons déjà cité dans la partie « matériel et méthodes », les quatre muscles ont été traités dans les mêmes conditions et comme pour le muscle SM ; nous avons pour le ST le résultat de migration présenté dans la figure n° 23.



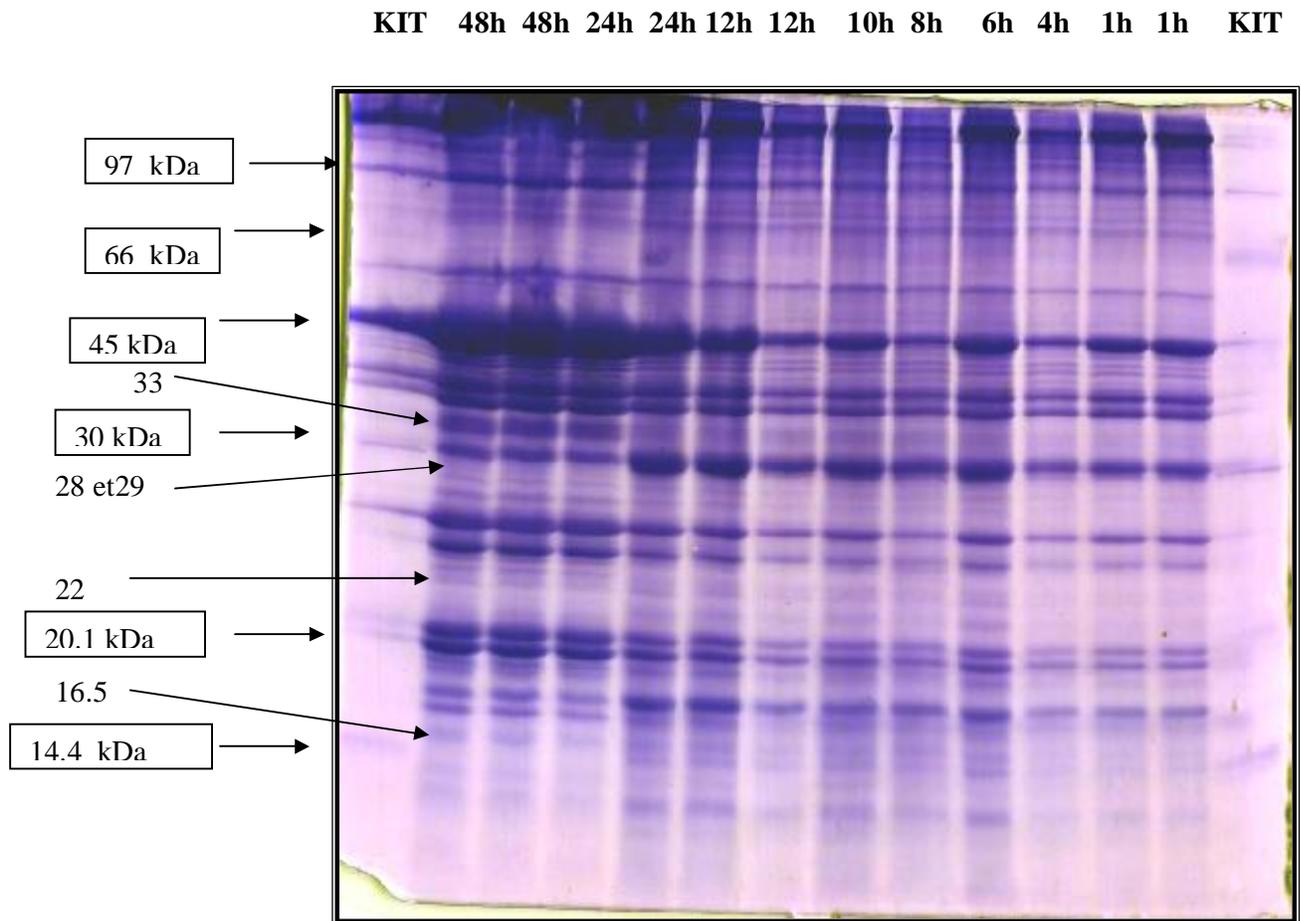
**Fig23:** Électrophorégrammes des protéines myofibrillaires du muscle ST au cours du temps *post mortem*

Pour le muscle ST on note presque la même chose concernant l'apparition et la disparition des bandes mais avec décalage de temps. L'apparition nette de fragments de : 49 et 48 kDa est notée après 6h *post mortem*. La bande qui correspond à 29kDa et celle de 22kDa apparaissent plus tôt à 8h PM.

La disparition de la bande de 35 kDa et l'apparition de la bande de 33 kDa après 48 h *post mortem* sont notées aussi pour ce muscle. À ce temps, on note aussi la disparition des bandes de 23 et 22.5kDa cela en plus de celle représentant un poids moléculaire  $\leq 16$  kDa.

**D/ le muscle *Rectus femoris*:**

De même pour le muscle RF les résultats de migration sont présentés par la figure n°24.



**Fig24:** Électrophorégrammes des protéines myofibrillaires du muscle RF au cour du temps *post mortem*.

A 6h *post mortem* commence l'apparition du fragment de 16.5 kDa en bas du gel et un peu plus haut, celui de 22kDa. Les fragments correspondant à 28 et 29 kDa apparaissent à 12h PM.

L'apparition des bandes correspondant au fragment 49 et 48 kDa est notée à partir des 24h PM, Cela en plus de la disparition nette de la bande de 35 kDa et l'apparition de la bande de 33 kDa, qui sont aussi notées pour ce muscle à ce temps.

#### **2.2.4 / Discussion des résultats de l'électrophorèse:**

Les gèls des quatre muscles étudiés démontrent une analogie dans le comportement des principales bandes 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 gèles de 12% d'acrylamide. Leur séparation donc nécessite des concentrations inférieures de 5 à 8% (BARANNY et coll., 1995).

L'  $\alpha$ -actinine ne connaît pas de variations au cours du temps *post mortem* pour tous les muscles c'est un résultat qui concorde avec celui de PENNY (1985) et GOLL et coll( 1991). C'est le cas même de l'actine qui reste au cours du temps *post mortem* caractérisée par ces bandes épaisses et foncées suite à sa concentration élevée dans le muscle, ceci confirme les résultats de GREASER et FRITZ en 1995.

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

- fragments de 48 et 49 kDa à 6h *post mortem* pour le muscle SM et ST, ces fragments apparaissent plus rapidement dans le muscle LD et ne sont visibles dans le RF qu'après 48h.
- fragment de 29 kDa après 12 h dans le SM et le RF, mais ce n'est pas le cas de l'ST et le LD ou il apparaît à 8 h *post mortem* seulement.
- fragment de 28 kDa qui apparaît seulement dans le cas du muscle RF et cela après 12h *post mortem*.
- fragment de 33 kDa après 48h pour les muscles SM, ST mais seulement à 24h pour le RF.
- fragment de 22 kDa après 12h dans le cas du SM, pour les muscles ST et LD il est visible dès les 12h, et encore plus rapidement pour le RF où il apparaît à 6 h *post mortem*.

- fragment de 16.5 kDa dans le muscle RF à 6 h *post mortem*.

