



N° d'ordre :
Série :

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du diplôme de
Magistère en Sciences vétérinaires
Option : Physiologie, Pharmacodynamie et Thérapeutique

**Evaluation du niveau de stress
chez les bovins en période de pré-
abattage et son influence sur le
métabolisme énergétique
musculaire post-mortem**

Par
AGOUD Slimane

Membres du jury

Dr KERROUR. M.	M.CA	Président	U. Frères Mentouri
Dr DIB A.L.	M.CA	Examinatrice	U. Frères Mentouri
Dr BENSARI.C.	M.CA	Examineur	U. Frères Mentouri
Dr EL GROUD.R.	M.CA	Encadreur	U. Frères Mentouri

Année universitaire 2016

Remerciements

Ce travail a été réalisé à l'institut des sciences vétérinaire d'EL KHROUB, Université des Frères Mentouri de Constantine. Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser ce travail par leur aide précieuse.

J'adresse mes sincères remerciements à mon promoteur : Dr **ELgroud Rachid**, Maitre de conférences A, à l'Institut des sciences vétérinaire d'EL KHROUB, d'avoir accepté de diriger ce travail, pour la confiance qu'il m'a accordé et la compréhension qu'il m'a témoigné au cours de la réalisation de la présente thèse. Je le remercie également de m'avoir guidé dans la réalisation scientifique de ce travail, pour le soutien, critiques avisées et tous ses encouragements considérables. Monsieur, je vous remercie pour votre aide précieuse, votre gentillesse, votre patience. Soyez assuré de tout mon respect et ma reconnaissance.

Nous remercions Dr : **Kerrour Mostefa**, Maitre de conférences A, à l'Institut des sciences vétérinaire d'EL KHROUB, pour l'honneur qu'il nous a fait de présider le jury. Qu'il soit assuré de ma profonde reconnaissance de tous les efforts qu'il a fourni dans l'organisation de notre magister.

Nous remercions également les membres du jury : Dr. **Dib Amira Leila**, Maitre de conférences A. ainsi que le Dr. **Bensari Charaf**, Maitre de conférences A, à l'Institut des sciences vétérinaire d'EL KHROUB, d'avoir accepté d'évaluer le présent travail en tant qu'examineurs.

Je remercie également **Dr. Mekroud A**, Maitre de conférences A, à l'Institut des sciences vétérinaire d'EL KHROUB, pour son aide, pour ces conseils et de nous accompagner pendant l'année théorique.

Je tiens à remercier le personnel du **laboratoire Belgharbi** en particulier **Dr. Belgharbi Sami**, pour nous avoir autorisé à réaliser les dosages sérique de nos prélèvements.

Je remercie aussi Dr : Zrizar Yacin, inspecteur vétérinaire de la Daïra du Kherrata. Ainsi que Dr : **Boutaghane Mourad**, Inspecteur vétérinaire de la Daïra de Bouandas. Et **Dr : Rami** inspecteur vétérinaire de la Daïra de l'Ain Lahdjer. Pour leurs autorisations de faire les prélèvements du sang et les mesures des métabolites au niveau de l'abattoir de Kherrata, Bouandas et Bir Hadada.

Je souhaite remercier également l'ensemble des bouchés, pour leurs compréhension, et qui nous permis de faire les prélèvements et les mesures sur leurs animaux.

Je remercie aussi **Dr. Mouffok C**, Maitre de conférences A, à l'université Ferhat Abbass du Sétif, pour son aide dans la réalisation des analyse statistique.

Je tiens a remercie **Dr. Mansouri Mouloud**, Maitre de conférences A, à l'université Ferhat Abbass du Sétif. **Dr. Touazi Lakhel**, Maitre assistant, à l'université Ferhat Abbass du Sétif. De leur aide, soutien, et conseilles durant ma formation de magister.

Ma profonde reconnaissance est adressée à mes très chers parents, et ma grande mère, merci pour votre patience et encouragements.

Ma profonde reconnaissance est adressée à tous les personne de ma belle famille **Latreche** surtout **Latreche Layachi**, merci pour votre patience et encouragements.

Mon affection et ma profonde reconnaissance sont adressées à ma très chère épouse, **Zina Latreche**, je te dis merci, pour ton soutien, pour ton aide précieuse, et patience durant ma formation de magister. Sans oublier ma jolie fille **Alae**, merci, pour ta patience.

Je remercie tous mes amis, **Amrane Abdelhafid, Latreche Abdelhalim, Boudjit Amar, Massaoudi Salem, Saadoudi Ahmed, Yahy krimou, youcef, Bensidhoum Hamza, Kaci Nadir, Bakli Adnane, Salhi Abdelmalek, Abderahim, Benali Hossem, Ramhoun Zitouni.** Pour leur encouragement, soutien et aide. Merci pour votre soutien et surtout votre amitié.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes parents, pour les efforts qu'ils ont
fourni tout au long de mes études, pour leur soutien et leur patience.
À ma femme, et ma fille, pour leur patience et leurs encouragements
A mes frères et mes sœurs.

A tous mes amis surtout : Mansouri Mouloud, Touazi Lakhal, Amrane
Abdelhafid, Latreche abdelhalim, Boudjit Amar, Massaoudi salem, Salhi
Abdelmalek, Bensidhoum Hamza, Kaci Nadir, Bakli Adnane.

Pour tous les moments inoubliables passés ensemble et ceux à venir.

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction.....1

Partie théorique

I. Le muscle.....4

 I.1. Le tissu musculaire.....4

 I.2. Le muscle squelettique.....4

 I.2.1. Structure du muscle squelettique.....4

 I.2.1.1. Organisation anatomique du muscle squelettique.....4

 I.2.1.2. Sur le plan macroscopique.....5

 I.2.1.3. Sur le plan microscopique.....6

 I.2.2. Métabolisme du Muscle Squelettique7

 I.2.2.1. La glycolyse9

 I.2.2.2. Voie glycolytique anaérobie9

 I.2.2.3. Voie aérobie oxydative.....10

 I.2.3. La Contraction Musculaire.....12

 I.2.3.1. La structure des myofibrilles.....12

 I.2.3.1.1. Les filaments épais (myosine).....12

 I.2.3.1.2. Les filaments fins (actine).....13

 I.2.3.2. Le système transverse et réticulum sarcoplasmique.....14

I.2.3.2.1. Le système transverse ou système des tubules T.....	14
I.2.3.2.2. Le réticulum sarcoplasmique.....	15
I.2.3.3. Couplage de l'excitation et de la contraction.....	16
I.2.3.4. La relaxation.....	17
I.2.4. Classification des fibres musculaires.....	17
II. La transformation du muscle en viande.....	20
II.1. Phases de la transformation du muscle en viande.....	20
II.1.1. Phase de pantelance.....	20
II.1.2. Phase de rigidité cadavérique.....	20
II.1.3. Phase de maturation.....	21
II.2. Métabolisme énergétique post mortem du muscle.....	22
II.3. Le mécanisme moléculaire de la rigidité cadavérique.....	25
III. Etude de la cinétique de chute du pH et l'apparition des viandes à défauts de qualité DFD et PSE.....	26
III.1. La cinétique de chute du pH.....	26
III.2. Les caractéristiques des viandes à défauts de qualité DFD et PSE.....	28
III.2.1. La viande DFD (Dark, Firm, Dry)	28
III.2.2. La viande PSE (Pale, Soft, Exudative).....	29
III.3. Mécanisme d'apparition et facteurs déterminants des viandes anormales...	29
IV. Etude du stress de pré-abattage.....	31
IV.1. Nature des stimuli.....	31
IV.2. Définition et histoire du mot stress.....	32
IV.2.1. Histoire du mot stress.....	32
IV.2.2. Définition du stress.....	32
IV.3. Mécanisme physiologique.....	34

IV.3.1. Les réactions comportementales.....	34
IV.3.2. Les réactions physiologiques.....	35
IV.3.2.1. Le système nerveux sympathique ou orthosympathique.....	36
IV.3.2.1.1. La mise en jeu du système sympathique lors de stress.....	37
IV.3.2.1.2. Effet biologique du système sympathique lors de stress.....	39
IV.3.2.2. L'axe corticotrope	40
IV.3.2.2.1. Localisation anatomique des différents constituants de l'axe corticotrope	40
IV.3.2.2.2. Fonctionnement de l'axe corticotrope	44
IV.3.2.2.3. Action glucocorticoïdes.....	47
IV.3.2.2.4. Régulation de la sécrétion des glucocorticoïdes.....	47
IV.4. Evaluation du stress.....	48
IV.4.1. Le cortisol.....	49
IV.4.2. Evaluation de l'activité de CPK	50

Partie expérimentale

I- Introduction.....	51
II- Matériels et Méthodes.....	51
II-1- Matériels.....	51
II-1-1- Abattoirs.....	51
II-1-1-1- Abattoir de Bir Hadada de la wilaya de Sétif (Abattoir n°01)	52
II-1-1-2- Abattoir de Kherrata de la wilaya de Bejaia (abattoir étatique) (Abattoir n°02)	55
II-1-1-3- Abattoir du Bouandas de la Wilaya de Sétif (abattoir étatique) (Abattoir n°03)	62

II-1-2- Matériel animal	65
II-1-2-1- Le choix des animaux.....	65
II-1-2-2 : Classement des animaux.....	65
II-1-3- Matériels d'expérimentation.....	67
II.1.3.1. Matériels de prélèvements.....	67
II.1.3.2. Matériels de mesure des métabolites.....	68
II.1.3.3. Matériels de laboratoire.....	68
II-2- Méthodes.....	72
II-2-1- Méthode de prélèvement.....	72
II.2.1.1. Protocole de prélèvement de sang.....	72
II.2.1.2. Préparation de matériels de prélèvement et de l'animal.....	72
II.2.1.3. Technique de prélèvement.....	73
II-2-2- Méthode de mesure des métabolites.....	73
II.2.2.1. Protocole des mesures des métabolites.....	73
II.2.2.2. Préparation de matériels de mesures.....	74
II.2.2.3. Techniques des mesures.....	74
II-2-3- Méthodes d'analyses.....	78
II.2.3.1. Centrifugation.....	78
II.2.3.2. Dosage de cortisol.....	78
II.2.3.3. Evaluation de l'activité de l'enzyme créatine kinase.....	80
II.3. Analyses statistiques.....	81
III. Résultats.....	82
III.1. Evaluation du stress des bovins en période de pré-abattage.....	82
III.1.1. Mesures du Cortisol et de la CPK sériques.....	82
III.1.2. Effet de la race sur le niveau de stress des bovins.....	83

III.1.3. Effet de l'âge sur le niveau de stress des bovins.....	84
III.1.4. Effet des conditions de l'abattoir sur le niveau du stress des animaux..	85
III.1.5. Effet de l'origine sur le niveau du stress des Bovins.....	86
III.1.6. Effet de la durée d'attente sur le niveau de stress des bovins.....	87
III.1.7. Effet du sexe sur le niveau de stress des bovins.....	89
III.2. Effet du stress sur le pH et Température post mortem précoce du muscle long dorsal droit.....	90
III.2.1. Cinétique du pH de la viande.....	90
III.2.2. Cinétique de la température de la viande.....	91
III.2.2. Influence de la race sur le métabolisme énergétique musculaire post-mortem du muscle long dorsal.....	91
III.2.3. Influence de l'âge sur le métabolisme énergétique post-mortem du muscle long dorsal.....	93
III.2.4. Influence de la provenance des animaux (Marché ou ferme) sur le métabolisme énergétique du muscle long dorsal.....	94
III.2.5. Influence de la durée d'attente à l'abattoir sur le métabolisme énergétique du muscle long dorsal.....	95
III.2.6. Influence du sexe sur le niveau de stress et sur le métabolisme énergétique du muscle long dorsal.....	98
IV. Discussions.....	100
IV.1. Evaluation du niveau de stress.....	100
IV.2. Effet de la race sur le niveau de stress des bovins.....	101
IV.3. Effet de l'âge sur le niveau de stress des bovins	102
IV.4. Effet des conditions de l'abattoir sur le niveau de stress des animaux.....	103
IV.5. Effet de l'origine sur le niveau de stress des Bovins.....	103

IV.6. Effet de la durée d'attente sur le niveau de stress des bovins.....	105
IV.1.7. Effet du sexe sur le niveau de stress des bovins.....	107
IV.2. Effet du stress sur la cinétique du pH et de la température précoce.....	108
IV.2.1. La cinétique du pH et de la température post-saignée du muscle long dorsal droit des bovins en fonction du temps.....	109
IV.2.2. Effet de la race sur la valeur du pH et de la température post mortem précoce.....	110
IV.2.3. Effet de l'âge sur le pH et la température post-mortem précoce.....	111
IV.2.3. Effet de la provenance (marché, ferme) des bovins et la durée de transport sur le pH précoce.....	112
IV.2.5. Effet de la durée d'attente pour les bovins provenant du marché sur la vitesse de chute du pH et la température précoce.....	112
IV.2.6. Effet de la durée d'attente sur le pH et température post mortem précoce.....	113
IV.2.7. Effet du Sexe sur le pH et la température précoce.....	114
Conclusion	115
Recommandations.....	117
Bibliographie.....	119
Annexe	
Résumé.....	129

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification des différents types de fibres musculaires chez les mammifères...18

Tableau 02 : Caractéristiques structurales, contractiles et métaboliques des principaux types de fibres du muscle squelettique adulte.....19

Tableau 3 : Concentration du cortisol et du CPK sériques pendant la période de pré-abattage.....82

Tableau 4 : Concentration du cortisol et du CPK sériques pendant la période de pré-abattage selon la race des bovins.....83

Tableau 5 : Concentration du cortisol et du CPK sériques pendant la période de pré-abattage selon l'âge des bovins.....84

Tableau 6 : Concentration du cortisol et du CPK à l'arrivée, en décubitus et au moment de la saignée selon l'abattoir.....85

Tableau 7 : Concentration du cortisol et du CPK au moment du décubitus et de la saignée selon la provenance des bovins.....86

Tableau 8 : Concentration du cortisol sérique en décubitus et à la saignée des bovins provenant du marché selon la durée d'attente.....87

Tableau 9 : Concentration de cortisol sérique en décubitus et au moment de la saignée des bovins provenant de la ferme ayant des durées d'attente différentes.....88

Tableau 10 : Concentration de cortisol sérique en décubitus et au moment de la saignée selon le sexe des bovins.....89

Tableau 11 : Effet de la race sur le pH et la température post-mortem précoce du muscle long dorsal droit.....92

Tableau 12 : Effet de l'âge sur le pH et la température précoce post-mortem du muscle long dorsal droit.....	93
Tableau 13 : Effet de la provenance (marché et ferme) et de la durée du transport sur le pH et température post-mortem précoce du muscle long dorsal droit.....	94
Tableau 14 : Effet de la durée d'attente au niveau de l'abattoir sur le pH et la température post-mortem précoce du muscle long dorsal droit des bovins provenant du marché.....	95
Tableau 15 : Effet de la durée d'attente au niveau de l'abattoir sur le pH et la température précoce post-mortem du muscle long dorsal droit des bovins provenant des fermes.....	97
Tableau 16 : Effet du sexe sur le pH et la température précoce post-mortem du muscle long dorsal droit.....	98

Liste des figures

Figure 01 : Structure du muscle squelettique mettant en évidence l'organisation du Tissue conjonctif.....	5
Figure 02 : Structure de fibres musculaires mettant en évidence l'organisation des myofibrilles et des filaments actine et myosine.....	6
Figure 03 : Observation en lumière polarisée mettant en évidence des zones isotropes (bande I) et des zones Anisotropes (bande A).....	7
Figure 4 : Les réactions de synthèse de l'ATP.....	11
Figure 05 : Structure du filament épais et de la molécule de myosine.....	13
Figure 06 : Structure d'un filament fin et ces composants.....	14
Figure 07 : Représentation schématique d'une triade.....	15
Figure 8 : Libération et fixation du calcium par le réticulum sarcoplasmique pendant la contraction musculaire d'une fibre musculaire squelettique.....	17
Figure 09 : Profil d'évolution de la dureté du muscle longissimus de bovin au cours de la conservation.....	22
Figure 10: Evolution post mortem de certains métabolites dans le muscle longissimus dorsi du porc.....	24
Figure 11 : Les différents types de viandes en fonction de l'évolution du pH dans le muscle longissimus dorsi du porc.....	27
Figure 12 : Images de la couleur normale et sombre du muscle longissimus dorsi (long dorsal) d'un bœuf.....	28

Figure 13 : Organisation du système nerveux somatique et autonome.....	36
Figure 14 : Différence de localisation du corps cellulaire du neurone post-ganglionnaire du système nerveux autonome.....	37
Figure 15 : Organisation schématique du système nerveux sympathique et l'innervation des glandes surrénales par le système orthosympathique et libération des catécholamines.....	38
Figure 16 : Innervation de la glande surrénale et la sécrétion des catécholamines.....	38
Figure 17 : Localisation de l'hypothalamus, hypophyse et ces trois lobes (antehypophyse, post hypophyse, intermédiaire).....	41
Figure 18 : Illustration des deux portions de la glande surrénale.....	42
Figure 19 : Illustration des différentes zones du cortex surrénal de l'intérieur à l'extérieur...	43
Figure 20 : Axe hypothalamo-hypophysaire.....	45
Figure 21 : Illustration du Bâtiment de l'abattoir de Kherrata.....	56
Figure 22 : Le quai de déchargement.....	56
Figure 23 : La ferme de l'abattoir du Kherrata et couloir d'amenée des animaux à la salle d'abattage.....	57
Figure 24 : La porte d'entrée des animaux vivant.....	58
Figure 25 : La salle d'abattage des bovins et des petits ruminants.....	58
Figure 26 : La salle de nettoyage des viscères.....	59
Figure 27 : La chambre froide de l'abattoir.....	59

Figure 28: L'organisation des treuils de soulèvement dans la salle d'abattage.....	60
Figure29 : Image de l'automate VIDAS PC.....	69
Figure 30: Les cartouches CORS.....	69
Figure 31: Représentation d'une cartouche CORS.....	70
Figure 32: Image représentant l'appareil de Spectrophotométrie.....	71
Figure 33 : Image représentant la demi-carasse	75
Figure 34 : Image représentant l'endroit n° 1 pour la mesure du pH et de la température....	76
Figure 35 : Image représentant l'endroit n°2 pour la mesure du pH et de la température.....	77
Figure 36: L'emplacement des cartouches dans le compartimen.....	79
Figure 37: Identification des échantillons sur l'ordinateur de l'automate.....	80
Figure 38 : Cinétique de la chute du pH de la viande en fonction du temps.....	90
Figure 39 : Cinétique de la chute de température en fonction du temps.....	91

Liste des Abréviations

Ac : Acide

ACTH: AdrenoCorticoTropin Hormone

ADP : Adénosine DiPhosphate

AMP: Adénosine MonoPhosphate

AMPc : Adénosine MonoPhosphate Cyclique

ANOVA : Analysis of Variance (Analyse de variance).

ATP: Adénosine TriPhosphate

Ca²⁺ : Ions calcium

cm: Centimeter

CPK : Créatine Phosphokinase.

CRF: Corticotrophin releasing factor

CRH : Corticotropin Releasing Hormon

DFD : Dark, Firm, Dry

ELFA : The Enzyme-Linked Fluorescent Assay

ELISA : Enzyme-Linked Immunosorbent Assay

FG : Fast glycolytic (Rapide glycolytique)

FOG: Fast oxido-glycolytic (Rapide oxydo-glycolytique)

G-3-P : Glycéraldéhyde-3-Phosphate.

GABA : γ -aminobutyric-acid

Glucose-6-P: Glucose-6-Phosphate.

Gn-RH : Gonadotropin releasing hormon

GR : Récepteurs aux glucocorticoïdes

h: Heure

H⁺ : Proton

HPA : Hypothalamic-Pituitary-Adrenal axis

K⁺: Ions potassium

kda: Kilodalton

L : Litre
LDH: Lactate DésHydrogénase
m : Mètre
mL : Millilitre
mn : Minute
MR : Récepteurs aux minéralocorticoïdes
Na⁺ : Ions sodium
Ng : Nanogram
NH₄⁺ : Ions ammonium
nm : Nanometer
np : Nombre de page
NPV : Noyau Paraventriculaire
P : Page
PC: Créatine Phosphate
pH: Potentiel d'hydrogène
pHu : pH ultime
Pi: Phosphate inorganique
POMC : Pro-OpioMélanoCortine
PSE : Pale, Soft, Exudative
R: Red (Rouge)
SGA : Syndrome Général d'Adaptation
SO: Slow oxidative (Lente oxydative)
T : Température
UI/L : Unité internationale/ Litre
VP : VasoPressine
W: White (Blanche)
µl : Microlitre
µm: Micrometre
°C : Unité de mesure de la température

Introduction

La viande est l'un des aliments les plus riches en protéines provenant des animaux, qui résulte de la transformation des muscles après l'abattage. La transformation de la viande passe par trois étapes (pantelante, rigor mortis et la maturation). La transformation du muscle en viande implique des mécanismes biochimiques qui affectent la composition et la structure du muscle, et par conséquent influence surtout l'acidité du muscle qui elle, conditionne la qualité organoleptique et technologique de la viande.

Les réactions mises en jeu, durant la maturation, sont essentiellement des réactions hydrolytiques, qui font disparaître dans un premier temps les réserves énergétiques du muscle (ATP, PC, glycogène) au cours des étapes de pantelance et de rigor mortis. Par la suite, l'organisation de la structure des protéines musculaires est affectée au cours de l'étape de maturation.

Pendant la transformation du muscle en viande, le pH subit une diminution qui résulte de la production d'acide lactique à partir des réserves énergétiques du muscle. L'amplitude de la chute de pH est conditionnée par la concentration en réserves énergétiques avant et après l'abattage de l'animal. Cette dernière est influencée par certains facteurs intrinsèques liés à l'animal (âge, sexe, espèce, caractéristiques contractiles et métaboliques du muscle), et d'autres facteurs extrinsèques, à l'exemple des conditions d'élevage, de l'alimentation et des conditions liées à la période de pré-abattage.

La période de pré-abattage comprend une série d'interventions potentiellement stressantes, qui débute généralement avec la mise à jeun de l'animal et son départ pour l'abattoir, et s'achève lors de la mise à mort de l'animal. Les conditions, dans lesquelles sont soumis les animaux durant cette période de pré-abattage, sont autant de sources de stress qui peuvent affecter notablement la qualité des viandes.

Pendant qu'un animal est confronté à une situation de stress, il développe aussitôt des réactions physiologiques et comportementales visant à arrêter la cause et/ou diminuer les conséquences du stimulus qui menace son intégrité.

La réponse physiologique à ces stimuli se fait par deux voies : La première est une réponse immédiate par le système nerveux autonome, qui fait intervenir le système orthosympathique, et la seconde un peu plus tardivement fait intervenir elle, l'axe corticotrope.

Les effets engendrés par l'activation de ses deux voies sont : L'augmentation de la concentration sanguine du glucose, l'augmentation du rythme cardiaque et respiratoire, de la pression sanguine, du tonus musculaire, de l'augmentation de la concentration sanguine du cortisol et d'ACTH, de glucagon, l'augmentation de la concentration de certains métabolites

comme le lactate issu des muscles, des acides gras, et l'augmentation de l'activité plasmatique de certaines enzymes comme la créatine kinase qui est une enzyme importante du muscle squelettique, l'activité élevée de cette enzyme au niveau plasmatique est indicatrice des dommages musculaires, et parfois associée à des myopathies induites par un stress de chaleur ou encore de transport.

Pour la seconde réponse qui est comportementale, elle se traduit par un comportement de fuite, d'agression ou encore par l'immobilisation en particulier chez la volaille, où des violents battements d'ailes apparaissent lorsque les oiseaux sont accrochés par leurs pattes sur la chaîne d'abattage. Par ailleurs, les conséquences des facteurs du stress peuvent varier en fonction de ses caractéristiques (nature, intensité et la durée du stimulus), mais aussi selon la nature de la perception qu'aura l'animal, perception qui va évoluer en fonction de l'âge, du sexe et du génotype.

Les indicateurs d'évaluation du stress sont divers et variés. La plupart des hormones intervenant dans les deux types de réactions ; Certains métabolites de la réaction physiologique ainsi que d'autres de la réaction comportementale sont considérés à présent comme des indicateurs d'évaluation du stress. Les travaux réalisés sur cette question montraient l'effet mesurable de ces réactions physiologiques et comportementales sur les qualités des viandes (Debut M et *al*, 2004).

Les mécanismes sous-jacents impliquant le métabolisme énergétique musculaire sont largement décrits dans la littérature (EL Rammouz R., 2005). Les réactions physiques et physiologiques se produisant dans les heures précédant l'abattage sont à l'origine de la diminution des réserves glucidiques du muscle, ce qui peut se traduire par un pH ultime plus élevé et une couleur de la viande plus sombre. Par contre, ces mêmes réactions ayant lieu juste avant l'abattage résultent en une accélération du métabolisme musculaire qui perdure après la mort et qui peut se traduire par une acidification musculaire post mortem plus rapide alors que l'abaissement de la température musculaire est ralenti. La viande sera alors plus claire, avec un moins bon pouvoir de rétention d'eau. Plusieurs études montraient que la vitesse de la chute du pH ainsi que le pH ultime sont des facteurs déterminants de la qualité de la viande chez de nombreuses espèces telles que le bovin et la volaille (TERLOUW E.M.C., 2002).

En Algérie, malgré la mise en place de décret qui conditionne les normes à appliquer dans les élevages, pendant le transport, et au moment de l'abattage des poulets de chair, bovins et ovins, sur le terrain, la mise en applications de ces normes reste souvent non appliquée, au détriment malheureusement du bien être animal mais aussi sur la qualité de la

viande. Pour ces raisons, nous avons fixé comme objectif dans notre travail, l'évaluation des niveaux de stress en période de pré-abattage chez les bovins destinés à l'abattage. Pour se faire, nous allons essayer de répondre aux thématiques suivantes :

- Identification des facteurs majeurs responsables de l'état de stress
- Amélioration de la qualité des produits par la maîtrise de ces facteurs, sinon limiter leurs effets en améliorant le confort des animaux.
- Déduire l'effet des caractéristiques des bovins (race, âge, sexe) sur le niveau de stress et sur le métabolisme musculaire post-mortem.

Pour arriver à cela, nous allons essayer de réaliser :

- L'évaluation du niveau de stress par la mesure de certains indicateurs physiologiques tels que (la concentration sanguine du cortisol, et l'évaluation de l'activité enzymatique de la créatine kinase), pour déterminer le niveau de la réaction des animaux au transport et à la durée d'attente au niveau de l'abattoir.
- Etude de l'évolution du taux plasmatique de cortisol et de CPK pendant les différentes opérations (ferme, arrivée à l'abattoir, animal en décubitus, moment de saignée) de la période de pré-abattage.
- Etude de l'effet de l'âge, race des animaux sur le niveau de stress des animaux par la mesure du cortisol et de la CPK plasmatique et ainsi sur la valeur du pH post saignée (à 1 h, 1 h 30 mn, 2 h, 2 h 30 mn).
- Etude de l'effet de la durée d'attente au niveau de l'abattoir sur le niveau de stress des animaux par la mesure du cortisol et de la CPK plasmatique, et ainsi sur la valeur du pH post saignée (à 1 h, 1 h 30 mn, 2 h, 2 h 30 mn).
- Etude de l'effet de l'origine (ferme, marché) sur le niveau de stress des animaux par la mesure du cortisol et de la CPK plasmatique et ainsi sur la valeur du pH post saignée (à 1 h, 1 h 30 mn, 2 h, 2 h 30 mn).

Partie théorique

I. Le muscle :

I.1. Le tissu musculaire :

Ce premier chapitre a pour but de détailler la structure du muscle (Aspects macroscopiques), son ultrastructure : (Aspects microscopiques et cellulaires), le métabolisme énergétique et la classification des fibres des muscles striés.

Le tissu musculaire est constitué de cellules allongées, les fibres musculaires, capables de se contracter après avoir été stimulées par un influx nerveux. Chez la majorité des animaux, le tissu musculaire est le tissu le plus abondant. On distingue classiquement deux types de fibres musculaires, les fibres musculaires striées et les fibres musculaires lisses (Baguet F., 2006). La classification est fondée sur la présence ou non de stries régulières dans le muscle, visible au microscope optique (Schmidt-Nielsen K., 1998). Il y a deux types de muscles striés : Le muscle squelettique et le muscle cardiaque (Kolb E., 1975). Bien que le muscle cardiaque soit strié, on le distingue souvent du muscle squelettique, dont il diffère sur plusieurs aspects : D'un point de vue fonctionnel, la caractéristique cardiaque essentielle est que toute contraction commencée se propage à l'organe tout entier (Schmidt-Nielsen K., 1998). Ici nous ne parlerons que du muscle squelettique et le mot muscle désignera par la suite ce type de muscle.

I.2. le muscle squelettique :

I.2.1. Structure du muscle squelettique :

La musculature des animaux destinés à la production de viande représente de 35 à 60 % de leur masse corporelle. Source importante de protéines pour l'alimentation humaine, elle assure chez l'animal vivant le maintien de la posture et permet le déplacement (Hocquette J-F et *al.*, 2000).

I.2.1.1. Organisation anatomique du muscle squelettique :

Le muscle squelettique est constitué de différents tissus tels que les fibres musculaires, le tissu conjonctif, le tissu adipeux intramusculaire, les vaisseaux sanguins et les nerfs (EL Rammouz R., 2005). Leur composition chimique est constituée de 75 % d'eau, 18 à 20 % de protéines et 2,5 % de lipides (Eadmusik S., 2008).

I.2.1.2. Sur le plan macroscopique :

Le muscle est constitué d'un ensemble de faisceaux musculaires, chaque faisceau étant lui-même constitué de quelques dizaines à quelques milliers de fibres musculaires. Les composants des muscles squelettiques sont entourés et protégés par plusieurs couches de tissu conjonctif. L'endomysium sépare chaque fibre musculaire, le périmysium englobe 10 à 100 fibres musculaires en faisceaux et l'épimysium, la couche extérieure, enveloppe tout le muscle (Charton K., 2010) (Voir Figure n° 01).

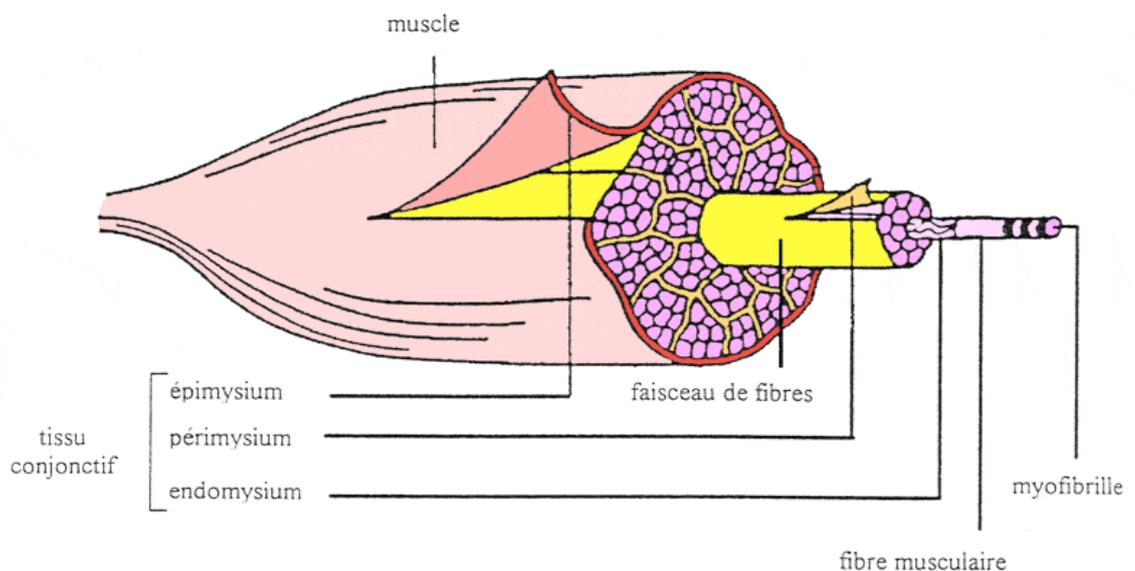


Figure 01 : Structure du muscle squelettique mettant en évidence l'organisation du tissu conjonctif. (Anonyme 1)

Le nombre de fibres des différents muscles de l'organisme animal est variable. Le diamètre des fibres musculaires varie entre 5 et 150 μ , leur longueur peut atteindre 35 cm environ (Kolb E, 1975). La fibre musculaire striée est un élément plurinucléé, leur membrane est formée par l'association de la membrane plasmique et d'une épaisse lame basale riche en glycoprotéines et en fibres conjonctives : L'ensemble forme le sarcolemme (Eadmusik S, 2008). La quasi totalité de l'intérieur des fibres est remplie de faisceaux d'éléments contractiles appelés les myofibrilles (Baguet F., 2006). Le sarcolemme délimite le sarcoplasme, cytoplasme de la cellule musculaire dans laquelle se trouve tous les organites et inclusions cellulaires classiques des cellules, tels que l'appareil de Golgi, les noyaux, les vésicules, les nombreuses mitochondries, le réticulum endoplasmique lisse (encore appelé

réticulum sarcoplasmique) et le réticulum endoplasmique rugueux. De plus, elle contient des molécules assurant le stockage de l'énergie telles que le glycogène, les lipides et la myoglobine (stockage de l'oxygène) (Charton K., 2010 ; EL Rammouz R., 2005).

I.2.1.3. Sur le plan microscopique :

Les myofibrilles, apparaissent en longs cylindres de 1 à 2 μm de diamètre présentant une striation transversale périodique caractéristique qui est à l'origine de la dénomination de muscle strié. Cette striation est due à un arrangement particulier des deux types de filaments contractiles : La myosine et l'actine. Ces filaments sont organisés dans des éléments répétitifs appelés sarcomères limités par des lignes dites Z (Baguet F., 2006). Le sarcomère, délimité par deux disques Z adjacents, ce qui constitue l'unité de base de la contraction Musculaire (Charton K, 2010) (Voir figure 02).

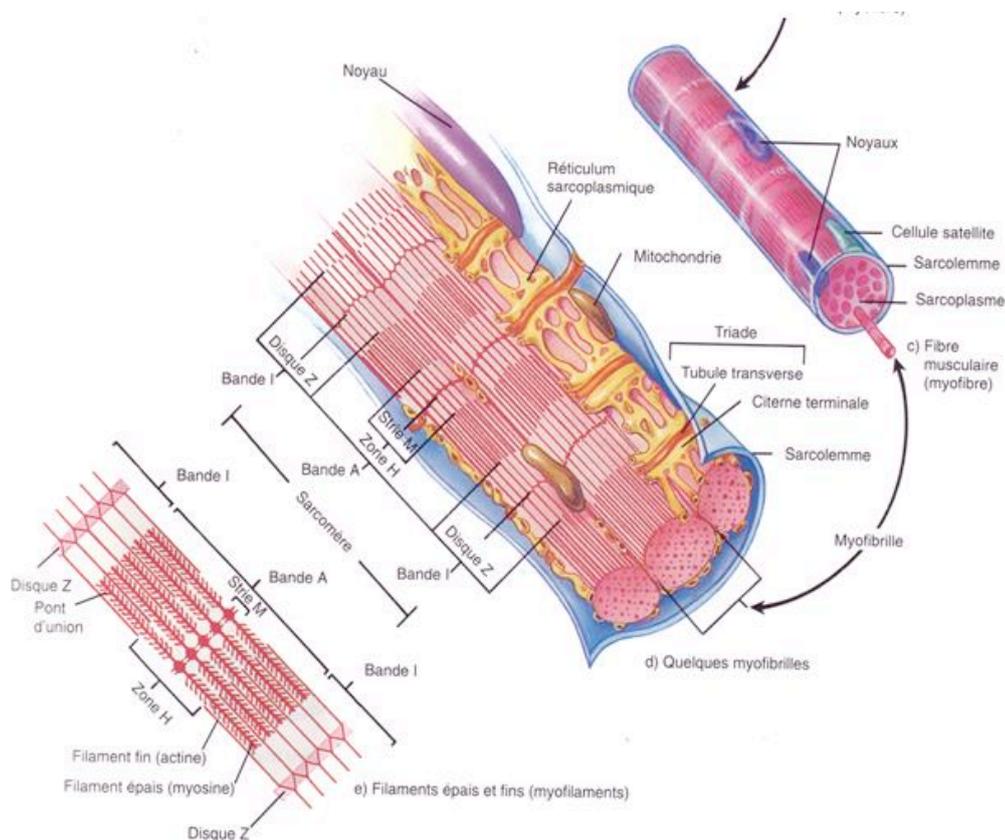


Figure 02 : Structure de fibre musculaire mettant en évidence l'organisation des myofibrilles et des filaments actine et myosine (Anonyme 2).

La striation apparaît comme une alternance de bandes claires I (Isotropes) et de bandes sombres A (Anisotropes) (EL Rammouz R., 2005). La répartition des deux populations de

myofilaments (Filaments fins d'actine et filaments épais de myosine) détermine, du fait de leurs densités respectives, les régions du sarcomère sombres et claires (Charton K., 2010). La partie centrale des disques I est marquée par la strie Z. La zone plus claire qui apparaît au milieu du disque A est la strie H elle même centrée par la ligne M (EL Rammouz R., 2005) (Voir figure 02 et figure 03).

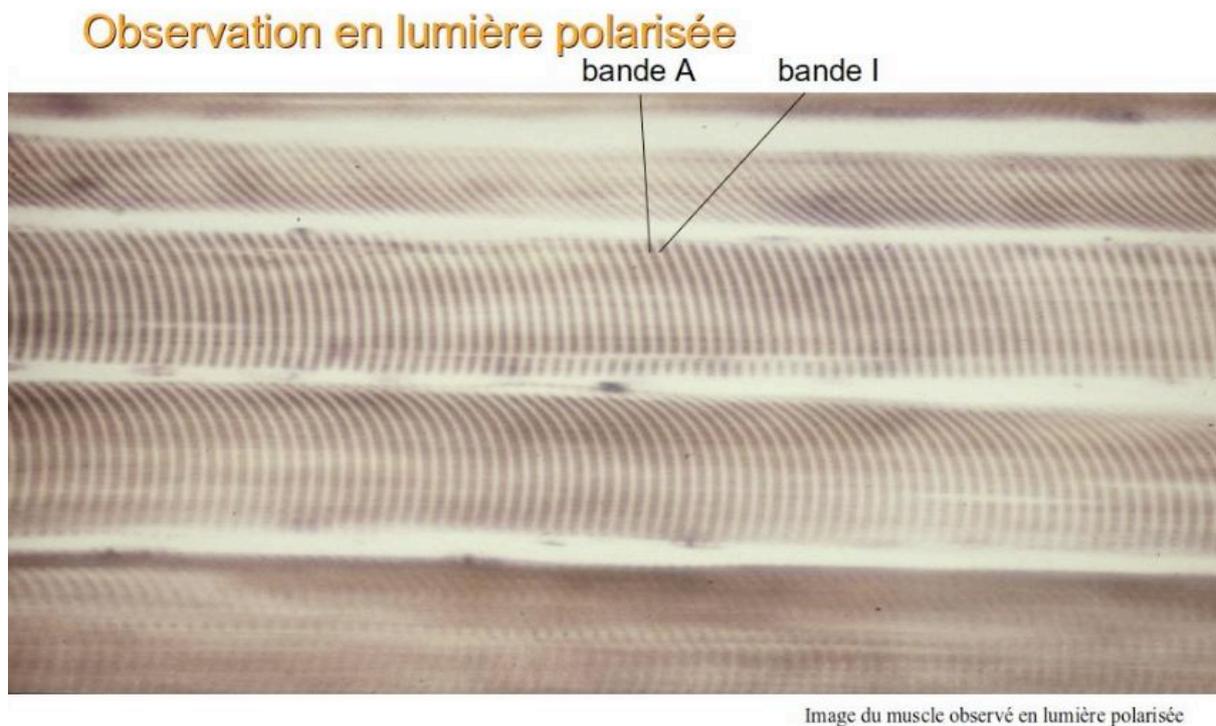


Figure 03 : L'observation en lumière polarisée mettant en évidence des zones isotropes (bande I) et des zones Anisotropes (bande A). (Anonyme 3)

I.2.2. Métabolisme du Muscle Squelettique :

Chez les ruminants comme d'autres animaux, le métabolisme énergétique musculaire est déterminant pour plusieurs fonctions physiologiques importantes du muscle : Pour le développement du muscle au cours de sa croissance, la production de chaleur lors d'une lutte contre le froid et la contraction musculaire au cours de l'activité physique.

