



HAL
open science

Stress pendant la période d'abattage chez les bovins : rôles de la réactivité émotionnelle et des facteurs environnementaux

Cécile Bourguet

► **To cite this version:**

Cécile Bourguet. Stress pendant la période d'abattage chez les bovins : rôles de la réactivité émotionnelle et des facteurs environnementaux. Science des productions animales. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II; Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2010. Français. NNT : 2010CLF22079 . tel-00718786v1

HAL Id: tel-00718786

<https://theses.hal.science/tel-00718786v1>

Submitted on 18 Jul 2012 (v1), last revised 19 Dec 2019 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**ÉCOLE DOCTORALE
DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTÉ**

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

(SPECIALITÉ ÉTHOLOGIE ET PHYSIOLOGIE DU STRESS)

présentée et soutenue publiquement par

CECILE BOURGUET

le 02 décembre 2010

**STRESS PENDANT LA PÉRIODE D'ABATTAGE CHEZ LES BOVINS :
ROLES DE LA REACTIVITÉ ÉMOTIONNELLE
ET DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX**

Directeurs de thèse : Claudia Terlouw et Alain Boissy

Co-encadrante : Véronique Deiss

devant le jury

Rapporteurs	Mme M.A. Richard-Yris	Pr	Université de Rennes 1
	Mme C. Duvaux-Ponter	Pr	AgroParisTech
Président	M. P. Chambres	Pr	Université Blaise Pascal de Clermont-Fd
Examineurs	M. J. Lensink	MC	ISA de Lille
	Mme M.A. Montély	Dr	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
	Mme C. Terlouw	CR	INRA de Clermont-Fd/Theix
	M. A. Boissy	DR	INRA de Clermont-Fd/Theix

et devant les invités

Mme V. Deiss (CR, INRA), Mme C. Piot (Responsable qualité, Charal)

et Mlle A. Warin-Ramette (Chargée de mission, PMAF)



Laboratoire d'accueil
Equipe Adaptation et Comportements Sociaux
Unité de Recherches sur les Herbivores
INRA Centre de Clermont-Fd/Theix
F-63122 Saint-Genès-Champagnelle



**ÉCOLE DOCTORALE
DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTÉ**

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

(SPECIALITÉ ÉTHOLOGIE ET PHYSIOLOGIE DU STRESS)

présentée et soutenue publiquement par

CECILE BOURGUET

le 02 décembre 2010

**STRESS PENDANT LA PÉRIODE D'ABATTAGE CHEZ LES BOVINS :
ROLES DE LA REACTIVITÉ ÉMOTIONNELLE
ET DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX**

Directeurs de thèse : Claudia Terlouw et Alain Boissy

Co-encadrante : Véronique Deiss

devant le jury

Rapporteurs	Mme M.A. Richard-Yris	Pr	Université de Rennes 1
	Mme C. Duvaux-Ponter	Pr	AgroParisTech
Président	M. P. Chambres	Pr	Université Blaise Pascal de Clermont-Fd
Examineurs	M. J. Lensink	MC	ISA de Lille
	Mme M.A. Montély	Dr	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
	Mme C. Terlouw	CR	INRA de Clermont-Fd/Theix
	M. A. Boissy	DR	INRA de Clermont-Fd/Theix

et devant les invités

Mme V. Deiss (CR, INRA), Mme C. Piot (Responsable qualité, Charal)

et Mlle A. Warin-Ramette (Chargée de mission, PMAF)



Laboratoire d'accueil
Equipe Adaptation et Comportements Sociaux
Unité de Recherches sur les Herbivores
INRA Centre de Clermont-Fd/Theix
F-63122 Saint-Genès-Champagnelle



*« C'est comme si vous preniez quelqu'un de la campagne
et que vous le mettiez dans le métro, c'est pareil »*

Un transporteur de bovins anonyme¹

¹ D'après le rapport de stage « *Représentations des transporteurs et manipulateurs d'animaux en abattoirs relatives à leur métier et aux animaux avec lesquels ils travaillent. Place de l'affectivité et de l'attachement dans l'expression de la relation à l'animal d'élevage* » de J. Porcher, 1997.

REMERCIEMENTS

Comment vais-je pouvoir trouver les mots pour être à la hauteur du soutien et des encouragements que j'ai reçus tout au long de ces trois années de thèse ? Je vais tout de même essayer...

Mes premiers remerciements s'adressent à mes encadrants : Claudia Terlouw, Alain Boissy et Véronique Deiss. Je vous remercie du fond du cœur. J'ai trouvé en vous une oreille attentive à mes envies et motivations pour cette thèse. Merci de les avoir toujours prises en compte pour que ce projet devienne MA thèse. Merci Alain en particulier pour ta disponibilité malgré ton emploi du temps de ministre ! Merci Véro pour tes conseils et tes attentions envers moi, notamment quand les jours passés à l'abattoir pesaient trop lourd sur mes épaules d'un point de vue physique et moral. Merci pour l'amitié que tu m'as offerte, c'est précieux ça aussi... Claudia, comment te remercier assez... Tu ne m'as pas juste encadrée, tu m'as accompagnée et épaulée. Merci pour tes encouragements quotidiens, tes préoccupations constantes à mon égard (« tu tiens le coup ? », « t'es pas trop stressée ? », « ne t'inquiète pas, je vais t'aider », « prends des vacances Cécile ! »...) et pour ton aide précieuse pour le « pendant la thèse » et l'« après thèse ». Tu m'as tellement faite grandir...

Je tiens à remercier du fond du cœur la grande famille ACS. Merci à tous pour votre aide précieuse sur le terrain et dans les labos et pour l'ambiance qui règne dans l'équipe : Hervé mon équipier de choc, Christophe toujours tellement inquiet de bien faire, Stéphane & Christine au nom de l'humour, l'exceptionnel Eric (et pas que par son grade !) & Olivier le poète... Quelle équipe ! Sans vous, cette thèse ne serait pas cette thèse. Merci aussi à Anne-Marie (et ses éclats de rire) et Pascale de faire que le quotidien administratif soit si facile, à Xavier et Isabelle pour les discussions toujours très riches et le temps passé à plancher à mes côtés. Merci aux Alex (la grande et la p'tite), et surtout courage les filles, c'est bientôt votre tour ! Merci Marie pour ta gentillesse et ta générosité...

J'adresse mes remerciements les plus sincères à l'ensemble de l'équipe des installations expérimentales des Intrabois. Mille mercis à Dominique, Marc & Joan pour votre investissement dans les manip. et pour avoir supporté les caméras dans l'étable. Bientôt, « The Farm Story » va faire un tabac ! Merci Patrice pour ton aide dans les expé., et surtout, merci pour la complicité, les fous rires et l'amitié... Et un énorme MERCI à Pascal Faure. Merci pour ta patience avec les changements de planning, pour ton implication sur le terrain, et pour tes encouragements et ton soutien tout au long de la thèse.

Merci à l'équipe de l'abattoir expérimental du site de l'INRA de Theix pour leur contribution aux expérimentations et leur bonne humeur.

Je souhaite remercier François Raflebeau qui, avec l'accord de Valérie David (merci !), m'a emmenée avec lui à la rencontre du monde de l'abattoir. J'ai pu à ses côtés échanger avec des personnes travaillant en bouverie et sur les chaînes d'abattage, lesquelles je remercie de m'avoir fait partager leurs expériences et opinions.

Merci à Carole Cohen-Tannugi qui a été le déclic pour que je puisse enfin faire une étude dans un abattoir industriel. Je remercie aussi la direction et le personnel de l'abattoir en question pour leur accueil chaleureux ainsi que leur collaboration.

Je remercie Jean-Claude Bonnefoy à la direction des installations expérimentales, Jean-François Hocquette de m'avoir accueillie dans son unité et Bernard Sepchat qui a trouvé 48 bovins femelles de la même race en un rien de temps pour les expé. « privation alimentaire » !

Je souhaite également remercier Joop Lensink, Martine Hausberger, Sylvain Labayle, Anne Brulé et Luc Mirabito pour leur contribution précieuse lors de mes comités de thèse.

Je n'aurais peut-être jamais fait cette thèse si je n'avais pas fait mes premiers pas dans la recherche aux côtés de Martine Hausberger et Marie-Annick Richard. Je vous remercie de m'avoir accueillie dans votre équipe pendant mes deux années de Master et de m'avoir transmis votre passion pour la recherche en éthologie. Merci aussi à Laurence Henry, Carol Sankey et Séverine Henry pour l'excellent déroulement de mes stages.

Je remercie toutes celles et ceux qui ont fait la douceur du quotidien à l'INRA : Danielle chez qui le sourire rend le café bien meilleur et le « chef cuisto » pour ses blagues à chacun de mes passages à la cantine. Merci à tous les stagiaires, thésards et post-docs qui sont passés par là au cours de ces trois années (Nicolas, Lia, Nadège, Damien...). De bonnes rencontres, de merveilleux souvenirs...

Ah mes amis... Un des grands bonheurs de cette thèse est d'avoir rencontré Raph. et Angélique (et son Damien). Merci les filles pour votre soutien et surtout votre amitié. Un énorme merci à « la bande de potes », vous êtes mon équilibre. Micky, tout a commencé il y a 8 ans à Montpellier... puis Rennes... puis Clermont et Marseille. Merci pour tout le soutien et l'amitié que tu me donnes.

Ces dernières lignes sont destinées à ma famille qui a toujours tout fait pour que je puisse réaliser mes rêves. Mes parents, merci de m'avoir tant encouragée, vous savez à quel point je vous aime... Merci Le beauf, et bien sûr ma sœurlette que j'aime à la folie. Tu es mon pilier, ma boussole. Enfin je ne remercierai jamais assez ma moitié... bravo à toi d'avoir supporté tous ces déménagements, ces week-ends passés sur mon ordi, mes coups de fatigue et de nerfs. Merci d'avoir tout géré à la maison... et pour les tartines grillées tous les matins depuis tant d'années... je t'aime.

Cette thèse est tout naturellement dédiée à Manon & Léo, mes rayons de soleil...

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
GLOSSAIRE	1
INTRODUCTION GENERALE	5
1. Les relais des préoccupations sociétales et les acteurs de la protection animale	9
2. De la protection animale au bien-être animal dans les recherches scientifiques	12
2.1. Les notions de bien-être animal et de stress	13
2.2. Les représentations mentales chez les animaux	14
2.2.1. <i>La perception chez l'animal</i>	14
2.2.2. <i>L'approche originale des émotions chez les animaux d'élevage</i>	15
2.3. La variabilité interindividuelle dans les réactions	16
3. L'étude du stress à l'abattage	18
3.1. La période d'abattage	18
3.2. Les qualités des viandes : le point de départ des recherches sur le stress à l'abattage	18
3.2.1. <i>Le métabolisme musculaire post-mortem</i>	19
3.2.2. <i>Les viandes « DFD » et le stress de l'animal pendant la période d'abattage</i>	19
3.2.3. <i>Les viandes « PSE » et le stress de l'animal au moment de sa mise à mort</i>	20
3.3. L'évaluation de l'état de stress au cours des différentes étapes de l'abattage	20
3.3.1. <i>La préparation à la ferme</i>	21
3.3.2. <i>Le chargement et le déchargement</i>	22
3.3.3. <i>Le transport</i>	23
3.3.4. <i>L'attente en abattoir</i>	24
3.3.5. <i>L'étourdissement et la saignée</i>	24
4. Objectifs de la thèse	26
METHODOLOGIE GENERALE	29

1. Le modèle animal de la thèse : les bovins adultes	31
1.1. Le choix du modèle	31
1.2. Les animaux expérimentaux	31
2. Les tests de réactivité	31
3. Abattages commerciaux et expérimentaux	33
4. Principales mesures utilisées	34
4.1. Variables comportementales	34
4.2. Variables physiologiques	34
4.2.1. <i>Fréquences cardiaques</i>	34
4.2.2. <i>Variables hormonales</i>	36
4.3. Variables métaboliques	36
CHAPITRE 1 – ÉTUDE DES PROCEDURES D’ABATTAGE ET DES REACTIONS DE STRESS DANS UN CONTEXTE INDUSTRIEL	39
Présentation & Résumé du Chapitre 1	41
<i>Article 1 Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics</i>	45
CHAPITRE 2 – ÉTUDE DES REACTIONS DE STRESS DANS UN CONTEXTE SIMPLIFIE ET STANDARDISE PAR RAPPORT A CELUI DE L’ABATTAGE INDUSTRIEL	59
Présentation & Résumé du Chapitre 2	61
<i>Article 2 Characterising the emotional reactivity of cows to understand their stress reactions to the slaughter procedure</i>	67
<i>Article 3 Young Blond d’Aquitaine, Angus and Limousin bulls differ in emotional reactivity during tests: relationships with physical traits, stress reactions at slaughter and post-mortem muscle metabolism</i>	83
CHAPITRE 3 – ÉTUDE DE LA MULTIPLICITE DES FACTEURS DE STRESS INTERVENANT PENDANT LA PERIODE D’ABATTAGE	115
Présentation & Résumé du Chapitre 3	117

<i>Article 4 Effects of food deprivation on behavioural reactivity and physiological status in Holstein cattle</i>	121
DISCUSSION GENERALE	151
1. Rappel des principaux résultats	153
1.1. Chapitre 1 - Etude des procédures d'abattage et des réactions de stress dans un contexte industriel (<i>Article 1</i>)	153
1.2. Chapitre 2 - Etude des réactions de stress dans un contexte simplifié et standardisé par rapport à celui de l'abattage industriel (<i>Articles 2 & 3</i>)	155
1.3. Chapitre 3 - Etude de la multiplicité des facteurs de stress intervenant pendant la période d'abattage (<i>Article 4</i>)	156
2. Comment les bovins perçoivent-ils les procédures intervenant au cours de la période d'abattage ?	157
2.1. Caractériser les individus selon leur réactivité émotionnelle afin de déterminer les facteurs de stress prédominants associés à la période d'abattage	157
2.2. La réactivité émotionnelle est exacerbée par la multiplicité des facteurs de stress intervenant au cours de la période d'abattage	160
3. Comment les bovins expriment leur stress ? Contributions et limites des variables utilisées	161
3.1. L'étude du comportement animal dans le contexte des abattoirs : un outil essentiel pour mieux comprendre le point de vue de l'animal	161
3.2. La complémentarité des variables physiologiques	162
3.3. La vitesse du métabolisme musculaire <i>post-mortem</i> : un indicateur pertinent pour évaluer l'état de stress des bovins <i>a posteriori</i>	163
3.4. L'évaluation de la perte de conscience	164
4. Validité de nos résultats expérimentaux au regard du contexte de l'abattage industriel	165
4.1. Similitudes avec nos observations sur le terrain	166
4.2. Cohérence avec les données de la littérature	166

5. Vers une amélioration des conditions d’abattage des bovins	167
5.1. Agir sur les facteurs liés à l’environnement	167
5.1.1. <i> limiter les sources de stress : l’exemple de la privation alimentaire</i>	167
5.1.2. <i> Mieux gérer les contraintes de l’abattage et étudier l’ensemble des procédures utilisées</i>	168
5.1.3. <i> Améliorer les aménagements et la gestion des animaux</i>	169
5.1.4. <i> Développer l’autoévaluation en abattoirs</i>	170
5.2. Agir sur les facteurs liés à l’animal	170
6. Perspectives	172
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	177
LISTE DES PUBLICATIONS	193
ANNEXE	199
Présentation de l’annexe	201
<i> Compte-rendu de l’étude en abattoir industriel Procédures d’abattage : conséquences pour les animaux en termes de stress – Propositions d’améliorations</i>	203

GLOSSAIRE

*Ce glossaire présente les définitions de certains termes techniques relatifs
aux procédures d'abattage utilisées chez les bovins.*

Les définitions sont présentées suivant l'ordre chronologique des événements.

Identification : Etape au cours de laquelle les boucles des bovins sont vérifiées et enregistrées.

Stockage (ou attente) : Etape au cours de laquelle les bovins sont placés dans un parc ou une logette individuelle jusqu'à la reprise.

Reprise : Etape au cours de laquelle les animaux sont transférés de l'aire d'attente au couloir d'abattage.

Couloir d'abattage (ou d'emmenée) : Couloir conduisant au piège d'étourdissement ou de saignée.

Piège d'étourdissement : Box individuel métallique ou en béton utilisé pour procéder à l'étourdissement lors des abattages conventionnels. Le piège peut être équipé d'un système de contention de la tête et/ou du corps de l'animal.

Piège rotatif : Box individuel métallique utilisé pour procéder à la saignée religieuse des bovins. L'extrémité du piège est une fenêtre ne laissant dépasser que la tête et la gorge de l'animal. Une mentonnière relève la tête de l'animal afin de maintenir le cou tendu. Sur les côtés et l'arrière, des parois s'ajustent contre le corps de l'animal afin de le maintenir totalement. Le piège est ensuite retourné selon un axe horizontal de 90 ou 180° (selon les pièges). L'animal ainsi positionné est donc sur le côté ou sur le dos lors de la saignée.

Effondrement : Chute (perte de la posture debout) de l'animal sur le sol suite à l'étourdissement ou à la saignée dans le cas d'abattages religieux.

Affalage : Le piège est ouvert par le côté et l'animal est évacué du piège, généralement par le biais d'une plateforme inclinée.

Accrochage : Lorsque l'animal est couché sur le sol suite à l'affalage, une chaîne est accrochée à un de ses membres postérieurs.

Suspension : L'animal est hissé sur un rail par un des membres postérieurs, la tête en bas. Lors des abattages conventionnels, la saignée a lieu suite à la suspension.

INTRODUCTION GENERALE

« Dites-moi sur une échelle de 1 à 10 combien il est important pour vous que le bien-être des animaux de ferme soit protégé ? ».

À cette question issue de l'Eurobaromètre de 2007, 34 % des citoyens interrogés répondent que la protection des animaux de ferme est de la plus haute importance et attribuent la note maximale de 10 (European Commission, 2007a). Lorsque les citoyens sont interrogés sur leurs habitudes de consommation, 74 % des personnes pensent qu'en achetant des produits respectueux du bien-être animal, ils peuvent avoir une influence sur les conditions d'élevage des animaux de ferme (European Commission, 2007b). Soixante deux pour cent d'entre eux se déclarent prêts à changer leurs habitudes pour s'approvisionner chez des commerçants œuvrant pour de meilleures conditions d'élevage. Trente-deux pour cent seraient même prêts à payer au moins 10 % plus cher pour des produits animaux, comme par exemple les œufs, issus d'élevages soucieux du bien-être animal (European Commission, 2007a). Même si ces sondages ne reflètent pas des actions concrètes, ils montrent malgré tout que dans notre société actuelle il ne fait plus aucun doute que le bien-être des animaux dont on consomme les produits fait partie des préoccupations des citoyens.

Dans cette introduction, nous présentons dans un premier temps comment les inquiétudes des citoyens en termes de protection des animaux d'élevage sont relayées par différentes instances de la société. La deuxième partie fait état de l'importance de la notion de variabilité interindividuelle dans la perception et les réactions des animaux, au sein des concepts scientifiques actuels du bien-être animal et du stress. Ensuite, nous décrivons le contexte scientifique de l'évaluation du stress à l'abattage, qui, quant à elle, est généralement basée sur les réactions physiologiques des animaux. Enfin, nous présentons les objectifs et le plan de la thèse, construite sur la complémentarité des deux approches précédemment énoncées.

1. Les relais des préoccupations sociétales et les acteurs de la protection animale

Un des relais des attentes des citoyens précédemment évoquées est assuré par une grande diversité d'associations de protection animale (Botreau, 2008). Ainsi, des organisations comme la Protection Mondiale des Animaux de Ferme (PMAF) ou l'Œuvre d'Assistance aux Bêtes d'Abattoirs (OABA) agissent au travers de campagnes d'information, de missions de sauvetage d'animaux en détresse et de soutien auprès des professionnels soucieux de contribuer au respect du bien-être animal. Au niveau européen, la plupart des associations de protection animale sont rassemblées au sein de la fédération Eurogroup for Animals, dont une des actions majeures est d'agir au niveau des instances règlementaires afin de faire évoluer la législation européenne en matière de protection des animaux, et notamment des animaux de ferme. Au niveau international, l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (OIE) a, en 2004, élargi sa compétence de la santé animale, vers le bien-être animal. Les premières lignes directrices adoptées ont été celles relatives aux conditions de transport et d'abattage des animaux.

D'autres organismes ont pour particularité d'aider concrètement les filières animales par l'établissement de guides de bonnes pratiques et la mise en place de formations destinés aux professionnels de l'élevage, du transport et de l'abattage. Ces actions concrètes peuvent être à l'initiative d'associations de protection animale, comme la Human Slaughter Association (HSA) au Royaume Uni, ou de la profession agricole, comme l'Institut de l'Elevage en France.

Un des modes de communication entre les producteurs et les consommateurs passe par la labellisation et les programmes de certification. Ces outils permettent aux consommateurs de devenir actifs en favorisant les produits issus de systèmes de production respectant le bien-être animal. Ils permettent également aux professionnels de mieux valoriser leurs produits et de couvrir les frais éventuellement engendrés par l'amélioration des conditions d'élevage de leurs animaux (Gavinelli, 2007). Certains aspects du bien-être animal sont donc inclus dans différents types de labels ou de cahiers des charges mis en place par des associations (ex. Freedom Foods), des producteurs (ex. Label Rouge), des abatteurs/transformateurs (ex. Charal), ou encore des chaînes de restauration rapide (ex. Mc Donald). Malheureusement, les règles établies dans ces labels ou ces cahiers des charges sont toutes différentes les unes des autres. Une tentative d'harmonisation des pratiques préservant le bien-être animal à l'échelle européenne a donc été mise en place via le programme Welfare Quality® (2004-2009). Il s'agissait de proposer un outil standardisé d'évaluation multicritère du bien-être animal utilisable en routine afin de permettre aux labels d'avoir un socle commun en termes d'exigences liées au bien-être animal (Botreau et al., 2009).

De leur côté, les professionnels de l'agro-alimentaire prennent aussi en compte les attentes sociétales en termes de protection animale. Par exemple, plusieurs enseignes souhaitent limiter, voire stopper, la vente d'œufs provenant de systèmes intensifs. Ainsi, tous les grands supermarchés néerlandais ne vendent déjà plus que des œufs provenant de systèmes dits alternatifs. En Belgique, Makro, Delhaize, Colruyt, Lidl, Aldi et Carrefour (pour sa propre marque) ont retiré les œufs issus de poules élevées en batterie de leurs rayons¹. De la même manière, l'ensemble des supermarchés des Pays-Bas a choisi de cesser la commercialisation de viande de porcs castrés à vif depuis mars 2009. Des enseignes comme Aldi et Lidl sont même allées jusqu'à ne plus vendre de viande issue de porcs castrés, même si la castration est pratiquée sous anesthésie. Au Royaume-Uni, la chaîne de supermarché Waitrose commercialise désormais de la viande de porc provenant exclusivement d'élevages en plein air. Cette liste non exhaustive montre que l'intérêt de plus en plus prononcé porté à l'amélioration des conditions d'élevage des animaux peut se traduire en évolutions concrètes sur le terrain.

¹ Voir le site Internet suivant : www.gaia.be

Enfin, les préoccupations sociétales en matière de respect des animaux de ferme sont également prises en compte par les instances nationales et européennes qui mettent en place des réglementations en termes de protection animale. Ainsi, depuis le milieu des années 70, les animaux sont reconnus par la loi française comme étant des êtres sensibles envers lesquels l'Homme a des obligations¹. Au niveau européen, l'animal est passé du statut « de marchandise » à celui « d'être sensible » avec le traité d'Amsterdam en 1997². La notion de sensibilité renvoie aux facultés d'un individu à ressentir et à réagir à son environnement. Au sens biologique, la sensibilité peut se définir comme la capacité à percevoir des stimulations à l'aide des sens, et à les traiter par le biais du système nerveux (Veissier and Lensink, 2003). La législation a ensuite peu à peu évolué pour d'une part, déterminer et préciser le statut et la place de l'animal dans la société, et d'autre part, instaurer des règles pour le protéger. La protection des animaux au moment de leur abattage est entrée dans la législation française dès 1964³ puis européenne en 1974⁴ avec l'obligation d'étourdir les animaux avant leur saignée. Cette directive à l'origine très succincte, a ensuite été considérablement renforcée en 1993⁵, elle-même modifiée et complétée en 2009⁶. Ce dernier règlement, qui entrera en vigueur au 1^{er} janvier 2013, impose notamment la nomination d'un responsable du bien-être des animaux dans chaque abattoir industriel qui aura pour rôle principal de veiller à l'application de la réglementation.

L'action politique ne se limite pas à l'établissement de réglementations. Elle se traduit aussi par la mise en place de formations et de campagnes de sensibilisation. Par exemple, la prise en compte du bien-être animal en élevage devient en 2003 un des objectifs affichés par la Politique Agricole Commune. En France, nous pouvons aussi citer les Rencontres Animal et Société⁷ (2009). Il s'agit de groupes de travail rassemblant des élus nationaux et locaux, des représentants d'associations de protection animale, des professionnels (notamment des filières agricoles) et des scientifiques. Au cours de ces rencontres, l'abattage des animaux de ferme a fait l'objet de nombreuses propositions dont certaines ont particulièrement retenu l'attention

¹ Loi 76-629 du 10 juillet 1976 (article 9), publiée au Journal Officiel de la République Française du 13/07/1976, p.4203 (source : site Internet legifrance.gouv.fr)

² Publié au Journal Officiel Européen du 10/11/1997, p.110 (Source : site Internet eur-lex.europa.eu)

³ Décret 64-334 du 16 avril 1964, publié au Journal Officiel de la République Française du 18/04/1964, p. 3485 (site internet legifrance.gouv.fr)

⁴ Directive 74/577/CE du 18/11/1974, publiée au Journal Officiel Européen du 26/11/1974, p.10 (Source : site Internet eur-lex.europa.eu)

⁵ Directive 93/119/CE du 22/12/1993, publiée au Journal Officiel Européen du 31/12/1993, p.21 (Source : site Internet eur-lex.europa.eu)

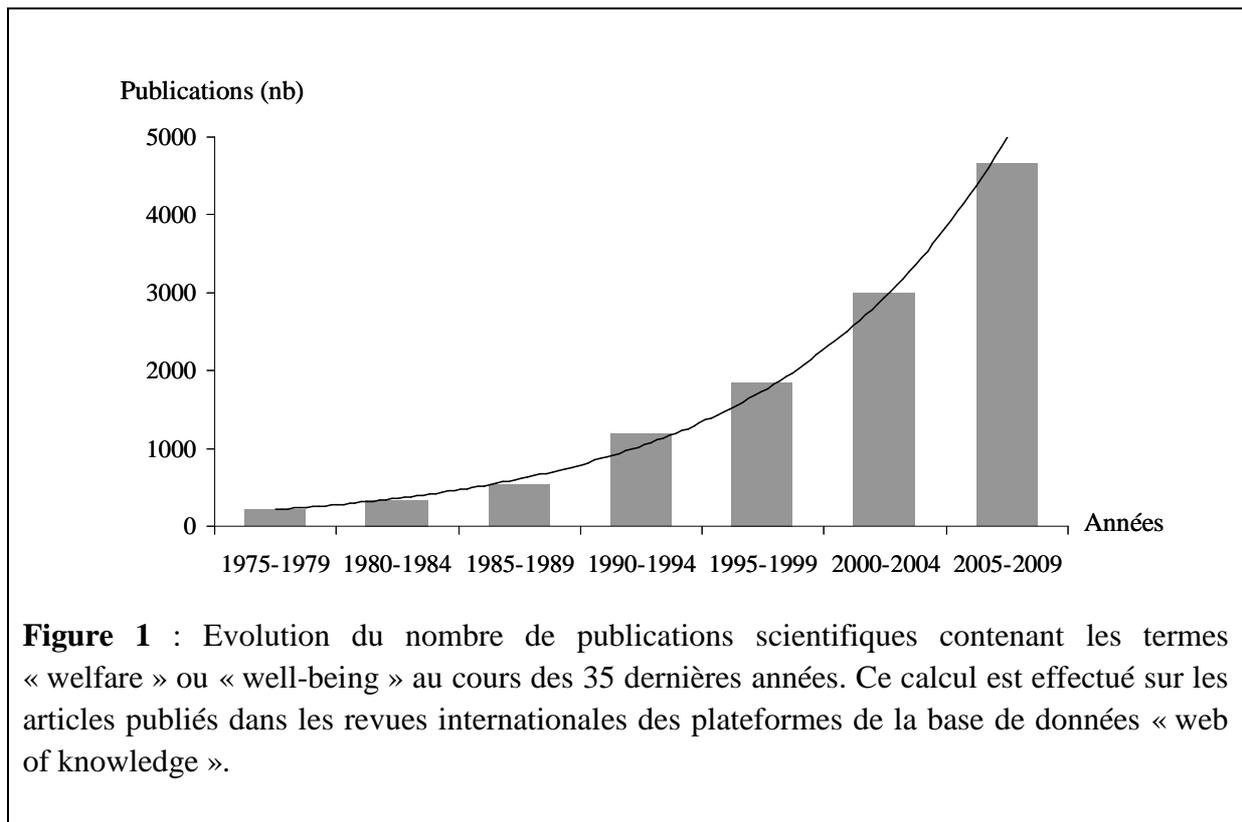
⁶ Règlement (CE) N°1099/2009 du 24/09/2009, publié au Journal Officiel Européen du 18/11/2009, p.1 (Source : site Internet eur-lex.europa.eu)

⁷ Source : site Internet www.animaletsociete.fr

des participants, comme par exemple l'importance de sensibiliser les services vétérinaires aux conditions d'hébergement des animaux en abattoir. Enfin, les attentes des citoyens en termes de protection animale sont également relayées par les pouvoirs publics vers les scientifiques via le financement de programmes de recherche (ex. Welfare Quality®, 2004-2009 ; SusporkQual, 2001-2004).

2. De la protection animale au bien-être animal dans les recherches scientifiques

Les attentes sociétales en matière de protection animale, relayées par les différents acteurs précédemment évoqués, soulèvent des questionnements qui interpellent la recherche scientifique. Ainsi, le nombre de publications concernant le bien-être animal s'accroît de manière exponentielle depuis plus de 30 ans (Figure 1).



2.1. Les notions de bien-être animal et de stress

La plupart des réglementations et cahiers des charges visant à protéger les animaux sont basées sur les « 5 libertés » du Farm Animal Welfare Council (1992) :

- Absence de faim, de soif et de malnutrition ;
- Absence d'inconfort physique ;
- Absence de douleur, de blessure et de maladie ;
- Possibilité d'exprimer les comportements normaux de l'espèce ;
- Absence de peur et de détresse.

Le respect de ces libertés permettrait à l'animal d'atteindre un état de bien-être. Cependant, la notion de bien-être animal est multifactorielle et les définitions sont nombreuses. Le bien-être peut se définir comme un état d'harmonie entre l'animal et l'environnement dans lequel il évolue, aboutissant à une parfaite santé mentale et physique de celui-ci (Hughes, 1976). D'autres définitions intègrent la notion d'ajustement de l'animal à son milieu. Ainsi, selon certains auteurs, le niveau de bien-être dépend des efforts que l'animal doit fournir pour s'adapter à son environnement (Broom, 1987). Si ces efforts sont trop « coûteux », alors le niveau de bien-être sera faible. La troisième catégorie de définitions est basée sur la reconnaissance d'états émotionnels chez l'animal. Le bien-être animal correspondrait alors à l'absence de souffrance, c'est-à-dire d'émotion négative (Dawkins, 1983), voire même à la présence d'émotions positives (Duncan, 2005).

Les trois approches présentées ici pour définir le bien-être animal ne sont pas forcément à opposer, et au contraire, elles peuvent se compléter pour aboutir à une conception synthétique du bien-être animal (Veissier et al., 2000; Veissier and Boissy, 2007). Lorsque l'environnement ne répond pas totalement aux besoins et aux motivations de l'animal, ce dernier a la capacité de s'adapter par des moyens neuroendocriniens et comportementaux sans pour autant en souffrir physiquement et/ou mentalement. Par contre, si l'animal présente des difficultés pour s'ajuster à son environnement parce que la situation est trop éloignée de ses besoins et de ses motivations ou parce qu'elle perdure dans le temps, alors un état de souffrance s'installe. Néanmoins, un environnement trop prévisible ou ne présentant aucune stimulation pour l'animal peut aussi affecter son état émotionnel et aboutir à un état d'ennui (Wemelsfelder, 1993; Veissier et al., 2009). Il est important de noter que l'écart entre la situation, et les besoins et les motivations de l'animal dépend de la manière dont la situation est perçue par celui-ci (Veissier et al., 2000).

Le terme de stress a, quant à lui, fait en tout premier référence lieu à l'activation du système neuro-végétatif, la libération de catécholamines (adrénaline et noradrénaline), et de l'axe corticotrope, entraînant notamment la libération de glucocorticoïdes (principalement le cortisol), en réponse à des perturbations physiques (Cannon, 1914; Selye, 1932). Plus tard, 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. Dans ces définitions, la notion de réponses émotionnelles n'est toutefois pas prise en compte. Dans mes travaux de thèse, 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 (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).

2.2. Les représentations mentales chez les animaux

L'aspect probablement le plus important dans les définitions actuelles des concepts de bien-être et de stress est qu'elles reposent sur la notion de perception, c'est-à-dire la représentation mentale qu'un animal se fait de son environnement, avec la composante émotionnelle qui y est associée (Veissier and Boissy, 2007).

2.2.1. La perception chez l'animal

Mason (1971) avait observé une augmentation du niveau de cortisol chez des singes privés de nourriture lorsque ceux-ci voyaient leurs congénères recevoir un item alimentaire. En revanche, quand les singes privés de nourriture recevaient à la place un item non-alimentaire, ou s'ils étaient isolés lorsque leurs congénères étaient nourris, leur niveau de cortisol n'augmentait pas. Cette expérience montre que ce n'était pas la privation alimentaire en elle-même qui était à l'origine de la réponse de stress des singes, mais le fait que ces derniers percevaient une privation. Par la suite, de nombreux travaux ont montré que les réactions de stress des animaux face à une situation supposée aversive dépendent de la manière dont ils perçoivent cette situation. Par exemple, des rats soumis à des chocs électriques qu'ils pouvaient interrompre présentaient moins d'ulcères gastriques que ceux qui n'avaient aucun contrôle sur l'occurrence de ces chocs (Weiss, 1972). Des résultats similaires

ont été obtenus chez des rats soumis à des chocs électriques prévisibles ou imprévisibles (Weiss, 1972). Ainsi, même si le nombre, la durée et l'intensité des chocs électriques étaient identiques, les réactions des rats différaient selon la manière dont ils percevaient la situation (contrôlable vs. incontrôlable ou prévisible vs. imprévisible). Plus tard, des travaux menés chez des animaux d'élevage ont aussi montré qu'un événement perçu comme contrôlable ou prévisible engendrait des réponses de stress moins prononcées alors que l'événement aversif en lui-même était qualitativement et quantitativement identique (Jones and Nicol, 1998; Zimmerman and Koene, 1998; Greiveldinger et al., 2007; Greiveldinger et al., 2009). L'ensemble de ces études montre que la manière dont l'animal perçoit son environnement joue un rôle déterminant sur son état de bien-être et/ou de stress (Dantzer and Mormede, 1983).

2.2.2. *L'approche originale des émotions chez les animaux d'élevage*

Pour comprendre les réactions comportementales et physiologiques d'un animal ainsi que ses expériences émotionnelles responsables de ces réactions, il est indispensable de tenir compte de la manière dont l'animal perçoit et évalue une situation donnée (Boissy et al., 2007a). Afin d'appréhender le plus objectivement possible ces notions de perception et d'évaluation chez l'animal, des auteurs se sont inspirés des théories de l'évaluation développées chez l'homme en psychologie cognitive (Désiré, 2004; Greiveldinger, 2007). Selon ces théories, et notamment celle affinée par Scherer (1999), une émotion est déclenchée par l'évaluation d'une situation donnée que l'individu effectue de manière quasi-automatique. Cette évaluation repose sur un nombre limité de caractéristiques élémentaires, telles que la nouveauté, la soudaineté, la contrôlabilité ou encore la prévisibilité de la situation. Selon Scherer (1999), la combinaison de ces caractéristiques, qui résulte de la procédure d'évaluation de la situation, détermine la nature de l'émotion qu'est censé ressentir l'individu. Pour transposer ce cadre conceptuel de l'humain à l'animal, et plus précisément aux animaux d'élevage, des travaux ont été menés pour déterminer, parmi ces critères élémentaires, lesquels pouvaient être perçus par l'animal (Désiré et al., 2002). Ainsi, chez l'agneau, il a été montré que la plupart de ces caractéristiques, testées seules ou combinées, sont pertinentes pour les animaux (Désiré et al., 2004; Désiré et al., 2006; Greiveldinger et al., 2009). L'ensemble de ces travaux permet de comprendre comment l'animal perçoit son environnement et de mieux décrypter les émotions qui en découlent.

2.3. La variabilité interindividuelle dans les réactions

Il est bien connu que des animaux placés dans un même contexte environnemental réagissent d'une manière qui leur est propre (Bekoff, 1977; Plomin et al., 1990). Les réactions à une situation donnée sont en partie d'origine génétique (Plomin, 1990). Chez les animaux d'élevage par exemple, de nombreux travaux ont montré que la race influence la réactivité à différents types d'événements stressants (Romeyer and Bouissou, 1992; Le Neindre et al., 1993; Boissy and Le Neindre, 1997; Voisinet et al., 1997; Boissy et al., 2005b). Certains travaux ont même mis en évidence l'héritabilité de la réactivité à l'Homme chez les bovins (Le Neindre et al., 1995) et les ovins (Boissy et al., 2007b). En interaction avec la composante génétique, les expériences individuelles jouent elles aussi un rôle sur la manière dont les animaux réagissent à une situation donnée. Par exemple, plusieurs études ont montré que des veaux soumis à des contacts positifs avec l'Homme se montraient par la suite moins réactifs aux manipulations (Boivin et al., 1992; Lensink et al., 2000; Boivin et al., 2009). Ainsi, la perception et l'évaluation d'une situation donnée, ainsi que les réactions qui en découlent, sont la résultante du patrimoine génétique et des expériences individuelles. Ces deux composantes, ajoutées à l'état émotionnel et physiologique de l'animal à un instant donné, aboutissent à une combinaison unique expliquant au moins en partie la variabilité interindividuelle dans les réactions (Figure 2).

De nombreux travaux entrepris sur les animaux de ferme ont mis en évidence la stabilité de ces différences interindividuelles. Lorsqu'un animal est confronté à différents types de situations ou exposé à la même situation à des moments différents, il présente une cohérence dans ses réactions, comme montré chez les bovins (Boissy and Bouissou, 1995; Lanier et al., 2000; Van Reenen et al., 2004), les ovins (Boissy et al., 2005a; Deiss et al., 2009b), les porcs (Erp-van der Kooij et al., 2002; Terlouw and Rybarczyk, 2008), ou encore les chevaux (Lansade et al., 2008). Cette cohérence dans les réactions peut s'exprimer sous le terme de « réactivité émotionnelle individuelle » (Figure 2), c'est-à-dire la propension d'un animal à réagir plus ou moins fortement face à différents types de situations (Boissy, 1998). Des travaux plus récents ont montré que chez les porcs (Terlouw and Rybarczyk, 2008) et les agneaux (Deiss et al., 2009b), cette cohérence se retrouve aussi dans les réactions aux procédures d'abattage.

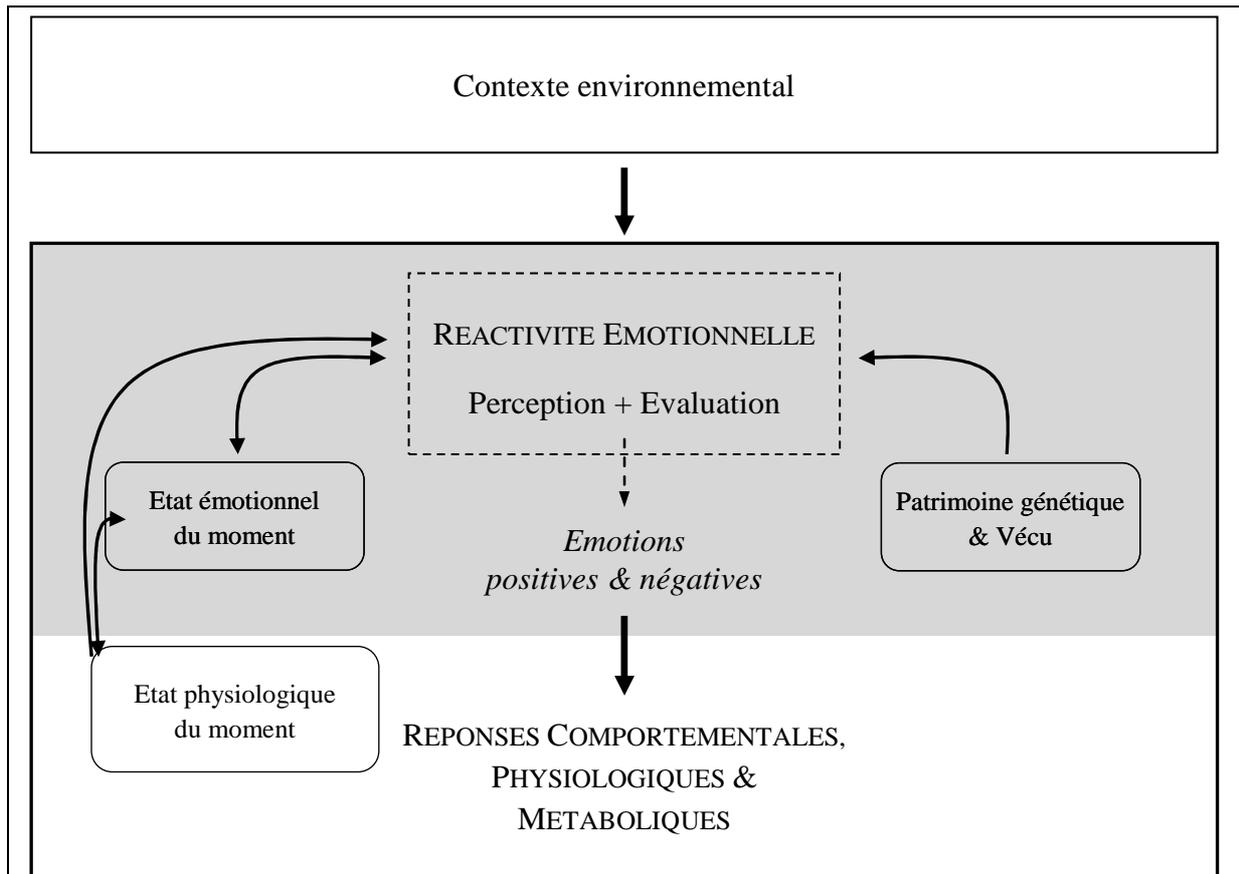


Figure 2 : Représentation schématique (inspirée de Désiré et al., 2002; Terlouw, 2005) de la perception et de l'évaluation des conditions environnementales par l'individu, soulignant l'influence de sa réactivité émotionnelle, de son état émotionnel et de son état physiologique du moment. Il en résulte des réactions comportementales, physiologiques et métaboliques.

En conclusion...

COMPRENDRE COMMENT UN ANIMAL PERÇOIT SON ENVIRONNEMENT ET Y REAGIT

La perception et les réactions d'un animal dans un contexte environnemental donné sont influencées par l'évaluation qu'il entreprend sur la base de sa propre réactivité émotionnelle et de son état émotionnel et physiologique du moment. L'ensemble des travaux présentés ci-dessus montre que, pour comprendre comment l'animal réagit à son environnement, il est indispensable de déterminer ce qu'il perçoit de ce dernier, c'est-à-dire de déterminer quels sont les éléments saillants de l'environnement du point de vue de l'animal. Cette approche n'a cependant été que peu transposée au contexte de l'abattage.