Pour les fragments qui disparaissent nous avons :

- fragment de 35 kDa et ceci après 48 h *post mortem* dans le cas du muscle SM et ST ceci est remarqué seulement après 24h *post mortem* pour le muscle RF.

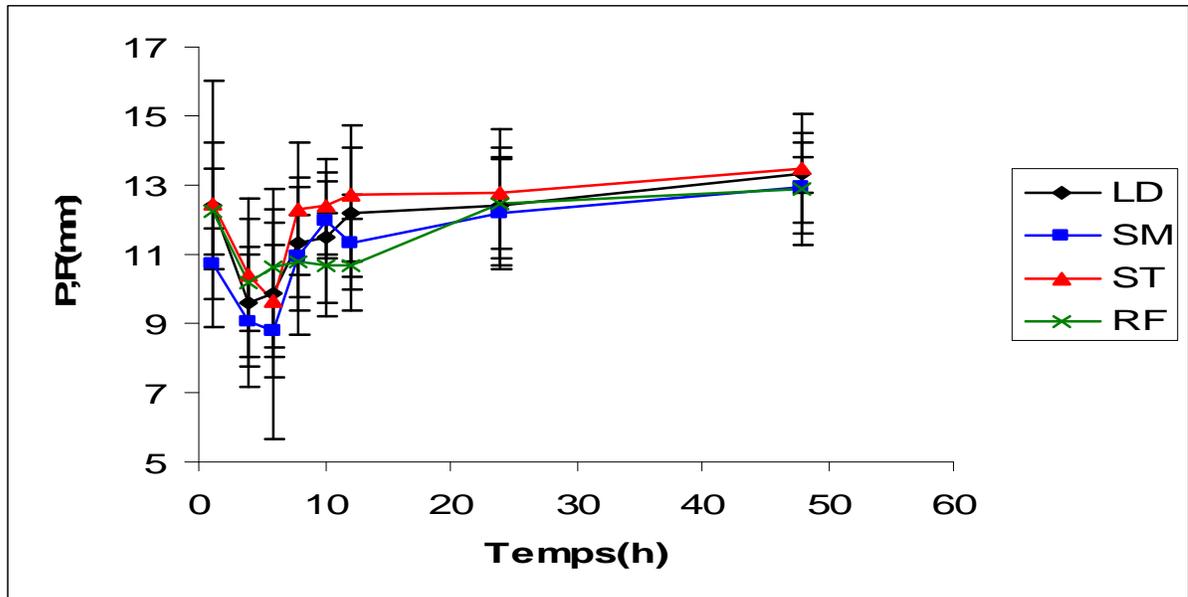
- les fragments de 23 et 22.5 kD qui correspond à la troponin I et autres fragments  $\leq 16$  kDa après 48h *post mortem* disparaissent pour le muscle ST, le fragment de 23 kDa du muscle LD disparaît après 8h *post mortem*.

Plusieurs auteurs rapportent que l'apparition du fragment de 30 kDa est un indicateur de maturation de la viande (OUALI, 1983 ; HO et STROMER, 1994 et NIGISHI et coll., 1996) .dans notre cas ce fragment apparaît des les premières heures après abattage pour tous les muscles. TROY en 1999 rapporte que l'apparition du fragment de 23 kDa est liée à la glyceraldehyde -3- phosphates déshydrogénase. il note aussi que les fragments de 30-32 kDa sont liées à la dégradation de la troponine T. Dans notre cas nous avons les fragments de 30 et 33 kDa. Ces résultats permettent de dire que il y a un effet apparent du facteur type de muscle par cette technique.

## **2.3 / Evolution de la tendreté**

### **2.3.1/ Cinétique de l'évolution:**

La figure n° 25 montre les profils d'évolution de la profondeur de pénétration de l'aiguille du pénétromètre au cours du temps *post mortem* pour les différents muscles étudiés.



**Fig25:** Profondeur de pénétration en mm au cours du temps *post mortem*.

D'après les cinétiques des quatre muscles on voit qu'on peut les diviser en quatre phases:

**- La première phase:** de la première heure à 6heures *post mortem*.

Il s'agit d'une phase de chute rapide de la profondeur la pénétration qui correspond à l'augmentation de la dureté de la viande. Les valeurs initiales sont proches pour les muscles ST, LD et RF et sont respectivement  $12.5 \pm 1.0 \text{ mm}$ ,  $12.4 \pm 3.6 \text{ mm}$  et  $12.2 \pm 2.3 \text{ mm}$ .

Pour le SM c'est celui qui présente la valeur la plus basse qui est de  $10.7 \pm 1.8 \text{ mm}$ . En fin de cette phase, les profondeurs de pénétration arrivent à des valeurs comprises entre  $8.8 \pm 2.4 \text{ mm}$  et  $10.6 \pm 2.3 \text{ mm}$ .

**-la deuxième phase:** de 6 heures à 8heures *post mortem*.

Cette phase comprend une augmentation de la tendreté des muscles du faite que les profondeurs de pénétration reviennent à des valeurs proches des initiales et même un peu plus élevées. C'est le cas du SM qui arrive à  $10.9 \pm 1.6 \text{ mm}$ .

**-la troisième phase:** de 8heures à 12 heures *post mortem*.

Dans cette phase le comportement des quatre muscles est différent, car on note pour le ST et le LD une augmentation lente ; ceci n'est pas le cas du RF où nous avons une stabilité autour de  $10.6 \text{ mm}$ .

Pour le SM l'évolution est différente, nous avons une augmentation de  $10.9 \pm 1.6 \text{ mm}$  à  $12.0 \pm 1.9 \text{ mm}$ , puis une diminution à  $11.4 \pm 1.9 \text{ mm}$ .

**-la quatrième phase:** de 12heures à 48heures *post mortem*.

C'est une phase d'augmentation lente de la tendreté pour les quatre muscles qui arrivent à des valeurs très proches à 48 heures *post mortem* et qui varient entre  $12.9 \pm 1.6 \text{ mm}$  pour le RF à  $13.5 \pm 1.3 \text{ mm}$  pour le ST.

Les coefficients de variation chevauchent entre 1.1 et 19.2%. Ce sont des valeurs acceptables et de ce fait une certaine homogénéité de tendreté de la viande du lot est observée.

### **2.3.2 / Discussion de l'évolution de la tendreté :**

La pénétrométrie permet la mesure de la profondeur de pénétration de l'aiguille dans le tissu musculaire et de ce fait reflète la résistance de celui-ci à cette pénétration qui est proportionnelle à la tendreté. C'est l'ensemble du tissu qui constitue la résistance à cette contrainte c'est-à-dire

essentiellement les myofibrilles et le tissu conjonctif, ce dernier n'est pas sujet d'évolution au cours du temps *post mortem* ; et donc les évolutions ne vont concerner que la structure myofibrillaire (LEPETIT et coll 1986).

Dans la partie bibliographique, on décrit l'évolution de la tendreté au cours du temps *post mortem* (voir: Evolution structurale) qui comprend essentiellement deux phases principales : une diminution qui correspond à la phase de la rigidité cadavérique puis l'augmentation progressive au cours de la maturation proprement dite.

Dans notre étude ce phénomène est remarquable mais avec plus de fluctuations car nous avons la première phase de chute de la tendreté et qui correspond à la rigidité cadavérique, la deuxième qui comprend une augmentation de la tendreté et correspond donc au début de la maturation, une troisième phase où le comportement varie en fonction des muscles et enfin une quatrième phase où la tendreté continue à augmenter mais lentement et c'est donc la maturation proprement dite.