Ces différentes fonctions sont en compétition pour l'utilisation de l'énergie. Cette dernière est produite avec des rendements variables selon la nature des nutriments énergétiques qui parviennent au muscle et le statut physiologique de l'animal (Hocquette J-F et *al.*, 2000). En effet, Le tissu musculaire est capable d'utiliser un très grand nombre de

substrats énergétiques pour la production d'énergie libre (ATP). Ces substrats peuvent être d'origine exogène, c'est-à-dire provenir du compartiment vasculaire après avoir été prélevés par le muscle (glucose, lactate, acides gras non estérifiés, triglycérides, acides gras volatils, corps cétoniques) ou d'origine endogène, c'est-à-dire résulter de la mobilisation des réserves énergétiques des fibres musculaires (glycogène et triglycérides). Le choix de la nature de ces différents substrats énergétiques par le muscle dépend de la nature des nutriments fournis au muscle, de ses besoins énergétiques et de ses caractéristiques métaboliques, c'est-à-dire de la présence de l'équipement enzymatique adapté au catabolisme de tel ou tel substrat énergétique (Bauchart D et *al.*, 1999).

Chez les ruminants le métabolisme énergétique des muscles squelettiques présente plusieurs spécificités, dues principalement aux particularités de sa physiologie digestive. Il repose sur l'utilisation préférentielle de certains substrats, acides gras volatils et corps cétoniques d'une part, et le glucose d'autre part (Cuvelier C et *al.*, 2005). On note que le glucose pénètre dans le myocyte strié par diffusion facilitée grâce à deux protéines transmembranaires qui servent de transporteurs, GLUT1 et principalement GLUT4, une isoforme sensible à l'insuline, spécifique des tissus musculaires et adipeux (Roux M., 2006).

Chez le ruminant, le muscle squelettique est le premier consommateur de glucose, qui couvre une part importante des besoins énergétiques musculaires. Le ruminant absorbe pourtant très peu de glucose par voie digestive, mais développe une importante néoglucogenèse intra-hépatique en vue de satisfaire notamment les besoins musculaires (Cuvelier C et *al.*, 2005). Le mouvement du glucose, des capillaires sanguins vers l'intérieur de la cellule, est déterminé principalement par le flot sanguin via le recrutement des capillaires, le gradient de concentration du glucose mais aussi par le nombre et l'activité des transporteurs de glucose GLUT4 mobilisés à la surface cellulaire des myocytes par l'insuline et la contraction musculaire (Roux M., 2006). Cela peut se voir dans les muscles oxydatifs : Ces dernières présentent, chez le ruminant, un contenu en GLUT4 plus faible que celui des muscles glycolytiques ou oxydo-glycolytiques. Cette spécificité des ruminants par rapport aux monogastriques pourrait être interprétée selon Cuvelier C et *al.*, 200, comme un moyen pour limiter l'utilisation du glucose par les muscles oxydatifs et le rediriger ainsi vers d'autres sites tels que les muscles glycolytiques, qui sont des consommateurs obligés de glucose.

Cela pourrait également suggérer que les muscles oxydatifs s'orientent davantage vers l'utilisation de l'acétate comme substrat énergétique plutôt que du glucose de façon à épargner ce dernier qui est produit par l'animal lui-même (néoglucogenèse hépatique) (Cuvelier C et *al.*, 2005).

Selon Smith et Crouse, 1984 (d'après Roux M., 2006), au sein du tissu musculaire, le glucose peut suivre différentes voies métaboliques : Oxydation, transformation en lactate, synthèse de glycogène, synthèse d'acides gras, en particulier dans les adipocytes intramusculaires. A l'exception de la synthèse de glycogène, ces différentes voies métaboliques empruntent toutes un même chemin initial, celui de la glycolyse (Roux M., 2006).

Selon Bacou F., et Vigneron P., 1988, l'importance du glycogène musculaire est connue depuis longtemps en tant que source de l'énergie. La glycogénolyse n'aurait un rôle important qu'au début de l'activité physique en produisant un surplus d'ATP, ou lorsque l'énergie nécessaire à l'accomplissement de travaux musculaires intenses excède celle produite par l'utilisation des acides gras et autres substrats circulants. Par ailleurs, l'utilisation du glycogène dépend de façon caractéristique du type de muscle (Bacou F et Vigneron P., 1988). Les sources d'énergie utilisées par le muscle squelettique vont dépendre du type, de l'intensité et de la durée de l'effort musculaire ainsi que de la composition en fibres du muscle sollicité (Bacou F et Vigneron P., 1988).

I.2.2.1. La glycolyse :

La glycolyse, voie anaérobie car n'utilisant pas d'oxygène, se déroule dans le cytosol de la fibre musculaire et fait intervenir de nombreuses enzymes. Le glycogène, molécule de stockage du glucose, sert également de point de départ de la réaction. Pour produire en fin de réaction du pyruvate. Ce dernier sert de substrat pour deux autres voies métaboliques (Guillemin N., 2010) : La production de lactate (anaérobie glycolytique) et la voie aérobie (oxydative) (Bacou F et Vigneron P., 1988). Le système aérobie oxydatif est utilisé pour des efforts de longue durée d'intensité faible ou modérée. Au contraire, le système anaérobie est utilisé pour des efforts courts, d'intensité haute ou modérée, le système anaérobie glycolytique utilisant comme substrat du glycogène ou du glucose sanguin et le système aérobie oxydatif utilisant comme substrat du glycogène, du glucose ou des lipides (Dessalle K., 2013).

I.2.2.2. Voie glycolytique anaérobie :

L'acide pyruvique formé ne pénètre plus dans les mitochondries, ce dernier est converti dans le cytoplasme par le lactate déshydrogénase (LDH) en acide lactique. Dans ce cas la glycolyse anaérobie produit 2 molécules d'ATP et provoque l'accumulation de l'acide

lactique dans le muscle (El Rammouz M-R., 2005). Une partie de celui-ci quitte la fibre musculaire pour être oxydée au niveau du cœur et du foie, ou participe la glycogénèse hépatique, avec transfert au muscle sous forme de glucose sanguin (cycle de coli), le lactate intramusculaire peut être oxydé en pyruvate en présence d'oxygène ou être utilisé pour la synthèse du glycogène musculaire : Cette néo synthèse n'existe que dans les muscles blancs (Bacou F., et Vigneron P., 1988).

I.2.2.3. Voie aérobie oxydative :

La glycolyse aérobie produit au total 36 molécules d'ATP (en combinaison avec d'autres voies métaboliques aérobies comme le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire) par molécule de glucose dégradée. L'acide pyruvique formé étant alors oxydé par le cycle de Krebs dans les mitochondries. Le rendement de la glycolyse aérobie est suffisamment élevé pour permettre les activités toniques caractéristiques des muscles « rouge » à condition que l'apport en oxygène soit suffisant (Bacou F., et Vigneron P., 1988).

Les différentes réactions de synthèse de l'ATP sont présentes dans le Figure 4 suivante :

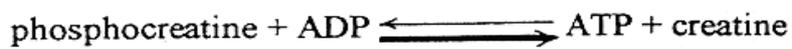
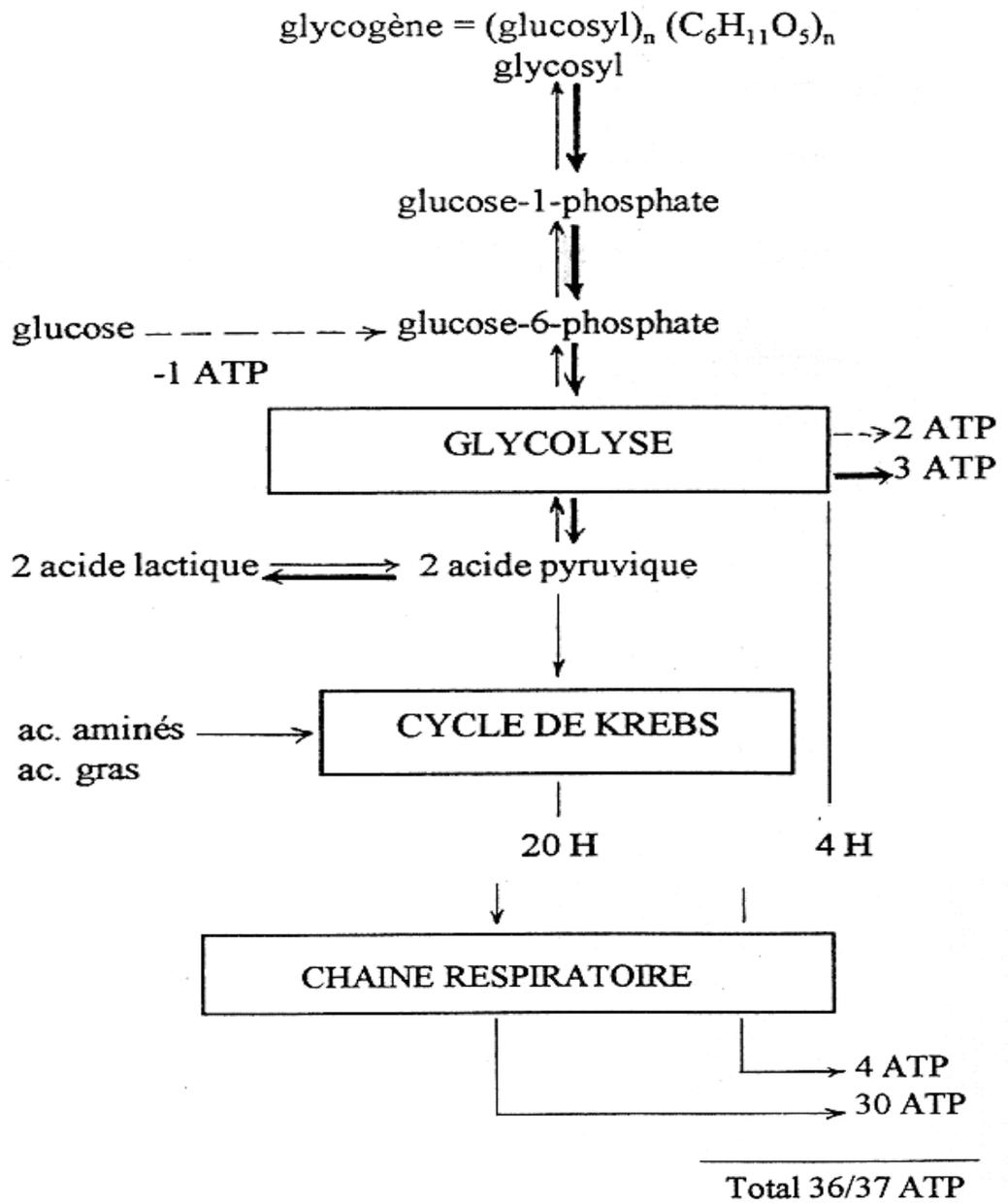


Figure 4 : Réactions de synthèse de l'ATP (Monin, 1988) d'après EL Rammouz, 2005.

I.2.3. La Contraction Musculaire :

Le terme contraction évoque presque l'idée de « raccourcissement », alors qu'en physiologie, il signifie seulement l'activation des ponts d'union de la myosine, là où est produite la force musculaire. Il y a raccourcissement seulement quand la tension exercée par les ponts d'union sur les filaments minces dépasse les forces qui s'opposent à ce raccourcissement et tire les filaments minces vers la ligne M. La contraction prend fin lorsque les ponts d'union sont inactivés et que la tension diminue, entraînant le relâchement de la fibre musculaire (Elaine N.M. et Katja H., 2010).

Avant d'étudier le mécanisme de contraction, nous illustrons d'abord la structure de ces deux filaments.

I.2.3.1. La structure des myofibrilles :

Les myofibrilles sont formés par l'emplacement bout à bout de sarcomère, ce dernier est compris entre deux lignes Z, il est la plus petite unité contractile de la fibre musculaire (Elaine N.M et Katja H., 2010). Chaque sarcomère présente une alternance de filaments épais : Myosine et des filaments plus minces : Actine (Baguet F., 2006).

I.2.3.1.1. Les filaments épais (myosine) :

Situés au centre du sarcomère, les filaments épais sont composés d'un ensemble de molécules de myosines et de plusieurs autres protéines capables de se lier à la myosine (Monod H., 2002). La molécule de myosine est une molécule protéique de masse moléculaire élevée (520 kda chez le lapin), et formée de :

- Deux chaînes lourdes à structure d' α hélice, enroulées l'une à l'autre sur leur plus grande longueur et à leur extrémité finale formant une tête avec deux prolongements globuleux (Rieutort M et Pichard D., 1998).
- Quatre chaînes courtes situées au niveau de la tête (Rieutort M et Pichard D., 1998).

Cette dernière est constituée des parties actives du myofilament de la myosine. La tête présente d'une part un site de fixation et d'hydrolyse de l'ATP et d'autre part un site pour la fixation à l'actine (Frayssé J-L et Darré A, 1990).

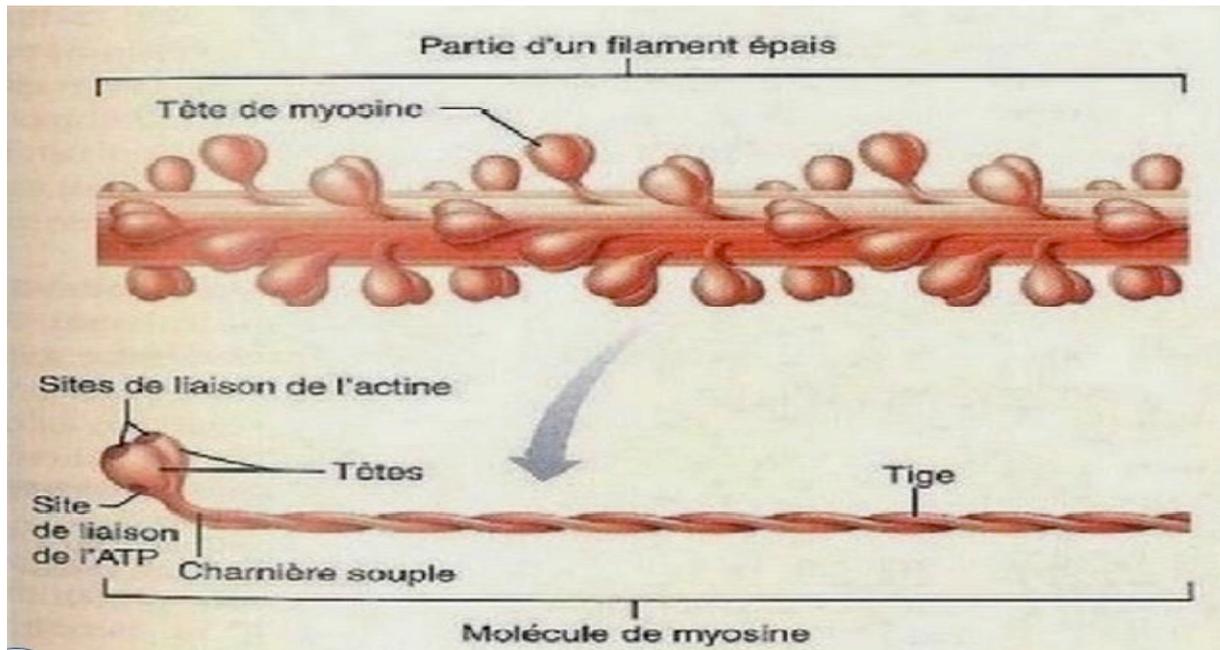


Figure 05 : Structure du filament épais et de la molécule de myosine (d'après Elaine N.M et Katja H., 2010).

I.2.3.1.2. Les filaments fins (Actine) :

Les filaments fins présentent une structure protéique complexe avec trois composantes protéiques différentes : L'actine, la tropomyosine, la troponine.

L'axe central de filaments fins est formé par une double hélice de protéine. Chaque brin de la double hélice se compose de molécules d'actine G polymérisées (Dinh-Xuan A.T et Lockhart A, 2003). Cette dernière porte des sites de liaison sur lesquels les têtes de myosines se fixent (Elaine N.M et Katja H., 2010). Au moment du repos, les sites de liaison sont masqués par des protéines régulatrices (La tropomyosine et la troponine) (Baguet F., 2006).

L'autre protéine importante des filaments minces est la tropomyosine. Ce sont des molécules longues et étroites mises bout à bout formant une structure filamenteuse très fine. Cette structure s'insère dans le sillon de la double hélice d'actine (Schmidt-Nielsen K., 1998). Au moment du repos musculaire, la tropomyosine bloque les sites actifs de l'actine (Elaine N.M. et Katja H.2010).

Le groupe des troponines est lui constitué de trois protéines organisées en complexes fixes à intervalles réguliers sur la tropomyosine, on peut distinguer : La troponine C, qui est une protéine du groupe des calmodulines, possédant la capacité de fixer quatre ions Ca^{2+}

avec une forte affinité. La troponine I, qui constitue un facteur inhibiteur l'activité du complexe au repos, et avec la tropomyosine assure l'interaction entre actine et myosine. La troponine T, quant à elle assure la stabilité du complexe et fixe ce dernier à la tropomyosine (Baguet F., 2006).

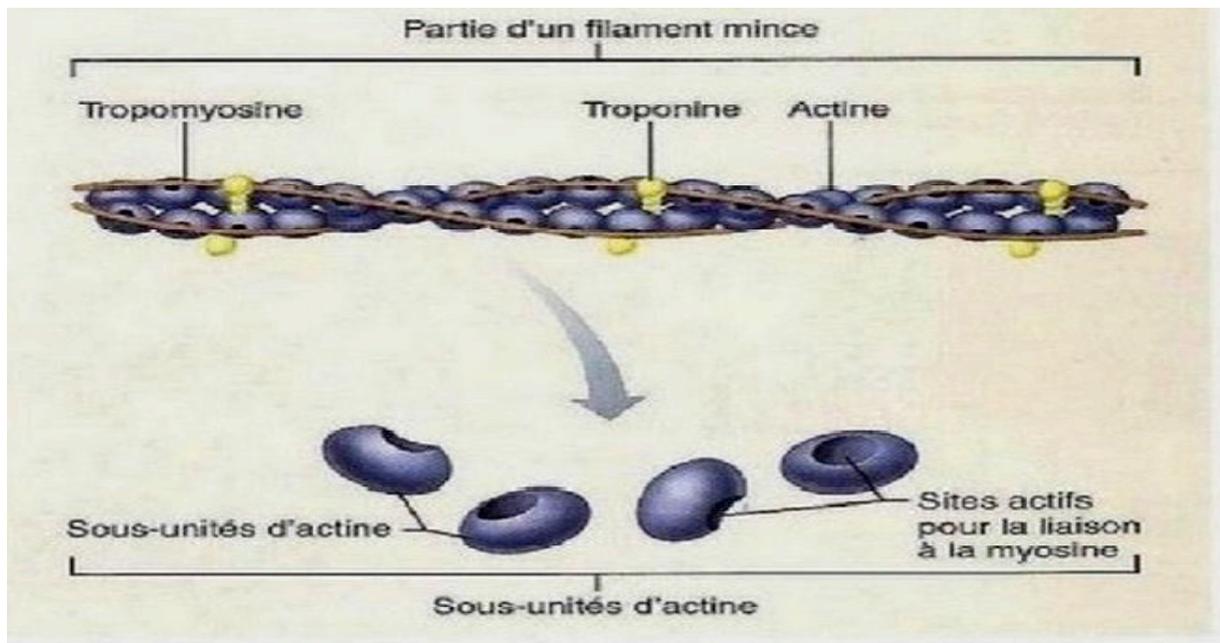


Figure 06 : Structure d'un filament fin et ces composants (d'après Elaine N.M et Katja H., 2010).

I.2.3.2. Le système transverse et réticulum sarcoplasmique :

I.2.3.2.1. Le système transverse ou système des tubules T :

Il est formé par des invaginations de sarcolemme formant des canaux cylindriques de 50 à 100 nm de diamètre, contournant les diverses myofibrilles au même niveau du sarcomère et selon des plans perpendiculaires au grand axe de la fibre (Rieutort M et Pichard D., 1998).

Quand l'influx nerveux arrive au sarcolemme et que celui-ci subit la di-polarisation, l'ensemble du système T le subit également, communiquant ainsi, l'influx nerveux à tous les sarcomères de la fibre musculaire (Guérin C et Thapon J-L., 2007).

I.2.3.2.2. Le réticulum sarcoplasmique :

Il constitue un réseau intracellulaire important qui entoure les myofibrilles comme un gant et sa membrane touche les tubules T (Schmidt-Nielsen K., 1998). La structure du réticulum est en rapport étroit avec la disposition périodique des sarcomère : A intervalles réguliers, les manchons de réticulum sont dilatés, pour former des sacs latéraux, ou citernes terminales jouxtant les tubules T (Rieutort M et Pichard D., 1998).

Les compartiments internes des citernes sont reliés les uns aux autres par des canaux de connexions orientés transversalement aux citernes terminales (Guérin C et Thapon J-L., 2007). Au niveau des coupes longitudinales des myofibrilles, le tubule T est encadré par deux sacs latéraux et forme ainsi une triade (Rieutort M et Pichard D., 1998). Sur le plan fonctionnel, il joue un double rôle : Il maintient une concentration en calcium extrêmement faible dans le sarcoplasme de la fibre musculaire au moment du repos, et il est la source du calcium intracellulaire pendant la contraction des fibres musculaires (Schmidt-Nielsen K., 1998). (Voir la figure n° 07).

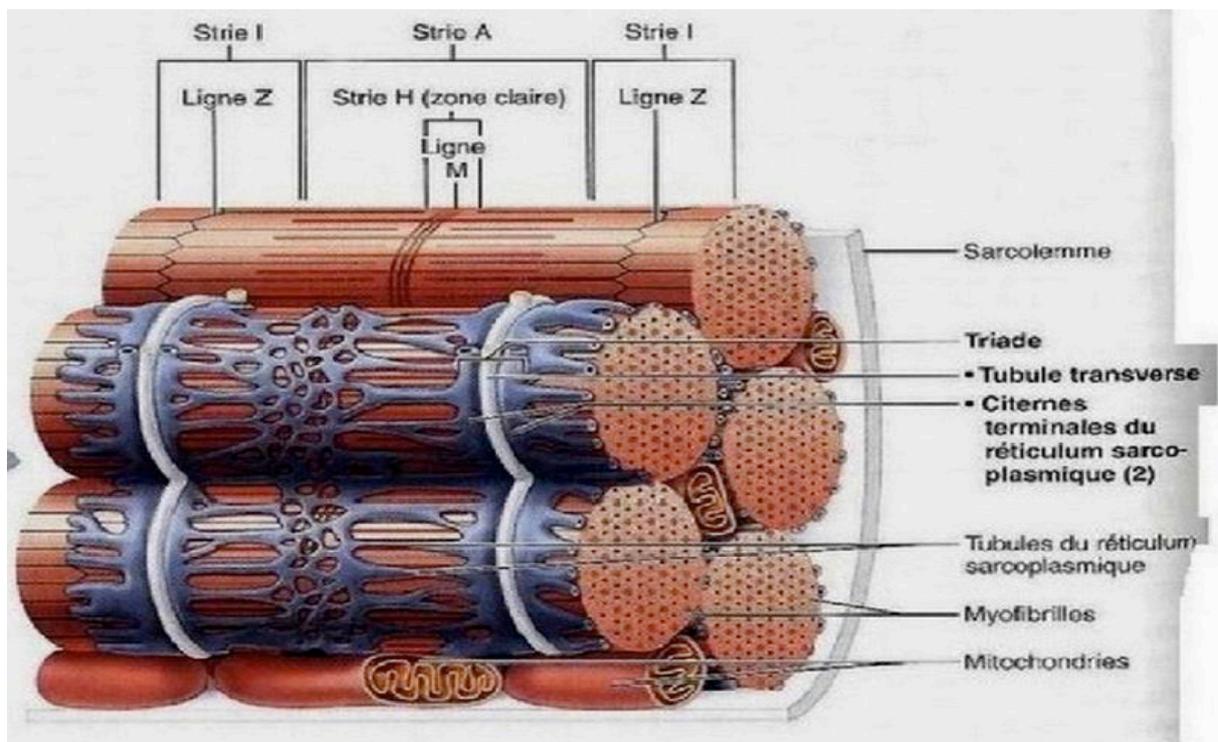


Figure 07 : Représentation schématique d'une triade (d'après Elaine N.M et Katja H., 2010)

I.2.3.3. Couplage de l'excitation et de la contraction :

L'excitation de la fibre musculaire se fait par l'influx nerveux provenant du nerf moteur et arrivant à la plaque neuromotrice, cet influx est transmis rapidement à tout le sarcolemme. Ceci va induire la disparition de la différence de potentiel entre l'intérieur et l'extérieur de la fibre musculaire, c'est la dépolarisation. Cette dernière est due à des modifications de la perméabilité de la membrane cellulaire aux ions K^+ , Na^+ , Ca^{2+} (Guérin C et Thapon J-L., 2007).

La dépolarisation se propage le long du sarcolemme et du système des tubules T, et au niveau de ce dernier, elle provoque une augmentation de la perméabilité de la membrane du réticulum sarcoplasmique aux ions calcium. Il se crée ainsi un flux de calcium depuis la lumière du réticulum vers le sarcoplasme à cause de la différence de concentration entre les deux milieux (Schmidt-Nielsen K., 1998). L'importante augmentation du calcium dans le sarcoplasme provoque des changements d'organisation des protéines régulatrices des filaments d'actine, ce qui rend accessible leur site de fixation aux têtes globulaires des myosines motrices (Baguet F., 2006).

Ces changements débutent avec la fixation du calcium sur la troponine C, induisant son activation qui, avec l'augmentation de calcium, provoque à son tour la levée de l'effet inhibiteur de la troponine I. Cette levée de l'inhibition permet une rotation de l'ensemble tropomyosine-troponines, démasquant ainsi les sites d'interactions actine-myosine (Baguet F., 2006). La formation des ponts d'unions entre myosine et filament d'actine est alors possible (Rieutort M et Pichard D., 1998).

L'interaction actine-myosine et la présence de Ca^{2+} activent une ATPase située dans les têtes de myosine : L'hydrolyse d'ATP qui s'ensuit produit l'énergie nécessaire à leur mouvement (Baguet F., 2006). Après s'être fixée au filament d'actine, la tête de la molécule de myosine pivote et se déplace d'environ 10 nm, processus qui produit le déplacement relatif actine-myosine. Les liaisons sont rompues, et le même mécanisme se reproduit plusieurs fois (Rieutort M et Pichard D., 1998).

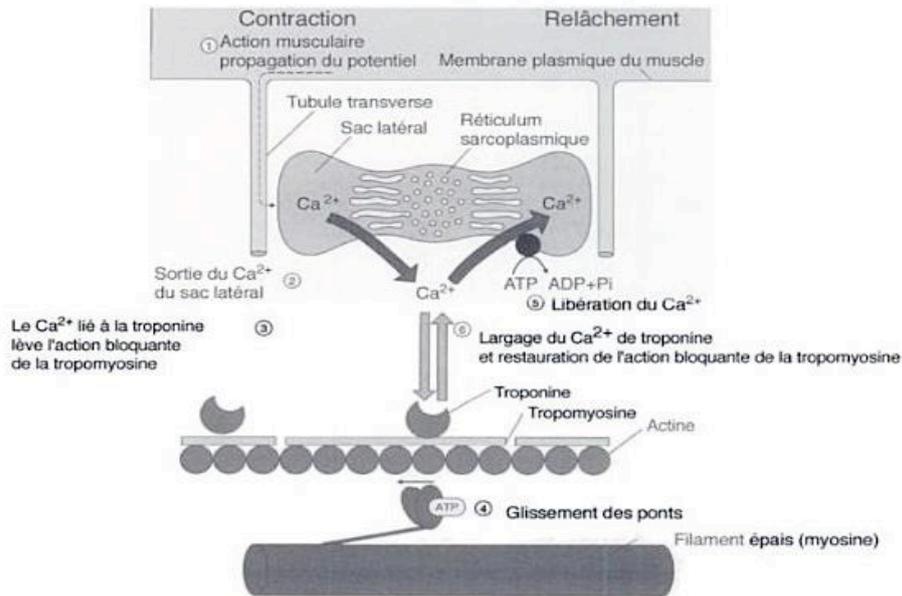


Figure 8 : Libération et fixation du calcium par le réticulum sarcoplasmique pendant la contraction musculaire d'une fibre musculaire squelettique (d'après Vander et *al.*, 1994 rapporté par Monod H., 2002).

I.2.3.4. La relaxation :

La relaxation du muscle et la fin de la contraction interviennent avec la fin de la dépolarisation. Elle est marquée par la rentrée des ions Ca^{2+} dans les citernes du réticulum (Baguet F., 2006). L'accumulation de calcium dans le réticulum sarcoplasmique résulte de l'action d'une pompe à calcium ATP-dépendante située dans les membranes des vésicules. Ce transfert se fait contre un gradient de concentration, il s'agit d'un transport actif. L'énergie nécessaire provient de l'hydrolyse de l'ATP par des ATPase sarcoplasmiques situées dans les membranes du réticulum. Le sarcolemme et le réticulum sarcoplasmique reviennent à leur état de polarisation initial et le calcium est retenu dans les citernes du réticulum (Guérin C et Thapon J-L., 2007). En effet, la troponine change de nouveau sa forme, la tropomyosine masque les sites actifs de l'actine, la contraction prend fin et les filaments reprennent leur position initiale et par conséquent la fibre se détend (Elaine N.M. et Katja H., 2010).

I.2.4. Classification des fibres musculaires :

Selon Bacon.F et Vigneron.P., 1988, l'hétérogénéité typologique de la plupart des muscles squelettiques des vertébrés supérieurs a amenée les chercheurs, et particulièrement les cliniciens, à proposer différentes classifications des fibres musculaires extrafusibles.

Depuis 1958, date à laquelle Ogata publie la première nomenclature des fibres, Toutes les classifications utilisent soit les niveaux d'activité des enzymes du métabolisme intermédiaire, soit des propriétés l'ATPase myofibrillaires, soit une combinaison des deux.

Ces classifications sont illustrées dans le tableau suivant, d'après (Cuvelier C et al, 2005).

Tableau 1: Classification des différents types de fibres musculaires chez les mammifères selon différents auteurs (d'après Cuvelier C. et al, 2005).

Auteur	Type de fibre musculaire		
Brooke et Kaiser, 1970	I	IIA	IIB
Ashmore et Doerr, 1971	β R	α R	α W
Peter et al., 1972	SO	FOG	FG

R : red (rouge) ; W : white (blanche) ; SO : slow oxidative (lente oxydative) ; FOG : fast oxido-glycolytic (rapideoxydo-glycolytique) ; FG : fast glycolytic (rapide glycolytique)

Selon Picard B., 2003 et al, Dans le muscle bovin adulte, trois principaux types de fibres sont distinguées. Elles sont classées en SO (slow oxydative), FOG (fastoxido-glycolytic) et FG (fastglycolytic), selon la classification de Peter et al.,(1972), basée à la fois sur leurs propriétés contractiles et métaboliques.

Tableau 02 : Caractéristiques structurales, contractiles et métaboliques des principaux types de fibres du muscle squelettique adulte selon Bacou et Vigneron, 1976, Nomenclature selon (1) Brooke et *al.*, (1970), (2) Peter et *al.*, (1972) (d'après Chriki S., 2013).

	Types de fibres			
	(1) (2)	I SO	IIA FOG	IIX* FG
<i>Structure</i>				
Surface de section		+	++	+++
Vascularisation		+++	+++	+
Mitochondries		+++	+++	+
Myoglobine		+++	+++	+
Couleur		rouge	rouge	blanche
<i>Contraction</i>				
Vitesse de contraction		lente	rapide	rapide
Résistance à la fatigue		élevée	intermédiaire	faible
Activité de la myosine ATPase		lente	rapide	rapide
<i>Métabolisme</i>				
Métabolisme prépondérant		oxydatif	oxydo-glycolytique	glycolytique
Réserve en glycogène		+	+++	+++
Réserve en triglycérides		+++	++	+
Activité enzymes glycolytiques		+	++	+++
Activité enzymes oxydatives		+++	++	+

*Fibres appelées précédemment IIB

SO : « slow oxidative », pour lente oxydative

FOG : « fast oxido-glycolytic », pour rapide oxydo-glycolytique

FG : « fast glycolytic », pour rapide glycolytique

II. Transformation du muscle en viande :

Après la mort de l'animal, les muscles squelettiques subissent un certain nombre de modifications physico-chimiques qui leur permettent le passage à un état ultime de maturation. Ces modifications se produisent au cours de phases plus ou moins longues (Fraysse J.L. et Darré., 1990). Elles se reposent sur des réactions biochimiques qui modifient plus ou moins profondément la composition et la structure du muscle (Valin C., 1988).

La transformation du muscle en viande se déroule en trois phases : La pantelance, la rigidité cadavérique et la maturation (Fraysse J.-L et Darré., 1990).

II.1. Phases de la transformation du muscle en viande :

II.1.1. Phase de pantelance :

Cette dernière suit directement l'abattage (Chriki S., 2013), l'arrêt de la circulation sanguine n'est pas de conséquence immédiate sur la physiologie du muscle qui ressemble beaucoup au muscle vivant. Les muscles sont flasques, relâchés, élastiques et dépressibles ; Ils sont mobilisables sur les axes osseux (Fraysse J.-L et Darré., 1990). La carcasse pantelante se caractérise par des contractions fibrillaires spontanées, plus ou moins violentes et dont la fréquence et l'intensité diminuent avec le temps, mais les excitants ne sont plus l'influx nerveux et peuvent être thermiques, mécaniques ou chimiques (Guérin C. et Thapon J.-L., 2007).

La phase de pantelance, est la phase où se réalise les opérations d'habillage (Élimination du cuir), élimination des viscères (Guérin C et Thapon J.-L., 2007) ; La durée de cette dernière est conditionnée par la quantité d'ATP disponible, en effet la durée de cette phase est variable selon les espèces, les muscles, les conditions de stockage et de traitement des carcasses, et de l'état physiologique de l'animal avant l'abattage. Elle est très courte chez les volailles, 3 à 4 heures chez les bovins et les ovins, 12 à 24 heures chez les porcins (la graisse jouant un rôle protecteur) (Fraysse J.-L et Darré., 1990).

II.1.2. Phase de rigidité cadavérique :

La rigidité cadavérique ou la rigormortis s'installe progressivement avec la disparition de la phase pantelante (Guérin C et Thapon J.-L., 2007). Elle est perceptible directement sur la carcasse, et elle se caractérise par la raideur et l'inextensibilité progressive de la musculature

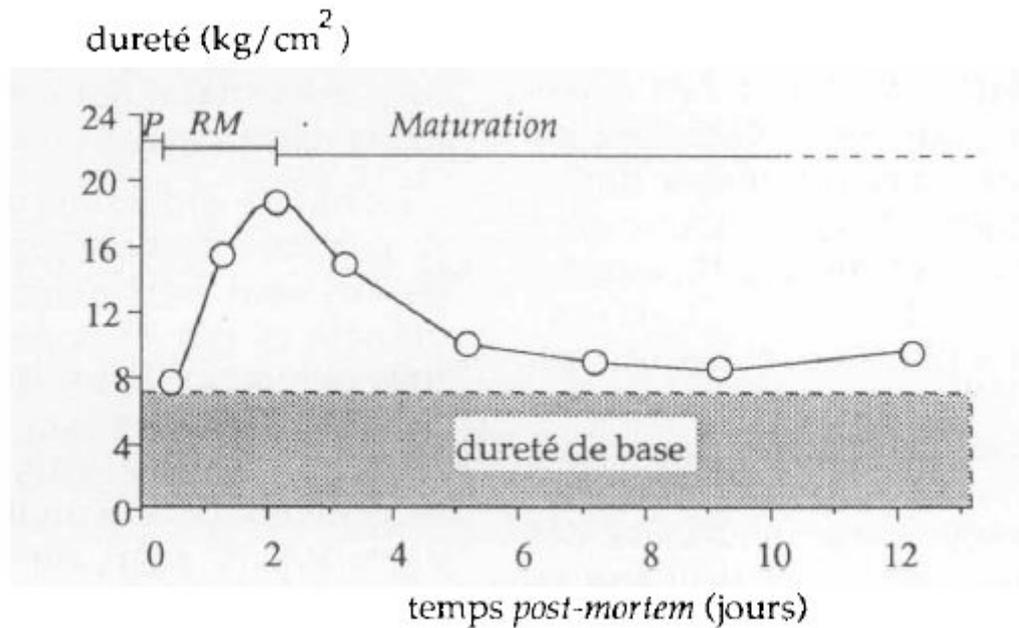
(Coibion L., 2008), les muscles sont solidement fixés à l'os, les membres sont difficilement mobilisables (Fraysse J.-L. et Darré., 1990). Ce phénomène résulte de l'épuisement du composé qui permet au muscle vivant de conserver son élasticité et qui par ailleurs fournit l'énergie nécessaire au travail musculaire, l'adénosine triphosphate (ATP) (Chriki S., 2013). La solidification de la graisse consécutive à la baisse de température de la carcasse contribue également à augmenter la fermeté de la viande (Guérin C et Thapon J.-L., 2007).

La durée de l'installation de la rigormotirs (rigidité cadavérique) chez les bovins prend plus de 24 heures par contre chez les volailles, en particulier chez le poulet et la dinde, elle se fait en 2 à 4 heures (El Rammouz R., 2005). L'importance des réserves énergétiques et la température agissant sur l'installation de la rigidité cadavérique (Fraysse J.-L. et Darré., 1990).