3. L'étude du stress à l'abattage

3.1. La période d'abattage

Au sens propre, le terme « abattage » renvoie directement au moment de la mise à mort de l'animal. Pourtant, les questionnements sur l'abattage des animaux ne se limitent pas à leur saignée. Il s'agit d'une période qui débute avec la préparation des animaux à la ferme et se termine lors de la mort de l'animal suite à la saignée (Terlouw et al., 2008). Entre les deux, interviennent les étapes de chargement sur le site d'élevage, de transport, de déchargement à l'abattoir. Parfois, le transport pour l'abattoir n'est pas direct et les animaux passent par des marchés ou des centres de tri. A l'abattoir, les animaux sont réceptionnés et le plus souvent conduits vers les aires de stockage où ils peuvent attendre plusieurs heures. Ensuite, les animaux sont conduits vers le couloir d'emmenée au poste d'étourdissement ou de saignée (étape de reprise) où ils peuvent attendre un temps variable. Pour les espèces de petite taille (volailles, lapins, chevreaux...), lors du chargement, du transport, du déchargement, du stockage et de la reprise, les animaux sont dans des caisses. Enfin, selon le type d'abattage, l'animal est étourdi puis saigné (abattages dits standards ou conventionnels) ou directement saigné (abattages dits rituels ou religieux). La technique d'étourdissement dépend de l'espèce : il peut être mécanique, électrique (ou électronarcose) ou au gaz. En France, pour les bovins, la technique utilisée est celle de l'étourdissement mécanique. Il peut s'agir d'un étourdissement par percussion au niveau du front de l'animal, mais le plus souvent, les bovins sont étourdis à l'aide d'un pistolet à mèche perforante : une cartouche propulse une tige qui transperce le crâne. L'étourdissement est provoqué par le choc de l'impact et par la destruction d'une partie du cortex frontal provoquant la perte de conscience de l'animal. Si le tir est correctement effectué, l'étourdissement est quasiment instantané et irréversible (Daly et al., 1987; Daly and Kallweit, 1988; Finnie, 1993). Trois techniques de saignée existent : la coupe thoracique par laquelle les principaux vaisseaux sanguins provenant du cœur sont sectionnés, la coupe transversale du cou et la coupe bilatérale des jugulaires et des carotides. La période d'abattage est donc complexe, elle est constituée d'un grand nombre d'étapes successives et dure plusieurs heures, voire plusieurs jours.

3.2. Les qualités des viandes : le point de départ des recherches sur le stress à l'abattage

En parallèle, mais généralement déconnectés des recherches sur la problématique du bien-être animal dans les conditions d'élevage, des travaux sur le stress à l'abattage se sont

développés. Le point de départ de ces travaux provient essentiellement de questionnements liés aux qualités des viandes.

3.2.1. *Le métabolisme musculaire post-mortem*

Après la saignée, les mécanismes biochimiques de maintien de l'homéostasie continuent et les cellules musculaires consomment de l'énergie pendant un certain temps. Cependant, la circulation sanguine est interrompue, et les nutriments ainsi que l'oxygène ne sont plus fournis aux muscles. Les seules réactions biochimiques qui persistent sont les réactions anaérobies telles que la glycogénolyse et la glycolyse. La glycogénolyse produit du glucose-6-phosphate (G6P) à partir du glycogène musculaire. Le G6P est ensuite utilisé pour former de l'ATP lors de la glycolyse. Cette dernière réaction est génératrice de protons et d'acide lactique responsables de l'acidification progressive du muscle jusqu'à une valeur dite pH ultime (Bendall, 1973).

L'amplitude et la vitesse de la diminution *post-mortem* du pH musculaire ont des conséquences notables sur les qualités technologiques et organoleptiques des viandes et peuvent être à l'origine d'importantes dépréciations commerciales. Par conséquent, une grande attention a été portée à l'étude des facteurs déterminant les paramètres de la diminution du pH musculaire. Ainsi, des travaux ont montré que l'espèce, le type génétique, l'âge, le sexe, le type de muscle et son pouvoir tampon, mais aussi l'état de stress de l'animal à l'abattage, influencent le métabolisme musculaire *post-mortem* et les qualités des viandes (Lawrie, 1998; Rosenvold and Andersen, 2003).

3.2.2. *Les viandes « DFD » et le stress de l'animal pendant la période d'abattage*

Lorsque le pH ultime est trop élevé (> 6,0), la viande obtenue présente de mauvaises qualités sensorielles et se conserve moins longtemps. Ces viandes dites « à pH élevé » sont aussi connues sous le terme de viandes « DFD » (Dark, Firm and Dry : sombres, fermes et sèches). Ce phénomène est largement décrit dans la littérature, en particulier chez les porcs et les bovins (Lawrie, 1998).

Une des causes principales du pH ultime élevé est l'arrêt prématuré de la diminution du pH musculaire *post-mortem* en raison d'une carence en glycogène dégradable. Or, la glycogénolyse responsable du déstockage du glycogène est stimulée par les catécholamines. De ce fait, plusieurs études se sont intéressées aux effets du stress et de la sécrétion de

catécholamines sur la glycolyse et le pH musculaire ultime. Les expériences ainsi menées ont montré que le stress subi par l'animal au cours des différentes étapes de l'abattage pouvait être à l'origine du quasi épuisement des réserves en glycogène (Bendall, 1973; Terlouw and Rybarczyk, 2008). Néanmoins, des travaux ont montré que l'injection d'adrénaline dans le muscle au repos ne suffisait pas à épuiser des réserves en glycogène (Lacourt and Tarrant, 1985; Fernandez et al., 1995). Plus tard, des auteurs ont mis en évidence que l'effet de l'adrénaline était plus prononcé sur le muscle en contraction : l'augmentation de l'adrénaline accompagnée d'efforts physiques est responsable de l'épuisement des réserves en glycogène (Febbraio et al., 1998).

3.2.3. Les viandes « PSE » et le stress de l'animal au moment de sa mise à mort

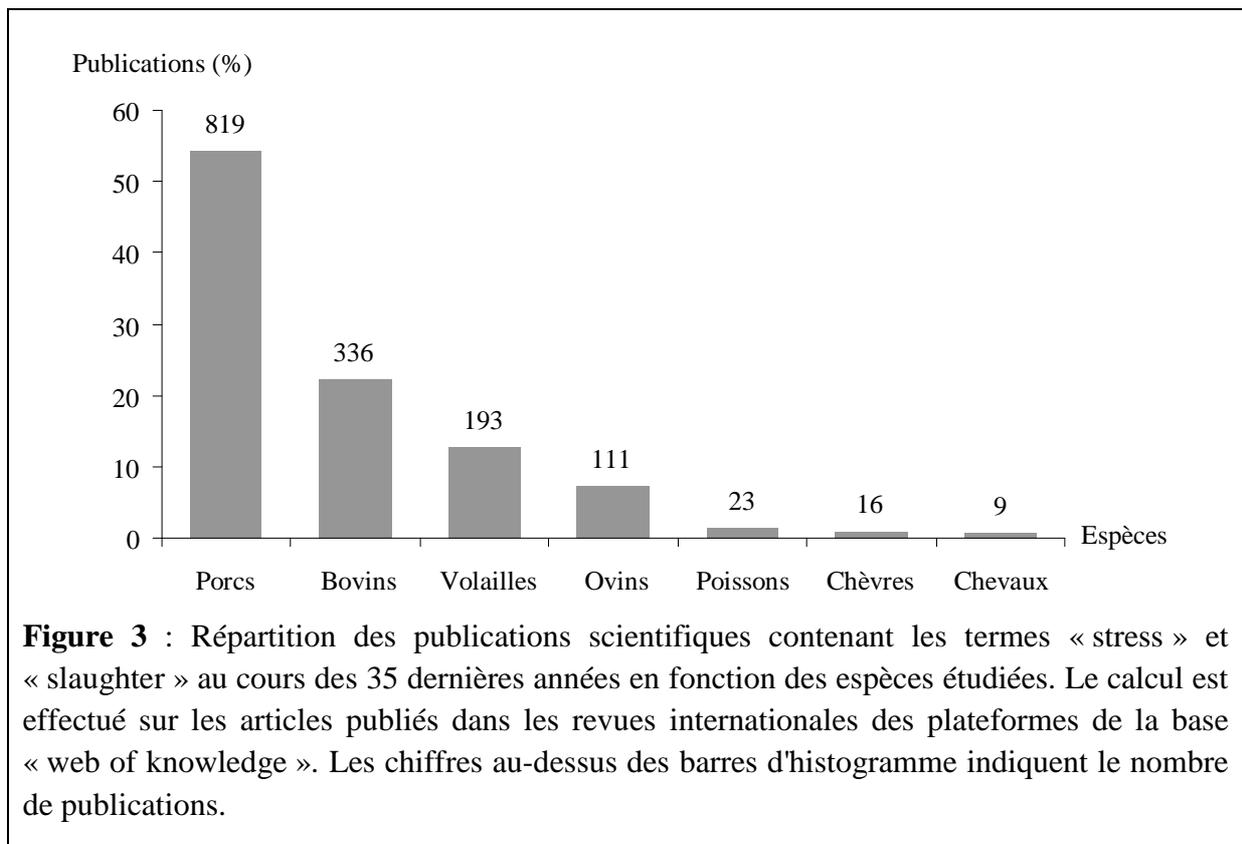
Lorsque le pH de la viande diminue trop vite, cette chute rapide peut aboutir à des viandes dites « PSE » (Pale, Soft and Exudative : pâles, molles et exsudatives). Ces viandes sont bien connues chez les porcs et les volailles (Gregory, 1998) en raison des caractéristiques métaboliques et contractiles de leurs muscles. En effet, leurs muscles sont majoritairement composés de fibres blanches au métabolisme rapide. Chez les porcs, la plus forte prévalence des viandes PSE s'explique aussi par une mutation génétique du récepteur à la ryanodine, également connu sous le nom de gène de sensibilité à l'halothane (Lawrie, 1998). Cette mutation empêche la recapture du calcium dans le cytoplasme par le réticulum endoplasmique. Les taux élevés de calcium intracellulaire résultent en une activité métabolique durable et excessive qui peut perdurer après la mise à mort de l'animal (Lawrie, 1998).

La vitesse de diminution du pH dépend du métabolisme de l'ATP (Bendall, 1973). Le stress et l'activité physique au moment de l'abattage accélèrent le déstockage du glycogène et conduit à une augmentation de l'activité ATPasique. De ce fait, l'accumulation de lactate et de protons provoquant l'acidification du muscle est rapide et conduit à un pH précoce faible et une température élevée (Bendall, 1973; Rosenvold and Andersen, 2003).

3.3. L'évaluation de l'état de stress au cours des différentes étapes de l'abattage

Les effets du stress sur les qualités des viandes, mais aussi sur la mortalité, la perte de poids, les blessures, ou encore les contaminations des carcasses, sont autant de sources potentielles de pertes économiques et/ou de détérioration du bien-être de l'animal. De ce fait, de nombreuses études visant à évaluer l'état de stress des animaux, le plus souvent sur la base

de leurs réactions physiologiques, ont été menées. Ces travaux concernent principalement les porcs, les bovins et les volailles (Figure 3). Les ovins, les caprins et les chevaux retiennent moins d'attention, probablement en raison des conséquences moins visibles sur les qualités de leur viande et/ou de la place moins importante qu'ils occupent dans l'industrie de la viande. Les recherches sur les poissons, qui ne se développent que depuis peu, ne seront pas abordées ici puisque les procédures d'abattage utilisées sont très différentes de celles employées pour les autres espèces.



3.3.1. La préparation à la ferme

Avant le départ pour l'abattoir, une privation alimentaire d'une durée variable selon les espèces est recommandée par les scientifiques et les instituts techniques afin de limiter les risques sanitaires de contamination des carcasses en cas de rupture accidentelle du tractus digestif pendant l'éviscération (Gregory, 1998). Chez le porc, elle semble aussi limiter les risques de mortalité pendant le transport (Gregory, 1998). D'un point de vue strictement

économique, elle peut également permettre à l'éleveur d'économiser le dernier repas des animaux partant pour l'abattoir. Selon la législation européenne¹, les bovins peuvent voyager pendant 14 h puis attendre 12 h dans les aires de stockage des abattoirs sans être alimentés. Cependant, la privation alimentaire peut aussi avoir des conséquences négatives en termes de stress (Mason, 1971) et/ou de perte de poids. Chez les volailles, des travaux montrent que le niveau de cortisol augmente dès 2 h de privation alimentaire (Kannan and Mench, 1996). A titre d'exemple, au bout de 24 h de privation alimentaire, les pertes de poids vif sont estimées à 8 % chez les bovins et les ovins (Knowles and Warriss, 2000; Tarrant and Grandin, 2000), 10 % chez les volailles (Knowles et al., 1995b; Warriss et al., 1999) et 5 % chez les porcs (Warriss, 1982; Warriss and Brown, 1983). L'étape de préparation des animaux à la ferme inclut aussi un tri des animaux qui est source de perturbations sociales. Chez les porcs par exemple, des combats peuvent être observés lors des regroupements sociaux qui précèdent le chargement (Connell, 1984).

3.3.2. *Le chargement et le déchargement*

En plus de l'effort physique demandé, le chargement et/ou le déchargement impliquent des manipulations, des expositions à de nouveaux environnements et parfois des mélanges avec des congénères non familiers. Ces étapes induisent une augmentation de la fréquence cardiaque chez les veaux (Lensink et al., 2001; Van de Water et al., 2003b) et les ovins (Baldock and Sibly, 1990), ajoutée à une augmentation du niveau de cortisol et de créatine kinase chez les porcs (Kim et al., 2004; Brown et al., 2005), traduisant probablement un état de stress et une activité physique accrue. Chez les volailles, le chargement peut provoquer une élévation du niveau de cortisol (Kannan and Mench, 1996) ainsi que des fractures et des hématomes au niveau des pattes et des ailes (Gregory and Wilkins, 1989) puisqu'elles sont généralement emmenées jusqu'aux caisses de transport par les pattes la tête en bas.

Le déchargement est parfois qualifié de moins stressant de par la présence d'équipements souvent mieux adaptés dans les abattoirs par rapport à ceux des fermes (Terlouw et al., 2008).

¹ Publiée au Journal Officiel Européen du 31/12/1993, p.21 et du 30/06/1995, p.5263 (Source : site Internet eur-lex.europa.eu).

3.3.3. *Le transport*

Le transport est probablement l'étape de l'abattage la plus étudiée à ce jour puisqu'elle est la source d'un grand nombre de facteurs de stress, avec parfois des conséquences extrêmes. Les facteurs associés au transport peuvent se répartir en trois catégories : les facteurs induisant de l'inconfort physique, ceux liés au caractère social des animaux, et enfin ceux qui concernent la privation d'eau et de nourriture.

Parmi les facteurs de stress d'origine physique, la densité pendant le transport est une source potentielle de stress et de blessures. Chez les bovins par exemple, les niveaux de cortisol et de créatine kinase, ainsi que le nombre d'ecchymoses observées sur les carcasses, augmentent avec la densité (Tarrant et al., 1992). Lorsque la densité est élevée, les chutes sont moins fréquentes. Néanmoins, lorsqu'elles se produisent, les bovins peuvent être dans l'incapacité de se relever et le risque de blessures ou d'écrasement est alors élevé (Terlouw et al., 2008). A l'inverse, une densité trop faible ne permet pas aux bovins de s'appuyer les uns contre les autres, ce qui accroît les efforts nécessaires pour se maintenir debout et favorise les chutes (Tarrant, 1990; Knowles, 1999). Chez les ovins, une densité trop faible dans le camion augmente le risque d'ecchymoses (Jarvis and Cockram, 1994). Plus la durée du transport est longue, plus le taux de mortalité des volailles est élevé (Gregory, 1998). De même, leur niveau de cortisol augmente avec la durée du transport (Mitchell et al., 1992), indiquant probablement un niveau de stress plus élevé. Le type de conduite ainsi que les routes empruntées ont aussi fait l'objet de recherches. Chez les ovins par exemple, une conduite brusque pendant le transport accentue l'augmentation du niveau de cortisol (Bradshaw et al., 1996). En plus de la densité, le type de conduite du chauffeur et l'état des routes peuvent également influencer le maintien de l'équilibre des animaux, comme montré chez les bovins (Kenny and Tarrant, 1987b; Kenny and Tarrant, 1987a). D'autres études chez les veaux ont indiqué que la place dans le camion influerait aussi sur le niveau de stress des individus. En effet, les vibrations, les efforts à fournir pour ne pas chuter, les températures et les expositions aux courants d'air sont autant de paramètres qui varient entre l'arrière et l'avant du camion (Van de Water et al., 2003a). De même, la température élevée pendant le transport est responsable d'une augmentation du taux de mortalité chez les porcs (Gregory, 1998), les volailles (Warriss et al., 1992) et les ovins (Gregory, 1998).

Le transport peut être associé à des mélanges sociaux qui, chez les taurillons, peuvent entraîner des interactions agressives et des chevauchements, sources d'efforts physiques importants (Kenny and Tarrant, 1987a).

Enfin, la privation alimentaire peut avoir pour conséquence une mobilisation accrue des réserves énergétiques (voir « Préparation à la ferme »), ainsi qu'une augmentation des activités d'alimentation et d'abreuvement après le transport, comme montré chez les ovins (Knowles et al., 1995a; Cockram et al., 1999). La déshydratation peut également être une conséquence du transport, montrée par une hausse des taux d'albumine et de chlorures chez les veaux (Mormède et al., 1982) et des taux d'hématocrite et de protéines totales dans le sang chez les bovins adultes (Tarrant et al., 1992; Warriss et al., 1995).

3.3.4. *L'attente en abattoir*

L'attente en bouverie peut permettre aux animaux de se remettre du stress et des efforts physiques vécus au cours de toutes les étapes précédentes. Par exemple, des études montrent que les bovins retrouvent leur état physiologique et comportemental de base après une attente de 24 à 48 h (Knowles, 1999; Mounier et al., 2006). Cependant, cela nécessite de bonnes conditions d'attente, alors que cette période peut, elle aussi, être source de stress. Des travaux montrent qu'au-delà de deux heures, l'augmentation de la durée d'attente favorise les chevauchements chez les veaux (Grigor et al., 2004). Pour les porcs (Geverink et al., 1996) et les bovins (Gregory, 1998), en particulier les mâles entiers, les mélanges sociaux qui peuvent se produire lors de l'attente en bouverie entraînent souvent des agressions qui peuvent avoir pour conséquence de sévères blessures (Terlouw et al., 2008). De plus, l'état de privation alimentaire souvent associé à l'attente en abattoir accentue cette agressivité, comme montré chez les porcs par exemple (Brown et al., 1999). Les volailles, qui attendent généralement dans les camions jusqu'à ce qu'elles soient emmenées au poste d'étourdissement et/ou de saignée, peuvent être exposées à des températures élevées qui entraînent une élévation du niveau de cortisol (Debut et al., 2005).

3.3.5. *L'étourdissement et la saignée*

Le type d'étourdissement utilisé, ainsi que la manière dont il est utilisé, peuvent aussi influencer le niveau de stress des animaux. Pour certaines procédures d'étourdissement, les animaux sont isolés de leurs congénères et/ou contenus, ce qui constitue des sources de stress supplémentaires (Deiss et al., 2006; Terlouw et al., 2008). En effet, au cours de l'étourdissement à l'aide de pinces électrifiées, les porcs ou les ovins sont contenus en file indienne sur un tapis roulant qui maintient leurs pattes. Chez les bovins, l'étourdissement au

pistolet se pratique dans un piège individuel, qui peut être équipé d'un système de contention de la tête, voire du corps.

Dans le cas de l'étourdissement électrique, des études menées chez les porcs montrent que si le courant appliqué est insuffisant, l'étourdissement peut être source de douleurs (Wotton and O'Callaghan, 2002). Dans le cas des volailles, les individus sont accrochés sur le rail de saignée avant l'électronarcose. Cette étape est douloureuse (Gentle and Tilston, 2000) et peut être à l'origine de fractures (Gregory and Wilkins, 1989). Des travaux ont montré que l'accrochage est aussi un événement stressant, comme indiqué par exemple par l'élévation du niveau de cortisol (Kannan et al., 1997; Debut et al., 2005), des vocalisations et des battements d'ailes (Debut et al., 2005).

Alors que la perte de conscience est quasi-immédiate lorsque l'étourdissement électrique ou au pistolet est correctement réalisé, elle prend plusieurs secondes lors d'un étourdissement au gaz. Le mélange gazeux utilisé influence la vitesse d'induction de la perte de conscience (EFSA, 2004) et peut être à l'origine de souffrances respiratoires, comme montré chez les volailles (Lambooij et al., 1999) et les porcs (Deiss et al., 2006).

Comme pour les abattages standards, l'efficacité des abattages rituels dépend de la manière dont ils sont pratiqués. Néanmoins, le délai de perte de conscience est plus long et plus variable lors d'un abattage rituel que lors d'un abattage avec étourdissement au pistolet (EFSA, 2004). De plus, lorsque les bovins sont saignés par la technique de coupe transversale du cou, des caillots de sang peuvent se former au niveau des extrémités caudales des artères carotides (Gregory, 1998). Du sang peut alors s'infiltrer entre la paroi de l'artère et la gaine de tissu conjonctif qui entoure cette paroi. Cela provoque un gonflement de la paroi de l'artère ce qui limite le flux de sang qui quitte alors l'artère coupée. Le flux sanguin est alors partiellement maintenu dans le cerveau par l'artère vertébrale, retardant ainsi la perte de conscience (Anil et al., 1995). Ces phénomènes sont propres à l'espèce bovine de par l'organisation anatomique de ces artères.

En conclusion...

L'ETUDE DU STRESS A L'ABATTAGE

Les études précédemment mentionnées apportent un grand nombre de données permettant d'évaluer l'état de stress des animaux pendant certaines étapes de la période d'abattage. Cette synthèse bibliographique met en évidence la complexité de cette période de par la multitude et la variété des facteurs de stress intervenant. Elle souligne aussi la nécessité des questionnements sur les conditions d'abattage des animaux, non seulement au vu de leurs conséquences économiques, mais aussi et surtout, en raison de leur impact sur le bien-être animal.

Cependant, certaines étapes de la période d'abattage sont rarement abordées, comme par exemple la conduite des animaux vers le piège d'étourdissement et/ou de saignée ou encore l'introduction des animaux dans le piège. D'autre part, à l'exception des interactions agonistiques, les réactions comportementales des animaux sont peu prises en compte dans l'évaluation de l'état de stress des animaux qui est essentiellement basée sur les réactions physiologiques plus facilement mesurables.

4. Objectifs de la thèse

Mes travaux de thèse ont pour objectifs de **contribuer à mieux comprendre (i) les facteurs de stress à l'origine des réactions des bovins dans le contexte de la période d'abattage, et (ii) comment ils expriment leur stress d'un point de vue comportemental et physiologique**. Il s'agit de se placer du point de vue de l'animal pour comprendre les liens entre sa réactivité émotionnelle, son état physiologique du moment et ses réactions de stress aux procédures d'abattage. Dans un deuxième temps, il s'agit de proposer des voies d'amélioration des conditions d'abattage des bovins.

Pour répondre à ces objectifs, ma thèse est basée sur la complémentarité des deux approches présentées en introduction : celle visant à comprendre comment l'animal perçoit les situations environnementales dans lesquelles il se trouve, et celle visant à évaluer l'état de stress des animaux au cours de différentes étapes de la période d'abattage. Nous avons mené quatre études regroupées en trois chapitres :

Le premier chapitre est une étude menée sur le terrain. **Elle consiste d'une part à décrire les procédures d'abattage, et d'autre part, à déterminer les réactions comportementales, physiologiques et métaboliques des bovins dans des conditions d'abattage industriel.** Il s'agit de traiter l'ensemble des procédures, y compris les plus rarement étudiées et d'inclure l'étude du comportement à l'évaluation de l'état de stress des bovins en abattoirs, sans interférer avec les procédures habituelles de l'abattoir étudié (*Article 1*).

Le deuxième chapitre étudie les réactions comportementales, physiologiques et métaboliques des bovins en les exposant à des situations simplifiées et standardisées par rapport au contexte de l'abattage industriel afin de caractériser les animaux selon leur réactivité émotionnelle individuelle. **Les objectifs sont (i) de déterminer si la réactivité émotionnelle des bovins, évaluée en élevage, peut permettre d'identifier les animaux susceptibles de réagir plus fortement aux procédures d'abattage, et (ii) d'évaluer quels facteurs peuvent contribuer significativement à leur état de stress pendant la période d'abattage** (*Articles 2 & 3*).

Le troisième et dernier chapitre vise **(i) à mieux comprendre les effets de la multiplicité des facteurs de stress intervenant pendant la période d'abattage sur la réactivité émotionnelle des bovins, et (ii) à déterminer l'implication de l'état physiologique de l'individu sur sa réactivité émotionnelle.** Pour cela, en plus de l'exposition à des situations simplifiées similaires à celles utilisées dans le deuxième chapitre, les bovins ont été soumis à une privation alimentaire parfois cumulée avec une activité physique imposée. Ces deux types de facteurs de stress principalement d'origine physique ont été particulièrement choisis en raison de leur implication récurrente tout au long de la période d'abattage (*Article 4*).

METHODOLOGIE GENERALE

1. Le modèle animal de la thèse : les bovins adultes

1.1. Le choix du modèle

Toutes les espèces méritent d'un point de vue éthique que la communauté scientifique se préoccupe de leurs conditions d'abattage. Les porcs ont fait et font encore l'objet de nombreuses recherches à ce sujet. Au sein de l'équipe Adaptation et Comportements Sociaux (ACS) de l'unité de Recherches sur les Herbivores de l'INRA de Clermont-Ferrand / Theix, la réactivité au stress à l'abattage était déjà étudiée chez les ovins, ainsi, le modèle bovin a été en particulier retenu pour cette thèse.

La réactivité des veaux à l'abattage a précédemment fait l'objet de travaux au sein de l'équipe ACS. De plus, les procédures d'abattage utilisées pour les veaux sont très différentes de celles employées pour les bovins adultes et sub-adultes (taurillons et génisses). Ainsi, dans la présente thèse nous avons choisi de nous focaliser sur cette dernière catégorie.

1.2. Les animaux expérimentaux

Au cours des différentes expérimentations de cette thèse, près de 350 vaches, taurillons et génisses de diverses races laitières et allaitantes ont été individuellement observés. Ainsi, cette thèse présente des données sur la réactivité au stress à l'abattage chez les principaux types de bovins adultes abattus en France en termes de race, sexe et âge (Micol and L'Herm, 2010).

Dans le *Chapitre 1*, les animaux étudiés faisaient partie du circuit industriel. Dans les *Chapitres 2 & 3*, les animaux faisaient partie de programmes de recherche européens ou nationaux, au sein desquels un grand nombre d'équipes de recherches était impliqué pour répondre à des problématiques allant de la nutrition humaine aux qualités des viandes en passant par les questions de bien-être animal. **Aucun animal n'a donc été abattu uniquement pour les expérimentations de cette thèse, et l'ensemble de la viande issue de ces abattages était destiné à la consommation.**

2. Les tests de réactivité

Dans les *Chapitres 2 & 3* (*Articles 2, 3 & 4*) de cette thèse, des tests de réactivité ont été utilisés afin de caractériser les animaux selon leur réactivité émotionnelle en les exposant à différents types de challenges (Fig. 4). Ces tests nous ont permis de recréer des **situations**

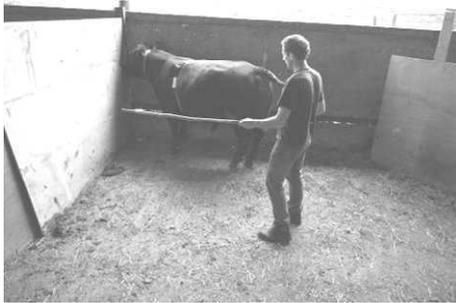
simplifiées et standardisées par rapport à la période d'abattage, mais susceptibles d'intervenir pendant cette période. Pour cela, nous nous sommes basés sur des tests développés au sein de l'équipe ACS et validés par de précédentes études (Boivin et al., 1992; Le Neindre et al., 1995; Mounier et al., 2006; Deiss et al., 2009b). Au cours des différents tests de réactivité, les animaux étaient confrontés à des facteurs de stress d'origine psychologique : l'Homme (Fig. 4a), la séparation sociale (Fig. 4b), la nouveauté (Fig. 4c) et la soudaineté (Fig. 4d). Les tests de réactivité se sont tous déroulés sur le site des Installations Expérimentales « Les Intraboies » du centre de recherche. Les animaux étaient testés individuellement et les durées des tests dépendaient du type d'animal et de la nature de la situation recréée.

Le test d'exposition à l'Homme a été systématiquement utilisé (*Articles 2, 3 et 4*). Ce test était composé d'une phase de présence passive de l'Homme avec l'animal et de phases de manipulations (maintien de l'animal et caresses). Cependant, pour tester la réactivité à l'Homme des taurillons (*Article 3*), le nombre de manipulations et la longueur du test étaient réduits pour des raisons de sécurité.

Le test de séparation sociale a été utilisé dans l'*Article 2*. Au cours de ce test, la vache testée était physiquement séparée de ses congénères à l'aide d'une grille. Puis, intervenait une phase de suppression du contact visuel entre la vache testée et ses congénères. Ce contact visuel était ensuite restauré et un expérimentateur se positionnait devant la grille, entre la vache testée et ses congénères.

Afin de diversifier les facteurs testés, dans les *Articles 3 & 4*, le test de séparation sociale a été remplacé par des tests de nouveauté et de soudaineté. Ils consistaient en la présentation d'un objet nouveau et en l'exposition à un événement soudain (ouverture d'un parapluie ou activation d'un jet d'air au niveau des naseaux de l'animal), respectivement.

Dans le dernier chapitre (*Article 4*), des facteurs de stress d'origine physique (privation alimentaire, activité physique) ont été surajoutés juste avant l'exposition des animaux aux tests de réactivité afin d'appréhender la multiplicité des facteurs de stress rencontrée pendant la période d'abattage.



4a.



4b



4c



4d

Figure 4 : Exemples de tests de réactivité utilisés. 4a : Exposition à l'Homme, 4b : Séparation sociale, 4c : Présentation d'un objet nouveau, 4d : Exposition à un événement soudain.

3. Abattages commerciaux et expérimentaux

Dans le *Chapitre 1*, les animaux étudiés étaient abattus dans un abattoir industriel de taille moyenne. L'objectif était de ne pas interférer dans les procédures de l'abattoir pour évaluer les réactions des animaux dans des conditions réelles de terrain. Ces travaux ont nécessité au préalable le développement de grilles comportementales adaptées à chacune des étapes de la période d'abattage étudiée et permettant de faire face aux contraintes techniques de l'étude du comportement en conditions industrielles.

Dans les *Chapitres 2 & 3*, les animaux ont été abattus en fin d'expérimentation au sein de l'abattoir expérimental du centre de recherche. L'objectif était d'évaluer les réponses de stress des animaux aux procédures d'abattage dans des conditions contrôlées et simplifiées

par rapport au contexte industriel. Ainsi, les durées de transport et d'attente à l'abattoir, les délais d'étourdissement et de saignée, et l'ensemble du déroulement temporel des différentes mesures *ante-* et *post-mortem*, étaient standardisés.

4. Principales mesures utilisées

4.1. Variables comportementales

Un des objectifs de cette thèse était d'obtenir des analyses fines du comportement des bovins afin de caractériser leur réactivité aux différentes situations auxquelles ils ont été confrontés, y compris à l'abattage. Ainsi, un grand nombre d'activités ont été étudiées selon les différents contextes des expérimentations : déplacements (marche, recule, avance, court, immobile, saute), vocalisations, positions des oreilles et de la tête (port de l'encolure et orientation de la tête), flairages, positions dans le parc de test, sursauts, vigilance, maintenance autodirigée, alimentation, abreuvement, postures (couché, debout), interactions socio-positives, interactions agonistiques, chutes, glissades, compressions, ruades, temps pour monter et descendre du camion, pour entrer dans l'abattoir, etc.

Lors des tests de réactivité, de l'étude du comportement en case d'élevage et des abattages expérimentaux (*Chapitres 2 et/ou 3*), les comportements étaient enregistrés sur support vidéo. Les films étaient ensuite dépouillés au sein de l'atelier d'analyse comportementale du laboratoire à l'aide du logiciel « The Observer v. 5.0 » (Noldus, Pays-Bas). Ce logiciel permet de dépouiller les films avec une grande précision. Les comportements étudiés lors des abattages en conditions industrielles (*Chapitre 1*) étaient quant à eux enregistrés à l'aide de dictaphones numériques « Olympus DM-10 » (Olympus Corporation, Tokyo, Japon).

4.2. Variables physiologiques

4.2.1. Fréquences cardiaques

Dans les *Chapitres 2 & 3*, la fréquence cardiaque des animaux pendant les tests de réactivité et/ou la période d'abattage était enregistrée à l'aide de cardiofréquencemètres « Polar Vantage NV » (Polar Electro, Anglet, France) conçus pour les sportifs. Afin d'adapter ce système aux bovins, des ceintures ont été conçues et testées au sein de l'atelier d'électrophysiologie de l'équipe ACS.

Au moins trois jours avant l'expérimentation, les animaux étaient préalablement tondu au niveau de la cage thoracique. Le jour de l'expérimentation, les animaux étaient conduits par groupes de congénères appartenant à la même case d'élevage vers une cage de contention familière située dans l'étable expérimentale. La ceinture élastique portant à la fois l'émetteur et le récepteur du système de cardiofréquence-métrie était fixée autour de la cage thoracique des animaux, juste derrière leurs antérieurs (Fig. 5). Les fichiers enregistrés dans le récepteur étaient ultérieurement transférés sur ordinateur et dépouillés à l'aide du logiciel Polar Pro Trainer 5 (Polar Electro, Oulu, Finlande).



5a



5b



5c



5d

Figure 5 : Les étapes de la mise en place des cardiofréquence-mètres. 5a : Tonte des animaux au niveau de la cage thoracique (quelques jours avant). 5b : Pose de la ceinture portant l'émetteur et le récepteur. 5c : Démarrage du cardiofréquence-mètre. 5d : Retour des animaux équipés dans leur loge. Ils disposaient ensuite d'au moins 10 min d'habituance avant le début de l'expérimentation.

4.2.2. Variables hormonales

Dans toutes les expérimentations de cette thèse, des dosages des niveaux de cortisol plasmatique ont été effectués. Selon les expérimentations, les échantillons de sang étaient prélevés sous la queue des bovins pendant qu'ils s'alimentaient dans leur case d'élevage, ou dans la cage de contention de l'étable (Fig. 6).

Dans le *Chapitre 2*, des dosages des niveaux de cortisol et de catécholamines (adrénaline et noradrénaline) urinaires ont aussi été effectués. L'urine utilisée était prélevée soit au cours de la première miction spontanée de la journée, soit *post-mortem* directement dans la vessie.

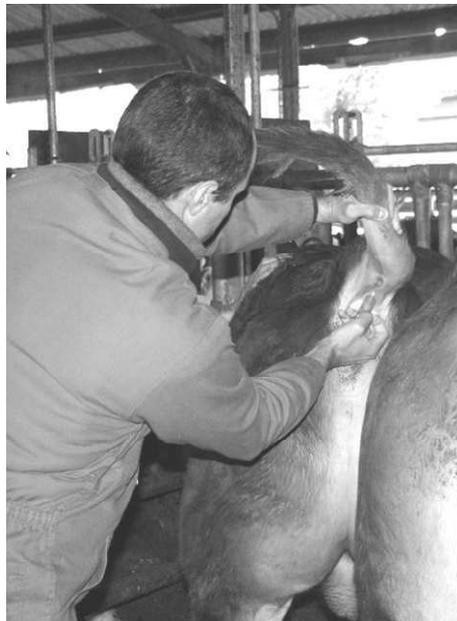


Figure 6 : Prélèvement sanguin réalisé directement dans une case d'élevage. Pendant le prélèvement, l'animal est maintenu par le cornadis de son auge et s'alimente.

4.3. Variables métaboliques

Afin, d'une part, de compléter notre évaluation de l'état de stress des animaux et, d'autre part, de mieux comprendre la vitesse de diminution du pH qui est peu étudiée chez les bovins, des indicateurs du métabolisme musculaire ont été utilisés (*Chapitres 1 & 2*).

Les mesures de pH et de température ont été effectuées dans deux muscles de référence (*Semitendinosus* et *Longissimus dorsi*). Selon les expérimentations, une ou deux mesures du pH précoce ont été effectuées (10 min, 40 min et/ou 3 h après la saignée), ainsi qu'une mesure du pH ultime (30 h après la saignée). Elles étaient effectuées soit directement sur la carcasse (moyenne sur cinq points de mesure par muscle), soit après broyage dans une solution de iodoacétate (5 mM) pour interrompre l'évolution du pH dans le muscle.

Pour compléter les mesures de pH et de température, des dosages des contenus en glycogène, glucose-6-phosphate, glucose et lactate ont également été effectués (*Chapitre 2*). Ils ont été utilisés pour évaluer l'état des réserves en glycogène musculaire *ante-mortem* (c.-à-d. le potentiel glycolytique).

Dans le *Chapitre 3*, des dosages des principaux indicateurs plasmatiques du métabolisme énergétique ont aussi été effectués (glucose, lactate, urée, acides gras libres et β -hydroxybutyrate) pour évaluer l'impact de la privation alimentaire sur le métabolisme énergétique des bovins.

CHAPITRE 1

ÉTUDE DES PROCEDURES D'ABATTAGE ET DES REACTIONS DE STRESS DANS UN CONTEXTE INDUSTRIEL

Article 1 – Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics.

Présentation & Résumé du Chapitre 1

Article 1

Réactions comportementales et physiologiques des bovins dans un abattoir industriel : relations avec les aspects organisationnels de l'abattoir et les caractéristiques des animaux

Bourguet C., Deiss V., Cohen Tannugi C. et Terlouw E.M.C., 2010.

Meat Science, accepté.

1. Objectifs

De nombreuses études ont examiné les réactions de stress des bovins au cours des étapes de l'abattage. Cependant, certaines procédures sont rarement abordées et l'évaluation de l'état de stress des bovins est généralement basée sur leurs réactions physiologiques uniquement.

La présente étude examine les réactions des bovins depuis leur arrivée sur le site d'abattage jusqu'à leur saignée, sans interférer avec les procédures de l'abattoir. Les objectifs sont (i) de décrire les procédures utilisées dans un abattoir industriel, et (ii) d'évaluer les relations entre ces procédures et les réactions physiologiques et comportementales de différents types de bovins adultes et sub-adultes (génisses et taurillons).

2. Matériel & Méthodes

Les observations ont été effectuées pendant 2 périodes de 5 jours consécutifs chacune, dans un abattoir mixte (bovins et ovins) utilisant deux types d'abattages : conventionnel et halal. L'ensemble des procédures et des manipulations (type, délai, durée) ainsi que le comportement des bovins ont été observés au cours de la plupart des étapes de l'abattage : déchargement, identification, reprise, étourdissement, saignée (halal et conventionnelle).

Observations groupées. Cinquante groupes d'animaux (253 individus au total) ont été observés pendant le déchargement. Au cours des étapes de transferts et d'attente dans le couloir d'identification, 106 groupes (331 individus au total) ont également été observés.

Observations individuelles. Au total, 190 bovins adultes (95 animaux par type d'abattage) ont été individuellement observés depuis leur entrée dans le couloir d'abattage jusqu'à leur saignée. Leurs caractéristiques (race, âge, sexe, durée de voyage, date et heure d'arrivée sur le site) ont été notées. Suite à l'étourdissement et/ou la saignée, les réflexes cornéen¹ et palpébral², ainsi que plusieurs signes physiques ont été relevés afin d'évaluer l'état de conscience des animaux. Des mesures physiologiques (cortisol plasmatique et hémocrite, n = 114) et métaboliques (pH et température musculaire 1h *post-mortem*, n = 70) ont également été effectuées.

3. Principaux Résultats

Description générale des procédures

Les bovins ont voyagé en moyenne $30,0 \pm 6,4$ h avant d'arriver sur le site de l'abattoir. Le déchargement et le contrôle de l'identification duraient $40,7 \pm 6,1$ s et $154,5 \pm 17,4$ s, respectivement. Les bovins passaient en moyenne $20,2 \pm 1,9$ h dans l'abattoir avant leur saignée. Sur l'ensemble de cette période, ils recevaient entre 0 et 26 coups de pile électrique (en moyenne $7,1 \pm 0,2$ coups de pile/animal), dont la majorité était observée lors de l'entrée des animaux dans le piège conventionnel ou rotatif (4,9 coups de pile/animal/min). Les mâles étaient majoritairement (92 %) abattus en halal et les femelles en conventionnel (78 %).

Analyse détaillée des procédures et des réactions des bovins

Les résultats montrent de nombreuses variations dans le déroulement des procédures en fonction du type d'animal et d'abattage. Par exemple, les femelles abattues en halal passaient plus de temps dans l'abattoir avant leur saignée que les mâles abattus en halal et les femelles abattues conventionnellement. Cette différence est due à des contraintes organisationnelles obligeant les opérateurs à planifier l'ordre des abattages des bovins selon leurs caractéristiques (âge, sexe, type d'abattage), plutôt qu'en fonction de leur ordre d'arrivée sur le site.

Par ailleurs, les réactions des bovins peuvent être influencées par leur race, comme montré par la fréquence des coups de pieds donnés dans le piège rotatif et le taux d'hématocrite supérieur chez les taurillons Blonds d'Aquitaine par rapport aux Charolais.

¹ Le réflexe cornéen est présent lorsque la paupière se ferme suite à une légère pression exercée sur la cornée, le plus souvent à l'aide d'un doigt.

² Le réflexe palpébral est présent lorsque la paupière se ferme suite à l'effleurement de celle-ci, le plus souvent à l'aide d'un doigt.

Les résultats montrent aussi que les procédures d'abattage ont un impact sur le métabolisme musculaire *post-mortem*. Comparées aux femelles abattues conventionnellement, celles abattues en halal avaient un pH musculaire précoce plus faible, ce qui traduit un métabolisme musculaire plus rapide, indiquant probablement des réactions de stress aux procédures d'abattage plus prononcées. Par ailleurs, chez les mâles abattus en halal, les compressions des animaux dans les couloirs étaient positivement corrélées au pH musculaire *post-mortem*. Cette relation reflète probablement les effets mécaniques des compressions sur le fonctionnement du muscle, induisant notamment un ralentissement du métabolisme énergétique.

Enfin, suite à l'étourdissement ou à l'abattage halal, les redressements de la tête étaient moins fréquents chez les animaux ayant perdu le réflexe cornéen, mais tout de même observés, ce qui suggère que ces signes physiques n'indiquent pas toujours un état de conscience. D'autres indicateurs potentiels, comme les mouvements de mâchoire ou les tremblements musculaires, ne sont que partiellement liés au réflexe cornéen. Ces signes physiques ne peuvent donc pas être utilisés seuls pour évaluer l'état d'inconscience des bovins.

4. Conclusions

Cette étude montre que le suivi des bovins au cours des différentes étapes de l'abattage dans un contexte industriel peut fournir de nombreuses données quantitatives permettant de décrire le déroulement des procédures d'abattage et d'évaluer les réactions de stress des bovins. Les résultats mettent en évidence la complexité de la période d'abattage de par la variété des facteurs impliqués, y compris l'influence des contraintes organisationnelles et environnementales des abattoirs. Elle souligne l'intérêt d'étudier certaines procédures rarement abordées dans la littérature ainsi que la nécessité d'inclure des analyses du comportement pour mieux comprendre comment les bovins s'expriment dans ce contexte. Enfin, nos observations relatives à l'évaluation de la perte de conscience suggèrent que des études supplémentaires sont nécessaires pour déterminer et comprendre les relations entre les différents indicateurs potentiels d'inconscience.

