



HAL
open science

Réduire le stress à l'abattage : pourquoi et comment ?

Claudia Terlouw

► **To cite this version:**

Claudia Terlouw. Réduire le stress à l'abattage : pourquoi et comment ?. Sghaier Chriki (1, 2) Marie-Pierre Ellies-Oury (3, 4) Jean-François J.-F. Hocquette (3). L'élevage pour l'agroécologie et une alimentation durable, 2020. hal-04166129

HAL Id: hal-04166129

<https://hal.inrae.fr/hal-04166129v1>

Submitted on 19 Jul 2023

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.

Réduire le stress à l'abattage : pourquoi et comment ?

E.M. Claudia Terlouw INRAE - UMR1213 Herbivores,

Saint-Genès-Champanelle

Introduction

Ce chapitre a pour but d'apporter des réponses scientifiques aux questions relatives au stress des animaux pendant la période d'abattage. Tout au long de l'élevage et pendant l'abattage, les animaux peuvent être confrontés à des situations de contrainte susceptibles de leur causer du stress. Le regard de la société sur ces aspects est de plus en plus critique. En réponse à cela, le cadre légal évolue progressivement. Le rôle des recherches en sciences animales est d'analyser ces questions et de produire des connaissances les plus objectives possibles. Après la description des différentes procédures d'abattage, le rôle que la science peut jouer pour mieux comprendre les causes de stress et à améliorer les procédures d'abattage est exposé.

I. Les procédures d'abattage

1.1 La période pré-abattage

La période pré-abattage dure souvent plusieurs heures ; parfois plus d'une journée si l'animal passe par diverses étapes, par exemple, une attente prolongée dans les marchés. Cette période commence à la ferme, lorsque l'éleveur prépare ses animaux pour le départ à l'abattoir. Avant de partir pour l'abattoir, les animaux peuvent être rassemblés sur un quai d'embarquement ou dans un parc pour faciliter le chargement ultérieur dans le camion qui les transportera jusqu'à l'abattoir. Avant le départ, la ration peut être supprimée pour éviter que les animaux ne subissent le mal des transports ou lorsque l'heure du chargement est incompatible avec celle de l'alimentation. Parfois, il s'agit d'un choix de l'éleveur, par exemple, pour des raisons d'économie.

Les conditions de chargement dépendent des installations présentes et dont l'efficacité varie selon les fermes. Les veaux et les jeunes bovins sont souvent chargés par grands groupes (lots) d'une seule ferme. Les vaches de réforme et les taureaux sont souvent chargés individuellement. Dans ce cas, le chargement du camion est composé d'animaux de différents élevages qui peuvent ainsi être mélangés dans un même compartiment. Les conditions de transport dépendent de la disposition du camion, du style de conduite et de la distance parcourue (Cockram et al., 2004) et celles du déchargement dépendent des installations de l'abattoir et de la qualité des manipulations par les opérateurs. Après le déchargement, les animaux doivent fréquemment attendre pendant plusieurs heures, souvent une nuit entière, dans la zone de stabulation bovine de l'abattoir dans des conditions variables (Terlouw et al., 2011). Ils peuvent être maintenus en logettes individuelles ou en groupe, dans des parcs. Il est important de respecter les recommandations concernant la propreté des sols, le renouvellement de l'air, et d'éviter la surcharge des parcs. La loi prévoit que les animaux puissent accéder à de l'eau propre à tout moment. Les animaux qui n'ont pas été abattus dans les douze heures qui suivent leur arrivée doivent être nourris (Règlement (CE) No 1099/2009 du conseil).

1.2 L'étourdissement

Pour la mise à mort, les animaux sont repris pour être conduits au poste d'abattage. La douleur et la peur sont des sources fréquentes de stress à l'abattage. Pour limiter ces stress, de façon réglementaire, l'abattage se fait le plus souvent en deux étapes : une première consiste à étourdir l'animal pour provoquer une perte de conscience et la deuxième à le saigner pour induire la mort (Terlouw et al., 2015a). L'animal inconscient est insensible aux stimulations : son cerveau n'est plus en état de traiter les informations sensorielles. L'induction de la perte de conscience a donc pour but d'empêcher que l'animal ne ressente des douleurs ou de la peur pendant la mise à mort. L'état d'inconscience doit durer jusqu'à la mort de l'animal.

En France comme dans d'autres pays, dans le cadre des abattages religieux (halal et kasher), il est possible d'obtenir une dérogation et de ne pas étourdir les animaux avant la saignée. Dans ce cas, l'animal contenu dans un box ou restrainer (cage ou tunnel semi-ouvert en V qui maintient l'animal), est saigné directement, et c'est la perte de sang qui induit progressivement une perte de conscience, et ensuite la mort de l'animal (Terlouw et al., 2015a). Cependant, l'étourdissement est parfois pratiqué avant ou juste après l'égorgeage religieux, notamment halal. Dans ce dernier cas, l'animal est conscient pendant la coupe, mais la perte de conscience est accélérée.

Les différentes méthodes d'étourdissement visent à perturber le fonctionnement du cerveau et reposent sur différents principes. Pour les bovins, l'étourdissement mécanique est généralement utilisé. Il est provoqué à l'aide d'un pistolet tubulaire muni d'une tige captive qui perfore le crâne et le cerveau. Le pistolet est déclenché au centre du front du bovin ce qui étourdit l'animal instantanément. Les effets sont multiples : l'impact de la tige sur le crâne provoque une onde de choc traversant le cerveau et le passage de la tige provoque la destruction de tissu cérébral ainsi que l'éclatement des vaisseaux, provoquant des hémorragies. La principale difficulté de la technique est que, dans certains cas, minoritaires, il est nécessaire de procéder à deux tirs pour s'assurer que l'animal est profondément étourdi. Des travaux sont actuellement en cours pour mieux comprendre les causes afin de pouvoir éviter ces situations.

L'étourdissement mécanique peut être utilisé chez toutes les espèces. Néanmoins, l'étourdissement électrique, ou l'électronarcose, est le plus souvent utilisé chez les autres espèces (moutons, volailles et porcs). L'étourdissement électrique peut également être utilisé pour les veaux ou même les bovins adultes. Le principe est de faire passer un courant électrique à travers le cerveau ce qui étourdit l'animal instantanément (Tableau 1). Outre l'inconscience, le passage du courant provoque une phase tonique de plusieurs secondes, suivie par une phase clonique. Pendant la phase tonique, les muscles sont en contraction tonique ; la phase clonique est caractérisée par des convulsions. Un avantage de l'électronarcose est la possibilité d'automatisation de cette technique. Cependant, certains aspects de ces systèmes automatisés peuvent présenter un stress important pour les animaux. Par exemple, les porcs et ovins sont portés par un restrainer jusqu'au poste d'abattage ce qui en général présente un stress important (Griot et al., 2000).