#### **4 / DETERMINATION DE L'EFFET DU FACTEUR TYPE DE MUSCLE SUR LES PARAMETRES ETUDIES**

##### **4-1/ Effet du facteur type de muscle sur les paramètres physico-chimiques**

Dans notre étude nous avons utilisé quatre types de muscles qui sont différents du point de vue de leurs compositions en fibres rouges, fibres blanches et fibres intermédiaires. Ce sont : le muscle SM un muscle rouge rapide (HAMELIN et coll.,2004 ; GONDRET et coll., 2004 ) , le muscle ST muscle mixte glycolytique( PICARD et coll., 2003; LEFAUCHEUR,2003), le muscle LD avec un métabolisme glycolytique et une contraction rapide(ZAMORA,1997) et enfin le muscle RF qui est un muscle blanc à fibres glycolytiques et contraction rapide (GEAY et coll.,2002), donc nous allons par une analyse de la variance à un facteur étudier l'effet de ce facteur sur les différents paramètres étudiés.

##### **3-1-1/ Effet sur le pH**

Dans un premier lieu le test d'ANOVA a été appliqué sur les résultats du pH et nous avons obtenu le tableau n°14.

**Tableau 14:** Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur le pH *post mortem*.

Paramètre	Mesure	Source de variation	DDL	SC	Test F	Probabilité
pH	1h	Muscle	3	0.0988	0.78	0.522
		résiduelle	16	0.6758		
		Total	19	0.7747		
	48h	Muscle	3	0.1360	0.3	0.826
		résiduelle	16	2.4260		
		Total	19	2.561		
	Amplitude	Muscle	3	0.3470	0.64	0.586
		résiduelle	16	2.7810		
		Total	19	3.128		
	Vitesse	Muscle	3	0.0002	1.88	0.173
		résiduelle	16	0.0006		
		Total	19	0.0008		

Comme nous l' avons déjà observé, les pH sont variables d'un muscle à l'autre, par test d'ANOVA nous allons montrer si ces variations sont significatives ou non.

Le tableau n°14 donne des valeurs du F qui vont servir à la comparaison à ceux tabulés au même DDL pour accepter ou rejeter l'hypothèse  $H_0$ .

Pour le pH 1h *post mortem*: le F calculé est de 0.78, cette valeur est inférieure à celle du F de la table ( $\alpha=0.05$ ) qui est de 3.24 et donc on conclut, que la différence entre les valeurs de pH des quatre muscles au départ n'est pas significative. Ce ci est constaté aussi pour les pH 48h *post mortem*.

Concernant la vitesse et l'amplitude de chute du pH on trouve aussi que les variations ne sont plus significatives (avec  $\alpha=0.05$ ).

D'une manière générale on peut noter que l'effet type de muscle n'influe pratiquement pas de façon significative sur le pH de la viande provenant des muscles étudiés. ZAMORA en 1997 dans son étude sur les muscles : *Longissimus dorsi*, *Supraspinatus* et *Triceps brachii* des bovins a mis en

évidence un effet type de muscle significatif dans le cas du pH ultime seulement ,ceci n'est pas le cas du pH 2h *post mortem* ni la vitesse et l'amplitude de chute du pH où cet effet est non significative .

### 3-1-2/ Effet sur la capacité de rétention d'eau

De même pour la capacité de rétention d'eau le tableau n°15 donne les résultats de l'ANOVA pour le facteur type de muscle :

**Tableau 15:** Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur la QJE *post mortem*.

Parametre	Mesure	Source de variation	DDL	SC	Test F	Probabilité
QJE	1h	Muscle	3	0.0030	1	0.417
		résiduele	16	0.0157		
		Total	19	0.0186		
	48h	Muscle	3	0.0024	0.82	0.507
		résiduele	12	0.0118		
		Total	15	0.0143		
	Amplitude	Muscle	3	0.0081	1.01	0.413
		résiduele	16	0.0424		
		Total	19	0.0504		

Au seuil de 5% l'analyse de la variance met en évidence l'absence d'effet significatif lié au facteur type de muscle sur la capacité de rétention d'eau car pour toutes les mesures on note des F inférieurs aux F tabulés qui est de 3.24 pour la QJE 1h *post mortem* et l'amplitude d'évolution, et 3.49 pour la QJE 48h *post mortem*.

### 3-1-3/ Effet sur la conductivité électrique et l'osmolarité

Pour ces deux paramètres nous n'avons pas assez de répétitions pour appliquer le test de l'ANOVA dans la première heure, mais on a pu l'appliquer après 48h *post mortem* et nous avons obtenu les résultats décrits dans le tableau n°16.

**Tableau 16:** Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur la CE *post mortem*.

Parametre	Mesure	Source de variation	DDL	SC	Test F	Probabilit
CE	48h	Muscle	3	140.0	0.05	0.985
		résiduelle	12	11437.0		
		Total	15	11577		

Au seuil de 5% on note un effet type de muscle non significatif car le F calculé de 0.05 est inférieur à 3.49 la valeur du F de la table au même DDL. On conclut de même pour l'osmolarité qui est déduite à partir de sa proportionnalité avec la conductivité électrique.

### Conclusion

L'analyse de la variance établie pour tester l'effet type de muscle pour les muscles : LD, SM, ST, et RF nous a permis de conclure que pour ce travail ce facteur ne possède aucun effet significatif sur les différents paramètres physico-chimiques suivis au cours du temps *post mortem*.

### 3-2/ Effet du facteur type de muscle sur les résultats de l'électrophorèse

Dans ce volet, nous n'avons que des résultats qualitatifs car nous n'avons pu déterminer les concentrations protéiques le long du temps *post mortem* par le matériel utilisé et donc cet effet sera discuté selon les observations notées.

Au départ l'analyse des protéines myofibrillaires des quatre muscles étudiés reflète des indices de ressemblance très importants ce qui permet de dire que le facteur type de muscle n'influe pas sur le profil protéique des protéines myofibrillaire à 1h *post mortem*.

Cependant, les différences dans le comportement de ces protéines de départ commence à apparaître ultérieurement où on constate l'apparition et la disparition de certaines bandes à intervalles de temps différents, c'est le cas des bandes de 48 et 49 kDa qui apparaissent à 6h *post mortem* pour le SM et leST et à 1 h pour le LD et plus tard à 24h pour le RF.

La disparition de la bande de 35kDa et l'apparition de celle de 33 kDa est notée à 48h pour le SM, ST mais seulement après 24 pour le RF.

L'apparition de la bande de 29 et 22 kDa à 12h pour le SM mais à 8 h pour le ST et le LD pour le RF la bande de 29 kDa apparait à 12h et celle de 22 à 6h. On note la disparition des bandes de 23 et 22.5kDa et même celles à  $P_m \leq 16$ kDa dans le muscle ST, La bande de 23kDa disparaît aussi pour le LD. L'apparition de bande de 16.5 kDa est notée seulement pour le muscle RF.

ZAMORA (1997) a trouvé une différence dans l'apparition du fragment de 30kDa dans les muscles: *Longissimus dorsi*, *Supraspinatus* et *Triceps brachii* ou il apparaît à 13 jours *post mortem* pour le long dorsal, mais à 13 jours *post mortem* seulement pour les muscles tendres *Supraspinatus* et *Triceps brachii*.