Article 1

Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Meat Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/meatsci



Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics

Cécile Bourguet^a, Véronique Deiss^a, Carole Cohen Tannugi^b, E.M. Claudia Terlouw^{a,*}

^a INRA UR1213 Herbivores, F-63122, Saint-Genès-Champanelle, France

^b 1, rue Chauveau Largaude, 28000 Chartres, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 August 2010

Received in revised form 1 December 2010

Accepted 2 December 2010

Available online 10 December 2010

Keywords:

Slaughter
Animal welfare
Behaviour
Meat quality
Cattle

ABSTRACT

Behavioural, physiological and metabolic reactions of cattle to handling and slaughter procedures were evaluated in a commercial abattoir, from arrival until slaughter. Different genders or breeds were not subjected to the same procedures due to abattoir equipment or organisational aspects of the abattoir. Reactions to similar slaughter procedures varied according to animal characteristics and could have consequences for subsequent handling procedures. Factors that appeared to cause handling problems and vocalisation were excessive pressure during restraint, and distractions in the corridor such as noise, darkness, seeing people and activity. *Post-mortem* muscle metabolism depended on slaughter procedures. Following stunning or halal slaughter, some animals showed head rising movements despite the abolition of the corneal reflex, suggesting that head rising is not always indicative of consciousness. Overall, this study presents concrete data on how different types of cattle may react to slaughter procedures with a direct interest for the abattoir itself but also for scientific purposes.

© 2010 Published by Elsevier Ltd. on behalf of The American Meat Science Association.

1. Introduction

To understand the causes and consequences of stress at slaughter, various studies have been conducted under controlled conditions to evaluate behavioural and physiological reactions of the animals to specific aspects of the slaughter procedure. For example, using this approach, the effects of road type and transport duration, of physical efforts on a treadmill, and of duration of food deprivation on reactions of sheep, pigs and cows have been evaluated (Bourguet, Deiss, Boissy, Andanson, & Terlouw, *in press*; Bradshaw et al., 1996; Rosenfold & Andersen, 2003a). Other studies, conducted in commercial abattoirs have evaluated the effects of transport or lairage conditions and food deprivation on specific activities, such as fighting or resting behaviour during transport and lairage, and on animal status, including physical lesions or dehydration, as well as subsequent meat quality (Barton-Gade, 2008; Brown, Knowles, Edwards, & Warriss, 1999; Knowles, 1999).

Both approaches are necessary to understand how animals perceive different aspects of the slaughter procedure and how they react to these in a field situation. The present study investigated animal reactions from the moment of arrival until slaughter while avoiding any interference with the abattoir procedures. Abattoirs vary greatly in their functioning. This study produced quantitative information on the general procedures of a commercial abattoir, to

determine some of the practical constraints underlying certain habits of the abattoir, and to evaluate the relationships between the procedures, including killing procedures, and the behavioural and physiological reactions of cattle of different types.

2. Material and methods

2.1. Abattoir and general principles of the observation procedures

The study was carried out during routine slaughter at a French commercial abattoir (Fig. 1) which slaughtered on average 240 adult cattle, 90 calves and 300 sheep per week. In this abattoir, 56 and 44% of the cattle are slaughtered using conventional and halal procedures, respectively. Slaughter took place between 0400 h and 1100 h. In May and June 2009 during 2 periods each lasting 5 consecutive days, procedures, animal reactions and characteristics (gender, breed, and age) were recorded by three experienced experimenters without interfering with abattoir procedures. Each experimenter was charged to observe a specific zone of the abattoir (Fig. 1). The first zone comprised the unloading platform, the traceability corridor (no crush), and the outdoor pens, the second, the entrance corridor, the lairage area and the straight and curved slaughter corridors up to the stunning and rotary boxes, and the third, the stunning and rotary boxes, and the suspension/bleeding area. Floors were made of rough concrete, without (unloading platform, outdoor pens, traceability and slaughter corridors, stunning box) or with slats (lairage area with individual pens, last meter before stunning box). Only the lower 1.5 m of the slaughter corridor walls was solid, such that the animals had

* Corresponding author, INRA UR1213 Herbivores, Centre de Clermont-Ferrand/Theix, Adaptation et Comportements Sociaux, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France. Tel.: +33 473 62 45 69; fax: +33 473 62 41 18.

E-mail address: claudia.terlouw@clermont.inra.fr (E.M.C. Terlouw).

CHAPITRE 2

**ÉTUDE DES REACTIONS DE STRESS
DANS UN CONTEXTE SIMPLIFIE ET STANDARDISE
PAR RAPPORT A CELUI DE L'ABATTAGE INDUSTRIEL**

Article 2 – Characterising the emotional reactivity of cows to understand and predict their stress reactions to the slaughter procedure.

Article 3 – Young Blond d'Aquitaine, Angus and Limousin bulls differ in emotional reactivity during tests: relationships with animal traits, stress reactions at slaughter and post-mortem muscle metabolism.

Présentation & Résumé du Chapitre 2

Objectifs du chapitre

Nous avons vu dans le chapitre précédent que dans un contexte d'abattage industriel, de nombreux facteurs influencent le déroulement des procédures et les réactions des bovins. Afin de mieux comprendre comment et à quoi les bovins réagissent, il est nécessaire d'étudier leurs réactions à des situations simplifiées et standardisées par rapport à celles rencontrées au cours de la période d'abattage. Par ailleurs, des études menées chez les porcs et les ovins montrent que les différences interindividuelles dans la réactivité émotionnelle des animaux expliquent en partie la variabilité dans les réactions de stress à l'abattage. Cependant, nous ne disposons pas de telles données chez les bovins adultes.

Ainsi, dans le présent chapitre, nous avons étudié les réactions comportementales, physiologiques et métaboliques des bovins en les exposant à des situations simplifiées et standardisées afin de caractériser les animaux selon leur réactivité émotionnelle individuelle. **Les objectifs sont (i) de déterminer si la réactivité émotionnelle des bovins, évaluée en élevage, peut permettre d'identifier les animaux susceptibles de réagir plus fortement aux procédures d'abattage, et (ii) d'évaluer quels facteurs environnementaux peuvent contribuer significativement à leur état de stress pendant la période d'abattage.** Pour cela, deux études complémentaires ont été menées.

Article 2

Caractériser la réactivité émotionnelle des vaches afin de comprendre
et prédire leurs réactions de stress aux procédures d'abattage

Bourguet C., Deiss V., Gobert M., Durand D., Boissy A. et Terlouw E.M.C., 2010.
Applied Animal Behaviour Science, 125 : 9-21.

1. Objectifs

Afin de répondre aux objectifs présentés ci-dessus, nous avons évalué la réactivité émotionnelle de vaches laitières en les exposant à des tests de réactivité à la nouveauté, à la séparation sociale et aux manipulations par l'Homme. Dans un deuxième temps, leurs

réactions de stress ont été étudiées au cours d'abattages expérimentaux permettant de standardiser les procédures.

2. Matériel & Méthodes

Trente-deux vaches de réforme de race Normande âgées de $4,5 \pm 0,1$ ans ont été utilisées dans cette étude. Pendant la période d'élevage, elles ont été confrontées à un test de séparation sociale dans un environnement nouveau, à l'aide de la fermeture d'un rideau télécommandé séparant la vache testée de ses congénères sans présence visible de l'Homme (test SS). Les vaches ont également été soumises à un test d'exposition à l'Homme, faisant intervenir une phase de présence passive de ce dernier, ainsi que des phases de manipulations (test EH). Au cours de ces différents tests, les réactions comportementales et physiologiques des vaches ont été évaluées. Trois semaines plus tard, la moitié de ces vaches ($n = 16$) a été abattue dans des conditions de stress minimal (lot M) et l'autre moitié ($n = 16$) a été abattue dans des conditions de stress ajouté (lot A). Les réactions de stress de l'ensemble des animaux ont été évaluées à l'aide de mesures comportementales, physiologiques et d'indicateurs du métabolisme musculaire *post-mortem*.

3. Principaux Résultats

Les résultats indiquent que la présence de l'Homme et les manipulations provoquent chez les vaches des réactions plus prononcées que la séparation sociale, comme montré par des fréquences cardiaques et le temps passé près de la sortie du parc de test plus élevés au cours du test EH que du test SS. Les corrélations positives entre les comportements observés au cours des tests de réactivité montrent que les vaches sont cohérentes dans leurs réactions à différents types de situations. Ceci reflète probablement une certaine stabilité dans la façon de réagir à des situations potentiellement stressantes, appelée la réactivité émotionnelle.

A l'abattage, les vaches du lot A présentaient des réactions de stress plus prononcées, montrées par leurs niveaux de cortisol plasmatique et urinaire supérieurs, ainsi que leur température musculaire précoce plus élevée que les vaches du lot M. De nombreuses corrélations ont montré que la réactivité émotionnelle des vaches évaluée au cours des tests de réactivité permet de prédire en partie leurs réactions de stress à l'abattage, en particulier pour les vaches du lot A. Les deux premiers axes principaux de l'ACP construite à l'aide des variables impliquées dans ces corrélations expliquaient 65 % de la variabilité dans les réactions. Ces axes peuvent être respectivement interprétés en termes de réactivité à la

nouveauté et à la séparation sociale. Les réactions de stress lors des premières minutes de transport et de l'entrée dans l'abattoir étaient associées au premier axe, suggérant que ces procédures sont perçues comme des situations nouvelles. Les réactions de stress au moment du chargement chargeaient sur les deux axes, indiquant que la nouveauté et la séparation sociale sont probablement les facteurs de stress prédominants de cette étape. Enfin, les variables traduisant la réactivité aux manipulations chargeaient sur les deux axes, ce qui suggère que l'acceptation des manipulations dépend du contexte.

4. Conclusions

La réactivité des vaches à la nouveauté et, dans une moindre mesure, à la séparation sociale, détermine en partie leurs réactions de stress à l'abattage. La réactivité aux manipulations semble, quant à elle, influencée par la réactivité à la nouveauté et à la séparation sociale.

Article 3

Les taurillons Blonds d'Aquitaine, Angus et Limousin diffèrent dans leur réactivité émotionnelle : relations avec leurs caractéristiques physiques, leurs réactions de stress à l'abattage et leur métabolisme musculaire *post-mortem*

Bourguet C., Deiss V., Boissy A. et Terlouw E.M.C.

Animal, en préparation¹.

1. Objectifs

Au vu des résultats précédemment obtenus chez les vaches laitières (*Article 2*), nous avons étudié les liens entre la réactivité émotionnelle individuelle et les réactions de stress à l'abattage sur un type d'animal connu comme étant plus réactif (*Article 1*) : le taurillon. Nous avons utilisé des taurillons de trois races présentant des différences dans leurs caractéristiques physiques et physiologiques. Afin de compléter les situations recréées au cours des tests de réactivité, nous avons remplacé le test de séparation sociale par un test de

¹ Les dosages concernant l'état des réserves de glycogène musculaires *post-mortem* étant actuellement en cours de réalisation, le présent article sera soumis dès que ces dernières analyses seront achevées.

réactivité à la soudaineté qui est un facteur de stress d'origine psychologique également présent au cours de la période d'abattage.

2. Matériel & Méthodes

Au total, 72 taurillons âgés de $16,5 \pm 0,1$ mois ont été utilisés dans cette étude : 24 Blonds d'Aquitaine (BA), 24 Angus (AN) et 24 Limousins (LI). Pendant la période d'élevage, les réactions comportementales et physiologiques des taurillons à un test d'exposition à l'Homme (EH) et un test d'exposition à un parapluie (EP) ont été évaluées. Les deux tests faisaient intervenir l'isolement social et la nouveauté (environnement nouveau et/ou objet nouveau). Au cours de ces tests de réactivité, les taurillons ont également été confrontés à la présence passive de l'Homme et aux manipulations (test EH), ainsi qu'à un événement soudain (l'ouverture du parapluie, test EP). Trois semaines plus tard, les taurillons ont été abattus (abattages expérimentaux) et leurs réactions de stress ont été évaluées à l'aide de mesures comportementales, physiologiques et d'indicateurs du métabolisme musculaire *post-mortem*.

3. Principaux Résultats

De manière générale, les BA, et dans une moindre mesure les LI, ont réagi plus fortement que les AN aux différentes situations auxquelles ils ont été exposés pendant les tests. Au cours du test EH, les BA et les LI avaient des fréquences cardiaques supérieures et étaient plus souvent en vigilance que les AN. Lors de l'exposition au test EP, les BA ont plus fréquemment sursauté, passaient plus de temps loin du parapluie et tournaient plus souvent la tête, traduisant probablement une motivation à s'échapper du couloir de test. Les BA présentaient également un niveau de cortisol plasmatique mesuré pendant la période d'élevage supérieur à celui des AN et des LI. Les taurillons étaient cohérents dans leurs réactions aux différentes situations testées, comme montré par de nombreuses corrélations positives entre les variables mesurées intra- et inter-tests.

A l'abattage, les fréquences cardiaques et le niveau de cortisol plasmatique des taurillons n'étaient pas influencés par la race. En revanche, les AN présentaient des niveaux de cortisol urinaire, d'adrénaline et de noradrénaline supérieurs aux BA et aux LI. Ces contrastes traduisent l'implication d'autres mécanismes, tel que celui de l'excrétion urinaire des hormones, suggérant que les niveaux urinaires de celles-ci ne permettent pas d'évaluer les effets de la race sur l'état de stress des taurillons.

Les valeurs de pH musculaire mesurées 3h *post-mortem* étaient plus faibles et celles mesurées 30 h *post-mortem* étaient plus élevées chez les AN que chez les BA et les LI. Les modèles de régressions multiples indiquent que les meilleures prédictions de la variabilité interindividuelle dans les valeurs de pH musculaire *post-mortem* impliquent les réactions de stress à l’abattage des taurillons, mais aussi leurs caractéristiques physiques (poids corporel et testiculaire) et physiologiques (niveau de testostérone et pouvoir tampon des muscles).

Enfin, les fréquences cardiaques des taurillons mesurées pendant les tests de réactivité étaient positivement corrélées avec leur fréquence cardiaque au moment d’entrer dans l’abattoir expérimental et négativement corrélées avec les pH musculaires précoces *post-mortem*. De plus, des corrélations entre les fréquences cardiaques et les caractéristiques physiques et physiologiques des taurillons ont été observées.

4. Conclusions

Les BA sont plus réactifs que les AN, et dans une moindre mesure les LI, ce qui traduit un effet de la race et probablement des conditions précoces d’élevage, sur la réactivité émotionnelle des taurillons. Leur métabolisme musculaire *post-mortem* est influencé par leurs réactions de stress à l’abattage ainsi que par leurs caractéristiques physiques et physiologiques. La réactivité cardiaque des taurillons à différentes situations de stress testées pendant l’élevage permet ainsi de prédire en partie leurs réactions de stress à l’abattage.

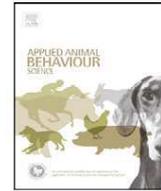
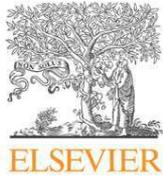
Conclusion du chapitre

Les résultats obtenus dans ce chapitre montrent que la caractérisation des bovins selon leur réactivité émotionnelle pendant la période d’élevage permettrait d’identifier les individus susceptibles d’exprimer des réactions de stress plus prononcées à l’abattage.

Le contexte d’abattage industriel est cependant beaucoup plus complexe que nos conditions expérimentales de par la variété, la quantité et l’intensité des facteurs de stress impliqués. Des études supplémentaires sont donc nécessaires pour comprendre les effets de la multiplicité des facteurs de stress sur la réactivité émotionnelle des bovins.

Article 2

*Characterising the emotional reactivity of cows
to understand their stress reactions to the slaughter procedure*



Characterising the emotional reactivity of cows to understand and predict their stress reactions to the slaughter procedure

Cécile Bourguet, Véronique Deiss, Mylène Gobert, Denys Durand, Alain Boissy, E.M. Claudia Terlouw*

INRA UR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France

ARTICLE INFO

Article history:

Accepted 18 March 2010

Available online 20 April 2010

Keywords:

Emotional reactivity

Slaughter stress

Animal welfare

Cattle

Meat quality

ABSTRACT

The present study on 32 Normand cows evaluated whether it is possible to identify, during rearing, individuals likely to be relatively reactive to the slaughter procedure. It evaluated further which factors may contribute to stress during the pre-slaughter period. Behavioural and physiological reactivity of the cows was evaluated during rearing in a social separation (SS) and a human exposure (HE) test. Cows were slaughtered 3 weeks later in an experimental abattoir, either under limited stress (LS, $n = 16$) or added stress (psychological stress and physical activity) conditions (AS, $n = 16$) and stress reactions were evaluated using *ante-mortem* behavioural and physiological measurements, and indicators of *post-mortem* muscle (*Longissimus dorsi*: LD and *Semitendinosus*: ST) metabolism. Results showed that compared to visual isolation of pen-mates, human presence provoked stronger reactions: cows showed higher heart rates and spent increased time in the exit zone. Cows were consistent in their reactions to various stress-inducing events, as indicated by positive correlations between activities observed in the reactivity tests. At slaughter, the AS group showed higher plasma and urinary cortisol levels and early *post-mortem* ST temperature than the LS group. Various reactions recorded during tests were correlated with indicators of the stress status at slaughter, especially in the AS group. For example, cows which spent relatively more time looking at floor and walls during the HE test had higher heart rates during transport, needed more time to enter the abattoir and had a higher early *post-mortem* muscle temperature, all indicative of increased stress reactions to the slaughter procedure. Similarly, cows that accepted less easily to be handled during the HE test showed higher heart rates at loading, higher *post-mortem* ST temperature and faster ST pH decline. A PCA with these variables showed that the first two principal axes, explaining 65% of variability, could be interpreted in terms of reactivity to unfamiliar situations and to social separation, respectively. Indicators of reactivity to handling loaded both on the first two axes suggesting that ease of handling depends on the context. In conclusion, the present study shows that emotional reactivity evaluated during rearing can predict stress status at slaughter in cows.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Stress-inducing aspects of the slaughter procedure may have negative consequences for animal welfare (Boissy, 1998), security for handlers (Grandin, 2008) and meat quality (Gregory and Grandin, 1998). The slaughter period starts at the farm with the preparation of the animals for

* Corresponding author at: INRA UR1213 Herbivores, Centre de Clermont-Ferrand/Theix, Adaptation et Comportements Sociaux, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France. Tel.: +33 473 62 45 69; fax: +33 473 62 41 18.

E-mail address: claudia.terlouw@clermont.inra.fr (E.M.C. Terlouw).

Article 3

Young Blond d'Aquitaine, Angus and Limousin bulls differ in emotional reactivity during tests: relationships with physical traits, stress reactions at slaughter and post-mortem muscle metabolism

Animal

En préparation

Young Blond d'Aquitaine, Angus and Limousin bulls differ in emotional reactivity during tests: relationships with animal traits, stress reactions at slaughter and *post-mortem* muscle metabolism

Cécile Bourguet, Véronique Deiss, Alain Boissy, E.M. Claudia Terlouw

KEY WORDS

Slaughter stress
Emotional reactivity
Breed
Animal welfare
Meat quality
Cattle

ABSTRACT

The present study investigated behavioural and physiological reactivity of Blond d'Aquitaine (BA), Limousin (LI) and Angus (AN) young bulls subjected to human presence and handling in a human exposure (HE) test, and to sudden event, the opening of an umbrella in an umbrella exposure (UE) test. During both tests, bulls were subjected to social isolation and novelty. BA, and to a lesser extent, LI reacted more strongly to the tests than AN. In the HE test, BA and LI had higher heart rates and spent more time vigilant than AN. In the UE test, BA turned more their head, were further away from the umbrella and expressed more startle responses than AN. Bulls were consistent in their reactions to the various stress-inducing events. For example, in accordance with earlier results on cows, the bulls that were more difficult to move reacted also more strongly to novelty. Three weeks after the tests, bulls were slaughtered in an experimental abattoir and stress reactions were evaluated using *ante-mortem* behavioural and physiological measurements, and indicators of *post-mortem* muscle (*Longissimus dorsi*: LD and *Semitendinosus*: ST) metabolism. At slaughter, AN showed lower LD pH 3h and higher LD and ST pH 30 h after bleeding. Regression analyses showed that up to 40% of the variability between individuals in early *post-mortem* muscle pH was explained by differences in stress reactions at slaughter, specifically heart rate at the moment of entering the abattoir. Ultimate pH was more strongly related to animal traits, specifically carcass weight. Models are in accordance with existing knowledge on the biological relationships between these traits and *post-mortem* metabolism. Heart rates during the reactivity tests were correlated with heart rate at the moment of entering the abattoir, indicating that young bull that are more likely to show increased reactivity to the slaughter procedure may be identified during rearing.

1. Introduction

During the slaughter period animals are exposed to various potentially stress-inducing factors of psychological origin, such as social disturbances, handling and novelty, or physical origin, such as food and water deprivation, pain or fatigue (review Terlouw et al., 2008).

Animals vary in their perception and their evaluation of such stressful situations, explaining differences in behavioural and physiological reactions even if animal are subjected to the same slaughter procedures (Lensink et al., 2001; Hemsworth et al., 2002; Terlouw et Rybarczyk, 2008; Deiss et al., 2009). Animals show further consistency in their reactions to different stressful situations, including at slaughter. In calves, reactivity to the farmer predicted ease of loading and unloading as well as *post-mortem* muscle metabolism (Lensink et al., 2001). Normand cull cows that were more reactive to unfamiliar situations and social disruption had also increased stress reactions at slaughter, as shown by elevated heart rates during the slaughter procedure and faster *post-mortem* muscle metabolism compared to less reactive counterparts (Bourguet et al., 2010). Similar results were found for lambs (Deiss et al., 2009) and pigs (Terlouw et al., 2005; Terlouw et Rybarczyk, 2008). Today, no data exist on the relationship between the reactivity profile and stress at slaughter for young bulls, which represent an important part of the beef industry (Micol et L'Herm, 2010). Although few controlled studies compared gender effects in cattle during rearing, at slaughter, bulls are considered more behaviourally reactive than cows (Bourguet *et al.*, accepted). In addition, irrespectively of gender, breeds may differ in their reactivity to stress (Boivin et al., 1994; Voisinet et al., 1997).

The present study examined emotional reactivity to various potentially stressful situations and stress reactions at slaughter in Angus, Blond d'Aquitaine and Limousin young bulls, while taking into account various animal traits. In addition, relationships between animal traits and stress reactivity, including *post-mortem* muscle pH, were studied.

2. Material and Methods

2.1. Animals and housing

Twenty-four Blond d'Aquitaine (BA), 24 Limousin (LI) and 24 Angus (AN) bulls were purchased from commercial farms. During 4 months until slaughter, the bulls were housed in 6 x 6m pens with straw bedding in the experimental farm of the research centre with 4 animals of the same breed per pen. They received a morning and evening meal representing a daily quantity of 12 kg of concentrate and 3 kg of hay. Water was provided *ad libitum*.

Experimental procedures and animal holding facilities respected French animal protection legislation, including licensing of experimenters. They were controlled and approved by the French Veterinary Services.

2.2. *Reactivity tests*

Three weeks before slaughter, bulls were individually submitted to two reactivity tests conducted on two consecutive days. About 30 min before each test, the 4 bulls were quietly removed from their home pen. They were introduced into a familiar crush where they were equipped with a heart rate monitor. Four days before the test, bulls had been introduced in this crush to be shorn on the place of the electrodes. During all preparations, bulls of a same rearing group were treated together to avoid isolation stress. After equipment of bulls with the heart rate monitor, the 4 animals were re-introduced in their home pen to habituate to the monitor. Testing started after at least 10 minutes of habituation.

2.2.1. *Human Exposure test (HE test)*

The HE test aimed to evaluate reactivity to the presence of an inactive human and to handling. It was conducted in an unfamiliar test arena (6 x 6 m, concrete floor and 2 m high solid walls, Fig. 1a) and organised in 5 phases. In the first phase, the tested bull remained in the test pen during 45 s (phase 1: absence of the human). Subsequently, a familiar stockperson equipped with a stick (1 m) entered the test pen and remained stationary in the entrance zone (Fig. 1a) of the test arena (phase 2: stationary human). Forty-five seconds later, the stockperson moved the bull into the handling zone (phase 3: moving), where the stockperson tried to maintain him for 30 s (phase 4: maintenance). If this succeeded, the stockperson carried out a series of 5 strokes at the level of the top of the thigh (phase 5: stroking).

It was decided that if at any stage an animal would become aggressive, the test would be interrupted. It was further decided that if during phase 3 the bull could not be introduced into the handling zone within 120 sec the test would also be interrupted. In addition, if during phase 4, the bull left the handling zone before 30 s, or during phase 5, he left the handling zone before receiving the series of 5 strokes, phase 3 would be started again, followed by phases 4 and 5, as described above. Phase 3 would be started no more than 5 times in total. If the bull could not be maintained in these 5 attempts or did not accept the series of 5 strokes, the test would be stopped (Table 1). The same stockperson participated in all tests.

Table 1

Description of the different phases of the reactivity tests.

Reactivity test	Phase number	Short description	Detailed description
Human Exposure test	1	Absence of the human	The bull remained alone in the test pen during 45 s.
	2	Stationary human	A stockperson remained stationary in the entrance zone of the test pen during 45 s.
	3	Moving	The stockperson tried to move the bull into the handling zone within 120 s.
	4	Maintenance	The stockperson had to keep the bull in the handling zone during 30 s.
	5	Stroking	The stockperson had to carry out a series of 5 strokes.
Umbrella Exposure test	1	Absence of the umbrella	The bull remained alone in the corridor during 30 s.
	2	Closed umbrella	The umbrella was slowly introduced in the corridor via an aperture in the exit door and maintained immobile during 30 s.
	3	Opened umbrella	The umbrella was suddenly opened by pressing on a releasing button and maintained immobile during 30 s.
	4	Exit of the corridor	The exit door was opened and the bull could exit the corridor.

2.2.2. Umbrella Exposure test (UE test)

The UE test took place the day after the HE test and aimed to evaluate reactivity to a novel object (a closed umbrella) and a sudden event (the sudden opening of the umbrella, see Table 1). It was conducted in an unfamiliar straight corridor (12 x 0.8 m, concrete floor and 2 m high solid walls, Fig. 1b). During the first phase, the umbrella was absent and the tested bull was maintained in the umbrella zone of the corridor via an iron bar (7 cm diameter) placed across the corridor behind the animal at 1 m height and 3 m from the site where the umbrella would be presented (phase 1: absence of the umbrella). Thirty seconds later, an experimenter introduced the umbrella (red coloured, 50 cm) in front of the bull (at 20 cm pointed towards his muzzle) via a 10 x 10 cm aperture located in the exit door. During this phase, the animal was maintained in the umbrella zone of the corridor and could freely interact with the closed umbrella during 30 s (phase 2: closed umbrella). Subsequently, the umbrella was opened while at the same time the horizontal bar was removed by a second experimenter allowing the animal to walk freely forwards and backwards through the

corridor. The bulls could interact with the opened umbrella during 30 s (phase 3: opened umbrella). If the head of the animal was turned at the end of phase 2, the experimenter waited for the animal to orient its head towards the umbrella. This extra time, if needed, was excluded from the analysis. This procedure was chosen to standardise the distance between the muzzle of the animal and the umbrella at the time of opening. At the end of phase 3, the umbrella was closed and removed, the exit door (containing the aperture for the umbrella, see Fig. 1b) of the corridor was opened and the animal could freely exit the corridor. If it had not left the corridor within 60 s, it was pushed.

Introduction and removal of the umbrella took 10 s and were excluded from analysis.

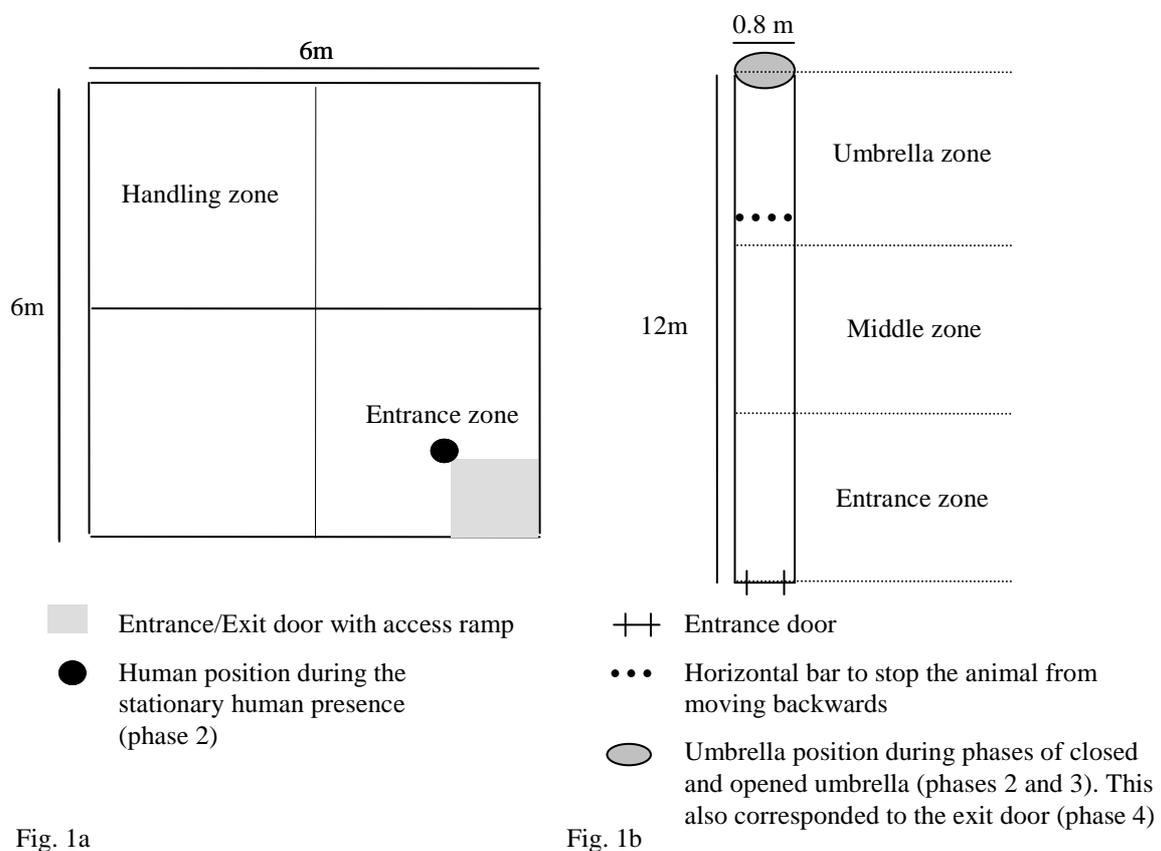


Fig.1. Schematic drawing of the test arenas. 1a: Human Exposure test, 1b: Umbrella Exposure test.

2.3. Slaughter

2.3.1. Procedures

The bulls were slaughtered 20.0 ± 1.1 days after exposure to the UE test, at 16.5 ± 0.1 months. Bulls were directly transported (4.5 ± 0.1 min) in a lorry (3 x 2 m) from the experimental farm towards the experimental abattoir situated at 2 km from the rearing

building, with 2 bulls of the same home pen per transport to avoid social isolation stress. After unloading, they were immediately slaughtered. Slaughter procedures from the loading at farm to bleeding took 10.6 ± 0.1 min. Bulls were slaughtered over a period of 18 weeks with one slaughter day per week and 4 slaughtered bulls per day. Slaughter took place between 0800 h and 1000 h am. Bulls were stunned by captive bolt prior to exsanguination. Carcasses were stored in a chilling room (4°C) approximately 45 minutes following exsanguination.

2.3.2. *Measurements*

During the reactivity tests behaviour (Table 2) was recorded with a camcorder (Sony TRV320E, Sony Corp., Tokyo Japan) overlooking the test arena and vocalisations were noted manually. Four days before slaughter, a blood sample was obtained in heparinised tubes using venipuncture at the tail and stored at 4°C. About 1 h later, samples were centrifuged at 3000 x g for 10 min and plasma was stored at -20°C until determination of basal plasma cortisol and testosterone concentrations. Twenty min before loading, the bulls were introduced into a familiar crush, equipped with the heart rate monitor and re-introduced in the home pen. Heart rate was recorded from the moment the bulls were equipped with the system until the system was removed, a few seconds before stunning. From the moment the bulls were removed from their home pens, until bleeding, durations of the different stages of the slaughter procedure (time needed for loading, transport, unloading, stunning and bleeding) as well as behaviour of the animals (slips, returns) and interactions received from the stockperson (slaps, prods) at each of these stages were recorded by direct observation.

Table 2

Description of activities observed during different test phases. HE: Human exposure test, UE : Umbrella exposure test.

Activity	Tests and phases	Description
Sniffing ² (% of time)	All phases, all tests	Head oriented toward substrates at a distance of less than 20cm
Looking at ² (% of time)	All phases, all tests	Head oriented toward substrates at a distance of more than 20cm
Vigilance (% of time)	All phases, all tests	Immobile, head in an upright position, ears immobile or moving back- and forward
In the entrance zone (% of time)	All phases, all tests	Animal in zone where it had entered the test arena (see Fig. 1)
Urination/Defecation (n°)	All phases, all tests	Excreting urine or faeces
Vocalisation (n°)	All phases, all tests	Number of audible vocalisations
Motionless (% of time)	UE test, HE test (phases 1 to 3)	Time spent without locomotion
Walking forwards (% of time)	UE test, HE test (phases 1 to 3)	Lifting at least 3 legs and putting them down in front of its earlier position
Walking backwards (% of time)	UE test, HE test (phases 1 to 3)	Lifting at least 3 legs and putting them down behind with respect to its earlier position
Head low (% of time)	HE test	Poll of the head below the line of the back.
Time to be moved (s)	HE test, phase 3	Time needed by the stockperson to drive the bull into the handling zone, taking into account all attempts
Maintenance duration (s)	HE test, phase 4	Duration during which bull accepted to be kept in the handling zone at the first attempt.
Refusal of strokes (n°)	HE test, phase 4 & 5	Number of attempts needed to maintain a bull during 30 sec and to stroke it 5 times (values between 1 and 6, 6 referring to the case where the bull never accepted maintenance during 30 s and/or the 5 stokes)
Self-protecting behaviour by the stockperson (n°)	HE test, phase 2 to 5	The stockperson takes a mildly threatening posture with his stick because he perceives the bull as threatening
Head turning (% of time,)	UE test	Head turning over the sides of the corridor to look backwards
Startle responses (n°)	UE test	Reactions including a general contraction of several muscles of the body
Latency to exit the corridor (s)	UE test, phase 4	Time needed by bulls to freely exit the corridor within 60 s (see Fig. 1b)

¹Recorded during all phases of both tests.

²Substrates that were sniffed or looked were specified during recording: exit door and ramp, human, umbrella.

Immediately following stunning, before exsanguination, a blood sample was collected by venipuncture at the jugular vein, to determine plasma cortisol levels. Twenty min after bleeding, a urine sample was collected directly from the bladder to assay urinary cortisol, adrenaline and noradrenaline levels. Urine samples were immediately frozen in liquid

nitrogen and stored at -80°C . Forty min and 30 h after bleeding, a 10 g sample of the *Longissimus dorsi* (LD), on the level of the 10th rib, and a 10 g sample of the *Semitendinosus* (ST) were excised. Of each sample, a portion of 2 was immediately homogenised in 18 ml of 5 mM iodoacetate, and stored at 4°C . The pH of the homogenate was measured the following day at 6°C . Five g of each sample excised 40 min after bleeding was directly frozen in liquid nitrogen and stored at -80°C for subsequent determination of buffer capacity. The remainders of the samples obtained 40 min and 30h post-bleeding were immediately following excision cut into portions of approximately 2 g and ground to a fine powder in a liquid nitrogen-cooled mortar (Ika-Werck, Staufen, Germany) and stored at -80°C . Samples *Post-mortem* pH of ST and LD muscles were further measured 3h (pH_{3h}) and 30h (pH_{30h}) after bleeding, performing for each time point and muscle five measurements (positioned on a horizontal line with about 1,5 cm between 2 measurements) directly on the carcass. Measurements of pH were carried out using a coupled electrode connected to a digisense pH meter (IQ, Corte Del Nogal Carlsbad, USA). Subsequently, 2 g of the powder were used to determine glycogen, glucose-6-phosphate, glucose and lactate contents. During carcass preparation, the testicles were removed and weighed. Twenty-four hours after slaughter, the 6th rib of the left half of the carcass was excised to determine its percentage of fat expressed relative to muscle tissue, as an estimation of whole carcass fat content (Geay and Béranger, 1969; Robelin et Geay, 1975). This measurement will be referred to as % of loin fat.

2.4. Equipment and assays

2.4.1. Heart rate monitor

During the reactivity tests and at slaughter, heart rate was recorded as averages over 5 s intervals using a Polar Vantage NV system (Polar, Anglet, France). The system consisted of 2 electrodes, an emitter and a watch-like receiver fitted on a custom-made 5-cm-wide elastic belt placed around the bull's chest, just behind the front legs. The data file created on the emitter was subsequently downloaded on a personal computer for analysis.

2.4.2. Plasma cortisol and testosterone

Plasma cortisol and testosterone levels were determined by means of a radioimmunoassay method using an antibody produced by Cognié and Poulin (INRA, Tours, France; Boissy and Bouissou, 1994).

2.4.3. *Urine cortisol and catecholamine*

Urinary levels of cortisol and catecholamines were determined following the extraction method and the liquid chromatography method described by Hay and Mormède (1997). Urinary concentrations of the hormones were expressed relative to creatinine concentrations determined using a quantitative colorimetric reaction (créatinine cinétique, ref 61162, BioMérieux) following the method described by Andanson et al. (2005).

2.4.4. *Glycogen, lactate, G6P and glucose*

For each sample (LD and ST muscles, 40 min and 30 h after bleeding) 2 g of lyophilised powder were suspended in 10 ml of 0.5 M perchloric acid and homogenised for 15 s using a homogenating device (Polytron, Steinhofhalde, Switzerland). Lactate and glycogen (including G6P and glucose) content were determined spectrophotometrically as described in an earlier paper (Terlouw et al., 2005), following methodologies described by Gutmann and Wahlefeld (1974) and Kepler and Decker (1974). Glycolytic potential (GP), the sum of compounds likely to produce lactic acid post-mortem, was calculated using the formula proposed by Monin and Sellier (1985) and estimates muscle glycogen reserves at the moment of slaughter.

2.4.5. *Buffer capacity*

The frozen 5-g LD and ST samples (40 min post-bleeding) were homogenised in 50 ml iodoacetate 5mM. Subsequently, HCl 0.1N was added to bring the pH of the homogenate down to 4.8. The acid-base titration curve was determined using 200 µl volume steps of 0.5N NaOH.

2.5. Statistical analysis

Analysis of video tapes was carried out using The Observer software (version 5.0, Noldus, Wageningen, The Netherlands). The SAS software (version sasx8, SASTM Inst., Cary, NC USA) was used to analyse data. Means \pm SE are presented. Many of the physiological variables showed abnormal distributions and were normalised using logarithmic or squared transformation. Breed effects were studied using an analysis of variance (GLM; fixed effect: genetic type; random effect: home pens). Effects of phase of the reactivity tests on heart rates were tested using analyses of variance for repeated measures, with the same factors as above but adding the time factor. For heart rate analyses, average values were calculated per test

(Table 1) or slaughter phase (loading, transport, unloading, and entering the abattoir, i.e. from the moment where the bull had four legs on the concrete following unloading until he was in the stunning box). For heart rate recorded during the reactivity tests, if significant, locomotion was introduced as co-variable into the analysis to take into account differences in activity levels. For the reactivity tests, average values for activities were calculated per test phase (for the HE test, where phases were repeated, averages were calculated separately per repetition). Durations of activities are expressed as percentage of time. Behavioural variables showed abnormal distributions and could not be normalised. Therefore, non-parametric analyses (Kruskal-Wallis tests; > 2 samples) were used to study breed effects (K-values) on these variables. For both parametric and non-parametric analyses, where multiple comparisons post-hoc tests were used, Bonferroni correction was carried out to correct for multiple comparison effects.

To study consistency in the behavioural and physiological responses, simple Pearson and Spearman correlations were calculated within or between different phases of the reactivity tests and between variables obtained in the reactivity tests and those obtained at slaughter. They were inspected to ascertain that outliers did not explain the significance of the correlation (cf Fig. 3). To guarantee their robustness, correlations are presented in the Results section only if both Pearson and Spearman coefficients were significant. Analysis of covariance was used to determine whether breed effects were confounded with the correlation, that is, whether inclusion of breed effects removed the significance of the correlation. In the latter case, the correlation is not invalidated, but is possibly explained by the association of several breed-dependent traits.

If a variable was correlated with several other potentially explanatory variables, they were included in a multiple regression model (selecting explanatory variables explaining the maximal % of variability) to determine relevance of each variable. Where multiple correlations were found between variables, Pearson (physiological data) and Spearman (behavioural data) Principal Component Analyses (PCA) were conducted to produce plots illustrating relationships between these correlations. Only variables with a loading of at least 50% on the first or second axis were kept. As heart rates were strongly correlated within and across tests, in the PCA, average values were used. Individual scores of the breeds were analysed using analysis of variance (see above for model) to determine whether they were equally distributed along the axes.

3. Results

3.1. Animal traits

Breed influenced basal plasma cortisol and testosterone levels, loin fat percentage and carcass and testicular weight. Live weight tended to be influenced. Excepting live weight, BA had higher values than AN (Table 3), while LI had intermediate values.

3.2. Reactivity tests

3.2.1. Human Exposure test

Three animals (one AN, one BA and one LI) showed aggressive behaviour towards the stockperson and therefore, the test was stopped. Nine animals (four AN, three BA and two LI) could not be introduced into the handling zone within 120 s. Various activities were influenced by breed (Table 4). In the absence of the human (phase 1) and in the presence of the stationary human (phase 2), BA and LI bulls spent more time in vigilance than AN. In the presence of the stationary human, BA spent less time with head in low position compared to the two other breeds. During moving (phase 3), breed tended to influence time spent in locomotion and looking at the exit. When combining all phases of the human exposure test, breed influenced self-protecting behaviour by the stockperson and tended to influence number of defecations. No breed effects were found for activities during maintenance or stroking (phases 4 and 5, $p > 0.11$). Heart rates were highest ($p < 0.05$) during the maintenance phase (174 ± 8 bpm) and lowest during phases 1 (152 ± 4 bpm), 2 (151 ± 4 bpm) and 5 (153 ± 8 bpm) while they were intermediate during phase 3 (168 ± 7 bpm). No breed effects were found for heart rate ($p > 0.11$) apart from a tendency during moving ($F = 3.1$, $p = 0.08$).

Correlations were found between behavioural and physiological variables measured within the HE test. Heart rate was also correlated with animal characteristics of the animals measured after slaughter (cf Fig. 3 and Table 5). When the 18 variables showing significant correlations were introduced into a PCA, 10 showed a factor loading of > 0.50 on at least one of the two first principal axes (Fig. 2). The first axis was correlated with average heart rate and activities related to acceptance of being moved including time spent in the entrance zone. The second axis was related to acceptance of strokes and time spent in the entrance zone during the first phase, as well as the head low position in presence of the stationary human. The different breeds had similar mean individual scores on both the first and second axis ($p > 0.57$).

3.2.2. *Umbrella Exposure test (Table 4)*

Opening of the umbrella induced immediate startle responses in 23 BA, 20 AN and 21 LI bulls. BA bulls spent more time in turning movements in the absence of the umbrella (phase 1) than LI bulls and less time looking at the closed umbrella (phase 2) than AN. Following the opening of the umbrella, BA spent more time in the entrance zone (i.e. in the zone away from the opened umbrella) than AN. Finally, when the exit door of the corridor was opened (phase 4), BA spent more time in turning movements compared to AN. Combining all phases of the UE test, results showed that BA expressed more startle responses. Heart rate analyses showed that during the three first phases, BA had higher heart rate than AN. Similarly, during the two first phases, LI had higher heart rate than AN (Table 4).

As in the HE test, various behavioural and physiological reactions were correlated. Heart rates were correlated with several animal traits (Table 5). When the 26 variables showing correlations were introduced into a PCA, 8 showed factor loadings of > 0.50 (Fig. 2). Time spent in turning movements throughout the test and looking at the umbrella loaded oppositely on the first axis, and heart rate on the second axis. The different breeds had on average similar loading score on the first axis ($p = 0.75$), but not on the second ($p = 0.02$), with significantly higher scores for BA compared to AN, which is coherent with the breed effect on heart rates (see above).

