



Stress *ante-mortem* et qualité de la carcasse et celle de la viande des animaux de production

Gabriel Assouan Bonou¹, Chakirath Folakè Arikè Salifou¹, Serge Gbênagnon Ahounou¹, Fidèle Halile Paraïso¹, Kenneth Bachabi¹, Mahamadou Dahouda², Jacques Tossou Dougnon³, Souaïbou Farougou³, Issaka Abdou Karim Youssao¹

¹Laboratory of Animal Biotechnology and Meat Technology, Department of Animal Production and Health, Polytechnic School of Abomey-Calavi, University of Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Republic of Benin

²Faculty of Agronomic Sciences, Department of Animal Production, University of Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Republic of Benin

³Department of Animal Production and Health, Polytechnic School of Abomey-Calavi, University of Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Republic of Benin

Corresponding author: E-mail: assougabi@yahoo.fr; iyoussao@yahoo.fr; Tél: +22996111548; +22997912074

Mots clés : Stress, bien-être animal, qualité de la viande, qualité de la carcasse.

Keywords: Stress, animal welfare, meat quality, carcass quality

1 RESUME

Le stress est un état comportemental, physiologique et émotionnel de l'animal confronté à une situation qu'il perçoit comme menaçante pour le fonctionnement de son état corporel ou mental. Cet article a pour but de faire un point des connaissances du stress et de ses conséquences sur la qualité de la carcasse et celle de la viande des animaux de production. Il a été rédigé sur la base d'une revue de littérature. Avant abattage, le stress peut être occasionné par les conditions environnementales, le jeûne avant abattage, les manipulations, la mise en caisse, le transport, l'attente et l'accrochage ainsi que leurs diverses composantes. Certains attributs de qualité peuvent être négativement impactés par ces derniers. Les facteurs de stress peuvent selon le cas engendrer des meurtrissures sur la carcasse, affecter la teneur en glycogène musculaire et augmenter ou diminuer la vitesse de chute ou l'amplitude du pH ultime de la viande, la luminosité, l'indice du rouge, l'indice de jaune, la capacité de rétention d'eau, la force de cisaillement, la jutosité, la flaveur et la tendreté. Cet article de synthèse rappelle le concept et la physiologie du stress et aborde ensuite les facteurs *ante-mortem* responsables du stress chez les animaux de production ainsi que les critères de qualité de carcasse et de viande. Il se focalise enfin sur les conséquences du stress *ante-mortem* (environnement, jeûne avant abattage, manipulation de la mise en caisse au transport, accrochage avant abattage) sur la qualité de la viande.

ABSTRACT

Stress is a behavioral, physiological and emotional state of the animal facing a situation that it perceives as threatening for its bodily or mental state functioning. This article aims to make a point on the stress knowledge and on its consequences on carcass and meat quality in food animals. It has been written based on a literature review. Before slaughter, the stress can be caused by environmental conditions, feed withdrawal prior slaughter, handling, crating, transportation, waiting and hanging as well as their various components. Certain quality attributes may be negatively impacted by these last ones. According to the case, the stress factors may result in carcass bruising, affect the muscle glycogen content and increase or



decrease the meat pH fall speed or ultimate pH level, lightness, redness, yellowness, water holding capacity, shear force, juiciness, flavor and tenderness. This review article recalls stress concept and physiology and afterward goes over the *ante-mortem* responsible factors in food animals as well as carcass and meat quality criteria. It focuses finally on the consequences of the *ante-mortem* stress (environmental, feed withdrawal before slaughter, handling from crating to transportation, and pre-slaughter hanging) on meat quality.

2 INTRODUCTION

Le bien-être des animaux et la qualité ultérieure de leur viande sont deux aspects qui préoccupent les éleveurs, consommateurs et scientifiques dans les filières d'élevage et d'abattage. De 1975 à 2009 par exemple, le nombre de publications scientifiques concernant le bien-être animal paru dans les revues internationales des plateformes de la base de données « web of knowledge », s'est accru de façon exponentielle (Bourguet, 2010) et le terme bien-être animal continue jusqu'à nos jours de retenir l'attention des chercheurs. Dans les pays développés, des dispositions légales et réglementaires encadrent le bien-être des races animales élevées. Par exemple, la loi française dite «nature» du 10 juillet 1976 stipule que «tout animal étant un être sensible doit être placé par son propriétaire dans des conditions compatibles avec les impératifs biologiques de son espèce». Au terme des articles 214-1 et 214-3 du Code Rural français, il est interdit d'exercer de «mauvais traitements envers les animaux domestiques ainsi qu'envers les animaux sauvages apprivoisés ou tenus en captivité» et nécessaire de «leur éviter des souffrances lors des manipulations inhérentes aux diverses techniques d'élevage, de parage, de transport et d'abattage» (Versier *et al.*, 2007).

La qualité de la viande quant à elle, est une condition nécessaire pour la santé des consommateurs et fait de plus en plus la préoccupation de nombreux scientifiques. Mais le bien-être animal et la qualité de la viande peuvent

être affectés par l'état d'équilibre entre l'organisme et le milieu extérieur en d'autres termes, le stress. Les aspects induisant de stress dans les procédures d'abattage peuvent avoir des conséquences néfastes pour le bien-être animal (Boissy, 1998) et la qualité de la viande (Gregory and Gradin, 1998). De ce fait, des études sur l'influence des conditions *ante-mortem* sur la qualité de la viande ainsi que sur les possibilités d'amélioration sont entreprises dans plusieurs pays du monde notamment ceux les plus avancés (González *et al.*, 2007 ; Frimpong *et al.*, 2014 ; Perai *et al.*, 2014 ; Zhang *et al.*, 2014). Cependant, plusieurs pays en voie de développement demeurent à la traîne et ne connaissent toujours pas le comportement des races animales élevées face au stress. Or, la réaction d'un organisme en situation de stress est liée au potentiel génétique et au vécu du stressé (Terlouw *et al.*, 2005 ; Terlouw et Rybarczyk, 2008 ; Chabault *et al.*, 2012). Il importe alors encore d'élucider le concept de stress, ses potentiels causes et effets en vue de faciliter le démarrage ou la poursuite des études d'impact et d'atténuation des effets du stress sur le bien-être et la qualité de la viande des ressources zoo-génétiques endogènes de ces pays. Cet article décrit le stress, fait un point sur les facteurs *ante-mortem* responsables et leurs conséquences sur la qualité de la carcasse et celle de la viande des animaux de production.

3 CONCEPT ET PHYSIOLOGIE DU STRESS

3.1 Concept du stress : Le mot stress étymologiquement vient du latin “*stringere*” qui veut dire tendu, raide et de l'anglais “**distress**” qui veut dire détresse. Le stress est la réponse non spécifique du corps à une quelconque demande alors que l'agent de stress est ce dernier

qui produit de stress à n'importe quel moment (Selye, 1976). 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 (Fraser *et al.*, 1975). Mieux,



considérant les réponses émotionnelles, le stress se définit comme l'état comportemental, physiologique et émotionnel de l'animal confronté à une situation qu'il perçoit comme menaçante pour le fonctionnement de son état corporel ou mental (Désiré *et al.*, 2004 ; Terlouw, 2005). Le stress est donc une réponse multidimensionnelle qui correspond à une émotion négative affectant ainsi l'état de bien-être de l'animal (Veissier and Boissy, 2007). Toutefois, il convient de distinguer le terme stress de notions qui lui sont proches mais distinctes et qui peuvent en être des composantes telles que la peur ou l'anxiété. La peur se définit comme étant un sentiment immédiat d'angoisse éprouvé en présence ou en la pensée d'un danger réel ou supposé, et constitue une réponse adaptative de défense permettant d'augmenter de chances de survie de l'animal (Arpaillage, 2007 ; Horwitz et Neilson, 2007). L'anxiété quant à elle, est un état prolongé d'inquiétude et de tension nerveuse dû à un sentiment indéfinissable d'insécurité et d'incertitude, les stimuli déclenchant n'étant alors plus identifiables (Dramard, 2007).