### 3-3/ Effet type de muscle sur les résultats de la pénétrométrie

Dans ce cas l'analyse de la variance a été établie pour la profondeur de pénétration 1h et celle de 48h *post mortem* seulement. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau n°17.

**Tableau 17:** Evaluation par analyse de la variance de l'effet type de muscle sur la profondeur de pénétration *post mortem*.

Parametre	Mesure	Source de variation	DDL	SC	Test F	Probabilité
PP	1h	Muscle	3	3.550	0.23	0.875
		résiduelle	16	82.610		
		Total	19	86.170		
	48h	Muscle	3	1.320	0.26	0.852
		résiduelle	12	20.200		
		Total	15	21.520		

En général, pour la majorité des études de la tendreté, la résistance myofibrillaire est déterminée par la mesure de la contrainte maximale nécessaire à une déformation de 20% lors d'un test de compression selon le protocole de LEPETIT et SALE en 1985 (cité par ZAMORA, 1997).

Dans notre cas nous avons obtenu des profils presque analogues. Les résultats pour les quatre muscles possèdent quelques variations mais qui ne sont pas significatives suite aux résultats de l'ANOVA qui a révélé un effet du facteur type de muscle non significatif (F calculé de 0.23 est inférieur à celui de la table au même DDL et à  $\alpha=0.05$  qui est de 3.49) pour les valeurs 1h et même 48h *post mortem*.

Pour ces résultats aucun effet du facteur type de muscle n'a été détecté par pénétrométrie et ceci pour les muscles LD,SM,ST et RF de la viande ovine ,cependant la mise en évidence d' un effet significatif de ce facteur à été établi par ZAMORA (1997) qui rapporte que le muscle LD présente une dureté moins élevée que le muscle *Supraspinatus* et *Triceps brachii* et DRENSHFIE et coll (1976) qui ont trouvé que le muscle LD est moins dur que le muscle *Triceps brachii* lui-même moins dur que le *Supraspinatus* à 10 jours *post mortem*.

Ces divergences observées sont probablement la conséquence de la méthodologie employée ainsi que l'espèce et les échantillons considérés dont les facteurs de variabilité sont très différents.

### **Conclusion**

D'une manière générale on peut conclure que dans nos conditions de travail aucun effet significatif du facteur type de muscle n'a été observé entre les muscles étudiés, ceci pour les paramètres physicochimiques et la tendreté estimée par pénétrométrie, quoique les résultats de la protéolyse montrent plus de dégradation pour les muscles à fibres glycolytique RF, ST.

### **5 / ETUDE DES CORRELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES ETUDIES**

La recherche des corrélations entre les paramètres physico-chimiques d'une part et d'autre part leurs relations avec la tendreté de la viande est un des objectifs visés par ce travail dans le but d'une exploitation statistique meilleure des résultats pratiques obtenus.

Des matrices de corrélation ont été générées en utilisant les coefficients de corrélation de Pearson. Les corrélations sont considérées significatives pour  $P<0.05$ . Pour chaque muscle nous avons établi la matrice de corrélation des différents paramètres suivis en cinétique.

#### 4-1/ Corrélations entre les paramètres physico-chimiques

Dans un premier temps nous allons étudier les corrélations entre les paramètres physico-chimiques et qui sont établis dans le tableau n°18.

**Tableau 18:** Matrices de corrélation des paramètres physico-chimiques au cours de temps *post mortem*.

Muscle	Variable	Temps	pH	QJE	CE	Osmolarité
LD	Temps	1.000				
	pH	-0.636*	1.000			
	CER	0.714*	-0.874*	1.000		
	CE	0.554	-0.624*	0.817*	1.000	
	Osmolarité	0.522	-0.612	0.800*	0.999*	1.000
SM	Temps	1.000				
	pH	-0.698*	1.000			
	CER	0.737*	-0.960*	1.000		
	CE	0.611	-0.954*	0.972*	1.000	
	Osmolarité	0.611	-0.957*	0.970*	1.000*	1.000
ST	Temps	1.000				
	pH	-0.595	1.000			
	CER	0.705*	-0.922*	1.000		
	CE	0.718*	-0.882*	0.961*	1.000	
	Osmolarité	0.697*	-0.879*	0.962*	0.999*	1.000
RF	Temps	1.000				
	pH	-0.660*	1.000			
	CER	0.781*	-0.921*	1.000		
	CE	0.869*	-0.609	0.808*	1.000	
	Osmolarité	0.874*	-0.639*	0.827*	0.997*	1.000

\*: seuil de signification  $P < 0.05$ .

La première variable est le temps présenté par son évolution au cours du processus de l'attendrissage de la viande; les coefficients de corrélation de ceux-ci avec le reste des variables montrent que c'est la QJE qui est la plus corrélée au temps pour le muscle SM et le LD avec des  $r = 0.737$  et  $0.174$  respectivement à  $P < 0.05$ .

Pour les autres muscles c'est à dire le ST et le RF c'est plutôt la CE et l'osmolarité qui sont les plus corrélés au temps, en plus de QJE. Cependant BECILLA en 2002 a trouvé pour les muscles SM, ST et RF que le pH est significativement corrélé au temps *post mortem*, qui n'est pas le cas pour la pression osmotique.

Les coefficients de corrélation observés dans le tableau n°21 nous montrent une forte corrélation négative entre le pH et la capacité de rétention d'eau pour tous les muscles étudiés cela avec un maximum noté pour le muscle SM avec  $r = -0.96$  ( $P < 0.05$ ). Ces résultats confirment ceux de BECILLA (2002) ; HONIKEL et coll (1981) ainsi que BENDALL et SWATAND (1988) rapportent que le pH de la viande a une grande importance sur la capacité des protéines à retenir l'eau du muscle.

Concernant l'osmolarité et la conductivité électrique la corrélation est très importante ( $r = 0.997$  à  $P < 0.05$ ) ceci reflète la proportionnalité utilisée pour l'estimation de la première à partir de la deuxième et de ce fait, leurs coefficients de corrélation avec les autres variables sont les mêmes.

On note une corrélation négative significative de la CE ( $r = -0.954$  et  $-0.882$  à  $P < 0.05$ ) avec le pH pour les muscles SM et ST qui n'est pas le cas pour le LD et le RF. Plusieurs auteurs, (OUALI et coll., 1991 ; BONNET et coll., 1992 ; DEBITON, 1994 ; ZAMORA, 1997; BECILA, 2002) rapportent aussi que le pH et l'osmolarité sont fortement corrélés négativement.

La QJE et l'osmolarité sont fortement corrélées pour tous les muscles avec la valeur du coefficient de corrélation la plus élevée pour le SM ( $r = 0.97$  à  $P < 0.05$ ). Ce résultat confirme celui de BECILA, 2002 et OUALI et coll., 1991 car l'augmentation de la pression osmotique dans la cellule musculaire a une influence sur la capacité de rétention d'eau.

#### **4-2/ Corrélations entre les paramètres physico-chimiques et la tendreté**

De la même manière les possibilités d'avoir des corrélations entre la tendreté et les différentes variables du processus de l'attendrissage naturel de la viande ont été étudiées à travers des matrices de corrélation régénérées à partir des coefficients de corrélations de Pearson. Le tableau n°19 présente ces coefficients et leurs significations.