Table 3

Average (\pm SEM) values of animal characteristics, indicators of stress reactions at slaughter and *post-mortem* muscle pH significantly influenced by breed. Within a line, averages with different superscripts differ significantly (a, b: $p < 0.05$; after Bonferroni correction).

Activity	Blond d'Aquitaine	Limousin	Angus	Breed effects	
				F	p-value
<i>Animal traits</i>					
Basal cortisol (ng/ml)	11.0 \pm 1.3 ^a	6.8 \pm 1.0 ^b	6.1 \pm 1.0 ^b	6.0	0.005
Testosterone (ng/ml)	14.7 \pm 1.9	13.7 \pm 1.7	8.8 \pm 1.4	3.4	0.04 ²
Live weight (kg)	623.3 \pm 10.3	628.0 \pm 7.8	648.8 \pm 11.0	2.5	0.09
Carcass weight (kg)	406.9 \pm 8.2 ^a	399.6 \pm 5.2 ^a	362.3 \pm 6.6 ^b	12.3	< 0.0001
Dressing %	65.2 \pm 0.4 ^a	63.6 \pm 0.3 ^b	55.8 \pm 0.3 ^c	207.2	< 0.0001
Testicular weight (kg)	0.72 \pm 0.02 ^a	0.80 \pm 0.03 ^a	1.01 \pm 0.03 ^b	35.0	< 0.0001
Loin fat (%)	8.3 \pm 0.5 ^a	11.6 \pm 0.4 ^b	21.7 \pm 1.1 ^c	81.9	< 0.0001
<i>Physiological measurements and muscle post-mortem pH</i>					
Urinary adrenaline	6.1 \pm 1.1 ^{ab}	3.0 \pm 0.8 ^a	13.4 \pm 4.4 ^b	3.8	0.03
Urinary noradrenaline	24.9 \pm 7.1 ^{ab}	21.9 \pm 3.0 ^a	103.5 \pm 25.0 ^b	4.0	0.03
Urinary cortisol	19.5 \pm 2.9 ^a	16.2 \pm 2.2 ^a	42.12 \pm 5.5 ^b	16.4	< 0.0001
ST pH _{30h}	5.525 \pm 0.05 ^a	5.534 \pm 0.02 ^{ab}	5.693 \pm 0.03 ^b	3.6	0.03
LD pH _{3h}	6.21 \pm 0.04 ^{ab}	6.28 \pm 0.05 ^a	5.98 \pm 0.08 ^b	5.5	0.007
LD pH _{30h}	5.59 \pm 0.02 ^a	5.63 \pm 0.03 ^a	5.76 \pm 0.03 ^b	5.8	0.005
ST buffer capacity	45.6 \pm 1.1 ^a	43.4 \pm 0.9 ^{ab}	39.2 \pm 1.2 ^b	5.3	0.008
LD buffer capacity	44.4 \pm 0.8 ^a	43.9 \pm 1.1 ^a	38.9 \pm 1.3 ^b	5.5	0.007
<i>Behaviour</i>					
Time to enter the abattoir	29.08 \pm 9.18 ^a	28.75 \pm 3.42 ^a	34.22 \pm 8.35 ^a	5.4 ¹	0.07

¹K-values because behaviour was analysed using Kruskal-Wallis tests.

²Difference between Angus and Blond d'Aquitaine: $p=0.07$.

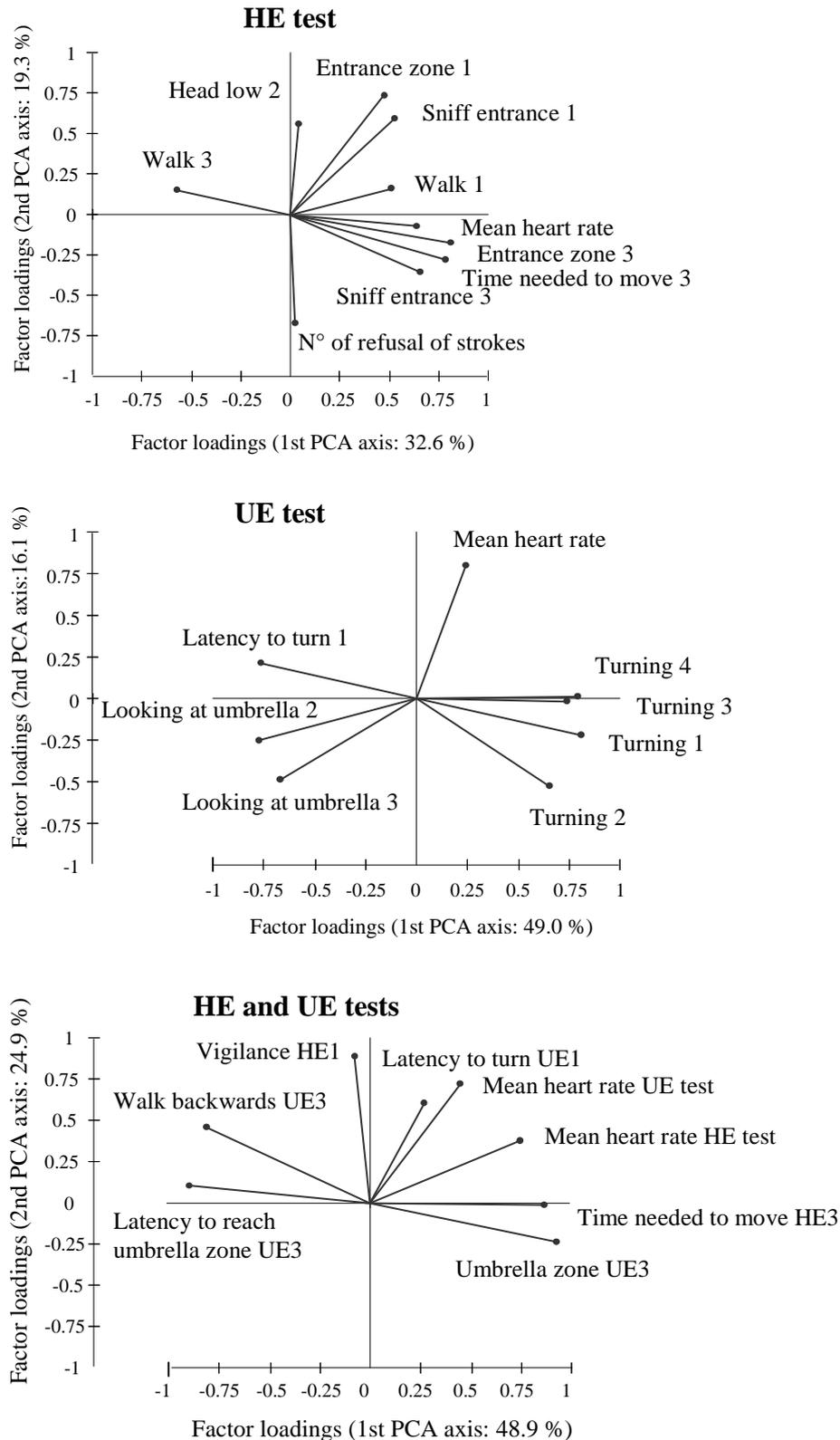


Fig.2. Spearman PCA plots showing the variables with factors loadings of over 0.5 for the Human (top) and Umbrella (middle) Exposure tests, as well as for the combined tests (bottom: HE = Human Exposure; UE = Umbrella Exposure). Figures after the behavioural or physiological indicator refer to the test phase.

Table 4

Average (\pm SEM) values of activities and heart rate recorded during the reactivity tests significantly influenced by breed. Within a line, averages with different superscripts differ significantly (a, b: $p < 0.05$; after Bonferroni correction).

Activity	Test phase	Blond d'Aquitaine	Limousin	Angus	Breed effects	
					K-values (unless otherwise indicated)	p-value
<i>Human exposure test</i>						
Vigilance	Absence of the human	16.75 \pm 2.52 ^a	17.14 \pm 3.30 ^a	6.39 \pm 1.25 ^b	11.9	0.003
Vigilance	Stationary human	14.75 \pm 3.38 ^a	14.97 \pm 2.74 ^a	5.46 \pm 1.90 ^b	9.0	0.01
Head in low position	Stationary human	6.90 \pm 1.42 ^a	10.99 \pm 2.09 ^{ab}	14.57 \pm 2.56 ^b	7.7	0.02
Locomotion	Moving	73.36 \pm 3.82 ^a	84.55 \pm 2.71 ^a	81.25 \pm 2.73 ^a	5.7	0.06
Self-protecting behaviour by human	Whole test apart phase of absence of the human	1.00 \pm 0.39	0.58 \pm 0.32	0.05 \pm 0.05	6.6	0.04
Defecation	Whole test	0.83 \pm 0.14	1.21 \pm 0.17	0.73 \pm 0.17	5.2	0.07
Heart rate	Moving	167.00 \pm 14.15	187.44 \pm 14.86	152.91 \pm 7.50	3.1	0.08
<i>Umbrella exposure test</i>						
Turning movements	Absence of the umbrella	18.98 \pm 3.84 ^a	7.00 \pm 2.23 ^b	11.06 \pm 3.85 ^{ab}	7.1	0.03
Look at the umbrella	Closed umbrella	12.65 \pm 3.51 ^a	22.05 \pm 3.68 ^{ab}	28.26 \pm 4.91 ^b	8.4	0.02
In the entrance zone	Opened umbrella	69.14 \pm 6.14 ^a	66.56 \pm 6.30 ^{ab}	46.71 \pm 10.78 ^b	4.9	0.08
Turning movements	Exit of the corridor	10.74 \pm 2.10 ^a	8.88 \pm 2.69 ^{ab}	10.21 \pm 10.52 ^{b2}	6.9	0.03
Latency to exit the corridor	Exit of the corridor	60.11 \pm 0.66	56.04 \pm 3.64	51.69 \pm 4.01	7.4	0.03
Startle responses	Whole test	1.08 \pm 0.10 ^a	0.72 \pm 0.11 ^{ab}	0.45 \pm 0.11 ^b	14.7	0.001
Heart rate	Absence of the umbrella	169.00 \pm 7.64 ^a	162.89 \pm 10.50 ^a	131.33 \pm 5.92 ^b	4.63 ¹	0.02
Heart rate	Closed umbrella	180.29 \pm 5.68 ^a	166.22 \pm 7.50 ^a	136.71 \pm 6.15 ^b	12.41 ¹	0.0002
Heart rate	Opened umbrella	179.21 \pm 6.80 ^a	171.56 \pm 7.87 ^{ab}	136.83 \pm 6.48 ^b	5.31 ¹	0.02

¹F-values because heart rates were analysed with GLM analyses.

²High values are due to a single animal (100 % of time). After removal of this animal, the average was 0.24 \pm 0.24.

3.2.3. Relationships across the two reactivity tests

When the 44 variables showing correlations within or across the HE and UE tests were combined in a single PCA, 8 variables showed loadings of > 0.50 (Fig. 2). Time needed to move and mean heart rate during the HE test, and during the EU test while the umbrella was opened, latency to reach and time spent in the entrance zone (i.e. away from the opened umbrella) loaded principally on the first axis. Time spent vigilant in the HE test (human

absent), latency to turn the head (in the absence of the umbrella) and mean heart rate during the UE test loaded more strongly on the second axis. Time spent walking backwards in the UE test (opened umbrella) loaded on both axes. The different breeds were equally distributed along the first axis ($p = 0.54$), but on the second axis, BA had higher average scores than AN ($p < 0.02$), while LI had intermediate scores.

3.3. Slaughter

Breed influenced various physiological variables recorded at slaughter (Table 3). AN had higher urinary levels of noradrenaline, adrenaline compared to LI and of cortisol compared to LI and BA. In contrast, plasma cortisol levels were not influenced ($F = 0.06$, $p = 0.94$) by breed (BA: 34.7 ± 1.2 , AN: 32.7 ± 2.6 , LI: 33.9 ± 3.2 ng/ml). Plasma and urinary cortisol levels were correlated (Fig. 3) for BA ($r = 0.80$; $p < 0.0001$), AN ($r = 0.42$; $p = 0.05$), and LI ($r = 0.41$; $p = 0.05$). AN had further lower LD pH_{3h} but higher LD and ST pH_{30h} than the other breeds. Buffer capacities of LD and ST muscles were lower for AN than for BA and LI (Table 3). LD buffer capacity was negatively correlated with LD pH_{30h} ($r = -0.39$; $p = 0.001$) and was a significant covariate ($p < 0.05$) in the analysis of variance, but did not remove significance of the breed effect ($p = 0.002$). Heart rate at slaughter tended to be lower ($p = 0.07$) for AN (131 ± 7 bpm) than for BA (155 ± 7 bpm) and LI (148 ± 6 bpm), but introduction of carcass weight ($p = 0.003$) in the analysis of variance removed the breed effect ($p = 0.55$).

Behavioural variables recorded at slaughter were not influenced by breed, except for a tendency for time to enter the abattoir (Table 3).

In the correlation matrix constructed with the 22 physiological and metabolic variables and the 6 animal traits measured at slaughter, 24 variables showed at least one significant correlation (cf “animal traits”, Table 5). Analysis of co-variance showed that correlations within animal traits and between animal traits and *post-mortem* muscle pH (but not reactions at slaughter) were often confounded with breed effects (i.e. introduction of the breed effect removed significance of the correlation, cf Statistical analyses). When these correlated variables were introduced into a PCA, 14 of them had a factor loading of > 0.50 on one of the two first main axes (Fig. 4). Analysis of variance found that AN had higher and lower scores for the first ($F=17.4$; $p<0.0001$) and second axis ($F=5.35$; $p=0.01$), respectively. Multiple regression analysis found significant models with generally 2 significant explanatory variables for most pH variables, explaining up to 40% of the variability of the variable (Table 6). With one exception, models contained at least one physiological indicator of the stress

status of the bull at slaughter as explanatory variable. Carcass weight was included in 2 of the 5 models. Breed was not significant in any of the models.

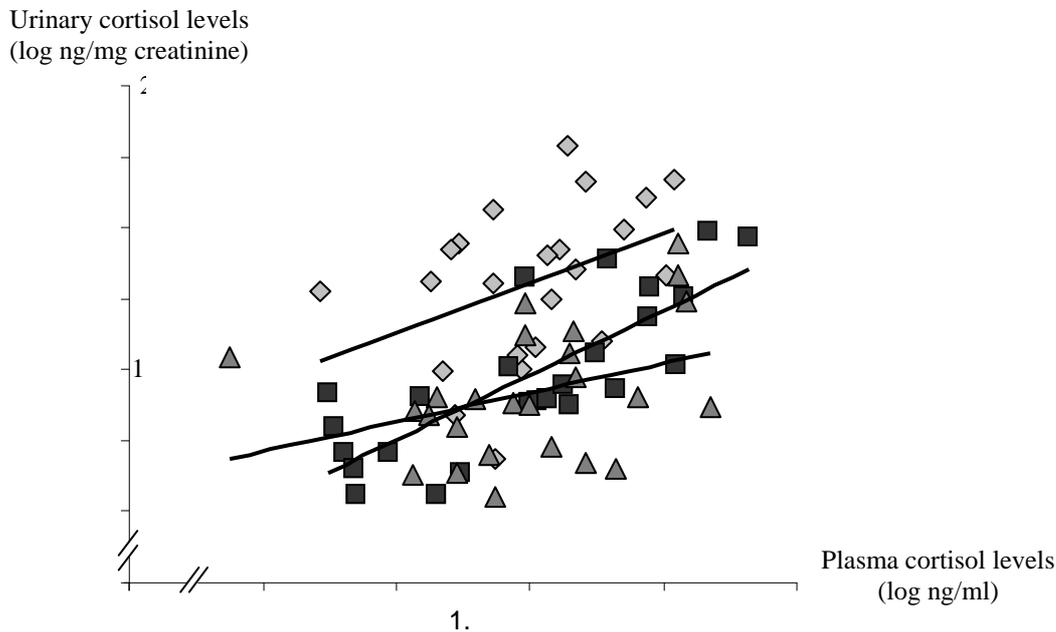
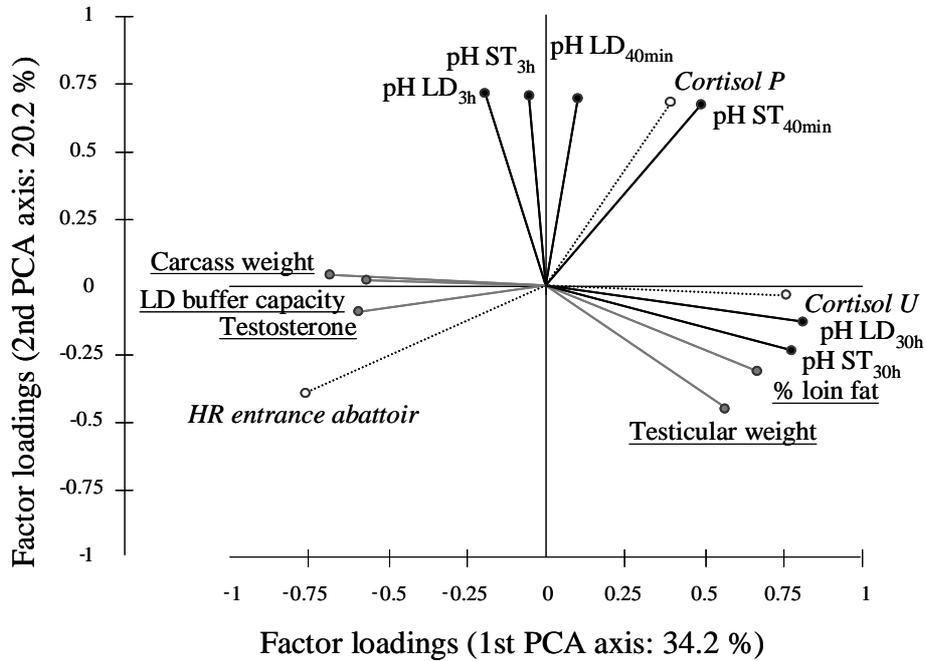


Fig.3. Illustration of a correlation for the combined breeds between plasma and urinary cortisol levels. Analysis of covariance found a correlation between the 2 variables ($p < 0.0001$) as well as a breed effect ($p < 0.0001$). Blond d'Aquitaine (squares), Limousin (triangles) and Angus (rhombuses).

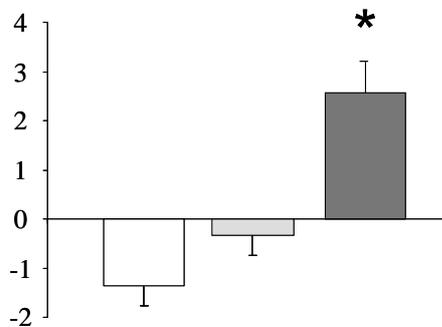
3.4. Correlations between reactions during the reactivity tests and at slaughter

Although various behavioural variables measured in the reactivity tests were correlated with several indicators of *ante-mortem* physiological status or *post-mortem* muscle metabolism, their proportion was close (6.2 %) to the proportion of significant correlations expected by chance (i.e. 5%). Most meaningful correlations were found with heart rate data during the different phases of the reactivity tests (Table 5). Specifically, heart rates during the HE test were negatively correlated with urinary adrenaline and positively with heart rate when entering the abattoir. The same correlations were found for urinary cortisol and heart rates during the UE test although analysis of covariance found that these correlations were confounded with a breed effect. HE and UE heart rates were further negatively correlated with early and ultimate muscle pH and these relationships were independent of breed effects. Correlations between heart rate variables and animal traits (Table 5) were also independent of

breed effects. Apart from the model for the LD pH_{40min}, the models presented in Table 6 could not be improved by the introduction of heart rate during the reactivity tests.



Score on 1st PCA axis



Score on 2nd PCA axis

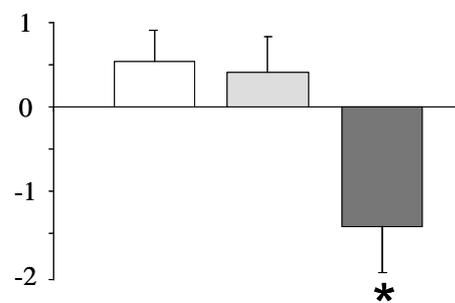


Fig.4. Top: Pearson PCA plot showing indicators of stress at slaughter, animal characteristics and *post-mortem* muscle pH with factors loadings of over 0.5 (cf Table 6 for correlation coefficients). Cortisol P and U indicate plasma and urinary cortisol levels, respectively. Bottom: Average individual scores for the different breeds, Blond d'Aquitaine (white bars), Limousin (light grey bars) and Angus (dark grey bars).

Table 6

Regression models for *post-mortem* pH values.

Explained variable	Model parameters ¹	1 st explanatory variable	2 nd explanatory variable	3 rd explanatory variable	Total % variability explained ²		
					Var 1	Var 2	Var 3
pH LD _{40min} ³	7.1 - 0.002 * mean HR UE test + 0.09 * log (urinary adrenaline)	0.02	0.01	-	13.6	27.1	-
pH LD _{3h}	7.6 - 1.1 * testicular weight - 0.003 * HR at entering abattoir	<0.0001	0.04	-	26.7	34.9	-
pH LD _{30h}	6.3 -0.001 * carcass weight - 0.0001 * (LD buffer capacity)	0.003	0.02	-	16.5	23.4	-
pH ST _{40min}	7.0 - 0.002 * HR at entering abattoir + 0.04 * log (plasma cortisol)	0.03	0.005	-	30.4	39.7	-
pH ST _{3h}	5.4-0.2* log (noradrenaline) + 0.5 * log (plasma cortisol)	0.005	0.01	-	11.2	22.1	-
pH ST _{30h}	6.2-0.002 * carcass weight + 0.006 * testosterone + 0.06 * log (urinary cortisol)	0.006	0.03	0.04	10.3	14.8	20.2

¹Variables are presented in the order 1st, 2nd and 3rd explanatory variable.

²Adjusted R² of the model. Maximal % of variability explained by the model is in bold letter type.

³For pH LD_{40min}, no significant model containing only physical traits and indicators of stress at slaughter was found.

4. Discussion

The present study evaluated coherence of reactions of bulls of different breeds in two reactivity tests. The first PCA-axis of the HE test is mostly related to the moving phase of the test: bulls that had higher heart rates were more difficult to move into the required area, walked less and had an increased interest in the entrance zone during that phase, possibly expressing the motivation to leave (Bourguet *et al.*, 2010). The second axis shows an association between acceptance of strokes and interest in the entrance zone during the first phase and may be related to reactivity to humans. Accepting strokes may be indicative of lower fear of humans, as suggested by the lower heart rates compared to other phases of the test, in accordance with earlier studies (Schmied *et al.*, 2008; Boivin *et al.*, 2009). During the first phase of the test the entrance zone may have had an association with human presence, being the site where the stockperson was seen last by the bull. Results show further that, like time spent in the entrance zone, levels of walking depended also on the context (test phase), in accordance with earlier work (Boissy *et Bouissou*, 1994).

The first PCA-axis of the UE test shows that bulls showing more head turning throughout the test looked less at the closed and opened umbrella. The increased head turning during the UE test may express attempts to turn around to leave the corridor (Bourguet *et al.*, accepted). This activity was associated with avoiding looking at the umbrella, which in the restricted space of the UE test, may have been the expression of increased fear of the object. These activities were unrelated to average heart rate which loaded on the second axis.

The PCA combining the two tests show that bulls were consistent in their reactions to the different situations they were subjected to; 73.8% of the variability between bulls was explained by heart rates during the tests and 6 behavioural characteristics. The bulls that were more difficult to move in the HE test avoided also more the umbrella once it had been opened. The second axis appears to express reactivity to social isolation during phase 1, when the bull had just been introduced in the non familiar test environment. Overall, the PCA combining the two tests indicates that the behavioural reactions that characterise the animals best are related to the opened umbrella and to being moved by the human. Consistency in reactions to different stressful situations have been reported in several studies on cattle (Boissy *et Bouissou*, 1995; Bourguet *et al.*, 2010), lambs (Boissy *et al.*, 2005; Deiss *et al.*, 2009) and pigs (Lawrence *et al.*, 1991).

The study evaluated further differences in stress reactivity between breeds. Although the bulls showed a certain degree of consistency in their reactions, breeds did not differ in their general behavioural profiles as indicated by a lack of breed effect for individual scores on the PCA axes. However, when variables were considered separately, various breed effects were found. The largest differences were found between BA and AN, while LI had generally intermediate levels. BA were more often considered as threatening by the stockperson, possibly because they were more fearful in an environment where they did not have the possibility to retract or escape (Lewis et Hurnik, 1998; Waiblinger et al., 2006). Compared to AN, BA had further higher levels of vigilance (phases 1 and 2), and walked (phase 3) and lowered less their head (phase 2). The higher levels of vigilance, during which the animal kept its head high, may explain the reduced levels of head low of BA compared to the other breeds. In the UE test, BA looked less at the closed umbrella, showed more startle responses, were more often far from the umbrella, showed more head turning and took longer to cross the umbrella zone and exit the corridor. BA were thus more reactive to novelty, and to suddenness known to induce specifically startle and withdrawal responses (Désiré et al., 2004). Although BA had also higher heart rates than AN throughout the umbrella test, this was unrelated to their increased behavioural reactivity, as it loaded on the second PCA axis, but related to their physical characteristics. Thus, overall, BA, and to a lesser extent, LI were more reactive than AN. Although no information exists on the rearing conditions of the animals of the present study before their purchase, it is likely that the differences are at least partly due to genetic differences. It is well known that cattle breeds differ in reactivity to stress (Boissy et Le Neindre, 1997; Grandin, 1997). It was earlier reported that AN are less, and BA more reactive than other breeds (Bourguet et al., accepted; Voisinet et al., 1997).

Variables measured at slaughter differed also between breeds. In this context, AN differed most from the other breeds. Overall, they had higher urinary levels of stress hormones than BA and LI. This would suggest that AN were more reactive to the slaughter procedure, which is not coherent with their relatively lower reactivity during the tests. Other results suggest, however, that the 3 breeds had a similar stress status at slaughter. Particularly, while plasma cortisol levels at slaughter were increased relative to basal levels as earlier reported (Grandin, 1997) and positively correlated with urinary cortisol, they were not influenced by breed. This suggests that in AN, at similar plasma levels, urinary cortisol levels are higher than in the other breeds. It cannot be excluded that this is also the case for adrenaline and noradrenaline, and that the higher urinary hormone levels in AN are not

indicative of an increased reactivity to the slaughter procedure, but related to different renal clearance rates. The negative rather than positive correlations between heart rates during the HE and UE tests and urinary hormone levels at slaughter suggest even an opposite relationship between stress levels and urinary hormone levels. Heart rates at slaughter, another stress indicator, showed also no breed effect once corrected for differences in carcass weight.

Breeds chosen for the experiment are known for their differences in physical traits. Results show that AN had a relatively high fat content and LI a high dressing percentage in coherence with earlier reports (Listrat et al., 2001; Cuvelier et al., 2006; Hocquette et al., 2006). The larger testicular weight of AN compared to LI and BA was also earlier demonstrated and is indicative of the younger age of the AN at the start of puberty (Barth et Brito, 2004). Testosterone levels are known to be influenced by puberty but also by breed which may explain the slightly lower testosterone levels of AN (Pruitt et al., 1986; Barth et Brito, 2004).

Breed influenced further *post-mortem* muscle pH decline. AN LD muscle had lower early (3h) pH while ultimate LD and ST pH was higher. *Post-mortem* pH decline was related to carcass weight, loin fat percentage and testosterone levels, as well as indicators of stress at slaughter as shown by PCA. Multiple regression used to describe relationships more specifically, found that models for early pH decline explained up to 40 % of the variability and those for ultimate pH up to 23%.

The regression models show that early *post-mortem* pH (40 min, 3h) was relatively strongly related to indicators of pre-slaughter stress, particularly heart rate, and plasma and urinary levels of stress hormones. This is coherent with existing knowledge. After bleeding, the dephosphorylation of ATP and anaerobic glycogenolysis result in the accumulation of protons and lactate and thus, in acidification of the muscle (Bendall, 1973). Exercise and/or psychological stress just before slaughter increases muscle metabolic activity, which may continue after death, resulting in faster *post-mortem* pH decline, i.e. in lower early *post-mortem* pH (Bendall, 1973; D'Souza et al., 1998; Rosenvold et Andersen, 2003). Particularly, the simultaneous increase in adrenaline and muscle contraction increase glycogen breakdown (Febbraio et al., 1998; Jensen et al., 1999). Results of the present study are coherent with those of our earlier study on cull cows using a similar slaughter protocol which showed that increased stress reactions at slaughter, specifically heart rate at the moment of entering the abattoir, was associated with a faster early *post-mortem* pH decline (Bourguet *et al.*, 2010). These correlations are probably indirect and explained by the effect of increased adrenaline

levels, generally accompanying increased heart rate, on muscle glycogen metabolism (Jensen *et al.*, 1999).

Regression models for ultimate pH depended more strongly on animal traits, specifically carcass weight and show only weak relationships between ultimate pH and stress indicators. Exercise and/or psychological stress for longer durations during the pre-slaughter period may result in glycogen depletion leading to lower overall *post-mortem* glycogenolysis and consequently, higher ultimate pH (Bendall, 1973; D'Souza *et al.*, 1998; Rosenvold *et al.*, 2003). The absence of a strong relationship with stress indicators is however, coherent with the short duration of the slaughter period which demanded overall little physical effort and which was therefore unlikely to have a large impact on glycogen levels.

The finding that breed was not significant in the regression models indicates that the higher ultimate pH values of AN were explained by their lower carcass weight. A negative relationship between ultimate pH and carcass weight, albeit weak, was earlier reported (Immonen *et al.*, 2000), but opposite results have also been found (du Plessis *et al.*, 2007). The role of testosterone in the determinism of ST ultimate pH is less evident. Compared to steers, bulls were found to have higher ultimate pH suggesting an influence of testosterone (Garipey *et al.*, 1990), although in a commercial slaughter context, the difference may be primarily due to behavioural differences.

Finally, the present study shows that in young bulls, stress reactions at slaughter may be predicted from reactions during reactivity test conducted during the rearing period, as it was earlier demonstrated in calves, cows, sheep and pigs (Lensink *et al.*, 2001; Terlouw *et al.*, 2008; Deiss *et al.*, 2009; Bourguet *et al.*, 2010). Specifically, heart rates during the reactivity tests predicted stress responses at slaughter as well as *post-mortem* muscle metabolism. However, the results show too, that heart rates during the tests and during slaughter were also correlated with animal traits, including carcass weight. This is in accordance with an earlier study on pigs (Terlouw *et al.*, 2008). It may suggest that heart rate has a physical component (increased heart rates in heavier animals) and an emotional component (higher heart rates in more emotionally reactive animals) and it is this combination which explains variations in *post-mortem* muscle metabolism.

In conclusion, bulls showed consistency in their responses to different stressful situations, and BA are more reactive than AN, and to a lesser extent LI. Multiple regression found that early *post-mortem* pH was related to pre-slaughter of stress while ultimate pH was

more strongly related to animal characteristics, including carcass weight and testosterone levels. Breed was not significant in these models, indicating that although breed differences contributed significantly to individual variation in behavioural and physical traits, individual variation in *post-mortem* muscle metabolism was better explained by relationships between these characteristics. These relationships are in accordance with existing biological knowledge, but the precise underlying biological mechanisms remain to be elucidated.

Acknowledgments

This experiment could not have taken place without the contribution of C. Mallet, H. Chandèze, S. Andanson, C. Ravel, E. Delval and O. Loison in data collection and analysis. The experiment benefited further from the excellent assistance of P. Faure, P. Mandon, J. Chantelauze, D. Chassaignes and M. Planeix in data collection and animal care. Authors are also very grateful to R. Jailler, C. Coustet, J. Mongiat and S. Collange for conducting the experimental slaughter of the animals. Bourguet was supported by a grant from the Ministry for Higher Education and Research.

References

- Andanson, S., Berne, A., Astruc, T., Sapin, V., Rozand, I., 2005. Mise au point et validation d'une méthode de dosage sur microplaques de la créatinine urinaire bovine et porcine. *Cah. Tech. I.N.R.A.*, 54, 11-20.
- Barth, A.D., Brito, L.F.C., 2004. Pubertal development of *Bos taurus* bulls. *Large Animal Veterinary Rounds*, 4, 1-6.
- Bendall, J.R., 1973. *Post-mortem changes in muscle*, In: Bourne, G.H. (Ed.), *Structure and function of muscle*. 2nd ed, Academic Press, New York, pp. 244-309.
- Boissy, A., Bouissou, M.F., 1994. Effects of androgen treatment on behavioral and physiological responses of heifers to fear-eliciting situations. *Hormones and Behavior*, 28, 66-83.
- Boissy, A., Bouissou, M.F., 1995. Assessment of individual differences in behavioural reactions of heifers exposed to various fear-eliciting situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 46, 17-31.

- Boissy, A., Le Neindre, P., 1997. Behavioral, cardiac and cortisol responses to brief peer separation and reunion in cattle. *Physiology & Behaviour*, 61, 693-699.
- Boissy, A., Bouix, J., Orgeur, P., Poindron, P., Bibe, B., Le Neindre, P., 2005. Genetic analysis of emotional reactivity in sheep: effects of the genotypes of the lambs and of their dams. *Genet. Sel. Evol.*, 37, 381-401.
- Boivin, X., Le Neindre, P., Garel, J.P., Chupin, J.M., 1994. Influence of breed and rearing management on cattle reactions during human handling. *Applied Animal Behaviour Science*, 39, 115-122.
- Boivin, X., Gilard, F., Egal, D., 2009. The effect of early human contact and the separation method from the dam on responses of beef calves to humans. *Applied Animal Behaviour Science*, 120, 132-139.
- Bourguet, C., Deiss, V., Boissy, A., Andanson, S., Terlouw, E.M.C., Effects of food deprivation on behavioral reactivity and physiological status in Holstein cattle. *Journal of Animal Science*,, accepted.
- Bourguet, C., Deiss, V., Cohen-Tannugi, C., Terlouw, E.M.C., Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Science*,, accepted.
- Bourguet, C., Deiss, V., Gobert, M., Durand, D., Boissy, A., Terlouw, E.M.C., 2010. Characterising the emotional reactivity of cows to understand and predict their stress reactions to the slaughter procedure. *Applied Animal Behaviour Science*, 125, 9-21.
- Cuvelier, C., Clinquart, A., Hocquette, J.F., Cabaraux, J.F., Dufrasne, I., Istasse, L., Hornick, J.L., 2006. Comparison of composition and quality traits of meat from young finishing bulls from Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus breeds. *Meat Science*, 74, 522-531.
- D'Souza, D.N., Warner, R.D., Dunshea, F.R., Leury, B.J., 1998. Effect of on-farm and pre-slaughter handling of pigs on meat quality. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, 1021-1025.

- Deiss, V., Temple, D., Ligout, S., Racine, C., Bouix, J., Terlouw, C., Boissy, A., 2009. Can emotional reactivity predict stress responses at slaughter in sheep? *Applied Animal Behaviour Science*, 119, 193-202.
- Désiré, L., Veissier, I., Després, G., Boissy, A., 2004. On the way to assess emotions in animals: do lambs (*ovis aries*) evaluate an event through its suddenness, novelty, or unpredictability? *J. Comp. Psychol.*, 118, 363-374.
- du Plessis, I., Hoffman, L.C., 2007. Effect of slaughter age and breed on the carcass traits and meat quality of beef steers finished on natural pastures in the arid subtropics of South Africa. *South African Journal of Animal Science*, 37, 143-153.
- Febbraio, M.A., Lambert, D.L., Starkie, R.L., Proietto, J., Hargreaves, M., 1998. Effect of epinephrine on muscle glycogenolysis during exercise in trained men. *Journal of Applied Physiology*, 84, 465-470.
- Gariepy, C., Amiot, J., Belanger, A., Flipot, P.M., Girard, V., 1990. Muscle steroids and meat quality of bulls and steers. *Canadian Journal of Animal Science*, 70, 301-304.
- Grandin, T., 1997. Assessment of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science*, 75, 249-257.
- Gutmann, L., Wahlefeld, A.W., 1974. *Lactate: Determination with lactate dehydrogenase and NAD*, In: Bergmeyer, H.U. (Ed.), *Methods of Enzymatic Analysis* (2nd English Ed.), Verlag Chemie, Weinheim, Germany, pp. Pages 1464–1491.
- Hay, M., Mormede, P., 1997. Improved determination of urinary cortisol and cortisone, or corticosterone and 11-dehydrocorticosterone by high-performance liquid chromatography with ultraviolet absorbance detection. *J. Chromatogr. B*, 702, 33-39.
- Hemsworth, P.H., Barnett, J.L., Hofmeyr, C., Coleman, G.J., Dowling, S., Boyce, J., 2002. The effects of fear of humans and pre-slaughter handling on the meat quality of pigs. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53, 493-501.
- Hocquette, J.F., Renand, G., Leveziel, H., Picard, B., Cassar-Malek, I., 2006. The potential benefits of genetics and genomics to improve beef quality - a review. *Animal Science Papers and Reports*, 24, 173-189.

- Immonen, K., Ruusunen, M., Hissa, K., Puolanne, E., 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*, 55, 25-31.
- Jensen, J., Aslesen, R., Jebens, E., Skrondal, A., 1999. Adrenaline-mediated glycogen phosphorylase activation is enhanced in rat soleus muscle with increased glycogen content. *Biochimica Et Biophysica Acta-General Subjects*, 1472, 215-221.
- Keppler, D., Decker, K., 1974. *Glycogen determination with amyloglucosidase*, In: Bergmeyer, H.U. (Ed.), *Methods of Enzymatic Analysis* (2nd English Ed.), Academic Press, London, UK, pp. Pages 1127-1131.
- Lawrence, A.B., Terlouw, E.M.C., Illius, A.W., 1991. Individual differences in behavioral responses of pigs exposed to non-social and social challenges. *Applied Animal Behaviour Science*, 30, 73-86.
- Lensink, B.J., Fernandez, X., Cozzi, G., Florand, L., Veissier, I., 2001. The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. *Journal of Animal Science*, 79, 642-652.
- Lewis, N.J., Hurnik, J.F., 1998. The effect of some common management practices on the ease of handling of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 58, 213-220.
- Listrat, A., Picard, B., Jailler, R., Collignon, H., Peccatte, J.R., Micol, D., Geay, Y., Dozias, D., 2001. Grass valorisation and muscular characteristics of blonde d'Aquitaine steers. *Animal Research*, 50, 105-118.
- Micol, D., L'Herm, M., 2010. *La production de viande bovine en France. Quels systèmes de production, pour quels produits ?*, In: Bauchart, D., Picard, B. (Eds.), *Muscle et Viande de Ruminant*, Editions Quae, Versailles, à paraître.
- Monin, G., Sellier, P., 1985. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate *post-mortem* period: the case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13, 49-63.

- Pruitt, R.J., Corah, L.R., Stevenson, J.S., Kiracofe, G.H., 1986. Effect of energy-intake after weaning on the sexual development of beef bulls. 2. Age at 1st mating, age at puberty, testosterone and scrotal circumference. *Journal of Animal Science*, 63, 579-585.
- Rosenvold, K., Andersen, H.J., 2003. The significance of pre-slaughter stress and diet on colour and colour stability of pork. *Meat Science*, 63, 199-209.
- Schmied, C., Waiblinger, S., Scharl, T., Leisch, F., Boivin, X., 2008. Stroking of different body regions by a human: Effects on behaviour and heart rate of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 109, 25-38.
- Terlouw, E.M.C., Porcher, J., Fernandez, X., 2005. Repeated handling of pigs during rearing. II. Effect of reactivity to humans on aggression during mixing and on meat quality. *J. Anim. Sci.*, 83, 1664-1672.
- Terlouw, E.M.C., Arnould, C., Auperin, B., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Deiss, V., Lefevre, F., Lensink, B.J., Mounier, L., 2008. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Anim.*, 1501-1517.
- Terlouw, E.M.C., 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.
- Voisinet, B.D., Grandin, T., Tatum, J.D., O'Connor, S.F., Struthers, J.J., 1997. Feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments. *Journal of Animal Science*, 75, 892-896.
- Waiblinger, S., Boivin, X., Pedersen, V., Tosi, M.-V., Janczak, A.M., Visser, E.K., Jones, R.B., 2006. Assessing the human-animal relationship in farmed species: A critical review. *Applied Animal Behaviour Science*, 101, 185-242.

CHAPITRE 3

ÉTUDE DE LA MULTIPLICITE DES FACTEURS DE STRESS INTERVENANT PENDANT LA PERIODE D'ABATTAGE

Article 4 – Effects of food deprivation on behavioural reactivity and physiological status in Holstein cattle.

Présentation & Résumé du Chapitre 3

Article 4

Influence de la privation alimentaire sur la réactivité comportementale et l'état physiologique chez des vaches et des génisses de race Holstein

Bourguet C., Deiss V., Boissy A., Andanson, S. et Terlouw E.M.C.

Journal of Animal Science, accepté.

1. Objectifs

Nos études dans un contexte simplifié et standardisé par rapport à celui de l'abattage industriel ont permis de mettre en évidence les liens entre la réactivité émotionnelle individuelle et les réactions de stress à l'abattage (*Chapitre 2*). Cependant, la période d'abattage est plus complexe de par la quantité, la variété et l'intensité des facteurs de stress qui y sont associés.

Ainsi, le dernier chapitre de cette thèse vise à mieux comprendre les effets de la multiplicité des facteurs de stress intervenant pendant la période d'abattage sur la réactivité émotionnelle des bovins. Pour cela, en plus de l'exposition à des tests de réactivité similaires à ceux utilisés dans le deuxième chapitre, les bovins ont été soumis à une privation alimentaire parfois cumulée avec une activité physique. Ces deux types de facteurs de stress d'origine physique sont récurrents tout au long de la période d'abattage. Les conditions de cette étude demeurent toutefois simplifiées par rapport au contexte de l'abattage industriel afin de comprendre précisément quels sont les effets de ces facteurs de stress sur la réactivité émotionnelle de l'animal.

2. Matériel & Méthodes

Cette étude regroupe 2 expériences impliquant au total 48 bovins femelles de race Holstein (Exp. 1 : 32 génisses, Exp. 2 : 16 vaches de réforme). Au sein de chacune des deux expériences, la moitié des animaux constituait le lot témoin (T) et l'autre moitié le lot soumis

à 30 h de privation alimentaire (PA). Des observations comportementales des bovins dans leur case d'élevage et des mesures physiologiques des principaux indicateurs du métabolisme énergétique ont été effectuées avant et pendant la période de privation alimentaire. Au cours de ces deux périodes, les animaux ont également été individuellement confrontés à un test de réactivité à l'isolement, à la nouveauté (présentation d'un objet nouveau) et aux manipulations par l'Homme.

Particularité de l'Exp. 1. Au moment de la confrontation au test de réactivité, la moitié des génisses de chaque lot (T et PA) était soumise à un exercice physique (E vs NE). Pour cela, l'expérimentateur contraignait les génisses à parcourir 240 m en 5 min dans un couloir rectangulaire. Ainsi, lorsque les génisses étaient exposées au test de réactivité, elles étaient divisées en quatre groupes (T/E, PA/E, T/NE, PA/NE). Afin de mesurer la cortisolémie, un prélèvement de sang était effectué juste avant et juste après l'exposition à ces différentes situations (tests de réactivité et/ou exercice physique selon les groupes).

Particularité de l'Exp. 2. Pendant la période de privation alimentaire, en plus du test de réactivité à l'isolement, à la nouveauté et à l'Homme, les vaches étaient également soumises à un test de réactivité à un événement soudain (l'exposition à un jet d'air). En revanche, dans cette expérience, il n'y avait pas de groupe « exercice physique » ni de prélèvement sanguin avant et après les tests de réactivité.

3. Principaux Résultats

La privation alimentaire a modifié le comportement des bovins dans leur case d'élevage. Par rapport aux génisses T, les génisses PA ont passé moins de temps couchées, mais plus de temps debout à regarder et à flairer leur environnement, ainsi qu'immobiles devant leur auge, reflétant probablement un comportement de recherche alimentaire accrue. Les génisses PA passaient aussi plus de temps en interactions agonistiques que les génisses T. Lors de la distribution de nourriture aux génisses du lot T, les génisses PA passaient plus de temps en locomotion et vocalisaient plus, indiquant probablement un état de frustration. Des tendances similaires ont été observées chez les vaches PA.