3.3 Physiologie du stress : Face au stimulus, les organes sensoriels et les innervations afférentes réceptionnent les informations. Le cortex et le système limbique réalisent une analyse comparative entre le stimulus perçu et les expériences affectives passées, afin d'élaborer une réponse adaptée. Enfin, l'amygdale et l'hippocampe par l'intermédiaire de l'hypothalamus et de la formation réticulée déclenchent une réponse coordonnée au stimulus. Il y a alors activation immédiate du système neuro-végétatif ou orthosympatique et du système neuro-endocrinien ou axe corticotrope (Lucarelli, 2011). Une fois le stimulus intégré et perçu comme stressant, l'hypothalamus est l'organe clé dans le déclenchement des réactions au stress et représente le carrefour des informations afférentes et des signaux efférents vers les différents systèmes effecteurs (Brisville, 2006). Les réactions de l'organisme au stress se décrivent sous le terme de « syndrome général d'adaptation » et comportent trois phases. La première consiste en la mise en place d'une «

réaction d'alarme ou d'urgence », qui est une réponse quasi instantanée lors de stress aigu. Cette réponse requiert l'activation du système nerveux orthosympatique ou neuro-végétatif ou système nerveux autonome (figure 1) et utilise comme médiateurs préférentiels les catécholamines à savoir l'adrénaline et la noradrénaline (Brisville, 2006 ; Lucarelli, 2011). La noradrénaline est libérée par les terminaisons nerveuses sympathiques directement dans les organes cibles (cœur, vaisseaux...) et l'adrénaline par les glandes surrénales dans le sang. En activant leurs récepteurs dans les vaisseaux sanguins et d'autres organes, ces molécules préparent le cœur et les muscles à l'action (Desarménien, 2013). Elles exercent des effets immédiats sur les systèmes cardiovasculaires, le métabolisme général et le système nerveux central. La deuxième phase de la réponse qualifiée de « phase de résistance » survient lorsque le stimulus persiste et est souvent associée à un stress chronique. Elle met en jeu des systèmes complexes endocriniens organisés en axes hypothalamo-hypophysaire-glandes endocrines, responsables de modifications endocrines ultérieures (Hargreaves, 1990). Il s'agit de l'axe corticotrope (figure 1) mettant en jeu les glucocorticoïdes particulièrement sollicités (Lucarelli, 2011). En effet, la corticolibérine (CRF) libérée par l'hypothalamus à la base du cerveau atteint l'hypophyse, une glande endocrine située sous le cerveau, pour stimuler la sécrétion d'ACTH (Adreno-Cortico-Trophic Hormone). L'ACTH emprunte la circulation générale pour atteindre la glande surrénale et stimuler la libération de glucocorticoïdes, qui régulent le métabolisme et maintiennent l'homéostasie (Desarménien, 2013). Les deux phases peuvent toutefois coexister dans le temps agissant alors en synergie dans la réponse. Enfin, lorsque le stimulus persiste et qu'un état de stress chronique se met en place, la troisième et ultime phase de la réponse appelée « la phase d'épuisement » se manifeste. Diverses maladies vont pouvoir se développer jusqu'à mettre en péril la survie de l'individu à l'issue du développement de carences ou à l'issue d'une baisse de résistance aux agents pathogènes de l'environnement (Brisville, 2006).

Les manifestations physiologiques du stress chez l'animal peuvent conduire à des réactions comportementales se traduisant par exemple par la fuite ou des attaques. Ces réactions physiologiques et comportementales *ante-mortem* pourraient avoir des effets mesurables sur les qualités des viandes (Terlouw *et al.*, 2015). Mais il existe des différences entre les animaux dans leurs réactions aux facteurs de stress. Les réactions de stress mesurées pendant des tests réalisés au cours de l'élevage et celles recueillies pendant la période d'abattage sont en cohérence. Par exemple, les porcs qui ont moins tendance à s'approcher de l'Homme pendant un test de docilité, sont plus réactifs à l'abattage, comme indiqué par un métabolisme musculaire *post-mortem* plus rapide. La réactivité au stress mesurée en élevage pouvait expliquer jusqu'à 70% de la

variabilité dans le pH ultime et la couleur des viandes (Terlouw *et al.*, 2005 ; Terlouw et Rybarczyk, 2008). De même, les porcs qui exploraient plus longtemps un objet non familier pendant un test de nouveauté, s'engageaient dans plus de combats lorsqu'ils étaient mélangés avec d'autres porcs pendant la période d'abattage. Le Piétrain stress négatif de génotypes de résistance à l'halothane possède à l'abattage, une meilleure qualité de carcasse et de viande comparativement au Piétrain classique caractérisé par le Syndrome du stress chez le porc dont la viande est dite PSE (Pale Soft and Exsudative) (Youssao *et al.*, 2002). Chez les bovins et les ovins, il existe de même une cohérence dans la réactivité émotionnelle et ainsi leurs réponses au stress pendant la période d'engraissement peuvent prédire leurs réactions à l'abattage (Boissy *et al.* 2005 ; 2007).

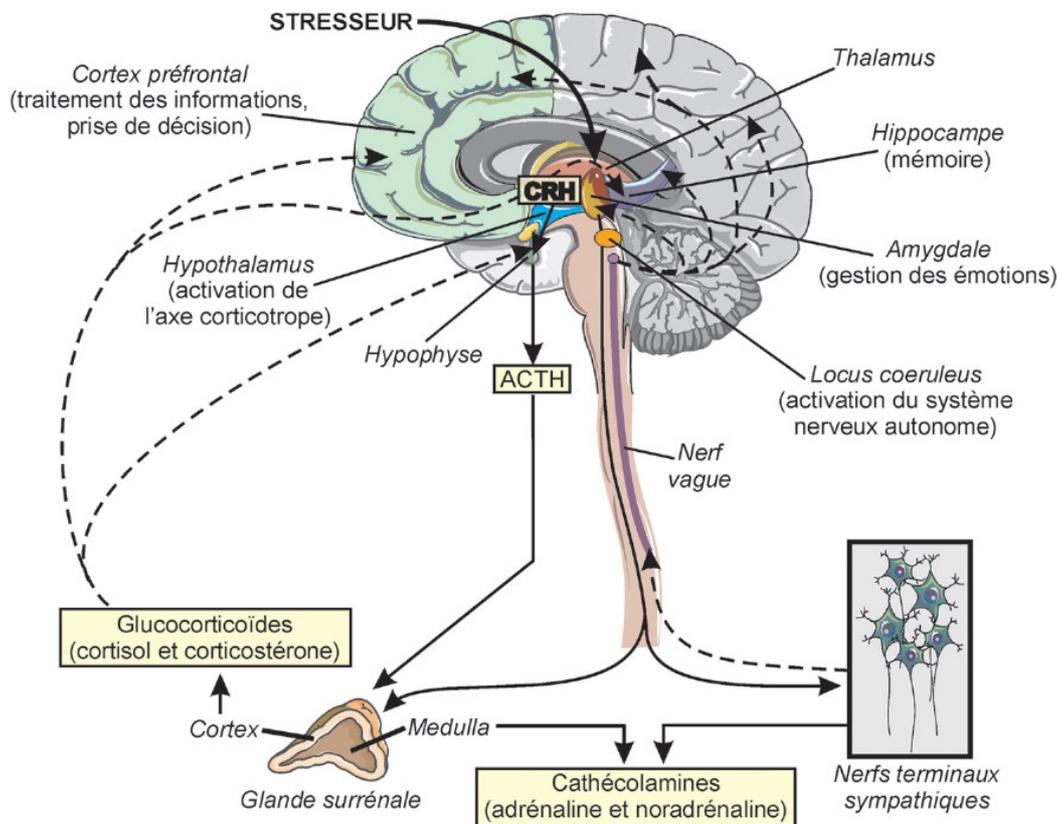


Figure 1 : Mécanisme physiologique du stress (Chrousos et Gold, 1992 ; Johnson *et al.*, 1992 ; de Kloet *et al.*, 2005)