II.1.3. Phase de maturation :

La maturation constitue la période d'évolution post mortem apparaissant à la fin de la rigormortis. Les conditions de développement de la rigormortis seront, donc, essentielles pour l'évolution de la maturation, processus déterminé par deux variables cinétiques, qui sont sa vitesse et son intensité (Becila-Hioual S., 2009). C'est au cours de cette phase qu'interviennent des modifications de la texture du muscle, qui font que la viande est plus ou moins tendre (Valin C., 1988). Le muscle redevient souple, mou, dépressible et les membres de la carcasse peuvent être mobilisés comme lors de l'état de pantelance (Fraysse J.-L. et Darré., 1990).

La texture de la viande est définie par l'état et l'organisation du cytosquelette (Protéines de structure du muscle, protéines myofibrillaires et collagène) (Coibion L., 2008), et donc l'attendrissage est dû à des modifications des myofibrilles et du cytosquelette qui sont consécutives pour une large part à une attaque protéolytique (Valin C., 1988), et favorisés par la disparition des réserves énergétiques du muscle et l'acidification du milieu, ce qui place les différentes fractions protéiques dans des conditions favorables à leur dénaturation (Coibion L., 2008). En effet, on observe une destruction partielle des liaisons établies entre l'actine et la myosine au cours de la rigormortis, une altération des protéines myofibrillaires par les protéases intracellulaires, une destruction partielle des liaisons entre les filaments fins d'actine et les stries Z (Guérin C et Thapon J.-L., 2007).



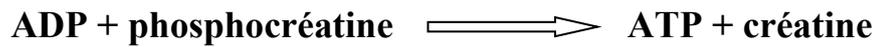
P : Etat pantelant ; RM : RigorMortis

Figure 09 : Profil d'évolution de la dureté du muscle longissimus de bovin au cours de la conservation d'après les résultats de Valin, 1968, rapportés par Ouali, A., 1991).

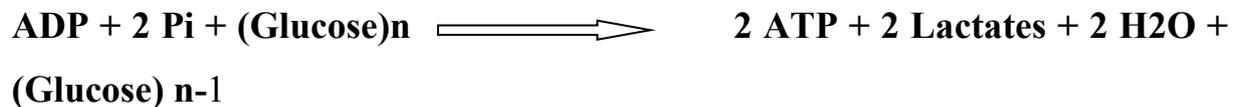
II.2. Métabolisme énergétique post mortem du muscle :

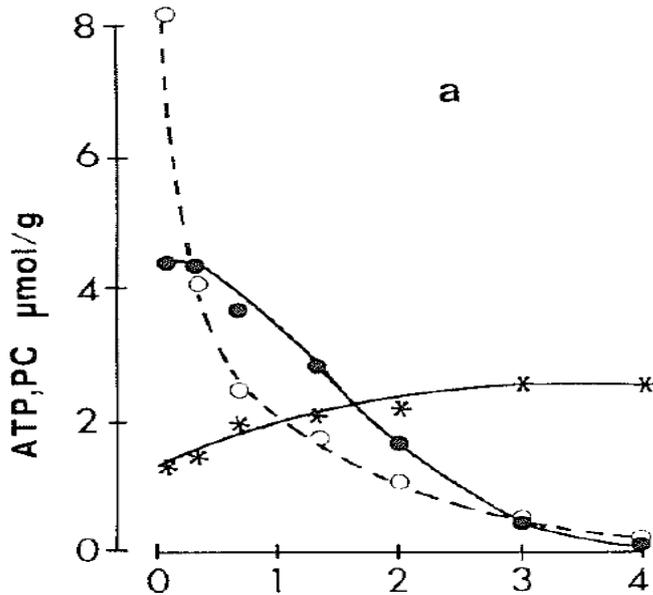
L'abattage de l'animal entraîne un bouleversement du métabolisme musculaire mais les mécanismes de maintien de l'homéostasie continue de fonctionner, et la consommation de nutriments ainsi que l'oxygène ne sont plus fournis aux muscles (Bourguet C., 2010). Alors, le muscle dépend exclusivement de ses réserves énergétiques pour le maintien de son homéostasie (Monin G., 1988). Comme le pouvoir d'oxydation cellulaire est très rapidement diminué en raison de la privation d'oxygène (El Rammouz R., 2005). Les seules réactions biochimiques qui persistent, sont les réactions anaérobies telles que la glycolyse et la glycolyse (Bourguet C., 2010), la voie qui produit très majoritairement l'ATP (adénosine triphosphate) (Feidt C., 1996), qui est une voie métabolique fournissant beaucoup moins d'énergie (Guérin C et Thapon J-L., 2007). Pour chaque molécule de glucose dégradée, elle fournit seulement 2 molécules d'ATP, contre 38 en conditions aérobies (Touratier C., 1992). Il peut également être régénéré à partir de la créatine phosphate et de l'ADP (adénosine di phosphate) (Guérin C et Thapon J-L., 2007). Chez les animaux abattus en bon état physiologique, le glycogène devient de loin la principale source d'énergie du muscle, car il existe plusieurs dizaines de micromoles par gramme de tissu à la fin de la saignée contre quelques micromoles seulement de phosphocréatine (Monin G., 1988).

La phase de pantelance se caractérise par un taux constant d'ATP, il n'y a pas de consommation nette d'ATP (El Rammouz R., 2005), car l'ADP formé est rephosphorylé soit par la phosphocréatine soit par la voie glycolytique (Touratier C., 1992). Tandis que les concentrations en phosphocréatine et en glycogène chutent (El Rammouz R., 2005), pendant cette période le tiers environ de l'ATP est resynthétisé à partir de la phosphocréatine (Monin G., 1988). Cette dernière est catalysée par l'enzyme créatine phosphokinase (Roux M., 2006), la réaction peut être ainsi schématisée comme suit (Becila-Hioual S., 2009) :



Rapidement, la phosphocréatine s'épuise et le taux d'ATP diminue. Ensuite, la voie de la glycolyse devient majoritaire. Le glycogène subit la glycogénolyse avec finalement une production d'acide lactique et de protons (Becila-Hioual S., 2009), la diminution de taux d'ATP s'explique par le fait que la glycolyse est un mécanisme de synthèse d'ATP assez peu performant (Touratier C., 1992). La réaction peut être ainsi schématisée (Becila-Hioual S., 2009) :





● ATP. ○ Phosphocreatine. * acide lactique

Figure 10: Evolution post mortem de certains métabolites dans le muscle longissimus dorsi du porc (Monin G., 1988).

La phase d'installation de la rigormortis se caractérise par la disparition de l'ATP. Cette dernière s'accompagne de la désamination de l'AMP (adénosine monophosphate) et de l'apparition d'ions ammonium (NH₄⁺) (Eadmusik S., 2008). Dans cette seconde phase, il n'y a plus de phosphocréatine (ou en très faible quantité) (El Rammouz R., 2005). Une autre réaction intervient pour régénérer de l'ATP, celle de la myokinase (Monin G., 1988). La myokinase (enzyme spécifique du muscle), qui permet la synthèse de l'ATP grâce à la condensation de deux molécules d'ADP avec formation d'une molécule d'ATP et une d'AMP (Roux M., 2006). Dont la réaction est décrite ci-dessous (Becila-Hioual S., 2009) :



La glycolyse anaérobie est une voie par laquelle l'acide lactique est produit, ce dernier s'accumule dans le tissu musculaire. Et pour chaque molécule de lactate produite, le système libère un proton. Il s'ensuit une acidification progressive du muscle, qui se traduit par la diminution du pH jusqu'à une valeur dite pH ultime (ou pH_u) (Monin G., 1988), son établissement correspond à la pleine rigormortis (Eadmusik S., 2008). A cette valeur la glycolyse cesse : Soit, suite à la disparition de l'adénosine mono phosphate (AMP) nécessaire

comme cofacteur d'enzyme de la glycolyse et de la glycogénolyse, soit suite à des carences en glycogène dégradable (Monin G., 1988).

II.3. Le mécanisme moléculaire de la rigidité cadavérique :

Après la mort de l'animal, on observe une succession de contractions et relaxations musculaires. En effet, le muscle continue de vivre, puis la musculature devient progressivement raide et inextensible, c'est l'installation de la rigidité cadavérique. Ce phénomène résulte de l'épuisement du composé qui permet au muscle vivant de conserver son élasticité et qui par ailleurs fournit l'énergie nécessaire au travail musculaire, l'adénosine triphosphate (ATP) (Coibion L., 2008).

En effet l'ATP et le Ca^{2+} , peuvent être considérés comme les deux instruments majeurs de la contraction musculaire. L'ATP est la source d'énergie nécessaire pour casser les ponts d'actomyosine et pour maintenir le fonctionnement de la pompe à Ca^{2+} ATP, qui dépendent de la membrane réticulum sarcoplasmique, tandis que le Ca^{2+} est un régulateur primaire de la contraction (Francois J., 2002). Immédiatement après l'abattage, le muscle possède une réserve d'ATP suffisante, elle permet de maintenir la dissociation de l'actine et de la myosine, et par la suite l'élasticité du muscle (Guérin C et Thapon J-L., 2007). Ainsi elle permet le retour du Ca^{2+} dans le réticulum sarcoplasmique (Frayssé J.-L et Darré., 1990).

Ce taux d'ATP reste constant, tant que la concentration de phosphocreatine est relativement élevée, et dès que celle-ci devient insuffisante pour compenser la disparition de l'ATP, la concentration de ce dernier décroît (Ouali A., 1991). Ceci peut s'expliquer d'une part, par l'arrêt de la circulation sanguine qui supprime l'apport de l'oxygène et des nutriments énergétiques et par conséquent la dégradation aérobie des nutriments étant devenue impossible (Foury A., 2005), et d'autre part, par le fait, que la glycolyse est une voie de synthèse peu performante (El Rammouz R., 2005), ainsi l'ATP qui régénère dans la cellule musculaire par la myokinase ne fournit que 10 % de l'ATP nécessaire (Eadmusik S., 2008). Le turn-over de l'ATP est assuré tant que les réserves de phosphocreatine et de glycogène le permettent et que la baisse du pH n'inhibe pas la voie glycolytique (Chriki S., 2013).

Lorsque l'ATP est épuisée, le Ca^{2+} ne peut plus retourner dans le réticulum, car la pompe Ca^{2+} ATP dépendante ne peut plus fonctionner donc le Ca^{2+} va stagner dans le sarcoplasme (Francois J., 2002). Ce qui provoque la fixation irréversible de l'actine et de la myosine qui forment ainsi les ponts d'actomyosine. Cette liaison reste stable, la concentration

en ATP étant trop faible pour la rompre. Le muscle perd progressivement son élasticité jusqu'à devenir totalement rigide (Touratier C., 1992).

III. Etude de la cinétique de chute du pH et l'apparition des viandes à défauts de qualité DFD et PSE :

III.1. La cinétique de chute du pH :

Chez l'animal vivant, le pH musculaire est voisin de la neutralité ou légèrement supérieur à celle-ci (pH = 7,2). La mort provoque l'arrêt de la circulation sanguine et en effet le transport des nutriments et de l'oxygène aux cellules du muscle est stoppé (Correa J.A., 2007). Le muscle se trouvant en anoxie, la synthèse de l'ATP repose alors sur la dégradation de la phosphocréatine et surtout sur la glycolyse anaérobie. A mesure que le taux d'ATP diminue et que le glycogène est dégradé, des protons et des molécules de lactate sont formés, entraînant une diminution du pH du muscle. La valeur à laquelle le pH se stabilise est appelée le pH ultime (Terlouw E.M.C., 2002). Cette dernière est atteinte soit qu'il y'a l'épuisement des réserves en glycogène ou des cofacteurs de la glycolyse (AMPc notamment), soit par inhibition des enzymes glycolytiques par une trop faible valeur de pH (Eadmusik S., 2008).

La valeur du pH ultime est voisine de 5.3 à 5.8 selon l'espèce animale considérée et, au sein d'une même espèce, selon le muscle considéré (Harkati A., 2007). Ces variations entre espèces et entre muscles sont liées au type métabolique des fibres musculaires. Par ailleurs, la vitesse de la glycolyse est influencée directement par la température (Clinquart A *et al.*, 2000). Pour la viande ovine, le pH passe de 7.0 à 5.5 après 24 h post mortem (Harkati A., 2007). Chez les bovins le pH du muscle passe d'une valeur proche de 7,0 à environ 5,5-5,7 en 48 h. en effet la cinétique de chute du pH se caractérise par sa vitesse et son amplitude; La vitesse de chute est directement proportionnelle à l'activité d'hydrolyse de l'ATP ou activité ATPasique. Tout facteur modifiant l'activité ATPasique entraîne un changement similaire de la vitesse de chute du pH, tandis que l'amplitude est mesurée par le pH ultime. Elle est proportionnelle pour un muscle donné (Monin G., 1988). Il dépend de la teneur en glycogène du muscle qui elle-même dépend du statut nutritionnel de l'animal avant son arrivée pour l'abattoir, de l'activité physique et des conditions de stress auxquelles l'animal est soumis de la ferme jusqu'à l'abattoir (Liméa L., 2009).

En effet l'évolution du pH après la mort de l'animal est en général le premier facteur explicatif des variations des qualités technologiques et contribue largement à l'élaboration des qualités organoleptiques (Lefaucheur L., 1989) Bien que le pH ne soit pas en soi une qualité

technologique, mais une caractéristique chimique. Son évolution post mortem détermine grandement les aptitudes à la conservation et à la transformation de la viande (Monin., 1991). Une évolution anormale de l'un ou de l'autre de ces paramètres (la vitesse ou l'amplitude) conduit à des défauts de qualité de la viande (Eadmusik S., 2008).

Une diminution du pH trop rapide entraîne la dénaturation des protéines musculaires qui conduit à une viande pâle, flasque et exsudative dite viande PSE (Pale, Soft, Exudative), Elle est dure à manger. D'une façon générale, plus le pH ultime est bas, plus la couleur de la viande est claire. Les viandes à pH ultime élevé sont de couleur sombre et ont une plus grande sensibilité aux développements microbiens, elles sont dites viandes DFD (Dark, Firm, Dry). Alors Les qualités organoleptiques et technologiques sont influencées à la fois par la vitesse et par l'amplitude de chute du pH (Terlouw E.M.C., 2002 ; Eadmusik S., 2008).

Les qualités organoleptiques de la viande telles que la couleur (l'apparence), la texture et la saveur sont des paramètres importants pour le consommateur. Les qualités technologiques telles que l'aptitude à la transformation et/ou le pouvoir de rétention en eau sont eux des facteurs primordiaux pour les transformateurs (Eadmusik S., 2008).

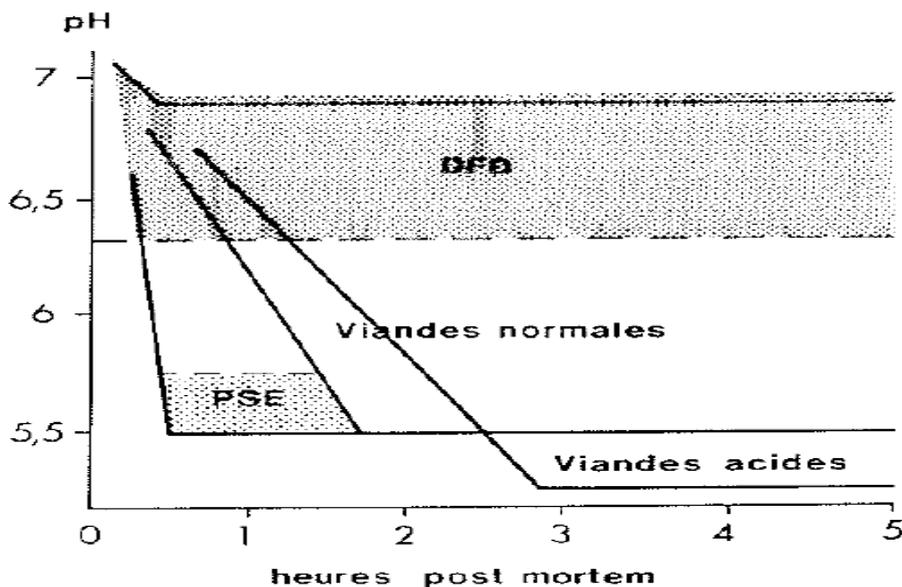
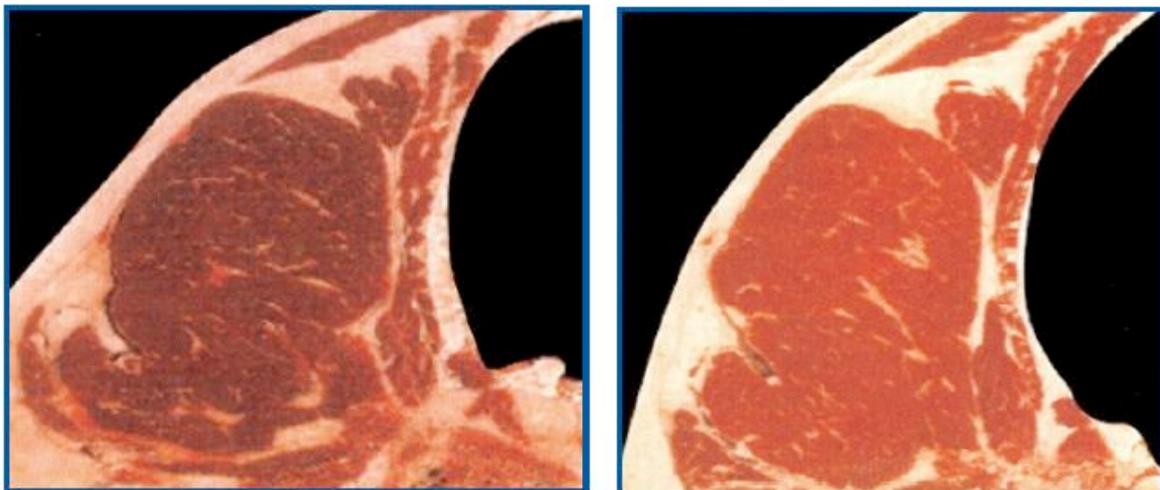


Figure 11 : Différents types de viandes en fonction de l'évolution du pH dans le muscle longissimus dorsi du porc (Monin G., 1988).

III.2. Les caractéristiques des viandes à défauts de qualité DFD et PSE :

III.2.1. La viande DFD (Dark, Firm, Dry) :

Lorsque le pH ultime est trop élevé, la viande obtenue présente de mauvaises qualités sensorielles et se conserve moins longtemps. Ces viandes dites « à pH élevé » sont aussi communes sous le terme de viande (DFD) (Dark, Firm and Dry) (Bourguet C., 2010). Elles sont caractérisées d'abord par leur couleur anormalement foncée, mais aussi par leur pouvoir de rétention en eau très élevé (Monin G et Royant P., 1980). Et elles sont aussi caractérisées par une texture ferme et une moindre tendreté (Eadmusik S., 2008). Ces viandes sont produites par des animaux dont les réserves énergétiques ont été épuisées avant et pendant l'abattage (Touratier C., 1992). Le stress de l'animal associé à une activité physique peut provoquer le quasi-épuisement des réserves en glycogène (Bourguet C et *al.*, 2011). Elles peuvent être observées chez l'ensemble des espèces bouchères (Terlouw E.M.C et *al.*, 2012), comme le porc, la volaille et surtout rencontrées chez les bovins (Scott S.L et Schoefer A.L., 1999). Ces viandes sont peu adaptées à la conservation en frais en raison d'une sensibilité accrue à la dégradation microbienne et elles sont aussi peu adaptées au processus de dessiccation (Eadmusik S., 2008).



Couleur sombre viande DFD (Dark, Firm and Dry)

Couleur normale : Rouge vif

Figure N°= 12 : Images de la couleur normale et sombre du muscle longissimus dorsi (long dorsal) d'un bœuf (Anonyme 4).

III.2.2. La viande PSE (Pale, Soft, Exudative):

Ces viandes sont pales, flasques et exsudatives (Touratier C., 1992), elles sont caractérisées par une diminution rapide de pH, un pouvoir de rétention d'eau faible et deviennent dures après la cuisson (Terlouw E.M.C et *al.*, 2012), le pH ultime peut être inférieur à 6 en 45 minutes après l'abattage (Adzitey F et Nurul H, 2011). Le stress et l'activité physique au moment de la mise à mort de l'animal accélèrent le déstockage du glycogène et conduit à une augmentation de l'activité ATPasique. L'accumulation de lactate et de protons provoquant l'acidification du muscle plus rapide et conduit à un pH précoce faible. Ces viandes sont bien connues chez les porcs et les volailles en raison des caractéristiques métaboliques et contractiles de leurs muscles et par contre sont moins décrites chez les bovins (Bourguet C et *al.*, 2011).

III.3. Mécanisme d'apparition et les facteurs déterminant des viandes anormales :

Le facteur majeur responsable de la production des viandes à défaut de qualité (DFD et PSE) est le stress ante mortem.

Les animaux exposés à un stress aigu (Juste avant l'abattage) produisent des viandes PSE (Pale, soft and exudative) (Adzitey F et Nurul H., 2011). Les réactions physiques et physiologiques des animaux envers les facteurs stressants induisent une accélération du métabolisme musculaire qui perdure après la mort et qui peut se traduire par une acidification musculaire post mortem plus rapide alors que l'abaissement de la température musculaire est ralenti (Terlouw E.M.C et *al.*, 2012).

Toutefois, le pH ultime se situe souvent à une valeur normale, c'est la combinaison initiale d'un bas pH et d'une température élevée qui conduit à une dénaturation des protéines principalement sarcoplasmiques et myofibrillaires (Eadmusik S., 2008). Ces protéines deviennent incapables de retenir l'eau du muscle (Ouali A., 1991), la couleur et la structure de la viande dépendent du degré de dénaturation des protéines, et c'est en fonction de ces dernières que s'apprécie en grande partie la qualité de la viande (Scott S.L et Schaefer A.L., 1999).

Elles sont rarement rencontrées chez les bovins. Il est rapporté qu'en Allemagne, des jeunes bovins présentent des chutes de pH très rapides entraînant l'apparition de ces viandes (PSE) (Monin G., 1991).

Lorsque les animaux sont soumis à un stress chronique (long terme) avant l'abattage comme le transport de longues distances, mettre à jeun les animaux pour une longue durée, surpopulation pour une longue durée dans l'abattoir. Ce stress chronique avant l'abattage conduit à l'épuisement des réserves en glycogène, ceci se traduit par une moindre quantité d'acide lactique formé après l'abattage à cause d'une faible quantité de glycogène, ce qui affecte le processus normal de l'acidification du muscle et par conséquent, résulte un pH ultime élevé (Adzitey F et Nurul H., 2011 ; Park B.Y et *al.*, 2007). Les protéines musculaires ne sont pas dénaturées, puisque celles ci conservent leur capacité de rétention d'eau, la viande devient collante, foncée et ferme (Scott S.L et Schaefer A.L., 1999). Cet effet de stress sur le glycogène est toutefois très variable en intensité d'un muscle à l'autre (Ouali A., 1991), ce qui explique que chez les bovins, l'augmentation du pH est généralement plus marquée dans les muscles du quartier arrière et dans le longissimus dorsi (long dorsal) que dans les muscles du quartier avant, cela est vraisemblablement dû au fait que l'activité motrice des animaux durant le transport et l'abattage sollicite davantage les muscles des membres postérieurs et du dos, que les muscles des membres antérieurs (Monin G., 1991). Par ailleurs, ces viandes s'observent essentiellement chez les taurillons et dans la tranche d'âge 16-18 mois (Monin G et Royant P., 1980).

Cependant, les effets des conditions d'abattage sur les qualités des viandes varient selon l'individu et selon la situation. La façon de réagir au stress et l'influence des réactions de stress sur le métabolisme musculaire (Terlouw E.M.C., 2002).

Le mécanisme de réaction des bovins aux différents facteurs stressants et l'évaluation de ces réactions de stress seront étudiés dans le chapitre suivant (étude du stress de pré- abattage).

IV. Etude du stress de pré-abattage :

IV.1. Nature des stimuli :

La période de pré-abattage débute avec la préparation des animaux à la ferme et se termine lors de la mort de l'animal suite à une saignée (Bourguet C., 2010). Pendant cette période les animaux sont soumis à un certain nombre de traitements liés aux opérations indispensables, que sont la mise à jeun, le chargement, le transport, le déchargement, l'amenée en salle d'abattage, le changement d'environnement physique et social (Ouali A., 1991).

Durant ces opérations, les bovins, comme d'autres animaux sont exposés à toutes sortes de contraintes, ils peuvent souffrir de blessures, et de fatigue (Adzitey F., 2011). Elles peuvent être dues à une mauvaise conception du matériel de manipulation, à l'ignorance et aux excès du manipulateur, et de médiocres façons de conduire pendant le transport (Brule A., 2004), ainsi, ces contraintes peuvent être d'origine physique, telles que, les vibrations, variations de la température ambiante, le bruit et l'encombrement (Adzitey F., 2011). Ces contraintes peuvent être aussi d'origine métabolique, telles que, la consommation insuffisante d'eau et d'aliments, sociaux (contacts avec les congénères et les manipulateurs), comportementaux (manque d'exercice, position debout prolongée), environnementaux (confrontation avec des événements nouveaux) (Brule A., 2004). Toutefois, ces contraintes peuvent induire un état de stress chez les animaux (Grandin T., 1997). Ces stimuli sont regroupés sous le terme de facteurs stressants (Lapeyrade E., 2014).

On distingue deux groupes de stimuli (Lapeyrade E., 2014) :

- Les stimuli externes à l'organisme, il s'agit de stimuli physiques appliqués à un individu, comme les variations de température (qu'elle soit trop élevée ou trop basse), l'apparition d'une plaie traumatique, mais on répertorie également tous types de stimuli sociaux tels que l'encombrement, le confinement voire même l'isolement (Lapeyrade E., 2014).
- Les stimuli internes à l'organisme, il s'agit de stimuli d'ordre biochimiques tels que l'hypoglycémie, ou hypoxie mais on y trouve également les stimuli psychologiques tels que la peur ou la douleur (Lapeyrade E., 2014).

Ces facteurs influencent la vitesse du métabolisme musculaire avant et après la mise à mort, et par ce biais, les qualités des viandes (Terlouw E.M.C., 2002).

IV.2. Définition et l'histoire du mot stress :

IV.2.1. Histoire du mot stress :

Le terme stress apparaît dans la langue latine par un verbe «stringere», qui signifie tendre, raidir (Gilles S., 2006) et dans la littérature anglaise et française, il est apparu au XVIIème siècle et au XXème siècle respectivement. Il était utilisé pour exprimer la souffrance et la privation, résultante d'une vie éprouvante (Quintard B., 2001). Ainsi, il désigne un état de détresse en rapport avec la dureté de la vie (Gilles S., 2006). Aujourd'hui, le terme stress s'est beaucoup vulgarisé (Gilles S., 2006), et devenu un mot d'usage courant que les gens utilisent indifféremment, soit pour décrire les multiples événements et circonstances que leur impose la vie moderne (Incertitude, attente d'un événement, confrontation à une situation imprévisible), soit pour exprimer les diverses conséquences émotionnelles que les événements peuvent induire (Quintard B., 2001).

En science, le terme stress a été utilisé pour la première fois dans la physique par le biologiste et le physicien Robert Hooke au XVIIème siècle dans une loi décrivant la relation linéaire entre l'élongation d'un ressort (Strain) et la force à laquelle il était soumis (Stress), ce terme est utilisé pour qualifier la force exercée sur un objet (Brisville M.A.C., 2006). Bien plus tard, il a été importé par Hans Selye dans le champ de la physiologie et de la médecine, et il a connu depuis cette date un immense succès. En effet entre 1970 et 2007, il a été l'objet de 210.000 articles scientifiques publiés aussi bien dans des revues de médecine et de biologie que dans des journaux de psychologie, de sociologie, d'économie, de droit et de politique (Timsit-Berthier M., 2014).

IV.2.2. Définition du stress :

Le stress est un phénomène que tout le monde reconnaît, mais peu de gens se sont mis d'accord sur sa définition (Friend T.H., 1980). Depuis l'introduction du mot stress, plusieurs définitions ont été proposées et qui ont changées au cours du temps avec l'évolution du concept de stress (Diane A., 2006). Plusieurs définitions du stress sont alors évoquées (Le Moal C.G.A., 2015).

Tous d'abord Le concept du stress s'est articulé sur deux idées fondamentales qui ont contribué au développement de la médecine moderne. La première développée par un médecin français, Cl. Bernard et la seconde idée par un médecin American, W.B. Cannon (Timsit-Berthier M., 2014). Claude Bernard énonçait le principe selon lequel « la fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre, indépendante » (Mormède P., 1995) ; Il a fait

la distinction entre le milieu intérieur (intra-organique) et extérieur (extra-organique) entre lesquels, il existe des rapports nécessaires d'échange et d'équilibre (Dorey R., 2013). W.B. Cannon, décrit sous le nom « d'homéostasie » (Homoios : Similaire ; Stasis : Stabilité) « La capacité pour tout organisme vivant de maintenir dans d'étroites limites, le milieu intérieur en dépit des contraintes qui lui sont appliquées » (Timsit-Berthier M., 2014).

Les travaux de Cannon, ont par la suite ouvert la voie aux recherches de Hans Selye (Quintard B., 2001), Qui est généralement considéré comme étant le fondateur de la recherche sur le stress humain (Friend T.H., 1980). Selye (d'après Brisville M.A.C., 2006), définit donc le stress comme une réaction normale de l'organisme lorsqu'il est soumis à des agents potentiellement nuisibles appelés stressseurs. En 1935, Selye (d'après Gilles S., 2006), définit un « Syndrome général de maladie » regroupant toutes les réponses non spécifiques à la maladie, puis il développe le « Syndrome d'être simplement malade », rapproche ce phénomène des effets d'agressions diverses (brulures, traumatismes,...). H. Selye a fait le lien entre des manifestations cliniques observées chez l'homme malade et des données expérimentales recueillies chez des rats soumis à diverses agressions extérieures (Exposition au froid, agent toxique, microbe, blessure.....) (Timsit-Berthier M., 2014).

Puis, en 1936, Selye (d'après Veissier I., 2012), définit le stress comme « La réponse non spécifique d'un organisme à une situation nocive », L'ensemble de ces réactions non spécifiques est appelé syndrome général d'adaptation (SGA), qui représente toutes les modifications non spécifiques, c'est-à-dire indépendantes du type de stressseurs, qui se développent dans l'organisme et dans le temps au cours de l'exposition continue à un stressseur (Diane A., 2006).

Un concept regroupant la réaction d'alarme, soit la mobilisation des différents systèmes de l'organisme pour se défendre, le stade de résistance, où l'organisme s'adapte à cet agent stressseur, et le stade d'épuisement, découlant d'un stress puissant et persistant (Castonguay-Lebel Z., 2008). Il s'agissait au départ d'un concept purement physiologique, la cascade de réponses, libération des catécholamines et de corticoïdes était considéré comme un moyen de contrer l'agression reçue par l'individu (Veissier I., 2012).

Plus tard, chez l'animal les réponses comportementales ont été incluses dans la définition du stress, ainsi selon les définitions de Fraser et *al* (1975), un animal se trouve dans un état de stress lorsque les ajustements physiologiques et comportementaux qu'il doit fournir pour s'adapter à son environnement sont trop importants (Bourguet C., 2010). Dans les années 2000, Moberg G.P., définit le stress comme « la réponse biologique provoquée quand un individu perçoit une menace à son homéostasie ». Plus tard Bourguet dans ces travaux de

la thèse mentionne que le stress correspond à l'ensemble des réactions physiologiques et comportementales d'origine émotionnelle d'un individu face à une situation qu'il perçoit comme potentiellement menaçante (Bourguet C., 2010).

Nous retiendrons la définition qui a été rapportée par Terlow E.M.C et *al*, 2012, définissant le stress comme « l'ensemble des réactions comportementales et physiologiques en réponse à une menace réelle ou imaginaire, associées à un état émotionnel négatif ».

IV.3. Mécanisme physiologique :

La réaction de stress a pour objet de rétablir l'homéostasie de l'organisme agressé, afin de le maintenir dans les limites des normes vitales. Pour réagir à un stressor, l'organisme doit au préalable le percevoir et le considérer comme anormal. Puis il fait intervenir différents systèmes afin de remédier à ses effets (Brisville M.A.C., 2006). Les organes sensoriels et les innervations afférentes réceptionnent les informations puis le système nerveux central qui intègre les informations obtenues et orchestre une réponse biologique non spécifique au stressor (Lapeyrade E., 2014 ; Brisville M.A.C., 2006).

Une fois le stimulus intégré et perçu comme stressant, l'hypothalamus est l'organe clé dans le déclenchement des réactions au stress, il représente le carrefour des informations afférentes et des signaux efférents vers les différents systèmes effecteurs (Lapeyrade E., 2014). Les réponses de stress mettent en jeu de nombreux systèmes biologiques, dont les plus importants sont l'axe corticotrope et le système nerveux autonome (Mormède P., 1995). Ce qui se traduit par des réactions physiologiques comme l'augmentation de la fréquence cardiaque et de la sécrétion des hormones dites « De stress » cortisol et catécholamine, et des réactions comportementales comme la fuite et/ ou des attaques (Terlow E.M.C., 2002).

IV.3.1. Les réactions comportementales :

En 1913, Watson définit le comportement (d'après Lapeyrade E., 2014) comme « l'ensemble des réactions adaptatives objectivement observables qu'un organisme généralement pourvu d'un système nerveux, exécute en riposte aux stimuli, eux-mêmes objectivables et provenant du milieu dans lequel il vit ». C'est la réponse la plus simple et la plus fréquemment mise en œuvre par l'organisme (Brisville M.A.C., 2006). Ces réponses comportementales sont variées (Richard S et *al*. 2007). Elles sont adaptées au stimulus ressenti par exemple lorsqu'un animal qui a trop chaud va rechercher une zone plus fraîche, par contre si c'est un animal soumis à la peur, la réaction peut être différente d'un animal à

l'autre, à savoir fuir ou faire face (Brisville M.A.C., 2006). Donc, d'après Lapeyrade E., 2014, il y'a trois réactions possibles :

- La première réaction possible consistant à fuir devant le danger, permettant de ce fait l'éloignement de la source du stress.
- La deuxième réaction consistant en l'attaque du stimulus, permettant potentiellement la suppression de la source du stress

Laborit, dans les années 1970 (d'après Lapeyrade E., 2014), décrit un troisième modèle de réaction chez le rat applicable par extension à l'homme et aux autres animaux. Lorsque l'animal ne peut ni fuir ni lutter, il définit l'inhibition d'action, l'individu s'immobilise, incapable d'agir.

La période de pré-abattage (Le transport et l'abattage des animaux) associée à une multitude de facteurs potentiellement stressants, parmi ces facteurs, on trouve des facteurs d'origine psychique car le changement de la situation habituelle (Le départ du milieu habituel, le changement du milieu social, l'introduction dans des environnements inconnus et la présence de personnes non familières) (Terlouw E.M.C., 2002), susceptibles d'engendrer chez les bovins des réactions de peur, un état de vigilance accru, car les bovins sont des espèces qui, en milieu naturel, ont un statut de proie. L'homme, lorsqu'il est inconnu des animaux, peut être perçu comme un prédateur (Richard S *et al.*, 2007).

IV.3.2. Les réactions physiologiques :

Les principales réponses physiologiques de stress correspondent à l'augmentation de la fréquence cardiaque et à la sécrétion d'hormones dites « de stress » catécholamines et le cortisol (Terlouw E.M.C *et al.*, 2015). Comme, suite à l'activation du système nerveux orthosympathique qui se fait immédiatement après la confrontation de l'animal à un agent stressant et de l'activation de l'axe corticotrope qui se fait un peu tardivement (Debut M. *et al.*, 2004). D'après (Brisville A-C., 2006). Cannon (1929), a été le premier à décrire la mise en œuvre du système nerveux autonome, lorsqu'un organisme est soumis à un stimulus ; Il observe la mobilisation générale du système nerveux sympathique qui a pour conséquence une mise à disposition d'énergie permettant à l'organisme de réagir, que ce soit par la fuite ou l'affrontement : Il nomme cette réaction »flight/fight syndrome ». Par ailleurs, d'après Mormède P, 1995, la conception du stress de Selye a donné à l'axe corticotrope un rôle central dans les réactions physiologiques de stress.

IV.3.2.1. Le système nerveux sympathique ou orthosympathique :

Le système nerveux végétatif régit le monde intérieur et tient sous sa dépendance la vie végétative. Il intervient dans l'équilibre intérieur et l'homéostasie, la motricité et la sensibilité viscérale, le système neuro-vasculaire, le système neuro-endocrinien avec les sécrétions hormonales et glandulaires (Berne A., 2015). Il comprend le système nerveux sympathique et parasympathique (Castonguay-Lebel Z., 2008). Les centres végétatifs correspondants se situent, pour le système sympathique, dans la moelle thoracique et lombaire et pour le système parasympathique dans le tronc cérébral et dans la moelle sacrée (Berne A., 2015).

Le système nerveux autonome efférent se caractérise par la présence des relais ganglionnaires qu'on ne trouve pas dans le système nerveux somatique efférent. Dans lesquelles les fibres pré-ganglionnaires provenant du système central faisant des synapses avec des fibres post ganglionnaires qui innervent les effecteurs. Le neurotransmetteur dans ces synapses c'est l'acétylcholine pour les deux systèmes (sympathiques et parasympathiques). Les terminaisons post-ganglionnaires parasympathiques utilisant également l'acétylcholine, comme neurotransmetteur alors que les terminaisons sympathiques utilisant la noradrénaline (Plumier J.C., 2006). Cependant, l'innervation des glandes surrénales et plus particulièrement de la medulla d'origine neuronale, est toujours assurée par des neurones cholinergiques (Lapeyrade E., 2014).