Par rapport aux animaux nourris, les génisses et les vaches PA avaient respectivement un niveau de cortisol plasmatique basal plus élevé et un niveau de β -Hydroxybutyrate inférieur.

Au cours du test de réactivité, les génisses PA/E ont passé moins de temps à flairer le parc de test et ont accepté moins facilement d'être maintenues et caressées par l'Homme que

les génisses T/E, ce qui traduit une plus forte réactivité à l'isolement et aux manipulations. Chez les vaches PA, les résultats ont montré une diminution de la locomotion lors de l'exposition à l'objet nouveau, qui, dans ce contexte, peut être interprétée en termes de réduction de la motivation à explorer. Les vaches PA ont aussi réagi plus fortement à l'événement soudain que les vaches T. En réponse au jet d'air, elles ont plus reculé, elles ont passé plus de temps en locomotion et tendaient à sursauter plus souvent. Leur latence de retour à l'auge était plus longue malgré la privation alimentaire à laquelle ces vaches étaient soumises.

4. Conclusions

Alors que les indicateurs classiques du métabolisme énergétique n'ont été que peu influencés, la privation alimentaire a modulé le comportement des bovins dans leur case d'élevage, traduisant probablement une motivation de recherche alimentaire accrue et un état de frustration. La privation alimentaire a aussi augmenté la réactivité à la nouveauté et à la soudaineté chez les vaches et la réactivité à l'isolement et aux manipulations chez les génisses soumises à des facteurs de stress d'origine physique et psychologique ajoutés.

De manière générale, cette étude suggère que dans le contexte de l'abattage, la privation alimentaire module, et plus précisément exacerbe, la réactivité émotionnelle des bovins qui réagissent alors plus fortement aux nombreux facteurs de stress associés à cette période.



Article 4

*Effects of food deprivation on behavioural reactivity
and physiological status in Holstein cattle*

Journal of Animal Science

Sous Presse

Effect of food deprivation on behavioral reactivity and physiological status in Holstein cattle

Cécile Bourguet, Véronique Deiss, Alain Boissy, Stéphane Andanson, E.M. Claudia Terlouw

KEY WORDS

Animal welfare
Behavior
Cattle
Food deprivation
Physiology
Stress reactivity

ABSTRACT

The present study evaluated whether food deprivation may increase reactivity to stressful events, like those that can occur at slaughter. Therefore, effects of 30 h of food deprivation on behavior including reactions to psychological stressors, and physiological status in cattle were determined. Sixteen Holstein cows (Exp. 1) and 32 Holstein heifers (Exp. 2) were either fed (FE) or 30 h-food deprived (FD). Throughout the first day of food deprivation and during evening food distribution to control animals, FD heifers and cows were more active than controls ($P < 0.05$). In Exp. 1, during a feeding test, in response to a sudden air blast arising from the bucket the cow was feeding from, FD cows showed a longer latency to return to feed ($P = 0.0002$), spent less time in the bucket/air blast zone ($P = 0.008$) and less time motionless ($P = 0.03$) and tended to withdraw over a longer distance ($P = 0.07$) than FE cows. In Exp. 2, during a reactivity test, FD heifers spent more ($P = 0.0001$) time motionless in response to social isolation than FE heifers. In Exp. 2, half of the FE and FD heifers were subjected to an additional physical and psychological stressor just before the reactivity test by driving them during 5 min through a labyrinth. Within heifers subjected to the additional stressor, FD heifers accepted less easily to be detained by a familiar stockperson in a corner of the test arena ($P = 0.05$) and stroked ($P = 0.003$). Compared to FE animals, FD heifers and FD cows had greater plasma cortisol concentrations ($P < 0.05$). FD cows had also lower β -Hydroxybutyrate (β -HBA) concentrations ($P = 0.02$) than FE cows. Thus, in cattle, 30 h of food deprivation influenced some of the classical indicators of energy metabolism and exacerbated reactivity to sudden events. In addition, when additional stressors were applied, food deprived cattle accepted less easily handling. Results indicate that multi-factorial origin of stressors during the slaughter period may synergistically increase psychological stress levels of cattle.

DISCUSSION GENERALE

L’objectif général de cette thèse est de mieux comprendre (i) les facteurs de stress à l’origine des réactions des bovins dans le contexte de la période d’abattage et (ii) comment ils expriment leur stress d’un point de vue comportemental et physiologique. La finalité de ces connaissances est, dans un deuxième temps, d’aider à proposer des voies d’amélioration des conditions d’abattage des bovins.

Après avoir rappelé les principaux objectifs et résultats de chacun des chapitres de cette thèse, nous verrons dans une deuxième partie comment l’étude de la réactivité émotionnelle peut nous permettre de mieux comprendre comment les bovins perçoivent certaines des procédures d’abattage. Dans une troisième partie, nous examinerons les réactions comportementales, physiologiques et métaboliques des bovins dans ce contexte, en soulignant les principales contributions et limites des variables que nous avons utilisées. Ensuite, nous discuterons de la pertinence de nos résultats expérimentaux au regard des conditions d’abattage industriel. Enfin, nous aborderons certaines voies d’amélioration des conditions d’abattage des bovins dégagées par les travaux de ma thèse, avant de conclure en présentant les principales perspectives de recherches scientifiques.

1. Rappel des principaux résultats

1.1. Chapitre 1 - Etude des procédures d’abattage et des réactions de stress dans un contexte industriel (*Article 1*)

Afin d’améliorer nos connaissances sur certaines procédures d’abattage rarement étudiées et d’intégrer les réactions comportementales des bovins à l’évaluation de leur état de stress dans ce contexte, le premier chapitre de cette thèse examine les réactions des bovins depuis leur arrivée sur le site d’abattage jusqu’à leur saignée. **Les objectifs sont (i) de décrire les procédures utilisées dans un abattoir industriel, et (ii) d’évaluer les relations entre ces procédures et les réactions de stress chez différents types de bovins.**

➡ L’organisation de l’abattoir influence les procédures d’abattage.

Cette étude montre une grande variabilité dans le déroulement des procédures utilisées (temps d’attente à l’abattoir, nombre de coups de piles reçu...) due à certains aspects liés à l’organisation et aux équipements de l’abattoir.

➡ **Les procédures d'abattage ont des conséquences directes sur les réactions des bovins, y compris sur leur métabolisme musculaire *post-mortem*.**

Les compressions subies par les mâles dans les couloirs de l'abattoir ont influencé la vitesse de leur métabolisme musculaire *post-mortem*, probablement en raison des effets mécaniques de la compression sur le fonctionnement du muscle.

Les femelles abattues en halal avaient un métabolisme musculaire plus rapide que celles abattues conventionnellement, ce qui indique probablement des réactions de stress plus prononcées aux procédures intervenant juste avant la saignée, comme par exemple la contention dans le piège rotatif.

➡ **Les caractéristiques des bovins influencent leurs réactions aux procédures d'abattage.**

En comparaison aux Charolais, les taurillons Blonds d'Aquitaine donnaient plus de coups de pieds dans le piège rotatif et présentaient un niveau d'hématocrite supérieur. Ces résultats reflètent probablement une réactivité émotionnelle plus forte chez les Blonds d'Aquitaine.

Parmi les animaux abattus en halal, les femelles présentaient un niveau de cortisol supérieur à celui des mâles, pouvant s'expliquer par plusieurs facteurs différant entre ces deux types d'animaux (âge, sexe, race, réactivité émotionnelle...).

➡ **L'évaluation de la perte de conscience nécessite de combiner plusieurs indicateurs.**

Nos résultats montrent que la perte du réflexe cornéen peut être temporaire. Le lien potentiel avec un retour à un état de conscience reste à déterminer.

Certains signes physiques, tels que les mouvements de la mâchoire et les tremblements musculaires, ne semblent pas être des indicateurs de l'état de conscience utilisables seuls en raison de leur pouvoir discriminant insuffisant.

D'autres signes, comme les redressements de la tête, semblent reliés à un état de conscience. Bien que dans une moindre mesure, ces redressements ont cependant été aussi observés chez des bovins considérés inconscients. Ces observations montrent que les redressements de la tête n'indiquent pas forcément un état de conscience.

1.2. Chapitre 2 - Etude des réactions de stress dans un contexte simplifié et standardisé par rapport à celui de l'abattage industriel (Articles 2 & 3)

Au vu de la multiplicité et de la complexité des procédures d'abattage mises en évidence par nos observations sur le terrain, nous avons étudié, dans le *Chapitre 2*, les réactions des bovins en les exposant à des situations simplifiées et standardisées, au cours de tests de réactivité et d'abattages expérimentaux. **Les objectifs sont (i) de déterminer si la réactivité émotionnelle des bovins, évaluée en élevage, peut permettre d'identifier les animaux susceptibles de réagir plus fortement aux procédures d'abattage, et (ii) d'évaluer quels facteurs environnementaux contribuent significativement à leur état de stress pendant la période d'abattage.**

➡ Les bovins sont cohérents dans leurs réactions à différentes situations.

Chez les vaches et les taurillons, les corrélations positives entre leurs réactions intra- et inter-tests montrent que les bovins étaient cohérents dans leur manière de réagir à différents types de situations.

Cette cohérence dans les réactions reflète probablement une certaine stabilité dans la façon de réagir à différents facteurs de stress, appelée communément réactivité émotionnelle.

➡ L'évaluation de la réactivité émotionnelle des bovins au cours de l'élevage permet d'identifier les individus susceptibles de réagir plus fortement à l'abattage.

Chez les vaches et les taurillons, les réactions de stress à l'abattage sont en partie liées à leur réactivité émotionnelle.

Plus les vaches réagissaient fortement à la nouveauté et à la séparation sociale pendant les tests, plus elles présentaient des réactions de stress prononcées lors du chargement.

De la même manière, les vaches qui réagissaient plus fortement à la nouveauté, réagissaient aussi plus fortement lors des premières minutes de transport et de l'entrée dans l'abattoir.

De plus, la réactivité aux manipulations par l'Homme est influencée par la réactivité à la nouveauté et à la séparation sociale.

Chez les taurillons, les réactions de stress à l'abattage étaient en partie liées à leur réactivité cardiaque évaluée au cours de différentes situations auxquelles ils ont été exposés pendant la période d'élevage. De plus, la réactivité cardiaque des taurillons était influencée à la fois par leurs caractéristiques physiques et leur réactivité émotionnelle.

Toutefois, à la différence des vaches, leurs réactions de stress à l'abattage n'étaient pas liées à leurs réactions comportementales pendant les tests.

➡ **La race influence la réactivité émotionnelle des taurillons à différents types de situations.**

En élevage, les Blancs d'Aquitaine réagissaient plus fortement à différents types de situations que les Angus et, dans une moindre mesure, les Limousins. Ces différences n'ont cependant pas été observées lors des abattages expérimentaux.

1.3. Chapitre 3 - Etude de la multiplicité des facteurs de stress intervenant pendant la période d'abattage (Article 4)

Au vu de la complexité de la période d'abattage au cours de laquelle de nombreux facteurs de stress d'origine physique et psychologique interviennent, **le Chapitre 3 a pour objectif de mieux comprendre les effets de la multiplicité de ces facteurs de stress sur la réactivité émotionnelle des bovins.** Nous avons étudié l'influence de la privation alimentaire et de l'exercice physique sur l'état physiologique des bovins et sur leurs réactions à différents types de situations. Pour cela, les bovins ont été confrontés à des tests de réactivité similaires à ceux utilisés dans le deuxième chapitre.

➡ **La privation alimentaire et l'exercice physique peuvent exacerber la réactivité à différentes situations.**

Alors que les indicateurs classiques du métabolisme énergétique n'ont été que peu influencés, la privation alimentaire a exacerbé la réactivité des bovins à différentes situations.

Parmi les génisses soumises à un exercice physique et à des manipulations juste avant le test de réactivité (Exp. 1), les génisses privées d'alimentation réagissaient plus fortement à l'isolement et aux manipulations que les génisses témoins.

Les vaches (Exp. 2) soumises à la privation alimentaire présentaient une réactivité à la nouveauté et à la soudaineté plus prononcée que les vaches témoins.

La privation alimentaire a également modulé le comportement des bovins dans leur case d'élevage, traduisant probablement une motivation de recherche alimentaire accrue et un état de frustration.

2. Comment les bovins perçoivent-ils les procédures intervenant au cours de la période d'abattage ?

2.1. Caractériser les individus selon leur réactivité émotionnelle afin de déterminer les facteurs de stress prédominants associés à la période d'abattage

Les bovins sont cohérents dans leurs réactions à différents types de situation, comme montré chez de nombreuses espèces (Boissy and Bouissou, 1995; Lanier et al., 2000; Lansade et al., 2008; Terlouw and Rybarczyk, 2008; Deiss et al., 2009a). Cette cohérence reflète la façon dont chaque individu perçoit une situation donnée et y réagit d'une manière qui lui est propre (Bekoff, 1977; Plomin et al., 1990) en partie en raison de sa réactivité émotionnelle (Boissy, 1998). Cette cohérence dans les réactions des bovins se retrouve dans leurs réactions de stress à l'abattage. Ainsi, l'évaluation de la réactivité émotionnelle des bovins pendant la période d'élevage permet de prédire en partie leurs réactions de stress à l'abattage. Ces résultats sont en accord avec de récents travaux menés chez les porcs (Terlouw and Rybarczyk, 2008), les ovins (Deiss et al., 2009b) et les veaux (Lensink et al., 2001). Ils n'avaient toutefois encore jamais été démontrés chez les bovins adultes et sub-adultes (Figure 7).

Chez les vaches de réforme, ce sont leurs réactions comportementales observées au cours de certaines situations pendant les tests de réactivité qui ont prédit en partie leurs réactions de stress à l'abattage. Ces relations permettent de mieux comprendre comment les vaches perçoivent certaines procédures d'abattage.

La nouveauté semble être le facteur prédominant à l'origine des réactions de stress lors des premières minutes du transport et de l'entrée dans l'abattoir (Figure 7). De nombreuses études se sont intéressées aux réactions des animaux de ferme en réponse à la nouveauté d'une situation en les exposant à un environnement ou un objet nouveau (pour revue voir Forkman et al., 2007). La nouveauté d'une situation est souvent associée à des émotions négatives (Boissy, 1998). Des travaux expérimentaux précédemment conduits sur ovins démontrent que les agneaux sont capables d'évaluer les caractéristiques intrinsèques des événements à l'origine d'émotions négatives, notamment le caractère nouveau de l'évènement (Boissy et al., 2007a). Dans le contexte de l'abattage, le début du transport et l'entrée dans l'abattoir seraient des sources de stress en particulier parce qu'elles sont perçues comme des situations nouvelles.

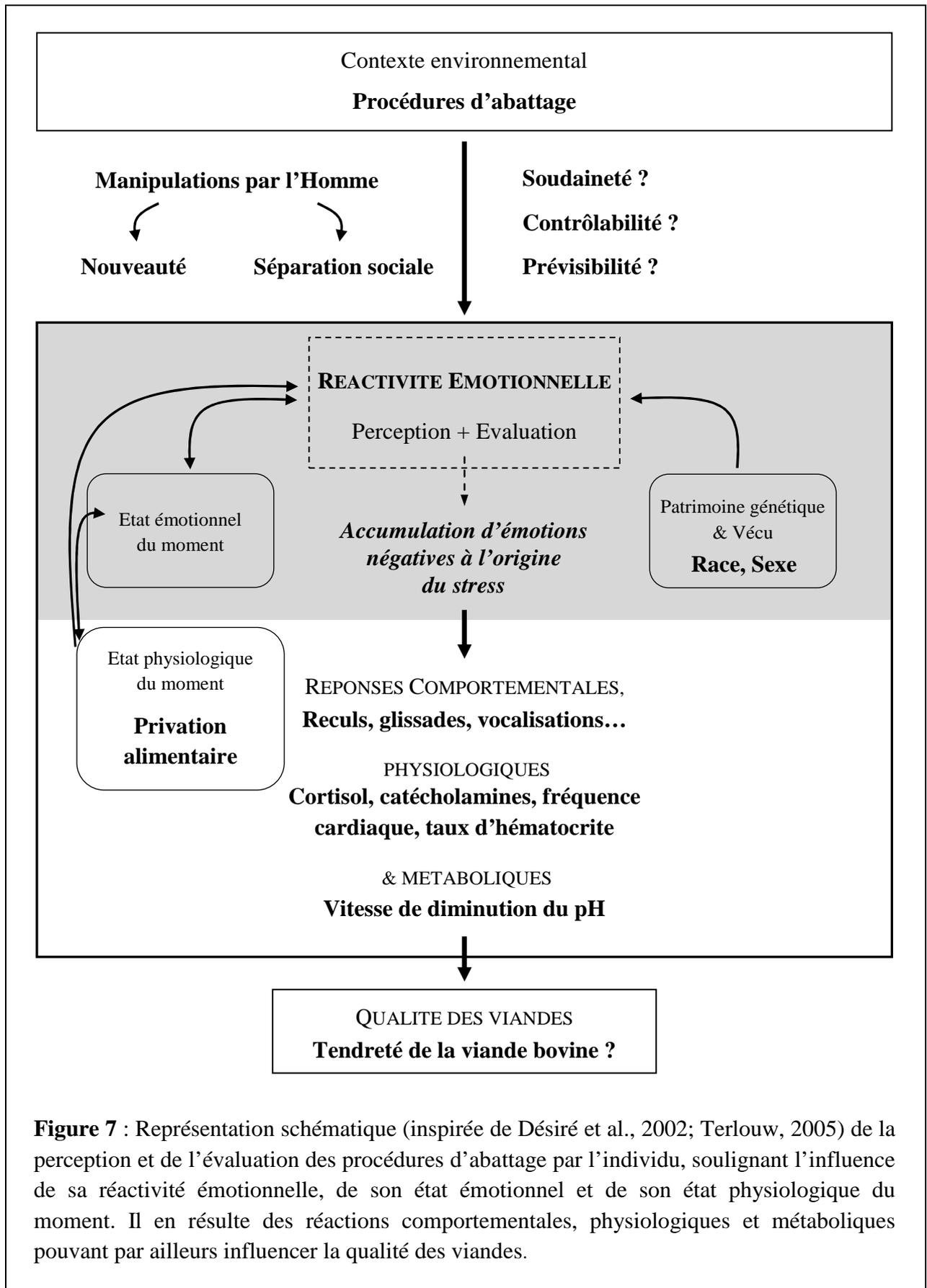


Figure 7 : Représentation schématique (inspirée de Désiré et al., 2002; Terlouw, 2005) de la perception et de l'évaluation des procédures d'abattage par l'individu, soulignant l'influence de sa réactivité émotionnelle, de son état émotionnel et de son état physiologique du moment. Il en résulte des réactions comportementales, physiologiques et métaboliques pouvant par ailleurs influencer la qualité des viandes.

Les vaches qui étaient plus réactives à la nouveauté et à la séparation sociale pendant les tests, étaient aussi plus réactives lors du chargement, suggérant que ces deux facteurs sont au moins en partie à l'origine des réactions de stress pendant cette procédure (Figure 7). Il est bien connu que chez les espèces grégaires, l'isolement provoque des réactions de stress intenses (Keeling and Gonyou, 2001). Chez les bovins, l'isolement peut induire une augmentation des vocalisations, de la fréquence cardiaque et du niveau de cortisol (Willett and Erb, 1972; Hopster and Blokhuis, 1994; Boissy and Le Neindre, 1997). Des travaux utilisant une approche similaire à la nôtre suggèrent que chez les ovins, la séparation sociale et la nouveauté de l'environnement de l'abattoir sont également des sources de stress prépondérantes (Deiss et al., 2009b).

Dans le contexte de l'abattage, les réactions résultant de la séparation sociale semblent traduire en particulier un état de stress dû à la séparation de congénères familiers (*Article 2*). Ces observations vont dans le sens de travaux montrant que les réactions de stress des bovins sont moins prononcées en présence d'un congénère familial qu'en présence d'un congénère non familial (Boissy and Le Neindre, 1997; Færevik et al., 2006).

Les manipulations par l'Homme sont aussi une source de stress dans le contexte de l'élevage et de l'abattage (*Article 2*), en accord avec de nombreuses études (Rushen et al., 1999; Grignard et al., 2001; Terlouw and Rybarczyk, 2008). Dans nos expérimentations, certaines réactions aux manipulations par l'Homme étaient liées à la réactivité à la nouveauté alors que d'autres étaient liées à la réactivité à la séparation sociale. Ces relations suggèrent que les animaux peuvent percevoir l'Homme comme une source de stress en tant que telle, mais que dans certains cas, les manipulations par l'Homme ont pour résultat d'exposer l'animal à d'autres sources de stress, telles que la nouveauté et la séparation sociale (Figure 7). Grignard et al. (2000) ont observé que des génisses étaient plus difficiles à manipuler en présence de leurs congénères que lorsqu'elles étaient seules, suggérant également que les réactions des génisses à l'Homme sont en partie liées à la séparation sociale provoquée par son intervention.

Contrairement à nos travaux sur les vaches, nous n'avons pas observé de lien entre le comportement des taurillons pendant les tests et leurs réactions de stress à l'abattage (*Article 3*). L'absence de corrélation visible entre deux variables peut évidemment traduire l'absence de lien entre elles. Cependant, elle peut aussi refléter la complexité d'une relation de par l'existence de nombreux facteurs mis en jeu. Les réactions de stress à l'abattage des taurillons

sont en revanche liées à leur réactivité cardiaque pendant les tests. Les réactions émotionnelles peuvent influencer la fréquence cardiaque directement et indirectement en augmentant les réponses physiques. Les taurillons sont plus lourds et plus musclés par rapport aux vaches, et pour se déplacer sur une distance égale, ils auront des besoins métaboliques plus importants. Par ailleurs, les taurillons ont une forte activité métabolique de base due à leur croissance rapide et à leur masse musculaire (Castro Bulle et al., 2007). Ces besoins métaboliques importants peuvent expliquer en partie les liens observés entre la fréquence cardiaque pendant les tests et à l'abattage, les caractéristiques physiques et le métabolisme musculaire *post-mortem* des taurillons.

2.2. La réactivité émotionnelle est exacerbée par la multiplicité des facteurs de stress intervenant au cours de la période d'abattage

La période d'abattage est constituée d'une succession de situations faisant intervenir de nombreux facteurs de stress d'origine physique et psychologique (Terlouw et al., 2008). Les expérimentations du *Chapitre 3* visaient donc à mieux comprendre comment l'animal réagit lorsqu'il est confronté à différents facteurs de stress en même temps. De manière générale, nos résultats ont mis en évidence l'influence de l'état physiologique du moment de l'animal sur sa réactivité émotionnelle.

La privation alimentaire a exacerbé la réactivité des vaches à la nouveauté et à la soudaineté. Chez les génisses, les réactions à l'isolement et aux manipulations étaient plus intenses lorsque des facteurs de stress d'origine physique et psychologique ont été ajoutés à la privation alimentaire. Ces observations sont particulièrement pertinentes pour le contexte de l'abattage industriel au cours duquel ces deux types de facteurs de stress sont fréquemment cumulés (Terlouw et al., 2008). Dans nos deux expérimentations, les indicateurs classiquement utilisés pour évaluer l'état du métabolisme énergétique n'ont cependant été que peu affectés par la privation alimentaire. D'autres modifications de l'état physiologique des animaux, non décelées par nos méthodes, ont donc probablement influencé leur manière de percevoir les situations environnementales auxquelles ils ont été confrontés (Figure 7).

Il reste cependant à déterminer si l'état physiologique de l'animal module directement sa réactivité émotionnelle ou si cela passe par une modification de son état émotionnel (Figure 7). De nombreux travaux en psychologie montrent combien une émotion peut momentanément biaiser la manière dont l'individu évalue une situation, apprend et mémorise de nouvelles informations (Paul et al., 2005). Par ailleurs, il est envisageable que l'influence

de l'état physiologique de l'animal sur sa réactivité émotionnelle dépende de mécanismes non spécifiques. Certains auteurs suggèrent que le comportement reçoit une influence de mécanismes non spécifiques (Fentress, 1973; Pibram and McGuiness, 1975). Ces mécanismes correspondent à l'excitation de la formation réticulée du tronc cérébral, responsable de l'état d'éveil, qui est à l'origine d'une activation générale accrue (ou « arousal »). Cette dernière se traduit par des réponses comportementales globales plus intenses. A l'heure actuelle, nous ne savons pas si l'activité de cette formation est influencée par la privation alimentaire.

3. Comment les bovins expriment leur stress ? Contributions et limites des variables utilisées

Dans cette thèse, nous avons utilisé des variables comportementales, physiologiques et métaboliques car leur complémentarité permet d'interpréter les réactions des animaux en termes de motivations et de stress (Terlouw et al., 1997).

3.1. L'étude du comportement animal dans le contexte des abattoirs : un outil essentiel pour mieux comprendre le point de vue de l'animal

Dans le contexte de l'abattage, l'analyse du comportement est en général assez peu utilisée pour évaluer l'état de stress de l'animal, certainement en raison des difficultés techniques de l'étude comportementale au sein d'un abattoir. Pourtant, elle permet de mieux comprendre l'impact de certaines procédures d'abattage sur l'état émotionnel de l'animal (Figure 7). Par exemple, les reculs dans les couloirs reflètent probablement une motivation à fuir, couramment interprétée en termes de peur. Dans le piège rotatif, les coups de pieds et les vocalisations émises par l'animal lorsqu'il est comprimé par les parois du piège indiqueraient un état d'inconfort et éventuellement de la douleur. Ainsi, l'étude du comportement en abattoir permet de mieux comprendre à quels aspects des procédures d'abattage les animaux réagissent.

Certaines réactions comportementales peuvent avoir des conséquences dramatiques pour l'animal. Par exemple, les reculs dans les couloirs des abattoirs peuvent aboutir à des glissades et des compressions des animaux qui se trouvent bloqués entre deux obstacles. Lorsque les animaux sont ainsi comprimés, en plus de l'inconfort physique et probablement mental, ils peuvent également chuter, être piétinés et s'étouffer (observations personnelles).

La contribution essentielle de l'étude des comportements en abattoirs, ainsi que leurs conséquences notables sur le bien-être de l'individu, démontrent qu'il est indispensable d'inclure les variables comportementales dans les études menées dans le contexte d'abattages industriels.

Afin de comprendre les motivations d'un animal et d'appréhender son état émotionnel, l'interprétation du comportement nécessite cependant de prendre des précautions. Certains comportements semblent spécifiques à une situation donnée ce qui facilite leur interprétation. Par exemple, le sursaut est caractéristique d'une réaction à un événement soudain (Désiré et al., 2004; Greiveldinger et al., 2007) et sa fréquence peut traduire l'intensité de la réactivité à la soudaineté. En revanche, d'autres comportements semblent sous-tendus par différentes motivations selon qu'ils sont faiblement ou fortement exprimés. Dans le contexte d'isolement dans un environnement nouveau (*Article 4*), l'absence de locomotion peut exprimer une faible motivation à explorer (Vandenhede et al., 1998; Boissy et al., 2005a). Dans ce même contexte, un niveau de locomotion élevé refléterait un comportement de recherche des congénères et de tentative de fuite (Veissier and Le Neindre, 1992; Grignard et al., 2000). Cet exemple montre que pour un contexte donné pouvant être à l'origine d'émotions négatives, le niveau d'expression d'un comportement peut traduire des motivations différentes plutôt que de refléter l'intensité d'une même motivation.

3.2. La complémentarité des variables physiologiques

Dans la présente thèse, nous avons utilisé plusieurs types de variables physiologiques afin d'évaluer l'état de stress des bovins dans le contexte de l'abattage (Figure 7). Plus les indicateurs permettant d'appréhender l'état de stress d'un individu sont variés, plus les interprétations sont précises (Terlouw et al., 1997). Par exemple, nous avons déterminé que les niveaux plus élevés de cortisol et de catécholamines urinaires des taurillons Angus, par rapport aux Limousins et Blonds d'Aquitaine, ne reflétaient probablement pas leur état de stress au vu de l'absence de différence entre leurs niveaux de cortisol plasmatique et leurs fréquences cardiaques (*Article 3*).

De même que le comportement, les variables physiologiques doivent être interprétées avec prudence. Les ajustements physiologiques d'un individu lui permettent de répondre à ses besoins sans pour autant indiquer un état de stress. Bien souvent, les mêmes variables physiologiques peuvent être impliquées dans différents mécanismes. Par exemple, un taux

d'hématocrite élevé peut indiquer un état de déshydratation (Mitchell et al., 1988; Jarvis et al., 1996) mais il peut aussi traduire une libération d'érythrocytes par la rate suite à un effort physique (Wolski, 1998) comme indiqué dans le *Chapitre 1*.

3.3. La vitesse du métabolisme musculaire *post-mortem* : un indicateur pertinent pour évaluer l'état de stress des bovins *a posteriori*

L'influence du stress sur la vitesse initiale du métabolisme musculaire *post-mortem*, indiquée par la mesure du pH précoce, est bien connue chez les porcs et des volailles (Lawrie, 1998). Par rapport aux bovins, les muscles de ces espèces contiennent proportionnellement plus de fibres dites rapides (glycolytiques), qui sont plus sensibles aux effets du stress (Gregory, 1998). Dans cette thèse, nous avons démontré que même chez le bovin, dont les muscles contiennent proportionnellement plus de fibres dites lentes (oxydatives), le pH précoce constitue un indicateur pertinent de l'état de stress des bovins dans le contexte de l'abattage (Figure 7). Bien que le pH musculaire *post-mortem* soit influencé par de nombreux paramètres (caractéristiques physiques, niveau de testostérone, pouvoir tampon des muscles...), les bovins qui réagissent plus fortement aux procédures d'abattage, ont un métabolisme musculaire *post-mortem* plus rapide (indiqué par un pH musculaire précoce faible).

En plus de l'influence du stress, les travaux de cette thèse ont mis en évidence d'autres effets des procédures d'abattage sur la vitesse du métabolisme musculaire *post-mortem*. Dans l'abattoir industriel que nous avons étudié, les compressions des bovins dans les couloirs expliquaient une partie importante de la variabilité du pH précoce (jusqu'à 77 % dans le *Longissimus dorsi*). De même dans cet abattoir, certaines procédures inhérentes à l'abattage halal, telle que la contention dans le piège rotatif, accélèrent la vitesse du métabolisme musculaire.

Au-delà de l'intérêt lié à l'évaluation de l'état de stress de l'animal, les facteurs influençant la vitesse de chute du pH *post-mortem*, y compris les réactions de stress et les compressions subies par les bovins dans les couloirs d'abattage, pourraient avoir des répercussions sur la qualité sensorielle de la viande. En effet, une étude a montré que chez les génisses, la vitesse de chute du pH musculaire *post-mortem* contribuerait à expliquer les différences ultérieures dans la tendreté de la viande (O'Halloran et al., 1997).

D'un point de vue pratique, les mesures du pH précoce présentent l'avantage d'être facilement réalisables, et ce, à moindre coût. Cependant, la vitesse de diminution du pH est irrégulière au sein du muscle. Afin d'obtenir une valeur globale du pH précoce à un instant donné, il est donc nécessaire d'effectuer plusieurs points de mesures par muscle. De plus, lorsque les mesures du pH sont effectuées très précocement après la saignée (jusqu'à 40 min *post-mortem*), le pH évolue rapidement. Il est alors préférable de broyer préalablement le muscle dans une solution permettant de stopper les réactions biochimiques et donc la diminution de pH (cf. « Méthodologie Générale »).

3.4. L'évaluation de la perte de conscience

Les travaux de ma thèse se sont principalement intéressés aux facteurs intervenant pendant certaines procédures pré-abattage, mais des résultats concernant l'évaluation de la perte de conscience ont été aussi obtenus (*Chapitre I*). S'assurer de l'état d'inconscience d'un animal est d'une importance capitale d'un point de vue éthique. Pour les abattages conventionnels, l'étourdissement des animaux afin qu'ils soient inconscients au moment de leur saignée est imposé depuis 1974 par la première directive européenne traitant de la protection animale à l'abattage¹. Après la saignée, que ce soit pour les abattages conventionnels ou religieux, il est également indispensable de garantir l'état d'inconscience d'un animal avant de procéder aux étapes de découpe. L'état d'inconscience d'un animal peut être évalué par l'examen des potentiels évoqués à l'aide d'un électroencéphalogramme. L'absence durable de potentiels évoqués reflète un état d'inconscience (Gregory, 1998). Toutefois, cette technique lourde demeure inapplicable sur le terrain. De ce fait, la recherche d'autres indicateurs de l'état de conscience utilisables sur le terrain est essentielle.

L'absence du réflexe cornéen² et celle du réflexe palpébral³ sont considérées comme des indicateurs d'inconscience pertinents (Gregory, 1998; EFSA, 2004). Le réflexe cornéen est un indicateur particulièrement robuste puisque l'animal perd conscience avant de perdre le réflexe cornéen (Gregory, 1998). Néanmoins, nous avons vu que la perte de ces réflexes oculaires peut n'être que temporaire. Ceci ne veut pas nécessairement indiquer que l'animal recouvre un état de conscience, mais cette hypothèse ne peut pas être exclue. De plus, chez les

¹ Publiée au Journal Officiel Européen du 26/11/1974, p.10 (Source : site Internet eur-lex.europa.eu)

² Le réflexe cornéen est présent lorsque la paupière se ferme suite à une légère pression exercée sur la cornée, le plus souvent à l'aide d'un doigt.

³ Le réflexe palpébral est présent lorsque la paupière se ferme suite à l'effleurement de celle-ci, le plus souvent à l'aide d'un doigt.

bovins adultes, les tests des réflexes oculaires ne sont pas toujours facilement réalisables sur le terrain pour des raisons pratiques et sécuritaires à cause de la dangerosité de la proximité avec les bovins. Ces observations mettent en évidence la nécessité de disposer d'autres indicateurs de perte de conscience.

Dans le cadre d'un étourdissement au pistolet, l'effondrement immédiat de l'animal (Gregory et al., 2007), ainsi que l'absence de redressement de la tête ou du corps suite à l'effondrement (EFSA, 2004), sont également considérés comme des indicateurs d'inconscience. Cependant, nos observations dans le cadre d'abattages religieux suggèrent que même si les redressements de la tête sont plus fréquents chez les animaux conscients, ils peuvent aussi être observés chez des animaux considérés comme inconscients. Ces redressements sont probablement influencés par d'autres facteurs, comme par exemple les différentes postures de l'animal liées aux procédures de l'abattage (affalage, suspension sur la chaîne, etc.).

Enfin, la prévalence des mouvements de mâchoire et des tremblements musculaires est partiellement liée à la présence ou l'absence du réflexe cornéen. Cependant, l'association entre ces indicateurs n'est pas totale, ce qui indique que ces signes physiques n'ont pas un pouvoir discriminant suffisant pour être utilisés seuls.

En général, nos observations sur le terrain mettent en évidence la nécessité d'associer différentes mesures afin que leur complémentarité puisse permettre d'évaluer de manière fiable l'état d'inconscience des animaux. Des études supplémentaires en conditions contrôlées sont nécessaires afin de préciser les liens entre les différents indicateurs potentiels de l'état d'inconscience.

4. Validité de nos résultats expérimentaux au regard du contexte de l'abattage industriel

Dans le contexte de l'abattage industriel, les facteurs de stress qui interviennent sont beaucoup plus nombreux, beaucoup plus imbriqués et probablement beaucoup plus intenses que dans nos conditions expérimentales simplifiées. Au vu de la complexité de la période d'abattage, il est en effet envisageable que dans ce contexte les individus ne puissent pas intégrer et traiter la totalité des informations. La littérature n'offre que peu de données concernant les capacités cognitives des bovins, et plus largement des animaux de ferme. Toutefois, des analogies entre des données obtenues sur le terrain et nos résultats

expérimentaux indiquent que ceux-ci seraient transposables au contexte de l'abattage industriel.

4.1. Similitudes avec nos observations sur le terrain

Plusieurs résultats issus de nos expérimentations effectuées en situations simplifiées (*Chapitres 2 & 3*), se retrouvent dans nos observations réalisées sur le terrain (*Chapitre 1*).

D'une part, nous avons observé des effets similaires du type d'animal sur la réactivité des bovins. Par exemple, la réactivité plus prononcée des taurillons Blonds d'Aquitaine par rapport aux Charolais ou aux Angus, se distingue à la fois dans nos situations de tests simplifiées et lors des abattages industriels. De même, la plus forte réactivité à l'Homme chez les bovins mâles par rapport aux femelles a été observée dans nos expérimentations mais aussi sur le terrain. En abattoir, elle conduisait les opérateurs à augmenter la densité d'individus dans les couloirs d'attente pour éviter que les taurillons ne se blessent de par leurs réactions intenses. Lors de nos expérimentations, ces différences nous ont menés à adapter notre test de réactivité à l'Homme en limitant la durée et le type de manipulations sur les taurillons par rapport aux vaches et aux génisses. Il est nécessaire de souligner que dans ces deux contextes, les effets de la race et/ou du sexe sont probablement partiellement confondus avec ceux de l'expérience antérieure des animaux liée à leurs conditions d'élevage.

D'autre part, dans nos expérimentations et sur le terrain, nous avons observé des réactions comportementales semblables. Par exemple, les sursauts et les reculs ont été observés dans nos tests de réactivité et dans les couloirs d'attente de l'abattoir. Dans le premier cas, ces comportements ont été observés suite à l'ouverture du parapluie ou au déclenchement du jet d'air. Dans le deuxième cas, les sursauts et les reculs étaient exprimés par l'animal positionné juste devant le piège d'étourdissement en réponse au bruit provoqué par le tir au pistolet et l'effondrement de l'animal étourdi. Dans ces deux contextes (terrain et expérimental), ces comportements expriment les réactions à un événement soudain (Désiré et al., 2004) et traduisent probablement une motivation à fuir.

4.2. Cohérence avec les données de la littérature

Certains résultats issus de nos expérimentations sont cohérents avec ceux provenant d'études menées sur le terrain. Nous avons vu que les génisses soumises à la fois à une privation alimentaire et à une activité physique imposée étaient plus agressives envers leurs congénères. Chez le porc, des études menées en conditions d'abattage industriel montrent que

les combats observés pendant l’attente dans les aires de stockage sont plus fréquents lorsque les animaux ont été privés de nourriture (Brown et al., 1999). Ces travaux montrent que, au moins dans le cas de la privation alimentaire, ces effets ne sont pas masqués par la quantité, la variété et l’intensité des facteurs de stress intervenant pendant la période d’abattage.

Enfin, les liens mis en évidence entre la réactivité émotionnelle des bovins et leurs réactions de stress à l’abattage vont dans le même sens que les résultats d’études menées chez des porcs (Terlouw et al., 2005; Terlouw and Rybarczyk, 2008) et des ovins (Deiss et al., 2009b) abattus dans des conditions industrielles.

5. Vers une amélioration des conditions d’abattage des bovins

5.1. Agir sur les facteurs liés à l’environnement

5.1.1. Limiter les sources de stress : l’exemple de la privation alimentaire

La première voie à emprunter pour améliorer les conditions d’abattage des bovins, et sans doute des autres espèces, consiste à mieux adapter l’environnement à l’animal, en limitant les sources de stress, mais aussi les facteurs qui peuvent accentuer la réactivité aux sources de stress.

Chez les bovins, les effets physiologiques de la privation alimentaire ne sont pas facilement appréhendables (*Chapitre 3*). Pourtant, nous avons montré que la privation alimentaire exacerbe la réactivité à des facteurs de stress d’origine psychologique. Ceci suggère qu’au moins indirectement la privation alimentaire influence l’état de stress des bovins. Ainsi, l’ensemble des avantages et désavantages de la privation alimentaire dans le contexte de l’abattage doit être pris en compte afin de trouver les solutions les mieux adaptées en termes de bien-être animal, tout en respectant les contraintes liées à l’abattage.

Un grand nombre de facteurs de stress d’origine physique interviennent tout au long de la période d’abattage, comme par exemple la fatigue ou la douleur (Terlouw et al., 2008). Nous devons à la fois tenir compte des conséquences directes de ces différents facteurs mais aussi de leur impact potentiel sur la réactivité émotionnelle des animaux.

5.1.2. *Mieux gérer les contraintes de l'abattage et étudier l'ensemble des procédures utilisées*

D'autres aspects liés à l'environnement, plus rarement abordés dans la littérature, doivent aussi être pris en compte. Nous avons vu en introduction que le stress à l'abattage est souvent étudié en termes d'étapes (transport, attente en abattoir...). Cependant, un certain nombre de contraintes, communes à tous les abattoirs ou propres à chacun d'eux, interviennent également. Ces contraintes peuvent modifier le déroulement de certaines procédures et ainsi avoir des conséquences négatives d'un point de vue des conditions d'abattage des animaux. Les aspects organisationnels de l'abattoir peuvent influencer la manière dont sont gérés les animaux. Par exemple, alors que les animaux passaient en moyenne 20 h dans l'abattoir avant leur saignée, certains types d'animaux pouvaient attendre près de 50 h. Cette variabilité résulte de contraintes organisationnelles obligeant les opérateurs à planifier l'ordre des abattages des bovins selon leurs caractéristiques (âge, sexe, type d'abattage), plutôt qu'en fonction de leur ordre d'arrivée sur le site. De la même manière, d'autres aspects liés à l'équipement de l'abattoir influencent également les procédures d'abattage ainsi que leur impact sur les animaux (*Chapitre 1*).

Certaines procédures d'abattage sont très peu abordées dans la littérature, probablement en raison de leur variabilité entre les sites d'abattage, telles que la conduite et l'attente dans les couloirs d'abattage ou les pièges d'étourdissement et de saignée. Ces procédures peuvent pourtant avoir un impact notable sur l'état de stress de l'animal. Nous avons vu dans le *Chapitre 1* que ces étapes peuvent être associées à des reculs, des compressions, des vocalisations et des coups de pieds de la part des bovins. Ces procédures provoquent parfois une élévation du taux d'hématocrite et peuvent avoir des conséquences directes sur le métabolisme énergétique *post-mortem*. Sur le terrain, la quantification de ces procédures permet de mieux comprendre à quoi les animaux sont exposés en abattoirs. Par exemple, dans notre étude les bovins recevaient en moyenne 7 coups de pile électrique depuis leur déchargement, jusqu'à leur entrée dans le piège d'étourdissement ou de saignée. Certains n'en recevaient aucun, alors que d'autres pouvaient recevoir jusqu'à 26 coups de pile. L'analyse rapportée à la durée des procédures a montré que lors de la conduite des bovins dans les pièges, ces derniers recevaient près de 5 coups de pile par minute. La pile électrique est source de douleur (Broom, 2000). Chez certaines races de bovins, son utilisation continue peut provoquer la mort de l'animal (Grandin, 1987). L'usage modéré de la pile électrique peut

permettre de débloquent des animaux dans certaines situations mais ne doit en aucun cas être utilisée pour pallier des problèmes liés à des aménagements inadaptés à l'avancée des animaux (Broom, 2000). L'exemple de l'analyse détaillée de l'entrée des bovins dans le piège d'étourdissement ou de saignée permet de mettre en évidence la nécessité de se préoccuper de toutes les procédures, y compris les plus courtes car elles peuvent aussi être associées à des sources de stress notables.

L'ensemble des aspects abordés dans cette section met en évidence l'implication des contraintes des abattoirs sur les procédures utilisées et donc sur les facteurs de stress auxquels les animaux sont confrontés. L'exemple de l'étude présentée dans le *Chapitre 1* souligne l'intérêt des interactions entre la communauté scientifique et les professionnels des abattoirs afin de mieux comprendre les contraintes auxquelles ils sont confrontés (voir l'*Annexe* pour plus de détails). Ces travaux attirent également l'attention sur la nécessité de se préoccuper de l'ensemble des procédures d'abattage, même les plus courtes. Ils montrent également l'intérêt de prendre en compte la variabilité dans les procédures plutôt que de s'intéresser uniquement aux moyennes, qui peuvent masquer les cas extrêmes alors qu'ils reflètent une réalité non négligeable.