3.4 Facteurs *ante-mortem* responsables de stress chez les animaux de production :

L'abattage comprend une série de procédures potentiellement stressantes. Elles débutent généralement depuis la capture et la mise à jeun, passent par le transport pour l'abattoir et prennent fin avec la mise à mort de l'animal. Les causes de stress pendant la période *ante-mortem* sont variées. Pendant cette période, certains facteurs de stress sont d'origine physique ou physiologique, comme la privation alimentaire, la fatigue ou la douleur, et d'autres sont d'origine psychologique, comme la présence de l'homme, l'absence de congénères familiers ou la confrontation à des environnements nouveaux (Terlouw *et al.*, 2015). Chez le porc, la privation alimentaire, la durée du transport et le mélange entre animaux en période pré-abattage sont à l'origine de réactions de stress (Terlouw *et al.*, 2012). Le mélange de porcs non familiers pendant le transport et l'attente à l'abattoir peut stimuler l'expression de comportements agressifs. Chez les bovins, il est bien établi que le mélange d'animaux ou le transport de longue durée sont stressants (Terlouw *et al.*, 2008). Pendant le transport et l'attente *ante-mortem* à l'abattoir de Kumasi au Ghana, les coups de fouet, le tirage de la queue et les coups de pierres figurent parmi les pratiques de manipulations les plus stressantes pour les bovins (Fimpong *et al.*, 2014). Chez les ovins, la mise à jeun, les manipulations, le chargement et le déchargement du camion, le confinement, les perturbations sociales durant le transport et à l'abattoir sont des sources de stress qui peuvent détériorer les qualités des viandes (Terlouw *et al.*, 2008). Au cours du transport, plusieurs paramètres sont à considérer. Le type de conduite (notamment les accélérations, les virages pris en grande vitesse et les freinages) influence le comportement des ovins. Une mauvaise conduite a un effet restreint sur les pertes d'équilibre mais limite la possibilité pour les ovins de se reposer (Cockram *et al.*, 2004). Les transports d'agneaux sur des routes secondaires ou non goudronnées sont associés à des augmentations plus prononcées du cortisol et de la fréquence cardiaque (Ruiz-de-la-Torre *et al.*, 2001 ; Miranda-de la Lama *et al.*, 2011). Les manipulations à

l'abattoir peuvent aussi être sources de stress émotionnel. L'utilisation d'un chien, des contacts directs avec le bouvier ou l'utilisation d'un sifflet pour déplacer les animaux sont positivement corrélées avec le niveau de cortisol plasmatique (Hemsworth *et al.*, 2011). Chez la volaille, les principales causes de stress connues sont celles liées à la mise en caisse, au transport, à l'attente à l'abattoir, à l'accrochage et à la privation alimentaire. En effet, la manipulation et la mise en caisse des animaux constituent des actes stressants (Gregory, 1994). En particulier, la durée de mise en caisse augmente significativement le niveau de corticostérone plasmatique traduisant un état de stress accru des animaux (Kannan et Mench, 1996). Au cours du transport, le stress peut être occasionné par les vibrations, les mouvements du camion, les perturbations sociales, le bruit et les conditions thermiques (Mitchell et Kettlewell, 2009). La mortalité est fonction de la durée et surtout de la température pendant le transport, avec une température optimale entre 10 et 15 °C (Nijdam *et al.*, 2004). L'attente des animaux à l'abattoir dans des conditions de températures élevées provoque une augmentation du niveau de cortisol (Debut *et al.*, 2005). L'humidité de l'air influence également le stress provoqué par des températures basses ou élevées (Mitchell et Kettlewell, 1998). L'accrochage est considéré comme source de douleur et de peur (Gentle et Tilston, 2000 ; Kannan *et al.*, 1997). Plus la durée d'accrochage augmente, plus il est facile d'induire, chez les oiseaux, des réactions d'immobilité tonique, indicateur de peur (Bedanova *et al.*, 2007). La durée de l'accrochage est également positivement corrélée avec les niveaux plasmatiques de corticostérone, de glucose et de lactate (Kannan *et al.*, 1997 ; Debut *et al.*, 2005 ; Bedanova *et al.*, 2007).

3.5 Critères de qualité de la carcasse et de la viande : La qualité de la carcasse se détermine par sa proportion de viande maigre relativement aux tissus gras, osseux et aux viscères (Lebret *et al.*, 2015). Sa valeur commerciale est appréciée par sa composition (maigre/gras), sa conformation et son poids, son rendement en carcasse (poids de carcasse relativement au poids vif de l'animal au

stade d'abattage) ainsi qu'à la proportion de muscle dans toutes les espèces (Lebret et Picard, 2015). Chez la volaille, elle est liée au rendement en filet et à la teneur en gras abdominale (Sandercock *et al.*, 2009). La notion de la qualité de la viande quant à elle, recouvre les aspects hygiénique, nutritionnel, organoleptique et technologique. Les deux derniers aspects préoccupent plus dans les études abordant le stress et la qualité de la viande. La qualité organoleptique de la viande est l'appréciation faite par les organes de sens. Le terme de caractéristiques « sensorielles » est également employé (Sauvageot, 1982). Elle regroupe la couleur, la tendreté, la flaveur et la jutosité.

▪ **Couleur** : La couleur de la viande est souvent considérée comme un indicateur de fraîcheur et de la qualité globale de la viande (Fletcher, 1999 ; Clinquart *et al.*, 2000 ; Coibion, 2008). Elle peut être déterminée par une méthode sensorielle se basant sur des grilles de classement de couleur ou par une méthode instrumentale par mesure de la luminance (L^*) et des indices de rouge (a^*) et de jaune (b^*) permettant de calculer la saturation (C^*) et la teinte (h°) (Lebret *et al.*, 2015).

▪ **Tendreté** : La tendreté mesure la facilité avec laquelle la structure de la viande peut être désorganisée au cours de la mastication (Ouali *et al.*, 2006). Elle peut être estimée par plusieurs méthodes. La tendreté d'une viande peut être appréciée en temps réel sur le terrain par une

méthode sensorielle ou par des méthodes physiques et des méthodes physico-chimiques (Cartier et Moëvi, 2007).

▪ **Flaveur** : La flaveur correspond aux perceptions olfactives et gustatives lors de la dégustation (Touraille *et al.*, 1989 ; Gandemer *et al.*, 1990). La viande crue possède une faible odeur, un goût sanguin et une flaveur peu prononcée. Elle contient des précurseurs de la flaveur qui donnent naissance aux composés d'arômes lors de la cuisson par le biais de réactions chimiques complexes (Clinquart, 2000 ; Iberraken et Maouche, 2007).

▪ **Jutosité** : La jutosité est l'impression de libération de jus au cours de la mastication et est liée à la quantité d'eau libre qui se trouve dans la viande et à la sécrétion de salive stimulée essentiellement par les lipides (Girad *et al.*, 1988). Elle varie suivant le taux de lipides intramusculaire (Touraille *et al.*, 1989 ; Hodgson *et al.*, 1991 ; Echelenboom *et al.*, 1996 ; Youssao *et al.*, 2002). La jutosité de la viande cuite présente deux composants organoleptiques (Lawrie, 1991). Le premier est l'impression d'humidité durant les premières mastICATIONS produites par la libération rapide de fluides par la viande et le deuxième est la jutosité soutenue liée à l'effet stimulant de la graisse sur la salivation (Bout et Girard 1988 ; Lebret *et al.*, 2015). Il est à noter qu'il existe des relations entre les caractéristiques musculaires et les différents attributs de la qualité organoleptique de la viande (Figure 2).

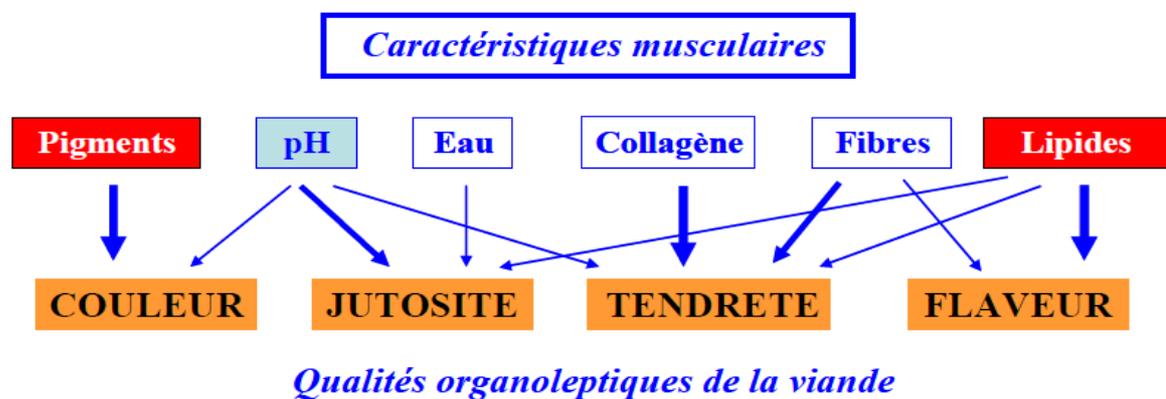


Figure 1: Relations entre les caractéristiques musculaires et les critères de qualité organoleptique de la viande (Hocquette *et al.*, 2000).



