



**Synthèse bibliographique sur l'abattage des bovins en France
avec et sans étourdissement :
*Identification des sources de stress et de douleur***

Janvier 2020

Etude commanditée par l'Œuvre d'Assistance aux Bêtes d'Abattoir

Dr Cécile BOURGUET

Chercheur et consultante en éthologie

Spécialiste du comportement et du bien-être des animaux d'élevage

Responsable du bureau ETRE

Noémie DEVRIENDT

Ingénieur agronome

Chargée de missions comportement et bien-être animal au bureau ETRE

Dr Claudia TERLOUW,

Chargée de Recherche en éthologie et bien-être animal

Spécialiste de la période d'abattage

INRA UMRH-CARAIBE

Avec la contribution de :

Gautier RIBEROLLES, Stagiaire ETRE

Contact :

Bureau E.T.R.E., Etudes & Travaux de Recherches en Ethologie

www.bureau-etre.fr

cbourguet@bureau-etre.fr

04 73 62 42 83

Dans le cadre de l'abattage, la douleur et la peur sont des sources fréquentes de stress. Dans ce contexte, il est nécessaire de disposer d'une synthèse scientifique permettant de faire un état des lieux des sources de stress et de douleur associées à l'étourdissement et à la mise à mort des bovins en France, avec et sans étourdissement.

Dans le présent rapport, une introduction générale rappelle tout d'abord les grandes lignes du cadre réglementaire et pratique, ainsi que les définitions du stress, de la douleur et de la notion de conscience dans ce contexte (PARTIE 1). Ensuite, le point est fait sur les connaissances relatives aux différentes sources de douleur et de stress associées à la mise à mort des bovins avec étourdissement préalable à la saignée (PARTIE 2), sans étourdissement (PARTIE 3) et avec un soulagement, c'est-à-dire un étourdissement pratiqué immédiatement après le geste d'égorgeage (PARTIE 4). Ce rapport se base sur les articles et rapports scientifiques internationaux publiés dans ce domaine.

SOMMAIRE

1. PARTIE 1 : INTRODUCTION GENERALE.....	4
1.1. L'abattage des bovins en France d'un point de vue réglementaire.....	4
1.2. Notions de conscience et d'inconscience dans le contexte de l'abattage.....	6
1.2.1. Qu'est-ce que la conscience ?.....	6
1.2.2. Induction de l'inconscience dans le contexte de l'abattage.....	7
1.3. Induction de la mort dans le contexte de l'abattage.....	7
2. PARTIE 2 : ABATTAGE AVEC ETOURDISSEMENT PREALABLE A LA SAIGNEE	8
2.1. Principe de l'étourdissement.....	8
2.1.1. Dommages cérébraux provoqués par l'étourdissement mécanique.....	8
2.1.2. La perte de conscience	11
2.2. Facteurs influençant l'efficacité de l'étourdissement.....	18
2.2.1. Emplacement et orientation du tir	20
2.2.2. Caractéristiques et entretien du matériel utilisé.....	25
2.2.3. Organisation et caractéristiques du fonctionnement des abattoirs	28
3. PARTIE 3 : ABATTAGE SANS ETOURDISSEMENT.....	30
3.1. Points critiques en termes de protection animale dans le cadre de l'abattage sans étourdissement.....	30
3.1.1. La contention	30
3.1.2. Délai de perte de conscience	32
3.1.3. Qualité de la saignée.....	40
3.1.4. La présence de sang dans les voies respiratoires	45
3.2. La question de la douleur lors de l'égorgeage sans étourdissement préalable	46
3.2.1. Généralités sur la douleur et ses mécanismes	46
3.2.2. L'égorgeage provoque-t-il de la douleur ?.....	50
4. PARTIE 4 : L'ETOURDISSEMENT POST-EGORGEAGE DANS LE CADRE DE L'ABATTAGE RITUEL 59	
4.1. Etourdissement et certification des viandes religieuses.....	59
4.2. L'étourdissement mécanique post-égorgeage.....	59
4.2.1. Objectifs du soulagement.....	59
4.2.2. Délai d'application du tir post-égorgeage	60
4.2.3. Efficacité du tir	61
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	62

1. PARTIE 1 : INTRODUCTION GENERALE

En 2019, la France comptait **247 abattoirs d'ongulés domestiques**, dont 193 abattent des bovins. Parmi eux, 169 sont des abattoirs multi-espèces et 24 sont des sites spécialisés dans l'abattage des bovins (établissements agréés CE conformément au règlement CE n°853/2004 selon le Ministère de l'Agriculture¹). Cette même année, 3,3 millions de bovins ont été abattus, ce qui représente un volume d'environ 1,4 millions de tonnes de viande bovine produite sur le territoire français (Eurostats²).