5.1.3. Améliorer les aménagements et la gestion des animaux

Certains aménagements relativement simples, comme le maintien de l'homogénéité du sol et de la luminosité, ou l'installation de couloirs courbés plutôt que rectilignes, pourraient contribuer à l'amélioration des conditions des bovins en abattoir (Grandin, 1980; 1989)¹. Ces installations doivent cependant être bien réfléchies. Par exemple, le couloir courbé de l'abattoir étudié dans le *Chapitre 1* ne facilitait pas la conduite des bovins car il était associé à d'autres caractéristiques environnementales défavorables à l'avancée des bovins, telles que l'obscurité et le bruit (Grandin, 1989). Les résultats scientifiques issus de notre étude en conditions industrielles ont permis de cibler quelques points critiques en termes de bien-être animal dans l'abattoir étudié, et de formuler des propositions liées aux équipements ou à la gestion des animaux qui pourraient améliorer ces aspects. Par exemple, nous avons mis en évidence des problèmes liés à l'entrée des animaux dans le piège d'étourdissement par rapport au piège rotatif. Pour un même opérateur, la pile était utilisée sur près de 90 % des animaux

¹ Pour plus de détails sur les aménagements et les techniques de manipulations des animaux en abattoirs proposés par Grandin, voir le site Internet www.grandin.com/references/new.corral.html.

dans le premier cas et sur moins de 10 % dans le deuxième. Nous avons alors suggéré des aménagements relatifs à l'entrée des animaux dans le piège d'étourdissement visant à faciliter leur conduite dans celui-ci et à réduire ainsi l'usage de la pile (voir l'*Annexe* pour plus de détails).

5.1.4. Développer l'autoévaluation en abattoirs

En France et plus largement en Europe, nous pourrions poursuivre la démarche mise en oeuvre par Grandin aux Etats-Unis¹. Cet auteur a développé des guides d'autoévaluation destinés aux professionnels des abattoirs permettant de fixer des objectifs à atteindre en termes d'efficacité de l'étourdissement, de chutes des animaux, d'accès à l'eau ou encore d'utilisation de l'aiguillon électrique. En permettant d'impliquer directement le personnel des abattoirs, l'utilisation de ces guides conduit à des améliorations conséquentes des conditions d'abattage des animaux. A titre d'exemple, le pourcentage de bovins recevant plusieurs tirs lors de l'étourdissement, le premier ayant été inefficace, est réduit à 1,4 % seulement dans des abattoirs ayant de telles pratiques d'autoévaluation (Grandin, 2006).

5.2. Agir sur les facteurs liés à l'animal

Nous avons vu que chez les bovins (*Chapitre 2*), mais aussi chez les porcs (Terlouw and Rybarczyk, 2008) et les ovins (Deiss et al., 2009b), il est possible de déterminer les animaux susceptibles de réagir plus fortement à l'abattage en les caractérisant selon leur réactivité émotionnelle individuelle au cours de la période d'élevage. Le vécu et l'origine génétique de l'animal expliquent en partie les différences interindividuelles dans la réactivité émotionnelle des animaux (Boissy, 1998). Ainsi, la deuxième voie permettant d'améliorer les conditions d'abattage des bovins consiste à faciliter l'adaptation de l'individu à son environnement par le biais de son vécu et/ou de ses caractéristiques génétiques.

Plusieurs travaux montrent qu'en intervenant sur le vécu d'un animal, il est possible de moduler sa perception et son évaluation d'une situation donnée. Par exemple chez les animaux domestiques, des manipulations positives effectuées pendant le jeune âge peuvent diminuer la réactivité ultérieure à l'Homme (pour revue voir Rushen et al., 1999), y compris à

¹ Pour plus de détails sur les audits et les guides d'autoévaluation établis par Grandin, voir le site Internet www.grandin.com/survey/survey.html.

l'abattage (Lensink et al., 2001; Terlouw et al., 2005). Ces manipulations doivent tout de même être utilisées avec prudence car leurs effets peuvent dépendre du type de contacts, de l'espèce et de l'âge auquel elles sont effectuées. Des manipulations trop précoces peuvent par exemple affecter le développement comportemental des poulains et avoir des conséquences défavorables sur la relation mère-jeune (Henry et al., 2006; Henry et al., 2009). Des manipulations plus tardives peuvent aussi moduler la réactivité émotionnelle des animaux (Hemsworth et al., 1996; Deiss et al., 2009a). Chez les ovins par exemple, des contacts positifs avec l'Homme au cours de la période d'engraissement permettent d'atténuer leurs réactions de stress aux procédures d'abattage (Deiss et al., 2009a). A l'inverse, des manipulations négatives accentuent les réactions de stress ultérieures des porcs à l'abattage (Terlouw, 2005).

Comme nous l'avons vu dans les *Articles 1 & 3*, les caractéristiques génétiques d'un individu influencent sa réactivité émotionnelle (Plomin et al., 1990), y compris à l'abattage (Terlouw and Rybarczyk, 2008). Des études ont montré que chez les bovins (Dickson et al., 1970; Le Neindre et al., 1995), les porcs (Hemsworth et al., 1990) ou encore les volailles (Jones, 1986), la réactivité à l'Homme est en partie héritable (pour revue voir Grandin and Deesing, 1998). Ainsi, chez les bovins par exemple, il est possible de sélectionner des animaux plus dociles, c'est-à-dire acceptant plus facilement d'être manipulés (Le Neindre et al., 1995). Dans le contexte de l'abattage, nous pouvons supposer qu'un animal plus docile sera probablement moins exposé à des manipulations négatives, comme par exemple une utilisation intensive de la pile électrique (observations personnelles).

Les méthodes de sélection nécessitent tout de même de prendre certaines précautions. Premièrement, l'ensemble des conséquences qui peuvent être engendrées par la sélection d'un caractère particulier doit être envisagé. Chez les ruminants, quelques travaux ont rapporté des corrélations négatives entre la réactivité émotionnelle et la productivité (pour revue voir Boissy et al., 2005b). Cependant, du fait de l'existence connue de corrélations génétiques entre différents caractères notamment comportementaux (Boissy et al., 2005b), la sélection opérée sur certains caractères liées à la réactivité émotionnelle peut conduire à sélectionner également d'autres caractères potentiellement défavorables. C'est le cas par exemple chez le renard argenté, pour lequel la sélection sur des caractères liés à une réactivité à l'Homme plus faible s'est accompagnée de modifications phénotypiques et physiologiques désavantageuses (Belyaev, 1979). Deuxièmement, quelles sont les limites éthiques de la sélection ? Il ne s'agit pas de sélectionner des animaux moins réactifs dans le but de pouvoir les placer dans des

conditions inadaptées. Cet outil doit être utilisé comme une méthode supplémentaire visant à améliorer le bien-être animal en élevage et à l'abattage, mais ne doit pas conduire à ne plus rechercher à améliorer les conditions environnementales dans lequel l'animal vit et meurt.

6. Perspectives

La période d'abattage est complexe car elle se compose d'une succession de situations qui sont à l'origine d'une multitude de sources de stress. L'animal est confronté à un environnement changeant qui nécessite en permanence des adaptations comportementales et physiologiques affectant l'état émotionnel de l'individu.

Nous avons vu dans cette thèse que la réactivité émotionnelle, influencée par l'origine génétique et le vécu de l'animal, explique en partie les réactions de stress des bovins à l'abattage. L'état physiologique, et probablement émotionnel, du moment influence également les réactions des bovins, vraisemblablement parce qu'il module leur perception des procédures d'abattage. Nos travaux sur le terrain mettent en évidence la nécessité de tenir compte de toutes les procédures d'abattage, y compris les plus courtes, mais aussi des contraintes organisationnelles des abattoirs car elles ont des conséquences sur l'état de stress des bovins.

Afin d'améliorer les conditions d'abattage des bovins et réduire leur état de stress dans ce contexte, il est possible d'agir sur les aspects liés à l'environnement d'abattage en limitant les sources de stress directes et indirectes intervenant au cours de toutes les procédures d'abattage. La deuxième voie consiste à agir au niveau de l'animal par le biais de son expérience antérieure et de sa génétique tout en gardant à l'esprit certaines précautions et considérations éthiques. Plusieurs perspectives, dont les principales sont présentées ci-dessous, se dégagent de mes travaux de thèse.

La première perspective viserait à élargir et à combiner les facteurs testés dans nos expérimentations afin de cibler précisément les caractéristiques élémentaires des situations intervenant pendant la période d'abattage. Des approches développées en psychologie humaine stipulent qu'une émotion est déclenchée par l'évaluation que l'individu entreprend d'une situation donnée. Cette évaluation repose sur des caractéristiques élémentaires, telles que la nouveauté, la soudaineté, la contrôlabilité, la prévisibilité ou encore la correspondance aux attentes. La combinaison de ces caractéristiques détermine la nature des émotions déclenchées (Scherer, 1999). Des travaux ont montré que la plupart de ces caractéristiques

sont perçues par les ovins ce qui suggèrent qu'un certain nombre d'émotions déclenchées par la perception et l'évaluation de ces caractéristiques pourraient être ressenties par les ovins (Désiré et al., 2004; Désiré et al., 2006; Greiveldinger et al., 2009). Des études supplémentaires visant à affiner les situations intervenant dans le contexte de la période d'abattage en termes de caractéristiques élémentaires pourraient être conduites pour appréhender les émotions qui pourraient être déclenchées chez les bovins, et les autres espèces, dans ce contexte.

Dans ces travaux complémentaires, l'étude de l'effet de la contrôlabilité et de la prévisibilité d'une situation sur l'état de stress des animaux serait particulièrement intéressante (Figure 7). Au cours de la période d'abattage, l'animal est confronté à une succession d'événements sur lesquels il n'a par définition aucune possibilité de contrôle ou de prévision puisque toutes les procédures lui sont imposées. De nombreux auteurs ont observé des réactions de stress prononcées en réponse à des événements perçus comme incontrôlables ou imprévisibles (Weiss, 1972; Barnett and Cowan, 1976; Misslin and Cigrang, 1986), y compris chez les animaux de ferme (Bassett and Buchanan-Smith, 2007; Greiveldinger et al., 2007; Greiveldinger et al., 2009). On peut alors se demander si dans le contexte de l'abattage la non contrôlabilité et l'imprévisibilité seraient des sources intenses de stress, qui plus est récurrentes tout au long de cette période.

Par ailleurs, il serait intéressant de pouvoir étendre l'approche que nous avons utilisée dans les expérimentations portant sur la privation alimentaire. Ceci permettrait d'évaluer l'influence d'autres facteurs de stress d'origine physique, telles que la douleur ou la fatigue, sur la réactivité émotionnelle des bovins et des autres espèces. Nous avons aussi montré que l'exposition à des facteurs de stress d'origine physique (exercice) et psychologique (manipulations par l'Homme) cumulée à la privation alimentaire intensifient la réactivité émotionnelle des génisses. Des travaux complémentaires permettraient de dissocier les effets dus à chacun de ces types de facteurs de stress et pourraient déterminer l'impact potentiel de leur interaction. Il serait également utile de tester les capacités cognitives des bovins en termes de traitement de situations complexes impliquant de nombreux facteurs de stress d'origine physique et psychologique.

Dans nos expérimentations, les tests de réactivité étaient réalisés individuellement. Au cours de la période d'abattage, les bovins peuvent être séparés de leurs congénères familiers dès la préparation des animaux à la ferme. Cependant, ils sont par la suite fréquemment en

présence d'autres congénères probablement stressés. Il serait intéressant de déterminer si, dans le contexte de l'abattage, la présence de congénères stressés peut influencer la réactivité émotionnelle des animaux. Chez les espèces grégaires, la réactivité à différents facteurs de stress peut être réduite en présence de congénères en raison d'un effet d'apaisement social (nommé "social buffering", Epley, 1974). L'effet de l'apaisement social dépend néanmoins de l'état de stress des congénères. Les bovins sont capables de percevoir l'état de stress de leurs congénères en partie à l'aide de médiateurs olfactifs présents dans l'urine (Boissy et al., 1998; Terlouw et al., 1998). Boissy *et al.* (1998) ont comparé les réactions de génisses exposées à un environnement nouveau et à un événement soudain (un jet d'air) soit en présence d'un congénère non-stressé, soit en présence d'un congénère stressé à l'aide de chocs électriques provoquant des réactions de peur conditionnées. Leurs résultats montrent que les génisses accompagnées d'un congénère stressé présentaient un niveau de cortisol supérieur ainsi que des latences à s'alimenter plus élevées que les génisses accompagnées d'un congénère non stressé.

Comme expliqué précédemment, il est essentiel de s'assurer de l'état d'inconscience des animaux suite à l'étourdissement et à la saignée afin d'éviter des souffrances inutiles. Des études supplémentaires en conditions contrôlées sont nécessaires pour comprendre les liens entre les différents indicateurs potentiels d'inconscience en standardisant les procédures d'abattage, les délais d'observations des indicateurs et les postures des animaux au moment des observations. Il serait aussi nécessaire d'étudier les liens potentiels entre le retour du réflexe cornéen et l'état de conscience des animaux. L'ensemble de ces travaux permettrait à plus long terme de disposer d'une liste d'indicateurs fiables et utilisables en routine directement par les opérateurs concernés sur la chaîne d'abattage. Actuellement, les opérateurs utilisent, souvent intuitivement, certains critères afin d'évaluer l'état de conscience des animaux. Par exemple, la flexion des pattes des bovins lorsqu'ils sont sur le sol est considérée comme un indicateur d'un étourdissement inefficace par certains opérateurs (communication personnelle). Nous pourrions également étudier la validité et la pertinence de ces critères.

Enfin, il serait intéressant d'étudier dans quelle mesure les facteurs humains peuvent influencer le déroulement des procédures d'abattage auxquelles sont exposés les animaux. En effet, l'état de stress et de fatigue des opérateurs, leurs conditions de travail, ainsi que leur

représentation de l'animal, sont autant de facteurs qui pourraient avoir des conséquences sur la manière dont sont traités les animaux et donc sur leur état de stress.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anil, M.H., McKinstry, J.L., Gregory, N.G., Wotton, S.B., Symonds, H., 1995. Welfare of calves - 2. Increase in vertebral artery blood flow following exsanguination by neck sticking and evaluation of chest sticking as an alternative slaughter method. *Meat Science*, 41, 113-123.
- Baldock, N.M., Sibly, R.M., 1990. Effects of handling and transportation on the heart rate and behaviour of sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 28, 15-39.
- Bartnett, S.A., Cowan, P.E., 1976. Activity, exploration, curiosity and fear: an ethological study. *Interdisciplinary Science Reviews*, 1, 43-62.
- Bassett, L., Buchanan-Smith, H.M., 2007. Effects of predictability on the welfare of captive animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 102, 223-245.
- Bekoff, M., 1977. Mammalian dispersal and the ontogeny of individual behavioral phenotypes. *American Naturalist*, 111, 715-732.
- Belyaev, D.K., 1979. Destabilizing selection as a factor in domestication. *The Journal of Heredity*, 70, 301-308.
- Bendall, J.R., 1973. *Post-mortem* changes in muscle. In: Bourne, G.H. (Ed.), *Structure and function of muscle*. 2nd ed, Academic Press, New York, pp. 244-309.
- Boissy, A., Bouissou, M.F., 1995. Assessment of individual differences in behavioural reactions of heifers exposed to various fear-eliciting situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 46, 17-31.
- Boissy, A., Le Neindre, P., 1997. Behavioral, cardiac and cortisol responses to brief peer separation and reunion in cattle. *Physiology & Behaviour*, 61, 693-699.
- 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.
- Boissy, A., Terlouw, C., Le Neindre, P., 1998. Presence of cues from stressed conspecifics increases reactivity to aversive events in cattle: evidence for the existence of alarm substances in urine. *Physiology & Behaviour*, 63, 489-495.

- Boissy, A., Bouix, J., Orgeur, P., Poindron, P., Bibe, B., Le Neindre, P., 2005a. 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., Fisher, A.D., Bouix, J., Hinch, G.N., Le Neindre, P., 2005b. Genetics of fear in ruminant livestock. *Livestock Production Science*, 93, 23-32.
- Boissy, A., Arnould, C., Chaillou, E., Colson, V., Désiré, L., Duvaux-Ponter, C., Greiveldinger, L., Leterrier, C., Richard, S., Roussel, S., Saint-Dizier, H., Meunier-Salaün, M.C., Valance, D., 2007a. Emotions et cognition : stratégie pour répondre à la question de la sensibilité des animaux. *INRA Productions Animales*, 20, 17-22.
- Boissy, A., Ligout, S., Foulquié, D., Gautier, A., Moréno, C., Delval, E., François, D., Bouix, J., 2007b. Analyse génétique de la réactivité comportementale chez les ovins : pour une stratégie combinant bien-être animal et production, Actes des 14^{èmes} Rencontres Recherches Ruminants, Paris, France, pp. 301-304.
- Boivin, X., Le Neindre, P., Chupin, J.M., Garel, J.P., Trillat, G., 1992. Influence of breed and early management on ease of handling and open-field behaviour of cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 32, 313-323.
- Boivin, X., Gilard, F., Egal, D., 2009. The effect of early human contact and the separation method from the dam on responses of beef calves to humans. *Applied Animal Behaviour Science*, 120, 132-139.
- Botreau, R., 2008. *Evaluation multicritère de bien-être animal : exemple des vaches laitières en ferme*. PhD thesis, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Paris.
- Botreau, R., Veissier, I., Perny, P., 2009. Overall assessment of animal welfare: strategy adopted in Welfare Quality. *Animal Welfare*, 18, 363-370.
- Bradshaw, R.H., Hall, S.J.G., Broom, D.M., 1996. Behavioural and cortisol response of pigs and sheep during transport. *Veterinary Record*, 138, 233-234.

- Broom, D.M., 1987. Applications of neurobiological studies to farm animal welfare. In: Wiepkema, P.R., van Adrichem, P.W.M. (Eds.), *Biology of stress in farm animals: an integrative approach*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Boston, UK, pp. 101-110.
- Broom, D.M., 2000. Welfare assessment and problem areas during handling and transport. In: Grandin, T. (Ed.), *Livestock handling and transport (2nd edition)*, CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 43-61.
- Brown, S.N., Knowles, T.G., Edwards, J.E., Warriss, P.D., 1999. Relationship between food deprivation before transport and aggression in pig held in lairage before slaughter. *Veterinary Record*, 145, 630-634.
- Brown, S.N., Knowles, T.G., Wilkins, L.J., Chadd, S.A., Warriss, P.D., 2005. The response of pigs to being loaded or unloaded onto commercial animal transporters using three systems. *The Veterinary Journal*, 170, 91-100.
- Cannon, W.B., 1914. The emergency function of the adrenal medulla in pain and the major emotions. *American Journal of Physiology*, 33, 356-372.
- Castro Bulle, F.C.P., Paulino, P.V., Sanches, A.C., Sainz, R.D., 2007. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *Journal of Animal Science*, 85, 928-936.
- Cockram, M.S., Kent, J.E., Waran, N.K., IMcGilp, I.M., Jackson, R.E., Amory, J.R., Southall, E.L., O'Riordan, T., McConnell, T.I., Wilkins, B.S., 1999. Effects of a 15h journey followed by either 12h starvation or ad libitum hay on the behaviour and blood chemistry of sheep. *Animal Welfare*, 8, 135-148.
- Connell, J., 1984. *International transport of farm animals intended for slaughter*. Commission of the European Community, Brussels,
- Daly, C.C., Gregory, N.G., Wotton, S.B., 1987. Captive bolt stunning of cattle: Effects on brain function and role of bolt velocity. *British Veterinary Journal*, 143, 574-580.
- Daly, C.C., Kallweit, E.E., F./, 1988. Cortical function in cattle during slaughter: Conventional captive bolt stunning followed by exsanguination compared with shechita slaughter. *Veterinary Record*, 122, 325-329.

Dantzer, R., Mormede, P., 1983. Stress in farm animals: a need for reevaluation. *Journal of Animal Science*, 57, 6-18.

Dawkins, M.S., 1983. *La souffrance animale ou l'étude objective du bien-être animal*. Le Point Vétérinaire, Maisons-Alfort.

Debut, M., Berri, C., Arnould, C., Guemené, 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. *British Poultry Science*, 46, 527-535.

Deiss, V., Astruc, T., Ferreira, C., Terlouw, E.M.C., 2006. Anesthésie gazeuse des porcs : réponses physiologiques et comportementales à différents mélanges gazeux. *Viandes & Produits Carnés*, 25, 71-82.

Deiss, V., Lullier, M., Bourguet, C., Fassier, T., Bouix, J., Terlouw, C., Boissy, A., 2009a. La réactivité émotionnelle module les effets de manipulations tardives sur le stress à l'abattage des ovins, 3ème Journées d'Animation Scientifique du Département de Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage, Tours, France.

Deiss, V., Temple, D., Ligout, S., Racine, C., Bouix, J., Terlouw, C., Boissy, A., 2009b. Can emotional reactivity predict stress responses at slaughter in sheep? *Applied Animal Behaviour Science*, 119, 193-202.

Désiré, L., Boissy, A., Veissier, I., 2002. Emotions in farm animals: a new approach to animal welfare in applied ethology. *Behavioral Processes*, 60, 165-180.

Désiré, L., 2004. *Etude des processus cognitifs impliqués dans la différenciation des émotions chez l'agneau (Ovis aries)*. PhD thesis, Université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand.

Désiré, L., Veissier, I., Després, G., 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.

Désiré, L., Veissier, I., Després, G., Delval, E., Toporenko, G., Boissy, A., 2006. Appraisal Process in Sheep (*Ovis aries*): Interactive Effect of Suddenness and Unfamiliarity on Cardiac and Behavioral Responses. *Journal of Comparative Psychology*, 120, 280-287.

- Dickson, D.P., Barr, G.R., Johnson, L.P., Wieckert, D.A., 1970. Social dominance and temperament of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 53, 904-907.
- Duncan, I.J.H., 2005. Science-based assessment of animal welfare: farm animals. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*, 24, 483-492.
- EFSA, 2004. Welfare aspects of animal stunning and killing methods. Scientific report of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. *Accepted in June 2004 by the European Food Safety Authority*.
- Epley, S.W., 1974. Reduction of the behavioral effects of aversive stimulation by the presence of companions. *Psychological Bulletin*, 81, 271-283.
- Erp-van der Kooij, E.v., Kuijpers, A.H., Schrama, J.W., Eerdenburg, F.J.C.M.v., Schouten, W.G.P., Tielen, M.J.M., 2002. Can we predict behaviour in pigs? Searching for consistency in behaviour over time and across situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 75, 293-305.
- European Commission, 2007a. *Attitudes of EU citizens towards Animal Welfare - Special Eurobarometer 270 / Wave 64.4 - TNS Opinion & Social*.
- European Commission, 2007b. *Attitudes of consumers towards the welfare of farmed animals - Special Eurobarometer 229 (2) / Wave 64.4 - TNS Opinion & Social*.
- Færevik, G., Jensen, M.B., Be, K.E., 2006. Dairy calves social preferences and the significance of a companion animal during separation from the group. *Applied Animal Behaviour Science*, 99, 205-221.
- Farm Animal Welfare Council, 1992. FAWC updates the five freedoms. *Veterinary Record*, 131, 357.
- Febbraio, M.A., Lambert, D.L., Starkie, R.L., Proietto, J., Hargreaves, M., 1998. Effect of epinephrine on muscle glycogenolysis during exercise in trained men. *Journal of Applied Physiology*, 84, 465-470.
- Fentress, J.C., 1973. Specific and nonspecific factors in the causation of behavior. In: Vol. 1, Bateson, P.P.G., Klopfer, P.H. (Eds.), *Perspectives in ethology*, Plenum Press, New York, pp. 155-224.

- Fernandez, X., Levasseur, P., Ecolan, P., 1995. Effect of epinephrine administration on glycogen metabolism in red and white muscle of anaesthetized pigs (*Sus scrofa domesticus*). *Journal of Science of Food and Agriculture*, 68, 231-239.
- Finnie, J.W., 1993. Brain damage caused by a captive bolt pistol. *Journal of Comparative Pathology*, 109, 253-258.
- Forkman, B., Boissy, A., Meunier-Salann, M.-C., Canali, E., Jones, R.B., 2007. A critical review of fear tests used on cattle, pigs, sheep, poultry and horses: Stress and Welfare in Farm Animals. *Physiology & Behavior*, 92, 340-374.
- Fraser, D., Ritchie, J.S.D., Faser, A.F., 1975. The term "stress" in a veterinary context. *British Veterinary Journal*, 131, 653-662.
- Gavinelli, A., 2007. Animal welfare labelling : competitiveness, consumer information and better regulation for the eu, second Welfare Quality stakeholder conference, Berlin, Germany, pp. 23-24.
- Gentle, M.J., Tilston, V.L., 2000. Nociceptors in the legs of poultry: implications for potential pain in preslaughter shackling. *Animal Welfare*, 9, 227-236.
- Geverink, N.A., Engel, B., Lambooi, E., Wiegant, V.M., 1996. Observations on behaviour and skin damage of slaughter pigs and treatment during lairage. *Applied Animal Behaviour Science*, 50, 1-13.
- Grandin, T., 1980. Observations of cattle behavior applied to the design of cattle handling facilities *Applied Animal Ethology*, 6, 19-31.
- Grandin, T., 1987. Animal handling. In: Price, E.O. (Ed.), *Farm animal behavior, veterinary clinics of North America, food animal practice*, WB Saunders, London, UK, pp. 323-338.
- Grandin, T., 1989. Behavioral principles of livestock handling. *Professional Animal Scientist*, 5, 1-11.
- Grandin, T., Deesing, M.J., 1998. Behavioral genetics and animal science. In: Grandin, T. (Ed.), *Genetics and the behavior of domestic animals*, Academic Press, San Diego, pp. 1-30.

- Grandin, T., 2006. Progress and challenges in animal handling and slaughter in the U.S.: Sentience in Animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 100, 129-139.
- Gregory, N.G., Wilkins, L.J., 1989. Broken bones in domestic fowl: handling and processing damage in end-of-lay battery hens. *British Poultry Science*, 30, 555-562.
- Gregory, N.G., 1998. *Animal welfare and meat science*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Gregory, N.G., Lee, C.J., Widdicombe, J.P., 2007. Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. *Meat Science*, 77, 499-503.
- Greiveldinger, L., 2007. *Processus d'évaluation et réponses émotionnelles chez les ovins : prévisibilité, contrôlabilité, correspondance aux attentes et contexte social*. PhD Thesis, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Greiveldinger, L., Veissier, I., Boissy, A., 2007. Emotional experience in sheep: Predictability of a sudden event lowers subsequent emotional responses. *Physiology & Behaviour*, 92, 675-683.
- Greiveldinger, L., Veissier, I., Boissy, A., 2009. Behavioural and physiological responses of lambs to controllable vs. uncontrollable aversive events. *Psychoneuroendocrinology*, 34, 805-814.
- Grignard, L., Boissy, A., Boivin, X., Garel, J.P., Le Neindre, P., 2000. The social environment influences the behavioural responses of beef cattle to handling. *Applied Animal Behaviour Science*, 68, 1-11.
- Grignard, L., Boivin, X., Boissy, A., Le Neindre, P., 2001. Do beef cattle react consistently to different handling situations? *Applied Animal Behaviour Science*, 71, 263-276.
- 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. *Livestock Production Science*, 91, 219-228.
- Hemsworth, P.H., Barnett, J.L., Treacy, D., Madgwick, P., 1990. The heritability of the trait fear of humans and the association between this trait and subsequent reproductive performance of gilts. *Applied Animal Behaviour Science*, 25, 85-95.

- Hemsworth, P.H., Price, E.O., Borgwardt, R., 1996. Behavioural responses of domestic pigs and cattle to humans and novel stimuli. *Applied Animal Behaviour Science*, 50, 43-56.
- Henry, S., Richard-Yris, M.A., Hausberger, M., 2006. Influence of various early human–foal interferences on subsequent human–foal relationship. *Developmental Psychobiology*, 48, 712-718.
- Henry, S., Richard-Yris, M.-A., Tordjman, S., Hausberger, M., 2009. Neonatal handling affects durably bonding and social development. *PLoS One*, 4, e5216.
- Hopster, H., Blokhuis, H.J., 1994. Validation of a heart-rate monitor for measuring a stress response in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 74, 465-474.
- Hughes, B.O., 1976. Behaviour as an index of welfare, Proceedings of the Fifth European Poultry Conference, Malta, pp. 1005-1018.
- Jarvis, A.M., Cockram, M.S., 1994. Effects of handling and transport on bruising of sheep sent directly from farms to slaughter. *Veterinary Record*, 135, 523-527.
- Jarvis, A.M., Cockram, M.S., Mcgilp, I.M., 1996. Bruising and biochemical measures of stress dehydration and injury determined at slaughter in sheep transported from farms or markets. *British Veterinary Journal*, 152, 719-722.
- Jones, R., Nicol, C.J., 1998. A note on the effect of control of the thermal environment on the well-being of growing pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 60, 1-9.
- Jones, R.B., 1986. The tonic immobility reaction of the domestic fowl: a review. *World's Poultry Science Journal*, 42, 82-96.
- Kannan, G., Mench, J.A., 1996. Influence of different handling methods and crating periods on plasma corticosterone concentrations in broilers. *British Poultry Science*, 37, 21-31.
- Kannan, G., Heath, J.L., Wabeck, C.J., Mench, J.A., 1997. Shackling of broilers: effects on stress responses and breast meat quality. *British Poultry Science*, 38, 323-332.
- Keeling, L.J., Gonyou, H.W., 2001. *Social behaviour in farm animals*. CAB International, Wallingford, UK.

- Kenny, F.J., Tarrant, P.V., 1987a. The reaction of young bulls to short-haul road transport. *Applied Animal Behaviour Science*, 17, 209-227.
- Kenny, F.J., Tarrant, P.V., 1987b. The physiological and behavioural responses of crossbred Friesian steers to short-haul transport by road. *Livestock Production Science*, 17, 63-75.
- Kim, D.H., Woo, J.H., Lee, C.Y., 2004. Effects of stocking density and transportation time of market pigs on their behaviour, plasma concentrations of glucose and stress-associated enzymes and carcass quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17, 116-121.
- Knowles, T.G., Brown, S.N., Warriss, P.D., Phillips, A.J., Dolan, S.K., Hunt, P., Ford, J.E., Edwards, J.E., Watkins, P.E., 1995a. Effects on sheep of transport by road for up to 24 hours. *Veterinary Record*, 29, 431-438.
- Knowles, T.G., Warriss, P.D., Brown, S.N., Edwards, J.E., Mitchell, M.A., 1995b. Response of broilers to deprivation of food and water for 24 hours. *British Veterinary Journal*, 151, 197-202.
- Knowles, T.G., 1999. A review of the road transport of cattle. *Veterinary Record*, 144, 197-201.
- Knowles, T.G., Warriss, P.D., 2000. Stress physiology of animals during transport In: Grandin, T. (Ed.), *Livestock handling and transport (2nd edition)*, CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Lacourt, A., Tarrant, P.V., 1985. Glycogen depletion patterns in myofibres of cattle during stress. *Meat Science*, 15, 85-100.
- Lambooi, E., Gerritzen, M.A., Engel, B., Hillebrand, S.J.W., Lankhaar, J., Pieterse, C., 1999. Behavioural responses during exposure of broiler chickens to different gas mixtures. *Applied Animal Behaviour Science*, 62, 255-265.
- Lanier, J.L., Grandin, T., Green, R.D., Avery, D., McGee, K., 2000. The relationship between reaction to sudden, intermittent movements and sounds and temperament. *Journal of Animal Science*, 78, 1467-1474.

- Lansade, L., Bouissou, M.F., Erhard, H.W., 2008. Reactivity to isolation and association with conspecifics: A temperament trait stable across time and situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 109, 355-373.
- Lawrie, R.A., 1998. *Lawrie's meat science (6th edition)*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Le Neindre, P., Poindron, P., Trillat, G., Orgeur, P., 1993. Influence of breed on reactivity of sheep to humans. *Genetics Selection Evolution*, 25, 447-458.
- Le Neindre, P., Trillat, G., Sapa, J., Menissier, F., Bonnet, J.N., Chupin, J.M., 1995. Individual differences in docility in Limousin cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 2249-2253.
- Lensink, B.J., Fernandez, X., Boivin, X., Pradel, P., Le Neindre, P., Veissier, I., 2000. The impact of gentle contacts on ease of handling, welfare, and growth of calves and on quality of veal meat. *Journal of Animal Science*, 78, 1219-1226.
- Lensink, B.J., Fernandez, X., Cozzi, G., Florand, L., Veissier, I., 2001. The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. *Journal of Animal Science*, 79, 642-652.
- Mason, J.W., 1971. A re-evaluation of the concept of "non-specificity" in stress theory. *Journal of Psychiatric Research*, 8, 323-333.
- Micol, D., L'Herm, M., 2010. La production de viande bovine en France. Quels systèmes de production, pour quels produits ? In: Bauchart, D., Picard, B. (Eds.), *Muscle et Viande de Ruminant*, Editions Quae, Versailles, à paraître.
- Misslin, R., Cigrang, M., 1986. Does neophobia necessarily imply fear or anxiety? *Behavioural Processes*, 12, 45-50.
- Mitchell, G., Hattingh, J., Ganhao, M., 1988. Stress in cattle assessed after handling, after transport and after slaughter. *Veterinary Record*, 123, 201-205.
- Mitchell, M.A., Kettlewel, P.J., Maxwell, M.H., 1992. Indicators of physiological stress in broiler chickens during road transportation. *Animal Welfare*, 1, 91-103.

Mormède, P., Soissons, J., Bluthé, R.M., Raoult, J., Legarff, G., Levieux, D., Dantzer, R., 1982. Effect of transportation on blood serum composition, disease incidence, and production traits in young calves. Influence of the journey duration. *Annales de Recherches Vétérinaires*, 13, 369-384.

Mounier, L., Dubroeuq, H., Andanson, S., Veissier, I., 2006. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *Journal of Animal Science*, 84, 1567-1576.

O'Halloran, G.R., Troy, D.J., Buckley, D.J., 1997. The relationship between early post-mortem pH and the tenderisation of beef muscles. *Meat Science*, 45, 239-251.

Paul, E.S., Harding, E.J., Mendl, M., 2005. Measuring emotional processes in animals: the utility of a cognitive approach. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 29, 469-491.

Pibram, K.H., McGuiness, D., 1975. Arousal, activation and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82, 116-149.

Plomin, R., 1990. The role of inheritance in behavior. *Science*, 248, 183-188.

Plomin, R., De Fries, J.J., McClearn, G.E., 1990. *Behavioral Genetics: a Primer*. Freeman Company, New York.

Romeyer, A., Bouissou, M.F., 1992. Assessment of fear reactions in domestic sheep, and influence of breed and rearing conditions. *Applied Animal Behaviour Science*, 34, 93-119.

Rosenvold, K., Andersen, H.J., 2003. Factors of significance for pork quality - a review. *Meat Science*, 64, 219-237.

Rushen, J., Taylor, A.A., de Passillø, A.M., 1999. Domestic animals' fear of humans and its effect on their welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 65, 285-303.

Scherer, K.R., 1999. Appraisal theories. In: Dalglish, T., Power, M. (Eds.), *Handbook of cognition and emotion*, Wiley, Chichester, UK, pp. 637-663.

Selye, H., 1932. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *Journal of Clinical Endocrinology*, 6, 117-152.

- Tarrant, P.V., 1990. Transportation of cattle by road. *Applied Animal Behaviour Science*, 28, 153-170.
- Tarrant, P.V., Kenny, F.J., Harrington, D., Murphy, M., 1992. Long distance transportation of steers to slaughter: Effect of stocking density on physiology, behaviour and carcass quality. *Livestock Production Science*, 30, 223-238.
- Tarrant, V., Grandin, T., 2000. Cattle transport. In: Grandin, T. (Ed.), *Livestock handling and transport (2nd edition)*, CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 151-173.
- Terlouw, C., 2005. Stress reactions at slaughter and meat quality in pigs: genetic background and prior experience: A brief review of recent findings. *Livestock Production Science*, 94, 125-135.
- Terlouw, E.M.C., Schouten, W.G.P., Ladewig, J., 1997. Physiology. In: Appleby, M.C., Hughes, B.O. (Eds.), *Animal Welfare*, CAB International, Wallingford, UK, pp. 143-158.
- Terlouw, E.M.C., Boissy, A., Blinet, P., 1998. Behavioural responses of cattle to the odours of blood and urine from conspecifics and to the odour of faeces from carnivores. *Applied Animal Behaviour Science*, 57, 9-21.
- Terlouw, E.M.C., Porcher, J., 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 Science*, 83, 1664-1672.
- Terlouw, E.M.C., Arnould, C., Auperin, B., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Deiss, V., Lefevre, F., Lensink, B.J., Mounier, L., 2008. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal*, 2, 1501-1517.
- Terlouw, E.M.C., 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.
- Van de Water, G., Heylen, T., Swinnen, K., Geers, R., 2003a. The impact of vertical vibrations on the welfare of calves. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 110, 111-114.

- Van de Water, G., Verjans, F., Geers, R., 2003b. The effect of short distance transport under commercial conditions on the physiology of slaughter calves; pH and colour profiles of veal. *Livest. Prod. Sci.*, 82, 171-179.
- Van Reenen, C.G., Engel, B., Ruis-Heutinck, L.F.M., Van der Werf, J.T.N., Buist, W.G., Jones, R.B., Blokhuis, H.J., 2004. Behavioural reactivity of heifer calves in potentially alarming test situations: a multivariate and correlational analysis. *Applied Animal Behaviour Science*, 85, 11-30.
- Vandenheede, M., Bouissou, M.F., Picard, M., 1998. Interpretation of behavioural reactions of sheep towards fear-eliciting situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 58, 293-310.
- Veissier, I., Le Neindre, P., 1992. Reactivity of Aubrac heifers exposed to a novel environment alone or in groups of four. *Applied Animal Behaviour Science*, 33, 11-15.
- Veissier, I., Boissy, A., Capdeville, J., Sarignac, C., 2000. Le bien-être des animaux d'élevage : comment peut-on le définir et l'évaluer ? *Le Point Vétérinaire*, 31, 117-124.
- Veissier, I., Lensink, B.J., 2003. Qu'est-ce qu'un veau de boucherie ? Qu'est-ce que le bien-être animal ? In: Veissier, I., Bertrand, G., Toullec, R. (Eds.), *Le veau de boucherie : concilier bien-être animal et production*, INRA Editions, Paris, France, pp. 1-21.
- Veissier, I., 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., Boissy A., Désiré, L., Greiveldinger, L., 2009. Animals' emotions: studies in sheep using appraisal theories. *Animal Welfare*, 18, 347-354.
- Voisinet, B.D., Grandin, T., Tatum, J.D., O'Connor, S.F., Struthers, J.J., 1997. Feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments. *Journal of Animal Science*, 75, 892-896.
- Warriss, P.D., 1982. Loss of carcass weight, liver weight and liver glycogen, and the effects on muscle glycogen and ultimate pH in pigs fasted pre-slaughter. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33, 840-846.

- Warriss, P.D., Brown, S.N., 1983. The influence of preslaughter fasting on carcass and liver yield in pigs. *Livestock Production Science*, 10, 273-282.
- Warriss, P.D., Bevis, E.A., Brown, S.N., Edwards, J.E., 1992. Longer journeys to processing plants are associated with higher mortality in broiler chickens. *British Poultry Science*, 33, 201-206.
- Warriss, P.D., Brown, S.N., Knowles, T.G., Kestin, S.C., Edwards, J.E., Dolan, S.K., Phillips, A.J., 1995. Effects on cattle of transport by road for up to 15 hours. *Veterinary Record*, 136, 319-323.
- Warriss, P.D., Wilkins, L.J., Knowles, T.G., 1999. The influence of ante-mortem handling on poultry meat. In: Richardson, R.I., Mead, G.C. (Eds.), *Poultry meat science*, CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 217-230.
- Weiss, J.M., 1972. Psychological factors in stress and disease. *Scientific American*, 226, 104-113.
- Wemelsfelder, F., 1993. The concept of animal boredom and its relationship to stereotyped behaviour. In: Lawrence, A.B., Rushen, J. (Eds.), *Stereotypic animal behaviour: fundamentals and applications to welfare*, CAB International, Wallingford, pp. 65-95.
- Willett, L.B., Erb, R.E., 1972. Short term changes in plasma corticoids in dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 34, 103-111.
- Wolski, L.A., 1998. *The impacts of splenic release of red cells on hematocrit changes during exercise*. PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver.
- Wotton, S.B., O'Callaghan, M., 2002. Electrical stunning of pigs: the effect of applied voltage on impedance to current flow and the operation of a fail-safe device. *Meat Science*, 60, 203-208.
- Zimmerman, P.H., Koene, P., 1998. The effect of loss of predictability and controllability of reward during frustration on behaviour in two strains of laying hens, *Gallus gallus domesticus*. *Netherlands Journal of Zoology*, 48, 255-265.

LISTE DES PUBLICATIONS

Articles scientifiques

- Bourguet C.**, Deiss V., Gobert M., Durand D., Boissy A., Terlouw E.M.C., 2010. Characterising the emotional reactivity of cows to understand and predict their stress reactions to the slaughter procedure. *Applied Animal Behaviour Science*, 125: 9-21.
- Bourguet C.**, Deiss V., Cohen-Tannugi C., Terlouw E.M.C., 2011. Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with context and animal characteristics. *Meat Science*, 88: 158-168.
- Bourguet C.**, Deiss V., Boissy A., Andanson S., Terlouw E.M.C., 2011. Effects of food deprivation on behavioral reactivity and physiological status in Holstein cattle. *Journal of Animal Science*, sous presse.
- Bourguet C.**, Deiss V., Boissy A., Terlouw E.C.M. Young Blond d'Aquitaine, Angus and Limousin bulls differ in emotional reactivity during tests: relationships with physical traits, stress reactions at slaughter and *post-mortem* muscle metabolism. *Animal*, en préparation.
- Bourguet C.**, Deiss V., Gobert M., Durand D., Boissy A., Terlouw E.M.C., 2010. Caractérisation de la réactivité émotionnelle des bovins pour comprendre et prédire leur état de stress au moment de l'abattage. *Vigi-Viande*, « *Veille scientifique et technique des filières bovines et ovines* », bulletin n°13.
- Durand D., Gobert M., **Bourguet C.**, Terlouw C., Deiss V., Parafita E., Habeanu M., Gruffat D., Bauchart D. Protective effect of dietary plant extracts associated with vitamin E on beef lipoperoxidation and color stability from pre-slaughtered stressed cattle. *Animal*, en préparation.

Communications orales avec comité de lecture

- Bourguet C.**, Terlouw C., Deiss V. et Boissy A., 2009. Prédire les réactions de stress à l'abattage chez le bovin adulte. In: 3ème Journées d'Animation Scientifique du Département de Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage, 07-09 octobre 2009. Tours, France.
- Bourguet C.**, Terlouw C., Deiss V. et Boissy A., 2010. La privation alimentaire peut-elle rendre les bovins plus réactifs aux facteurs de stress ? In: Journées de l'Ecole Doctorale, 05 et 06 mai 2010. Clermont-Ferrand, France.

Gobert M., **Bourguet C.**, Terlouw C., Deiss V., Parafita-Thomas E., Bauchart D. et Durand D., 2008. Un apport d'antioxydants alimentaires chez le bovin en finition peut prévenir la lipopéroxydation des viandes, y compris chez des animaux subissant un stress avant l'abattage. In : 12^{ème} édition des Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, 07-08 octobre 2008. Tours, France.

Communications orales sans comité de lecture

Bourguet C., Terlouw C., Deiss V. et Boissy A., 2008. Stress à l'abattage chez les bovins et conséquences sur leur bien-être. In: Conseil Scientifique de l'Unité de Recherche sur les Herbivores, 13 mars 2008. INRA Centre de Clermont-Ferrand/Theix.