La qualité technologique de la viande pour sa part, représente sa capacité à être transformée et conservée (Monin, 1991). Elle peut être exprimée principalement par le pH et par la capacité de rétention d'eau.

- **Le pH :** Le pH est la caractéristique de la viande fraîche la plus fréquemment mesurée et est déterminé par les réserves en glycogène de l'animal au moment de sa mort. L'évolution du pH *post-mortem* est caractérisée par la vitesse et l'amplitude de sa chute. La vitesse de chute du pH est directement proportionnelle à l'activité d'hydrolyse de l'ATP mesurée par le pH à 15 minutes *post-mortem* et l'amplitude par le pH ultime, 24 heures après la mort de l'animal (Sante *et al.*, 2001 ; Berri, 2015 ; Lebret et Faure, 2015 ; Lebret et Picard, 2015).
- **La capacité de rétention d'eau :** La capacité de rétention en eau de la viande (CRE)

est sa capacité à retenir l'eau intrinsèque (Monin, 1988). Elle est fortement influencée par la vitesse et l'amplitude de la diminution du pH *post mortem*. En effet, quand le pH s'éloigne du point isoélectrique des protéines ($pH_i=5$), le réseau protéique s'écarte laissant plus ou moins de place disponible pour l'eau, entraînant des modifications de la CRE. Les viandes à tendance acide retiennent donc mal l'eau. Autrement, une chute trop rapide combinée à une température élevée provoque la dénaturation des protéines musculaires, une réduction de la CRE et la production de viandes exsudatives chez le porc et les volailles. Une amplitude importante de chute du pH (viandes acides) diminue la charge nette des protéines, entraînant aussi une baisse de la CRE (Monin 1988 ; Fernandez *et al* 2002 ; Lebret *et al.*, 2015).

4 CONSÉQUENCES DU STRESS ANTE-MORTEM SUR LA QUALITÉ DE LA VIANDE

4.1 Stress des conditions environnementales : Les variations de la température environnementale sont à l'origine des changements comportementaux et métaboliques et influencent la qualité de la viande des animaux. Les températures élevées en élevage de poulets de chair influencent négativement la qualité de la viande (Aksit *et al.*, 2006 ; Wang *et al.*, 2009 ; Dai *et al.*, 2009). Suite à une forte température au cours des 21 premiers jours d'élevage, le pH de la viande 15 minutes *post mortem* est plus bas et elle a une tendance à mal retenir l'eau (Skomorucha *et al.*, 2010). L'exposition de poulets à des températures de plus de 30°C avant l'abattage peut augmenter (Aksit *et al.*, 2006) ou diminuer (Debut *et al.*, 2003 ; Berri *et al.*, 2005 ; Schneider *et al.*, 2012) le pH ultime des muscles pectoraux ou des cuisses. Des températures en dessous de 0°C avant l'abattage diminuent les teneurs en glycogène des pectoraux de manière plus prononcée dans les cuisses et augmentent la proportion de viandes à coupe sombre (Dadgar *et al.*, 2011 ; 2012). Les périodes de températures élevées ou de fortes amplitudes thermiques augmentent la fréquence des viandes

PSE. Les périodes les plus critiques sont l'été et l'automne en Europe. La saison est à l'origine de l'augmentation de la valeur moyenne de la luminosité L^* en conditions commerciales en été (Mc Curdy *et al.*, 1996). Chez des dindes placées dans des conditions similaires à celles rencontrées en été (38/32°C de température jour/nuit) pendant 4 semaines, la viande présente une vitesse et une amplitude de chute du pH plus importante, des valeurs de L^* supérieures et des pertes par écoulement spontané et par cuisson plus élevées (Mc Kee et Sams, 1997). Par contre, les différences sur la qualité de la viande de deux types génétiques de dindes (sélection sur le poids vif ou le rendement en filet) dans les mêmes conditions de températures sont faibles. Seuls le pH et la valeur de L^* à 2h *post mortem* sont différents entre les animaux stressés par la chaleur dans les 2 types génétiques. Les pertes au ressuage et à la cuisson, la valeur de L^* à 24h, le pH et la tendreté, ne sont pas modifiés par le traitement (Owens *et al.*, 2000b). Un stress thermique ponctuel avant l'abattage de 35°C pendant 2h ne permet pas de mettre clairement en évidence des viandes PSE chez les animaux



(Debut *et al.*, 2003). Par contre, celui de 40°C ou de 30°C pendant une heure altère la qualité de la viande avec une vitesse de chute du pH accélérée (Northcutt, 1994 ; Olivo *et al.*, 2001 ; Soares *et al.*, 2003). Le stress thermique conduit soit à des pertes supérieures par l'écoulement spontané (Olivo *et al.*, 2001 ; Soares *et al.*, 2003) ou identiques (Northcutt, 1994) à celles des animaux non stressés. Par ailleurs, des viandes de couleur sombre sont la conséquence de basses températures au cours du transport ou de l'accrochage *ante-mortem* (Holm et Fletcher, 1997 ; Bianchi *et al.*, 2006). La fréquence des viandes DFD (Dark, Firm and Dry) est élevée pendant l'hivers (Petracci *et al.*, 2004 ; Lesiow *et al.*, 2007). Le transport des animaux à une température inférieure à 0°C donne des viandes DFD à l'abattage (Dadgar *et al.*, 2010). Lorsqu'on ajoute aux températures basses une période d'attente à l'abattoir de 2h, la production de viandes à coupe sombre est encore plus fréquente (Dadgar *et al.*, 2012). En outre l'exposition des poulets de chair à de forte, moyenne et basse températures pendant les 12 à 14 heures *ante mortem* influence la qualité de la viande par une augmentation de la valeur de pH ultime avec la basse température (Schneider *et al.*, 2012).

4.2 Stress du jeûne avant abattage : La diète hydrique avant abattage modifie les caractéristiques métaboliques et la qualité des viandes, avec cependant des variations en fonction des conditions expérimentales. Ainsi, un jeûne de 10 heures occasionne une diminution progressive des réserves en glycogène (Sams et Mills, 1993). Les diètes de 12 heures et de 36 heures conduisent à une réduction marquée progressive de la quantité de glycogène dans le filet rendant les animaux plus sensibles aux stress subis par la suite pendant le transport et à l'abattoir (Kotula et Wang, 1994). Mais la réduction de glycogène musculaire apparaît beaucoup plus modérée après un jeûne de 24 heures (d'Edwards *et al.*, 1999). En termes de qualité de la viande une diminution significative du pH initial (3 min post-mortem) et de la tendreté s'observe après des jeûnes allant de 0 à 36 heures mais toutefois sans différences significatives du pH ultime, de la couleur ou du

pourcentage d'humidité (relié à la jutosité) de la viande, quelles que soient les durées de mise à jeun étudiées (Kotula et Wang, 1994). De même, aucune différence de pH ultime ou de tendreté ne s'observe aussi pour des mises à jeun de 0, 5 et 10 heures (Sams et Mills, 1993). Par contre, dans certains cas, les valeurs de pH initial et de pH ultime augmentent légèrement avec la durée de mise à jeun (Schedule *et al.*, 2006). Le pH de la viande évolue de façon croissante avec l'augmentation de la durée de diète hydrique sans pour autant aboutir à des viandes DFD (Haslinger *et al.*, 2007). En pratique, des durées de mise à jeun variant de 4 à 10 heures sont généralement recommandées et un minimum de 5 heures est imposé pour la production de poulets de type label. Les diètes hydriques de longues durées affectent la cinétique de chute du pH post-mortem, la couleur et les pertes de jus de la viande (Savenije *et al.*, 2002). La diète hydrique augmente la luminance et l'indice du jaune de la viande mais réduit l'indice du rouge (Smith *et al.*, 2002). Les poulets ayant subi la petite durée de diète hydrique (4 heure) présentent les fortes valeurs de luminosité de la viande (Komiyama *et al.*, 2008).