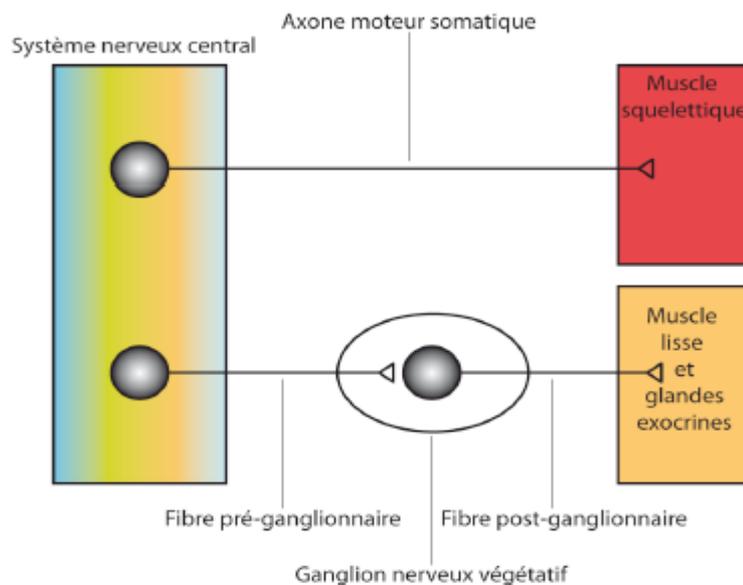


Figure 13 : Organisation du système nerveux somatique et autonome (Mouchet P., 2012)

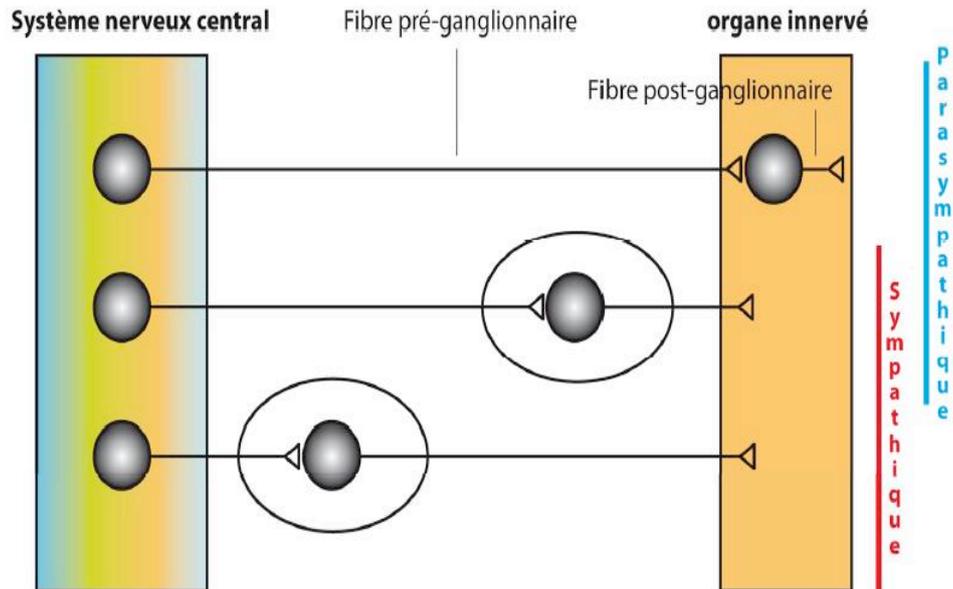


Figure 14 : Différence de localisation du corps cellulaire du neurone post-ganglionnaire du système nerveux autonome (Mouchet P., 2012)

Les réponses organiques observées lors d'un stress important (Variation du rythme cardiaque et de la pression artérielle, hyperglycémie, l'augmentation des acides gras libres) témoignent de la mise en évidence du système nerveux sympathique (Mormède P, 1995). Donc nous limitons notre étude à ce système.

IV.3.2.1.1. La mise en jeu du système sympathique lors de stress :

Le système sympathique est très rapidement activé lors de stress chez un organisme. Il est constitué d'un réseau de neurones catécholaminergiques qui libèrent de la noradrénaline localement au niveau des synapses effectrices et des cellules chromaffines de la médulla des glandes surrénales. Ces dernières, sous l'influence du nerf splénique, libèrent en retour des catécholamines (Adrénaline et noradrénaline) dans le flux sanguin. Les nerfs sympathiques sont contrôlés par des neurones pré-ganglionnaires cholinergiques dont le corps cellulaire se trouve dans la moelle épinière thoraco-lombaire. Ces neurones sont eux-mêmes placés sous le contrôle des centres nerveux supérieurs (Brisville M.A-C., 2006). Les catécholamines libérées par les fibres post-ganglionnaires et les cellules chromaffines de la médulla surrénale ont une action sur tous les tissus, soit par innervation sympathique qu'ils reçoivent, soit par l'adrénaline libérée dans le courant sanguin (Mormède P., 1995). La réponse au stress

présente donc une importante diversité en raison des différents organes ainsi innervés et sollicités par le système nerveux sympathique (Lapeyrade E., 2014).

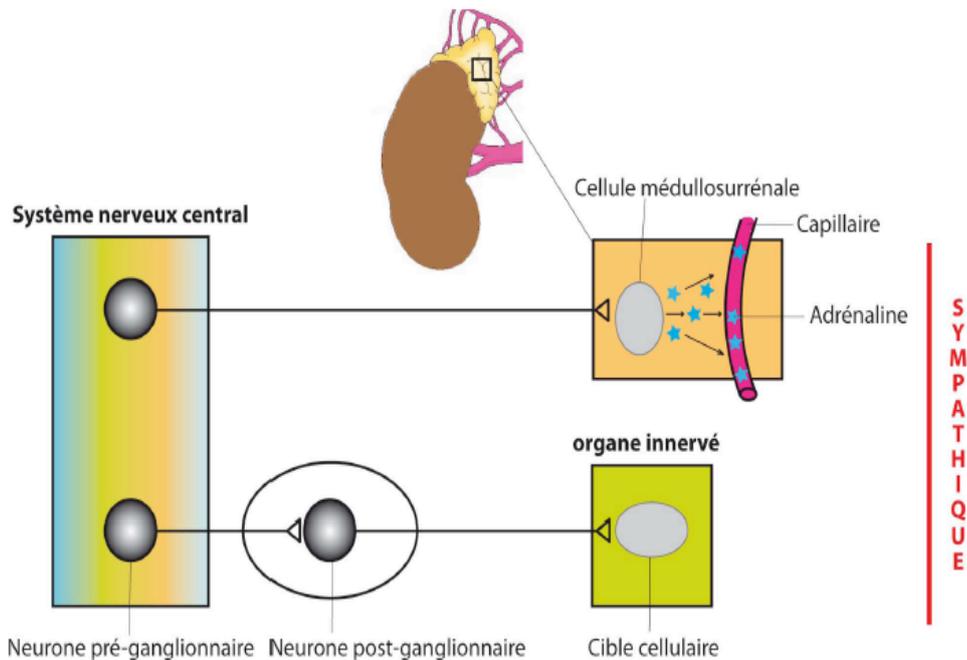


Figure 15 : Organisation schématique de système nerveux sympathique et l'innervation des glandes surrénales par le système orthosympathique et libération des catécholamines (Mouchet P., 2012).

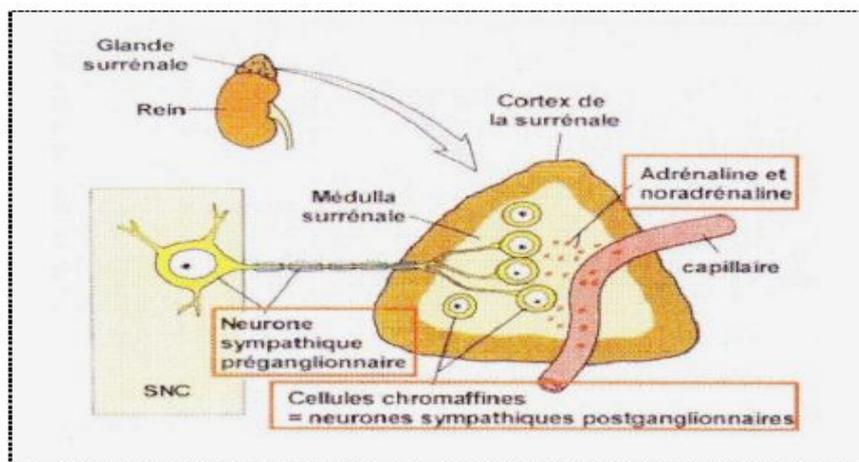


Figure 16 : l'innervation de la glande surrénale et la sécrétion des catécholamines (Tarek Mohamed M.M., 2007).

IV.3.2.1.2.Effet biologique du système sympathique lors de stress :

Le système nerveux sympathique qui met en jeu les catécholamines, est considéré comme un système d'alerte, les actions des catécholamines son principalement orientées vers le catabolisme et la mise à disposition d'énergie pour l'organisme, cette action se fait via les récepteurs catecholaminergiques portés par les organes ou tissus cibles (Brisville M.A-C., 2006) ; Ces récepteurs se subdivisent en deux classes principales alpha et beta, eux même se subdivisent en sous classes (alpha 1, alpha 2, beta 1, beta 2, beta 3). Les organes qui réagissent à l'adrénaline et à la noradrénaline présentent une ou plusieurs de sous classes de récepteurs. Selon le type de récepteur prédominant dans l'organe cible l'adrénaline et la noradrénaline peuvent avoir des effets excitateurs ou inhibiteurs (Marieb E.N et Hoehn K., 2010), quelque soit le type de récepteur, leur activation provoque, par l'intervention des protéines G (Les récepteurs catecholaminergiques sont couplés à des protéines G), la production de messagers secondaires et provoquer ainsi l'activation des canaux ioniques à l'intérieur des cellules cibles (Lapeyrade E., 2014).

Les principale actions du système nerveux sympathique via les catécholamines lors de stress sont exercées sur le système cardio-vasculaire pour redistribuer le sang vers le muscle et le cerveau, des actions métaboliques pour fournir à l'organisme de l'énergie nécessaire par la mobilisation des formes de stockage (Glycogène musculaire et hépatique, triglycérides des tissus adipeux), sur l'appareil respiratoire pour augmenter la disponibilité de l'oxygène par l'action combinée sur la fréquence respiratoire, la profondeur des mouvements inspiratoires et la concentration des érythrocytes circulant par contraction splénique. Ce qui résulte en une augmentation de l'énergie disponible au niveau du cerveau et du muscle, organes les plus importants dans la réponse comportementale au stress (Mormede P., 1995).

○ Les actions métaboliques :

Les catécholamines stimulent la mise à disposition de glucose pour l'organisme via divers mécanismes directs ou indirects (Brisville M.A-C., 2006) : Elles stimulent la glycogénolyse hépatique et la néoglucogenèse ainsi que l'inhibition simultanée de la synthèse du glycogène (Berne A., 2015), l'action au niveau du foie se fait via les récepteurs alpha 1 et beta 2 adrénergiques (Marieb E.N et Hoehn K., 2010). Elles inhibent également la sécrétion d'insuline par le pancréas via les récepteurs alpha 2 (Brisville M.A-C., 2006), ainsi l'adrénaline stimule la sécrétion de glucagon (Berne A., 2015), et au niveau musculaire, les catécholamines stimulent la glycogénolyse via les récepteurs beta 2 adrénergiques et

provoquent la lipolyse au niveau du tissu adipeux et participent à la libération d'acide gras et de glycérol dans la circulation générale (Brisville M.A-C., 2006).

○ **Action sur les systèmes cardio-vasculaire et respiratoire :**

Les catécholamines ont des effets cardiaques variés. Elles augmentent le débit, la fréquence et la force de contraction du cœur via des récepteurs beta 1. Elles augmentent également la pression sanguine par vasoconstriction des vaisseaux périphériques via les récepteurs alpha1 et alpha 2, et entraînent la redistribution du sang circulant vers les muscles et le cerveau (Brisville M.A-C., 2006).

Elle augmente la disponibilité de l'oxygène par l'action combinée sur la fréquence respiratoire, la profondeur des mouvements inspiratoires et la concentration des érythrocytes circulant par contraction splénique (Mormede P., 1995).

IV.3.2.2. L'axe corticotrope :

L'axe corticotrope ou axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien (HPA : Hypothalamic-Pituitary-Adrenal axis) constitue un axe endocrinien majeur. Il se compose de trois structures principales en interaction : L'hypothalamus, l'hypophyse et les glandes surrénales (Dorey R., 2013). Le cortex surrénalien de la glande surrénale sécrète les hormones corticostéroïdes responsables de la plupart des effets physiologiques de l'activation de cet axe ; elle est placée sous le contrôle d'une hormone hypophysaire, la corticotropine, ou ACTH (Adrenocorticotropin hormone), elle-même sous la dépendance de l'hypothalamus dont l'activité est régulée par les centres supérieurs. Les corticoïdes modulent l'activité de l'axe par divers mécanismes de rétrocontrôle (Mormede P, 1995). Dans une situation de stress, l'axe corticotrope prend le relais de l'axe catécholaminergique en assurant un apport prolongé de métabolites énergétiques aux organes et cellules sollicités. Les modifications physiologiques, entraînées par l'activation de l'axe corticotrope, préparent l'organisme à résister à la situation de stress (Berne A., 2015).

IV.3.2.2.1. Localisation anatomique des différents constituants de l'axe corticotrope :

L'hypothalamus est une région du cerveau qui assure le lien entre le système nerveux et le système hormonal au travers de leurs afférences. L'hypothalamus est régulé par le système limbique. L'hypothalamus joue un rôle primordial dans les fonctions végétatives et

endocriniennes de l'organisme ainsi que dans les comportements émotionnels et alimentaires. Il intervient également dans le maintien de l'homéostasie hormonale et dans les réponses adaptatives du système endocrinien face aux situations de stress (Dorey R., 2013).

L'hypophyse est un organe relativement petit : Chez le cheval et le bœuf, elle a la taille d'un haricot, chez le mouton la taille d'un petit pois (Kolb E., 1975), ainsi que chez l'homme (Marieb E.N et Hoehn K., 2010) et chez le chien celle d'une lentille (Kolb E., 1975). Elle est richement vascularisée. Et elle est liée au cerveau (Diencephale) par la tige pituitaire. On distingue trois zones, ou lobes, dans l'hypophyse : L'antéhypophyse (hypophyse antérieure) située en avant; la post-hypophyse (hypophyse postérieure) située en arrière et le lobe intermédiaire (Dorey R., 2013). Les trois régions de l'hypophyse ont une structure histologique différente. Dans le lobe antérieur elle est constituée de plusieurs types cellulaires (Cellules acidophiles, basophiles et chromophores) et dans chaque type cellulaire, sont élaborées des hormones bien déterminées. Le lobe postérieur (neurohypophyse) renferme des cellules névrogliales, des cellules à granulations (pituicytes), du tissu conjonctif et des fibres nerveuses (Kolb E., 1975).

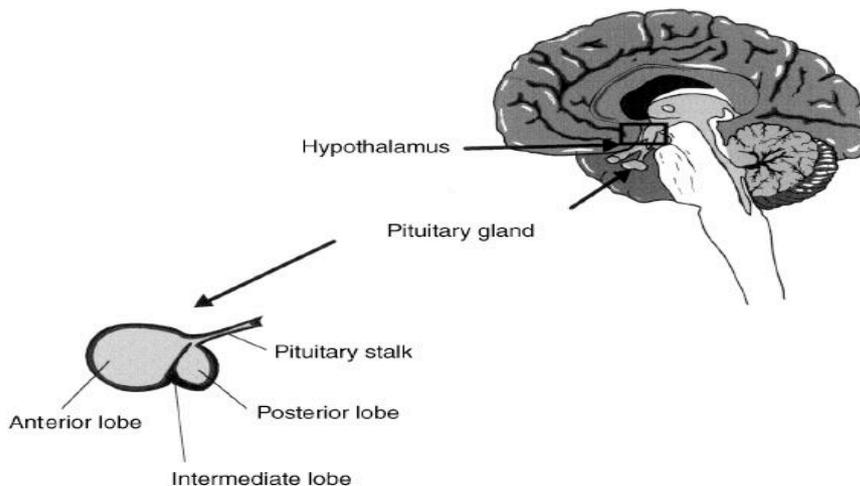


Figure17 : Localisation de l'hypothalamus, hypophyse et ces trois lobes (antéhypophyse, post hypophyse, intermédiaire) (d'après Matteri et *al.*, 2000).

Les deux glandes surrénales sont des organes en forme de pyramide, perchés au-dessus des reins et enveloppés d'une capsule fibreuse et d'une couche de graisse. Chaque glande surrénale comprend deux portions qui diffèrent du point de vue structural comme du point de vue fonctionnel, la portion interne, appelée médulla surrénale, contient beaucoup de nœuds de tissu nerveux, qui appartient au système nerveux sympathique. La portion externe, appelée

cortex surrénal, est la plus volumineuse et elle recouvre la médulla ; elle est formée de tissu glandulaire. Chacune de ces portions produit, ses propres hormones (Marieb E.N et Hoehn K., 2010).

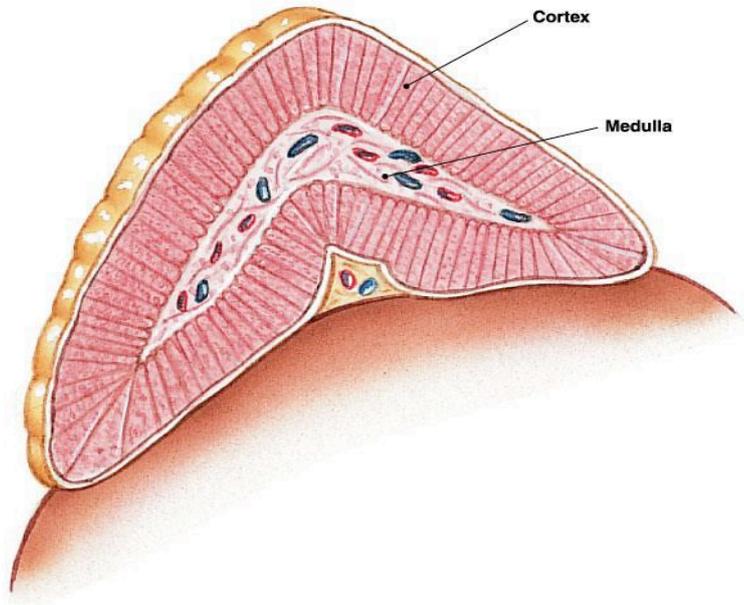


Figure 18 : Illustration des deux portions de la glande surrénale (d'après Gayrard V)

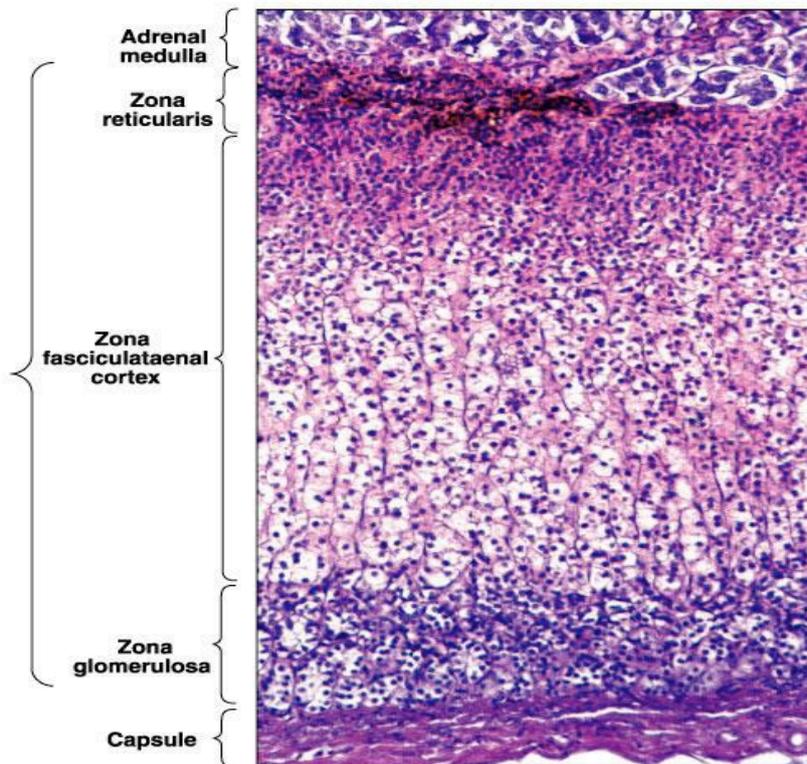


Figure 19: Illustration des différentes zones de cortex surrénale de l'intérieur à l'extérieur (d'après Gayrard V)

Le cortex surrénalien qui compose près de 80 % de la structure des glandes surrénales est constitué d'un parenchyme hétérogène qu'on peut subdiviser en 3 régions (Lapeyrade E., 2014) :

- La zone glomérulée, la plus externe, qui représente 25% du cortex surrénalien, constituée de cellules disposées plus ou moins régulièrement en cercles et en arcades autour des capillaires. L'agencement des cellules est caractéristique de l'espèce de mammifères. Elles produisent les minéralocorticoïdes et plus exactement l'aldostérone.
- La zone fasciculée, la zone médiane, qui est la zone la plus développée chez tous les mammifères, et représente 60% du cortex surrénalien. Elle est formée de cellules riches en lipides, organisées en travées, responsables de la synthèse des glucocorticoïdes, en particulier de la corticostérone et du cortisol (Chez l'homme, le chien, le chat, le porc, le bovin ; la corticostérone chez les volailles).

La zone réticulée, la zone interne, dont les cellules sont organisées en travées autour des capillaires, qui représente 15 % et où sont synthétisées les hormones sexuelles.

IV.3.2.2.2. Fonctionnement de l'axe corticotrope :

L'hypothalamus est l'élément central et le point de départ d'une cascade de sécrétions hormonales. Après avoir intégré l'élément stressant, un neuropeptide synthétisé par les neurones du noyau paraventriculaire de l'hypothalamus, le CRH (corticotropin releasing hormon), va être libéré dans les capillaires du système porte hypothalamo-hypophysaire et stimuler l'antéhypophyse en activant la sécrétion d'ACTH (Lapeyrade E., 2014; Matteri et *al.*, 2000), la vasopressine (VP) semble également moduler la sécrétion d'ACTH soit directement, soit en potentialisant l'action de la CRH. L'importance relative des différentes hormones est variable selon les espèces et la situation d'activation. Minton (1994), rapporte les observations faites par Pradier et *al* (1986) qui constatent que chez le mouton la vasopressine a plus d'effet que la CRH sur la sécrétion d'ACTH tandis que chez les autres espèces étudiées (Rats, bovins et porc), on note un effet plus important de la CRH par rapport à la vasopressine. On observe également une synergie de la vasopressine et de la CRH dans la stimulation de la sécrétion d'ACTH, tout en agissent sur des récepteurs différents (Brisville M.A-C., 2006).

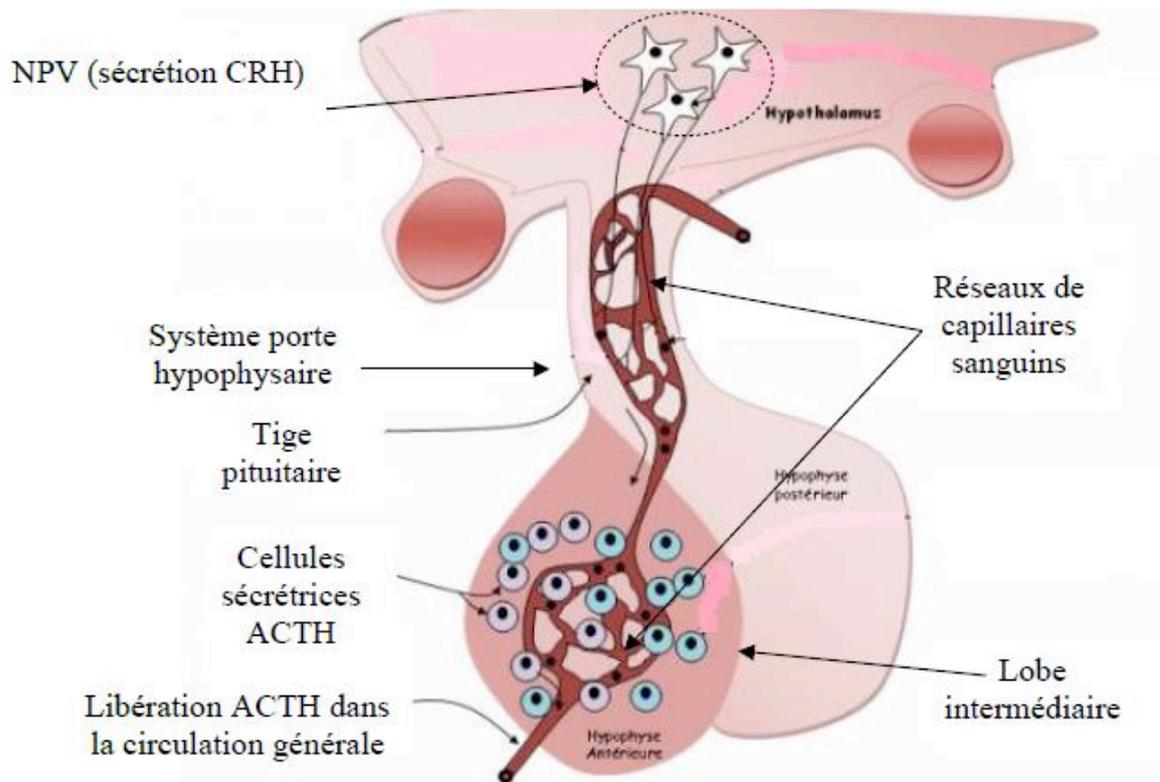


Figure 20 : Axe hypothalamo-hypophysaire (adopté d'Alain Gallien d'après Dorey , 2013).
 NPV : noyau paraventriculaire ; CRH : corticolibérine ; ACTH : hormone adrenocorticotrope.

L'ACTH est un peptide synthétisé par les cellules corticotropes de l'antéhypophyse, à partir d'un précurseur appelé POMC, dont le clivage protéolytique conduit aussi aux β -endorphines et hormone mélanotrope (Lapeyrade E., 2014; Matteri et *al.*, 2000). L'ACTH est un peptide assez bien conservé au niveau interspécifique puisque les 24 premiers acides aminés sont constants chez toutes les espèces et suffisent à engendrer les effets biologiques de l'hormone (Brisville M.A-C., 2006). Elle agit sur les cellules corticosurréaliennes via des récepteurs membranaires couplés à l'adénylcyclase, induisant ainsi la formation d'AMPc comme messager intracellulaire responsable de l'activation des enzymes impliquées dans la biosynthèse des glucocorticoïdes et minéralocorticoïdes . D'autre part, l'ACTH joue un rôle trophique direct sur les cellules de la zone fasciculée, induisant une augmentation de la cellularité et une hypertrophie de cette zone de la Corticosurrénale. (Lapeyrade E., 2014).

Il existe en parallèle un contrôle nerveux de cette sécrétion par le système sympathique. Le nerf splanchnique n'innerve pas directement la corticosurrénale, mais la médullosurrénale. Cette innervation module l'induction de la stéroïdogénèse induite par l'ACTH. La stimulation

sympathique de la médullosurrénale a plusieurs conséquences. La première est l'induction d'une synthèse médullosurrénale de CRH et d'ACTH. Cette ACTH s'ajoute à l'ACTH circulante d'origine hypophysaire et augmente ainsi la quantité d'ACTH qui pourra se fixer sur les récepteurs de la corticosurrénale. La deuxième conséquence est une activation des neurones post-ganglionnaires présents dans la médullosurrénale, qui vont libérer des catécholamines agissant sur les cellules de la corticosurrénale augmentant ainsi la biosynthèse de glucocorticoïdes (Tritschler L., 2006).

Les glucocorticoïdes sont le maillon effecteur de l'axe corticotrope. Ce sont des hormones lipidiques issues de la transformation du cholestérol. Les deux principales hormones sont le cortisol et la corticostérone qui sont inégalement représentées au sein des différentes espèces animales. Le cortisol est l'hormone essentielle chez l'homme, les bovins, les ovins, le chien, le porc tandis que c'est la corticostérone qui domine chez les volailles, le rat ou le lapin. Ces hormones sont présentes dans le sang majoritairement sous forme liées à l'albumine et à la transcortine mais seule la forme libre est active (Brisville M.A-C., 2006).

○ **Les récepteurs des corticostéroïdes :**

Les corticostéroïdes agissent par l'intermédiaire des récepteurs intracellulaires. Il existe deux types de récepteurs aux corticoïdes : Récepteurs aux minéralocorticoïdes (MR) et récepteurs aux glucocorticoïdes (GR). Ces deux types de récepteurs sont présents dans presque tous les tissus, mais on les trouve en plus grand nombre sur les cellules intervenant dans l'inflammation (macrophages) et dans le tissu cérébral , les glucocorticoïdes se lient préférentiellement aux MR en situation basale (faible concentration) alors que la saturation des GR n'a lieu qu'en situation d'hypersécrétion comme après un stress, pendant la phase active du rythme circadien ou en situation pathologique d'hypercorticisme (Diane A., 2006 ;Berne A., 2015) .

Bien que les récepteurs MR et GR soient différemment distribués dans le cerveau, tous deux sont co-exprimés dans l'hypophyse et l'hypothalamus où ils agissent dans la régulation de l'activité de l'axe corticotrope. D'autres fonctions physiologiques comme les états comportementaux sont influencées par les MR et GR dans le cerveau. Les corticostéroïdes modulent les processus périphériques, tel que le métabolisme du glucose à travers les récepteurs GR (effet des glucocorticoïde), ou l'équilibre minéral et hydrique via les récepteurs MR (Diane A., 2006), au niveau des reins, l'enzyme 11B-hydroxystéroïde-deshydrogénase

convertit le cortisol en cortisone inactive et les minéralocorticoïdes sont ainsi les ligands majoritaires des récepteurs MR dans cet organe (Brisville M.A-C., 2006).

IV.3.2.2.3. Action des glucocorticoïdes :

Les glucocorticoïdes secrétés suite à l'activation de l'axe corticotrope, en réponse à l'exposition à un agent stresser, vont moduler plusieurs paramètres physiologiques. Ces hormones stéroïdiennes ont un éventail d'actions très diversifié puisqu'ils ont la capacité d'atteindre chaque organe via la circulation sanguine et de traverser les membranes. A court terme ils agissent principalement sur le métabolisme énergétique afin de répondre à une demande métabolique plus élevée, causée par l'exposition à un agent stresser. Les glucocorticoïdes agissent également sur le système immunitaire (effets anti-inflammatoires et anti-allergiques). Ce sont ces hormones stéroïdiennes qui permettront le retour aux conditions normales (Castonguay-Lebel Z., 2008).

Nous présenterons les effets métaboliques du cortisol, car ces effets nous intéressent dans la période de pré-abattage.

Les glucocorticoïdes principalement le cortisol chez les bovins ; La première action importante est l'action néoglucogénèse (Brisville M.A-C., 2006) ; Elle augmente la production de glucose à partir des substrats non glucidiques, et en particulier à partir des protéines. Cette action est bénéfique à court terme, mais elle est coûteuse à long terme, puisque cet apport énergétique se fait aux dépens des protéines de structure (Mormede P., 1995). Et à partir de glycérol et les acides gras libres circulant dans le sang. Cette action de néoglucogénèse a lieu dans le foie (Tritschler L., 2006). Elle est associée à la réduction du transport membranaire du glucose (action anti- insuline), provoque une hyperglycémie, potentialisée par les catécholamines et de glucagon (Mormede P., 1995).

IV.3.2.2.4. Régulation de la sécrétion des glucocorticoïdes :

La libération des glucocorticoïdes suivant l'exposition à un agent stresser augmente l'état de vigilance et d'alerte, toutefois, une réponse soutenue peut devenir néfaste pour l'organisme. Par conséquent, certains mécanismes de régulation à rétroaction négative sont présents afin d'atténuer et de promouvoir la terminaison de cette réponse au cours du temps malgré la persistance de l'agent stresser. L'inhibition de la relâche d'ACTH et de la synthèse des glucocorticoïdes est régulée par des mécanismes hormonaux complexes travaillant parallèlement avec les mécanismes neuronaux (Castonguay-Lebel Z., 2008).

Les glucocorticoïdes représentent le principal facteur d'inhibition de l'axe corticotrope. Ils exercent un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion d'ACTH, de CRH mais aussi au niveau des centres nerveux supérieurs via la présence de récepteurs au niveau de l'hypophyse, de noyau paraventriculaire de l'hypothalamus et de l'hippocampe dans le système limbique (Brisville M.A-C., 2006). Les glucocorticoïdes ont une affinité pour les récepteurs MR comme nous avons cité précédemment. Ces récepteurs sont occupés en période de sécrétion basale, lors de rythme circadien, afin de maintenir l'homéostasie, par contre les récepteurs GR sont occupés lorsque le niveau des glucocorticoïdes devient élevé, suivant l'exposition à un agent stressant et que les récepteurs MR sont saturés. En effet la présence de ces deux types de récepteurs permet de moduler l'axe corticotrope. Les récepteurs MR sont exprimés en forte densité par le système limbique. Ils sont importants dans la modulation de la boucle de rétroaction négative et par conséquent, pour l'adaptation de l'organisme. Les récepteurs GR permettent cette adaptation en favorisant la terminaison de la réponse, le retour à des conditions normales et la mobilisation des ressources énergétiques nécessaires (Castonguay-Lebel Z., 2008).

D'autre part, comme tous les axes neuroendocriniens, l'axe corticotrope est sous le contrôle des centres nerveux supérieurs et a, avec eux, des connections anatomiques : Le noyau paraventriculaire reçoit des fibres noradrénergiques issues du tronc cérébral. Les catécholamines centrales joueraient plutôt un effet stimulant sur l'axe corticotrope ainsi que la plupart des neurotransmetteurs (acétylcholine, adrénaline, noradrénaline, histamine). Seul le GABA (γ -aminobutyric-acid) exerce un effet inhibiteur (Brisville M.A-C., 2006).

IV.4. Evaluation du stress

Chez les bovins et d'autres animaux, de nombreuses méthodes ont été employées pour essayer d'évaluer le stress. elles incluent des techniques physiologiques, des études du comportement (Debut M et *al.*, 2004), et métaboliques (Terlouw E.M.C et *al.*, 2007). Encore des mesures de la productivité (Debut M et *al.*, 2004). Par ailleurs, le comportement de repos, l'activité physique forcée (Liées aux manipulations), les tentatives de fuites, les chutes, le niveau d'agressivité (Terlouw E.M.C et *al.*, 2007), sont des changements de comportement, donnent des indications sur les réactions d'urgence des animaux face aux situations stressantes (Jamain G et *al.*, 2000). Ces changements sont utilisés pour évaluer le niveau de stress des animaux, de plus, facilitent l'interprétation des mesures physiologiques (Terlouw E.M.C et *al.*, 2007).

Concernent les mesures physiologiques, la fréquence cardiaque, le taux sanguin de cortisol (bovins, porc) ou corticostérone (volaille), ACTH, glucagon, adrénaline et noradrénaline, sont fréquemment utilisées pour apprécier le niveau de stress des animaux (Debut M et al., 2004 ; Terlouw E.M.C et al., 2007 ; Jamain G et al., 2000). Ces paramètres, sont souvent interprétés en terme d'activité physique et/ou de réponse de stress (Terlouw E.M.C et al., 2007). D'autres paramètres peuvent aussi assurer cette fonction comme l'hématocrite, lactate, les paramètres immunologiques (Jamain G et al., 2000), et la créatine kinase. L'augmentation du taux sanguin de ces paramètres, reflète en général une activité physique accrue, qui peut être associée à un état de stress (Terlouw E.M.C et al., 2007 ; Jamain G et al., 2000; Debut M et al., 2004). Toutefois, les mesures du métabolisme musculaire post-mortem, ainsi que l'évolution de la température et du pH, permettent d'apprécier le niveau de l'activité physique, et parfois de stress de l'animal avant son abattage (Terlouw E.M.C et al., 2007).

Dans la présente étude, nous allons évaluer le niveau de stress par la mesure du taux de cortisol et de la CPK sérique, ainsi que par la mesure du pH et de la température post mortem pendant les 2 heures et demi suivant l'abattage des bovins.

IV.4.1. Le cortisol :

Le cortisol est l'hormone principale chez les bovins (Mormède P., 1995). Il est sécrété par le cortex surrénalien et ce, sous le contrôle de l'ACTH, qui est produite par l'hypophyse (Goumon S., 2013), qui elle-même sous la dépendance de l'hypothalamus dont l'activité est régulée par les centres nerveux supérieurs. L'ensemble constitue l'axe corticotrope, qui fonctionne de façon cyclique. Le rythme principal est nyctéméral et se caractérise par un maximum d'activité sécrétoire qui précède la période d'activité comportementale, c'est-à-dire en fin de période nocturne et début de la journée chez la plupart des espèces domestiques (Mormède P., 1995).

Le dosage de cortisol se fait à partir de prélèvements des liquides biologiques (Sang, urine, salive), mais les méthodes basées sur les prélèvements sanguins sont les plus répandues (Jamain G et al., 2000). Est se réalise essentiellement par les techniques radio-immunologiques mettant en œuvre des anticorps polyclonaux spécifique et produits le plus souvent chez le lapin, des anticorps monoclonaux (Mormède P., 1995)

Dans la littérature, les études ayant utilisées le cortisol comme indicateur de stress chez les bovins pendant le transport **Lensik et al., 2001 ; Sartorelli et al., 1992**, rapportaient que

le taux de cortisol augmente chez les veaux après le transport. Dans d'autres travaux réalisés par **Gebresenbet et al., 2012**, ils ont montré que les veaux, les vaches et les taureaux présentaient des taux de cortisol élevés après le transport par rapport aux valeurs obtenues avant le transport. En revanche, la mise en attente lorsque les animaux sont mis en conditions favorables, induit la diminution du taux de cortisol. En effet, **Lensik et al., 2001**, rapportaient que le taux de cortisol revient à la valeur initiale après la mise en attente de 2 heures. Aussi, **Grigor et al., 2004**, montraient chez les veaux, que le taux de cortisol a été augmenté après un transport d'une demi heure et revient à la valeur initiale après la mise en attente pour une heure.

IV.4.2. L'évaluation de l'activité de CPK :

La c ratine kinase(CK) ou la créatine phosphokinase (Cook et *al.*, 1996, cité par Correa J.A., 2011), une enzyme dim rique cytosolique. Il existe deux sous unités différentes de 40 KDa, nommés M (Type muscle) et B (Type Brain), la combinaisons de ces sous unités révèle trois isoenzymes : La CK-BB ou CK1, localisée majoritairement dans le cerveau, la CK-MB ou CK2 que l'on trouve chez l'homme dans le myocarde, la CK-MM ou CK3 qui est présente surtout dans le muscle strié (Kaneko et *al.*, 1997, cité par Cazaux J.M.L., 2002). La réaction catalysée par la créatine kinase est réversible. Elle procure de l'ATP au muscle, mais elle permet également de reconstituer les réserves de phosphocréatine, une fois l'effort terminé (Cazaux J.M.L., 2002).

Toutefois, la créatine Phosphokinase est lib r e dans le flux sanguin quand les animaux subissent des dommages musculaires ou présentaient de la fatigue musculaire caus e par l'exercice physique. La concentration maximale s'observe après 6 heures du début du stress, elle peut indiquer les effets d'un stress prolongé (**Correa J.A., 2011**).

Parmi les travaux utilisant le taux de CPK chez les bovins comme indicateur de stress et de l'activité physique, on trouve celui de **Sartorelli et al., 1992**, ils ont rapporté que le taux de CPK augmente chez les veaux après un transport par rapport au taux initial, obtenu dans la ferme. **Ainsi, Knowles, 1999, et Tarrant, 1990**, rapportaient que le taux de CPK augmente chez les bovins adultes après un transport de 15 heures.