Enfin, l'étourdissement au gaz n'est utilisé que par quelques abattoirs de porcs et de volaille en France, mais l'est dans de nombreux abattoirs de porcs et de volailles dans d'autres pays européens comme le Danemark, La Suède ou le Royaume Uni. Le principe consiste à plonger les animaux dans une atmosphère contenant de fortes concentrations (pour les porcs, de manière réglementaire au moins 80%, mais en pratique souvent plus ; Règlement (CE) N° 1099/2009 du Conseil du 24

septembre 2009 sur la protection des animaux) de CO₂. Les porcs sont introduits dans une nacelle et descendus dans une fosse tandis que les volailles sont placées sur un tapis roulant et entrent dans un tunnel, tous deux remplis du mélange de CO₂. Après inhalation, le CO₂ se dissout dans le sang et provoque l'acidification de celui-ci, et par conséquent, des cellules du cerveau (Martoft et al., 2003). L'acidification des neurones les empêche de fonctionner correctement provoquant l'inconscience de l'animal. La perte de conscience se fait progressivement, sur une période de 15 à 20 secondes. Pendant cette période d'induction, les animaux présentent une excitation comportementale et une respiration haletante qui laissent penser qu'ils sont en état de stress.

Toutes ces techniques empêchent le bon fonctionnement des neurones dans le cerveau, y compris le cortex, et induisent ainsi un état d'inconscience. Celui-ci peut-être réversible dans le cas de l'étourdissement électrique et par gaz, selon les méthodes exactes utilisées, et est irréversible dans le cas de l'étourdissement mécanique. Quelle que soit la technique utilisée, pour avoir de bons résultats, le matériel soit bien entretenu et utilisé selon les instructions du fabricant en respectant les guides de bonnes pratiques.

La saignée

Après l'application de l'étourdissement, les animaux doivent être saignés dès que possible au niveau du cou (moutons, volailles, bovins) ou du thorax (porcs, bovins). Chez les bovins, il est possible de pratiquer une double saignée, thorax et cou. Pour la saignée au niveau du cou, les jugulaires et les carotides sont sectionnées bilatéralement derrière la mâchoire. La saignée thoracique se fait par une incision au niveau de la gouttière jugulaire. Elle est plus efficace parce que le débit sanguin est plus important (Anil et al., 1995), mais chez les bovins, elle nécessite une double intervention : d'abord la peau est coupée, puis avec un autre couteau, les grands vaisseaux provenant du cœur.

Il est possible d'utiliser une technique de saignée verticale, ou horizontale. Pour la saignée verticale, une chaîne est attachée autour d'une patte postérieure, l'animal est hissé, puis saigné. Suite à l'électronarcose, il est recommandé de saigner l'animal dans un délai de quelques secondes pour éviter qu'il se réveille avant la fin de la saignée. Pour éviter des délais supplémentaires liés au hissage de l'animal, il faut pratiquer la saignée horizontale, où l'animal est saigné sur une table de saignée ou directement dans le restainer (ovins) et hissé ensuite. Pour la volaille, accrochée avant l'étourdissement, des systèmes de saignée automatisés sont utilisés.

La saignée dans le cadre d'abattage religieux est dictée par des textes religieux. Dans ce cas, tous les tissus mous, y compris les principaux vaisseaux sanguins (artères carotides et veines jugulaires) sont coupés à partir de la peau. Le couteau se déplace vers les vertèbres en épargnant la moelle épinière (Aghwan et al., 2016).

II. Réduire le stress à l'abattage : pourquoi ?

Il y a trois arguments majeurs pour réduire le stress à l'abattage qui sont présentés ci-dessous : l'éthique, la sécurité des hommes et des animaux, et enfin la qualité des viandes.

II.1 La question d'éthique

Le stress a souvent été décrit comme l'état de l'animal lorsqu'il est incapable de s'adapter, par son comportement et sa physiologie, aux contraintes environnementales ou physiques (Fraser et al. 1975; Broom 1987). Cette question a son importance, mais pour savoir si le stress animal pose un problème éthique, il est indispensable de se poser la question de la capacité des animaux d'éprouver des émotions (Dawkins 1980; Duncan 1996; Dantzer 2002; Désiré et al. 2002). La question d'éthique ne se pose que si les animaux sont capables de souffrir, c'est-à-dire s'ils sont capables d'éprouver des émotions négatives. Le fer qui constitue la Tour Eiffel subit des contraintes, comme la compression, l'étirement, et des contraintes thermiques, mais on ne se pose pas des questions d'éthique, car on n'attribue pas des émotions à la Tour. En revanche, les études sur le comportement, la physiologie ainsi que sur l'anatomie et le fonctionnement du cerveau ont montré que les animaux sont capables d'éprouver des émotions négatives et positives (Paul et al., 2005 ; Boissy et al., 2007). Par exemple, le système limbique, connu pour son implication dans les émotions chez l'homme, existe également dans le cerveau des mammifères non humains (LeDoux, 2000). Le système limbique est impliqué dans de nombreuses réactions comportementales lors de situations stressantes chez les mammifères (Panksepp, 2005; Damasio, 1998). Ainsi, alors que certains événements environnementaux et physiques contraignent l'animal à s'adapter à la situation, ils sont également susceptibles de provoquer des émotions négatives chez lui. Par conséquent, il est admis que le stress, y compris chez les animaux, fait référence à la présence d'émotions négatives. Ces émotions se produisent lorsque l'animal se sent menacé, que la menace soit réelle ou non. Afin de s'adapter à cette menace, l'animal répond par son comportement, avec des réactions de fuite ou de défense par exemple, et par sa physiologie, avec une augmentation de la fréquence cardiaque et la sécrétion de certaines hormones nécessaires pour les efforts physiques, pour fuir par exemple.

En conclusion, les animaux sont capables d'éprouver aussi bien des émotions négatives que positives. Les humains qui ont des animaux sous leur responsabilité, sont également responsables de leur état émotionnel. Certains philosophes indiquent que les humains ont donc l'obligation morale de s'occuper de ces animaux le mieux possible, pour éviter qu'ils éprouvent des émotions négatives (Arkow, 1998 ; Thompson, 2012 ; Larrère et al., 2018). Les émotions positives jouent un rôle essentiel dans le bien-être animal. Cependant, dans le contexte d'abattage, à l'heure actuelle, l'objectif est de limiter les émotions négatives chez les animaux.

II.2 La sécurité des hommes et des animaux

Pendant la période d'abattage, la peur est une source majeure de stress chez les animaux. Les réactions de peur peuvent varier selon le facteur anxiogène (présence de l'Homme, isolement, événements inattendus...), l'animal (vécu, âge, genre, patrimoine génétique...) et le contexte (absence de congénères, accumulation de facteurs anxiogènes...). Ils peuvent impliquer des réactions de défense (attaque, menace), d'évitement (fuite, évasion, dissimulation) ou une inhibition des mouvements, pour rester inaperçu. L'animal peut aussi excréter de l'urine et des fèces, facilitant ainsi les réactions physiques (attaque ou fuite) tout en véhiculant des phéromones liées à la peur et pouvant être perçues par les autres individus (Boissy *et al.*, 1998). Les animaux peuvent également vocaliser ; comme dans le cas de la sécrétion de phéromones, ceci informe les membres du groupe de la menace subie (Boissy, 1995; Boissy et al., 1998). Les réactions comportementales de peur sont accompagnées des réactions physiologiques classiques de stress, telles que l'augmentation de la fréquence cardiaque et la sécrétion de certaines hormones, nécessaires pour les efforts physiques.