4.3 Stress des manipulations, de la mise en caisse et du transport : En termes de qualité de la viande, aucune différence de perte en eau à la cuisson, de texture ou de couleur du filet ne se note entre des lots de poulets mis en caisse pendant des durées variant de 0 à 4 heures (Kannan *et al.*, 1997a). Par ailleurs, la capture des poulets, la mise en caisse et le chargement en véhicule de transport sont susceptibles de causer des accidents physiques (Ali *et al.*, 2008) avec des répercussions ultérieures sur la qualité de la carcasse. Pendant le transport, plusieurs facteurs de stress tels que la température élevée ou basse, la forte humidité, le bruit, l'alimentation et la diète hydrique affectent l'animal. Ces facteurs influencent fortement les propriétés de qualité finale de la viande. Deux composantes interviennent lors du transport des animaux à l'abattoir : la densité et la durée du transport. Les effets de la densité de chargement sur les qualités de la viande sont peu étudiés et controversés (Monin, 2003). Ces effets semblent néanmoins



limités et dépendent du type génétique et de la température ambiante. Une diminution de la fréquence des viandes PSE se remarque lorsque la durée du transport augmente (Grandin, 2000 ; Pérez *et al.*, 2002 ; Minvielle *et al.*, 2003). En outre, le stress du transport avant l'abattage peut affecter les propriétés d'acidité, la couleur et la capacité de rétention d'eau de la viande (Northcutt *et al.*, 2008). Les poulets standards transportés pendant 2 heures présentent une viande plus pâle (Kannan *et al.*, 1997a). Des oiseaux transportés pendant une longue durée présentent des viandes plus pâles que ceux qui ont subi un petit transport et les non transportés (Ali *et al.*, 2008). Les oiseaux transportés sur une distance plus courte ont un indice de rouge du bréchet plus élevé que ceux transportés sur une plus longue distance (Bianchi *et al.*, 2006). Les pH initiaux et ultimes de la viande du filet de dinde sont plus élevés avec des viandes plus sombres pour les animaux transportés pendant 3 heures (Owens *et al.*, 2000a). En période de fortes température, les courtes durées de transport ante-mortem des poulets de chair affectent négativement la qualité de la viande conduisant à des défauts de type PSE (Barbut *et al.*, 2005 ; Oba *et al.*, 2009 ; Langer *et al.*, 2010 ; Xing *et al.*, 2015). Il est également à noter chez la volaille que les effets du transport sur les qualités des viandes dépendent aussi du type de muscle. Ainsi, un transport de 6h augmente le pH ultime du biceps et diminue celui du pectoralis (Warriss *et al.*, 1993). Ces oppositions s'expliquent en partie par

des différences dans les caractéristiques métaboliques de ces muscles et dans leur utilisation pendant le transport : le biceps est moins riche en glycogène et probablement plus sollicité pendant le transport afin de maintenir l'équilibre (Warriss *et al.*, 1993). Toutefois, la différence de couleur entre la viande de bréchet des poulets transportés et non transportés peut ne pas être significative (Debut *et al.*, 2003). Le transport ante-mortem peut être sans effet significatif sur la qualité de la viande (Doktor *et al.*, 2009) et ainsi pendant 75 minutes avant le processus d'abattage, il n'affecte pas l'évolution du pH post mortem dans le muscle (Savenije *et al.*, 2002). A l'occasion d'un mélange de porcs au cours du transport, l'activité physique et les réactions physiologiques dues aux combats peuvent avoir un impact considérable sur les qualités des viandes, pouvant expliquer plus de 40% de la variabilité du pH ultime (Terlouw *et al.*, 2005, Foury *et al.*, 2011). Chez les bovins, le mélange d'animaux ou le transport de longue durée augmentent le risque de production de viandes à pH ultime élevé (Terlouw *et al.*, 2008). Aussi, des manipulations inhumaines lors du transport et de l'attente ante-mortem des bovins tels que les coups de fouet, le tirage de la queue, des pattes, des cornes, les coups de pierres, les gifles et les chutes forcées peuvent occasionner des meurtrissures sur la carcasse (figure 3) et conduire à une forte fréquence de viande DFD et à une faible moyenne de perte de jus à la cuisson (Frimpong *et al.*, 2014).



Figure 3 : Meurtrissures sur la carcasse de bovin stressé à l'abattoir de Kumasi au Ghana (Frimpong *et al.*, 2014)

Les transports d'agneaux sur des routes secondaires ou non goudronnées sont associés à des pH ultimes plus élevés et à des viandes plus rouges ou plus sombres (Ruiz-de-la-Torre *et al.*, 2001 ; Miranda-de la Lama *et al.*, 2011). Des agneaux transportés pendant 8 ou 24h produisent des viandes plus dures et plus rouges ou plus sombres que des témoins non transportés ou transportés pendant seulement 1 h (Zhong *et al.*, 2011 ; Dalmau *et al.*, 2012). Par ailleurs, les manipulations lors des déplacements peuvent provoquer des ecchymoses sur la carcasse dues principalement aux chevauchements, glissades et à la préhension de la laine par les manipulateurs (Jarvis and Cockram, 1995).

4.4 Stress de l'accrochage : La gestion des animaux sur le site d'abattage peut avoir des conséquences importantes sur le niveau de stress et la qualité de la viande. L'accrochage sur la chaîne d'abattage met l'animal dans une position angoissante qui se traduit par une augmentation significative du taux de corticostérone plasmatique (Kannan *et al.*, 1997b ; Début *et al.*, 2005). Les oiseaux vont alors tenter de s'échapper en essayant de se redresser et en battant violemment des ailes. Un questionnement existe quant à la recommandation d'une durée « optimale » d'accrochage. Cette durée doit en effet être limitée en raison de la position

inconfortable alors imposée à l'animal. Cependant, elle doit être suffisante pour permettre à l'animal de se calmer avant son étourdissement, et éviter que les animaux ne se redressent et échappent au bain d'électronarcose. Les conditions ante-mortem qui induisent la sécrétion d'hormone de stress ont probablement un impact sur les qualités des viandes car une augmentation du niveau de cortisol sanguin mesuré à la saignée est associée à un pH 3h post-mortem plus bas (Deiss *et al.* 2009). Alors, l'activité physique consécutive à l'accrochage des poulets sur la chaîne d'abattage accélère la vitesse de chute du pH et conduit à des bréchets plus rouges (Ali *et al.*, 2008). Les vocalisations et battements d'ailes provoqués par l'accrochage peuvent également induire des blessures et des fractures (Gregory et Wilkins 1989 ; Début *et al.*, 2005). Ces réactions peuvent influencer les qualités des viandes chez les poulets et les dindes, notamment des filets. Chez des dindes et des poulets de souches label ou standard, la durée des battements d'ailes élevée s'associe à une diminution plus rapide du pH (Papinaho *et al.*, 1995 ; Berri *et al.*, 2005). Chez le poulet, la couleur rouge du *Pectoralis major* augmente avec la durée d'accrochage (Berri *et al.*, 2005 ; Schneider *et al.*, 2012). Chez les dindes, la luminosité de ce muscle est plus basse lorsque celles-ci se



débattent davantage pendant l'accrochage (Ngoka

et Froning, 1982).

5 CONCLUSION

Le stress est un terme qui a évolué dans le temps. Chez les animaux, le stress *ante-mortem* peut être causé par divers facteurs comme les conditions environnementales, le jeûne avant abattage, les manipulations, la mise en caisse, le transport, l'attente et l'accrochage ainsi que leurs composantes. Il dégrade la qualité de la carcasse

et les qualités technologiques et organoleptiques de la viande des animaux domestiques. La viande est alors anormalement acide et colorée, retient mal l'eau et est de mauvaise consistance et succulence. Les défauts de qualités de type DFD et PSE sont aussi parfois observés.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient la Commission de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine pour son soutien financier.