Partie expérimentale

I- Introduction :

En Algérie, la réponse des bovins aux différentes manipulations ou aux traitements, liées aux opérations indispensables de la période de pré-abattage, ainsi que leurs effets sur la qualité de la viande sont moins pris en considération par le personnel responsable de la production de la viande (Eleveurs, bouchers, travailleurs de l'abattoir, vétérinaires, fonctionnaires du secteur agricole et des communes). Et cela, pour plusieurs causes, parmi elles, l'inconscience du personnel, la non sensibilisation et le manque de formation des responsables de la filière, mais aussi, très peu d'études sur l'état de stress des bovins dans la période de pré-abattage ont été effectuées. Pour toutes ces raisons, nous nous proposons de réaliser un humble travail pour apporter notre contribution à cette problématique que nous considérons d'un intérêt scientifique et socio-économique de première importance et nous souhaitons déclencher la réflexion et la sensibilisation des professionnels de la filière viande et celle des éleveurs pour une meilleure qualité de la viande et surtout un meilleur bien être animal. C'est ainsi que notre étude a pour principal objectif de connaître l'impact des procédures de la période de pré-abattage telles qu'elles sont pratiquées en Algérie, sur l'état de stress des bovins et mettre en évidence le niveau de stress des bovins dans nos abattoirs par le dosage du cortisol et l'évaluation de l'activité de l'enzyme la créatine phosphokinase et leur influence sur la cinétique de la chute du pH post mortem des muscles.

II- Matériels et Méthodes :

II-1- Matériels :

II-1-1- Abattoirs :

L'étude a été faite au niveau de trois abattoirs, deux de la wilaya de Sétif (Un étatique : Abattoir de Bouandas : n°03) et l'autre appartenant à un privé (Abattoir de Bir Hadada : n°01), le troisième de la wilaya de Bejaia (Abattoir étatique : Abattoir de Kherrata : n°02).

Le choix de ces abattoirs est basé sur la permission du vétérinaire inspecteur responsable de l'abattoir et du propriétaire du bovin destiné à l'abattage, pour faire des prélèvements et des mesures de métabolites. Ces abattoirs en réalité, sont des tueries. La numérotation de ces abattoirs a été faite selon l'ordre chronologique de réalisation des prélèvements et des mesures de métabolites. Nous nous sommes permis d'effectuer aussi une typologie de ces abattoirs, pour informer le lecteur de la réalité de nos abattoirs et surtout des

procédures utilisées par nos éleveurs, abatteurs et bouchers, dans le traitement des animaux arrivant à l'abattoir.

II-1-1-1- Abattoir de Bir Hadada (Abattoir n°01) :

❖ Emplacement :

L'abattoir est situé à la commune de Bir Hadada, C'est un abattoir privé, le seul dans la commune qui est distant de 35 km du chef lieu de la wilaya, il se trouve dans le sud de la commune. L'abattoir est situé loin des habitations, il est dans la sortie de la commune en prenant la route de Sétif vers Ain Azel, son accès est une piste non goudronnée d'environ 200 m de la route principale. L'abattoir couvre aussi les communes limitrophes.

❖ Infrastructure :

L'abattoir clôturé par un mur de briques, il dispose d'un seul portail d'environ 04 m. A l'intérieur, le bâtiment se trouve loin du portail d'entrée d'environ 10 m. Le bâtiment de l'abattoir contient deux accès, l'un pour l'entrée des animaux vivants et l'autre pour la sortie des carcasses. L'abattoir ne dispose pas d'un quai de déchargement et de parc extérieur du stockage des animaux. On trouve à l'intérieur du bâtiment de l'abattoir :

- ❑ La salle d'abattage qui est séparée en deux salles par un mur au milieu, à droite on trouve la salle d'abattage des ovins et des caprins et à gauche la salle d'abattage pour les bovins ;
- ❑ Le Bureau du vétérinaire ;
- ❑ La salle sanitaire ;
- ❑ Une chambre pour les travailleurs ;
- ❑ Une chambre froide ;
- ❑ Un espace libre pour la communication entre les différentes salles (Bureau du vétérinaire, chambre des travailleurs, salle sanitaire et la salle d'abattage des ovins et caprins);
- ❑ Un petit couloir réservé pour sortir les carcasses, il a un accès à la chambre froide, à l'espace libre, et à la salle d'abattage des bovins.

Organisation des compartiments de l'abattoir :

On commencera par la porte d'entrée des animaux vivants, juste après, on trouve la salle d'abattage des ovins et caprins, qui dispose de deux accès à la salle d'abattage des bovins. Un

autre accès, avec la porte d'entrée à gauche et l'autre à la fin du mur de séparation, qui est réservé pour amener les carcasses ovines et caprines à la chambre froide. À proximité de la salle d'abattage des bovins, on trouve un mur qui sépare la salle d'abattage avec le couloir. Ce dernier a un accès sur l'extérieur pour sortir les carcasses, à la chambre froide, et à la salle d'abattage des bovins et à l'espace libre, Les deux salles d'abattage sont dotées de bassins pour le nettoyage des viscères.

Le sol du bâtiment de l'abattoir est recouvert tout entier par un carrelage, et les murs de la salle d'abattage avec la faïence à une hauteur de 2 m.

❖ **Equipement :**

L'abattoir dispose :

- ❑ D'un Rail aérien pour déplacer les carcasses à la chambre froide, et de la chambre froide à la porte réservée pour sortir les carcasses ;
- ❑ Des crochets : Pour la suspension des carcasses, soit lors du dépouillement, soit pour seulement être suspendues, ou pour accrocher la carcasse au rail pour être déplacée. Il y a d'autres crochets qui sont fixés tout autour des murs de la salle d'abattage, et qui sont utilisés pour suspendre les carcasses des ovins et caprins, ainsi que les viscères.
- ❑ Des treuils de soulèvement : Pour la suspension des animaux ainsi que pour mettre les animaux en décubitus ;
- ❑ Des couteaux : Pour la saignée des animaux, pour dépouiller, pour couper ou extraire les organes ou parties de la carcasse ;
- ❑ Un compresseur pour gonfler les ovins et caprins ainsi que les têtes de bovins ;
- ❑ Un carcher pour nettoyer le sol et les murs ;
- ❑ Un réservoir d'eau ;
- ❑ Un Fusil : Baguette d'acier pour aiguiser les couteaux ;
- ❑ Une Hache : Instrument tranchant pour couper les os ;
- ❑ Des bacs.

❖ **Le personnel :**

Les personnel de l'abattoir est :

- ❑ Le propriétaire de l'abattoir ;
- ❑ Les travailleurs : 4 ouvriers ;
- ❑ Le vétérinaire : Un vétérinaire.

Les vêtements des travailleurs sont des vêtements non spécifiques.

❖ **Hygiène de l'abattoir :**

Le nettoyage de la salle d'abattage se fait à la fin du travail, surtout lorsqu'ils reçoivent plusieurs bovins, mais en générale à chaque fois l'animal est saigné, le travailleur nettoie le lieu de saignement de l'animal pour éliminer le sang. Ainsi pour les viscères, ils les nettoient directement après leurs extraction et les déchets sont sortis de la salle, sauf pour la peau, qu'il met de cote jusqu'à la fin du travail.

❖ **Inspection vétérinaire :**

L'inspection vétérinaire se fait seulement sur les carcasses à la fin de saignement de tous les animaux.

❖ **Le fonctionnement :**

L'abattoir ouvre à 7 h du matin et ferme à 13 h, mais parfois à 12 h, lorsqu'ils ne reçoivent pas beaucoup des animaux. L'abattoir abat de 2 à 15 bovins et 2 à 10 ovins et caprins par jour. Le transport des bovins se fait par des camions, soit avec bâche ou non. Les bovins proviennent de la ferme ou du marché. Le déchargement en générale se fait directement à l'entrée de la salle d'abattage, sauf pour quelques bouchers qui préfèrent utiliser la pente de la route vers l'entrée de la salle pour décharger leur animaux, et éviter le glissement des animaux. Les ovins et les caprins sont transportés par camion avec les bovins ou seuls par des camionnettes. Les animaux sont amenés au lieu d'abattage, ils sont soit, directement saignés, ou ils sont laissés jusqu'au moment de leur tour, dans ce cas certains bouchers, laissent leurs animaux dans le camion jusqu'au moment de leur tour, ou ils procèdent au déchargement de l'animal et attendent à l'entrée de la salle d'abattage, car l'abattoir ne dispose pas d'un parc extérieur de stockage.

❖ **Méthode de contention et de saignée :**

Dans le lieu de la saignée, les animaux sont attachés par une corde, la première extrémité est fixée sur la tête du bovin et l'autre extrémité est attachée à un crocher fixé au sol, puis le travailleur prend une autre corde par laquelle, il lie les deux membres antérieurs, il commence en général par le membre antérieur droit puis, il attache le membre antérieur gauche, ensuite il tire sur la corde, il passe ensuite la corde entre les deux membres antérieurs et rejoint le membre postérieur gauche où il fait tourner la corde sur le membre, puis il le passe du coté droit au niveau du jarret. Un autre ouvrier prend la corde et l'accroche au treuil

de soulèvement, puis il tire jusqu'à ce que l'animal tombe, ensuite il fixe la corde, et libère la tête, oriente l'animal, puis il fait tourner la tête dans la position suivante : Les cornes en bas et la bouche en haut. A l'aide d'un autre ouvrier qui va fixer le membre antérieur droit, l'autre ouvrier saigne l'animal.

Le dépouillement se fait au sol, et l'éviscération se fait après la suspension de l'animal tout cela dure en général 40 mn à une heure ; Puis il découpe la carcasse en deux en suivant la colonne vertébrale. La découpe se fait directement ou après une durée qui peut aller jusqu'à une heure. La majorité des bouchers laissent leur carcasse dans l'abattoir 24 h, puis la récupère ; En hiver, la carcasse est laissée dans la salle d'abattage à température ambiante, mais en été elle est laissée dans la chambre froide.

II-1-1-2- Abattoir de Kherrata (abattoir étatique) (Abattoir n°02) :

❖ Emplacement :

L'abattoir se situe à la sortie de la ville de Kherrata en prenant la route vers Bejaia. Il est proche des habitations. Son accès est une piste d'environ 50 m de la route goudronnée, il est entouré par un mur à base de brique. Cette clôture est dotée d'une seule porte et loin de la porte du bâtiment de l'abattoir d'environ 10 m.

❖ Infrastructure :

À l'intérieur de la clôture, on trouve le bâtiment de l'abattoir, et derrière le bâtiment on trouve, le quai de déchargement, un parc extérieur de stockage (la ferme de l'abattoir), la salle sanitaire est entre la ferme et le bâtiment de l'abattoir.

Le bâtiment de l'abattoir dispose de deux accès l'un pour sortir les carcasses, qui est en face de la porte de clôture, et l'autre pour faire entrer les animaux vivants, qui est derrière le bâtiment. A l'intérieur du bâtiment, en rentrant de la porte réservée aux animaux à abattre, on trouve :

- ❑ la salle d'abattage pour les trois espèces (Bovins, ovins et caprins) ;
- ❑ la salle réservée pour le nettoyage des viscères ;
- ❑ Une chambre froide ;
- ❑ Bureau du vétérinaire.



Figure 21 : Illustration du Bâtiment de l'abattoir de Kherrata (Photo personnelle)



Figure 22 : Le quai de déchargement (Photo personnelle)



Figure 23 : La ferme de l'abattoir de Kherrata et couloir d'amenée des animaux à la salle d'abattage (Photo personnelle)

Organisation des compartiments de l'abattoir :

À l'entrée de la porte de la clôture, le bâtiment est à droite ; Et derrière le bâtiment, on trouve le quai de déchargement puis vient la ferme, la salle sanitaire puis le bâtiment, le quai a une porte d'entrée au bâtiment, où il ya un couloir pour acheminer les animaux à la salle d'abattage. A l'intérieur du bâtiment, on trouve la salle d'abattage, et à gauche la salle de nettoyage des viscères, elles sont séparées par un mur qui a deux accès, l'un proche de la porte d'entrée et l'autre à l'extrémité du mur ; Puis vient un mur qui sépare les deux salles du bureau du vétérinaire et de la chambre froide, ensuite on trouve la porte de sortie des carcasses, réservée aussi à l'entrée des travailleurs et autres personnes.

Le sol de l'abattoir est en béton et les murs de la salle d'abattage en faïence.



Figure 24 : Image représentant la porte d'entrée des animaux vivants (Photo personnelle).



Figure 25: La salle d'abattage des bovins et des petits ruminants (Photo personnelle)



Figure 26 : La salle de nettoyage des viscères (Photo personnelle)



Figure 27: La chambre froide de l'abattoir (Photo personnelle)

❖ Equipement :

L'abattoir dispose de :

- ❑ Des treuils de soulèvement ;
- ❑ Des crochets à main ;
- ❑ Des piliers en métallique pour suspendre les carcasses (Bovins, ovins et caprins) et les viscères. Ces piliers ont des crochets fixes ;
- ❑ Des couteaux ;
- ❑ Un compresseur pour gonfler les ovins et caprins ainsi que les têtes de bovins ;
- ❑ Un carcher pour le nettoyage du sol et des murs ;
- ❑ Un réservoir d'eau ;
- ❑ Un Fusil ;
- ❑ Une Hache ;
- ❑ Des bacs ;
- ❑ Des seaux.



Figure 28: L'organisation des treuils de soulèvement dans la salle d'abattage (Photo personnelle)

❖ **Le personnel :**

Le personnel de l'abattoir est :

- ❑ Le responsable de l'abattoir ;
- ❑ Le chef des ouvriers ;
- ❑ Les travailleurs : Au nombre de quatre ;
- ❑ Le vétérinaire inspecteur ;

Les vêtements des travailleurs ne sont pas spécifiques.

❖ **Hygiène de l'abattoir :**

Le nettoyage se fait à la fin du travail, ils utilisent le carcher, mais le sang éliminé à chaque saignée de l'animal est nettoyé au sceau.

❖ **Inspection vétérinaire :**

Elle se fait sur les carcasses et le cinquième quartier. À la fin de la saignée et de la fente des carcasses.

❖ **Le fonctionnement :**

L'abattoir s'ouvre à 6 h du matin jusqu'à 12 h et parfois jusqu'à 13 h selon l'effectif des bovins disponibles. Il couvre les communes limitrophes. L'abattoir abat de un à dix bovins et de un à huit ovins et caprins par jour. Le transport des bovins se fait par des camions bâchés, ou non, les ovins et les caprins sont transportés avec les bovins ou seuls par des camionnettes. Le déchargement se fait sur le quai, mis à part certains camions et camionnettes, qui n'ont pas la même hauteur avec le quai. Dans ce cas là, le déchargement se fait près de la porte d'entrée à la salle d'abattage. En général, les animaux arrivant à l'abattoir sont abattus rapidement, sauf pour quelques bouchers qui préfèrent les ramener la veille pour leur appliquer la diète hydrique, et reposer leurs animaux, c'est le même cas pour les animaux provenant du marché.

Les animaux arrivés sont abattus rapidement, sauf s'il y a plusieurs animaux. Ils sont alors, soit laissés dans le parc extérieur (Ferme de l'abattoir) jusqu'au moment de leur tour, soit acheminés et laissés sur le lieu de la saignée mais cela est très rare. Ce cas est plutôt fréquent pour les ovins et les caprins.

Dans le lieu de saignée, l'ouvrier attache par un corde la tête de l'animal et le fixe à un crochet, fixé sur le sol, puis l'ouvrier prend une autre corde par laquelle il attache le membre

postérieur droit, ensuite il l'attache au treuil de soulèvement. A ce moment un autre ouvrier tire la corde jusqu'à ce que l'animal s'affale.

Les ouvriers font entrer les autres animaux et mettent en décubitus (Au maximum quatre bovins), et commencent à saigner ces animaux, ils débutent en général par le plus agressif. Ils détachent la tête, puis ils orientent l'animal et tournent la tête jusqu'à ce que les cornes soient en bas et la bouche en haut et avec l'aide d'un autre ouvrier, ils procèdent à la saignée de l'animal. Le dépouillement au sol et l'éviscération sont ensuite exécutées après la suspension de l'animal. Cette opération dure environ 40 mn à une heure. La fente de la carcasse se fait directement après. L'opération peut aller parfois jusqu'à 2 h. Les bouchers sortent leur carcasse directement après l'inspection vétérinaire.

II-1-1-3- Abattoir de Bouandas (abattoir étatique) (Abattoir n°03) :

❖ Emplacement :

L'abattoir se situe à l'entrée de la commune de Bouandas, sur la route de Sétif vers Bouandas, leur accès est une route godronnée d'environ 30 m de la route principale, il est proche des habitations, et ne dispose pas d'une clôture. En bout de route, on trouve un petit espace de parking, une petite chambre pour le gardien de l'abattoir et le bâtiment d'abattage.

❖ Infrastructure :

Le bâtiment de l'abattoir dispose de trois accès, l'un pour faire entrer les animaux à abattre, le deuxième pour sortir les carcasses, et le troisième pour sortir les déchets. Le bâtiment dispose d'une chambre à un seul accès de l'extérieur du bâtiment, elle est proche de la porte de sortie des carcasses réservée au vétérinaire (Bureau du vétérinaire inspecteur).

A l'intérieur du bâtiment, on trouve :

- ❑ La salle d'abattage des ovins et des caprins ;
- ❑ La salle d'abattage des bovins ;
- ❑ La salle sanitaire ;
- ❑ La chambre des ouvriers.

L'abattoir ne dispose, ni du quai de déchargement, ni de parc extérieur de stockage (Ferme d'abattoir).

Organisation des compartiments de bâtiment d'abattoir :

À l'arrivée à l'abattoir, on trouve le parking et le bâtiment. A la façade droite du bâtiment, se trouve la porte d'entrée des animaux à abattre et à la façade gauche, se trouve la porte de sortie des carcasses. Nous commencerons par la porte d'entrée des animaux, juste à l'entrée, on trouve la salle d'abattage des ovins et des caprins et à gauche, la salle sanitaire, puis vient la salle d'abattage des bovins en avant de la salle des ovins et caprins. Ces deux salles d'abattage ne sont même pas séparées par un mur mais il ya un rétrécissement de diamètre entre eux. En avant du rétrécissement, nous avons la salle d'abattage des bovins, et en face l'accès de la chambre des travailleurs, à gauche la porte de sortie des carcasses, et à droite la troisième porte pour sortir les déchets.

Le sol des deux salles d'abattage est en béton et les murs en faïence.

❖ Equipement :

L'abattoir dispose de :

- ❑ Des treuils de soulèvement ;
- ❑ Des crochets à main ;
- ❑ Des crochets sont fixés sur les murs des deux salles d'abattage ;
- ❑ Des couteaux ;
- ❑ Un compresseur pour gonfler les ovins et les caprins ainsi que les têtes de bovins ;
- ❑ Un carcher pour nettoyage du sol et des murs ;
- ❑ Un réservoir d'eau ;
- ❑ Un Fusil ;
- ❑ Une Hache ;
- ❑ Des bacs ;
- ❑ Des seaux.

❖ Le personnel :

- ❑ Le responsable de l'abattoir ;
- ❑ Le vétérinaire inspecteur ;
- ❑ Un technicien vétérinaire ;
- ❑ Dix ouvriers ;

❖ **Hygiène de l'abattoir :**

Le nettoyage se fait à la fin du travail.

❖ **Inspection vétérinaire :**

L'inspection se fait à la fin de la saignée et la fente des carcasses.

❖ **Le fonctionnement :**

L'abattoir ouvre à 6 h du matin et plutôt le samedi, où il ouvre à 4 h 30 mn du matin et ferme à 12 h ; Sauf le dimanche où il ferme à 17 h. Le vendredi et le lundi sont des jours de repos. L'abattoir abat de deux à trente bovins par jour et le dimanche il peut abattre jusqu'à soixante bovins. Pour les ovins et les caprins, l'abattoir abat de deux à 30 sujets par jour. Le transport des bovins se fait par des camions. Les ovins et les caprins sont transportés, soit avec les bovins, ou seuls par des camionnettes. Les animaux abattus arrivent des fermes, qui sont situées dans les régions et les communes limitrophes, et proviennent aussi du marché.

Le déchargement se fait près de la salle d'abattage pour chaque espèce c'est-à-dire, les bovins près de leur salle d'abattage, et les ovins et caprins près de leur salle. Les animaux arrivés à l'abattoir sont rapidement abattus sauf s'il y a plusieurs animaux. Les travailleurs font entrer un nombre limité d'animaux, au maximum 5 bovins et le reste est laissé dans les camions jusqu'à leur tour. Pour les ovins et les caprins, ils sont introduits tous à la salle d'abattage.

Les bovins déchargés sont conduits vers le lieu de la saignée, où ils sont attachés sur un crochet fixé au sol ou au mur, puis les ouvriers commencent par la contention des deux membres antérieurs comme suit : Ils attachent le premier membre puis le deuxième, ensuite ils serrent la corde jusqu'à ce que les deux membres soient en contact, puis ils réalisent un nœud, et prennent une autre corde pour lier les deux membres postérieurs, mais cette fois-ci ils passent la corde entre les membres postérieurs et la font passer entre les deux membres antérieurs, et font tourner la corde sur la première qui fixe les deux membres antérieurs. À ce moment, un des ouvriers tire la corde pour rapprocher les membres antérieurs des membres postérieurs jusqu'à ce que l'animal s'affale. Une fois l'animal à terre, l'ouvrier continue à tirer sur la corde jusqu'à ce que les quatre membres chevauchent ; Puis, il fait attacher les quatre membres ensemble. Ensuite, l'ouvrier libère la tête et oriente l'animal et fait tourner la tête, met les cornes en bas et la bouche en haut, puis saigne l'animal. Dès que l'animal est

mort, on procède au dépouillement au sol, puis à la suspension de l'animal, à son éviscération et la fente de la carcasse.

II-1-2- Animaux :

Nous avons choisi de mener cette étude sur l'espèce bovine : Les bovins destinés à l'abattage.

Nous avons suivi au total, 42 bovins (5 femelles et 37 Males) de races et d'âges différents (Locale et améliorée), (Moins de 2ans et de 2 ans et plus), respectivement. Ils appartiennent à 22 bouchers, et étaient transportés, de la ferme ou du marché. Les animaux provenant de la ferme ont plusieurs origines, soit ils sont engraisés par le propriétaire, soit ils sont achetés dans d'autres fermes avant ou la veille de leur abattage, ou ils sont achetés du marché 2 à 6 jours avant leur abattage. L'âge des animaux est mentionné selon la déclaration des propriétaires car la majorité des propriétaires ne veulent pas qu'on vérifie l'âge de leurs animaux. La race est déterminée par l'observation de la robe de l'animal, sa morphologie et la déclaration du propriétaire.

II-1-2-1- Choix des animaux :

Le choix de ces animaux s'est fait sur plusieurs critères :

- ❑ L'acceptation du propriétaire d'abord ;
- ❑ Puis :
 - La durée de transport ;
 - La mise en diète hydrique et au repos ou non ;
 - L'origine de l'animal (Ferme ou marché) ;
 - L'âge et le sexe de l'animal.

II-1-2-2 : Classement des animaux :

Vu la diversité de l'origine des animaux, c'est-à-dire la provenance des animaux arrivant à l'abattoir, soit de la ferme ou du marché. Les animaux provenant du marché sont principalement achetés du marché d'EL Eulma, qui est loin de l'abattoir de Kherrata d'environ 85 km, de l'abattoir de Bouandas d'environ 95 km et de l'abattoir de Bir hadad d'environ 30 km. Malheureusement, les prélèvements de l'abattoir de Bir hadada, n'ont pas été réalisés, à cause du refus des bouchers. Ces animaux du marché sont susceptibles de subir plus les facteurs stressants par apport aux animaux acheminés directement de la ferme vers l'abattoir, comme le changement du milieu à plusieurs reprises, de fréquenter de

nouveaux congénères et différentes manipulations au niveau du marché et au niveau de l'abattoir, en plus la durée de transport est plus longue (De la ferme au marché puis à l'abattoir). Ainsi, vu les procédures appliquées au niveau de l'abattoir, comme la durée et le lieu d'attente des animaux, la technique de mise en décubitus et la durée en décubitus ; Nous n'oserons pas, classer ces animaux selon l'origine et la durée d'attente. Donc, nous avons procédé à classer ces animaux premièrement selon leur origine en deux groupes, puis selon la durée d'attente au niveau de l'abattoir en 6 classes et nous avons ajouté une classe qui contient seulement les femelles.

Selon l'origine :

- Groupe 1 : Constitué des animaux provenant du marché, ils sont au nombre de dix (10 sujets), et sont tous des males. La durée de transport de ces animaux est supérieure à 2 heures, cette dernière est la durée de transport du marché à l'abattoir. Ces animaux sont transportés de la ferme vers le marché, puis à l'abattoir. Et ils sont transportés en groupe de minimum 5 sujets et le maximum de plus de 10 sujets.
- Groupe 2 : Constitué d'animaux provenant de la ferme, ils sont au nombre de trente deux (32 sujets : 5 femelles, 27 males). La durée de transport de ces animaux est estimée à moins ou égale à 2 h. Ces animaux sont transportés seuls ou en groupe, le maximum est de 3 sujets.

Nous avons ensuite classé ces deux groupes en classes selon la durée d'attente au niveau de l'abattoir comme suit :

Le groupe 1 en deux classes :

- ❖ Classe 1 : Renferme les animaux directement abattus, qui ont une durée d'attente de moins de 25 mn, constituée de 6 sujets. Certains de ces animaux sont transportés et abattus avec des yeux cachés par un sachet. La majorité de ces animaux sont déchargés dès l'arrivée et acheminé au lieu d'abattage, seul un sujet a été laissé dans le camion.
- ❖ Classe 2 : Renferme les animaux mis au repos pendant 15 h et plus. Ces animaux sont abattus le lendemain de leur arrivée à l'abattoir, constitué de 4 sujets. Ces animaux sont transportés et laissés dans la ferme jusqu'à leur abattage avec des yeux cachés par un sachet.

Le groupe 2 est divisé en 5 classes (classe 3, classe 4, classe 5, classe 6, classe 7) :

- ❖ Classe 3 : Renferme les animaux mis au repos pendant 12 h et plus. Contient 4 sujets. Deux animaux sont laissés au niveau de la ferme de l'abattoir avec des yeux cachés avec un sachet.
- ❖ Classe 4 : Renferme les animaux ayant une durée d'attente de moins de dix minutes (< 10mn). Regroupe 4 sujets. L'un de ces animaux a été déchargé et abattu avec les yeux cachés par un sachet.
- ❖ Classe 5 : Renferme les animaux ayant une durée d'attente de 10 à 30 mn. Comprend 12 sujets. Deux animaux sont transportés et abattus avec les yeux cachés avec un sachet.
- ❖ Classe 6 : Renferme les animaux ayant une durée d'attente de plus de 30 mn (> 30mn). Comprend 7 sujets. Un de ces animaux, est transporté et abattu avec ces yeux cachés avec un sachet.

Et la septième classe :

Classe 7 : Renferme les animaux de sexe femelle ayant une durée d'attente d'en moyenne 15 mn. Comprend 5 sujets.

II-1-3- Matériels d'Expérimentation :

II.1.3.1. Matériels de prélèvements :

Le matériel utilisé pour faire des prélèvements de sang :

- ❑ Des seringues de 5 ml ;
- ❑ Des aiguilles pour bovins ;
- ❑ Des tubes secs ;
- ❑ La glacière avec plaques eutectiques;
- ❑ Gants à usage unique ;
- ❑ Calepin pour identification des animaux, et autres observations (réactions comportementales, date de prélèvement et d'abattage, heures de départ, arrivée à l'abattoir et heure d'abattage des animaux, heure de prise de sang et résultats obtenus.
- ❑ Etiquettes d'identification des animaux ;
- ❑ Blouse.
- ❑ Bottes

II.1.3.2. Matériels de mesure des métabolites :

- Un pH mètre : pH/°c- Mètre étanche pour viande (HI 99163 marque HANNA instruments) avec ses accessoires, préalablement calibré :
 - FC 232 D Electrode pH/°C avec connecteur DIN et câble 1m ;
 - FC 098 couteau en acier inoxydable ;
- L'eau distillée pour rinçage de l'électrode et le couteau ;
- Papier filtrante pour sécher l'électrode et le couteau ;;
- Une pissette en plastique remplie d'eau distillée pour rincer l'électrode et le couteau ;
- Un stylo ;
- Des feuilles ;
- Une montre ;
- La blouse ;

II.1.3.3. Matériels de laboratoire :

➔ Préparation de l'échantillon :

- Echantillons : Sang coagulé dans des tubes secs ;
- Tubes secs ;
- Centrifugeuse ;
- Cordon en bois pour mélanger le sang coagulé ;
- Pipette à embout jetable pour récupérer le sérum ;
- Gants à usage unique ;
- La blouse.

➔ Matériels pour le dosage d cortisol :

- Automate VIDAS PC

VIDAS PC



Figure29 : Image de l'automate VIDAS PC (Fiche technique).

- VIDAS Cortisol S (CORS) Réf 30 451, Marque Biomérieux SA : Contenant des réactifs pour 60 tests : Un coffret de réactifs à 60 tests contient :
 - 60 cartouches CORS (STR), prêts à l'emploi, la cartouche est composée de 10 puits recouverts d'une feuille d'aluminium scellée et étiquetée. L'étiquette comporte un code du test, le numéro de lot et la date de péremption du coffret. Le premier puits comporte une partie prédécoupée pour faciliter l'introduction de l'échantillon. Le dernier puits est une cuvette permettant la lecture en fluorimétrie. Les différents réactifs nécessaires à l'analyse sont contenus dans les puits intermédiaires.

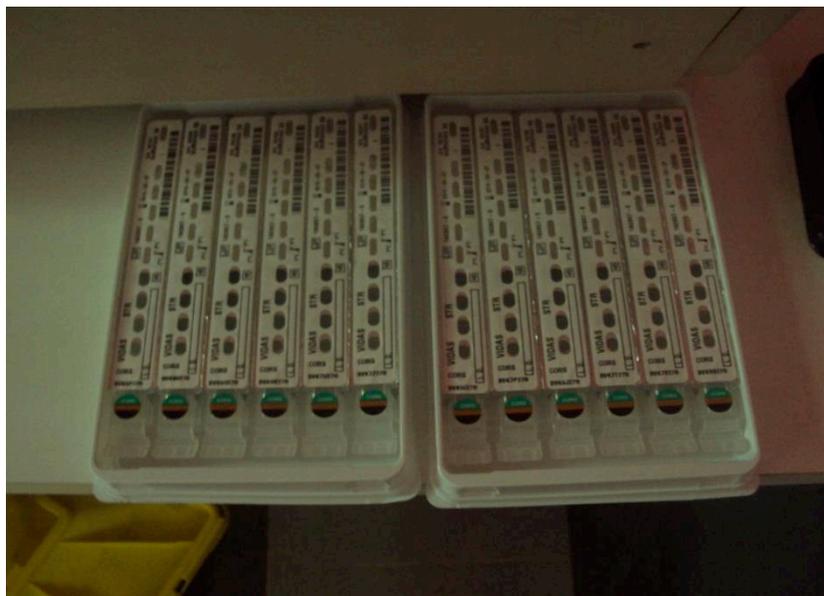


Figure 30: Image représentant les cartouches CORS (Photo personnelle).

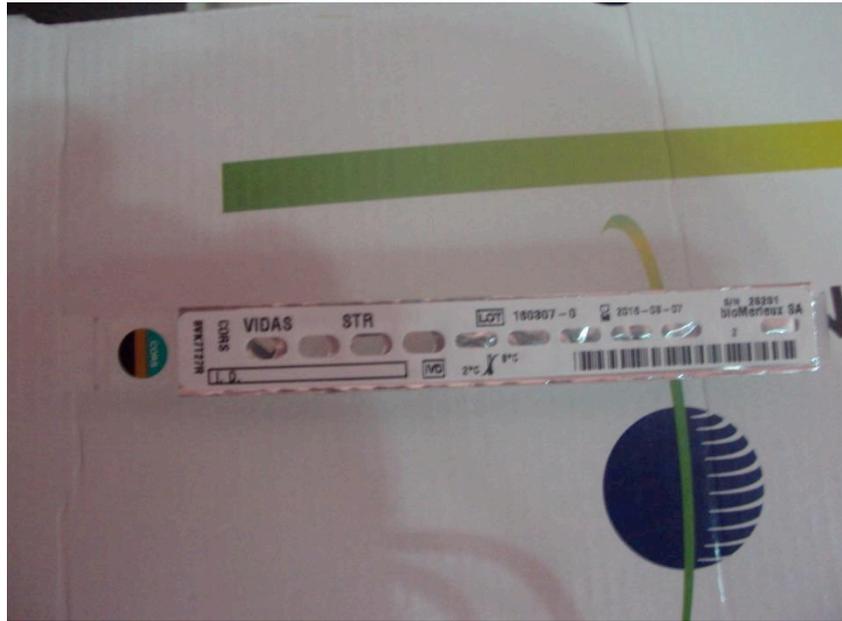


Figure 31: Représentation d'une cartouche CORS (Photo personnelle).

- 60 cônes CORS(STR), prêts à l'emploi, cônes sensibilisés par des immunoglobulines poly clonales de lapin anti-cortisol.
- Contrôle CORS (C1), prêt à l'emploi, sérum humain + cortisol + azoture de sodium 1 g/l.
- Calibrateur CORS (S1), prêt à l'emploi, sérum humain + cortisol + azoture de sodium 1g/l.
- ❑ Pipette à embout jetable permettant la distribution de 100 µL ;
- ❑ Sérum ;
- ❑ Gants à usage unique ;
- ❑ La blouse.

→ Matériels pour évaluer l'activité de l'enzyme créatine kinase :

- Appareil de spectrophotométrie (marque Biolab).



Figure 32: Image représentant l'appareil de Spectrophotométrie (Photo personnelle)

- Réactif : Marque SPINREACT : Nom : CK-NAC(lyophilized human serum) contenant :
- Sérum ;
- Les tubes secs ;
- Pipette à embout jetable (deux types : Un (couleur bleu) pour aspirer le réactif 500 μ l et l'autre (couleur jaune) pour aspirer le sérum 10 μ l) ;
- L'eau distillée ;
- Porte tubes ;
- Chronomètre ;
- Un flacon en plastique pour mettre l'eau distillée ;
- Gants à usage unique ;
- La blouse.

II-2- Méthodes :

II-2-1- Méthode de prélèvement :

Les prélèvements sont effectués dans la période allant du 15/12/2015 au 01/02/2016.

II.2.1.1. Protocole de prélèvement de sang :

Au début, nous avons procédé au prélèvement de sang au début et à la fin de toutes les opérations de la période de près abattage, comme suit :

- Avant le chargement ;
- A l'arrivée à l'abattoir et après le déchargement ;
- Le moment de mettre l'animal en décubitus ;
- Au moment de la saignée.

Cela est valable pour les animaux provenant de la ferme ou du marché (Au niveau du marché avant le chargement). Mais vu les contraintes rencontrées sur le terrain comme :

- Quelques propriétaires d'animaux n'acceptant pas de se déplacer à leurs fermes pour nous permettre de réaliser les prélèvements, ainsi qu'au niveau de l'abattoir ;
- Quelques propriétaires ont bien accepté mais seulement au moment de la contention de l'animal pour la saignée ;
- D'autres ont bien accepté mais les prélèvements n'ont pas été réalisés, à cause de l'agressivité des animaux ; Parfois, c'est à cause du manque de moyens de contention des animaux, soit à la ferme, soit au niveau de l'abattoir ;

C'est pour ces raisons là que la majorité des prélèvements ont été effectués au moment de la mise l'animal en décubitus et au moment de la saignée, même si nous avons pu prélever dix animaux au niveau de la ferme pour les deux sexes (males et femelles).

Le protocole tracé au départ a été respecté, mais pas réalisé en totalité sur tous les animaux.

Les prélèvements de sang sont faits au niveau de la veine jugulaire comme suit :

II.2.1.2. Préparation du matériel de prélèvement et de l'animal :

L'animal est d'abord identifié, comme suit : On place une étiquette d'identification sur le tube sec de prélèvement, et on identifie l'animal (Numéro de bovin sur l'étiquette, et sur le calepin, d'autres renseignements (race, robe, sexe, âge, date et heure de prélèvement). On prend la première lettre en majuscule de l'espèce, et on met le numéro devant la lettre, selon l'ordre de prélèvements exemple : Le premier bovin, on le note B1, le deuxième on le note B2, et ainsi de suite jusqu'au bovin 42. Pour les prélèvements, on note la première lettre pour

le mot prélèvement en majuscule, et on met devant lui le numéro de prélèvement, selon l'ordre de prélèvement exemple, pour le premier prélèvement en note P1, pour le deuxième prélèvement P2, pour le troisième prélèvement P3 et pour le quatrième prélèvement P4), puis on fait l'emplacement de l'aiguille sur la seringue. De l'autre côté, le propriétaire de l'animal ou l'ouvrier de l'abattoir procède à la contention de l'animal.

II.2.1.3. Technique de prélèvement :

Le garrot est réalisé par la main gauche sur la veine jugulaire, et par la main droite on introduit l'aiguille perpendiculairement à la veine jugulaire (Soit seule, soit avec la seringue), En suite, on vérifie si l'aiguille est dans la veine ou non, puis on place la seringue, et on aspire le sang. Si l'aiguille est avec la seringue, on aspire et s'il n'y pas de sang, on essaie une autre fois d'introduire l'aiguille, ou la faire bouger jusqu'à ce que le sang s'écoule dans la seringue) la quantité de sang prélevée est de 5 ml. Le sang est ensuite versé dans le tube réservé pour l'animal comme suit : On place le bout de la seringue sur la face interne du tube et on verse lentement le sang, pour éviter l'hémolyse de sang prélevé. Puis on met le tube dans la glacière.

Les prélèvements sont laissés dans la glacière jusqu'à ce qu'on termine d'effectuer les mesures des métabolites (pH et température) au niveau de l'abattoir. Ensuite on prend les prélèvements, soit directement au laboratoire pour faire centrifuger les échantillons et faire le dosage. Soit on prend les prélèvements au pharmacien pour centrifugation et on récupère le sérum, pour le congeler dans un réfrigérateur. Si nous n'avons pas de lieu de centrifugation, on met les prélèvements dans le réfrigérateur jusqu'au lendemain puis on les ramène au laboratoire.

II-2-2- Méthodes de mesure des métabolites :

II.2.2.1. Protocole de mesure des métabolites :

Au début, nous avons procédé aux mesures comme suit :

- Juste après le dépouillement de l'animal et la fente de la carcasse ;
- Puis chaque 30 mn jusqu'à 3 h après l'abattage ;
- Ensuite à 6 h et 12 h après l'abattage ;
- Enfin 24 h après l'abattage ;

Et comme toujours, les contraintes du terrain nous ont obligés de réaliser les mesures seulement au niveau de l'abattoir dans les moments où l'on peut les faire en respectant la

durée entre les deux mesures qui est de 30 mn. Mais même au niveau de l'abattoir, nous n'avons pas pu réaliser les mesures de pH et de température pour l'ensemble des animaux dans les mêmes heures (1 h, 1 h 30 mn, 2 h, 2 h 30 mn après la saignée), car le dépouillement et la fente des carcasses n'est pas homogène en temps, l'humeur des propriétaires aussi est changeante, en levant les carcasses avant de terminer le travail.

II.2.2.2. Préparation du matériel de mesures :

Les mesures sont faites sur les carcasses des animaux suivis avant leur abattage.