En élevage et à l'abattage, plus l'animal a peur, plus il est difficile à conduire. Les réactions de fuite peuvent l'amener dans la mauvaise direction. Plus souvent encore, l'animal refuse d'avancer vers le camion ou dans les couloirs de l'abattoir. Ces difficultés peuvent entraîner l'animal, mais parfois aussi l'opérateur dans un cercle vicieux, avec une excitabilité physique et un stress supplémentaire, rendant les opérations encore plus difficiles. Les réactions de peur pouvant être inattendues et violentes, comme des coups de pattes et des mouvements abrupts : elles augmentent les risques en termes de sécurité pour les opérateurs comme pour les animaux (Terlouw et al., 2014 ; Grandin 2013). Par exemple, une étude dans un abattoir français a montré que des réactions de fuite dans les couloirs étaient à l'origine de glissades et parfois même de chutes des bovins. Dans ce dernier cas, l'animal pouvait rester coincé sous les barrières et se faire piétiner par d'autres animaux (Bourguet et al., 2011). Des animaux ayant reçu des impacts douloureux (choc avec les barrières, coups de bâton...) étaient également plus difficiles à manipuler ensuite (Bourguet et al., 2011).

En conclusion, la peur et d'autres événements négatifs provoquent des réactions potentiellement dangereuses, pour l'animal lui-même et pour l'homme qui le conduit. Il faut donc essayer le plus possible de concevoir un environnement sans facteurs anxiogènes ni autres sources de stress, où l'animal avance sans difficulté là où l'homme souhaite l'amener.

II.3 Les qualités des viandes

Il est connu depuis longtemps que les conditions d'abattage peuvent avoir un impact significatif sur la qualité de la viande. Les mécanismes sous-jacents sont bien décrits (Bendall, 1973; Hambrecht et al., 2005). Après l'abattage, les réactions biochimiques se poursuivent, mais comme le sang ne circule plus, il n'y a plus d'apport en oxygène et en nutriments.

En conséquence, le glycogène (source d'énergie) stocké localement dans le muscle est catabolisé par voie anaérobie. En raison de l'absence de circulation sanguine, les produits de ces réactions, notamment des ions d'hydrogène (H^+), s'accumulent dans le muscle et entraînent une acidification du muscle (Robergs et al., 2004; Bendall 1973, Hambrecht et al., 2005). Cette acidification est initialement rapide, puis ralentit pour se stabiliser autour d'une valeur d'environ 5,5, appelée pH ultime, atteinte environ 24 heures après la mort. Le pH (potentiel hydrogène) est une mesure de l'acidité, avec une échelle allant de 0 à 14 (Glossaire). Cette acidification fait partie des événements chimiques qui participent à la transformation du muscle en viande. L'*ampleur* de l'acidification dépend fortement des réserves musculaires de glycogène avant l'abattage. L'activité physique et le stress accrus le jour ou les heures précédant l'abattage nécessitent de l'énergie et réduisent les réserves de glycogène dans les muscles pouvant entraîner un manque d'acidification. Par exemple, chez le porc, le pH ultime augmente proportionnellement avec le nombre d'interactions agressives que l'animal a eu les heures qui précèdent l'abattage (Terlouw et al., 2005 ; Terlouw et al., 2015d). Des viandes avec un pH ultime plus élevé que la normale sont en général plus tendres et plus juteuses, mais ont une diminution de la saveur (Encadré 1 ; Dransfield, 1981 ; Lomiwes et al., 2013 ; Terlouw, 2005). Des viandes ayant un pH supérieur à 6,0 sont généralement difficiles à conserver car, à cause de leur manque d'acidité entre autres, le développement bactérien est facilité (Warriss, 2010). Elles sont de couleur sombre et pour cette raison, ce type de viande est appelée viande à coupe sombre (Encadré 1).

La *vitesse* d'acidification dépend de l'activité métabolique musculaire immédiatement avant l'abattage (Bendall, 1973 ; Hambrecht et al., 2005 ; Warriss, 2010). Une activité physique associée à un stress entraîne une activité métabolique élevée. Lorsqu'elle a lieu juste avant l'abattage, elle continuera après la mort de l'animal, entraînant une accélération de l'acidification (Terlouw et

Rybarczyk, 2008). Le niveau d'activité physique avant la mise à mort est inversement corrélé avec le pH précoce (Bourguet et al., 2011 ; Terlouw et al., 2015d). L'acidification plus rapide entraîne la production d'une viande plus claire, avec un pouvoir de rétention d'eau réduit par rapport à la normale. Dans les cas extrêmes, ces viandes sont appelées « exsudatives » ; elles sont de couleur très claire, de consistance flasque et perdent leur eau (Terlouw, 2005 ; Aalhus et al., 1998). La baisse rapide du pH alors que le muscle est encore chaud favorise une dénaturation accrue des protéines, ce qui explique en partie l'aspect clair et flasque de la viande, ainsi que son pouvoir réduit de retenir son eau (Honikel, 1987 ; Huff-Lonergan et Lonergan, 2005 ; Encadré 1).

Le stress peut également influencer sur la tendreté de la viande sans lien apparent avec la cinétique de diminution du pH. Dans une étude menée sur des vaches, la viande était plus tendre chez les vaches ayant une fréquence cardiaque relativement faible, c'est-à-dire un niveau de stress bas, juste avant l'abattage, mais il n'y avait pas de corrélation avec le pH (Terlouw et al., 2015d). Alors qu'il est probable que le métabolisme énergétique post-mortem ait joué un rôle dans le déterminisme de la tendreté, d'autres mécanismes liés à l'oxydation, la protéolyse et l'apoptose contribuent de manière importante à la tendreté (Encadré 1).

En conclusion, alors que la nature exacte et les interactions des processus impliqués dans le déterminisme des qualités des viandes restent à être élucidés (Encadré 1), les études montrent que la réduction du stress des animaux permet d'obtenir des viandes d'une meilleure qualité.

Encadré 1. Le muscle et la viande

Le muscle maigre contient environ 75% d'eau. Les autres principaux composants sont les protéines (20%), les lipides (5%), les glucides (1%) et les vitamines et minéraux (1%). Les protéines sont essentiellement des myofibrilles (donnant au muscle ses capacités contractiles), le cytosquelette (maintien de la structure de la cellule), la myoglobine (stockage de l'oxygène), des enzymes (catalyseurs des réactions biochimiques dans la cellule) et des protéines chaperons (pliage des protéines et maintien de leur structure).

Au cours de la transformation du muscle en viande, les changements dans les myofibrilles, les protéines du cytosquelette et la myoglobine, dus à l'action des enzymes et des protéines chaperons et aux influences mécaniques, jouent un rôle majeur dans le déterminisme de la capacité de rétention d'eau, la texture et la couleur de la viande. Les caractéristiques intrinsèques du muscle et l'activité de nombreuses enzymes présentes dans la cellule au moment de la mort déterminent les réactions qui ont lieu dans le muscle post-mortem. Ces réactions impliquent le métabolisme énergétique, la protéolyse, l'oxydation et l'hydrolyse. D'autres processus importants sont la stabilisation et la réparation des protéines par les protéines chaperon, l'apoptose (processus organisé de la mort cellulaire) et l'autophagie (destruction ou recyclage des organites endommagés et des protéines mal repliées). Tous les processus s'influencent mutuellement, directement ou indirectement. En faisant abstraction de facteurs externes (conditions de stockage), le résultat net de ces réactions détermine les qualités technologiques et sensorielles de la viande.