**Tableau 19:** Coefficients de corrélation des paramètres physico-chimiques à la profondeur de pénétration au cours du temps *post mortem*.

Variable	LD	SM	ST	RF
Temps	0.654*	0.724*	0.59	0.693*
pH	-0.395	-0.661	-0.41	-0.061
QJE	0.548	0.784*	0.605	0.246
CE	0.813*	0.665	0.477	0.474
Osmolarité	0.804*	0.659	0.487	0.444

\*: seuil de signification  $P < 0.05$ .

D'une manière générale on peut noter que les coefficients de corrélation significatifs sont ceux avec le temps, sauf pour le muscle ST où le temps n'est pas corrélé à la tendreté.

On note que les corrélation de la tendreté avec les autres variables sont différentes d'un muscle à l'autre car on note pour le SM une corrélation significative avec la QJE avec  $r = 0.78$  à  $P < 0.05$ . dans le cas du ST aucune corrélation n'est notée pour tous les variables avec la tendreté. Même remarque pour le RF sauf pour le temps. Pour le muscle LD on trouve que la tendreté est corrélée à l'osmolarité et la conductivité électrique ( $r = 0.804$  à  $P < 0.05$ ).

En vue de déterminer un ou des prédicteurs de la tendreté finale de la viande nous avons testé en plus des corrélations pouvant exister entre le pH et la QJE au cours du temps *post mortem* et la tendreté finale mesurée à 48 h *post mortem* et alors nous avons obtenu les coefficients de corrélation présentés dans le tableau n°20.

La conductivité électrique et l'osmolarité n'ont pas été prises en considération vu le nombre de répétitions insuffisant.

**Tableau 20:** Coefficients de corrélation des paramètres physico-chimiques (1, 4, 6, 8, 10, 12,24h *post mortem*) à la profondeur de pénétration 48 h *post mortem*.

	<b>LD</b>	<b>SM</b>	<b>ST</b>	<b>RF</b>
<b>4h</b>				
pH	0.048	-0.781	-0.399	-0.123
QJE	0.569	0.982*	0.795	0.991*
<b>6h</b>				
pH	-0.095	-0.52	0.885	0.797
QJE	0.54	0.968*	0.974*	0.969*
<b>8h</b>				
pH	0.842	-0.279	-0.329	0.589
QJE	0.473	0.963*	0.747	0.604
<b>10h</b>				
pH	0.62	0.902	0.629	0.852
QJE	0.638	0.6	0.211	0.652
<b>12h</b>				
pH	0.722	0.953*	0.477	0.798
QJE	-0.763	0.356	0.672	0.157
<b>24h</b>				
pH	0.551	0.891	0.61	0.873
QJE	0.64	-0.855	-0.262	-0.702

\*: seuil de signification  $P < 0.05$ .

Les corrélations entre la tendreté 48 h *post mortem* et la vitesse de chute du pH ainsi que son amplitude et l'amplitude de la quantité de jus extractible ont été étudiées car nous avons le tableau n°21 qui donne les coefficients de corrélation.

**Tableau 21:** Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des cinétiques physico-chimiques et la profondeur de pénétration 48 h *post mortem*.

	<b>vitesse pH</b>	<b>amplitude pH</b>	<b>amplitude QJE</b>
<b>LD</b>	0.331	0.424	-0.381
<b>SM</b>	0.879	0.977*	-0.956*
<b>ST</b>	0.358	0.605	-0.307
<b>RF</b>	0.965*	0.827	-0.679

\*: seuil de signification  $P < 0.05$

L'observation de tous ces coefficients de corrélation nous permet de constater que la tendreté à 48h *post mortem* n'est pas corrélée à aucun pH des différents temps *post mortem*; sauf pour le muscle SM à 12h PM( $r = 0.953$ ). Aussi concernant la vitesse et l'amplitude de chute seule l'amplitude de chute du pH du muscle SM, qui est corrélée à la tendreté 48h *post mortem* avec  $r = 0.977$ .

Cependant pour la quantité de jus extractible, on note certaines corrélations à la tendreté 48h PM, observées beaucoup plus au premiers temps *post mortem*, où on note que les QJE 4 h,6h et 8h du muscle SM sont corrélées significativement à la tendreté 48h ( $r = 0.982, 0.968$  et  $0.963$  respectivement) , l'amplitude d'évolution de la QJE est aussi corrélée à la tendreté 48h PM , mais négativement pour ce même muscle ,pour le muscle ST c'est plutôt la QJE 6 h qui est corrélée à la tendreté 48h , le muscle RF lui aussi présente une forte corrélation significative de la QJE 4h et 6h à la tendreté 48h PM( $r=0.991$  et  $0.969$  respectivement) . Aucune corrélation significative n'a été observée pour le muscle LD.

## **Conclusion**

D'une manière générale, d'après ces observations nous pouvons constater que les corrélations avec les différents paramètres étudiés et la tendreté de la viande, sont différentes d'un muscle à l'autre, ce qui nécessite pour chaque muscle une équation de prédiction distincte. Ces résultats rendent difficile l'établissement d'un modèle de prédiction globale de la tendreté de la viande ovine, nécessitant ainsi plus de paramètres et plus de répétitions.

## **Conclusion générale**

Ce travail a été réalisé dans le but de l'étude des paramètres physico-chimiques et biochimiques intervenant dans le processus d'attendrissage naturel de la viande ovine, ceci en prenant en considération le facteur de variabilité type de muscle.

Concernant les cinétiques des paramètres étudiés, c'est toujours le pH qui diminue à l'inverse de la quantité de jus relarguée par le tissu, la conductivité électrique et l'osmolarité qui augmentent au cours du temps *post mortem*. Le muscle SM (rouge rapide) présente les valeurs les plus élevées de l'amplitude de chute de pH en plus de l'amplitude chute de la capacité de rétention d'eau. Cependant le minimum est noté pour le muscle RF (à fibres glycolytiques), quoiqu'ils présentent la même tendreté finale.

Le travail avec une force centrifuge de 18000×g, n'a pas permis l'établissement de la cinétique d'évolution exacte aux premières heures *post mortem* des paramètres QJE, CE et l'osmolarité, ceci malgré que les allures générales entre la première heure et 24 et 48h *post mortem* sont comparables à celles des viandes ovines et bovines données par la bibliographie.

L'établissement des cinétiques d'évolution à des temps *post mortem* de 1, 4, 6, 8, 10, 12,24 et 48h a permis encore la mise en évidence d'un phénomène cité récemment par CARLOS HERMAN en 2006 pour la viande bovine, il s'agit de la stabilité une ou deux fois du pH au cours des premières heures qui suivent l'abattage (1 à 8h). Dans notre cas, nous avons soit une stabilité ou bien une légère augmentation formant ainsi une bosse. Ceci est noté surtout entre 4 à 10h *post mortem*, pour tous les muscles de deux animaux du lot de cinq.