La préparation du matériel se fait juste après le dépouillement et avant la fente de la carcasse comme suit :

Le papier filtre est sorti avec le calepin, la pissette et la remplir d'eau distillée ; Tout ce matériel est mis proche de la carcasse dans un endroit protégé. En suite le pHmètre, l'électrode menée de câble, couteau tranchant, sont sortis de la mallette de transport, on connecte l'électrode menée de câble au pHmètre, et le couteau est mis dans la poche de la blouse. En fin, la fiche de note de mesure est préparée sur le calepin, avec la date, l'endroit, le nombre de mesure et l'heure de mesure.

II.2.2.3. Techniques de mesures :

Après la fente de la carcasse, on procède à faire les mesures comme suit : On détermine les endroits de mesures comme suit : On compte les sept vertèbres cervicales, puis les vertèbres thoraciques jusqu'à la 11^{ème} et 12^{ème} et on fait une croix sur le lieu de mesure qui est entre la 11^{ème} et 12^{ème} vertèbre thoracique.



Figure 33 : Image représentant la demi-carcasse (Photo personnelle)



Figure 34 : Image représentant l'endroit n° 1 pour la mesure de pH et de la température (Entre épines vertébrales) (Photo personnelle)

On sort le pH mètre et on enlève l'étui antichoc de l'électrode, Puis on sèche l'électrode par un papier filtre, Ensuite on met en place le couteau tranchant et on allume le pH mètre, par la suite, on introduit le couteau tranchant dans le premier endroit (Entre 11^{ème} et 12^{ème} vertèbre thoracique face ventrale de la carcasse) et on attend jusqu'à la disparition du mot « not stable » de l'afficheur (C'est le moment de la stabilité du pH et de la température), la disparition du mot se remarque par un signal (Le temps est d'environ 1s à 5 s et parfois environ 1 mn), on note la valeur obtenue et l'heure, puis on rince à l'eau distillée en utilisant la pissette, l'électrode après l'enlèvement du couteau, puis on rince ce dernier et on sèche l'électrode et le couteau par le papier filtre, puis on replace le couteau, et on prend la deuxième mesure au même endroit.



Figure 35 : Image représentant l'endroit n°2 pour les mesures du pH et de la température (Photo personnelle)

On réalise la même procédure décrite avant. Après cette mesure, on refait la même action pour le deuxième endroit et la même procédure (Entre 11^{ème} et 12^{ème} vertèbre thoracique face dorsale de la carcasse). Puis, on se déplace à d'autres carcasses et on réalise la même procédure de mesure. Enfin, l'étui antichoc est remis sur l'électrode et on attend 30 mn pour réaliser d'autres mesures sur la même carcasse. Toutes les 30 mn, la même procédure est répétée pour les deux endroits jusqu'à ce que le propriétaire fasse sortir la carcasse de l'abattoir. Les mesures prennent une durée de 5 mn à 10 mn.

II-2-3- Méthodes d'analyses :

Nous avons effectué le dosage et l'évaluation de l'activité de l'enzyme créatine kinase dans un laboratoire privé. C'est d'ailleurs pour cela, que nous avons limité le nombre d'échantillons, nos moyens financiers étant limités.

Au niveau du laboratoire, la première étape était de centrifuger le sang pour récupérer le sérum puis vient la procédure de dosage du cortisol et l'évaluation de l'activité de l'enzyme créatine kinase.

II.2.3.1. Centrifugation :

Les tubes sont mis sur le porte-tube par ordre de prélèvements (B1P1, B1P2, B1P3, B1P4), Puis, on mélange le sang de chaque tube par un cordon en bois pour libérer la fibrine, Ensuite on met les tubes dans la centrifugeuse 2500 tours/mn pendant 15 mn, Après, on fait sortir les tubes et on les met dans le porte-tube par ordre de prélèvements et on met en face de chaque tube un autre tube sec vide et on fait identifier les tubes vides, puis on copie l'identification de chaque tube mis en face de lui. Par la suite, on prend une pipette à embout jetable, on récupère le sérum de chaque tube centrifugé et le met dans le tube vide, qui est placé en face de lui. A chaque fois, on récupère le sérum d'un tube, on jette l'embout et on place un autre, Puis on prend le sérum pour le dosage du cortisol puis, par la suite, on évalue l'activité de l'enzyme créatine kinase.

II.2.3.2. Dosage du cortisol :

Nous avons fait le dosage du cortisol par l'automate VIDAS. Le choix de cet automate est basé sur le test de validation qui a été fait sur le sérum des bovins, ce test a été fait par (Proverbio D *et al.*, 2013). L'auteur fait la comparaison entre le dosage du cortisol par la technique ELISA et le dosage par l'automate sur le sérum des bovins qui ont subi des situations de stress. Sa conclusion est que dans le cas de stress, on peut utiliser l'automate VIDAS, mais dans les cas où on a besoin des valeurs précises comme le diagnostic, on ne peut se fier aux résultats obtenus par l'automate VIDAS (Proverbio D *et al.*, 2013).

→ Technique de dosage :

Le dosage et la lecture se fait par l'automate, dans les paragraphes suivants nous donnerons le principe de dosage sur lequel est basé l'automate et la procédure de mise en activité de ce dernier.

Le réactif VIDAS Cortisol S est un test automatisé sur le système VIDAS permettant la mesure quantitative directe du cortisol dans le sérum ou le plasma. L'automate VIDAS utilise le principe de dosage ELFA (The Enzyme-Linked Fluorescent Assay) associant la méthode ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) à une lecture finale en fluorescence bleue.

Premièrement, on sort les réactifs nécessaires du réfrigérateur selon le nombre d'échantillons. On utilise une cartouche « CORS » et un cône « CORS » pour chaque échantillon. Puis, on place les cartouches et les cônes nécessaires dans le premier compartiment du système ; En commençant par le premier compartiment si elle est vide, sinon on le met dans l'autre compartiment qui suit.



Figure 36: l'emplacement des cartouches dans le compartiment (Photo personnelle)

Ensuite, on prend le tube de l'échantillon et à l'aide d'une pipette à embout jetable, on aspire 100 μ L de sérum puis on le met dans le puits réservé pour l'échantillon. À chaque fois, on met le sérum dans le puits, on identifie l'échantillon dans le système pour éviter l'erreur d'identification. On continue par cette méthode jusqu'à ce qu'on mette tous les échantillons à tester dans les puits des cartouches de compartiments. Puis, on ferme le compartiment et on démarre l'automate et on le laisse pendant 38 mn pour nous donner les résultats.

On récupère les résultats affichés et on les met dans un fichier préparé avant pour les valeurs de cortisol puis on les copie dans les fiches individuelles des animaux concernés.

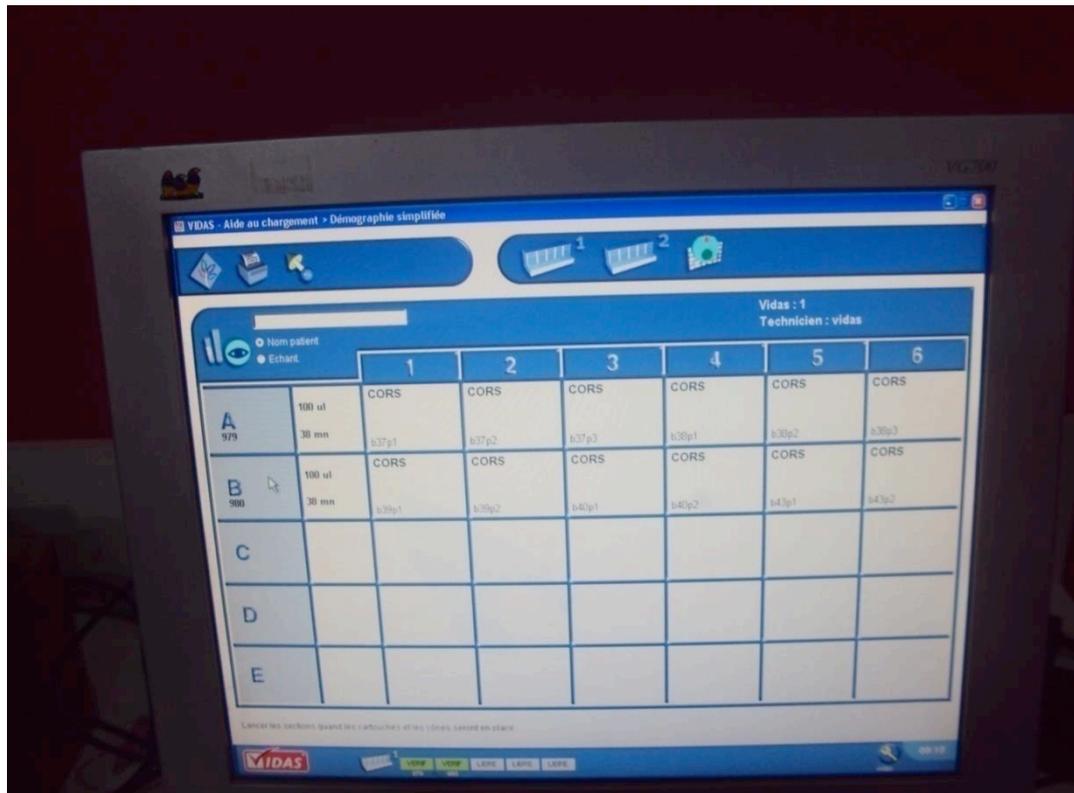


Figure 37: Identification des échantillons sur l'ordinateur de l'automate (Photo personnelle).

II.2.3.3. Evaluation de l'activité de l'enzyme créatine kinase :

La première étape est la préparation de la solution qui contient les réactifs et le sérum, puis la lecture se fait par un spectrophotomètre.

➔ Préparation de la solution :

On fait sortir les réactifs du réfrigérateur et on les met dans une table avec le sérum, Puis, on réalise la dilution de substrat (R2) (sous forme de comprimé) dans la solution tampon (Buffer R1 (Flacon de tampon de volume 2,8 ml), à raison d'un comprimé de substrat pour un flacon de tampon de 2,8 ml.

Ensuite, on prend 0,5 ml de la solution préparée par une pipette à embout jetable de couleur bleue, on la met dans un tube sec, Puis, on ajoute au tube, qui contient 0,5 ml de la solution préparée de 10 μ L de sérum à tester et on identifie le tube avec le numéro du bovin et du prélèvement, Par la suite, on incube le mélange pendant 2 mn à température ambiante.

→ La lecture

On fait introduire le mélange dans le spectrophotomètre pour la lecture. La lecture se fait à 37 C° et pendant 4 mn. Lorsque l'appareil affiche les résultats, on les copie dans le tableau réservé pour les résultats puis dans les fiches individuelles de chaque animal concerné.

II.3. Analyses statistiques :

Les données ainsi recueillies ont été soumises à plusieurs types d'analyse statistiques en fonction des objectifs visés. En effet, des analyses descriptives présentées sous forme de moyenne \pm Ecart type des différentes concentrations plasmatiques de cortisol et CPK et cinétique des métabolites de la viande (pH et T°) ont été réalisées, ainsi les graphiques correspondants (moyenne \pm Erreur standard).

Les comparaisons des moyennes ont été procédées après la réalisation du test de normalité. Le test de Student (cas de deux moyennes) et celui de l'ANOVA de Fisher (Cas de plusieurs moyennes) ont été utilisées dans le cas où la normalité des données était assurée. Dans le cas inverse, ces tests ont été substitués par les tests non paramétriques de Mann-Wetney (Cas de deux moyennes) et de Kruskal-wallis (Cas de plusieurs moyennes).

L'analyse des allures d'évolution des paramètres plasmatiques et métabolique était faite grâce à la procédure ANOVA à mesures répétées (GLM). Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS 21 (2010).

III. RESULTATS:

III.1. Evaluation du stress des bovins en pré-abattage

III.1.1. Mesures du Cortisol et de la CPK sériques

Tableau 3 : Concentration du cortisol et du CPK sériques pendant la période de pré-abattage

	Moment de prise du sang				Test de signification
	ferme	Arrivée	En décubitus	saignée	
Cortisol ng/ml	4,82±3,26	30,00±16,72	38,63±22,09	44,03±20,24	***
CPK UI/L	117,0±44,2	124,9±70,0	275,0±242,8	309,2±248,7	*

CPK= créatine phosphokinase *p<0,05 ; ***p<0,001 ns : signification

Le tableau 3 présente la concentration du cortisol et CPK sériques des bovins en période de pré-abattage (départ de la ferme en passant par les étapes de transport et déchargement jusqu'à la saignée au niveau de l'abattoir). On peut voir que la valeur moyenne du Cortisol sérique a augmentée considérablement après l'opération de transport, cette dernière est 6 fois plus élevée que la valeur initiale, obtenue au niveau de la ferme (4,82±3,26 ng/ml vs 30±16,72). Pour la même période, la concentration de CPK a légèrement augmentée (117±44,2UI/l vs 124,9±70UI/l). Au moment de la saignée, la valeur du cortisol est 9 fois plus élevée que la valeur initiale (4,82±3,26 ng/ml vs 44,03±20,24 ng/ml), alors que celle du CPK est de seulement 3 fois plus élevée par rapport à la valeur obtenue au niveau de la ferme (117±44,2 UI/L VS 309,2±248,7 UI/L). L'augmentation de la concentration moyenne du cortisol et CPK sériques après chaque opération de la période de pré-abattage est statistiquement significative à P <0,001 et P <0,05 respectivement.

III.1.2. Effet de la race sur le niveau de stress des bovins

Tableau 4 : Concentration du cortisol et du CPK sériques pendant la période de pré-abattage selon la race des bovins.

	amélioré	locale	
Cortisol ferme ng/ml	4,64±3,67	3,34	Ns
Cortisol arrivé ng/ml	27,79±7,01	22,48±18,92	Ns
Cortisol en décubitus ng/ml	27,18±16,06	42,24±19,54	*
Cortisol saignée ng/ml	35,06±14,98	44,60±16,99	Ns
CPK ferme UI/L	74,0±33,42	133	Ns
CPK arrivé UI/L	84,8±27,99	169,0±93,6	Ns
CPK en décubitus UI/L	252,42±304,41	313,18±187,97	Ns
CPK saignée UI/L	309,5±315,1	332,29±190,47	Ns

CPK= créatine phosphokinase

*p<0,05

ns : non significative

Le tableau 4 montre que la race locale présente, au niveau de la ferme et après l'opération de transport, des taux de cortisol sérique inférieurs et des taux de CPK sérique supérieurs à ceux de la race améliorée. Par ailleurs au niveau de l'abattoir, les concentrations de cortisol et de CPK sériques obtenus chez la race locale sont supérieures à celles de la race améliorée. Les différences de taux de CPK ne sont pas statistiquement significatives. En revanche, la différence de taux de cortisol obtenue au moment de la mise en décubitus est statistiquement significative.

III.1.3. Effet de l'âge sur le niveau de stress des bovins

Tableau 5 : Concentration du cortisol et du CPK sériques pendant la période de pré-abattage selon l'âge des bovins.

	<2ans	≥ 2ans	
Cortisol arrivé ng/ml	22,53±11,01	35,58±10,17	ns
Cortisol en décubitus ng/ml	28,83±15,98	44,09±21,07	*
Cortisol saignée ng/ml	34,28±15,06	50,20±14,21	**
CPK arrivé UI/L	99,33±51,07	167,5±118,1	ns
CPK en décubitus UI/L	278,65±291,45	283,16±181,21	ns
CPK saignée UI/L	322,88±294,59	313,91±187,87	ns

CPK= créatine phosphokinase ; ns : non significative ; *p<0,05 ; ** p<0,01

Les bovins âgés de plus de 2 ans ont montré un taux de cortisol et de CPK sériques plus élevé par rapport aux bovins âgés de moins de 2 ans pour l'ensemble de mesures réalisées. La différence est significative (p<0,05) pour la concentration du cortisol réalisée au moment de la mise en décubitus et hautement significative (p<0,01) lors de la saignée. Cependant, pour la concentration du CPK réalisée à l'arrivée au niveau de l'abattoir, en décubitus et au moment de la saignée, la différence n'est pas statistiquement significative (Voir tableau 5).

III.1.4. Effet des conditions de l'abattoir sur le niveau du stress des animaux.

Tableau 6 : Concentration du cortisol et du CPK à l'arrivée, en décubitus et au moment de la saignée selon l'abattoir.

	Bir hadada	Kherrata	Bouandas	
Cortisol arrivée ng/ml	41,47±31,30	30,29±8,76	5,33	ns
Cortisol en décubitus ng/ml	70,62±14,44	33,63±23,58	34,35±15,98	**
Cortisol saignée ng/ml	69,63±22,83	42,09±19,80	38,10±14,08	**
CPK arrivé UI/L	130,0±89,1	112,5±72,3	189,0	ns
CPK en décubitus UI/L	238,6±124,5	233,3±140,1	311,5±310,1	ns
CPK saignée UI/L	206,5±93,2	266,4±112,2	369,1±327,8	ns

CPK= créatine phosphokinase

ns : non significative **p<0,01

Les résultats du tableau 6 montrent que les niveaux du cortisol sérique des bovins abattus au niveau de l'abattoir de Bir hadada sont supérieurs pour l'ensemble des étapes précédant l'abattage ainsi qu'au moment de la saignée, comparativement aux abattoirs de Kherrata et de Bouandas. Cependant, les différences en termes de concentration du cortisol sont statistiquement significatives au moment de la mise en décubitus (p<0,01) et au moment de la saignée (p<0,01).

Pour la mesure du CPK sérique, sa valeur est plus élevée chez les bovins abattus au niveau de l'abattoir de Bouandas par rapport aux deux autres abattoirs, mais cette différence n'est pas statistiquement significative.

III.1.5. Effet de l'origine sur le niveau du stress des Bovins

Tableau 7 : Concentration du cortisol et du CPK au moment du décubitus et de la saignée selon la provenance des bovins.

	^m Groupe 1	^f Groupe 2	
Cortisol en décubitus ng/ml	54,67±15,66	25,82±13,21	***
Cortisol saignée ng/ml	55,67±12,14	33,43±13,58	***
CPK en décubitus UI/L	541,6±359,0	175,64±68,85	***
CPK saignée UI/L	566,7±385,6	228,59±107,34	***

^m : Représente le groupe des animaux provenant du marché (Durée de transport >2h).

^f : Représente le groupe des animaux provenant de la ferme (Durée de transport <2h).

CPK= créatine phosphokinase ; ***p<0,001

Le tableau 7 présente les concentrations de cortisol et de CPK sériques obtenus au moment de la mise en décubitus et au moment de la saignée, selon la provenance des animaux. On peut voir sur le tableau que les bovins qui venaient directement des marchés de bétail vers l'abattoir, présentaient un taux de cortisol et de CPK sériques supérieurs aux bovins qui provenaient de la ferme, et cela, pour les deux situations étudiées. La différence de concentration en cortisol pour les deux situations est statistiquement significative (p<0,001), 54,67±15,66 vs 25,82±13,21) ; Mais aussi au moment de la saignée (55,67±12,14 vs 33,43±13,58) ;.

Pour la concentration du CPK, la différence de la concentration selon la provenance des bovins est hautement significative (p<0,001). La concentration en décubitus est de 541,6±359,0 pour le marché, contre 175,64±68,85 pour les animaux arrivant directement de la ferme, alors qu'au moment de la saignée, la concentration est de 566,7±385,6 vs 228,59±107,34 respectivement pour le marché et la ferme.

III.1.6. Effet de la durée d'attente sur le niveau de stress des bovins :

- Groupe 1 (Bovins provenant du marché)

- Groupe 2 (Bovins provenant des fermes)

Tableau 8 : Concentration du cortisol sérique en décubitus et à la saignée des bovins provenant du marché selon la durée d'attente : abattus directement (classe 1) ; mis en attente (classe 2).

	Classe 1	Classe 2	
Cortisol en décubitus ng/ml	49,66±12,67	62,18±18,53	Ns
Cortisol saignée ng/ml	49,53±9,36	64,87±10,38	*
CPK en décubitus UI/L	669,7±404,6	349,5±178,0	Ns
CPK saignée UI/L	730,3±427,8	321,3±83,9	Ns

CPK= créatine phosphokinase *p< 0,05 ns : non significative sn : signification

Le tableau 8, présente les concentrations de cortisol et de CPK sériques au moment de la mise en décubitus et au moment de la saignée des bovins provenant du marché, avec des délais d'attente au niveau de l'abattoir différents. La classe 1, représente les bovins abattus aussitôt arrivés à l'abattoir, alors que la classe 2 représente les bovins abattus après 15 heures d'attente au niveau de l'abattoir. Le tableau montre que les bovins mis en attente plus de 15 h (classe 2) présentent respectivement une légère augmentation de cortisolémie et une légère diminution de la concentration de CPK au moment de la saignée par rapport au moment de la mise en décubitus. Contrairement aux bovins abattus directement après leur arrivée à l'abattoir (classe 1), où on remarque une stabilité de cortisolémie et une augmentation de la concentration de CPK.

Nos résultats montrent aussi que les bovins mis en attente avaient respectivement un niveau de cortisol sérique plus élevé et un niveau de CPK sérique inférieur au moment de la mise en décubitus et au moment de la saignée, par rapport aux bovins abattus directement. Cependant la différence de cortisol sérique est statistiquement significative à l'abattage des bovins, contrairement, la différence au moment de la mise en décubitus et les différences de CPK ne sont pas statistiquement significatives.

- Groupe 2 (Bovins provenant des fermes) :

Tableau 9 : La concentration de cortisol sérique en décubitus et au moment de la saignée des bovins provenant de la ferme ayant des durées d'attente différentes : Mise en attente plus de 12 h (classe 3), durée d'attente <10 mn (classe 4), 20 à 30 mn (classe 5), > 30mn (classe 6).

	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	
Cortisol en décubitus ng/ml	17,87±15,89	28,0±16,49	26,67±11,21	27,72±13,11	Ns
Cortisol saignée ng/ml	37,90±22,61	34,36±16,17	32,40±12,89	31,85±8,56	Ns
CPK en décubitus UI/L	190,3±62,6	154,2±33,8	185,0±55,3	170,6±107,1	Ns
CPK saignée UI/L	299,8±172,7	193,8±22,7	233,1±120,9	205,7±72,8	Ns
Durée du transport (mn)	48	19,8	24	52,3	/

CPK= créatine phosphokinase ns : non significative mn : minutes sn : signification

Nos résultats (Tableau 9) ont montré une augmentation du taux de cortisol et de CPK sériques au moment de la saignée chez les Bovins de toutes les classes étudiées par rapport à des taux obtenus au moment de la mise en décubitus. On constate aussi que les bovins de la classe 4, 5 et 6, présentaient des taux de cortisol plus élevés et de CPK inférieurs au moment de la mise en décubitus comparativement à celles des bovins de la classe 3. Ces dernières, présentaient des taux de cortisol et de CPK au moment de la saignée supérieurs à ceux des bovins de la classe 4, 5 et 6 ; Mais les différences observées pour la concentration de cortisol et de CPK, ne sont pas statistiquement significatives.

III.1.7. Effet du sexe sur le niveau de stress des bovins :

Tableau 10 : Concentration de cortisol sérique en décubitus et au moment de la saignée selon le sexe des bovins.

	Classe 5 (males)	Classe 7 (femelles)	
Cortisol en décubitus ng/ml	26,67±11,21	70,62±14,43	***
Cortisol saignée ng/ml	32,40±12,89	76,78±12,95	***
CPK en décubitus UI/L	185,0±55,3	238,60±124,53	ns
CPK saignée UI/L	233,1±120,9	251,75±76,67	ns

CPK= créatine phosphokinase ***p< 0,001 ns : non significative sn : signification

Nos résultats (Tableau 10) ont montré une augmentation de taux de cortisol et de CPK sériques, au moment de la saignée chez les Bovins des deux classes étudiées par rapport à des taux obtenus au moment de la mise en décubitus. On constate aussi que les femelles présentaient des taux de cortisol et de CPK plus élevés au moment de la mise en décubitus et au moment de la saignée, comparativement à ceux des males. Les différences observées pour la concentration de cortisol sont statistiquement significatives (p<0,001). En revanche, les différences de la concentration de CPK ne sont pas statistiquement significatives.

III.2. Effet du stress sur le pH et Température post mortem précoce du muscle long dorsal droit :

III.2.1. Cinétique du pH de la viande

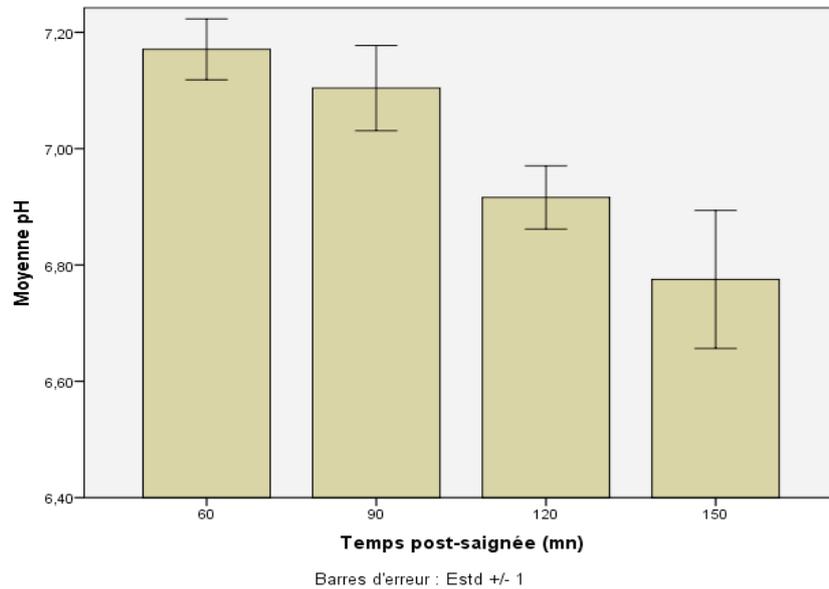


Figure 38 : Cinétique de la chute du pH de la viande en fonction du temps

Sur la figure 38, on peut voir l'évolution du pH en fonction du temps après la saignée. La chute du pH de la viande obéit à deux formes. La première correspond à une diminution lente entre 1 heures et 1,5 heure en post- saignée. La deuxième se caractérise par une chute plus rapide correspondant à une chute au dessus d'un pH de 6,7 après 2,5 heures post-saignée.

III.2.2. Cinétique de la température de la viande

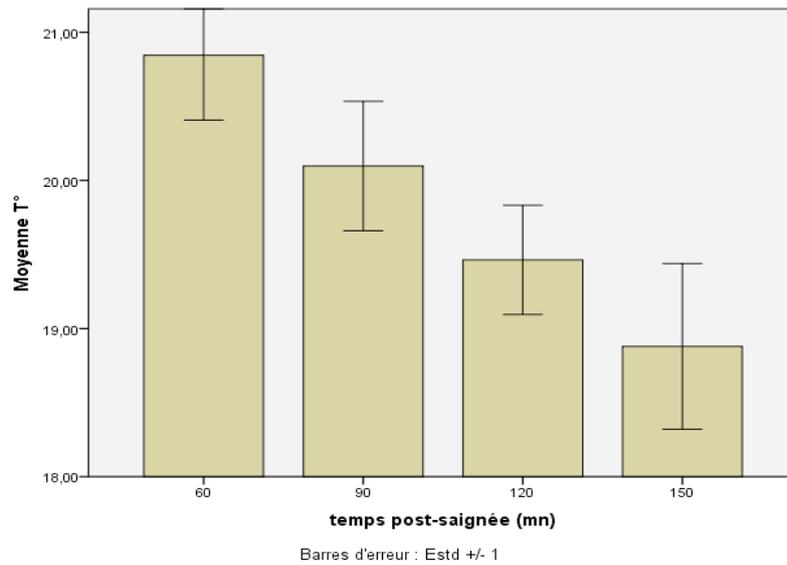


Figure 39 : Cinétique de la chute de température en fonction du temps.

Les résultats obtenus (voir la figure 39) montrent une diminution rapide de la température dès 60mn après l'abattage, avec une valeur initiale de $20,85 \pm 2,15$ et atteint après 150 mn la valeur de $18,88 \pm 2,31$, les écart-types sont plus ou moins importants.

III.2.2. Influence de la race sur le métabolisme énergétique du muscle long dorsal post-mortem :

Le niveau de stress est apprécié par le taux de cortisol et de la CPK sériques, ainsi que par la valeur du pH et de la température précoce du muscle long dorsal. Le test du niveau de stress est effectué sur des animaux de race améliorée et de race locale.

Tableau 11 : Effet de la race sur le pH et la température post-mortem précoce du muscle long dorsal droite.

		Améliorée	Locale	
Cortisol ng/ml		35,06±14,98	44,60±16,99	Ns
CPK UI/L		309,5±315,1	332,29±190,47	Ns
pH	60mn	7,13±0,23	7,31±0,16	Ns
	90 mn	7,10±0,28	7,21±0,18	Ns
	120 mn	6,92±0,26	6,97±0,29	Ns
	150 mn	6,90±0,39	6,72±0,54	ns
T°C	60 mn	20,64±3	20,79±1,73	ns
	90 mn	19,06±1,87	20,88±1,75	ns
	120 mn	18,56±2,04	19,83±1,76	ns
	150 mn	18,40±2,97	19,05±1,48	ns

ns : non significative ; T : température ; mn : minute.

Les résultats présentés dans le tableau 11, montrent des valeurs légèrement faibles pour la plupart des paramètres étudiés chez la race améliorée par rapport à la race locale. La cinétique de la chute du pH est plus rapide chez la race améliorée, puisque les valeurs du pH post-mortem à 60 mn, 90 mn, et 120 mn sont respectivement de (7,13±0,23 vs 7,31±0,16 ; 7,10±0,28 vs 7,21±0,18 ; 6,92±0,26 vs 6,97±0,29). La même tendance de la chute de la température du muscle est observée, puisque pour l'ensemble des mesures, elles sont inférieures pour la viande de la race améliorée (20,64±3 vs 20,79±1,73 ; 19,06±1,87 vs 20,88±1,75 ; 18,56±2,04 vs 19,83±1,7 ; 18,40±2,97 vs 19,05±1,48). Cependant, la différence des résultats parmi les deux races étudiées n'est pas statistiquement significative.

III.2.3. Influence de l'âge sur le métabolisme énergétique post-mortem du muscle long dorsal :

Le test est effectué sur des animaux de plus de 2 ans et d'autres de moins de 2 ans.

Tableau 12 : Effet de l'âge sur le pH et la température précoce post-mortem du muscle long dorsal droit.

		< 2ans	≥ 2ans	
Cortisol ng/ml		34,28±15,06	50,20±14,21	**
CPK UI/ML		322,88±294,59	313,91±187,87	ns
pH	60mn	7,11±0,19	7,38±0,13	**
	90 mn	7,10±0,24	7,30±0,12	ns
	120 mn	6,89±0,27	7,11±0,22	ns
	150 mn	6,73±0,50	7,05±0,30	ns
T°C	60 mn	20,40±2,73	21,16±1,78	ns
	90 mn	19,86±1,94	20,24±1,75	ns
	120 mn	19,13±2,1	19,42±1,68	ns
	150 mn	18,91±2,48	18,16±1,76	ns

ns : non significative ; T : température ; mn : minute ; **p<0,01.

Pour ce qui est de la relation entre le stress et l'âge des animaux, les résultats obtenus montrent un niveau de cortisol très élevé pour les bovins de plus de 2 ans comparativement à ceux de moins de 2 ans (50,20±14,21 vs 34,28±15,06). La différence pour ce paramètre est hautement significative avec un p<0,01. Pour le CPK sérique, aucune différence significative n'est constatée pour les deux catégories d'âges.

Pour les paramètres, pH et température de la viande, ils chutent tous les deux avec le temps. Par ailleurs, la température du muscle comme le pH, sont plus élevés chez les bovins de plus de 2 ans, mais sans différence significative pour les valeurs de la température. Par contre la différence de la valeur de pH est statistiquement significative à 60 mn (Voir tableau 12).

III.2.4. Influence de la provenance des animaux (Marché ou ferme) sur le métabolisme énergétique du muscle long dorsal.

Le test est réalisé sur des animaux de provenances différentes. Le premier groupe provenant du marché, le deuxième groupe provenant des fermes.

Tableau 13 : Effet de la provenance (marché et ferme) et de la durée du transport sur le pH et température post-mortem précoce du muscle long dorsal droite.

		Groupe 1 ^m	Groupe 2 ^f	
Cortisol ng/ml		55,67±12,14	33,43±13,58	***
CPK UI/L		566,7±385,6	228,59±107,34	***
pH	60mn	7,30±0,27	7,20±0,19	ns
	90 mn	7,13±0,27	7,18±0,21	ns
	120 mn	7,00±0,40	6,93±0,24	ns
	150 mn	6,83±0,64	6,81±0,43	ns
T°C	60 mn	21,44±3,08	20,46±2,11	ns
	90 mn	21,55±2,32	19,34±1,53	ns
	120 mn	19,68±2,41	19,07±1,89	ns
	150 mn	19,38±1,80	18,51±2,46	ns

^m : Représente le groupe des animaux provenant du marché (Durée de transport >2 h).

^f : Représente le groupe des animaux provenant de la ferme (Durée de transport <2 h).

CPK= Créatine phosphokinase ; ***p<0,001 ; T : température ; ns : non significative ; mn : minute.

L'origine des animaux est un facteur de stress important pour ces derniers. En effet, les animaux en provenance des marchés présentent des taux de cortisol ainsi que de CPK très élevés comparativement aux animaux en provenance de la ferme. Les concentrations obtenues sont 55,67±12,14 vs 33,43±13,58 pour le cortisol et 566,7±385,6 vs 228,59±107,34 pour le CPK, pour les animaux en provenance du marché et de la ferme respectivement.

Pour la cinétique de la chute du pH et de la température du muscle, elle est plus rapide chez les animaux de la ferme par rapport à ceux en provenance de marché. Cependant, pour ces deux derniers paramètres, aucune différence statistique n'est observée (voir tableau 13).

III.2.5. Influence de la durée d'attente à l'abattoir sur le métabolisme énergétique du muscle long dorsal

Le test a été effectué sur des animaux provenant du marché et des fermes séparément et qui ont subi des durées d'attente différentes:

- Bovins du Groupe 1 (bovins provenant du marché) :

Le test a été effectué sur des animaux provenant du marché séparément et qui ont subi des durées d'attente différentes: (Classe 1 : Bovins abattus directement et classe 2 : Bovins mis en attente plus de 15 h) :

Tableau 14 : Effet de la durée d'attente au niveau de l'abattoir sur le pH et la température post-mortem précoce du muscle long dorsal droit des bovins provenant du marché.

		Classe1	Classe2	
Cortisol ng/ml		49,53±9,36	64,87±10,38	*
CPK UI/L		730,3±427,8	321,3±83,9	ns
pH	60mn	7,22±0,35	7,42±0,09	ns
	90 mn	7,07±0,30	7,33	ns
	120 mn	6,57±0,04	7,29±0,09	**
	150 mn	6,54±0,95	7,14±0,06	ns
T°C	60 mn	23,32±2,14	18,62±1,48	ns
	90 mn	22,42±1,90	18,95	ns
	120 mn	21,54±1,64	18,44±2,13	ns
	150 mn	20,68±1,06	18,10±1,41	ns

CPK= créatine phosphokinase ; **p<0,01 ; *p<0,05 ; T : température ; ns : non significative ; mn : minute

Le tableau 14 montre une différence significative de la concentration du cortisol au moment de la saignée parmi les deux classes d'animaux en provenance du marché ($p < 0,05$). En effet, la classe 2 avec une période d'attente de 15 heures, présente un taux de cortisol de $64,87 \pm 10,38$ ng/ml, contre $49,53 \pm 9,36$ ng/ml pour les animaux de la classe 1, abattus aussitôt arrivés à l'abattoir. Pour la concentration sérique en CPK, la tendance est plutôt inverse à celle du cortisol, puisque les animaux de la classe 1 présentaient des concentrations plus élevées. Cependant la différence des concentrations n'est pas statistiquement différente.

La chute de pH de la viande est plus rapide chez les animaux abattus rapidement. La différence parmi les deux classes est très significative à 120 minutes ($p < 0,01$). Elle est de $6,57 \pm 0,04$ pour la classe 1 contre $7,29 \pm 0,09$ pour la classe 2. Pour ce qui est de la température de la viande, la chute de la température de la viande est plutôt rapide pour les animaux de la classe 2.

- **Bovins du groupe 2 (bovins provenant de la ferme)**

Le test a été effectué sur des animaux provenant des fermes séparément et qui ont subi des durées d'attente différentes: (Classe 3 : Bovins mis en attente plus de 12 h, Classe 4 : Mise en attente < 10 mn, Classe 5: Bovins mis en attente de 10 à 30 mn et Classe 6 : Bovins mis en attente plus de > 30 mn)

Tableau 15 : Effet de la durée d'attente au niveau de l'abattoir sur le pH et la température précoce post-mortem du muscle long dorsal droit des bovins provenant des fermes.

Variable		Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	
Cortisol ng/ml		37,90±22,61	34,36±16,17	32,40±12,89	31,85±8,56	ns
CPK UI/L		299,8±172,7	193,8±22,7	233,1±120,9	205,7±72,8	ns
pH	60 mn	7,33±0,27	7,16±0,21	7,18±0,18	7,22±0,24	ns
	90 mn	7,47±0,12	.	7,06±0,25	7,29±0,15	ns
	120 mn	7,17±0,14	6,33	6,90±0,13	7,00±0,28	*
	150 mn	7,31	6,04	6,63±0,32	7,15±0,12	*
T°C	60 mn	19,72±1,77	22,29±1,98	19,75±2,28	19,73±1,39	ns
	90 mn	19,45±2,58	.	19,61±2,02	19,15±1,22	ns
	120 mn	18,47±0,99	20,60	19,05±2,08	19,19±2,27	ns
	150 mn	16,25	20,20	19,84±2,58	16,66±0,70	ns

CPK= créatine phosphokinase ; *p<0,05 ; T : température ; ns : non significative ; mn : minute

Notre résultat présenté dans le tableau15, montre que les valeurs du pH obtenues respectivement à 60 mn, 90 mn, 120 mn, 150 mn, diminuent tant que la durée d'attente diminue. En effet les valeurs du pH les plus basses sont observées chez les animaux abattus rapidement, et les plus élevées chez les animaux mis en attente plus de 12 h (7,16±0,21vs 7,33±0,27 ; 7,47±0,12^{*} ; 6,33ⁱ vs 7,17±0,14ⁱ ; 6,04ⁱ vs 7,31ⁱ).

Cependant les valeurs intermédiaires sont observées chez les animaux mis en attente pendant 10 à 30 mn, et les animaux mis en attente plus de 30 mn (7,18±0,18 vs 7,22±0,24 ; 7,06±0,25 ; 6,90±0,13vs 7,00±0,28 ; 6,63±0,32 vs 7,15±0,12), respectivement. Toutefois, à 120 mn et 150 mn, la valeur du pH est significativement plus basse, tant que la durée d'attente diminue. Pour la température, le tableau 12 montre que la valeur de la température obtenue respectivement à 60 mn, 90 mn, 120 mn et 150 mn est plus élevée chez les animaux abattus rapidement, que pour les animaux mis en attente pendant plus de 12 h, et pour une

moindre mesure que les animaux mis en attente de 10 à 30 mn et les animaux mis en attente plus de 30 mn. Cependant ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

* : Représente la valeur du pH des animaux mis en attente plus de 12 h.