Le rôle du métabolisme énergétique post-mortem dans le déterminisme des qualités des viandes est connu depuis de nombreuses années (Bendall, 1973). Après l'abattage, en l'absence de la circulation sanguine, les réactions biochimiques liées au métabolisme énergétique se poursuivent dans le muscle post-mortem mais en l'absence d'oxygène les produits nets de ces réactions sont acides (Robergs et al., 2004). Ils s'accumulent dans le muscle provoquant une acidification (baisse du pH).

Ces réactions permettent pendant un certain temps la régénération d'adénosine triphosphate (ATP), une protéine qui peut libérer de l'énergie. Tant que les teneurs en ATP sont suffisantes dans le muscle post-mortem, les myofibrilles se contractent et décontractent en permanence. Cependant, dans les conditions du muscle post-mortem, la quantité d'ATP diminue progressivement. Lorsque l'ATP vient à manquer, les myofibrilles restent en contraction ; c'est alors l'état de la rigidité cadavérique (*rigor mortis*). Les muscles restent durs jusqu'à ce qu'un autre processus intervienne : la protéolyse, permettant la dégradation des protéines et l'attendrissage de la viande (Koochmaraie & Geesink, 2006).

L'exsudat est pour une grande partie issue d'eau initialement piégée par les myofibrilles. En fonction de la distance entre les myofibrilles, l'eau peut être expulsée de l'espace myofibrillaire, puis de la cellule (Huff-Lonergan et Lonergan, 2005). Le pouvoir de rétention d'eau est lié au pH ultime. A un pH de 5,4, la myosine atteint son point isoélectrique, c'est-à-dire, il y a autant de groupes chargés positivement que négativement. Plus le pH ultime s'éloigne de cette valeur, plus les myofibrilles se repoussent les uns les autres créant plus d'espace entre elles (Wismer-Pedersen, 1987). Par conséquent, à des pH ultimes élevés, autour de 6,0 par exemple, la viande présente une plus grande capacité de rétention d'eau qu'à un pH ultime de 5,5. Une diminution du pH rapide pendant la période post-mortem précoce influence également le pouvoir de rétention d'eau, car la dénaturation des protéines dans les membranes musculaires entraîne une diminution de la capacité à maintenir l'eau à l'intérieur des cellules (Huff-Lonergan et Lonergan, 2005).

La luminosité de la viande est influencée par la structure de la viande. A pH ultime élevé, les cellules musculaires sont plus étroitement liées en raison de l'augmentation de la capacité de rétention d'eau par les protéines musculaires. Par conséquent, sa surface diffuse moins de lumière et la viande paraît plus foncée. Dans le cas d'une acidification rapide pendant la période post-mortem précoce, la dénaturation partielle des protéines qui a lieu entraîne une modification de la texture de la viande qui augmente la diffusion de la lumière par la viande ce qui explique en partie la couleur plus claire des viandes à caractéristiques exsudatives (Swatland, 1992 ; Mancini et Hunt, 2005). D'autres aspects visuels, comme la couleur rouge, dépendent du contenu et l'état physico-chimique de la myoglobine (Mancini et Hunt, 2005).

Ainsi, l'évolution du pH post-mortem a des effets profonds sur les différentes qualités des viandes, mais ces effets se font en interaction avec d'autres processus comme mentionné ci-dessus, dont le rôle est tout aussi important.

III. Réduire le stress à l'abattage : Comment ?

Ces dernières années, des efforts considérables ont été déployés sur le terrain pour réduire le stress des animaux pendant la période d'abattage. Le nouveau règlement européen (Règlement (CE)

No1099/2009 du Conseil de l'Union Européenne) a imposé de nouvelles contraintes en matière de protection animale lors d'abattage (la formation des opérateurs, l'établissement de modes opératoires pour chaque procédure et la vérification de l'efficacité de l'étourdissement sont des exemples). De plus, les directeurs et personnels de beaucoup d'abattoirs, ainsi que des groupes de grandes distribution sont sensibilisés à la question de la protection animale et mettent en place en plus des modes opératoires, des audits internes et externes pour surveiller au quotidien les procédures. Ces avancées sont appuyées par les recherches scientifiques. Ainsi, le règlement européen est basé sur l'avis scientifique du groupe sur la santé animale et le bien-être des animaux à la suite d'une demande de la Commission Européenne (EFSA, 2004). Les acteurs du terrain font à leur tour très régulièrement appel aux chercheurs spécialisés dans les questions de stress à l'abattage.

Quelques exemples d'approches scientifiques sont décrits ci-dessous car utilisées pour comprendre les causes du stress et pour apporter des solutions concrètes.

III.1 Comprendre le stress des animaux

Dire que les opérations liées à l'abattage, telles que le transport ou l'attente en abattoir, sont stressantes pour l'animal, n'est pas suffisant. Avant de pouvoir améliorer la situation, l'identification des aspects stressants de ces opérations du *point de vue de l'animal* est indispensable. L'état émotionnel de l'animal dépend de ce qu'il perçoit de son environnement, puis de l'interprétation qu'il en fait. Il est donc essentiel de comprendre comment l'animal perçoit et interprète son environnement pour pouvoir identifier les facteurs de stress et interpréter ses réponses.

Les événements liés à l'abattage peuvent être associés à différents facteurs de stress psychologiques ou physiques. Certains facteurs de stress, tels que la non familiarité de la situation, la présence humaine ou la perturbation du groupe social, ont une origine psychologique (Terlouw et al., 2008). La présence d'un groupe social stable est un aspect important de la vie normale des animaux de ferme et la séparation du groupe provoque du stress comme le montrent les vocalisations et l'augmentation du rythme cardiaque (Boissy et Le Neindre, 1997 ; Boissy et al., 2005). D'autres facteurs de stress, tels que la privation de nourriture, la fatigue ou la douleur (*cf* Encadré 2), ont, eux, une origine physique. Ces formes de stress ont probablement aussi une composante psychologique. Par exemple, des vaches privées de nourriture depuis 30 h présentaient plus de réactions de peur à des situations anxiogènes que des vaches nourries normalement. Ceci montre que la faim, qui a une origine physique, influence l'état psychologique (Bourguet et al., 2011). Certaines pratiques de transport et d'abattage donnent lieu à différents stress simultanés. Par exemple, le mélange des animaux avant le transport ou à l'abattoir peut s'accompagner d'interactions agressives entre les animaux pour établir une nouvelle hiérarchie de dominance. Elles provoquent ainsi des émotions négatives chez l'animal, dues à la fois à la peur (psychologique) et à la douleur causée par les lésions tissulaires engendrées par les combats.