Notre étude révèle un début de stabilité des différents paramètres qui caractérisent la maturation entre 10 et 12 h *post mortem*. Ceci n'est pas le cas de la viande bovine où le pH, la QJE, la CE et l'osmolarité continuent à évoluer jusqu'à 24h *post mortem* pour atteindre leurs valeurs ultimes. Cette constatation explique la maturation rapide de la viande ovine à 4°C par rapport à la viande bovine avec le même régime thermique.

Les gels obtenus après migrations des protéines myofibrillaires des quatre muscles aux différents temps *post mortem*, montrent des ressemblances dans le comportement des principales bandes qui ne change pas au cours de la maturation, il s'agit des chaînes lourdes myosine qui n'ont pas été séparées par ce gel de 12% d'acrylamide, l'actine et l' $\alpha$ -actinine. Plusieurs études rapportent que l'apparition du

fragment de 30 kDa est un indicateur de maturation de la viande, ce fragment apparaît dans notre cas dès la première heure. La protéolyse des protéines myofibrillaires dans notre étude a révélé également selon les muscles, l'apparition de fragments de 48, 49, 33, 29,22 et 16.5 avec la disparition des fragments de 35,23 ,22.5 et 16 kDa à des temps différents. Ce résultat mérite d'être confirmé ultérieurement.

Concernant la tendreté estimée par pénétration diminue au cours de la rigidité cadavérique, puis augmente au delà, on constate que le muscle le plus tendre à 48h *post mortem* est le *Semi tendinosus* suivi du *longissimus dorsi*. Le *Rectus femoris* et le *Semi membranosus* présentent des tendretés finales presque analogues malgré que le SM fût le plus dure au départ. Ceci concorde aux résultats de l'électrophorèse ou c'est le ST qui présentent plus de dégradation, et donc qui est le plus tendre. Cette tendreté continue son évolution jusqu'à 48h *post mortem*, mais avec une vitesse moindre après les 10h *post mortem* et ceci pour tous les muscle étudiés

Concernant le facteur de variabilité type de muscle, les résultats de l'analyse de la variance entre les quatre muscles ne révèlent aucun effet significatif de ce facteur sur les paramètres physico-chimiques et pareillement pour la tendreté, malgré certaines différences mises en évidence par la protéolyse des protéines myofibrillaires.

L'étude des corrélations entre les différents paramètres montre que les paramètres physico-chimiques sont corrélés significativement entre eux, ce qui n'est pas le cas avec la tendreté sauf quelque corrélations significatives qui ont été mises en évidence pour la capacité de rétention d'eau 4, 6, et 8 h à la tendreté 48h *post mortem* pour le muscle SM, en plus d'une forte corrélation négative avec l'amplitude d'évolution du pH et la QJE.

Ces résultats sont insuffisants pour l'élaboration d'un modèle de prédiction de la tendreté finale de la viande ovine, mais ouvrent la voie à de nombreuses perspectives. Il serait donc intéressant afin d'approfondir notre compréhension des phénomènes qui se déroulent lors de la maturation, d'étudier d'autres variables biologiques, qui peuvent avoir un rôle dans l'attendrissage naturel de la viande et c'est surtout les paramètres biochimiques, tel les activités enzymatiques des protéases intervenant dans ce phénomène. De plus une approche protéomique pouvant être envisagée, cet outil puissant permet de cibler un grand nombre de protéines et de peptides par une méthode électrophorétique bi-dimensionnelle.

Il semblerait donc bien qu'en étudiant un nombre plus important d'animaux et en améliorant les protocoles, notamment celui de la mesure de la capacité de rétention d'eau et l'estimation de la tendreté par la pénétration on réussisse à améliorer les connaissances concernant le phénomène de maturation de la viande et par la suite l'établissement du modèle de prédiction de la viande ovine.

**A-----**

**ALIAS C. et LINDEN G., 1997**

Abrégé de biochimie alimentaire. Masson.paris,

**ASHGAR A. et BHATTI A.R., 1987**

Endogenous protéolytique enzymes in skeletal muscle, their significance in muscle physiology and during *post mortem* ageing events in carcasses .ANV food res.31,343-451.

**ASHGAR A et PEARSON A. M., 1980**

Influence of ante and *post mortem* treatments upon muscle composition and meat quality. Adv . Meat Res 26: 53.

**ASHMORE C.R. et DOERR L ., 1971**

Comparatives aspects of muscle fiber types in different species. Nevrol , 31,408-418.

**B-----**

**BARANY K ., BARABY M ., CAROLS S .et GOMETTI I ., 1995**

Polyacrylamide gel électrophoretic methods in the separation of structural muscle proteins. Journal of chromatography A. 698 , 301-332.

**BECILA S ., 2002**

Etude de l'influence des parameters physico-chimiques sur la maturation de la viande d'agneau . memoir de magistere ,INATAA.105p.

**BENDALL J. R. et SWTLAND H ., 1988**

A revieu of the relationship of pH with physical aspects of pork quality. Meat sci. 24, 85-126 .

**BERIAIN M.J., BAS P., PURUORY A. ET TREACHERT**

Effect of animal and nutritional factors and nutrition on lamb meat quality.

**BOAKYE K. et MIHAL G.S., 1993**

Change in pH and water-holding proprieties of longissimus dorsi muscle during beef ageing . Meat sci. 34, 335-349 .

**BONNET M .,OUALI A . et KOPP J., 1992**

Beef muscl osmotic pressure as assessed by differential scanning calometry.( DSC) int .J.foot sci. 27,399-408.

**BRIAN M.C., JAMES J. et FRANCIS B., 1999**

The ultra- rapid chilling of lamb carcasses. The national food center, research report n°7, 21p.

**C-----**

**CHELLIG R., 1992.**

Les races ovine algériennes. Office des publications universitaires.80.P.

**CHERET R.,2005**

Effet des hautes pressions sur les indicateurs de maturation de de la viande et l'alteration du muscle de poisson . these de doctorat . ecole nationale d'ingenieurs des techniques des industries agricoles et alimentaires .156p.

**CRAPLET C., 1966**

Traite de l'elevage moderne , tom 3, la viande de bovin. Vigot frère.545p.

**D-----**

**DEBITON E ., 1994**

Viande facteurs biologiques impliqué . these presenté pour l'obtention du diplôme d'etude approfondi , science des aliments . université Blaise Pascal .34p.

**DEDIO W ., KALTSIKES P.G. et LARTER E.N.,1969**

numirical chemo taxonomy in the genus secale .Can.J.BOT.1175-1180.In: variabilité des hordeines d'une collection d'orge.Science de la nature et vie.Beckri S.S., 2004.76p.

**DRANSFIEED E.,1994**

Optimisation of tenderisation ageing and tenderness. Meat scie.36, 105-121.

**DRANSFIEED E., LOKYER D.K . et PRABHAKARAN P.,1986**

Change in extensibility of raw beef muscle during storage. Meat Sci .16, 127-142.

**DUTAND D.,1998**

Quantification et caractérisation du proteasome 20Sde muscle de bovin en relation avec l'attendrissage de la viande bovine .thèse d'état.INRA.

**E-----**

**EL RAMMOUZ R ., 2005**

Etude des changements biochimiques *post mortem* dans le muscle de volailles- contribution au déterminisme de l'amplitude de la diminution du pH. thèse de doctorat .institut national polytechniques de Toulouse. Filière science agronomique n°d'ordre 2221.138p.

**F-----**

**FAO ., 2005**

Total meat production, ovine meat production.