ⁱ : Représente la valeur du pH d'un seul bovin.

III.2.6. Influence du sexe sur le niveau de stress sur le métabolisme énergétique du muscle long dorsal:

Le test a été effectué sur les males et les femelles provenant des fermes qui ont subi des durées d'attente identiques : (Classe 5: Males mis en attente de 10 à 30 mn et classe 7 : Femelles mises en attente de 10 à 30 mn).

Tableau 16 : Effet du sexe sur le pH et la température précoce post-mortem du muscle long dorsal droit.

		Classe 5♂	Classe 7♀	
Cortisol ng/ml		32,40±12,89	76,78±12,95	***
CPK UI/L		233,1±120,9	251±76,67	ns
pH	60 mn	7,18±0,18	6,95±0,31	ns
	90 mn	7,06±0,25	6,69±0,13	*
	120 mn	6,90±0,13	6,69±0,30	ns
	150 mn	6,63±0,32	6,10	ns
T°C	60 mn	19,75±2,28	21,31±1,12	ns
	90 mn	19,61±2,02	20,52±1,44	ns
	120 mn	19,05±2,08	21,02±0,73	ns
	150 mn	19,84±2,58	21,27	ns

CPK= créatine phosphokinase ; ***p<0,001 ; *p<0,05 ; T : température ; ns : non significative ; mn : minute ; ♀ : femelle ; ♂ : male.

La comparaison des résultats en fonction du sexe a montré des niveaux de stress plus élevés chez les femelles. En effet, la différence de concentration en cortisol est hautement significative ($p < 0,001$) avec une valeur moyenne de $76,78 \pm 12,95$ ng/ml pour les femelles et $32,40 \pm 12,89$ ng/ml pour les mâles. Pour la concentration du CPK, il n'existe pas de différence significative parmi les deux sexes.

Pour sa part, la cinétique de la chute du pH est plus rapide chez la femelle que chez le mâle. Cette dernière valeur est de 6,10 pour les femelles à 150 minutes après l'abattage contre 6,63 pour les mâles. La différence du pH est significative à 90 minutes ($p < 0,05$). Pour ce qui est de la chute de la température du muscle long dorsal droit, la tendance est plutôt inverse pour ce paramètre puisque les valeurs les plus élevées sont obtenues chez les femelles pour l'ensemble des mesures réalisées, sans pour autant qu'il y ait de différence significative (Voir tableau 16).

IV. DISCUSSIONS :

IV.1. Evaluation du niveau de stress :

L'augmentation de la concentration de cortisol sérique après le transport et lors de la procédure de l'abattage (Voir Tableau n° 3), reflète un état de stress de ces animaux. L'augmentation observée après le transport peut être expliquée par le fait que ces animaux sont transportés seuls avec des vitesses plus ou moins importantes, ce qui provoque des chutes et des déséquilibres ; Elle peut être due aussi, au changement de milieu habituel et à l'agressivité de certains animaux lors de chargement et le déchargement.

Au niveau de l'abattoir, l'augmentation de cortisol et de CPK est probablement due, d'une part à l'effet de la provenance des animaux, car les valeurs au moment de la mise en décubitus et de la saignée, concernent les animaux provenant de la ferme et celles des animaux provenant du marché, d'autre part, elle est probablement due aux mauvaises conditions de mise en attente et/ou à des techniques de contention inadaptées au niveau de nos abattoirs. Ainsi, elle peut être due au stress d'origine psychique induit par le milieu de l'abattoir ; Car tout changement de la situation habituelle est susceptible de provoquer la peur chez l'animal, comme le départ du milieu habituel, le changement du milieu social, l'introduction dans des environnements inconnus et la présence de personnes non familières. Toutefois, les augmentations des concentrations de CPK sont probablement induites par les réactions comportementales ou par l'effet de la fatigue ou des dommages musculaires résultants du transport plus long des bovins (Les bovins provenant du marché ont une durée de transport de plus de deux heures) et/ou de la durée d'attente au niveau de l'abattoir.

Les résultats obtenus pour les concentrations du cortisol dans notre étude sont en accord avec ceux obtenus par **Lensik et al., 2001 ; Sartorelli et al., 1992**). En effet, ces études ont mis en évidence l'effet du transport sur l'élévation de la cortisolémie chez les veaux. Chez la volaille, **Mitchell et al., 1992**, montrent que le taux de corticostérone augmente avec la durée du transport. Ainsi, **Debut et al., 2005** ; rapportaient une augmentation du niveau du corticostérone pendant la phase d'attente au niveau de l'abattoir.

Pour les concentrations de CPK, nos résultats sont cohérents avec ceux obtenus par **Sartorelli et al., 1992**, qui rapportent chez les veaux, des taux plasmatiques de créatine kinase plus élevés que dans la loge après un transport. **Knowles, 1999, et Tarrant, 1990**, ont montré chez les bovins adultes, qu'ils présentaient des augmentations significatives des taux plasmatiques de créatine kinase après 15h de transport. Par ailleurs, **Scott et al.**, cite par **Scott, S.L et Schaefer, A.L. 1999**, ont constaté sur des taurillons transportés pendant 4 h sans

jeun préalable, que la teneur sérique en CPK avait significativement augmentée et avait atteint un pic à 6 h après le début du transport, ce qui indique que les détériorations musculaires continuent même après la fin de la période de transport.

IV.2. Effet de la race sur le niveau de stress des bovins :

Nos résultats (Tableau n° 4) montrent qu'il y a un niveau de stress différent chez les bovins des deux races (l'augmentation significative de la concentration de cortisol chez la race locale par rapport à celle de la race améliorée). En effet, nos résultats montrent que la race influence la réaction des bovins aux conditions de pré-abattage. Les différences de taux de cortisol sérique sont probablement dues à la peur intense des bovins de la race locale par rapport à la race améliorée, engendrée probablement par le milieu de l'abattoir ou à la présence de l'homme et des animaux non habituels aux animaux. Cette sensibilité peut être liée au patrimoine génétique, Car la race améliorée est croisée entre la race locale et la race importée. Toutefois, les races importées sont des races sélectionnées, destinées pour la production de lait. En effet, cette dernière peut être plus familière et facile à manipuler comparativement à la race locale, et on estime qu'une sélection consciente ou non sur la facilité de manipulation a lieu en même temps que celle sur l'aptitude laitière. Ainsi La sensibilité de la race locale peut être due à l'expérience antérieure négative au contact des humains, au contact des congénères et à des situations nouvelles. Cela peut s'expliquer aussi par le mode d'élevage et le type d'exploitation de ces deux races appliquées chez nous.

En revanche, la race n'a pas d'effet significatif sur La concentration de CPK (les différences ne sont pas statistiquement significatives). Ceci s'explique par le fait que, l'effet racial peut être atténué par d'autres mécanismes et/ ou d'autres facteurs, ça peut être probablement du à l'insuffisance de l'effectif étudié (Nombre insuffisant pour obtenir l'effet de race). Ces différences de CPK peuvent aussi être expliquées par l'activité physique intense liée à des réactions comportementales et à l'agressivité élevée exprimée par la race locale et de ce fait le taux de CPK est supérieur à celui de la race améliorée.

D'autres travaux confirment ces résultats ; **Bourguet et al., 2010**, Lors de leurs études sur la réactivité des taurillons de trois races (Blondes d' Aquitaine, Angus et limousin), dans les conditions expérimentales, les réactions physiologiques et comportementales sont évaluées pendant la période d'élevage et lors d'abattage expérimentaux. Au niveau de l'élevage les animaux sont soumis à des tests de l'isolement et de la nouveauté (Environnement nouveau et/ou objets nouveaux). Puis, trois semaines plus tard, ils sont abattus (Abattage expérimental) ; Où ils ont constaté que les taurillons de Blondes

d'Aquitaine sont plus réactifs que les Angus, et dans une moindre mesure les limousins, suggérant ainsi que cette différence de réactivité entre les taurillons, traduit l'effet de la race et probablement des conditions précoces d'élevage, sur la réactivité émotionnelle des taurillons. Ainsi **Leindre, 1989**, rapportait que les génisses Salers ont des réactions comportementales plus prononcées à l'isolement que des Frisonnes, l'auteur suggérant que l'interaction de ces différences est complexe, puisqu'elles peuvent être dues à différents facteurs.

D'autres résultats obtenus par **Terlouw et al, 1997**, dans des conditions expérimentales, montrent chez les porcs, que les Duroc, avaient des réponses comportementales et physiologiques plus prononcées au test de l'exposition à un objet non familier et à l'exposition à l'homme, les auteurs suggèrent que la présence de l'homme n'était pas évaluée de la même manière par des porcs des deux races, mais les données ne permettent pas de déterminer laquelle des races était la plus stressée dans la situation du test, car l'approche de l'homme dépend à la fois de la peur que sa présence engendre chez l'animal (la tendance de celui-ci à garder une distance) et de la motivation de l'animal de le toucher ou de l'explorer (Sa tendance à diminuer la distance).

IV.3. Effet de l'âge sur le niveau de stress des bovins :

Nous avons constaté que les conditions de l'abattage sont évaluées de façon différente chez ces deux tranches d'âge (2 ans et plus, et moins de 2 ans). En effet, l'âge a une influence sur le niveau de stress des bovins (Voir tableau 5). Les taurillons de 2 ans et plus présentaient un niveau de stress supérieur à celui des bovins de moins de 2 ans, Ceci peut s'expliquer probablement par la peur intense de ces taurillons, engendrée par les conditions de la période de pré-abattage (Les isollements au niveau du marché et de l'abattoir). Nos résultats ne sont pas en accord avec ceux obtenus par **Gebresenbet et al., 2012**, qui ont rapporté que les veaux présentaient un taux de cortisol plasmatique supérieur à celui des vaches et des taureaux après un transport de moins de 2 h et à des manipulations liées au transport. L'auteur suggère que les veaux sont plus sensibles à la nouveauté de milieu du camion et à la séparation avec les congénères.

Dans notre étude la sensibilité accrue des bovins de 2 ans et plus, peut être due au fait que la majorité des bovins constituent la tranche d'âge de 2 ans et plus, sont de la race locale (Effet racial). D'autre part, elle est probablement due au mode d'élevage et la fréquence de contact à l'homme et d'autres animaux (Rôle de l'expérience antérieure de ces bovins pendant la période d'élevage).

IV.4. Effet des conditions de l'abattoir sur le niveau de stress des animaux :

Les bovins abattus au niveau de l'abattoir de Bir hadada sont plus stressés que ceux abattus respectivement à l'abattoir de Kherrata et de Bouandes (Voir tableau n° 6), comme le montrent les résultats de la concentration de cortisol. Donc, les conditions appliquées dans un abattoir peuvent influencer le niveau de stress des animaux. Les résultats obtenus dans notre étude montrent que le niveau de stress élevé des animaux abattus au niveau de l'abattoir de Bir hadada, peuvent s'expliquer, soit, par la peur intense de ces bovins engendrée par l'isolement lors de la procédure du transport et le milieu de l'abattoir, et/ou par les mauvaises manipulations ou procédures appliquées dans cet abattoir, soit par la douleur intense subie par ces bovins, qui est probablement due à la mauvaise condition de déchargement (déchargement directement au niveau de la salle d'abattage), mauvaise condition d'entretien des animaux lors de l'amenée au lieu d'abattage et lors de la mise en décubitus.

Des études similaires ont illustré cet effet des conditions de l'abattoir ; **Pearson et al, 1977**, font la comparaison entre un petit abattoir de recherche et un abattoir industriel, lors d'abattage des moutons, les valeurs de cortisol sont significativement élevées chez les moutons abattus dans l'abattoir industriel par rapport à celui des moutons de l'abattoir de recherche (61,3 ng/ml vs 40,1 ng/ml) respectivement. Les auteurs suggèrent que la diminution des manipulations, l'environnement calme et l'absence des animaux comme le chien sont l'origine du taux inférieur dans l'abattoir de recherche.

En ce qui concerne les concentrations de CPK sérique, nous n'avons pas noté de différences significatives entre les bovins abattus dans chaque abattoir étudié. Il apparaît donc que les différences observées sont liées à d'autres facteurs et / ou mécanismes, comme l'effet de transport de plus de 2 h (la fatigue, lésions musculaires) et au délai d'attente au niveau de l'abattoir. Ce dernier facteur concerne les bovins abattus dans les abattoirs de Kherrata et de Bouandas.

IV.5. Effet de l'origine sur le niveau du stress des Bovins :

Nos résultats montrent (Tableau 7) que les bovins provenant du marché ont un niveau de stress supérieur à celui des bovins provenant de la ferme. La différence de la concentration de cortisol peut s'expliquer par le fait que les bovins provenant du marché sont exposés aux nombreux facteurs susceptibles d'engendrer la peur (Durée du transport de plus de 2 heures, changement de milieux plusieurs fois : Le transport en deux fois, au milieu du marché, puis au milieu de l'abattoir, certains bovins sont mis en attente pendant plus de 15 heures sans être

alimentés ou abreuvés) ou de la douleur due à la densité de chargement importante, des manipulations (Lors de chargement et déchargement, au marché, et au niveau de l'abattoir). Nos résultats ne sont pas en accord, en ce qui concerne l'effet de la durée du transport, avec ceux de **Gebresenbet et al., 2012**, qui ont rapporté que chez les bovins, le taux de cortisol est inversement proportionnel à la durée de transport, et le taux le plus élevé est observé pour une durée de transport de moins de 2 h. L'auteur suggère que la réponse des deux systèmes (Axe sympathique et axe corticotrope) impliqués dans la réaction de stress est sollicitée d'avantage lors des changements d'environnement et lors des facteurs de courte durée. Ils ont constaté que le chargement, est le facteur le plus stressant. Ainsi nos résultats ne sont pas cohérents avec ceux trouvés chez le porc ; **Averos et al., 2007**, montrent que le taux de cortisol entre le départ et l'étourdissement chez les animaux transportés pendant 1 h est plus élevé par rapport à celui des porcs transportés plus de 13 h. L'auteur suggère que le stress initial causé par le chargement est aggravé par le stress de déchargement et de stabulation avec les congénères et par conséquent les animaux n'arrivent pas à récupérer.

Cette disparité de résultats est probablement due au fait que les moments de prélèvements du sang au niveau de l'abattoir ne sont pas les mêmes que ceux de notre étude. En effet, les auteurs ont effectué les prélèvements, juste à l'arrivée au niveau de l'abattoir ; Alors que pour notre étude, nous avons effectué les prélèvements au moment de la mise en décubitus et de la saignée, ce qui ajoute d'autres facteurs tels que ceux de la procédure de l'abattage ou de la durée d'attente. Par ailleurs, les animaux utilisés dans ces études provenaient de la ferme, et ainsi ce sont des études expérimentales où ils ont maîtrisé certains facteurs comme le confort du camion et les conditions de mise en attente. Par contre, dans notre étude les animaux provenaient du marché et ont fréquenté plusieurs changements de milieux et certains de ces animaux sont mis en attente plus de 15 h sans être alimentés ou abreuvés.

En revanche, nos résultats semblent être cohérents aux résultats observés chez les poulets standard, par **Freeman et al., (d'après Debut M et al., 2004)**, ils ont constaté une augmentation de la concentration plasmatique de corticostérone, allant d'environ 1,4 ng/ml en situation de contrôle à 4,5 et 5,5 ng/ml après le transport de 2 h et 4 h respectivement. Dans d'autres études menées par **Bourguet et al., 2011** ; Les auteurs montrent que les vaches caractérisées comme plus réactives à la nouveauté lors de tests en élevage, présentaient à l'abattage des réactions de stress plus prononcées, en particulier lors de transport et lors d'entrée à l'abattoir. Ainsi, **Apple et al., 1993**, Montre que l'isolation chez les bovins entraîne l'augmentation de la concentration de cortisol.

Ces études nous suggèrent, que l'augmentation de cortisol chez les bovins provenant du marché est probablement due à l'association des effets de transport et les changements du milieu plusieurs fois. En fin, la différence de la concentration de CPK sérique observée entre ces deux groupes, indique que les bovins provenant du marché sont exposés plus à l'effort physique et/ou à des lésions musculaires (Maintien de l'équilibre, densité trop importante, l'animal ne peut pas se coucher, durée de transport de plus de 2 h). Nos résultats sont aussi cohérents avec ceux de **Gebresenbet et al., 2012**, qui montrent une forte corrélation de taux de CPK et la durée du transport, par contre, ils ne sont pas en accord avec les résultats obtenus chez le porc par, **Averos et al., 2007**, qui montrent que le taux de CPK n'est pas affecté par la durée du transport. L'auteur rapporte que la durée de mise en attente a une influence sur le taux de CPK, Car la durée d'attente de ces porcs était de 6 h.

La provenance du marché dans ces conditions, apparait comme un facteur de stress important.

IV.6. Effet de la durée d'attente sur le niveau de stress des bovins :

Le groupe1 : bovins provenant du marché :

Les bovins mis en attente plus de 15 h montrent un taux de cortisol élevé par rapport aux bovins abattus directement (Voir tableau 8). Par ailleurs, chez les gros bovins, l'attente à la bouverie de l'abattoir peut permettre une récupération suite aux efforts et au stress de déchargement. Cependant l'environnement global à hauteur de la bouverie (Bruits, odeurs, nouveautés) et la durée d'attente dans la bouverie peuvent influencer l'agitation des animaux (**Terlouw E.M.C et al., 2007**). En effet, la différence de la concentration de cortisol est due probablement aux mauvaises conditions de mise en attente (Yeux cachés par un sachet et la privation de l'aliment et d'eau, seuls ou avec des congénères non habituels) et à une longue durée de mise en attente (Durée d'attente de plus de 15 h), ce qui peut éventuellement augmenter l'agressivité des bovins et le niveau de la peur constatée lors de la procédure d'abattage (Coups de pied et coups de tête), de la fuite, étant donné que la mise en attente a une durée importante, associée à la privation de l'aliment et de l'eau, l'agressivité des animaux augmente, et par conséquent l'élévation de la concentration de cortisol. Une étude menée par **Lensink et al., 2001**, Montre que chez les veaux, la concentration de cortisol revient à la valeur avant le transport après 2 h d'attente en bouverie. D'autres études menées sur les porcs par **Averos et al., 2007**, où les porcs sont transportés plus de 13 h, et mis en attente pendant 6 h. Les auteurs ont constaté que le taux de cortisol au moment de

l'étourdissement est diminué par rapport à la valeur obtenue lors de déchargement. Les résultats de ces deux études ne sont pas en accord avec les résultats de notre travail. Cela peut s'expliquer par la différence de la durée de mise en attente et la durée de la privation de l'aliment, puisque dans notre étude la mise en attente et la privation de l'alimentation et d'eau est de plus de 15 h. Par ailleurs, l'étude effectuée par **Bourguet et al, 2011**, corrobore nos résultats, notamment en ce qui concerne l'association de longue durée de mise en attente et la privation de l'aliment et d'eau et leur influence sur le niveau de stress des bovins. Dans cette étude, l'évaluation du niveau de stress des bovins est basée sur des réactions comportementales. Il a rapporté que les vaches privées d'alimentation depuis 30 heures ont réagi plus fortement à l'exposition à l'événement soudain par rapport à leurs congénères nourries. Ainsi, elles ont répondu positivement au test de la séparation sociale. L'auteur suggère que cette réaction peut traduire une diminution de la motivation à explorer l'environnement en raison d'un inconfort physique et/ou psychologique induit par la privation alimentaire. L'auteur a montré aussi que la privation d'aliment seule n'a pas d'influence sur la réactivité, vis-à-vis de l'homme. En revanche, il a démontré que l'association de la privation de l'aliment et l'activité physique juste avant l'exposition au test de réactivité à l'homme, elles acceptaient moins facilement les manipulations. On pense que cette étude confirme nos résultats, malgré la méthode différente d'évaluation du niveau de stress. Les auteurs sont basés sur les réactions comportementales pour évaluer la réactivité émotionnelles des animaux envers des tests de séparation, au contact de l'homme, à la privation de l'aliment et/ou de l'activité physique. Ces études sont effectuées pendant l'élevage et lors de la procédure de l'abattage expérimentaux. Ainsi les réactions physiologique et métabolique sont évaluées. Par contre, dans notre étude nous avons basé sur les réactions physiologique et métabolique pour évaluer les réactions des animaux pendant la procédure de transport et d'abattage sans intervenir sur le déroulement de ces dernières.

Nos résultats montrent que la mise en attente de plus de 15 h, associée à une privation de l'aliment et d'eau, augmente le niveau de stress chez les bovins.

Le Groupe 2 : bovins provenant de la ferme :

Nos résultats montrent (Tableau 9) que la durée d'attente (Inférieure à 10 mn, 10 à 30 mn, supérieure à 30 mn, plus de 12 h) n'a pas d'effet sur le niveau de stress pour les bovins transportés pendant une durée de moins de 2 h. Ceci est probablement dû, au fait que la durée appliquée n'est pas suffisante pour permettre aux animaux de récupérer, pour les bovins

abattus le jour même de leur arrivée, et que les bovins mis en attente plus de 12 h sont plus ou moins stressés par le changement de milieu de la ferme. Elle peut être due aussi, à l'effet de la durée d'attente qui pourrait être atténuée par d'autres facteurs ou mécanismes comme l'effet de race, l'effet de la procédure d'abatage ; D'un autre côté, les prélèvements sont effectués lors de la mise en décubitus et au moment de la saignée. Nos résultats ne sont pas en accord avec les résultats de **Grigor et al., 2004**, Il a rapporté que les veaux transportés pour une demi-heure, ont présenté des taux de cortisol élevés lors de déchargement et que ces taux diminuent après une durée d'attente d'une heure. Une autre étude effectuée chez les porcs menée par **Warris et al., 1992**, où l'auteur montre que la mise en attente pendant une durée de 2 h et de 3h, induit une diminution du taux de cortisol. Ces mêmes auteurs ont montré, que la mise en attente pour ces durées n'a pas d'influence sur le taux de CPK. Ce qui confirme nos résultats concernant le taux de CPK. Dans ces études, les prélèvements de sang sont effectués avant et après la mise en attente. Ainsi, ces études sont effectuées dans les conditions expérimentales, ce qui leur permet d'obtenir les concentrations de cortisol et de CPK correspondantes à la durée d'attente, et de maîtriser certains facteurs qui peuvent influencer les effets de la durée d'attente.

La durée d'attente dans les conditions de notre étude n'a pas d'effet sur le niveau de stress des bovins.

IV.7. Effet du sexe sur le niveau de stress des bovins :

Nos résultats (Tableau 10) montrent un niveau de stress chez les femelles très élevé comparativement à celui des males ; ceci est du probablement à la peur (séparation avec des congénères, animaux transportés seuls), changement de milieu (abattoir et de camion), contact avec les ouvriers non habituels aux animaux, attente au niveau du lieu de saignée. Cette sensibilité peut être la résultante du mode d'élevage ou à la génétique liée au genre. Les résultats peuvent être dus aussi à la douleur, liée à la mauvaise condition de transport : Les animaux transportés seuls sont exposés aux chutes, glissements et écartèlements, car au niveau de l'abattoir, le sol n'est pas adapté (couvert de carrelage), le déchargement est effectué directement au niveau de la salle d'abattage (glissements, chutes, technique de mise en décubitus douloureuse).

Nos résultats sont corroborés par les résultats obtenus par **Henricks et al., 1984**, qui rapportaient qu'à l'âge de 7 mois à 12 mois, les concentrations de cortisol chez les femelles sont plus élevée que celles des males. Les auteurs suggèrent que les besoins de croissance sont supérieurs chez les males que chez les femelles. Cela peut être aussi lié à l'effet de race et à l'alimentation.

Par contre, pour la concentration de CPK, nos résultats ne sont pas en accord avec les résultats obtenus par, **Mparkama et al., 2014**, qui montrent que les males présentaient des taux de CPK plus élevés que ceux des femelles après une durée de transport de 12 à 16 h. Les auteurs argumentent par le fait, que les males sont plus excités et plus agressifs que les femelles, ce qui se traduit par un taux élevé de CPK après le transport ; Sachant que les animaux de cette étude sont transportés pendant une durée de 12 à 16 h, et sont abattus dans le même abattoir ; Par contre, dans notre étude les animaux sont transportés pendant une durée de 30 mn et sont abattus dans deux abattoirs différents.

IV.2. Effet du stress sur la cinétique du pH et de la température précoce.

Le stress peut agir sur la vitesse de la chute et l'amplitude du pH, ainsi, il peut générer des viandes fiévreuses et surmenées (PSE : Pale, Soft and Exsudative et DFD : Dark, Firm and Dry). Ces conséquences seront principalement déterminées par l'intervalle de temps qui sépare la situation de stress de l'abattage et par le potentiel glycolytique à l'abattage (**Jamain G et al., 2000**). Toutefois, l'exercice physique et le stress au moment de la mise à mort de l'animal accélèrent l'activité métabolique du muscle, et conduisent à une diminution plus rapide du pH musculaire. Cette baisse rapide du pH va se traduire par un pH musculaire précoce plus bas après une mesure aussitôt l'animal mis à mort (**Terlouw C et al., 2011**).

Par ailleurs, cette acidité élevée suite à la baisse du pH, associée à une température musculaire élevée, provoque une dénaturation des protéines et facilite la perte du liquide intracellulaire. Ces viandes sont appelées viandes fiévreuses (exsudatives ou pisseuses) ou PSE (**Jamain G et al., 2000**).

Un autre type de viande de couleur sombre avec un pouvoir de rétention d'eau élevée : Viande surmenée (DFD), est au fait, une conséquence de la mise à jeun prolongée, d'une fatigue importante, d'un stress intense ou d'un mélange d'animaux étrangers les uns aux autres lors de l'attente à l'abattoir (**Ouali A., 1991**), c'est l'exemple des taureaux de combat ou de corrida. Ainsi, le transport des animaux pour une longue durée, augmenterait le risque de production de viande à pH ultime élevé (**Terlouw E.M.C et al., 2012**). L'argument développé jusque-là, était que le stress de l'animal associé à une activité physique importante, peut provoquer le quasi-épuisement des réserves en glycogène (**Bourguet C et al., 2011**).

Le résultat final du stress va dépendre de la nature de celui-ci, du moment où il se place par rapport à l'abattage de l'animal, de l'animal lui-même par ses caractéristiques physiologiques qui vont favoriser tel ou tel mécanisme de réaction (**Jamain G et al., 2000**).

La température interne des muscles s'élève un peu après l'abattage. Le maximum est atteint en une heure environ après l'abattage, puis on assiste à une diminution rapide (**Goutefongea R., 1963**). 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 est plus maigre, car le tissu adipeux joue un rôle d'isolant (**Valin et al., 1975** cite par **Harkati A., 2007**). Par ailleurs, la valeur maximale de la température est supérieure à 40°C dans les muscles exsudatifs, alors qu'elle reste inférieure à cette température dans les muscles normaux. De plus dans les muscles exsudatifs, cette température se maintient à son maximum pendant plus longtemps (2 heures), mais chute plus rapidement ensuite. Ce phénomène est en général interprété comme conséquence d'une glycolyse anaérobie plus intense dans les muscles exsudatifs (**Goutefongea R., 1963**). Toutefois, 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 la température par effet de masse (**Harkati A., 2007**).

Dans notre étude l'utilisation du terme pH post-mortem précoce et température post-mortem précoce désigne, la valeur du pH et de la température dans les heures qui suivent la mort de l'animal allant de 1 h jusqu'à 3 h. Ces termes sont utilisés dans l'article et la thèse **Bourguet C et al., 2011** et **Bourguet C., 2010** respectivement. Le terme de pH initial désigne la valeur juste après la saignée de l'animal, elle est en général chez les bovins, et porcs (**Salajpal K et al., 2005**) : évaluée à 1 heure après l'abattage et à 15 mn chez la volaille (**Baeza E et al., 2001**) ou 20 mn (**Fernanddez X et al., 2001**). Le pH ultime est la valeur où le pH se stabilise (**Monin G., 1988**).

IV.2.1. La cinétique du pH et de la température post-saignée du muscle long dorsal droit des bovins en fonction de temps

La valeur initiale (1 heure après la saignée) obtenue dans notre étude (pH = 7,18) avoisinait celui des muscles avant l'abattage qui est neutre. En effet, cette valeur de pH initiale n'est pas influencée par les réactions physiologiques des animaux, puisque à ce stade les valeurs du cortisol comme celles du CPK étaient élevées. Cette insensibilité des muscles en présence de stress, peut être expliquée par les caractéristiques métaboliques des fibres musculaires en relation avec la race et l'âge des animaux. Dans une étude réalisée au Bénin par **Salifou et al., 2013**, il est rapporté une valeur de pH initiale du muscle long dorsal des bovins de l'ordre de 6,82 pour une température de 31,27°C. Les auteurs ont suivi la cinétique

du pH jusqu'à 48 h. La valeur du pH à 24 h était dans les valeurs des viandes normales. Les auteurs expliquaient que les conditions de pré-abattage n'ont pas engendré un épuisement des réserves en glycogène musculaire ; Selon les auteurs, ca serait probablement due au fait que le régime alimentaire purement à base de fourrage leur apportait l'énergie suffisante pour avoir une évolution normale du pH.

Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux obtenus dans notre travail. Ceci peut s'expliquer probablement par la différence dans l'intensité des facteurs stressants liés à la période de pré-abattage ou par la différence de régime alimentaire entre les animaux dans l'étude Beninoise et les animaux de notre étude. Cela peut être du aussi, au fait que nous n'avons pas suivi la cinétique de pH jusqu'à la stabilité de la valeur du pH, pour voir l'effet exact des conditions de pré-abattage.

Dans la cinétique de la chute du pH, la baisse observée après 60 mn est due probablement à l'effet de la température ambiante des abattoirs, qui est comprise entre 0 et 5°C. Un autre argument serait la réserve importante en phosphocréatine, qui est la première substance énergétique utilisée par les muscles pour la régénération de l'ATP (Adénosine tri-Phosphate). En effet, les réactions de la glycolyse et de la glycolyse sont moindres et par conséquent une production faible en protons H⁺, qui a comme conséquence une diminution lente du pH.

A partir de 90 mn, la tendance de la chute est plutôt rapide, cette dernière trouve une explication par une augmentation de la température ambiante (12 °C à partir de 11 h), avec un épuisement des réserves en phosphocréatine, et une augmentation des réactions de la glycolyse et de la glycolyse. Nos résultats à 150 mn ne sont pas en accord avec ceux obtenus par **Terlouw et al., 2011**, qui rapportaient chez des femelles abattues par la procédure standard et halal des valeurs de pH respectivement de 6,71 et 6,10.

IV.2.2. Effet de la race sur la valeur du pH et la température post mortem précoce

Nos résultats (tableau 11) montrent que l'effet de la race en termes de stress n'a pas d'effet significatif sur la vitesse de chute du pH. La différence de niveau de stress parmi les deux races étudiées reste minime, et par conséquent insuffisante pour mettre en évidence l'effet de race. Cette situation pourrait être le résultat de réponses inter individuelles au sein de chaque race, mais aussi au nombre de sujets étudiés. En effet, d'autres facteurs comme l'alimentation, la température ambiante et le poids corporel peuvent atténuer l'effet du stress.

Dans le même contexte, **Salifou et al., 2013** ; rapportaient des résultats chez le bovins similaires à nos observations. En effet, ils n'ont pas trouvé de variations significatives de pH parmi les trois races étudiées. Les auteurs justifiaient leurs résultats par les conditions de pré-abattage qui n'ont pas engendré un épuisement des réserves en glycogène musculaire des animaux. Chez la volaille, **Fernandez et al., 2001** ; montraient dans une étude que la cinétique de la diminution du pH post-mortem des muscles pectoralis superficialis, ne présentait pas de différences significatives parmi les souches (standard, croisé, fermier). Par ailleurs, **Bourguet et al., 2010** ; dans une étude sur des taurillons montraient des différences de pH à 3 h post mortem chez les trois races étudiées.

IV.2.3. Effet de l'âge sur le pH et la température post-mortem précoce :

Nos résultats (Tableau n° 12) montrent que l'âge en termes de stress a une influence sur la vitesse de chute du pH précoce. La valeur initiale du pH et de la température à 60 mn est supérieure chez les bovins de 2 ans et plus par rapport à ceux des bovins de moins de 2 ans. Ceci peut s'expliquer probablement par les caractéristiques métaboliques des fibres musculaires qui constituent les muscles de ces bovins ; qui est différente de celle des bovins de moins de 2 ans. Etant donné que chez les bovins, au cours de la croissance post natale, le métabolisme oxydatif diminue et le métabolisme glycolytique augmente, cette évolution se poursuit jusqu'à l'âge de 12 mois chez les taurillons et jusqu'à 34 mois chez les femelles (vache, génisse) ; Au de là, l'évolution du métabolisme s'inverse et les muscles deviennent plus oxydatifs (**Hocquette J.F. et al., 2000**).

Ainsi, nos résultats peuvent aussi être dus à d'autres facteurs ou mécanismes, liés à la génétique (la majorité des animaux étudiés sont de races locales) ; **Picard B. et al., 2002**, ont montré que chez les races à viande, le type de muscle est plus glycolytique, par contre chez la race rustique le type de muscle est plus oxydatif. De plus, selon **Bacou et Vigneron., 1988**, l'utilisation du glycogène dépend de façon caractéristique du type du muscle. La glyco-génolyse et la glycolyse, mesurée par la production de pyruvate et de lactate, sont deux fois plus élevées dans les muscles Blancs (A métabolisme glycolytique) que dans le muscle Rouge (A métabolisme oxydatif). En effet, nous pensons que les résultats obtenus dans la présente étude sont dus principalement aux caractéristiques métaboliques des fibres constituant le muscle long dorsal des animaux étudiés. Nos résultats ne sont pas en cohérence avec ceux obtenus par **Baeza et al., 2001**, qui rapportaient que chez le poulet standard, la valeur initiale du pH, ne présente pas de différence entre les poulets d'âges différents.

IV.2.3. Effet de la provenance (marché, ferme) des bovins et la durée de transport sur le pH précoce :

Les résultats du tableau n° 13, montrent que l'association de l'effet de la provenance et de la durée de transport, n'a pas d'effet significatif sur la vitesse de chute du pH et de la température précoce, malgré les différences importantes de taux de cortisol et de CPK sériques lors de la saignée des animaux. Ceci s'explique par, l'interaction de plusieurs effets de facteurs intervenant dans la période de pré-abattage (Mise en attente, durée de transport, la privation de l'aliment, les manipulations au niveau de l'abattoir), qui sont susceptibles d'atténuer l'effet des facteurs en question. C'est aussi probablement, la conséquence de la variabilité interindividuelle importante observée dans les valeurs du pH et de température entre les animaux des deux groupes (Voir tableau n° 13).

Nos résultats sont par contre en accord avec ceux obtenus par, **Mielnik et kolstad., 1991**, cités par EL Ramouz , 2005 ; qui rapportaient qu'il n'y a pas de différence de pH initial, ni de pH ultime entre 1 heure et 4 heures de transport.

IV.2.5. Effet de la durée d'attente pour les bovins provenant du marché sur la vitesse de chute du pH et la température précoce.

Nos résultats (Tableau n° 14) montrent un effet hautement significatif de la durée d'attente sur la vitesse de chute du pH. Les bovins mis en attente présentaient à 120 minutes, une valeur du pH plus élevée et une valeur de température plus basse que celles des bovins abattus sans mise en attente. Ceci peut être expliqué d'une part, par le fait que les bovins sont mis au repos et par conséquent l'acidité des muscles, résultante de l'activité physique et/ou des dommages musculaires lors de transport, est diminuée par rapport à celles des animaux abattus sans mise en attente. Cette diminution de l'acidité des muscles est probablement due aussi, au pouvoir tampon du muscle long dorsal (Le pouvoir tampon augmente avec l'intensité du métabolisme glycolytique (**Monin G., 1991**) et/ou du fait qu'une partie des lactates soit oxydée au niveau des muscles en présence de l'oxygène, ou être utilisée pour la synthèse du glycogène musculaire. Cette néo synthèse n'existe que dans les muscles de type Blanc (A métabolisme glycolytique) et une autre partie quitte les fibres pour être oxydée au niveau du cœur et du foie, ou participe à la glyco-génogénèse hépatique, avec transfert au muscle sous forme de glucose sanguin (**Bacou et Vigneron., 1988**))

D'autre part, elle peut être due à l'épuisement des réserves en glycogène, induite par la privation de l'aliment pendant plus de 15 h ; et au stress lié à la durée du transport et de la provenance. Et par conséquent, il y a moins d'acide lactique formé lors de la procédure

d'abattage, malgré un taux de cortisol important lors de la saignée des animaux, qui se traduit par le ralentissement de la vitesse de chute du pH et de la diminution de la température post mortem.

Nos résultats sont aussi en accord avec ceux trouvés chez le porc par **D'eath et al., 2009**. Ils ont montré que les porcs les plus agressifs dans les élevages, sont sensibles au transport et à la mise en attente, ils présentaient des taux de cortisol plus élevés au moment de la saignée, que les porcs jugés calmes ou mélangés (Porcs jugés calme et agressifs). En conséquence, ils présentaient des pH post mortem, mesurés à 3 h et à 6 h après l'abattage, plus élevés que ceux des autres groupes et suggéraient ainsi, que l'activité physique et le stress psychologique sont à l'origine de l'épuisement des réserves en glycogène, ils ont montré une corrélation entre le taux de CPK et le taux de glucose plasmatique. Dans une autre étude chez le canard, **Chen et al., 1991**, rapportaient que la mise an attente ralentit la vitesse de chute du pH ; en comparaison de deux groupes, le premier est abattu directement et l'autre mis en attente pour 24 h. A une heure après l'abattage, ils ont constaté que les animaux mis en attente, présentaient des valeurs de pH plus élevées que celles des animaux abattus directement.

Des résultats similaires, rapportés par, **Kotula et Wang., 1994**, montraient chez la volaille, que la mise à jeun ante mortem influençait la vitesse de chute du pH initial ; ils comparaient entre deux groupes d'animaux, ceux qui étaient mis en attente pour 36 h et ceux abattus directement. Ils avaient constaté que le pH des animaux mis en attente, avaient un pH initial plus bas que celui des animaux abattus directement. Ces résultats ne sont pas en accord avec nos résultats, parce que nous avons travaillé sur des bovins et que la durée d'attente de nos animaux était limitée à en moyenne 16 heures.

IV.2.6. Effet de la durée d'attente sur le pH et température post mortem précoce.

Les résultats du tableau n°15, montrent l'effet significatif de la durée d'attente sur la vitesse de chute du pH précoce post mortem. La valeur du pH diminue autant que la durée d'attente diminue, toutefois, lorsque la durée d'attente est courte, les animaux sont soumis à une succession de facteurs stressants (Transport puis procédure d'abattage), ce qui probablement, intensifie les effets de cortisol et de l'activité physique sur le métabolisme musculaire et par conséquent, l'accumulation de l'acide lactique et de l'augmentation de la température du muscle. Nous pensons que, la production importante d'acide lactique est

tellement importante qu'elle dépasse la capacité du pouvoir tampon du muscle ; Ce qui se traduit par l'accélération de la vitesse de chute du pH précoce post mortem.