Encadré 2 : La douleur est une source de stress

La douleur peut être engendrée par des stimulations mécaniques, chimiques ou thermiques. Une rupture tissulaire provoque la libération de molécules qui sont normalement contenues dans les

cellules (adénosine, ATP, et ions d'hydrogène, par exemple) et le sang (bradykinine, glutamate) et qui sont libérées suite à la lésion. Le système immunitaire libère également des substances dans la plaie (prostaglandines, leucotriènes, bradykinine, sérotonine, histamine, substance P, adénosine, adénosine triphosphate, protons et radicaux libres entre autres), pour favoriser la cicatrisation (Basbaum et al., 2009 ; Millan, 1999). La douleur provoquée par des lésions est en partie liée à la présence de toutes ces molécules, c'est-à-dire par une stimulation chimique. Ces stimulations excitent les terminaisons nerveuses de neurones spécialisés, appelés des nocicepteurs primaires. De ces stimulations naît un message nerveux dit « nociceptif », c'est-à-dire portant l'information de la présence d'un stimulus nocif. Il est transmis au cerveau où il atteint différentes structures, dont les cortex somesthésiques et les cortex limbiques (Figure 1). Les cortex somesthésiques permettent une interprétation du signal en termes de type de stimulation, de localisation et d'intensité. Les cortex limbiques sont impliqués dans les dimensions émotionnelle et cognitive du message nociceptif. Il est admis qu'il y a douleur si les deux dimensions, senso-discriminative (cortex somesthésiques) et émotionnelle (cortex limbiques), sont présentes. La sensation de douleur est donc une expérience sensorielle associée à une émotion négative. En raison de la dimension émotionnelle négative, la douleur est considérée comme source potentielle de stress. Comme l'interprétation du signal nociceptif est faite par le cortex, il n'y a pas de perception de douleur chez un animal inconscient car le cortex ne fonctionne pas. Voir Glossaire.

Une fois les facteurs de stress conceptualisés, il est possible de les étudier séparément ou en les combinant. Ainsi, il a été démontré que les porcs sont plus stressés à l'abattage lorsqu'un humain avec lequel ils ont eu des expériences négatives auparavant est présent (Terlouw et al., 2005). Dans une autre expérience, grâce à des tests de réactivité réalisés au cours de l'élevage, nous avons pu identifier au sein d'un groupe de bovins, les individus qui sont plus stressés que la moyenne par la séparation d'avec le groupe de congénères ou le changement d'environnement. Nous avons ensuite montré que ces mêmes individus sont également plus stressés à l'abattage. Ceci indique que pendant l'abattage, le stress social et la non familiarité du contexte sont des sources de stress pour ces bovins. Les résultats montrent également qu'il est possible d'identifier pendant la période d'élevage les bovins qui seront les plus sujets au stress au moment d'abattage (Bourguet et al., 2010).

III.2 Connaître le fonctionnement du cerveau

III.2.1 La conscience

Le cerveau est un organe dont le fonctionnement est extrêmement complexe et dont la science est très loin de connaître tous les secrets. Il est cependant important de connaître certaines bases neurobiologiques pour comprendre le fonctionnement des différentes méthodes d'étourdissement afin de pouvoir évaluer si l'animal a été correctement étourdi.

L'objectif de l'étourdissement est d'interrompre la conscience de l'animal. Afin de comprendre les principes neurobiologiques des techniques d'étourdissement, il est nécessaire de savoir ce que sous-entend le terme « conscience » et de connaître les structures cérébrales impliquées (Terlouw et al., 2015a ; 2015b). Antonio Damasio a défini la conscience comme « *un état d'esprit dans lequel il existe une connaissance de sa propre existence et de l'existence de son environnement* » (Damasio, 2010). Ces connaissances nécessitent une intégration complexe des informations sensorielles (celles qui renseignent sur l'état du corps et sur l'environnement), des émotions (qui sont le moteur des

motivations), et de la mémoire (où sont stockées des connaissances apprises). Cette association des informations fait appel au processus de la conscience.

Le **cortex cérébral** est la couche supérieure du cerveau (Figure 2), a une apparence plissée et joue un rôle central dans les processus impliqués dans l'expérience consciente. Les cortex visuel, auditif, somesthésique, gustatif et olfactif sont les cortex primaires, recevant des informations provenant des sens. Leur rôle est de réaliser le premier décryptage des signaux sensoriels. Le cortex moteur primaire envoie des signaux aux muscles, permettant à l'animal d'agir face à ce qu'il a perçu. Mais avant de réagir, le cerveau doit intégrer toutes les informations, comme indiqué ci-dessus. C'est le rôle des cortex associatifs : ils interprètent les informations principales, les intègrent dans un contexte plus large et planifient les réponses appropriées. Le bon fonctionnement des cortex primaires et associatifs est nécessaire pour connaître, comprendre et donner un sens à ce qui est perçu, avoir une perception consciente de l'environnement et de soi (Crick & Koch, 2003; Laureys, 2005). L'absence de fonctionnement de l'ensemble du cortex est liée à un état d'inconscience.

La formation réticulée est située à la base du cerveau, dans le tronc cérébral (Parvizi et Damasio, 2001). Les voies neuronales issues de la formation réticulée et des structures proches activent le cortex ; elles sont regroupées dans le **système d'activation réticulaire ascendant**. Sans ce système, le cortex ne fonctionne pas correctement et l'animal est inconscient. Pour cette raison, le système d'activation réticulaire ascendant joue un rôle essentiel dans le maintien de l'éveil et la défaillance du système d'activation réticulaire ascendant abolit la conscience (Terlouw et al., 2015a).

Le **thalamus** est situé au centre du cerveau. C'est un relais essentiel pour les informations visuelles, auditives, gustatives, somesthésiques et motrices entre le tronc cérébral et le cortex et vice versa. Aussi, des lésions importantes de la zone comprenant le thalamus et hypothalamus (la zone sous le thalamus) abolissent la conscience (Terlouw et al., 2015a).

Ces connaissances permettent de mieux comprendre les effets attendus des différentes techniques d'étourdissement, y compris les signes d'inconscience.

III.2.2 Effet des techniques d'étourdissement sur le cerveau

L'objectif de *l'étourdissement mécanique* est de provoquer une destruction mécanique partielle du cerveau, notamment du système activateur réticulé ascendant. Il s'agit d'atteindre le mésencéphale ou le pont du tronc cérébral, qui contiennent les corps cellulaires des neurones du système activateur réticulé ascendant, ou défaut de manière assez large, le thalamus et de l'hypothalamus pour interrompre les voies neuronales qui en émergent (Terlouw et al., 2015a). La technique provoque en général de larges hémorragies cérébrales qui participent à l'effet d'étourdissement. Suite à ces effets, le cortex n'est plus stimulé et l'animal est inconscient jusqu'à sa mort provoquée par la saignée (Tableau 2).

L'étourdissement électrique perturbe le fonctionnement électrique normal des neurones cérébraux. Dans des conditions physiologiques normales, ces neurones produisent des micro-courants, de manière à ce que l'ensemble du cerveau montre des oscillations électriques rythmiques. Le passage du courant perturbe cette activité électrique en provoquant une dépolarisation massive des membranes d'un grand nombre de neurones de manière synchronisée (Blumenfeld, 2005). Pendant la crise, les neurones du cerveau ne peuvent pas fonctionner normalement et l'animal est

inconscient, jusqu'à ce que les neurones retrouvent leur polarisation qui permettra le retour progressif à la conscience. Lorsque la technique est correctement appliquée, avec des paramètres électriques adaptés (Tableau 1), l'inconscience est instantanée.