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aksit M, Yalcin S, Ozkan S, Metin K, and Ozdemir D: 2006. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameter and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 85, 1867-1874.
- Ali SM, Geun-Ho K, and Seon Tea J : 2008. Influences of pre-slaughter stress on poultry meat quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(6), 912 – 916.
- Arpaillage C : 2007. Processus, origine et conséquences de l'anxiété chez les carnivores. *Point vétérinaire*, 28, 4-7.
- Barbut S, Zhang L, and Marcone M : 2005. Effects of pale, normal and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins and cooking of marinated fillets. *Poultry Science*, 84, 797–802.
- Bedanova I, Voslarova E, Chloupek P, Pistekova V, Suchy P, Blahova J, Dobsikova R, and Vecerek V : 2007. Stress in broilers resulting from shackling. *Poultry Science*, 86, 1065-1069.
- Berri C, Debut M, Sante-Lhoutellier V, Arnould C, Boutten B, Sellier N, Bae'Za E, Jehl N, Jago Y, Duclos M.J, and Le Bihan-Duval E : 2005. Variations in chicken breast meat quality : implications of struggle and muscle glycogen content at death. *British Poultry Science*, 46 (5), 572–579.
- Berri C : 2015. La viande de volaille : des attentes pour la qualité qui se diversifient et des défauts spécifiques à corriger. *INRA Production Animales numéro spécial. Le muscle et la viande, Edition. QUAE*, 28, 115-118
- Bianchi M, Petracci M, and Cavani C : 2006. The influence of genotype, market live weight, transportation, and holding conditions prior to slaughter on broiler breast meat color. *Poultry Science*, 85, 123–128
- Boissy A, Bouix J, Orgeur P, Poindron P, Bibé B, and Le Neindre P : 2005. Genetic analysis of emotional reactivity in sheep : effects of the genotypes of the lambs and of their dams. *Genetics Selection Evolution*, 37, 381-401.
- Boissy A, Manteuffel G, Jensen MB, Moe RO, Spruijt B, Keeling LJ, Winckler C, Forkman B, Dimitrov I, Langbein J, Bakken M, Veissier I, and Aubert A : 2007. Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiology Behavior* 92, 375-397.
- Boissy A : 1998. Fear and fearfulness in determining behavior. In : Grandin, T. (Ed.), *Genetics and the behavior of domestic animals*, Academic Press, San Diego, pp. 67-111.
- Bourguet C : 2010. Stress pendant la période d'abattage chez les bovins : rôles de la réactivité émotionnelle et des facteurs environnementaux. *Science des*



- productions animales. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II ; Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I. 255p. HAL Id : tel-00718786 ; <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00718786>
- Bout J. and Girard J : 1988. Lipides et qualités des tissus adipeux et musculaires du porc. 2ème partie : lipides et qualités du tissu musculaire – facteurs de variation. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 20, 271-278.
- Brisville AC : 2006. Les marqueurs du stress chez les bovins issus de clonage somatique. Thèse de doctorat vétérinaire, Créteil, 130 p.
- Cartier P. and Moëvi I : 2007. La qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. Compte rendu final n° 170532022, Département Technique d'Élevage et Qualité, Service Qualité des Viandes, France, 70 p.
- Chabault M, Baéza E, Gigaud V, Chartrin P, Chapuis H, Boulay M, Arnould C, D'abbadie F, Berri C, and Le Bihan-Duval E : 2012. Analysis of a slow-growing line reveals wide genetic variability of carcass and meat quality-related traits. *BMC Genetics*, **13**, 90.
- Chrousos GP, and Gold PW : 1992. The concepts of stress and stress system disorders. Overview of physical and behavioral homeostasis. *JAMA*, 267 : 1244-1252
- Clinquart A, Farbry J, and Casteels M : 1999. La viande. *Edition Faculté de Médecine Vétérinaire de Liège, Belgique*, 228p.
- Cockram MS, Baxter EM, Smith LA, Bell S, Howard CM, Prescott RJ, and Mitchell MA : 2004. Effect of driver behaviour, driving events and road type on the stability and resting behaviour of sheep in transit. *Animal Science*, 79, 165-176.
- Coibion L : 2008. Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine : adaptation à la demande du consommateur. Mémoire pour l'obtention du grade de Docteur Vétérinaire. École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 97p
- Dadgar S, Lee ES, Leer TLV, Burlinguette N, Classen HL, Crowe TG, and Shand PJ : 2010. Effect of microclimate temperature during transportation of broiler chickens on quality of the *Pectoralis major* muscle. *Poultry Science*, 89, 1033-1041.
- Dadgar S, Lee ES, Leer TLV, Crowe TG, Classen HL, and Shand PJ : 2011. Effect of acute cold exposure, age, sex, and lairage on broiler breast meat quality. *Poultry Science*, 90, 444-457.
- Dadgar S, Lee ES, Crowe TG, Classen HL, and Shand PJ : 2012. Characteristics of cold-induced dark, firm, dry broiler chicken breast meat. *British Poultry Science*, 53, 351-359.
- Dai SF, Wang LK, Wen AY, Wang LX, and Jin GM : 2009. Dietary glutamine supplementation improves growth performance, meat quality and colour stability of broilers under heat stress. *British Poultry Science*, 50, 3, 333-340.
- Dalmau A, Di Nardo A, Realini CE, Temple D, Llonch P, Velarde A, Rodriguez P, Messori S, Dalla and Villa P : 2012. Effect of the duration of road transport on the physiology and meat quality of lambs. *Animal Production Science*, 54, 179-186.
- de Kloet ER, Joëls M, and Holsboer F : 2005. Stress and the brain : from adaptation to disease. *Natural Revue Neuroscience* 6(6), 463-475.
- Debut M, Berri C, Baéza E, Sellier N, Arnould C, Guémené D, Jehl N, Boutten B, Jégo Y, Beaumont C, and Le Bihan-Duval E : 2003. Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions. *Poultry Science*, 82, 1829-1838
- Debut M, Berri C, Arnould C, Guémené D, Sante V, Sellier N, Baéza E, Jehl N, Jégo Y, Beaumont C, and Le Bihan-Duval E : 2005. Behavioural and physiological responses of three chicken breeds to pre-



- slaughter shackling and acute heat-stress. *British Poultry Science*, 46, 527-535.
- Deiss V, Temple D, Ligout S, Racine C, Bouix J, Terlouw C, and Boissy A : 2009. Can emotional reactivity predict stress responses at slaughter in sheep ? *Applied Animal Behavior Science*, 119, 193-202.
- Desarménien M : 2013. Le stress. Society for neuroscience, P 29-32.
- Désire´ L, Veissier I, Despres G and Boissy A : 2004. On the way to assess emotions in animals, do lambs (*Ovis aries*) evaluate an event through its suddenness, novelty, or unpredictability? *Journal of Comparative Psychology* 118, 363–374.
- Doktor J, and Poltowicz K : 2009. Effect of transport to the slaughterhouse on stress indicators and meat quality of broiler chickens. *Annals of Animal Science*, 9 (3), 307 – 317
- Dramard V : 2007. Vade-mecum de pathologie du comportement du chien et du chat. 2ème édition. Paris :Méd'com, 191 p. ISBN 2914738951.
- Edwards MR, McMurty JP, and Vasilatos-Younken R : 1999. Relative insensitivity of avian skeletal muscle glycogen to nutritive status. *Domestic Animal Endocrinology*, 16, 239- 247
- EiKelenboom G, Hoving-Bolink AH, and Vander wal PG : 1996. The eating quality of pork. Influence of ultimate pH. *Fleischwirtsch*, 76, 392-393.
- Fernandez X, Santé V, Baeza E, Lebihan-Duval E, Berri C, Réminon H, Babilé R, Le Pottier G, and Astruc T : 2002. Effects of the rate of muscle post mortem pH fall on the technological quality of turkey meat. *British Poultry Science* 43, 245–252.
- Fletcher DL : 1999. Broiler Breast Meat Color Variation, pH, and Texture. *Poultry Science*, 78, 1323-1327.
- Foury A, Lebret B, Chevillon P, Vautier A, Terlouw C, and Mormède P : 2011. Alternative rearing systems in pigs : consequences on stress indicators at slaughter and meat quality. *Animal*, 5, 1620-1625.
- Fraser D, Ritchie JSD, and Faser AF : 1975. The term "stress" in a veterinary context. *British Veterinary Journal*, 131, 653-662.
- Frimpong S, Gebresenbet G, Bobobee E Aklaku ED, and Hamdu I : 2014. Effect of Transportation and Pre-Slaughter Handling on Welfare and Meat Quality of Cattle: Case Study of Kumasi Abattoir, Ghana. *Veterinary Science*, 1, 174-191; doi:10.3390/vetsci1030174
- Gentle MJ, and Tilston VL : 2000. Nociceptors in the legs of poultry : Implications for potential pain in pre-slaughter shackling. *Animal Welfare*, 9, 227-236.
- Girard JP, Bout J, and Salort D : 1988. Lipides et qualités du tissu adipeux, facteurs de variation. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 20, 255-278.
- González VA, Rojas GE, Aguilera AE, Flores-Peinado SC, Lemus-Flores C, Olmos-Hernández A, Becerril-Herrera M, Cardona-Leija A, Alonso-Spilsbury M, Ramírez-Necoechea R, and Mota-Rojas D : 2007. Effect of heat stress during transport and rest before slaughter, on the metabolic profile, blood gases and meat quality of quail. *International Journal of Poultry Science* 6 (6), 397-402.
- Grandin T : 2000. Methods to reduce PSE and bloodsplash. en Ligne Adresse URL : <http://www.grandin.com/references/swine.html>, consulté 05/05/2017.
- Gregory NG, and Wilkins LJ : 1989. Broken Bones in Domestic-Fowl - Handling and Processing Damage in End-of-Lay Battery Hens. *British Poultry Science*, 30, 555-562.
- Gregory NG : 1994. Preslaughter Handling, Stunning and Slaughter. *Meat Science*, 36, 45-56.
- Gregory NG. and Grandin T : 1998. Animal welfare and Meat Science. CABI publishing, Wallingford, UK, 307p.
- Hargreaves KM : 1990. Neuroendocrine markers of stress. *Anesthesia Progress*, 37, 99-105.
- Haslinger M, Leitgeb R, Bauer F, Ertle T, and Windisch WM : 2007. Slaughter yield and meat quality of chicken at different length