En revanche, lorsque la durée d'attente augmente les animaux se reposent mieux, et l'acidité du muscle diminue ainsi que la température. Celle ci est probablement due à la diminution de l'activité physique et le pouvoir tampon important du muscle. Ce qui se traduit par un ralentissement de la vitesse de chute du pH.

Nos résultats sont aussi en accord avec ceux trouvés chez le porc par **Mota-Rojas et al., 2009**, qui rapportaient que les males et les femelles abattus directement, présentaient des valeurs de pH initial plus basses que ceux des males et femelles mis en attente pendant 2 h. Dans une autre étude sur les taurillons faite au Chili, par **Gallo et al., 2003** ; Ils ont montré que le pH ultime augmentait tant que la durée d'attente augmentait aussi. Ils suggéraient que les muscles étaient épuisés de glycogène suite à la privation d'aliment.

IV.2.7. Effet du Sexe sur le pH et la température précoce

Nos résultats (Voir tableau n°16), montrent l'effet significatif du sexe sur la vitesse de chute du pH. La valeur du pH à 120 mn est plus faible chez les femelles par rapport à celles des males. Ceci peut être dû au niveau de stress important des femelles en comparaison avec ceux des males. Le cortisol sécrété et l'activité musculaire liée aux réactions comportementales et au transport, accélèrent le métabolisme musculaire, ce qui provoque l'acidification rapide du muscle et comme le délai d'attente est court, il ne permet pas de diminuer cette acidité du muscle et par conséquent le pH précoce reste plus bas (L'augmentation de la température survient suite à l'activité musculaire)

Par contre, nos résultats ne sont pas en accord avec ceux trouvés chez le porc par **D'eath et al., 2009**, qui rapportaient que les males présentaient des valeur de pH à 3 h et à 6 h après l'abattage, plus basses en comparaison avec celles des femelles ; Ils suggéraient que l'agressivité induite par le mélange des animaux est plus prononcée chez les males que chez les femelles. Dans cette étude, les animaux sont mis en attente contrairement aux nôtres. Dans d'autres travaux similaires, sur les porcs, **Mota-Rojas et al., 2009**, montraient que les males présentaient des valeurs de pH initial, plus basses que celles des femelles.

Conclusion

L'objectif de notre travail était d'évaluer le niveau de stress des bovins en période de pré-abattage, et ses conséquences sur le métabolisme énergétique post-mortem. La stratégie de l'étude consistait en un dosage du cortisol, en l'évaluation de l'activité de la Créatine kinase, en la mesure de la valeur du pH et de la température post-mortem précoce du muscle long dorsal. Les deux premières mesures étant des indicateurs de réactions physiologiques, alors que les deux dernières renseignent sur le métabolisme énergétique post-mortem.

Les résultats obtenus montraient l'existence de liens entre certaines procédures en pré-abattage et les réactions physiologiques des animaux ainsi que la vitesse du métabolisme musculaire. Le transport des animaux influence significativement le niveau de stress des animaux. En effet, un délai d'attente supérieur à 15 h associé à la privation de l'aliment, entraîne un niveau de stress important et provoque le ralentissement du métabolisme musculaire qui se traduit par des valeurs de pH post-mortem précoce élevées. Les caractéristiques en liaison avec l'animal, tels que la race, l'âge et le sexe et leur relation avec les réponses aux stress ont été étudiées. Nos résultats montraient des taux de cortisol plus importants avec des animaux de la race locale de plus de 2 ans ainsi que chez les femelles.

Les deux facteurs les plus stressants pour les animaux en période pré-abattage dans la présente étude sont apparemment : La provenance des animaux, puisque le taux de cortisol est moins important chez les animaux en provenance de la ferme, contrairement à ceux qui venaient directement des marchés à bestiaux ; Pour ces derniers, la durée de transport semble aussi influencer l'expression du stress par les animaux. Le deuxième facteur est lié à la mise en attente des animaux au niveau de l'abattoir ; Les animaux privés d'aliments, avec des mises en attentes de plus de 15 h, sont ceux qui exprimaient les taux de cortisol les plus forts par rapport aux animaux abattus directement dès leurs arrivées.

Concernent la vitesse du métabolisme énergétique, il semble ne pas être influencé par la race des animaux. Par ailleurs, l'âge des animaux mais aussi leurs sexes influençaient la vitesse du métabolisme énergétique post mortem. Les valeurs de pH élevées ont été observées chez des bovins de 2 ans et plus, comparativement à ceux de moins de 2 ans. Concernant le sexe des animaux, nous avons trouvé des valeurs de pH plus faibles chez les femelles par rapport aux mâles.

Au cours de cette étude, nous pouvons conclure que les résultats obtenus montraient que l'association du stress et de l'activité physique dans les heures qui précèdent l'abattage, pouvaient induire des valeurs de pH post-mortem précoces plus basses avec des températures

post mortem précoces plus élevées. Par ailleurs, un niveau de stress élevé suite à une mise en attente prolongée associé à la privation de l'aliment, induirait des valeurs de pH post-mortem précoces élevées avec des températures post mortem précoces plus basses.

Recommandations et Perspectives :

Dans la réglementation, la mise en attente et la privation de l'aliment sont obligatoires, la première a pour objectif de permettre à l'animal de récupérer, et la deuxième pour réduire la contamination des carcasses. Par ailleurs, la présente étude montre que l'association de ces deux paramètres augmente le niveau de stress des animaux, nous suggérons qu'il existe des facteurs qui réduisent les capacités de récupération des animaux au niveau de l'abattoir et lors du transport ou d'autres facteurs qui sont liés à la provenance des animaux. Pour cela nous recommandons :

- d'améliorer les conditions de mise en attente et d'aménager les fermes de l'abattoir (Parcs de stabulation), pour permettre aux animaux de récupérer (Sans bandage des yeux, attacher les animaux, et laisser les espaces recommandés entre les animaux, pour éviter les combats, et de leur permettre de se coucher)
- Les animaux provenant des marchés les plus lointains de l'abattoir, doivent être alimentés et abreuvés dès leurs arrivées à l'abattoir, ce qui leur permet de restituer les réserves énergétiques épuisés par l'activité physique lors du transport et par le stress induit par le changement de milieu plusieurs fois ; Ce qui leur permet aussi, de couvrir les besoins énergétiques lors de la mise en attente plus de 15 h et de la privation de l'aliment.

Nos résultats montrent aussi, que le transport influence le niveau de stress des animaux, ceci est observé chez les animaux provenant de marchés ainsi que chez les animaux provenant des fermes, nous suggérons que la densité de chargement soit allégée, les conditions de déchargement, la qualité de conduite des chauffeurs, la qualité des routes empruntées, la qualité des camions sont à l'origine des niveaux de stress élevés, pour cela nous recommandons :

- D'améliorer les conditions de transport par :
 - Eviter le transport d'un animal seul ou de transporter plusieurs bovins avec une densité élevée.
 - Les chauffeurs doivent améliorer leur conduite (Réduire la vitesse, éviter le passage des ralentisseurs à des rythmes élevés.
 - Améliorer la qualité des moyens de transport.
- Le déchargement doit être fait sur des quais de déchargement et d'évité le déchargement directement dans la salle d'abattage.

La mise en attente de courtes durées semble ne pas influencer le niveau de stress, nous suggérons que ces durées ne sont pas suffisantes pour permettre aux animaux de récupérer et que les lieux de mise en attente des animaux ne sont pas favorables pour la récupération de ces derniers, pour ceci nous recommandons :

- D'augmenter la durée de mise en attente, des études montrent que le taux de cortisol revient à la valeur de base après une heure de mise en attente et pour une durée de transport de trente minutes. Ainsi, la concentration de cortisol revient à la valeur basale après 90 mn de soumission au dernier facteur stimulant.
- D'éviter de laisser les animaux dans les camions, dans le lieu de saignée pour éviter le stress d'origine psychologique (Induit par le changement de milieu, le bruit, la vue des congénères saignés).

Lors de la procédure d'abattage, nous recommandons :

- L'abattage rapide après la mise en décubitus des animaux.
- D'éviter l'abattage dès l'arrivée des animaux.

Ainsi, nous recommandons :

- L'aménagement des abattoirs : Faire des quais de déchargement, espaces de stockage, matériels de contention.
- De procéder à la formation pour les ouvriers.

En fin, notre étude montre l'importance des heures précédant la mort de l'animal sur son niveau de stress et sur le métabolisme énergétique musculaire post-mortem précoce. Ceci n'exclut pas l'effet de facteur en amont pendant la période d'élevage. Pour cela, de futures recherches pourraient s'attarder sur les facteurs qui réduisent les capacités de récupération dans le camion ou à l'abattoir, tels que les faibles et hautes densités de chargement, vitesse de conduite, le regroupement d'individus non familiers, durée de la privation de l'aliment, durée et lieu de mise en attente, condition de mise en attente (Yeux bandés). Ainsi que les facteurs liés à la période de l'élevage. Ce qui nous permettra probablement d'identifier les facteurs les plus stressants, et susceptibles d'affecter la qualité de la viande.

BIBLIOGRAPHIE

Adzitey, F. 2011. Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality, International Food Research Journal, 18, P 485-491.

Adzitey, F., Nurul, H. 2011. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences, international food research journal 18, p11-20.

Anonyme 1. <http://www.cuniculture.info/Docs/Biologie/biologie-03.htm> consultation le 04/09/2015).

Anonyme 2. <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24427/ch02.html> consultation le 04/09/2015).

Anonyme 3. <http://www.animals-in-motion.com/remihackert/public/cours/imuscles/musclelumierepolarise.jpg> consultation le 04/09/2015).

Anonyme 4. Miller, M. www.beefresearch.org.

Apple, J.K., Minton, J.E., Parsons, K.M., Unruh, J.A. 1993. Influence of repeated restraint and isolation stress and electrolyte administration on Pituitary-Adrenal secretions, electrolytes, and other blood constituents of Sheep.

Averos, X., Herranz, A., Sanchez, R., Comella, J.X., Gosalvez, L.F. 2007. Serum stress parameters in pigs transported to slaughter under commercial conditions in different seasons, Veterinarni Medicina, 8, 52, p 333-342.

Bacou, F., Vigneron, P. 1988. Propriétés des fibres musculaires squelettiques : influence de l'innervation motrice, Reprod. Nutr. Dévelop, 28,6A, p1387-1453.

Baéza, E., Lessire, M., Berri. C.,Wacrenier, N., Bordeau, T., Marché, G., Juin, H. caractéristiques comparées des carcasses et de la viande de pintades labels et standards, Quatrièmes Journées de la recherche Avicole, Nantes 27-29 mars 2001, p253-256.

Baguet, F. Mouvements « Physiologie animale », De Boeck & Larcier S.A., 2006, P306-351.

Bauchart, D., Durand, D., Gruffat-Mouty, D., Piot, C., Graulet, B., Chilliard, Y., J.F. Hocquett.J-F. 1999. Transport sanguin et métabolisme tissulaire des lipides chez le veau de boucherie. Effets du remplacement du suif par de l'huile de coprah dans l'aliment d'allaitement, INRA Prod. Anim, 12, 4, p 273-285.

Becila-Hioual, S. 2009, Marqueurs biologiques de la qualité de la viande ovine et caractérisation de la mise en place de l'apoptose, thèse en vue d'obtention du diplôme de Doctorat en sciences (spécialité sciences alimentation), institut de la nutrition, de l'alimentation et des technologies Agro-alimentation(I.N.A.T.A.A), np197.

Berne, A. 2015, influence du type génétique, du mode d'élevage et des condition d'abattage sur les qualités des viandes de porcs, mémoire pour l'obtention du diplôme de l'école pratique des Hautes études, école pratique des Hautes études, np 45.

Bourguet, C. 2010, Stress pendant la période d'abattage chez les bovins : rôles de la réactivité émotionnelle et des facteurs environnementaux, Thèse pour obtenir le grade de Docteur d'université (spécialité éthologie et physiologie du stress), Ecole Doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé (université Blaise Pascal). np 203.

Bourguet, C., Deiss, V., Boissy, B.,Terlouw, C. Réduire le stress à l'abattage : exemples d'étudies chez les bovins, Bulletin des GTV, N°62, Décembre 2011, p106-114.

Brisville, M.A-C. 2006, Les marqueurs du stress chez les bovins issus de clonage somatique, Thèse pour l'obtention de Doctorat Vétérinaire, la faculté de médecine de Créteil, NP 100.

Brule, A. 2004. Effet du transport routier sur le bien-être des bovins, Bull. Acad.Vét. France, tome 157, n°1, p 53-62.

Castonguay-Lebel, Z. 2008. La modulation de l'activité transcriptionnelle des enképhalines suivant l'exposition répétée à un agent stresseur, mémoire pour l'obtention du grade de maitre science (M.SC), Faculté des Etudes Supérieurs de l'Université Laval, np91.

Cazaux, J. J-M. L. 2002, étude de l'effet de différents volumes d'une solution de phénylbutazone administrée par voie intramusculaire sur la lésion induite au point d'injection chez la Brebis, Thèse pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire, Université Paul-Sabatier de Toulouse, np 80.

Charton, K. 2010, Etude de la physiopathologie de la dystrophie musculaire tibiale et de la dystrophie des ceintures 2J et stratégies thérapeutiques, Thèse de Doctorat en Sciences, universite d'Evry-val d'Essonne, np230.

Chen, M-T., Lin, S-S., Lin, L.C. 1991. Effect of stresses before slaughter on changes to the physiologica, biochemical, and physical characteristics of Duck muscle, Br. Poultry Sci, 32, p997-1004.

Chriki, S. 2013, Méta-analyses des caractéristiques musculaires afin de prédire la tendreté de la viande bovine, Thèse pour l'obtention du grade de Docteur d'Université Spécialité nutrition-science des aliments, présente a l'Université Blaise Pascal, p44. np146.

Clinquart, A., Leroy, B., Dottreppe, O., Hornick, J.L., Dufrasne, I., Istasse, L. Les facteurs de production qui influencent la qualité de la viande des bovins blanc bleu belge, l'élevage du Blanc Bleu Belge- journée CESM, 26 mai 2000, P1-19.

Coibion, L. 2008, Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine : Adaptation à la demande du consommateur, thèse pour obtenir le grade Docteur vétérinaire Diplôme d'état, Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse, p86.

Correa, J.A. 2007, Évaluation des impacts de la vitesse de croissance et du poids d'abattage des porcs commerciaux sur la composition de la carcasse et de la qualité de la viande, mémoire pour l'obtention de grade de Maîtrise en Sciences Animales, Faculté des Etudes Supérieures de l'Université Laval. Québec, np83.

Correa, J.A. 2011, effets de la manipulation à la ferme et du transport sur le bien-être animal et la qualité de la viande de porc, Thèse pour l'obtention du grade de philosophiae Doctor, faculté des études supérieures de l'université Laval, np 80.

Cuvelier, C., Cabaraux, J.-F., Dufrasne, I., Istasse, L., Hornick, J.-L. 2005. Acides gras et métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez le bovin Ann. Méd. Vét, 149,p 188-201.

D'Eath, R.B., Turner, S.P., Kurt, E., Evans, G., Thölking, L., Looft, H., Wimmers, K., Murani, E., Klont, R., Foury, A., Ison, S.H., Lawrence, A.B., Mormède, P. 2009. Pigs aggressive temperament affects pré-slaughter mixing aggression, stress and meat quality, Animal, 4, 4, p 604-616.

Debut, M., Berri, C., Arnould, C., Guemrné, D., Santé-Lhoutellier, V., Sellier, N., Baéza, E., Jehl, N., Jégo, Y., Beaumont, C., Le Bihan-Duval, E. 2005. Behavioural and physiological responses of three chicken breeds to pre-slaughter shackling and acute heat-stress, Br. Poult. Sci, 46, p527-535.

Debut, M., Le Bihan-Duval, E., Berri, C. 2004. Impacts des conditions de pré-abattage sur la qualité technologique de la viande de volaille, Sciences et techniques Avicoles, 48, p4-11.

Dessalle, K. 2013, Régulation du métabolisme musculaire par les facteurs de transcription SREBP-1 : rôle des MRFs, de SIRT1 et des céramides, Thèse pour l'obtention du Diplôme de Doctorat Spécialité Biochimie, L'université Claude Bernard Lyon 1, np 171.

Diane, A. 2006, Stress, axe corticotrope et caractéristiques nutritionnelles et métaboliques, thèse pour obtenir le grade de Docteur en science discipline Nutrition Humaine, institut National agronomique paris-grignon, np175.

Dinha-Xuan, A.T., Lockhart, A., 2003. Précis de physiologie medicale, Copyright, 2003 PICCIN NUOVA LIBRARIA S.p.A. Via Altinate 107, I-35121 Padoue, Italie, np1034.

Dorey, R. 2013, implication des corticoïdes et de leurs récepteurs Hippocampiques dans les effets rapides et différés du stress sur de rappel mnésique, Thèse pour l'obtention du grade de Docteur spécialité : Neurosciences, Ecole Doctorale Science de la Vie et de la Santé Université de Bordeaux1, NP155.

Eadmusik, S. 2008, Effets de la vitesse de glycolyse post mortem du muscle de dinde : Une analyse biochimique et protéomique, Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, S.E.V.A.B., NP122.

EL Rammouz, R. 2005, Etude des changements biochimiques post mortem dans le muscle des volailles – contribution au déterminisme de l'amplitude de la diminution du pH, Thèse en vue de l'obtention le titre de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Ecole doctorale : S.E.V.A.B., np130.

Elaine, N.M., Katja, H. 2010. Anatomie et Physiologie humaine, PEARSON 8eme édition, np 1277.

Feidt, C.1996, Ions, peptides et protéolyse post mortem dans le muscle strié squelettique, Thèse en vue de l'obtention du Doctorat de l'IN.P.L, Institut National Polytechnique de Lorraine Laboratoire des Sciences Animales, np 101.

Fernandez, X., Santé, V., Baéza, E., Lebihan-Duval, E., Berri, C., Rémignon, H., Babile, R., Millet, N., Berge, P., Astruc, T., Le Pottier, G. Métabolisme post-mortem et qualités des viandes chez la dinde- comparaison d'une souche Standard, fermière et du produit de leur croisement, Quatrièmes Journées de la recherche Avicole, Nantes 27-29 mars 2001, p257-260.

Fiend, T.H. 1980. Stress: What is it and How can it be Quantified? Int Stud Anim Prob, 1, 6, P366-374.

Foury, A. 2005, Aspects génétiques des réponses neuroendocriniennes des stress chez le porc- conséquences sur la composition de la carcasse, mémoire pour l'obtention du Diplôme de l'Ecole Pratiques des Hautes Etudes, Ecole Pratique des Hautes Etudes (sciences de la vie et de la terre, np21.

Francois, J. 2002, Contribution à l'étude des viandes PSE et de type PSE chez le porc, Thèse pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire, Université Claude Bernard Lyon I, np154.

Fraysse J-L., Darre, A.1990. Produire des viandes sur quelle base économique et biologique, technique et Documentation- Lavoisier 11, Rue Lavoisier – F75384 Paris Cedex 08 NP374, p265-297.

Gallo, C., Lizondo, G., Knowles, T.G. 2003. Effects of Journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile, *Veterinary Record*, 152, 12, p361-364.

Gayrard, V. cours physiologie de l'école nationale vétérinaire de Toulouse.

Gebresenbet, G., Wikner, I., Bobobee, E.Y.H., Maria, G., Villarroel, M. 2012. Effect of transport time and handling on Physiological responses of Cattle, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2, p 800-814.

Gilles, S. 2006. Etude du stress des soignants dans les services d'urgence et SMUR de Meurthe et Moselle, thèse pour obtenir le grade de Docteur en médecine, faculté de médecine de Nancy, NP155.

Goumon, S. 2013, effets de la configuration du camion et de la manipulation sur le bien-être du porc d'abattage pendant le transport, thèse en vue de l'obtention du titre de Doctorat en Sciences Animales, Université LAVAL, np 189.

Goutefongea, R. 1963. Les viandes exsudatives, *Ann. Zootech*, 12,4, p 297-357.

Grandin, T. 1997. Assessment of Stress during Handling and Transport, *Journal of Animal Science*, volume 75, p249-257.

Grigor, P.N., Cockram, M.S., Steele, W.B., McIntyre, J., Williams, C.L., Leushuis, I. E., Van Reenen, C.G. 2004. A comparison of the welfare and meat quality of veal calves slaughtered on the farm with those subjected to transportation and lairage, *Livest. Prod. Sci*, 91, p 219-228.

Guerin, C., Thapon, J-L. du muscle à la viande et aux produits dérivés « dans Science des aliments biochimie, microbiologie, procédés, produit », Editions TEC § DOC 11, rue Lavoisier 75008 Paris, 2007, P61-104.

Guillemin, N. 2010, Marqueurs protéiques de la tendreté de la viande bovine : étude prédictive et fonctionnelle, thèse pour l'obtention du grade de Docteur d'Université – Spécialité Physiologie et Génétique Moléculaires, Université Blaise Pascal, np189.

Harkati, A. 2007, Étude des paramètres biologiques intervenant dans l'attendrissage naturel de la viande ovine et leurs relations au facteur type de muscle, mémoire pour l'obtention du Diplôme de Magistère en Sciences Alimentaires option biochimie et technologies alimentaires, Institut de la Nutrition, de l'Alimentation des Technologies Agro-Alimentaire Constantine, np74.

Henricks, D.M., Cooper, J.W., Spitzer, J.C., Grimes, L.W. 1984. Sex Differences in plasma cortisol and Growth in Bovins, *Journal of Animal Science*, 2, 59, p 376-383.

Hocquette, J-F., Ortigues-Marty, I., Damon, M., Herpin, P., Geay. Y. 2000. Métabolisme énergétique des muscles squelettique chez les animaux producteurs de viande, *INRA. Prod. Anim.*, 13, 3, p185-200.

Jamain, G., Griot, B., Chevillon, P. 2000. Evaluation du stress du porc, *Techni*, n°5, vol 23, p5-17.

Knowles, T.G. 1999. A review of the road transport of cattle, *Vet, Rec*, 144, p 197-201.

Kolb, E. 1975. *Physiologie des animaux domestique*, VIGOT FRERES, np961.

Kotula, K. L., Wang, Y. 1994. Characterization of Broiler meat quality factors as influenced by Feed withdrawal time, *J. Appl. Poultry Res*, 3, p 103-110.

Lapeyrade, E. 2014, Manifestations cliniques et endocrines liées au stress chez le chien et le chat- étude bibliographique comparative-, Thèse pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire, université Paul-Sabatier de Toulouse, np83.

Le Moal, C.G.A, 2015. Bien-être du Cheval Hospitalisé en Clinique Vétérinaire : Evaluation et Impact de L'enrichissement de L'environnement, Thèse pour obtenir le Doctorat Vétérinaire, la Faculté de Médecine de Créteil, np93.

Lefaucheur, L. 1989. Les différents types de fibres musculaires chez le porc conséquences sur la production de viande, *INRA production animal*, 2, 3, P 205-213.

Leindre, P. 1989. Influence of rearing conditions and breed on social behavior and activity of cattle in novel environments, *Appl. Anim. Behav. Sci*, 23, p 129-140.

Lensink, J., Fernandez, X., Cozzi, G., Florand, L., Veissier, I. 2001. The influence of farmers behavior towards calves on animals responses to transport and quality of veal meat, *J. Anim. Sci*, 79, p642-652.

Limea, L.2009, Effet des conditions d'alimentation et d'abattage sur les caractéristiques de carcasse et de viande du caprin créole, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, école Doctorale A.B.I.E.S (Agriculture Alimentation Biologie Environnement Sante), np218.

Matteri, R.L., Carroll, J.A., Dyer, C.J. Neuroendocrine reponses to stress "dans" the biology on animal stress, *CAB International*, 2000, p43-76.

Mitchell, M.A., Kettlewell, P.J., Maxwell, M. H. 1992. Indicators of physiological stress in broiler chickens during road transportation, *Anim. Welf*, 1, p91-103.

Moberg, G.P. Biological Response to Stress: Implications for Animal Welfare dans The Biology of Animal Stress (Basic Principles and Implications for Animal Welfare), CAB International 2000, p1-21.

Monin, G. 1988. Evolution post mortem du tissu musculaire et conséquences sur des qualités de la viande de porc, Journées Rech porcine en France, 20, p 201-214.

Monin, G. 1991. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine, INRA production animal, 4, 2, p151-160.

Monin, G., ROYANT, P. 1980. Attente à l'abattoir et viandes à coupe sombre chez les bovins, Ann. tech., 29, I, P 87-91.

Monod, H. 2002. Auteur de l'ouvrage Cerretelli, P., 2001. Traduction et préface Monod, H., 2002. Traite de Physiologie de l'exercice et du sport, 2eme édition, MASSON S.A., P1-50, np489. <https://books.google.com/books?isbn=2294003659>.

Mormede, P.1995. Le stress : interaction animal-homme-environnement, Cahiers agricultures, 4, p275-286.

Mota-rojas, D., Becerril Herrera, M., Trujillo-Ortega, M.E., Alonso-Spilsbury, M., Flores-Peinado, S.C., Guerrero-Legarreta, I. 2009. Effects of pré-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles, Journal of animal and Veterinary Advances, 8, 2, p 246-250.

Mouchet, P. système nerveux autonome, cours physiologie et neurophysiologie, Université Joseph Fourier de Grenoble année universitaire 2011/2012, www. Medatice-grenoble.fr.

Mpakama, T., Chulayo, A.Y., Muchenje, V. 2014. Bruising in Slaughter Cattle and its relationship with Creatine Kinase Levels and Beef quality as affected by Animzl Related factors. Asian Australas. J. Anim. Sci, 5, 27, p 717-725.

Ouali, A. 1991. Conséquences des traitements technologiques sur la qualité de la viande, INRA production animales, 4, 3, np 195-208.

Park, B.Y., Lee, J.M., Hwang, H. 2007. Effect of postmortem metabolic rate on meat color, Asian-aust. J. Anim. Sci, 20, 4, p 598-604.

Pearson, A.J., Kilgour, R., DE Langen, H., Payne, E. 1977. Hormonal responses of Lambs to trucking. Handling and electric stunning, N.Z. Soc. Anim. Prod, 37, p243-248.

Picard, B., Bauchart, D., Culioli, J., Dransfield, E., Jailler, R., Jurie, C., Lepetit, J., Listrat, A., Ouali, A., Rudel, S., Geay, Y. Caractéristiques des muscles de taurillons et de vaches de réforme de quatre races Bovines du massif central, communications orales, 9eme Journées des Sciences du muscle et technologies de la viande 15 et 16 octobre 2002.

Picard, B., Jurie, C., Cassar-Malek, I., Hocquette, J-F. 2003. Typologie et ontogénèse des fibres musculaires chez le bovin, *INRA Prod. Anim.*, 16, 2, p125-131.

Plumier J.C. Système nerveux « dans Physiologie animale », De Boeck & Larcier S.A., 2006, P353-527.

Proverbio, A., Perego, R., Spada, E., Bugnagatti de Giorgi, G., Belloli, A., provettoni, D. 2013. Comparison of VIDAS and Radioimmunoassay method for measurement of cortisol concentration in Bovine serum, *the scientific World journal*, p1-5.

Quintard, B. 2001. Le concept de stress et ses méthodes d'évaluations, *recherche en soin infirmiers*, 67, p 46-59.

Richard, S., Auperin, B., Bolhuis, J.E., Geverink, N.A., Jones, B.C., Lepage, O., Mignon-Grasteau, S., Mormede, P., Prunet, P., Beaumont, C. 2007. Bien-être animal: quelles relations entre les critères physiologiques et comportementaux d'adaptation ?, *INRA Prod. Anim.*, 20, 1, p29-34.

Rieutort, M., Pichard, D. 1998. Physiologie animale : les cellules dans l'organisme, 2eme édition, MASSON S.A., NP 323.

Roux, M. 2006, Structure, expression et polymorphisme du gène PRKAG3 bovin : implication dans le métabolisme musculaire et la qualité de la viande, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de L'Université de Limoges Discipline : Biologie, Sciences, Santé, Institut des Sciences de la vie et de la Santé Unité de Génétique Moléculaire Animale. UMR 1061 INRA/ Université de Limoges, np 167.

Salajpal, K., Dikić, M., Karolyi, D., Sinjeri, Z., Liker, B., Kostelić, A., Jurić, I. 2005. Blood serum metabolites and meat quality in crossbred pigs experiencing different lairage time, *Italian Journal of Animal Science*, 4, 3, p 119-121.

Salifou, C.F.A., Bahouda, M., Boko, K.C., Kassa, S. K., Houaga, I., Farougou, S., Mensah, G. A., Salifou, S., Toléba, S.S., Clinquart, A., Youssao, A.K.I. 2013. Evaluation de la qualité de la viande de Bovins des races Borgou, Lagunaire et Zébu sur paturages naturels, *J. Appl. Biosci*, 63, p4736-4753.

Sartorelli, P., Dominoni, S., Agnes, F. 1992. Influence of duration of simulated transport on plasma stress markers in the calf, *J. Vet. Med*, 39, 401.

Schmidt-Nielsen, K. 1998. Physiologie animale : adaptation et milieux de vie, Dunod, Paris, np595.

Scott, S.L., Schaefer, A.L. 1999. Effet du transport sur le bien-être des animaux et la qualité des viandes, *Chiers Agricultures*, 8, p451-459.

Tarek- Mohamed, M.M. 2007, Microencapsulation de cellules chromaffines bovines dans le traitement des douleurs chroniques rebelles : étude de faisabilité in vitro et in vivo, thèse en vue de l'obtention du Doctorat de l'université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, np100.

Tarrant, P.V. 1990. Transportation of cattle by road, *Appl. Anim. Behav. Sci*, 28, p153-170.

Terlouw, C., Bourguet, C., Cohen-Tannugi, C., Deiss, V. 2011. Réactions de stress des bovins dans un abattoir industriel français : relations avec les procédures d'abattage et les caractéristiques des animaux, *Viandes & produits carnes*, p1-20.

Terlouw, C., Rybarczyk, P., Fernandez, X., Blinet, P., Talmant, A. 1997. Comparaison de la réactivité au stress des porcs de races Large White et Duroc : Conséquences sur des indicateurs de qualités des viandes, *Journées Rech. Porcine en France*, 29. p 383-390.

Terlouw, E.M.C. 2002. Stress des animaux et qualités de leurs viandes. Rôles du patrimoine génétique et de l'expérience antérieure, *INRA Prod Anim*, 15, 2, np 125-133.

Terlouw, E.M.C., Arnould, C., Auperin, B., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Lefevre, F., Lensink, K., Mounier, L. 2007. Impact des conditions de pré-abattage sur le stress et le bien-être des animaux d'élevage, *INRA Prod. Anim*, 20, 1, P93-100.

Terlouw, E.M.C., Bourguet, C., Cassar-Malek, I., Deiss, V., Lebret, B., Lefevre, F., Picard, B. 2014. Stress à l'abattage et qualités des viandes: les liens se confirment, 14^{ème} journées du muscle et technologies des viandes- 13 et 14 novembre 2012 Caen, p135-142.

Terlouw, E.M.C., Cassar-Malek, I., Picard, B., Bourguet, C., Deiss, V., Arnould, C., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Lefèvre, F., Lebret, B. 2015. Stress en élevage et à l'abattage : impacts sur les qualités des viandes, *INRA Prod. Anim.*, 28, 2, p169-182.

Timsit-Berthier, M. 2014. Evolution du Concept de Stress, *Res-Systémica*, Vol 10, numéro spécial, p1-10.

Touratier, C.1992, Comportement des protéines sarcoplasmiques de la viande de porc au cours du stockage et du chauffage. Relation avec la qualité de la viande, Thèse pour obtenir le titre de Docteur de l'INPL, Institut National Polytechnique de Lorraine, np123.

Tritschler, L. 2006, Comprendre le fonctionnement de l'horloge circadienne par l'étude de trois de ses sorties : les rythmes de sécrétion de mélatonine et de corticostérone et de rythme d'activité locomotrice, thèse pour l'obtention de Docteur d'université neurosciences, l'université louis pasteur de Strasbourg faculté des sciences de la vie, np118.

Valin, C. 1988. Différenciation du tissu musculaire. Conséquences technologiques pour la filière viande, reproduction, nutrition, développement, n° 3 B, 12, 845-856.

Veissier, I. Le bien-être animal : à la croisée des chemins de la biologie, de l'éthique et des productions animales, (Communication présentée le 22 novembre 2012), Bull. Acad. Vét. France, Tome 165 - n°4 <http://www.academie-veterinaire-defrance.org/>

Warris, P.D., Brow, S.N., Edwards, J.E., Anil, M. H., Fordham, D.P. 1992. Time in lairage needed by pigs to recover from the stress of transport, The Veterinary Record, 131, p194-196.

Résumé

Les qualités sensorielles et technologiques de la viande dépendent des conditions d'évolution du métabolisme musculaire au moment de l'abatage. Ces dernières sont largement influencées par l'état physiologique de l'animal et notamment de ces éventuelles réactions de stress.

Nous nous sommes intéressés aux effets liés à la procédure de pré-abattage ainsi que les caractéristiques des animaux (race, âge, sexe) sur le niveau de stress des bovins et le métabolisme musculaire post mortem précoce. L'étude a porté donc sur deux abattoirs de la wilaya de Sétif et un abattoir de la wilaya de Bejaia. Les prélèvements ont été effectués au niveau de la ferme, à l'arrivée en abattoir, au moment de la mise en décubitus et au moment de la saignée. Pour les mesures du pH et de la température post-mortem, elles ont été effectuées à une heure après l'abatage, puis chaque demi heure, jusqu'à deux heures et trente minutes.

Le niveau de stress exprimé par la concentration du cortisol est plus important chez les animaux de la race locale, ainsi que chez les femelles. Les facteurs les plus incriminés dans le stress des animaux sont : Le transport, mais aussi la privation d'aliment associée à des mises en attentes au niveau des abattoirs. Dans la partie consacrée au stress et au métabolisme énergétique, il a été mis en évidence l'effet de l'âge. Ainsi, nos résultats montraient que l'association du stress et de l'activité physique dans les heures qui précédaient l'abatage, peuvent induire des valeurs de pH post-mortem précoce plus basses avec des températures post mortem précoces plus élevées. Par ailleurs, un niveau de stress élevé suite à une mise en attente prolongée, associé à la privation de l'aliment, induit des valeurs de pH post-mortem précoce élevées avec des températures post mortem précoces plus basses.

En comparaison à des travaux effectués dans d'autres pays, nos résultats sont corroborés par certains et ne sont pas conformes à d'autres. Cette hétérogénéité des résultats s'explique par les différences liées à l'animal (Race, espèces), mode d'élevage (alimentation, élevage intensif ou extensif), Procédures d'abatage, L'étude elle-même (Protocole appliqué et nombre des facteurs et paramètres étudiés).

Mots clé : Stress, pré-abatage, Transport, Abattage, Abattoir, Qualité Viande, Bovin.

ملخص:

الصفات الحسية والتكنولوجية للحوم تعتمد على ظروف تطور الأيض الخلوي في العضلات خلال عملية الذبح. وتتأثر هذه الأخيرة إلى حد كبير بالحالة الفسيولوجية للحيوان وبالأخص تفاعلات التوتر .

اهتمنا في الدراسة الحالية كان حول الآثار المتعلقة بإجراءات ما قبل الذبح وكذلك خصائص الحيوانات (السلالة والعمر و جنس الحيوان) و أيضا على مستوى توتر الأبقار وعملية الأيض العضلي بعد الموت مباشرة. الدراسة أجريت على مستوى مذبحين الأول في ولاية سطيف والثاني في ولاية بجاية . تم أخذ العينات على مستوى المزرعة، عند الوصول إلى المذبح، خلال استلقاء الحيوان وأخرى عند الذبح . و فيما يخص قياس pH ودرجة الحرارة تم قياسهما بعد الذبح بساعة واحدة ، ثم كل نصف ساعة إلى غاية الساعتين و ثلاثين دقيقة .

مستويات التوتر التي يعبر عنها تركيز الكورتيزول كان لها مستوى أكبر عند الحيوانات من السلالة المحلية ، وكذلك عند الإناث . أهم العوامل التي تدخل في إجهاد الحيوان هي: النقل، ولكن أيضا الحرمان من الغذاء و أيضا الانتظار لفترات طويلة داخل المذابح. فيما يخص التوتر وعملية الأيض الطاقوي ، فقد ثبت تأثير العمر . أظهرت النتائج أيضا أن الجمع بين التوتر و النشاط البدني خلال الساعات التي تسبق الذبح، يمكن أن يؤدي إلى قيم منخفضة من pH وكذلك درجات حرارة أعلى بعد الموت مباشرة. وعلاوة على ذلك ، مستويات عالية من التوتر متبوعة بفترات انتظار طويلة و حرمان الحيوان من الأكل لمدة معتبرة، تؤدي إلى رفع قيم pH و خفض درجات حرارة الذبيحة بعد الموت مباشرة.

بالمقارنة مع الأعمال التي أجريت في بلدان أخرى، نتائجا كانت مطابقة للبعض و مختلفة عن البعض الأخر. و هذا التباين في النتائج كان نتيجة وجود اختلافات بين الحيوانات (السلالة ، والنوع) ونمط التربية (التغذية ، التربية الكثيفة أو الواسعة النطاق) وكذلك طريقة الذبح و الدراسة نفسها (خطة العمل المتبعة و عدد العوامل و الظروف المدروسة) .

الكلمات الرئيسية الإجهاد، قبل الذبح النقل، الذبح، مسلخ، جودة اللحوم، الماشية

Abstract

The sensory and technological qualities of the meat depend on the conditions of development of muscle metabolism at the time of slaughter. These later are largely influenced by the physiological state of the animal especially the potential stress reactions.

We were interested on the effects which relate the pre-slaughter procedure and the characteristics of animals (breed, age, sex) on the level of stress in cattle and the early post mortem muscle metabolism. Therefore, the study was carried on two main slaughterhouses; one in the Bejaia department and the other in Setif. The samples were taken from a farm, For the pH measurement, and post-mortem temperature; they were carried out one hour after the slaughter, then every half an hour, to two hours and a half.

Stress levels expressed by the cortisol concentration are greater in animals of the local breed, and females. The most factors involved in animal stress are: transport, but also the deprivation of food associated with set expectations at slaughterhouses. In the section based on stress and energy metabolism, it has been demonstrated the effect of age. Thus, our results showed that the combination of stress and physical activity in the hours preceding slaughter, can induce early postmortem pH lowering values with early post mortem higher temperatures. Furthermore, high levels of stress after prolonged hold, associated to the deprivation of food, induces high early postmortem pH values with early lower post mortem temperatures.

In comparison to other researches done in other countries, the results are sustained by certain and do not conform to others. This heterogeneity of the results is due to differences in the animal (breed, species), of farming (feeding, intensive or extensive farming), slaughtering procedures, the study itself (applied protocol and number studied factors and parameters).

Keywords: Stress, Pre-slaughter, Transportation, Slaughter, Slaughterhouse, Meat quality, cattle.