Il existe les techniques d'électronarcoses « à deux points » et « à trois points ». Dans le premier cas, deux électrodes sont placées sur la tête de l'animal de façon à ce que le courant passe à travers le cerveau. A la différence de l'étourdissement par tige perforante, l'électronarcose à deux points est réversible ; l'animal se réveille s'il n'est pas saigné. Selon le cas, cette technique peut être considérée compatible dans le cadre de certains abattages religieux (Krygier, 2010 ; Farouk, 2013; Nakyinsige et al., 2013).

Dans le cas de l'électronarcose à trois points, une troisième électrode est placée sur le corps afin que le courant traverse également le cœur. Ceci provoque une fibrillation cardiaque qui empêche une bonne circulation sanguine. Il en résulte une anoxie cérébrale (manque d'oxygène dans le cerveau) qui approfondit et prolonge l'état d'inconscience (Pleiter, 2005 ; Vogel et al., 2011). Elle entraîne souvent un arrêt cardiaque avant que la saignée n'induisse la mort, en tout cas chez la volaille et le porc (Wotton et Gregory, 1986 ; Gregory et al., 1991 ; Wotton et al., 1992). Par conséquent, l'électronarcose à trois points est le plus souvent non réversible (Tableau 2).

Les porcs et les ovins peuvent être étourdis par un système à 2 ou 3 points. Le système d'étourdissement électrique utilisé pour les bovins adultes est un système à trois points pour avoir une efficacité suffisante au vue de la taille de l'animal. Pour la volaille, en général, un bain électrifié est utilisé. Les animaux sont accrochés sur un rail la tête en bas de manière à ce que leur tête passe dans l'eau du bain ; le courant passe ainsi entre l'eau du bain et les crochets du rail. Le système fonctionne donc comme une électronarcose à 3 points puisque le courant traverse tout le corps provoquant à la fois l'inconscience et une fibrillation cardiaque (Tableau 2). Il existe également de systèmes crâniens (sans bain) pour la volaille, où deux électrodes sont posées sur la tête (Tableau 1).

Dans le cas d'*étourdissement par gaz*, suite à l'inhalation du CO₂, l'acidification des cellules cérébrales entraîne la dépression de l'activité cérébrale de manière globale, provoquant l'inconscience ainsi qu'un ralentissement fort de la respiration. Si la durée de l'exposition au CO₂ ne provoque pas la mort de l'animal, une fois sortie du gaz, la respiration de l'animal reprend, le pH des neurones du cerveau se normalise progressivement et le cerveau commence à fonctionner normalement.

III.2.3 Evaluer l'état de l'inconscience de l'animal après étourdissement

Nos connaissances des principes neurologiques des techniques d'étourdissement nous permettent également d'évaluer l'efficacité de l'étourdissement à l'aide de certains indicateurs : l'effondrement immédiat, l'absence du réflexe cornéen¹ et l'absence de respiration rythmique sont les indicateurs de l'inconscience décrits comme parmi les plus fiables (Terlouw et al., 2015b). Le maintien de la posture debout dépend d'une structure située dans la partie rostrale du tronc, très proche des structures impliquées du système activateur réticulé ascendant. L'effondrement indique que cette zone a été touchée et que l'animal est inconscient. L'effondrement n'indique pas, en revanche, le caractère

¹ Le réflexe cornéen est la réponse immédiate et involontaire de l'œil (fermeture de la paupière), provoquée par l'effleurement de la cornée (partie antérieure et centrale de l'œil, translucide, laissant voir l'iris et la pupille).

durable de cette inconscience. Elle peut être courte, même dans le cas de l'étourdissement mécanique alors que celui-ci est considéré comme irréversible. La raison est que lorsque l'impact de la tige est insuffisant, ou le pistolet est mal placé, l'effondrement peut traduire le simple effet de la percussion par la tige sur le crâne. L'effet de la percussion est réversible, contrairement aux effets de la destruction du tissu cérébral, et l'inconscience peut donc être de courte durée (Terlouw, 2020). Pour cette raison, il convient de vérifier également d'autres indicateurs de l'inconscience.

Les structures en charge du réflexe cornéen sont situées dans les parties caudales du pont et rostrales du bulbe rachidien, c'est-à-dire, entre le système activateur réticulé ascendant et la moelle épinière. Lorsque le réflexe cornéen est présent, l'animal n'est pas nécessairement conscient. En revanche, son absence est le signe d'un état d'inconscience. Les structures impliquées dans la respiration sont également situées dans les parties rostrales et caudales du pont et du bulbe rachidien. L'absence de respiration indique que le bulbe rachidien est en dysfonctionnement, c'est-à-dire que la structure la plus profonde du cerveau, faisant la jonction avec la moelle épinière, ne fonctionne plus. L'absence de respiration indique que les parties profondes du cerveau ont été touchées et que l'animal est inconscient pour une durée suffisamment longue pour pouvoir induire la mort par la saignée sans risque de retour de conscience de l'animal (Figure 3).

Cependant, l'utilisation de ces indicateurs dépend de la technique de l'étourdissement utilisée. Pour l'étourdissement mécanique et par gaz, si les trois indicateurs (l'effondrement immédiat, l'absence du réflexe cornéen et l'absence de respiration rythmique) sont constatés, cela indique que l'animal est inconscient (Tableau 3). En revanche, les effets secondaires de l'étourdissement électrique, telles que des contractions musculaires, interfèrent avec le réflexe cornéen et la respiration. Ces deux indicateurs ne doivent pas être utilisés immédiatement après l'application du courant, car il est impossible de les interpréter correctement. De même, chez les bovins, le tir dans la nuque est interdit car il est impossible de vérifier son efficacité en termes d'inconscience. La section du bulbe rachidien provoque l'effondrement de la posture debout et l'arrêt de la respiration car les voies neuronales ont été coupées à la limite de la moelle épinière et le bulbe rachidien. Par contre, l'animal est pleinement conscient, car les structures du tronc cérébral et le cortex impliquées dans la conscience sont restées intactes.

D'autres signes ont un pouvoir discriminant moins forts mais peuvent également être utilisés dans certains cas, comme la rotation oculaire ou les nystagmus (oscillation rapide du globe oculaire).

D'autres signes ou mouvements sont peu fiables. Par exemple, après l'étourdissement, les bovins présentent souvent des pédalages et des mouvements du cou. Nous avons conduit deux études pour savoir si ces mouvements et réactions peuvent être utilisés comme indicateurs de présence de conscience (Terlouw et al., 2015c). Les résultats montrent que les pédalages et mouvements du cou post-étourdissement étaient présents chez la majorité des vaches sans lien avec l'efficacité du tir. Chez un groupe de bovins profondément inconscients suite à l'étourdissement, nous avons sectionné la moelle épinière. Les mouvements étaient toujours présents, c'est-à-dire même lorsque le cerveau était déconnecté du reste du corps. Ces résultats montrent que ces mouvements sont possibles en l'absence de connexion entre le cerveau et la moelle épinière et qu'ils dépendent donc de circuits nerveux impliquant la moelle épinière (mouvements réflexes), mais pas le cerveau. Il faut en conclure que la simple présence de pédalages n'est pas indicatrice d'un mauvais étourdissement. Ce sont des mouvements involontaires liés aux centres générateurs de rythme localisés dans le tronc cérébral et dans la moelle épinière (Terlouw et al., 2015c). Ces centres permettent la production de mouvements moteurs rythmiques, tels que la marche (Guertin, 2009; Frigon, 2012) et leur fonctionnement est indépendant de la conscience. Cependant, il ne faut pas inverser le

raisonnement : un animal mal étourdi présentera aussi des pédalages, en raison de son état de conscience.