**FRANCIA J C .,2000**

Lettre de l'ADIV n°2-juillet2000.mesure de la tendreté de la viande. Centre technique de la filière viande.

**G-----**

**GAZEAUX O., 1997.**

Rapport sur la tendreté de la viande. Brenterch Yann, Grec'hriou, romain.13p.

**GEAY Y., BANCHART D., HOCQUETTE J.F. et CULILOI J. 2001**

Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. INR, EDP sciences. 41,1,26.

**GEESINKG.H.,OUALI A . et SMULDERS F.J.M , 1992**

Tenderisation calpain /calpastatine activities and osmolaryty of 6 differents beef muscle. Pore.38<sup>th</sup>ICOMST. Clermont. France. 363-366.

**GOLL D. E ., DAYTON W.R., SINGHI . et ROBSONR.M., 1991**

Studies of the actinin / actine interaction in the Z diske by using calpain. Biol. chem. 266 (13), 8501-8510.

**GONDRET F. et BONNEAU M.,1998**

Mise en place des caracteristiques du muscle chez le lapin et incidence sur la qualité de la viande .INRA . Prod.Anim. 11,335-347.

**GONDRET F., EL RAMOUZ R., FERNANDEZ X. et COMBES S . 2004**

Influence de l'exercice physique au cours de l'engraissement sur le metabolisme musculaire chez le lapin .viande et Prod carn 10<sup>eme</sup> journée ,science du muscle et technologies des viandes 25-26 octobre 2004. 35-36.

**GOUTFONGEA et GOUSSAUT.,1982.**

**GRAHAM R . et TRONT.,1988**

Techniques for measuring water- binding capacity in muscle foods . Meat sci. 23,235-252.

**GRAINNE R., BRIAN M.G., HENCHION M ., SHERIDAN J., TROY D.J et COWAN C .2001**

commercial system for ultra-rapide chillig of lamb. The national food center, research report n°48 , 22 p.

**GREYSER M.L. et FRITZ D., 1995**

*Post mortem* changes in myofibillar proteins in relation to meat textue In: Expressin of tissu protenases and reculation of proteines degradation as related to meat quality.Ouali A,Deneyer D.I et Smulders F.J.M.(eds), ECCEAMST,Utrecht,pays bas. 463-484.

**H-----**

**HAMM R., 1975**

Meat, proceding of the twenty first easter school in agriculture, 321-338.

**HAMM R., 1960**

Adv. food res; 10.355-463. In: étude de facteurs de variation du pouvoir de rétention d'eau de la viande de porc. LABORDE D., 1984.

**HAMM.,1982**

*Post mortem* changes in muscle with regard to processing of hot boned beef. Food.Techn,105-115.

**HAMELIN M., SAYD T., CHAMBON C .,MONIN G. et LAVILLE E .2004**

Protéines sarcoplasmiques et caractérisation proteomique des types musculaire ovin .viande et Prod carn 10<sup>ème</sup> journée, science du muscle et technologies des viandes 25-26 octobre 2004.33-34.

**HERERA-MANDEZ C.H ., BECILA S., BOUDJLEL A.G. et OUALI A.,2006**

meat ageing: reconsederation of the current concept.Food .sci . techno.xx1-12.

**HO C. ESTROMER M.H., 1994**

Identification of the 30 KDa polypeptide in *post mortem* skeletal musculars as dégradation product of troponin T biochimie, 76,369-375.

**HONIKEL K.,O FISHER C., HAMID A .et HAMM R .,1981**

Influence of *post mortem* changes in bovine muscle on the water holding capacity of beef. *post mortem* storage at 20°C.j,food sci 46 .1-6.

**J-----**

**JAIME L., BELTRAN A., CENA P., LOPEZ L. et RONCALES P. 1992**

Effects of rapid *post mortem* temperature drop on muscl conditioning and ageing. Meat sci , 32,357-366.

**K-----**

**KOOHMARAIE M., 1992**

Ovine skeletal muscle multicatalytic proteinase complex (proteasome). Purification, caracterisation and comparaison of effects on myofibrils with  $\mu$  calpains.J.Anim. Sci.70,3697-3708.

**KOOHMARAIE M., 1993**

Muscle proteinases and meat ageing .meat sci. 36, 93-104

**L-----**

**LABORD ., 1984**

Etude des facteurs de variation du pouvoir de rétention d'eau de la viande de porc. thèse de docteur ingénieur, université de Clermont 2 .99p.

**LACOURT et TARRANT 1981**

Selective glycogen depletion and recovery in skeletal muscle fiber type of young bulls subjected to a behavioral stress. In some effects of diet on beef meat and fat attributes. Daly

C.C., Young O.A., Graafhuis A.E. et Moorhead S.M.,1999. New Zealand .journal of agriculture recherche.42,276-287.

**LEFAUCHEUR L., 2003**

Typologie et ontogenèse des fibres musculaires chez le porc.INRA, UMR VEAY ET PORC. 25590.

**LEPETIT J., SALE P. et OUALI A.,1986**

*post mortem* evolution of rheological properties of the myofibrillar structure.Sci .des Alim .16,161-174.

**LEPETIT J. et BUFFIERE C.,1995**

Meat ageing measurement comparison between two mechanical methods. Fleischwirtsch.75(10), 1120-1222.

**LESIAK M.T., OLSON D.G., le SIAKCA et AHND.U., 1996**

Effects of *post mortem* temperature and time in the water holding capacity of hot- boned turkey breast and thigh muscle. Meat science 43 (1), 51-60.

**LOCHNER J.V., KAUFFMAN R.G. ET MARSH B.B., 1980**

early *post mortem* cooking rate in beef tenderness meat science, 4,227-241.

**M-----**

**MARSH B.B.et LEET N .G.,1966**

Studies in meat tenderness.3 .the effect of cold shortening on tenderness.J.F.Sci ,31,450-459.

**MIKAMI M., WHITING A .H .,TAYLOR A. J., MACIEWICZ R. A., ETHERINGTON D .J., 1987**

degradation of myofibrils from rabbit, chicken and beef by cathepsin L and lysosomal lysates. In : les calpains musculaires Fernandez E .memoire de l' ecole pratique des hautes etudes.

**MONIN G. et OUALI A.,1991**

Muscle differentiations and meat quality. Meat science 5, 89-157.

**MONIN G.,1993**

pH et qualités sensorielles de la viande de veau . viande Prod carn .14 (2),43-46.

**MYKLES D.L.,1989**

High molecular- weight serine proteinase from lobster muscles that de grades my ofibrillar proteines, EXP.zool, 250,244-252.

**MYKLES D. L. et HAIRE M.F.,1995**

Branched chain- amino- acid- preferring peptidase activity of the lobster multicatalytic proteinases (proteasme) and the degradation of my ofibrillar proteines. Bioch J, 306,285-291.

N-----

**NIGISHI H., YANAMOTO E. et KUWATA T.,1996**

The origine of the 30kDa appearing during *post mortem* ageing of bovine muscle .Meat Sci .42(2) , 289-303.

O-----

**OFFER G. et KNIGHT p., 1988**

The structural basis of WHC in meat. Meat science 4, 63-243.

**ONS., 2003**

Annuaire statistique de l'algerie .RADP.ONS, Office nationale des statistiques n°20.