Bourguet C., Terlouw C., Deiss V. et Boissy A., 2009. Les réactions au stress à l'abattage chez les bovins et conséquences sur leur bien-être. In: Conseil Scientifique de l'Unité de Recherche sur les Herbivores, 09 avril 2009. INRA Centre de Clermont-Ferrand/Theix.

Bourguet C., Terlouw C., Deiss V. et Boissy A., 2010. La privation alimentaire peut-elle rendre les bovins plus réactifs au stress ? In: Conseil Scientifique de l'Unité de Recherche sur les Herbivores, 26 mars 2010. INRA Centre de Clermont-Ferrand/Theix.

Communications affichées

Bourguet C., Deiss V., Ligout S., Bouix J., Racine C., Terlouw C. et Boissy A., 2008. Individual variations in stress reactivity at slaughter in cattle and sheep. In: The 5th annual meeting of the French Research Group in Ethology, 15-16 mai 2008. Villetaneuse, France.

Bourguet C., Deiss V., Ligout S., Gobert M., Bouix J., Boissy A., Durand D., Terlouw C., 2008. Variabilité individuelle des réactions de stress à l'abattage chez les ovins et les bovins : conséquences sur le métabolisme *post-mortem*. In : 12^{ème} édition des Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, 7-8 octobre 2008. Tours, France.

Gobert M., **Bourguet C.**, Terlouw C., Deiss V., Berdeaux O., Comte B., Gruffat D., Bauchart D., Durand D., 2008. Pre-slaughter stress and lipoperoxidation: protective effect of vitamin E and plant extracts rich in polyphenols given to finishing cattle. In : XIth International Symposium on Ruminant Physiology, 6-9 septembre 2009. Clermont-Ferrand, France.

- Bourguet C.**, Deiss V., Terlouw C., Gobert M., Durand D., Bauchart D., Boissy A., 2009. Predicting stress reactivity to the slaughter procedure in cattle. In: International Ethological Conference, 19-24 août 2009. Rennes, France.
- Deiss V., Lullier M., **Bourguet C.**, Fassier T., Bouix J., Terlouw C. et Boissy A., 2009. La réactivité émotionnelle module les effets de manipulations tardives sur le stress à l'abattage des ovins. In: 3ème Journées d'Animation Scientifique du Département de Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage, 07-09 octobre 2009. Tours, France.

ANNEXE

Présentation de l'annexe

Les travaux menés dans le cadre du *Chapitre 1* sont issus d'une collaboration entre l'abattoir industriel étudié et notre équipe de recherche. Toutes les demandes que nous avons formulées pour mener à bien notre étude ont été acceptées par l'abattoir. Nous avons pu effectuer des observations comportementales depuis l'arrivée des animaux sur le site et jusqu'à leur saignée avec l'aide précieuse des bouviers, des opérateurs des postes d'étourdissement et de saignée ainsi que du responsable de la chaîne d'abattage. Nous avons également été autorisés à faire des prélèvements de sang lors de la saignée des animaux et des mesures de pH et de température *post-mortem*. Nous avons aussi eu accès aux fichiers des 190 bovins observés individuellement afin de relever des informations au sujet de leur origine, de leur âge précis, de leur race et de leur voyage avant d'arriver à l'abattoir.

Il était convenu que nous fournissions un compte-rendu détaillé de notre étude. Ce compte-rendu devait présenter les résultats scientifiques ainsi que nos suggestions pouvant permettre d'améliorer les conditions des bovins au sein de l'abattoir au regard des résultats scientifiques obtenus. Ce compte-rendu est présenté ci-dessous.

Compte-rendu de l'étude en abattoir industriel



*Procédures d'abattage : conséquences pour les animaux
en termes de stress – Propositions d'améliorations*



Procédures d'abattage : conséquences pour les animaux en termes de stress

Propositions d'améliorations

Etude conduite par Cécile Bourguet, Véronique Deiss et Claudia Terlouw

Membres de l'équipe Adaptation et Comportements Sociaux

de l'Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA de Clermont-Ferrand/Theix

Chargées des recherches sur le stress à l'abattage

En collaboration avec

Carole Cohen Tannugi

Contact :

Claudia Terlouw ou Véronique Deiss,

INRA UR1213 Herbivores,

Centre de Clermont-Ferrand/Theix,

Adaptation et Comportements Sociaux,

F-63122 Saint-Genès Champanelle, France

Tel: +33 473 62.45 69, +33 473 62 43 99,

Fax: +33 473 62 41 18

Mail: claudia.terlouw@clermont.inra.fr,

vdeiss@clermont.inra.fr

Introduction & Démarche expérimentale

1. Contexte & Objectifs de l'étude

L'équipe Adaptation et Comportements Sociaux fait partie de l'Unité de Recherches sur les Herbivores de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), situé à St-Genès-Champanelle près de Clermont Ferrand. Sa vocation est d'étudier les causes et les conséquences du stress chez les ruminants lors de la période d'élevage jusqu'au moment de l'abattage. Les approches utilisées sont à la fois expérimentales (simulations) et pratiques (études sur le terrain). Les connaissances acquises ont pour objectif de mieux respecter le bien être animal, de faciliter le travail des éleveurs et des autres intervenants (transporteurs, bouviers d'abattoirs) et d'aider à la maîtrise de la productivité et des qualités des produits.

Deux permanentes (V. Deiss et C. Terlouw) et une doctorante (C. Bourguet) de cette équipe sont chargées d'étudier spécifiquement les causes et conséquences du stress à l'abattage. Avec l'accord de la Direction de l'abattoir et avec la contribution de C. Cohen Tannugi, elles ont réalisé une étude dans un abattoir, en mai et juin 2009, pendant 2 périodes de 5 jours consécutifs chacune.

L'objectif scientifique était de caractériser les réponses de stress des animaux et de les relier au contexte environnemental d'un abattoir industriel. L'objectif finalisé était de donner les moyens au personnel de l'abattoir d'évaluer l'impact des procédures d'abattage telles qu'elles étaient pratiquées, sur l'état de stress des animaux, et de pouvoir envisager des évolutions. L'étude s'est également intéressée à l'impact de l'étourdissement et de l'abattage halal sur plusieurs indicateurs de conscience ou d'inconscience dans le but d'améliorer nos connaissances sur leurs relations.

Pour atteindre cet objectif, les procédures d'abattage et le comportement des animaux ont été observés, sans intervenir dans les procédures habituelles de l'abattoir, au cours de chacune des étapes suivantes: déchargement, identification, reprise, étourdissement, saignée (halal et standard). En outre, sur certains animaux, des mesures physiologiques (cortisol et hématoците dans le sang de saignée) et métaboliques (pH et température du muscle 1h *post-mortem*) ont été effectuées.

2. Démarche expérimentale

L'Abattoir

L'abattoir abat en moyenne 240 bovins adultes, 90 veaux et 300 moutons par semaine, 44% des bovins étant abattus selon la procédure halal et 56% selon la procédure standard. Les abattages ont lieu entre 04h et 11h. Chaque expérimentateur était chargé d'observer une zone spécifique de l'abattoir (Fig. 1). La première zone comprenait le quai de déchargement, le couloir d'identification et les parcs de stockage extérieurs. La deuxième comprenait le couloir d'entrée dans la bouverie et les couloirs d'abattage qui conduisent au piège d'étourdissement (couloir droit) et au piège halal (couloir courbé). La troisième zone comprenait les pièges (standard et halal), ainsi que le rail de suspension et de saignée (pour les abattages standard). Dans la première zone, les animaux n'étaient pas individualisables, par conséquent, ils étaient observés en groupe. Dans les deuxième et troisième zones, un animal sur trois était marqué pour être observé individuellement, et ce, jusqu'à 30 s après la suspension dans le cas d'abattages standard, et jusqu'à 2 min 30 après la suspension dans le cas d'abattages halal. Pour chaque observation, l'heure, le comportement et le type d'intervention étaient relevés.

Gestion des animaux & Procédures d'abattage

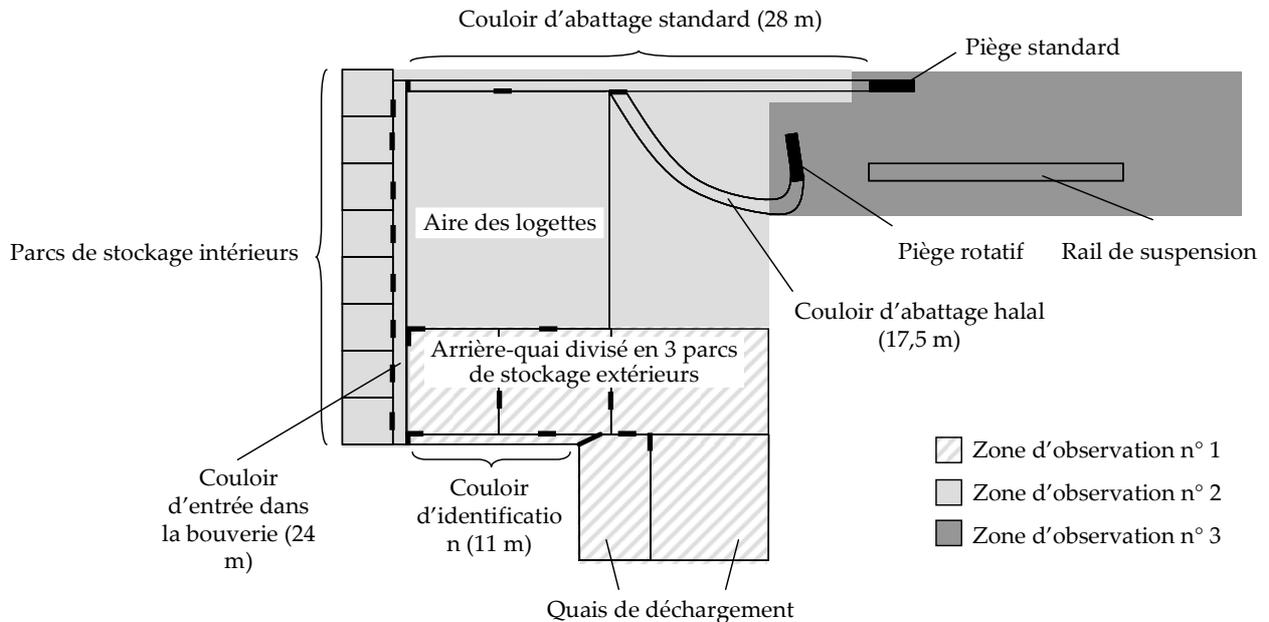
Les bovins étaient déchargés sur le quai de déchargement et transférés rapidement dans le couloir de contrôle de l'identification (Fig. 1). Les animaux étaient ensuite transférés soit vers les parcs ou logettes de la bouverie via le couloir d'entrée, soit vers les parcs extérieurs. Parfois, les animaux étaient immédiatement abattus après déchargement. Dans ce cas, ils étaient directement transférés vers un des deux couloirs d'abattage conduisant au piège d'étourdissement ou au piège halal.

Les opérateurs commençaient par l'abattage halal des mâles, suivi par celui des femelles pour terminer par les abattages standard. Des veaux étaient abattus les lundis et vendredis. Dans ces cas, les opérateurs commençaient par l'abattage des veaux. Les lundis et mercredis, les opérateurs abattaient également des ovins. Ceux-ci étaient alors abattus en premier, puis si les horaires le permettaient, les opérateurs continuaient par l'abattage des bovins.

Abattage standard

Les animaux attendaient dans un couloir droit (28 * 0.8 m; Fig. 1) avant d'entrer dans le piège d'étourdissement (3.2 m * 0.8 m). Ce piège ne disposait pas de système permettant l'immobilisation de la tête ou du corps de l'animal. Les animaux étaient étourdis avec un pistolet à mèche captive (matador super securit 3000 à déclenchement manuel) puis éjectés sur le côté du piège. Ils étaient ensuite accrochés par un postérieur et suspendus sur le rail de saignée. La saignée était pratiquée à l'aide d'une coupe bilatérale des jugulaires et des carotides.

Figure 1 : Représentation schématique de l'abattoir et des noms donnés aux différents lieux d'observation. Les couleurs représentent la répartition entre les trois expérimentateurs des zones observées.



Abattage halal

Les animaux attendaient dans un couloir courbé (17.5 * 0.8 m; Fig. 1) avant d'entrer dans le piège rotatif (FACOMIA : box rotatif mixte rituel traditionnel type F7BV ; 3 * 1 m). Le piège était adaptable à la taille des animaux et équipé d'un système de contention du corps et de la tête. Les animaux étaient retournés sur le dos avant la coupe. Après la coupe, le piège était remis dans sa position initiale et l'animal était éjecté sur le côté du piège, accroché et suspendu par un postérieur sur le même rail que mentionné ci-dessus.

Mesures ante- et post-mortem

Observations par groupe (zone 1)

Cinquante groupes d'animaux (253 animaux au total) ont été observés pendant le déchargement (Tableau 1). Pendant les phases de transferts et d'attente dans le couloir d'identification, 106 groupes de 3 animaux par groupe (331 animaux au total) ont également été observés (Tableau 1).

Tableau 1 : Description des comportements et des variables liées à la gestion des animaux relevés pendant l'étude.

Variables	Descriptions	Étapes
<i>Gestion des animaux</i>		
Temps passé dans l'abattoir (h)	Délai entre le déchargement et la saignée	Abattoir
Durée du voyage (min)	Délai entre le départ de l'exploitation et le déchargement à l'abattoir	Transport
Délai avant le déchargement (min)	Délai entre l'arrivée du camion à l'abattoir (garé devant le quai et moteur éteint) et l'ouverture des portes du camion	Déchargement
Durée du déchargement (min)	Délai entre le premier et le dernier animal déchargé	Déchargement
Temps passé dans le couloir d'identification (s)	Délai entre l'entrée et la sortie d'un lot d'animaux du couloir d'identification	Couloir d'identification
Temps passé dans un des deux couloirs d'abattage (min)	Délai entre l'entrée et la sortie d'un animal d'un des deux couloirs d'abattage	Couloirs d'abattage (halal et standard)
Délai avant l'étourdissement (s)	Délai entre l'entrée d'un animal dans le piège standard et le 1 ^{er} tir	Piège standard
Délai avant retournement du piège (s)	Délai entre l'entrée d'un animal dans le piège rotatif et le début du retournement du piège	Piège halal
Délai avant la saignée (s)	Délai entre l'entrée d'un animal dans un des deux pièges (halal ou standard) et le début de la saignée	Pièges (halal et standard)
<i>Réactions comportementales</i>		
Glissade	Nombre de fois où un animal a au moins un membre qui glisse	Déchargement, couloir d'identification et couloirs d'abattage (halal et standard)
Chute	Nombre de fois où un animal a au moins un genou au sol suite à une glissade	Déchargement, couloir d'identification et couloirs d'abattage (halal et standard)
Vocalisation	Nombre de vocalisations volontaires (excluant les gasps, soupires, gémissements et râles)	Déchargement, couloir d'identification, couloirs d'abattage et pièges (halal et standard)
Compression	Nombre ou durée des compressions, i.e. quand un animal est bloqué entre 2 animaux ou entre un animal et la fin du couloir (ligne du dos courbée)	Couloirs d'abattage (halal et standard)
Recul	Nombre de fois où un animal fait au moins un pas en arrière. Les reculs ne sont ensuite plus comptabilisés jusqu'à ce que l'animal avance à nouveau	Couloirs d'abattage (halal et standard) et piège standard
Se cogne	Nombre de fois où un animal se cogne l'arrière-train contre la porte d'entrée du piège standard suite à un recul	Piège standard
Lève la tête	Nombre de fois où un animal lève la tête (nez au dessus du niveau du dos) dans le piège standard	Piège standard
Coup de pied	Nombre de coups de pied donné sur les parois du piège rotatif	Piège halal

Observations individuelles

Au total, 190 bovins adultes (95 animaux par type d'abattage) ont été individuellement observés dans les couloirs d'abattage, les pièges standard et halal, ainsi que pendant et après la suspension. Selon le comportement et le contexte (Tableau 2), deux techniques d'observation ont été utilisées : des scans (1 observation par unité de temps) et des observations continues (on relève chaque fois qu'un comportement est exprimé, selon une liste de comportements prédéfinis.).

Dans les couloirs d'abattage et les pièges, des observations continues ont été effectuées (Tableau 1). De plus, dans les couloirs d'abattage, des scans ont été utilisés pour estimer la durée totale des compressions (un scan / min). Après la saignée standard ou halal, des scans étaient utilisés pour étudier les mouvements et réflexes oculaires, ainsi que la tension des oreilles et de la langue (Tableau 2). Pour l'abattage halal, les scans étaient effectués 10 et 30 s après la coupe, et 30 s après suspension. Pour les abattages standards, des raisons techniques ont contraint les expérimentateurs à effectuer les scans 30 s après le début de la saignée uniquement. En raison des mêmes contraintes, l'ensemble des indicateurs d'inconscience ne pouvait pas être systématiquement vérifié sur chaque animal (voir résultats).

Entre les scans, des observations continues étaient réalisées pour obtenir des informations sur les mouvements respiratoires, les mouvements de la mâchoire, les tremblements musculaires et les redressements de la tête et/ou corps (Tableau 2). Pour les abattages standard, les observations continues commençaient 30 s après le début de la saignée et duraient 90 s. Pour les abattages halal, il y avait trois périodes d'observation de 45, 30 et 120 s. La première période commençait dès l'affilage de l'animal et s'achevait dès qu'il était suspendu (période « avant suspension »). Cette période comprenait donc la phase pendant laquelle l'animal était sur le sol, ainsi que la phase de hissage de l'animal sur le rail. La seconde période commençait dès que l'animal était suspendu (« première période de suspension »), et la troisième commençait immédiatement après le scan effectué 30 s après suspension (« deuxième période de suspension »). Toutes les observations étaient enregistrées à l'aide de dictaphones.

Pendant la saignée, un échantillon de sang a été prélevé (anticoagulant: EDTA) sur 114 des animaux observés individuellement afin de déterminer les niveaux de cortisol (cortisolémie) et d'hématocrite (*i.e.*, le pourcentage relatif du volume des cellules circulant dans le sang, essentiellement les érythrocytes, par rapport au volume total du sang). Une heure après la saignée, le pH et la température des muscles *Semitendinosus* (ST pH et ST T) et *Longissimus dorsi* (LD pH et LD T) ont été mesurés sur 70 des animaux observés individuellement. Les mesures étaient effectuées directement sur la carcasse avec une électrode couplée température/pH, connectée à un pH-mètre digisense (IQ, Corte Del Nogal Carlsbad, USA).

Dosage du cortisol plasmatique

La cortisolémie a été déterminée par la technique de radioimmunoassay, en utilisant des anticorps de lapin (Boissy et Bouissou, 1994).

Remarques

Les mâles étaient sous représentés dans le groupe d'abattage standard. De même, pour les abattages halal, certaines races étaient sous représentées (Tableau 3). De ce fait, pour l'étude des comportements, l'effet du type d'abattage a seulement pu être traité au sein des femelles, l'effet du sexe au sein de l'abattage halal et l'effet des 5 races principales au sein des femelles.

Tableau 2 : Description des réflexes et signes physiques relevés après la saignée des animaux.

Réflexes et signes physiques	Descriptions	Périodes	
		Abattages standard	Abattages halal
<i>Observations en scans</i>			
Réflexe cornéen	Fermeture de la paupière suite à une pression légère sur la cornée à l'aide d'un doigt		
Réflexe palpébral	Fermeture de la paupière suite à l'effleurement de celle-ci à l'aide d'un doigt		
Nystagmus	Mouvements horizontaux rapides des globes oculaires		Trois fois :
Retournement des yeux	Sclère (blanc de l'œil) de l'œil apparente	Une fois : 30 s après la coupe	- 10 s après la coupe - 30 s après la coupe
Mouvement des yeux	N'importe quel mouvement du globe oculaire non cités ci-dessus		- 30 s après la suspension
Clignement des paupières	Fermeture et ouverture de la paupière		
Mouvement des oreilles	N'importe quel mouvement des oreilles		
Oreilles rigides	Oreilles non tombantes		
Langue sortie	Langue sortie de la cavité buccale		
<i>Observations continues</i>			
Respiration rythmique	Mouvements réguliers de la cage thoracique		Trois périodes :
Respiration arythmique	Mouvements irréguliers de la cage thoracique		- Pendant 45 s à partir de l'effondrement de l'animal
Tremblements musculaires	Tremblements des muscles du ventre, du dos ou des membres	Une période :	
Redressements de la tête	Mouvement de levage de la tête	Pendant 90 s à partir de 30 s après la coupe	- Pendant 30 s à partir du moment où l'animal est suspendu
Redressements du corps	Mouvement de levage de la tête et des épaules		
Mouvements de la mâchoire	Ouvertures et fermetures successives de la mâchoire		- Pendant 120 s à partir de 30 s après la suspension

Résultats & Discussion

1. Accueil & Stockage des animaux : Pratiques de l'abattoir & caractéristiques des animaux

Observations chiffrées

Quatre-vingt-douze pourcent des mâles et 22% des femelles ont été abattus selon la procédure halal (Tableau 3). L'âge des animaux variait selon la race (Tableau 3). Au sein des abattages halal, les femelles étaient plus âgées que les mâles. Lorsque des femelles étaient abattues en halal, la race Charolaise était plus fréquemment sélectionnée (11 ont été abattues en halal sur 24 Charolaises au total) par rapport aux races Holstein (3 sur 25), Limousine (0 sur 17) et Blonde d'Aquitaine (7 sur 29).

Les animaux voyageaient en moyenne 30 h avant d'arriver à l'abattoir. Ils étaient déchargés par groupes de 5 animaux en moyenne (de 1 à 10 animaux par groupe). Ils étaient transférés dans le couloir d'identification en 41 s en moyenne. Dans le couloir d'identification, plus les animaux étaient comprimés, plus ils glissaient. Pour la réception et l'identification des animaux, des informations supplémentaires concernant les interventions de l'homme et le comportement des animaux sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 3 : Effectifs et âges (mois) des animaux selon le type d'abattage et la race. Au sein des femelles standard et au sein des mâles halal, si deux valeurs n'ont aucune lettre en commun (cf. lettres affichées en exposant), alors ces deux valeurs sont significativement différentes.

Races	Abattages standard				Abattages halal				Effets du sexe	
	Femelle		Mâle		Femelle		Mâle		U	p
	n	Age	n	Age	n	Age	n	Age		
Blonde d'Aquitaine	22	71,6 ± 8,7 ^{ab}	1	-	7	33,5 ± 6,3	11	18,1 ± 0,4 ^{AB}	1457,0	< 0,0001
Holstein	22	70,0 ± 4,2 ^b	0	-	3	33,4 ± 1,5	2	19,5 ± 0,7		
Charolaise	13	83,4 ± 11,7 ^b	0	-	11	60,5 ± 11,8	38	17,7 ± 0,5 ^A		
Limousin	17	44,7 ± 4,6 ^a	1	-	0	-	1	-		
Normande	11	84,9 ± 10,0 ^b	0	-	0	-	3	23,4 ± 4,1		
Croisée	2	40,4 ± 3,1	3	40,5 ± 5,1	3	33,3 ± 6,4	8	25,4 ± 3,3 ^B		
Autres	2	104,4 ± 92,9	1	-	1	-	5	20,7 ± 0,3 ^{AB}		
Effets de la race	K	17,2	-	-	U	19	K	16,2		
	p	0,0002	-	-	p	0,09	p	0,001		

Tableau 4 : Observations réalisées pendant le déchargement et le passage dans le couloir d'identification.

Variables	Déchargement	Couloir d'identification
Délai entre l'arrivée du camion et l'ouverture de ses portes (min)	5,56 ± 0,94	-
Durée du déchargement (min)	0,51 ± 0,05	-
Temps passé dans le couloir d'identification (s)	-	154,45 ± 17,37
Nombre de coups de pile électrique	0,33 ± 0,08	0,43 ± 0,09
Glissade (nb/animal)	0,47 ± 0,14	0,54 ± 0,08
Chute (nb/animal)	0,09 ± 0,03	0,13 ± 0,04
Vocalisation (nb/animal)	0,41 ± 0,21	0,21 ± 0,08

Les animaux ont attendu en moyenne 20 h dans l'abattoir avant la saignée, et il est à noter que 14 % d'entre eux ont attendu plus de 35 h (Fig. 2). Les durées d'attente dépendaient en partie du sexe des animaux. Ainsi, pour l'abattage halal, les femelles ont passé 47 h dans l'abattoir contre 16 h, pour les mâles. Cependant, elles ont attendu moins de temps dans le couloir d'abattage (9 min) que les mâles (13 min). Les durées d'attente dépendaient également du type d'abattage. Les femelles abattues en standard ont passé moins de temps dans l'abattoir que les femelles abattues en halal (Tableau 5).

Autres observations

- Pour certains animaux l'introduction dans le couloir d'identification était difficile.
- A l'entrée et à la sortie du couloir de l'identification, le sol pouvait être glissant.
- Lors de l'identification, l'accès aux animaux était également difficile.
- Dans certains cas, un animal pouvait être laissé seul sur le quai alors que le reste de son groupe était dans le couloir d'identification provoquant des vocalisations chez cet animal.
- Des animaux blessés ou malades attendaient seuls bloqués dans un espace réduit d'un des parcs de l'arrière quai. Pour ces animaux, la durée d'attente observée pouvait s'étendre jusqu'à 24h.
- L'accès au couloir d'abattage depuis les logettes était inutilisable à cause des passages à homme situés juste avant l'entrée du couloir d'abattage. La plupart des animaux passaient leur tête dans un de ces passages et restaient bloqués. Par conséquent, les parcs de l'arrière quai servaient de lieu de passage entre les logettes et les couloirs d'abattage. Comme ils servaient en même temps de lieu de stockage d'animaux quasiment en permanence, il était nécessaire de déplacer ces animaux fréquemment.
- Les parcs sur l'arrière quai étaient d'une assez grande surface obligeant souvent le personnel à mélanger des animaux de différents chargements. Dans l'aire des logettes les animaux, notamment les taurillons, étaient le plus souvent mélangés dans l'aire des logettes, plutôt que d'être placés en stabulation individuelle.

- Parfois, les besoins de stockage d'animaux dépassaient les capacités de l'abattoir. Par conséquent, on observait une forte densité d'animaux, notamment sur l'arrière quai.

Figure 2 : Effectifs des animaux en fonction du temps qu'ils ont passé dans l'abattoir
(i.e., délai entre arrivée du camion et saignée).

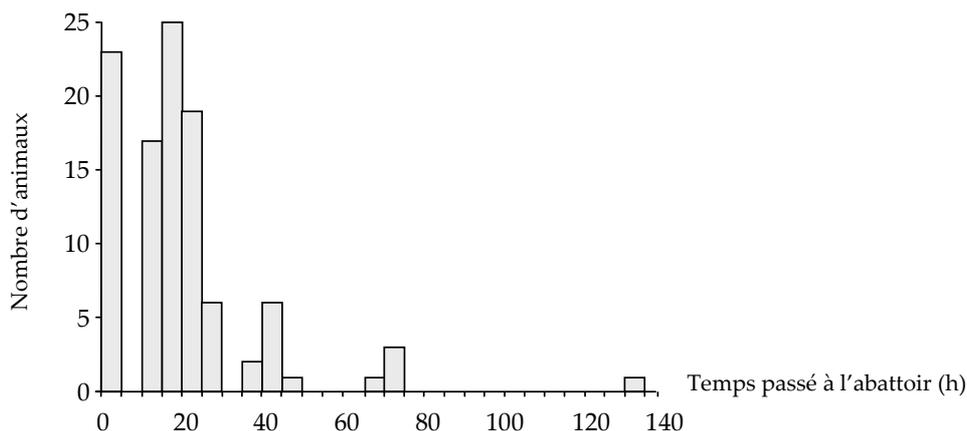


Tableau 5 : Différences significatives dans la gestion des animaux, les comportements et les qualités des viandes selon le type d'abattage.

Variables	Femelles abattues en standard	Femelles abattues en halal	Effets du type	
			U	p-values
Temps passé à l'abattoir (h)	19,6 ± 3,1	47,6 ± 7,8	37,0	< 0,0001
Temps passé dans le couloir d'abattage (min)	21,5 ± 1,3	8,8 ± 1,6	370,5	< 0,0001
Compressions dans le couloir d'abattage (nb/animal)	1,7 ± 0,2	1,3 ± 0,5	772,5	0,03
Nombre de coups de pile électrique dans le couloir d'abattage	2,4 ± 0,3	6,1 ± 0,8	1519,0	< 0,0001
Nombre de coups de pile électrique pour entrer dans le piège	3,2 ± 0,3	0,1 ± 0,1	279,0	< 0,0001
pH LD	6,71 ± 0,04	6,10 ± 0,12	142,0	0,001
T LD (°C)	37,2 ± 0,2	35,7 ± 1,0	120,0	0,07
T ST (°C)	37,4 ± 0,3	32,4 ± 1,5	140,0	0,003

Cas de non-respect de la Directive en vigueur (Directive 93/119/EC)

- Il n'y avait pas d'abreuvoirs fonctionnels dans les aires de stockages des animaux.
- Il n'y avait pas de paille pour les animaux qui passaient la nuit à l'abattoir ni d'alimentation pour les animaux qui étaient gardés plus de 12h avant leur abattage.
- Si l'arrière quai est utilisé comme aire de stockage il est nécessaire de le protéger contre les intempéries.
- L'utilisation de la pile est interdite au niveau de la tête et des parties génitales (*cf.* encadré sur l'usage de la pile).
- Les animaux qui risquent de se blesser réciproquement doivent être maintenus et hébergés séparément.

Discussion

Certains de ces résultats reflètent simplement des aspects bien connus de l'industrie de la viande. Par exemple, les femelles étaient plus âgées que les mâles et les animaux sélectionnés pour l'abattage halal étaient principalement des mâles. Lorsque des femelles étaient sélectionnées pour être abattues en halal, la race Charolaise étaient prédominante.

Les résultats montrent aussi que la gestion au sein de l'abattoir variait selon le sexe des animaux. Ainsi, les mâles passaient plus de temps dans le couloir d'abattage halal que les femelles. Comme la cadence de la chaîne était similaire pour les deux sexes, ceci indique que les mâles étaient introduits dans le couloir en plus grands lots. Cette plus grande densité limite les réactions physiques des taurillons (communication personnelle des opérateurs). D'autres études ont déjà montré que les mâles sont plus difficiles à manipuler que les femelles (Jarvis et al., 1995 ; Strappini et al., 2009). Pour cette même raison, chaque matin les opérateurs commençaient par l'abattage des mâles. Et si le planning ne permettait pas d'abattre tous les animaux prévus ce jour là, l'abattage de certaines femelles pouvait être reporté au lendemain, ou plus tard puisque les ovins étaient prioritaires certains jours. Ces observations expliquent que les femelles halal passaient plus de temps dans l'abattoir que les mâles.

Les compressions dans le couloir d'identification étaient provoquées par les reculs des animaux et traduisent probablement des réactions de peur, c'est-à-dire une motivation de fuir. Ces réactions étaient notamment observées au moment où l'opérateur s'avancait pour la lecture de la boucle. Ces compressions rendaient difficile l'accès à la boucle et entraînaient l'utilisation de la pile. Une compression ou la levée d'une compression peut provoquer un déséquilibre de l'animal, ce qui explique probablement leur lien avec les glissades. Des glissades étaient également observées à l'entrée et à la sortie du couloir et étaient liées au sol lisse et à la précipitation des animaux suite aux interventions des opérateurs.

Une partie importante des vocalisations était observée chez les animaux seuls laissés sur le quai (animaux en attente d'identification et animaux blessés ou malades). Il est bien connu que l'isolement induit des réactions de peur ou de stress chez les bovins (Boissy et Bouissou, 1995), y compris à

l'abattage (Bourguet et al., 2010). Pour les animaux blessés ou malades, le manque d'espace est d'autant plus source d'inconfort physique que l'attente est longue.

Enfin, les transferts et les mélanges sont sources de stress. Le transfert est associé à des manipulations par l'homme et à un changement d'environnement, qui sont deux facteurs connus comme source de stress, y compris à l'abattage (Terlouw et Rybarczyk, 2008 ; Bourguet et al., 2010). De même les ré-allotements et une densité élevée d'animaux sont sources de stress social et physique (Boissy et Bouissou, 1995 ; Mounier et al., 2005). Le mélange des taurillons entraîne des chevauchements ; outre l'inconfort physique, leurs effets négatifs sur les qualités des viandes sont bien connus (Tarrant, 1989).

Les animaux ont reçu jusqu'à 26 coups de pile

Observations chiffrées

Les observations par groupe (zone 1) et individuelles (zones 2 et 3) montrent que les animaux ont reçu en moyenne 7 coups de pile (Fig. 3a). Dans les couloirs d'abattage, les animaux ont reçu entre 0 et 26 coups de pile, avec une médiane de 5 coups à la fois pour le couloir standard et halal (Fig. 3b).

Autres observations

La plupart du temps, afin de faire entrer un animal dans le piège, l'ensemble d'animaux présents dans le couloir d'abattage recevaient des coups de pile pour avancer. La pile était aussi utilisée pour tenter de relever des animaux qui s'étaient effondrés dans le couloir. Il est à noter que certains opérateurs ont uniquement accès à la pile électrique et ne disposent pas de bâton.

Suggestions

- Le bâton doit être utilisé en priorité
- La pile ne doit pas être utilisée sur des animaux lorsqu'il est inutile de les faire avancer (par exemple, lorsqu'on doit faire entrer un animal dans le piège)
- La pile ne doit pas être utilisée sur un animal effondré dans un couloir.
- Une bonne conception des installations dans la bouverie limite l'utilité de la pile
- L'utilisation de la pile est interdite au niveau de la tête et des parties génitales (cf. cadre ci-dessus)
- Le développement d'une pile à décharge unique – inexistante sur le marché aujourd'hui – serait utile.

⇒ Commentaires sur l'accueil et le stockage des animaux

Les points positifs

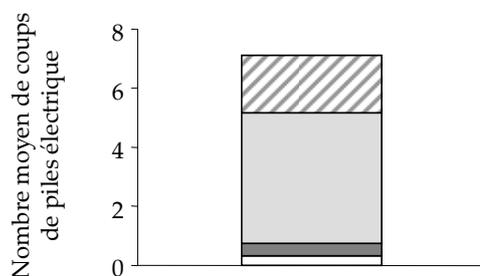
- **Le peu d'attente entre l'arrivée des camions et le déchargement** témoigne d'une bonne organisation tant au niveau de la disponibilité du personnel qu'au niveau de l'organisation de l'espace (quais libres).

Les points à améliorer

- **Lever les aspects provoquant des réactions de peur** (blocage et recul des animaux) à l'entrée et tout le long du couloir d'identification. Notamment, l'installation de parois pleines et d'anti-reculs pourrait améliorer la situation. Attention à tout de même assurer une bonne accessibilité aux animaux, tant pour la conduite que pour l'identification.
- **Placer un anti-dérapant dans le couloir d'identification** qui a le même aspect visuel pour les bovins que le restant du sol (ex. béton strié perpendiculaire à l'animal).
- **Eviter de laisser un animal seul** sur le quai et favoriser une conduite d'au moins 2 animaux.
- **Améliorer le confort des animaux malades ou blessés** (aire paillée de surface suffisante, présence d'eau) et **augmenter la vitesse de prise de décision d'euthanasie** de l'animal afin de limiter la durée d'attente.
- **Recouvrir les passages à Homme situés dans l'aire des logettes par du caoutchouc souple**. Cela permettrait de pouvoir utiliser le passage à animaux situé entre les logettes et le couloir d'abattage tout en gardant fonctionnels les passages à Homme. Il est à noter qu'une sortie vers l'avant des logettes faciliterait la conduite et serait plus sécuritaire pour le personnel.
- **Diviser l'arrière quai** en plusieurs parcs plus petits.
- **Revoir le planning d'accueil des animaux** afin de limiter les durées d'attente, notamment pour les femelles, et le dépassement des capacités de stockage de l'abattoir.

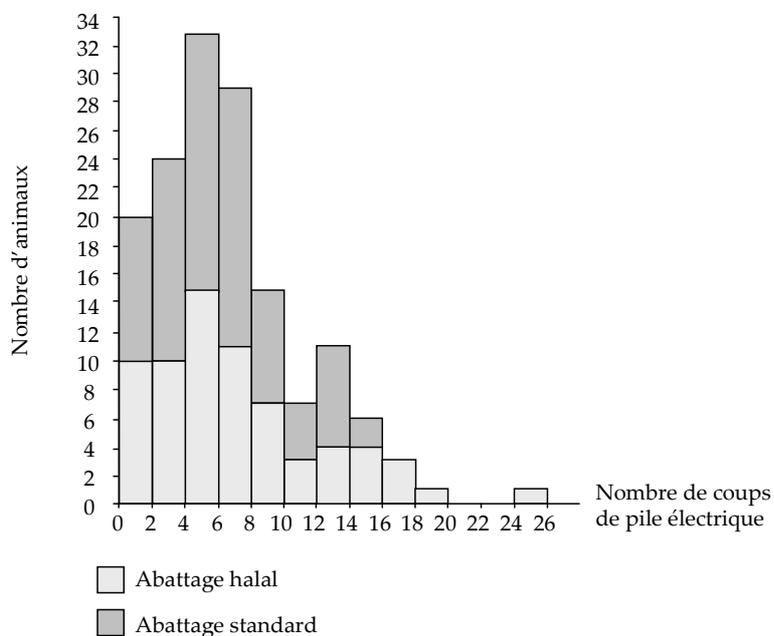
Figure 3 : Utilisation de la pile électrique.

Figure 3a : Nombre moyen de coups de pile électrique donné à chaque animal. Les durées notées correspondent aux durées moyennes de chaque étape.



- Entée dans le piège halal ou standard (0,4 ± 0,1 min ; soit 4,9 coups de pile/min/animal)
- Entrée et conduite dans le couloir d'abattage halal ou standard (17,1 ± 0,9 min ; soit 0,3 coups de pile/min/animal)
- Entrée et conduite dans le couloir d'identification (2,6 ± 0,3 min ; soit 0,2 coups de pile/min/animal)
- Déchargement (0,5 ± 0,04 min ; soit 0,7 coups de pile/min/animal)

Figure 3b : Effectifs des animaux en fonction du nombre de coups de piles reçu dans le couloir d'abattage et pendant l'entrée dans le piège selon le type d'abattage.



2. Conduite des animaux vers le poste d'abattage :

Les interventions de l'homme et les réactions des animaux dans les couloirs d'abattage : différences selon le type d'abattage et la race

Observations chiffrées sur les femelles

Les animaux attendaient 22 min dans le couloir d'abattage standard et 12 min dans le couloir d'abattage halal avant d'être introduits dans le piège. Les femelles abattues en standard ont passé plus de temps dans le couloir d'abattage et étaient plus souvent comprimées que les femelles abattues en halal. Cependant, les femelles elles ont reçu moins de coups de piles dans le couloir d'abattage standard que dans le couloir d'abattage halal. A l'inverse, lors de l'entrée dans le piège, les femelles standard ont reçu plus de coups de piles que les femelles introduites dans le piège halal. (Tableau 5).

Observations chiffrées sur les femelles standard (Blonde d'Aquitaine, Charolaise, Holstein, Normande & Limousine)

Les Normandes ont passé deux fois plus de temps dans le couloir d'abattage standard (31 min) que les Charolaises (16 min) et étaient 3 fois plus souvent comprimées. Les Normandes avaient un niveau de cortisol (76 ng/ml) plus élevé que les Charolaises (50 ng/ml).

Observations chiffrées sur les femelles halal (Blondes d'Aquitaine, Charolaises)

Dans le couloir halal, les Charolaises tendaient à être plus souvent comprimées (2 compressions en moyenne) que les Blondes d'Aquitaine (aucune compression).

Discussion

Les compressions se produisaient lorsque dans le couloir, un animal reculait contre l'animal qui le suivait alors que ce dernier ne pouvait plus reculer restant ainsi bloqué entre deux congénères. Comme indiqué précédemment, les reculs traduisent probablement des réactions de peur. Dans cette étude, plus les animaux passaient de temps dans le couloir d'abattage, plus ils subissaient de compressions. Le couloir d'abattage standard était plus long que le couloir halal, et de ce fait, les femelles y passaient plus de temps ce qui explique probablement le plus grand nombre de compressions dans ce couloir. De même, les compressions plus fréquentes chez les Normandes s'expliquent au moins en partie par leur temps d'attente plus long dans le couloir. Les vaches Normandes avaient également un niveau de cortisol plus élevé (encadré 1), peut-être à cause des compressions plus fréquentes même si la corrélation entre le cortisol et les compressions n'est pas significative (femelles Normandes : $r = 0.55$; $p = 0.12$). Les effets des compressions sur les qualités des viandes sont abordés dans un autre paragraphe.

Encadré 1.

Le stress influence le niveau de cortisol, y compris à l'abattage

Cette étude s'est intéressée aux niveaux de cortisol car il est bien connu que le niveau de cette hormone augmente en réponse à une situation stressante, y compris aux facteurs de stress rencontrés pendant la période d'abattage (Grandin, 1997), même si de nombreux autres facteurs influencent également la libération de cette hormone (Munck et al., 1984 ; Ndibualonji et al., 2004). Les niveaux de cortisol trouvés dans cette étude sont cohérents avec ceux rapportés par des études menées dans des abattoirs commerciaux (Grandin, 1997).

Nos observations montrent que les animaux ont reçu plus de coups de pile dans le couloir d'abattage halal que dans le couloir d'abattage standard. Ces différences peuvent s'expliquer par la relative obscurité, l'état du sol (trous, flaques d'eau et mauvaise orientation des stries du béton) et le niveau sonore élevé dans la deuxième partie du couloir halal (*cf.* Fig. 1).

Cependant, le nombre de coups de pile était plus élevé pour faire entrer les animaux dans le piège standard par rapport au piège halal. Plusieurs aspects concernant les équipements de l'abattoir peuvent l'expliquer. Premièrement, juste devant l'entrée du piège standard, le sol change de matériau et n'est pas d'aspect homogène. Les changements de texture du sol sont souvent à l'origine de blocage dans les déplacements des bovins (Grandin, 1998 ; 2005). Deuxièmement, la porte d'entrée à ouverture verticale du piège standard ne se fermait pas jusqu'au sol. Les animaux qui attendaient dans le couloir d'abattage juste devant cette porte ont été fréquemment observés en train de regarder sous cette porte et de sursauter en réactions au son produit par le pistolet et l'effondrement de l'animal étourdi dans le piège (données non quantifiées). Ainsi, pour différentes raisons, l'entrée dans le piège standard pouvaient être source de plus de peur que l'entrée dans le piège rotatif. De plus, comme les abattages standard avaient lieu après les abattages halal au cours d'une même matinée, le comportement du personnel de l'abattoir étaient peut être différent en raison de la fatigue accumulée au moment des abattages standard. Enfin, contrairement au couloir d'abattage standard, le couloir d'abattage permettant l'entrée dans le piège rotatif était courbé. Les couloirs courbés sont connus pour faciliter la conduite des bovins (Grandin, 1989).

La circulation du personnel et la communication dans la bouverie étaient souvent difficiles

L'opérateur du piège standard devait passer par des parcs à ovins pour accéder aux bovins situés dans le couloir d'abattage. De plus, la communication entre les opérateurs des pièges et le personnel de la bouverie était difficile à cause du niveau sonore. Ainsi, les opérateurs étaient obligés de se déplacer fréquemment pour organiser la gestion et la conduite des animaux. En raison de ces difficultés, des animaux pouvaient parfois être conduits dans le couloir d'abattage alors que les opérateurs n'étaient pas disponibles. D'autres fois, le groupe d'animaux présent dans le couloir d'abattage était trop grand pour que tous les animaux soient abattus faute de temps. Certains d'entre eux devaient finalement être ramenés en bouverie.

Suggestions

L'installation de couloirs à Hommes parallèle aux couloirs à animaux faciliterait la conduite des animaux et la sécurité du personnel. Perfectionner le système de communication par des signaux lumineux (code couleurs pour des messages simples et ajouter un signal sonore).