Dans cette même étude, certains taureaux ont présenté un mouvement du cou dans la direction ventrale en réponse à la coupure des vaisseaux sanguins lors de la saignée. Cette réaction était plus faible chez les taureaux après des intervalles d'étourdissement / saignée plus longs. Cette réaction est une réponse réflexe nociceptive (c.-à-d. engendrée par une stimulation nocive) basée sur un circuit neural qui traverse la moelle épinière, mais pas le cerveau. La réponse plus forte chez les animaux saignés plus tôt après l'étourdissement indique que les nerfs impliqués dans la réponse arc-réflexe avaient toujours un certain degré de fonctionnalité. Suite à la coupe, la nociception génère le mouvement réflexe du cou, sans pour autant que l'animal ressente de la douleur puisque le cerveau ne fonctionne pas chez l'animal inconscient (encadré 2). La réaction à la coupure de la peau et des tissus ne peut donc pas être utilisée comme indicateur de conscience. De nouveau, il ne faut pas inverser le raisonnement, car un animal mal étourdi présentera aussi une réaction à la coupe de la saignée, en raison de son état de conscience (Terlouw et al., 2015c).

L'ensemble des connaissances ci-dessus fait partie des formations dispensées aux personnes travaillant dans les abattoirs. Elles aident à avoir des approches pratiques et pragmatiques permettant de trouver des solutions à des problématiques du terrain, qui concernent l'ensemble des acteurs : les industriels, et les vétérinaires et les chercheurs qui accompagnent aussi bien les abattoirs sur le terrain que les autorités politiques.

Conclusion

Réduire le stress des animaux à l'abattage est nécessaire pour des raisons d'éthique, de sécurité, de praticité (travail facilité), et pour préserver les qualités des viandes. Comme le contexte d'abattage est complexe, la science joue un rôle important, car elle permet une approche structurée et analytique afin de comprendre les causes et les conséquences du stress et de d'améliorer nos pratiques.

Il est inévitable que le sujet d'abattage éveille des sentiments forts, sur la protection des animaux, la religion, la liberté, le bien-être animal, la consommation et les finances. Les échanges entre les parties prenantes - les chercheurs, les ONG, les représentants politiques, les éducateurs, les philosophes, les industriels, les autorités religieuses, les exploitants, les juristes, les éleveurs, les étudiants et les journalistes - aident chacun à mieux comprendre les nombreux questionnements qui entourent le sujet. La science joue un rôle particulier dans le débat. La plupart du temps, la simple description factuelle de ce qui cause le stress chez les animaux, le fonctionnement des différentes techniques d'étourdissement et, plus généralement, de l'état de nos connaissances et des sujets à approfondir, permet de dépassionner les débats et de faciliter des discussions fructueuses. Les nombreuses questions, éthiques, religieuses et philosophiques, restent cependant difficiles à résoudre. Souvent, des critères communs sont difficiles à établir, mais la science peut aider à identifier des points de départ communs, pour lesquels un consensus existe. Un exemple est qu'une grande majorité de personnes s'accordent pour dire que la douleur chez les animaux devrait être évitée, ce qui pourrait être un objectif commun à tous les acteurs.

Références

- Arkow, P., Application of ethics to animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 1998, 59, 193-200.
- Bendall J.R., (1973). Post-mortem changes in muscle. Academic Press.
- Boissy, A., (1995). Fear and fearfulness in animals. *The Quarterly Review of Biology*, 70, 165-191.
- Boissy, A.; Le Neindre, P., (1997). Behavioral, cardiac and cortisol responses to brief peer separation and reunion in cattle. *Physiology & Behavior*, 61, 693-699.
- Boissy, A. Terlouw, C. and 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 and Behavior*, 63, 489-495.
- Boissy A., Arnould C., Chaillou E., Désiré L., Duvaux-Ponter C., Greiveldinger L., Leterrier C., Richard S., Roussel S., Saint-Dizier H., Meunier S., M. C., Valance D., and Veissier I., (2007). Emotions and cognition: a new approach to animal welfare. *Anim Welfare* 16, 37-43.
- Bourguet, C., Deiss, V., Gobert, M., Durand, D., Boissy, A., Terlouw, 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., Andanson, S., Terlouw, C., (2011a). Effects of food deprivation on behavioral reactivity and physiological status in Holstein cattle. *Journal of Animal Science*, 89 (10), 3272-3285.
- Bourguet, C., Deiss, V., Cohen Tannugi, C., Terlouw, C., (2011b). Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Science*, 88 (1), 158-168.
- Broom D.M., (1987). Applications of neurobiological studies to farm animal welfare. In: *Biology of stress in farm animals: An integrated approach*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, 101-110.
- Cockram, M.S., Baxter, E.M., Smith, L.A., Bell, S., Howard, C.M., Prescott, R.J. and Mitchell, M.A., (2004). Effect of driver behaviour, driving events and road type on the stability and resting behaviour of sheep in transit. *Animal Science* 79, 165–176.
- Crick F and Koch C (2003). A framework for consciousness. *Nat Neurosci* 6: 119-126.
- Damasio, A.R., (1998). Emotion in the perspective of an integrated nervous system. *Brain Res. Rev.* 26, 83-86.
- Dantzer, R., (2002). Can farm animal welfare be understood without taking into account the issues of emotion and cognition? *J. Anim Sci.* 80, E1-9.
- Dawkins, M.S., (1980). *Animal suffering: the science of animal welfare*. Chapman & Hall, London.
- Désiré, L., Boissy, A., and Veissier I., (2002). Emotions in farm animals: a new approach to animal welfare in applied ethology. *Behav. Proc.* 60, 165-180.
- Duncan, I.J.H., (1996). Animal welfare defined in terms of feelings. *Acta Agr. Scan. A-An.* 29-35.
- Fraser D., Ritchie J.S.D., and Faser A.F., (1975). The term "stress" in a veterinary context. *Brit. Vet. J.* 131, 653-662.
- Frigon, A., (2012). Central Pattern Generators of the Mammalian Spinal Cord. *The Neuroscientist* 18: 56-69.
- Grandin, T., (2017). *Recommended Animal Handling Guidelines and Audit Guide*. AMI Foundation.
- Guertin, P.A., (2009). The mammalian central pattern generator for locomotion. *Brain research reviews* 62: 45-56.
- Hambrecht, E., Eissen, J.J., Newman, D.J., Smits, C.H.M., Verstegen, M.W.A., and Den Hartog L.A., (2005). Preslaughter handling effects on pork quality and glycolytic potential in two muscles differing in fiber type composition. *J. Anim. Sci.* 83, 900-907.