- of preslaughter feed withdrawal. *Die Bodenkultur*, 58 (1-4), 67-72.
- Hemsworth PH, Rice M, Karlen MG, Calleja L, Barnett JL, Nash J, and Coleman GJ : 2011. Human-animal interactions at abattoirs : Relationships between handling and animal stress in sheep and cattle. *Applied Animal Behavior Science*, 135, 24-33.
- Hocquette JF, Ortigues-Marty I, Damon M, Herpin P, and Geay Y : 2000. Métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez les animaux producteurs de viande. *INRA Productions Animales*, 13, 185-200.
- Hodgson RR, Davis GW, Smith GC, Savell JW, and Cross HR : 1991. Relation Ship between pork loin palatability traits and physical characteristics of cooked chops. *Journal of Animal Sciences*, 69, 4858-4865.
- Holm CGP, and Fletcher DL : 1997. Ante Mortem Holding Temperatures and Broiler Breast Meat Quality. *Journal of Applied Poultry Research*, 6, 180-184
- Horwitz DF, and Neilson JC : 2007. Blackwell's five-minute veterinary consult. Clinical companion. Canine and feline behavior. Philadelphia : Blackwell Publishing. 595 p. ISBN 0781757355
- Iberraken M, and Maouche K : 2007. Les produits carnés. Mémoire d'Ingéniorat en contrôle de qualité et analyse à l'Université de Bejaia d'Algérie, 56p Lawrie, 1991
- Jarvis AM, and Cockram MS : 1995. Handling of sheep at markets and the incidence of bruising. *Veterinary Record*, 582-585.
- Johnson EO, Kamilaris TC, Chrousos GP, and Gold PW : 1992. Mechanisms of stress : a dynamic overview of hormonal and behavioral homeostasis. *Neuroscience Biobehavior Review*, 16 : 115-130
- Kannan G, Heath JL, Wabeck CJ, and Mench JA : 1997b. Shackling of broilers : effects on stress responses and breast meat quality. *British Poultry Science*, 38, 323-32.
- Kannan G, Heath JL, Wabeck CJ, Souza MCP, Howe JC, and Mench MJA : 1997a. Effects of crating and transport on stress and meat quality characteristics in broilers. *Poultry Science*, 76, 523-529.
- Kannan G and Mench JA : 1996. Influence of different handling methods and crating periods on plasma corticosterone concentrations in broilers. *British Poultry Science*, 37, 21-31.
- Komiyama CM, Mendes AA, Takahashi SE, Moreira J, Garcia RG, Sanfelice C, Borba HS, Leonel FR, Almeida Paz ICL, and Balog A : 2008. Chicken meat quality as a function of fasting period and water spray. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 10(3), 179-183
- Kotula KL, and Wang Y : 1994. Characterization of broiler meat quality factors influenced by feed withdrawal time. *Journal of Applied Poultry Research*, 3, 103-110.
- Langer R, Simês GS, Soares AL, Oba A, Rossa A, Shimokomaki M, and Ida EI : 2010. Broiler transportation conditions in a Brazilian commercial line and the occurrence of breast PSE (Pale, Soft, Exudative) meat and DFD-like (Dark, Firm, Dry) meat. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(5), 1161-1167.
- Lebret B, Prache S, Berri C, Lefèvre F, Bauchart D, Picard B, Corraze G, Medale F, Faure J, and Alami-Durante H. and 2015. Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. *INRA Productions Animales numéro spécial. Le muscle et la viande*, Ed. QUAE, 28, 151-168.
- Lebret B. and Faure J : 2015. La viande et les produits du porc : comment satisfaire des attentes qualitatives variées ? *In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. (Eds). INRA Productions Animales*, 28, 111-114.
- Lebret B. and Picard B : 2015. Les principales composantes de qualité des carcasses et des viandes dans les différentes espèces animales. *In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. (Eds). INRA Productions Animales*, 28, 93-98.



- Lesiow T, Oziemblowski M, and Szkudlarek S : 2007. Incidence of PSE and DFD in chicken broiler breast muscles 24 h p.m. *Proceedings of XVIII European Symposium on the Quality of Poultry Meat and XII European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*, Prague, Czech Republic, 265-266
- Lucarelli L : 2011. Prise en charge du chat hospitalisé : étude bibliographique et recommandations pratiques. Thèse de doctorat vétérinaire, Lyon I, 152p
- McCurdy RD, Barbut S, and Quinton M : 1996. Seasonal effect on pale soft exudative (PSE) occurrence in young turkey breast meat. *Food Research International*, 29 (3-4), 1363-366.
- McKee SR, and Sams AR : 1997. The Effect of Seasonal Heat Stress on Rigor development and the Incidence of Pale, Soft exudative Turkey Meat. *Poultry Science*, 76, 1616-1620.
- Minvielle BJ, Boulard A, Vautier Y, and Houix : 2003. Viandes déstructurées dans la filière porcine : effets combinés des durées de transport et d'attente sur la fréquence d'apparition du défaut. *Journées de la Recherche Porcine*, 35, 263-268.
- Miranda-de la Lama GC, Monge P, Villarreal M, Olleta JL, García-Belenguer S, and María GA : 2011. Effects of road type during transport on lamb welfare and meat quality in dry hot climates *Tropical Animal Health and Production*, 43, 915-922.
- Mitchell M, Kettlewell P : 1998. Physiological stress and welfare of broiler chickens in transit : solutions not problems ! *Poultry Science*, 77, 1803- 1814.
- Mitchell MA, and Kettlewell PJ : 2009. Welfare of poultry during transport. *Poultry Welfare Symposium*, Cervia, Italy. 90-100.
- Monin G : 1988. Evolution post mortem du tissu musculaire et conséquences sur la qualité de la viande de porc. *20^{ème} Journée de la recherche porcine, France*, 201-214.
- Monin G : 1991. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Productions Animales*, 4, 151-160.
- Monin G : 2003. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *INRA Productions Animales* 16 (4), 251-262.
- Ngoka DA, and Froning GW : 1982. Effect of Free Struggle and Pre-Slaughter Excitement on Color of Turkey Breast Muscles. *Poultry Science*, 61, 2291-2293.
- Nijdam E, Arens P, Lambooij E, Decuyper E, and Stegeman J : 2004. Factors influencing bruises and mortality of broilers during catching, transport, and lairage. *Poultry Science*, 83, 1610-1615.
- Northcutt JK, Foegeding EA, and Edens FW : 1994. Water-Holding Properties of Thermally Preconditioned Chicken Breast and Leg Meat. *Poultry Science*, 73, 308-316.
- Oba A, Almeida M, Pinheiro JW, Ida EI, Marchi DF, Soares AL, and Shimokomaki M : 2009. The effect omanagement of transport and lairage conditions obroiler chicken breast meat quality and DOA (Deaton Arrival). *Archiv Tierzucht*, 52, 205-211.
- Olivo R, Soares AL, Ida EI, and Shimokomaki M : 2001. Dietary vitamin E inhibits poultry PSE and improves meat functional properties. *Journal of Food Chemistry*, 25, 271-283.
- Ouali A, Herrera-Mendez CH, Coulis G, Becila S, Boudjellal A, Aubry L, and Sentandreu MA : 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74, 44-58.
- Owens CM, Hirschler EM, McKee SR, Martinez-Dawson R, and Sams AR : 2000a. The characterization and incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant. *Poultry Science*, 79, 553-558.
- Owens CM, McKee SR, Matthews NS, Sams AR : 2000b. The development of PSE meat in two genetic lines of turkeys subjected to heat stress and its prediction by halothane screening. *Poultry Science*, 79, 430-435.
- Papinaho PA, Fletcher DL, Buhr RJ : 1995. Effect of Electrical Stunning Amperage and Peri-Mortem Struggle on Broiler