3. Les interventions et les réactions de peur dans les pièges

Observations chiffrées pour le piège standard

En abattage standard, le nombre de reculs dans le piège d'étourdissement était corrélé avec le nombre de fois que l'animal se cognait contre la porte arrière et qu'il levait la tête. Les animaux attendaient 129 s dans le piège avant l'étourdissement et 25% ont reçu un deuxième tir (1,3 tirs en moyenne). L'intervalle entre l'étourdissement et la saignée était de 90 s. Pour un animal, cet intervalle était de plus de 4 min, et pour un autre, il atteignait 11 min 30. L'intervalle entre l'étourdissement (2^{ème} tir le cas échéant) et la fin du hissage était de 57 s, et de 20 s entre la fin du hissage et la coupe.

Autres observations

Souvent, deux animaux tentaient d'entrer ensemble dans le piège standard. Pour les en empêcher, le deuxième animal recevait des coups de pile et la porte du piège était refermée, souvent en heurtant le cou ou le dos du deuxième animal. La lecture de la boucle et l'application du pistolet dans le piège standard étaient difficiles et dangereuses pour les opérateurs et les animaux. Par exemple, un animal est entré en courant et a heurté violemment le mur du piège. Un autre s'est retourné sur le dos.

Observations chiffrées pour le piège halal (mâles Blond d'Aquitaine, Charolais, Croisés)

Les animaux attendaient en moyenne 41 s dans le piège rotatif avant la coupe halal, mais ces délais pouvaient aller jusqu'à 205 s. Le piège était ensuite remis en position normale 75 s après la coupe, puis les animaux étaient éjectés du piège 22 s plus tard. L'accrochage et le hissage prenaient 63 s. Les Blonds d'Aquitaine donnaient plus de coups de pieds dans le piège halal (1 fois) que les Charolais (0 fois). Ils avaient aussi un taux d'hématocrite plus élevé (75 %) que les Charolais (64 %).

Autres observations

Pour les animaux de plus petite taille, la taille de la mentonnière était inadaptée et de ce fait, le blocage de la tête était difficile. Après la coupe et le redressement du piège, certains animaux restaient coincés au niveau de la gorge sur la tranche du passage de la tête du piège.

Discussion

Comme pour les mouvements de recul observés dans les couloirs, ceux observés dans le piège standard traduisent probablement de la peur. Leur relation avec les relèvements de la tête dans le piège standard suggère que ces deux comportements expriment la même motivation. Toutefois, ces réactions comportementales ne permettent pas d'expliquer les différences dans l'efficacité de l'étourdissement en termes de délai d'application du pistolet et de nombre de tirs donnés. Cette absence de relation suggère que l'organisation des opérateurs joue aussi un rôle dans la réussite de l'étourdissement.

Les effets de la race sur le comportement des animaux étaient rares. Le seul résultat a montré que les mâles Blonds d'Aquitaine donnaient plus de coups de pieds dans le piège rotatif que les Charolais. La race a aussi influencé l'état physiologique des animaux : les mâles Blonds d'Aquitaine avaient un taux d'hématocrite plus élevé que les Charolais (encadré 2). Dans la présente étude ces deux races avaient probablement le même niveau d'hydratation puisque les durées de voyage et d'attente à l'abattoir étaient similaires. La différence de niveau d'hématocrite pourrait refléter une réactivité au stress plus prononcée chez les mâles Blonds d'Aquitaine par rapport aux Charolais, ce qui est cohérent avec le nombre de coups de pied dans le piège rotatif plus élevés. Il est bien connu chez les bovins que, comme chez d'autres espèces, la race influence la réactivité au stress (Boissy et Le Neindre, 1997), y compris aux procédures d'abattage (Grandin, 1997). Nos études en cours montrent que les taurillons Blonds d'Aquitaine sont également plus réactifs que les taurillons Limousin ou Angus (Bourguet et al, en préparation).

Encadré 2.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le taux d'hématocrite

Une élévation de l'hématocrite reflète une augmentation du nombre de cellules dans le sang (en particulier des érythrocytes) par rapport au volume sanguin total, pouvant traduire une déshydratation (Mitchell et al., 1988 ; Jarvis et al., 1996). Le niveau d'hématocrite peut aussi augmenter suite à une activité physique, au moins en partie en raison de la libération d'érythrocytes par la rate dans la circulation générale (Wolski, 1998). Enfin, d'autres études impliquant des animaux abreuvés, ont montré une augmentation de l'hématocrite à la saignée par rapport au déchargement, attribuée à l'effet de l'étourdissement favorisant des contractions de la rate (Knowles, 1999 ; Liotta et al., 2007).

⇒ Commentaires sur la conduite des animaux vers le poste d'abattage

Les points positifs

- L'entrée dans le piège halal se déroulait assez bien.

Les points à améliorer

EN GENERAL

- **Placer des anti-reculs fonctionnels dans les couloirs d'abattage** pour limiter les compressions.
- **Amener les animaux par plus petits groupes** et tenir compte de la disponibilité des opérateurs afin de réduire la durée d'attente dans les couloirs d'abattage.

STANDARD

- **Ajouter une plaque** (en caoutchouc par exemple) sur la partie inférieure de la porte d'entrée du piège standard pour bloquer la vue.
- **Assurer que le sol soit homogène** devant le piège.
- **Installer un anti-recul** 3,5 m avant le piège qui puisse se bloquer dans les deux sens pour éviter que deux animaux entrent en même temps dans le piège.
- **Amener les animaux par plus petits groupes** et tenir compte de la disponibilité des opérateurs afin de limiter la durée d'attente dans le couloir d'abattage.
- **S'assurer que la prise en charge sera immédiate** avant d'introduire un animal dans le piège et avant de l'étourdir.
- **Utiliser le piège rotatif** même pour les abattages standard (sans retourner le piège).

HALAL

- **Assurer une luminosité constante dans le couloir d'abattage** en plaçant des néons orientés dans le sens du couloir.
- **Assurer que le sol soit d'aspect homogène** pour faciliter l'avancée des bovins dans le couloir d'abattage halal.
- **Faire le nécessaire pour limiter les nuisances sonores** (graissage des roulements lors de la maintenance du piège rotatif).
- **Affûter les couteaux** avant d'introduire un animal dans le piège.
- **Utiliser une mentonnière adaptée à la taille des animaux** pour un bon maintien de la tête.
- Afin d'éviter que les animaux ne restent accrochés par la gorge sur la tranche du piège lors de l'affalage, **d'autres études sont nécessaires** pour trouver des solutions pratiques.

4. Quels sont les effets sur la physiologie des animaux ?

4.1. Les femelles avaient une cortisolémie plus élevée : Effets du stress, de l'âge ou du sexe ?

Observation chiffrée

En halal, les femelles avaient une cortisolémie (68 ng/ml) plus élevée que les mâles (39 ng/ml).

Discussion

Le niveau de cortisol (cf. encadré 1) plus élevé chez les femelles halal par rapport aux mâles peut s'expliquer par plusieurs facteurs.

Premièrement, il peut s'agir d'un effet du sexe. Par exemple, une étude a montré que chez les bovins Angus, les mâles entiers ont un niveau de cortisol plus faible que les femelles et les bœufs (Welsh et al., 2009).

Deuxièmement, il pourrait s'agir d'un effet de l'âge car les femelles étaient plus âgées que les mâles.

Troisièmement, les femelles ont passé plus de temps dans l'abattoir que les mâles. Ainsi, leur niveau de cortisol plus élevé peut refléter un état de stress plus important en raison d'une attente à l'abattoir plus longue (Tennessee et al., 1984 ; Natelson et al., 1988).

Enfin, il est possible que les femelles soient plus « stressables » que les mâles ce qui aurait pour conséquence un niveau de cortisol plus élevé. En effet, des travaux chez diverses espèces, y compris les bovins, ont montré que les mâles et les femelles ne réagissent pas de la même manière à différents types de facteurs de stress (Boissy et Bouissou, 1994 ; Taylor et al., 2000).

4.2. Les réactions de peur et leurs conséquences sur le pH

Observations chiffrées pour les femelles

Des analyses par régression multiple montrent que 45 % de la variabilité du pH du muscle LD étaient expliquées par la cortisolémie et la race. La comparaison des deux types d'abattage montre que le pH du muscle LD ainsi que la température des deux muscles (LD et ST) étaient plus élevés en standard qu'en halal.

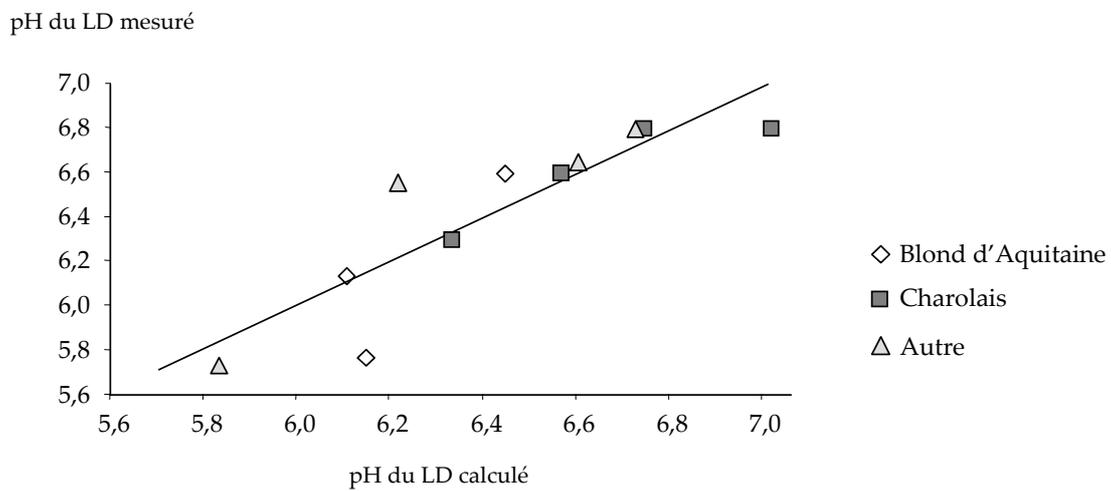
Observations chiffrées pour les mâles (halal)

Plus les animaux étaient âgés, plus le pH des muscles LD et ST était faible. De même, plus les temps d'attente dans le couloir d'abattage étaient longs et plus les animaux subissaient de compressions, plus le pH était élevé. L'analyse par régression multiple montre qu'après correction pour les variations du délai

de mesure (46-60 min), 77 % de la variabilité du pH du muscle LD pouvait être expliquée par la fréquence des compressions (Fig. 4).

Enfin, plus les animaux passaient de temps dans le piège avant le retournement, plus leur taux d'hématocrite était élevé. Par ailleurs, les faibles niveaux de cortisol étaient également associés à des taux d'hématocrite élevés.

Figure 4. Pour les mâles abattus en halal : Corrélation ($r=0.88$; $p<0.001$) entre le pH du LD - calculé selon la formule $\text{pH LD} = 8,71 - 0,05 \times \text{délai mesure LD} + 0,20 \times \text{fréquence des compressions}$ - et le pH mesuré.



Ce modèle montre qu'en connaissant la fréquence de compressions dans le couloir halal et en rectifiant pour des petites variations dans le délai de mesure, on peut prédire le pH 1h post-mortem avec une certitude de 77% ($0.88^2 * 100$) et que la compression ralentit la diminution post-mortem du pH.

Encadré 3.

L'effet du stress à l'abattage sur l'évolution du pH post-mortem

Après la mort, les réactions anaérobies liées à la dégradation du glycogène stocké dans le muscle continuent, et ont pour conséquence une accumulation de protons et de lactate provoquant l'acidification progressive du muscle (Bendall, 1973). Juste avant l'abattage, l'exercice physique et le stress émotionnel augmentent l'activité métabolique musculaire qui perdure après la mort, ayant ainsi pour conséquence une acidification plus importante, et donc, un pH *post-mortem* précoce plus faible. Ce phénomène est bien décrit chez les porcs (Bendall, 1973 ; D'Souza et al., 1998 ; Rosenvold et Andersen, 2003), et de récents travaux ont montré que chez les bovins aussi, les réactions de stress au moment de l'abattage sont associées à une diminution du pH plus rapide (Bourguet et al., 2010).

Ce phénomène est à distinguer de celui induisant des muscles à pH ultime élevé (viandes à coupe sombre). Dans ce dernier cas, suite aux efforts physiques et au stress émotionnel pendant la période de pré-abattage, le muscle est en manque de glycogène. Par conséquent, les réactions anaérobies s'arrêtent précocement, avant que l'acidification du muscle ait atteint le niveau souhaité.

Discussion

Le pH *post-mortem* précoce plus faible (encadré 3) chez les femelles halal par rapport aux femelles standard suggère que certains aspects des procédures de l'abattage halal produisaient plus de stress émotionnel ou d'efforts physiques que les procédures de l'abattage standard. Toutefois, la température précoce *post-mortem* plus faible chez les femelles halal par rapport aux femelles standard n'est pas en accord avec les résultats obtenus sur le pH. Le métabolisme musculaire *post-mortem* est une réaction exothermique, et en général, on observe une association négative entre la température et le pH (Bendall, 1973 ; Rosenvold et Andersen, 2003) bien que cela ne soit pas toujours le cas (Terlouw et Rybarczyk, 2008).

Les résultats montrent aussi que la fréquence et/ou la durée des compressions a influencé le pH précoce *post-mortem* dans les muscles ST et LD des mâles. A première vue, on pouvait s'attendre à ce que les compressions provoquent un stress émotionnel ou un effort physique, aboutissant à des valeurs de pH plus faibles. Néanmoins, la chute plus lente du pH peut s'expliquer par les effets mécaniques des compressions sur le fonctionnement des muscles, notamment par un ralentissement du métabolisme énergétique (cf. encadré 4). Cependant, cette hypothèse nécessite d'être confirmée expérimentalement.

Ainsi, il semble nécessaire de se préoccuper des compressions des animaux dans l'abattoir, tant pour le bien-être animal que pour les qualités des viandes.

Encadré 4.

La compression du muscle modifie son métabolisme

Des travaux ont montré que des compressions du muscle peuvent gêner le flux sanguin, réduisant ainsi son oxygénation et modifiant son métabolisme (O'Leary et Sheriff, 1995 ; Nishiyasu et al., 1998 ; Bringard et al., 2006). De plus, les compressions peuvent avoir des effets systémiques, y compris sur la pression sanguine, la fréquence cardiaque et la libération d'hormones (O'Leary et Sheriff, 1995 ; Nishiyasu et al., 1998). Chez l'Homme par exemple, une pression de la main pendant 14 min peut doubler le niveau d'ACTH plasmatique, l'hormone qui stimule la libération du cortisol par les surrénales (Nishiyasu et al., 1998).

Chez les mâles halal, la chute du pH *post-mortem* plus rapide observée chez les animaux plus âgés par rapport aux plus jeunes est cohérente avec de précédents résultats obtenus chez les caillies (Owens et al., 2000) et les porcs (Virgili et al., 2003).

L'attente dans le piège rotatif peut être source de stress, car plus les animaux passaient de temps dans le piège rotatif avant le retournement de celui-ci, plus leur taux d'hématocrite était élevé. Comme expliqué précédemment, les efforts physiques et/ou le stress émotionnel peuvent induire une augmentation du taux d'hématocrite (Mitchell et al., 1988 ; Wolski, 1998).

5. La perte de conscience

5.1. Comment savoir si les animaux sont inconscients ?

Observations chiffrées pour l'abattage standard

Peu de signes physiques ont été observés suite à l'étourdissement. Le réflexe cornéen a été vérifié chez 32 animaux et n'a été observé que chez un seul animal, une femelle Holstein ayant reçu un seul tir et ne montrant aucun des autres signes comportementaux étudiés. Deux animaux montraient des mouvements respiratoires rythmiques, un animal présentait un nystagmus et un autre avait les oreilles tendues. Enfin, deux animaux présentaient des tremblements musculaires. Trente secondes après le début de la saignée, la langue était sortie chez 72 % des animaux.

Tableaux 6 : Evolution de la présence des réflexes et des signes physiques au cours du temps suite à l’abattage halal. Si deux valeurs n’ont aucune lettre en commun (cf. lettres affichées en exposant), alors ces deux valeurs sont significativement différentes. Les lettres a et b indiquent des différences significatives au seuil de 5 %, x et y au seuil de 1 %.

Tableau 6a : Observations réalisées au cours des scans.

Signes physiques observés en scans	10 s post-coupe		30 s post-coupe		30 s post-suspension	
	<i>n</i>	Présence (% d’animaux)	<i>n</i>	Présence (% d’animaux)	<i>n</i>	Présence (% d’animaux)
Réflexe cornéen	40	57,5 ^{ax}	53	47,2 ^{axy}	15	13,3 ^{by}
Réflexe palpébral	43	16,3	47	12,8	13	0
Mouvements des yeux	47	87,2 ^x	55	43,6 ^y	27	0 ^z
Clignement des paupières	46	82,6 ^x	51	37,3 ^y	26	0 ^z
Oreilles rigides	17	11,8	38	7,9	50	0
Mouvement des oreilles	23	56,5	16	43,8	-	-
Langue sortie	47	36,2 ^x	62	66,1 ^y	51	78,4 ^z
Nystagmus	47	6,4	48	2,1	26	0
Retournement des yeux	46	0	46	2,2	27	3,7

Tableau 6b : Observations réalisées en continu.

Signes physiques observés en continu	Avant suspension	Suspension 1	Suspension 2
<i>Nb/animal</i>			
Mouvements des mâchoires	0,42 ± 0,10 ^a	0,18 ± 0,12 ^b	0,03 ± 0,01 ^b
Redressements de la tête	0,05 ± 0,03 ^a	0,66 ± 0,10 ^b	0,34 ± 0,05 ^b
Redressements du corps	0,00 ± 0,00	0,05 ± 0,05	0,01 ± 0,01
<i>% d’animaux</i>			
Respiration rythmique	69,6 ^x	0,0 ^y	4,3 ^y
Tremblements musculaires	52,2 ^{ax}	21,7 ^{bxy}	17,4 ^{by}

Observations chiffrées pour l'abattage halal

L'expression des signes comportementaux a évolué progressivement après le sacrifice. La majorité des signes comportementaux a diminué (Tableau 6a), mais les redressements de la tête ont augmenté suite à la suspension (Tableau 6b). Indépendamment de la perte du réflexe cornéen, le pourcentage d'animaux ayant la langue sortie de la cavité buccale a augmenté au cours du temps post- sacrifice (Tableau 6a).

Discussion

Suite à l'étourdissement, les relevés du réflexe cornéen (encadré 5) indiquent que 97 % des animaux ont été efficacement étourdi. Cependant, le pourcentage d'animaux ayant reçu un deuxième tir (25 %) était relativement élevé. A titre de comparaison, une précédente étude rapporte que seulement 3,8 % des vaches a reçu plus d'un tir et qu'une faible profondeur d'inconscience a été observée chez 6 % des animaux (Gregory et al., 2007). Il est possible que dans notre étude, la présence des expérimentateurs ait influencé les opérateurs dans leurs décisions de pratiquer un deuxième tir.

Encadré 5.

Les réflexes cornéens & palpébraux impliquent des circuits nerveux différents

L'absence du réflexe cornéen, et dans une moindre mesure, celle du palpébral, sont considérées comme d'important indicateurs d'inconscience (Gregory, 1998 ; Wotton et al., 2000 ; EFSA, 2004). Ces deux types de stimulations provoquent un réflexe de clignement de la paupière, mais elles sont partiellement basées sur différents circuits neuronaux. Le réflexe palpébral est cutané et non-nociceptif. Il implique des circuits passant par le pont de Varole et le bulbe rachidien jusqu'au noyau spinal trigeminal (Crucchi et Deuschl, 2000). Le réflexe cornéen est, quand à lui, un réflexe nociceptif impliquant différentes structures, dont le *subnucleuscaudalis* du tronc cérébral (Crucchi et Deuschl, 2000 ; Crucchi et al., 2005). Il peut être présent chez des animaux inconscients, mais son absence est considérée comme un indicateur d'inconscience (Gregory, 1998 ; Wotton et al., 2000 ; EFSA, 2004).

La faible occurrence des nystagmus est en accord avec d'autres observations montrant que le nystagmus est rarement (3 %) observé (Gregory et al., 2007). Cette étude montre aussi que lorsqu'il est observé, la qualité de l'étourdissement est insuffisante dans un cas sur trois (Gregory et al., 2007).

De même, seulement un animal avait les oreilles tendues, un signe souvent observé chez des animaux mal étourdi (Gouveia et al., 2009). La fréquence plus élevée de nystagmus et d'oreilles tendues suite aux abattages halal en comparaison aux abattages standard est cohérente avec le fait que ces signes peuvent être des indicateurs du degré de conscience.

Le pourcentage d'animaux ayant la langue hors de la cavité buccale a augmenté au cours du temps, atteignant en standard 72 % des animaux 30 s après la coupe, et en halal 78 % des animaux 30 s après la suspension. Il est considéré que ce signe est lié à l'état de relaxation des muscles de la mâchoire, mais il semble aussi influencé par d'autres facteurs, tel que le sexe des animaux. De ce fait, il n'est pas considéré comme un bon indicateur d'inconscience (Gregory et al., 2007).

Suite à l'abattage halal, le réflexe palpébral était généralement perdu avant le réflexe cornéen, ce qui est en accord avec d'autres études traitant de la perte de conscience au cours d'anesthésies pharmacologiques (Hall, 2001). Le nombre d'animaux ayant perdu le réflexe cornéen a augmenté progressivement au cours du temps. Deux animaux présentaient encore un réflexe cornéen 30 s après la suspension, soit 131 et 210 s après la coupe halal. Ce délai important avant la perte de conscience peut être la conséquence d'une saignée inefficace, due à la formation de caillots de sang au niveau des carotides (encadré 6).

Encadré 6.

La formation de caillots lors de la saignée : les « faux anévrismes »

Des phénomènes de faux anévrismes interviennent chez 8 à 16 % des bovins saignés par une coupe au niveau du cou, en raison de la formation de caillots de sang au niveau des extrémités caudales des artères carotides (Gregory et al., 2006 ; 2010). Par conséquent, la pression sanguine est au moins en partie maintenue et le flux sanguin dans le cerveau est partiellement assuré par les artères vertébrales, ce qui retarde la perte de conscience (Anil et al., 1995). Les autres espèces ne sont pas concernées par les faux anévrismes (Gregory et al., 2006).

Les mouvements des globes oculaires, des paupières et de la mâchoire, les mouvements de respiration rythmiques et enfin les tremblements musculaires étaient relativement fréquents et diminuaient progressivement au cours du temps après la coupe halal. Certains de ces signes, telle que la respiration rythmique, sont considérés comme des indicateurs de conscience (Gregory, 1998 et 2007 ; Gouveia et al., 2009).

5.2. Les réflexes oculaires peuvent temporairement revenir

Observations chiffrées

Sur les 7 animaux qui montraient un réflexe palpébral 10 s après la coupe halal, au moins 2 n'avaient pas de réflexe cornéen à cet instant-là. Sur les 6 animaux montrant un réflexe palpébral 30 s après le sacrifice, 4 ne présentaient pas ce réflexe 20 s auparavant. De même, 3 mâles Charolais présentaient un

réflexe cornéen 30 s après le sacrifice alors qu'ils ne le présentaient pas 20 s auparavant (toutefois, un d'entre eux avait eu un réflexe palpébral).

Discussion

Le retour temporaire des réflexes palpébraux ou cornéens suggère que les centres cérébraux inférieurs contrôlant les réflexes ont partiellement retrouvé leur fonctionnement. La perte rapide des réflexes chez certains animaux est probablement expliquée par le changement soudain de pression sanguine suite à la coupe provoquant l'hypoxie des cellules cérébrales impliquées. De même, le retour des réflexes suggère que la pression sanguine augmente temporairement. Ce rétablissement de la pression sanguine ne s'explique pas par des manipulations de l'animal, puisque pendant cette phase, ils étaient maintenus sur le dos dans le piège rotatif. En revanche, il est bien connu que des hémorragies induites expérimentalement provoquent des changements physiologiques, y compris une vasoconstriction et une augmentation de la fréquence cardiaque, qui réduisent la chute de la pression sanguine (Ba et al., 2007 ; Pearce et D'Alecy, 1980 ; Roesner et al., 2009). De même, à l'abattage, des études chez les bovins et les ovins montrent que la saignée provoque une hausse de la fréquence cardiaque (Schulze et al., 1978 ; Newhook et Blackmore, 1982 ; Vimini et al., 1983). De telles modifications physiologiques pourraient rétablir partiellement et transitoirement le fonctionnement de certaines cellules cérébrales et expliquer le retour temporaire des réflexes palpébraux ou cornéens. Comme indiqué ci-dessus, le rétablissement des réflexes oculaires n'indique pas nécessairement que l'animal retrouve un certain degré de conscience, bien que cela ne soit pas exclu (Gregory, 1998 ; EFSA, 2004 ; Wotton et al., 2000).

5.3. Les redressements de tête n'indiquent pas toujours que l'animal est conscient

Observations chiffrées pour l'abattage standard

Trois des animaux ayant perdu le réflexe cornéen présentaient au moins un redressement de la tête. Ces animaux étaient une Limousine qui présentait aussi des mouvements respiratoires et une Charolaise présentant un nystagmus. Le troisième animal ne montrait pas d'autres signes comportementaux.

Observations chiffrées pour l'abattage halal

Comme pour l'abattage standard, des redressements de la tête ont été observés chez des animaux ayant perdu le réflexe cornéen. Toutefois, le nombre de redressements de la tête dépendaient du temps écoulé depuis la perte du réflexe cornéen (Fig. 5). Après le hissage, des redressements ont été observés chez 22 % des animaux ayant perdu le réflexe cornéen 10 s après le sacrifice de manière durable. Ce pourcentage est inférieur par rapport à celui des animaux qui présentaient toujours un réflexe cornéen 30 s après le

sacrifice (83 %). Le *nombre* de redressements était également plus faible chez les animaux ayant durablement perdu le réflexe cornéen 10 s après le sacrifice que chez ceux qui avaient toujours un réflexe cornéen 30 s après le sacrifice (Fig. 5).

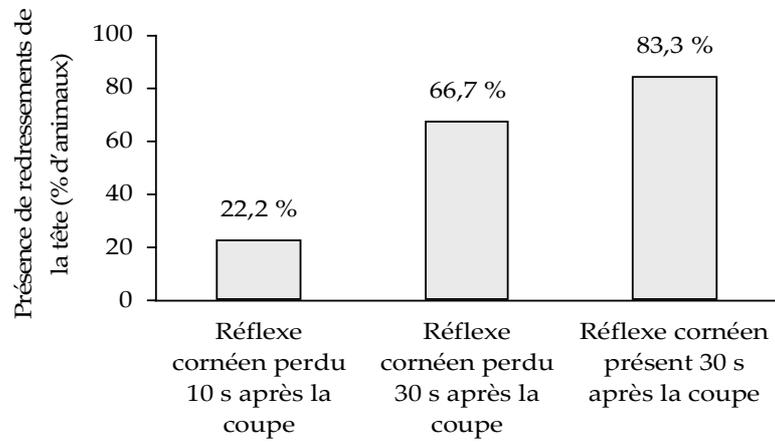
La durée écoulée depuis la perte du réflexe cornéen influençait également la présence de deux autres signes physiques après le hissage. Chez les animaux ayant perdu le réflexe cornéen 30 s après le sacrifice, aucun ne montrait de tremblements involontaires alors que chez les animaux l'ayant perdu plus tard, les tremblements étaient présents chez 32 % d'entre eux. Pour les mouvements de mâchoires, ces pourcentages étaient de 30 % et 5 %, respectivement.

Discussion

Comme les réflexes oculaires, les redressements de la tête et du corps sont également considérés comme des indicateurs de conscience (e.g. EFSA, 2004). De ce fait, lorsqu'un animal s'effondre suite à l'étourdissement, l'inefficacité de celui-ci est souvent repérée par la présence de réflexes de redressements de la tête et du corps (EFSA, 2004). Dans la présente étude, nous avons cependant observé que certains animaux ayant perdu le réflexe cornéen, ont tout de même présenté des redressements de la tête après la suspension, en halal comme en standard. La présence de ce comportement est toutefois plus fréquente chez les animaux présentant encore un réflexe cornéen. Les redressements de la tête étaient également plus fréquents suite à la suspension, suggérant que cette position peut favoriser l'expression de ce comportement.

D'autres signes physiques étaient liés à la perte du réflexe cornéen. Les animaux ayant perdu le réflexe cornéen avaient moins de chance de présenter des tremblements musculaires en début de suspension que ceux ne l'ayant pas encore perdu 30 s après la coupe halal. De même, ils avaient plus de chance de présenter des mouvements de mâchoire. Dans le contexte des abattages halal, la présence de mouvements de mâchoire pourrait être un indicateur de perte de conscience a posteriori. Néanmoins, ces signes (redressements de la tête, tremblements et mouvements de la mâchoire) ne peuvent pas être utilisés seuls pour évaluer l'état d'inconscience de l'animal ; ils doivent être associés à d'autres indicateurs.

Figure 5 : Proportions d'animaux présentant des redressements de la tête 30 s après la suspension en fonction du délai de perte du réflexe cornéen.



Conclusions

Les résultats de cette étude montrent qu'il existe des liens entre certaines procédures, le comportement des animaux et leur état physiologique, y compris la qualité de leur viande. Par exemple, une attente plus longue dans le couloir d'abattage entraîne plus de compressions entre les animaux avec des conséquences sur le pH de leurs muscles. De même, un délai plus long entre l'entrée dans le piège rotatif et le retournement de l'animal entraîne des réactions de stress, révélées par les mesures d'hématocrite.

Les résultats montrent également que des solutions simples et potentiellement peu coûteuses existent pour limiter les problèmes à la fois de bien-être animal et de conditions de travail du personnel (facilité du travail et sécurité). Par exemple, l'amélioration de la circulation des animaux et des hommes faciliterait la conduite des animaux. De plus des animaux moins stressés sont plus faciles à manipuler et moins susceptibles d'avoir des comportements dangereux envers l'Homme. Certaines habitudes simples peuvent être acquises, par exemple, limiter l'usage de la pile ou éviter des attentes longues dans les pièges, pour réduire le stress des animaux. Ces solutions permettront en outre d'améliorer l'efficacité du fonctionnement de l'abattoir, en termes de cadence et d'améliorations qualitatives et quantitatives de sa production (carcasses et viandes).

En perspective, une étude sur la gestion et l'abattage des ovins et des veaux nous semble nécessaire.

Remerciements

Nous remercions vivement la direction de l'abattoir de nous avoir accueillies pour réaliser cette étude. Nous remercions également le personnel de l'abattoir pour leur bonne volonté et leur précieuse collaboration dans le recueil des données.

Nous remercions toutes ces personnes pour l'intérêt qu'ils ont montré pour cette étude et pour leur motivation à améliorer les conditions de gestion des animaux.

Bibliographie

- Anil M.H., McKinstry J.L., Gregory N.G., Wotton S.B. et Symonds H., 1995. Welfare of calves – 2. Increase in vertebral artery blood flow following exsanguinations by neck sticking and evaluation of chest sticking as an alternative slaughter method. *Meat Science*, 41: 113-123.
- Ba Z.F., Lu A., Shimizu T., Szalay L., Schwacha M.G., Rue L.W., Bland K.I. et Chaudry I.H., 2007. 17-beta-Estradiol modulates vasoconstriction induced by endothelin-1 following trauma-hemorrhage. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 292: 245-250.
- Bendall J.R., 1973. *Post-mortem changes in muscle*. In: Bourne, G.H. (Ed.), *Structure and function of muscle*. 2nd ed. Academic Press, New York, pp. 244-309.
- Boissy A. et Bouissou M.F., 1994. Effects of androgen treatment on behavioral and physiological responses of heifers to fear-eliciting situations. *Hormones and Behavior*, 28: 66-83.
- Boissy A. et Bouissou M.F., 1995. Assessment of individual differences in behavioural reactions of heifers exposed to various fear-eliciting situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 46: 17-31.
- Boissy A., et Le Neindre P., 1997. Behavioral, cardiac and cortisol responses to brief peer separation and reunion in cattle. *Physiology and Behaviour*, 61: 693-699.
- Bourguet C., Deiss V., Gobert M., Durand D., Boissy A. et Terlouw E.M.C., 2010. Characterising the emotional reactivity of cows to understand and predict their stress reactions to the slaughter procedure. *Applied Animal Behaviour Science*, 125: 9-21.
- Bourguet C., Deiss V., Boissy A., et Terlouw E.M.C. Young Blond d'Aquitaine, Angus, and Limousin bulls differ in emotional reactivity during tests: relationships with physical traits, stress reactions at slaughter and *post-mortem* muscle metabolism. *Animal*, En préparation.
- Bringard A., Denis R, Belluye N. et Perrey S., 2006. Effects of compression tights on calf muscle oxygenation and venous pooling during quiet resting in supine and standing positions *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46: 548-54.
- Cruccu G. et Deuschl G., 2000. The clinical use of brainstem reflexes and hand-muscle reflexes. *Clinical Neurophysiology*, 111: 371-387.
- Cruccu G., Iannetti G.D., Marx J.J., Thoemke F., Truini A., Fitzek S., Galeotti F., Urban P.P., Romaniello A., Stoeter P., Manfredi M. et Hopf H.C., 2005. Brainstem reflex circuits revisited. *Brain*, 128: 386-394.
- D'Souza D.N., Dunshea F.R., Warner R.D. et Leury B.J., 1998. The effect of handling pre-slaughter and carcass processing rate post-slaughter on pork quality. *Meat Science*, 50: 429-437.

- EFSA, 2004. Welfare aspects of animal stunning and killing methods. Scientific report of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. Accepté en Juin 2004 par la European Food Safety Authority.
- Gouveia K.G., Ferreira P.G., da Costa J.C.R., Vaz-Pires P. et da Costa P.M. 2009. Assessment of the efficiency of captive-bolt stunning in cattle and feasibility of associated behavioural signs *Animal Welfare*, 18: 171-175.
- Grandin, T., 1989. Behavioral principles of livestock handling. *Professional Animal Scientist*, 5: 1-11.
- Grandin T., 1997. Assessment of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science*, 75: 249-257.
- Grandin T., 1998. Objective scoring of animal handling and stunning practices at slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 212: 36-39.
- Grandin T. 2005. Restraint methods for holding animals during ritual slaughter. *Animal Welfare at ritual slaughter*, Berlin, pp. 64-69.
- Gregory N.G. 1998. *Animal welfare and meat science*. CAB International Publishing, Wallingford, UK.
- Gregory N.G., Shaw F.D., Whitford J.C. et Patterson-Kane J.C., 2006. Prevalence of ballooning of the severed carotid arteries at slaughter in cattle, calves and sheep. *Meat Science*, 74: 655-657.
- Gregory N.G., Lee C.J. et Widdicombe J.P., 2007. Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. *Meat Science*, 77: 499-503.
- Gregory N.G., Fielding H.R., von Wenzlawowicz M. et von Holleben K., 2010. Time to collapse following slaughter without stunning in cattle. *Meat Science*, 85: 66-69.
- Hall L.W. Clarke K.W. et Trim C.M. 2001, *Veterinary Anesthesia*, WB Saunders, London, UK.
- Jarvis A.M., Selkirk L. et Cockram M.S., 1995. The influence of source, sex class and pre-slaughter handling on the bruising of cattle at two slaughterhouses. *Livestock Production Science*, 43: 215-224.
- Jarvis A.M., Cockram M.S. et Mcgilp I.M., 1996. Bruising and biochemical measures of stress dehydration and injury determined at slaughter in sheep transported from farms or markets. *British Veterinary Journal*, 152: 719-722.
- Knowles T.G., 1999. A review of the road transport of cattle. *The Veterinary Record*, 144:197–201.
- Liotta L., Nanni Costa L., Chiofalo B., Ravarotto L. et Chiofalo V. 2007. Effect of lairage duration on some blood constituents and beef quality in bulls after long journey. *Italian Journal of Animal Science*, 6: 375-384.
- Malhi P.S., Adams G.P. et Singh J., 2005. Bovine model for the study of reproductive aging in women: follicular, luteal, and endocrine characteristics. *Biology of Reproduction*, 73: 45-53.
- Mitchell G., Hattingh J. et Ganhao M., 1988. Stress in cattle assessed after handling, after transport and after slaughter. *The Veterinary Record*, 123: 201-205.

- Mounier L., Veissier I. et Boissy A., 2005. Behavior, physiology, and performance of bulls mixed at the onset of finishing to from uniform body weight groups. *Journal of Animal Science*, 83: 1696-1704.
- Munck A., Guyre P.M. et Holbrook N.J., 1984. Physiological functions of glucocorticoids in stress and their relation to pharmacological actions. *Endocrine Reviews*, 5: 25-44.
- Natelson B.H., Ottenweller J.E., Cook J.A., Pitman D., McCarty R. et Tapp W.N., 1988. Effect of stressor intensity on habituation of the adrenocortical stress response. *Physiology and Behavior*, 43: 41-46.
- Ndibualonji B.B.V., Mbuyi K.Y., Manzola M.S., Dehareng D. et Godeau J.M., 2004. Metabolic and hormonal variations after the intravenous administration of glucose in a dried up cow. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 148: 194-201.
- Newhook J.C. et Blackmore D.K., 1982. Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves - part 2: The onset of permanent insensibility in calves during slaughter. *Meat Science*, 6: 295-300.
- Nishiyasu T., Tan N., Morimoto K., Sone R. et Murakami N., 1998. Cardiovascular and humoral responses to sustained muscle metaboreflex activation in humans. *Journal of Applied Physiology*, 84: 116-122.
- O'Leary D.S. et Sheriff D.D., 1995. Is the muscle metaboreflex important in control of blood flow to ischemic active skeletal muscle in dogs? *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 268: 980-986.
- Owens C.M., McKee S.R., Matthews N.S. et Sams A.R., 2000. The development of pale, exudative meat in two genetic lines of turkeys subjected to heat stress and its prediction by halothane screening. *Poultry Science*, 79: 430-435.
- Pearce W.J. et D'Alecy L.G., 1980. Hemorrhage-induced cerebral vasoconstriction in dogs. *Stroke*, 11: 190-197.
- Roesner J.P., Koch A., Bateman R., Scheeren T.W., Zander R., Noldge-Schomburg G.E. et Zacharowski K., 2009. Accurate and continuous measurement of oxygen deficit during haemorrhage in pigs. *Resuscitation*, 80: 259-263.
- Rosenvold K. et Andersen H.J., 2003. Factors of significance for pork quality - a review. *Meat Science*, 64: 219-237.
- Schulze W., Schultze-Petzold H., Hazem A.S. et Gross R., 1978. Experiments for the objectification of pain and consciousness during conventional (captive bolt stunning) and religiously mandated ("ritual cutting") slaughter procedures for sheep and calves. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift (German veterinary weekly)*, 85: 62-66.
- Strappini A.C., Metz J.H.M., Gallo C.B., et Kemp B.. 2009. Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal*, 3: 728-736.
- Tarrant P.V., 1989. Animal behaviour and environment in the dark-cutting condition in beef - A review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13: 1-21.
- Taylor S.E., Klein L.C., Lewis B.P., Gruenewald T.L., Gurung R.A. et Updegraff J.A., 2000. Biobehavioral responses to stress in females: tend-and-befriend, not fight-or-flight. *Psychological Review*, 107: 411-429.

- Tennessee T., Price M.A., Berg R.T., 1984. Comparative responses of bulls and steers to transportation. *Canadian Journal of Animal Science*, 64: 333-338.
- Terlouw E.M.C. et 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.
- Vimini R.J., Field R.A., Riley M.L. et Varnell T.R., 1983. Effect of delayed bleeding after captive bolt stunning on heart activity and blood removal in beef-cattle. *Journal of Animal Science*, 57: 628-631.
- Virgili R., Degni M., Schivazappa C., Faeti V., Poletti E., Marchetto G., Pacchioli M.T., et Mordenti A., 2003. Effect of age at slaughter on carcass traits and meat quality of Italian heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 81: 2448-2456.
- Welsh Jr.T., Burdick N., Curley Jr.K., Agado B., Willard S., Carroll J.A., Vann R. et Randel R. 2009. Influence of gender and breed type on basal and induced secretion of cortisol in cattle [abstract]. In: Proceedings of the Endocrine Society's 91st Annual Meeting, June 10-13, 2009, Washington, D.C. Abstract #P2-640.
- Wolski L.A., 1998. The impacts of splenic release of red cells on hematocrit changes during exercise. Phd thesis. University of British Columbia, Vancouver.
- Wotton S.B., Gregory N.G., Whittington P.E. et Parkman I.D., 2000. Electrical stunning of cattle. *The Veterinary Record*, 9: 681-684.

Résumé Stress pendant la période d'abattage chez les bovins :

Rôles de la réactivité émotionnelle et des facteurs environnementaux

La période d'abattage est complexe car elle se compose d'une succession de situations associées à une multitude de facteurs de stress. L'animal est généralement privé d'alimentation et est ensuite confronté à un environnement changeant et contraignant qui demande en permanence des adaptations comportementales et physiologiques affectant son état émotionnel. Les objectifs de cette thèse sont (i) de mieux comprendre l'origine des réactions des bovins au cours de la période d'abattage, et (ii) d'évaluer leur stress d'un point de vue comportemental et physiologique à l'aide d'études menées à la fois en abattoir industriel et dans des conditions expérimentales.

Nos travaux sur le terrain mettent en évidence la nécessité de tenir compte de toutes les procédures d'abattage, y compris les plus courtes, ainsi que des contraintes organisationnelles des abattoirs car elles influencent l'état de stress des bovins. Pendant la période d'élevage, la caractérisation des bovins selon leur réactivité émotionnelle, qui dépend en partie de leur expérience antérieure et de leur race, permet d'identifier les animaux susceptibles de réagir plus fortement aux procédures d'abattage. Elle permet également de déterminer les facteurs de stress prépondérants associés à ces procédures. Ainsi, la nouveauté et la séparation sociale expliquent en partie les réactions de stress à l'abattage chez les vaches. Chez les taurillons, les réactions de stress à l'abattage sont liées à leur réactivité cardiaque à la soudaineté et à l'Homme. De plus, les bovins réagissent plus fortement à différents facteurs de stress lorsqu'ils sont privés de nourriture. L'état physiologique des bovins influence donc leurs réactions de stress à l'abattage, probablement en modulant leur perception de la situation.

Afin de réduire le niveau de stress des bovins pendant la période d'abattage, nos travaux montrent qu'il est possible d'agir sur l'environnement en limitant les sources de stress directes et indirectes. Il est également possible d'agir au niveau de l'animal par le biais de son expérience antérieure et de sa génétique.

Mots clés : bovins, stress, réactivité émotionnelle, bien-être animal, abattage, comportement, physiologie.

Abstract Pre-slaughter stress in cattle:

Roles of the emotional reactivity and environmental factors

The slaughter period is complex as it consists of a series of situations during which the animal is confronted with various stress-inducing factors. The animal is often food deprived and subjected to a changing and demanding environment that it needs constantly to adapt to in behavioural and physiological terms and which may affect the emotional status of the animal. The present thesis aimed to (i) better understand causes underlying the reactions of cattle during the slaughter period and (ii) evaluate their stress status using behavioural and physiological measurements, in studies conducted in industrial and experimental conditions.

Results show that all slaughter procedures, even short-lasting, as well as organisational constraints of the abattoir, should be taken into account as they may all influence cattle stress status. During rearing, characterising the cattle according to their emotional reactivity, which depends partly on prior experience and genetic background, allows identifying animals that are likely to react relatively strongly to the slaughter procedures. It allows also identifying the main factors associated with slaughter procedures that may cause stress. Thus, novelty and social separation explain part of the slaughter stress reactions in cows. In young bulls, stress reactions at slaughter are related to their cardiac reactivity to suddenness and to human. Additionally, cattle reacted more strongly to different stressful situations when they are food-deprived. This suggests that in cattle, physiological status may influence stress reactions slaughter, possibly by modulating their perception of the situation.

In order to reduce stress levels during the slaughter period in cattle, it is possible to improve aspects of the environment by avoiding direct and indirect stress-inducing factors. It is also possible to take action at the animal level by modifying its prior experience or genetic background.

Keywords: cattle, stress, emotional reactivity, animal welfare, slaughter, behaviour, physiology