- Larrère, R., Delon, N., Desmoulin-Canselier, S. Contexte social, éthique et juridique de cette expertise. Dans Le Neindre, p., Dunier, M., Larrère, R. and Prunet, P. La conscience des animaux. Editions Quae. Laureys, S., (2005). Death, unconsciousness and the brain. *Nat Rev Neurosci* 6: 899-909.
- LeDoux, J.E., (2000). Emotion circuits in the brain. *Annu. Rev. Neurosci.* 23, 155-184.
- Parvizi, J. and Damasio, A.R., (2003). Neuroanatomical correlates of brainstem coma. *Brain* 126: 1524-36.
- Panksepp, J., (2005). Affective consciousness: Core emotional feelings in animals and humans: *Neurobiology of Animal Consciousness. Conscious. Cogn.* 14, 30-80.
- Paul E.S., Harding E.J., and Mendl M., (2005). Measuring emotional processes in animals: the utility of a cognitive approach. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 29: 469-491.
- Terlouw, C., Arnould, C., Auperin, B., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Deiss, V., Lefèvre, F., Lensink, B. J., Mounier, L., (2008). Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal*, 2 (10), 1501-1517.
- Terlouw, 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 (7), 1664–1672.
- 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.
- Terlouw, C., Bourguet, C., Deiss, V., (2015a). La conscience, l'inconscience et la mort dans le contexte de l'abattage. Partie I. Mécanismes neurobiologiques impliqués lors de l'étourdissement et de la mise à mort. *Viandes et Produits Carnés*, 31 (2-2), 1-20. <http://prodinra.inra.fr/record/360874>
- Terlouw, C., Bourguet, C., Deiss, V., (2015b). La conscience, l'inconscience et la mort dans le contexte de l'abattage. Partie II. Méthodes d'évaluation. *Viandes et Produits Carnés*, 31 (2-3), 1-12.
- Terlouw, C., Bourguet, C., Deiss, V., Mallet, C., (2015c). Origins of movements following stunning and during bleeding in cattle. *Meat Science*, 110, 135-144.
- Terlouw, C., Cassar Malek, I., Picard, B., Bourguet, C., Deiss, V., Arnould, C., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Lefèvre, F., Lebret, B. (2015d). Stress en élevage et à l'abattage : impacts sur les qualités des viandes. *INRA Productions Animales*, 28 (2), 169-182.
- Terlouw, 2020. *The Physiology of the Brain and Determining Insensibility and Unconsciousness dans: The Slaughter of Farmed Animals Practical ways of enhancing animal welfare.* Edited by: Temple Grandin, Colorado State University, USA, Michael Cockram, University of Prince Edward Island, Canada. CABI.
- The EFSA Journal (2004), 45, 1-29, Welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals.
- Warriss, P. D., *Meat science: an introductory text.* 2nd ed.; CABI: Wallingford, UK ; Cambridge, MA, 2010; p viii, 234 p.

Légendes

Fig. 1. Les terminaisons libres du nocicepteur primaire se trouvent dans la peau, les muscles, les articulations, les os et les viscères. Elles sont sensibles à des stimuli nocifs de type mécanique, chimique et thermique. Le signal est transmis à un nocicepteur secondaire au niveau de la corne dorsale de la moelle épinière. Le nocicepteur secondaire transmet le signal à un réseau complexe, appelé matrice de la douleur, dans le cerveau. Ce réseau permet l'interprétation du signal en termes d'intensité, de type, et de durée de la stimulation, la gêne occasionnée et le contexte plus large (cause, signification, solutions, contraintes).

Fig. 2. Cerveau d'une vache illustrant le cortex avec sa surface plissée, le cervelet et le début de la moelle épinière. Les parties sombres sont des hémorragies causées par la tige perforante (Crédit photo : C. Terlouw, INRAE).

Fig. 3. Coupe sagittale médiane d'un cerveau de mouton, illustrant le cortex, le thalamus, le cervelet et le tronc cérébral, ce dernier comprenant le mésencéphale, le pont et le bulbe rachidien. Les zones colorées illustrent les régions impliquées dans le contrôle des indicateurs de l'inconscience ; rouge : posture debout, vert : réflexe cornéen, bleu : respiration. L'absence de ces fonctions indique le dysfonctionnement de la zone correspondante. Lorsque les 3 fonctions sont absentes on conclut que l'animal est profondément inconscient. Pour plus de précisions, voir le texte et le tableau 3. (Crédit photo : V. Paulmier).

Tableau 1a. Courants minimaux pour l'étourdissement exclusivement crânien (électronarcose à 2 points).

Catégorie d'animal	Bovins de 6 mois ou plus	Bovins de moins de 6 mois	Ovins et caprins	Porcins	Poulets	Dindes et dindons
--------------------	--------------------------	---------------------------	------------------	---------	---------	-------------------

Courant minimal	Ampère				milliampère	
	1,28	1,25	1,00	1,30	240	400

Tableau 1b. Prescriptions en matière électrique pour l'étourdissement par bain d'eau ; l'intensité du courant est exprimée en milliampère.

Fréquence (Hz)	Poulets	Dindes et dindons	Canards et oies	Cailles
< 200	100	250	130	45
de 200 à 400	150	400	interdit	interdit
de 400 à 1500	200	400	interdit	interdit

Tableau 2. Principes des différentes techniques d'étourdissement, leur réversibilité et les espèces concernées.

Technique	Principes	Réversibilité	Espèces
Mécanique	Onde de choc, destruction de tissus, hémorragie	Non réversible ¹	Toutes
Electronarcose à deux points	Courant traversant le cerveau qui dépolarise les neurones	Réversible	Porc, ovin, volaille
Electronarcose à trois points	Courant traversant le cerveau qui dépolarise les neurones associé à un courant traversant le cœur provoquant une fibrillation cardiaque	Souvent non réversible	Porc, bovin, ovin
Electronarcose par bain d'eau	Courant traversant l'animal entier	Non réversible	Volaille
Gaz	Absorption de CO ₂ par les poumons provoquant <i>in fine</i> une acidification des cellules du cerveau	Fonction de la concentration et de la durée de l'exposition	Porc, volaille

¹ L'effet de l'onde de choc est réversible

Tableau 3. Indicateurs de l'inconscience, les régions cérébrales concernées et leur pertinence pour les différentes techniques d'étourdissement. Pour les indicateurs de la conscience et de risque ou de retour de conscience, voir Terlouw (2020). Voir également Figure 3.

Indicateurs d'inconscience	Zone cérébrale concernée	Utilisation
Perte de la posture debout	Mésencéphale rostral	Etourdissements : mécanique, électrique, gazeux
Absence de réflexe cornéen	Pont caudal, bulbe rachidien rostral	Etourdissements : mécanique, électrique ¹ , gazeux
Absence de respiration	Bulbe rachidien rostral	Etourdissements : mécanique, électrique ¹ , gazeux

¹ dans le cadre de l'étourdissement électrique, utilisable à partir de la phase clonique uniquement.

Glossaire

Le pH et nos aliments. Le pH (potentiel hydrogène) est une mesure de la quantité d'ions d'hydrogène dans un environnement aqueux, avec une échelle allant de 0 à 14. Une solution avec un pH de 7 est neutre. Lorsque les valeurs se situent en dessous de 7, la solution est acide. Plus les valeurs sont basses, plus la solution est acide. Lorsque les valeurs au-dessus de 7, la solution est basique. Parmi nos aliments, les laitages, les viandes et poissons et les boissons gazeuses sont plutôt acides ; les fruits et les légumes sont plutôt basiques.

La nociception fait référence à la fonction du système nerveux de fournir des informations sur la présence de stimulations nocives.