- Breast Rigor Development and Meat Quality. *Poultry Science*, 74, 1533-1539.
- Perai AH, Kermanshahi H, Nassiri Moghaddam H, and Zarban A : 2014. Effects of supplemental vitamin C and chromium on metabolic and hormonal responses, antioxidant status, and tonic immobility reactions of transported broiler chickens. *Biological Trace Element Research* 157, 224–233.
- Pérez MP, Palacio J, Santolaria MP, Acena M, Chacon G, Gascon M, Calvo JH, Zaragoza P, Beltran JA, and Garcia-Belenguer S : 2002. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. *Meat Science*, 61, 425-433.
- Petracci M, Betti M, Bianchi M, Cavani M. 2004. Colour variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. *Poultry Science*, 83, 2086–2092.
- Ruiz-de-la-Torre JL, Velarde A, Diestre A, Gispert M, Hall SJG, Broom DM, and Manteca X : 2001. Effects of vehicle movements during transport on the stress responses and meat quality of sheep. *Veterinary Record*, 148, 227-229.
- Sams AR, and Mills AD : 1993. The effect of feed withdrawal duration on the responsiveness of broiler pectoralis to Rigor mortis acceleration. *Poultry Science*, 72, 1789-1796.
- Sandercock DA, Nute GR, and Hocking PM : 2009. Quantifying the effects of genetic selection and genetic variation for body size, carcass composition, and meat quality in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Poultry Science*, 88, 923–931.
- Santé V, Fernandex X, Monin G, and Renou JP : 2001. Nouvelles méthodes de mesure de la qualité des viandes de volaille. *INRA Productions Animales*, 14, 247-254
- Sauvageot F : 1982. L'évaluation sensorielle des denrées alimentaires, aspect méthodologie. Comment comprendre l'expression « évaluation sensorielle des denrées alimentaires ». Tec et Doc (Ed.), Paris, France. Chap.1, 9-26
- Touraille C, Monin G, and Legault C : 1989. Eating quality of meat from european x chinese pigs. *Meat science*, 25, 177-186.
- Savenije B, Lambooji E, Gerritzen MA, Venema K, and Korf J : 2002. Effects of feed deprivation and transport on preslaughter blood metabolites, early postmortem muscle metabolites, and meat quality. *Poultry Science*, 81, 699-708.
- Schedule K, Haslinger M, Leitgeb R, Bauer F, Ertle T, and Windisch W : 2006. Carcass and meat quality of broiler chickens at different starving Periods before slaughter, ISSN 1392-2130. *veterinarija ir zootechnika*. . 35 (57), 85-87.
- Schneider BL, Renema RA, Betti M, Carney VL, and Zuidhof MJ : 2012. Processing, products, and food safety: Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poultry Science*, 91:468–477.
- Selye H : 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature*, 138 : 32-33.
- Selye H : 1946. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *Journal Allergy* 1946, 17 : 231, 289, 358.
- Selye H : 1976. Forty years of stress research : principal remaining problems and misconceptions. *Canadian Medical Association Journal*, 115, 53–56.
- Skomorucha I, Muchacka R, and Sosnôwka-Czajka : 2010. Effect of elevated air temperature on some quality parameters of broiler chicken meat. *Annal of Animal Science*, 10 (2) 187–196
- Soares AL, Ida EI, Miyamoto SM, Hernandez-Blazquez FJ, Olivo R, Pinheiro JW, and Shimokomak MI : 2003. Phospholipase A2 activity in poultry PSE, *pale, soft, exudative*, meat. *Journal of Food Biochemistry*, 27, 309-320.
- Terlouw EMC, Porcher J, and Fernandez X : 2005. Repeated handling of pigs during rearing. II. Effect of reactivity to humans on aggression during mixing and on meat quality. *Journal of Animal Sciences*, 83, 1664-1672.



- Terlouw EMC, Arnould C, Auperin B, Berri C, Le Bihan-Duval E, Deiss V, Lefèvre F, Lensink BJ, and Mounier L : 2008. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare : current status and possible future research. *Animal*, 2, 1501-1517.
- Terlouw EMC, Bourguet C, and Deiss V : 2012. Stress at slaughter in cattle : role of reactivity profile and environmental factors. *Animal welfare*, 21, 43-49.
- Terlouw EMC, Cassar-Malek I, Picard B, Bourguet C, Deiss V, Arnould C, Berri C, Le Bihan-Duval E, Lefevre F, and Lebret B : 2015. Stress en élevage et à l'abattage : impacts sur les qualités des viandes. Numéro spécial. Le muscle et la viande. *INRA Production Animales*, 28, 169-182.
- Terlouw EMC, and Rybarczyk P : 2008. Explaining and predicting differences in meat quality through stress reactions at slaughter : The case of large white and duroc pigs. *Meat Science*, 79, 795-805
- Veissier I, and Boissy A : 2007. Stress and welfare : Two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view : Stress and Welfare in Farm Animals. *Physiology & Behavior*, 92, 429-433.
- Veissier I, Beaumont C, and Lévy F : 2007. Les recherches sur le bien-être animal : buts, méthodologie et finalité. *INRA Productions Animales*, 20 (1), 3-10.
- Wang RR, Pan XJ, and Peng ZQ : 2009. Effects of heat exposure on muscle oxidation and protein functionalities of *pectoralis major* in broilers. *Poultry Science*, 88, 1078-1084
- Warriss PD, Kestin SC, Brown SN, Knowles TG, Wilkins LJ, Edwards JE, Austin SD, and Nicol CJ : 1993. The depletion of glycogen stores and indices of dehydration in transported broilers. *British Veterinary Journal*, 149, 391-398.
- Xing T., Xu X.L., Zhou G.H., Wang P., Jiang N.N., 2015. The effect of transportation of broilers during summer on the expression of heat shock protein 70, post-mortem metabolism and meat quality. *Journal of Animal Sciences*, 93, 62-70.
- Youssao AKI, Verleyen V, Michaux C, Clinquart A, and Leroy PL : 2002. Composition de la carcasse, qualité de la viande et exploitation du Piétrain stress négatif. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 146, 329-338.
- Zhang L, Li JL, Gao T, Lin M, Wang XF, Zhu XD, Gao F, and Zhou GH : 2014. Effects of dietary supplementation with creatine monohydrate during the finishing period on growth performance, carcass traits, meat quality and muscle glycolytic potential of broilers subjected to transport stress. *Animal*, 8 (12), 1955-1962.
- <https://doi.org/10.1017/S1751731114001906>
- Zhong RZ, Liu HW, Zhou DW, Sun HX, and Zhao CS : 2011. The effects of road transportation on physiological responses and meat quality in sheep differing in age. *Journal of Animal Science*, 89, 3742-3751.