**OUALI A., OBLED A., COTTIN P., MERDACIN., DUCASTAIN A. et UALIN C., 1983**

Comparative effects of *post mortem* storage and Lou calam requiring neutral proteinase of bovin and rablit my ofbrillar proteins, J sci food agric, 34 (5), 466-476.

**OUALI A., GARREL N .,OBLED A .,DEVAL C.et VALIN C., 1987**

Comparative action of cathepsine DBHL and of new lysosomal cysteine proteinase on rabbit myofibrils. Meat Sci .19,83-100.

**OUALI A., 1990 (a)**

La maturation des viandes facteurs biologiques et technologiques de variation. Viande et produits carmés, 11.281-290.

**OUALI A., 1990 (b)**

Meat tenderisation: possible causes and mécanismes.J.Muscle foods 1,129-165.

**OUALI A., 1991**

Sensory quality of meat as affected by munle biochemistry and modern technologies. In: animal biotechnology and the quality of meat production P, 85-105. FIEMS C.O., COTIN B.G. et DEMEYER D. I, Elsevier sci.

**OUALI A., 1992**

Proteolytic and physiochemical mechanisms involved in meat texture deulopment .Biochme 747,251-265.

**OUALI A., LEPETIT J., TOURAILLE C. et KOPP J.,1994**

Cinétique d'attendrissage de la viande de veau .viande Prod carn,15(3),83-86.

**OUALI A., HERERA-MANDEZ C.H.,COULIS G., BECILA S., BOUDJLLEL A.G., ALUBRY L. et SENTRADREU M .A., 2006**

Revising the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. Meat Sci, maniscrpt accepted, MESC 3881.

**OLSON D. E. et PARRISH F., 1977**

Relationship of myofibrillar fragmentation index to measures of meat tenderness. J. Food sci , 42: 506.

**P-----**

**PARK D.C., PEARSON M.E .et PENNINGTON F.J.T., 1987**

Evidence for mast-cell origine of proteinase in skeletal muscle homogenates .bioch Sci.1,730-734.

**PAUL A., DAYEUR C.et MULEN A. M .2001**

Using ultrasound to measure beef tenderness and fat content. The national food center, research report n°35.16p.

**PENNY I.F., 1980.** The enzymology of conditioning in: developments in meat science Lawrie R., ed. Elsevier pp 155-143.

**PENNY I.F., 1985**

The enzymologie of conditionning developpement in: relationship between early post mortem pH and the tenderisation of beef muscle .O'halloran GR Troy D J et Buckley D J 1995.41<sup>ST</sup> Annuel international congress of meat Sci and techno.San Antonio,Texas.

**PETER J.B, BARMAR DH J., EDGERTON U.R,GILLESPIE C.A.et STEMPLEK.E., 1972**

Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbit.biochimistry 11, 2627-2633.

**PETTE D. Et STARON R.S.,1990**

Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fiber.physiol, biochem, 116, 1-75.

**PICARD B.,JURIEC.,CASSAR-M., et HOCQUETT J.F.,2002**

Typologie et myogénèse des fibres musculaires chez différents espèces d'intérêt agronomique. INRA.

**PICARD B JURIE C CASSAR-MALEK I et HOQUETTE J F .2003**

Typologie et ontogénèse des fibres musculaires chez le bovin. INRA, Prod.Anim.16,125-131.

**PINKAS A., PENKA MARINOUI., TOMOU. et MONIN G., 1982**

Influence of age at slaughter rearing technique and pre-slaughter treatment on some quality traits of lamb meat. Meat science. 6, 245-255.

**R**-----

**RANVIER P.L., 1973**

Propriétés et structures différentes des muscles blancs chez les lapins et les rais. Aead. Sci 77,1030-1034.

**RAYMOND P., 2005**

Structure, régulation, expression et polymorphisme du gène CAST codant la calpastatine bovine. Thèse de doctorat, université de Limoges, biologie, science, santé. UMR 1061 INRA.

**S**-----

**SHERIDAN J.J.,1990**

The ultra rapide shelling of lambs carcasses meat science. 28,31-50.

**SERG N., 2005**

Hystologie. PCEM 1.Facult2 Lyon Nord

**T**-----

**TAYLOR R.G., GEESINK G.H., THOMPSON.F., KOOHMARAIE M. et GOLL D.E., 1995**

The z disk degradation responsible for *post mortem* tenderisation. Animal scien .73 (5), 1351-1367.

**TROY DJ.,1995**

Modern methods to improve and control meat quality with special regard to the tenderization process . In international development in process efficiency and quality in meat industry .ed .D J .TROY.Dublin Castele , irland,57-72.

**TROY D.J., 1999**

Biochemical and physical indicators of beef quality .The national food center. . research report n° .36p.

**TRONT G.R., 1988**

Techniques for measuring water binding capacity in muscle foods. areview of methodologie.Meat Sci . 23,235-298.

**U**-----

**UBERTALLE A. et MAZZOCCO P., 1979**

Industries alimentaire 18 (718) -533-540.

**V**-----

**VALIN C.,1988**

Differentiation du tissue musculare, consequences thecnologique pour la filière viande. ROPRO .Nutri . Develop.28(3b) , 845-856.

**VALIN C., TOURAILLE C., OUALI A. et LACOURT A., 1975**

Etude de la qualité des viandes bovines, étude de la maturation des viandes de taurillon.  
Anim. Techno. Agric, 24, 47-64.

**VALIN C. et OUALI A., 1992**

Proteolytic muscle enzymes and *post mortem* tenderisation in: New technologies for meat and meat products. Smulder F.J.M., Toldra F., Flore J. et Priet M (eds) ECCEAMST. Andret T. 163-179.

**VEISETH E., SHACHELFORD S.D., WHEELER T. et KOOHMARAIR E., 2004**

Indicators of tenderisation are detectable by 12h *post mortem* in ovine *longissimus*.  
J. Anim. Sci., American society of animal science. 82, 1428-1436.

**W-----**

**WELL J., H BONNET J., BOULANER Y., CHAMBIN P., PUBERTENT G.,  
KEDINGER C., LAZDUNSKI M., MONTRENIL J., PATTE J., C REBEL G.,  
ROSSIGNOL J.M., SHECHTER E. et WRIGHT M., 1997**

Biochimie générale 8<sup>ème</sup> édition. Masson. France. 603p.

**WIERBRICKI E., KUNKLE L.E., CABIL V.R. et DEATHERAGE F.E., 1954**

The relation of tenderness to protein alterations during *post mortem* ageing. food Techn. 8, 506-511.

**WINGER R. J. et POPE C.G., 1981**

Osmotic properties of post rigor beef muscle. Meat Sci. 42(2), 133-144.

**WU F. W. et SMITH S.B., 1987**

Ionic strength and myofibrillar protein solubility. animal science, 65, 597-608.

**Z-----**

**ZAMORA F., 1997**

Variabilité biologique de l'attendrissage de la viande bovine, prédiction en fonction du facteur animal et du facteur type de muscle. Thèse d'état, INRA.

**ZAMORA F., DEBITON E., LEPETIT J., LEBERT A., DRANSFIELD E. et OUALI A., 1996**

Predicting variability of ageing and toughness in beef muscle. *longissimus lumborum* and *thoracis*. Meat Sci. 43(3-4), 321-333.