1.1. L'ABATTAGE DES BOVINS EN FRANCE D'UN POINT DE VUE REGLEMENTAIRE

Le règlement européen n°1099/2009 porte sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort. Il impose l'étourdissement des animaux pour provoquer un état d'inconscience et une perte de sensibilité avant leur mise à mort. Quelle que soit le type d'abattage (conventionnel ou rituel), les exploitants doivent prendre les mesures nécessaires afin **d'atténuer la détresse** (cf. encadré 1) **et la souffrance et d'éviter la douleur des animaux** (cf. encadré 2), pendant l'abattage ou la mise à mort (règlement CE n°1099/2009).

La mise à mort des animaux doit être réalisée par du personnel habilité, c'est-à-dire, possédant un Certificat de Compétence « Protection des Animaux dans le cadre de leur mise à mort » (CCPA ; arrêté du 31 juillet 2012 relatif aux conditions de délivrance du CCPA dans le cadre de leur mise à mort ; règlement CE n°1099/2009). Ce certificat est obtenu après avoir suivi une formation spécifique dispensée par l'un des organismes de formation habilités et qui est sanctionnée par une évaluation ; il est valable 5 ans.

Dans le cadre d'abattages rituels, c'est-à-dire lorsque des méthodes particulières d'abattage sont prescrites par les rites religieux, **les abattoirs peuvent obtenir une dérogation permettant, sous certaines conditions, de ne pas pratiquer d'étourdissement des animaux avant la saignée** (règlement CE n°1099/2009). On estime qu'en 2012, 60 % des abattoirs français étaient autorisés à pratiquer les abattages rituels, représentant environ 24 % des bovins abattus en France (Le Neindre *et al.*, 2009 ; Mirabito *et al.*, 2015). Des dispositions spécifiques à l'abattage rituel sont fixées par le code rural et ont été revues lors du décret n°2011-2006 (Article 1) : « L'autorisation (*de pratiquer l'abattage sans étourdissement*) est accordée aux abattoirs qui justifient de la présence d'un matériel adapté et d'un personnel dûment formé [...] ainsi que d'un système d'enregistrement permettant de vérifier que l'usage de la dérogation correspond à des commandes commerciales qui le nécessitent ». En plus du CCPA incluant le module « abattage sans étourdissement », les sacrificateurs doivent disposer d'une habilitation religieuse (article R214-75 du code rural).

¹ La liste des abattoirs d'ongulés domestiques agréés CE (bovins, ovins, caprins, porcins et chevreaux) est disponible à l'adresse suivante : https://fichiers-publics.agriculture.gouv.fr/dgal/ListesOfficielles/SSA1_VIAN_ONG_DOM.pdf

² Données Eurostats « abattage en abattoir – données annuelles » disponibles à l'adresse suivante : https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=apro_mt_pann&lang=fr

Encadré 1

Le stress de l'animal : une question d'émotions

Le stress a souvent été décrit comme l'état de l'animal lorsqu'il est incapable de s'adapter d'un point de vue comportemental et physiologique aux contraintes environnementales ou physiques auxquelles il est confronté (Broom, 1987 ; Fraser *et al.*, 1975). Il manque cependant dans ces définitions le lien avec l'état émotionnel de l'animal. Les études sur le comportement, sur la physiologie et sur l'anatomie et le fonctionnement du cerveau ont montré que **les animaux sont capables d'éprouver des émotions négatives et positives** (Boissy *et al.*, 2007 ; Paul *et al.*, 2005). Ainsi, alors que certains événements contraignent l'animal à s'adapter à la situation, ils sont également susceptibles de lui provoquer des émotions négatives. Par conséquent, on considère 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 tenter de s'adapter à cette menace, des réactions comportementales (fuite, défense, immobilisation) et physiologiques (augmentation de la fréquence cardiaque et sécrétion de certaines hormones permettant, entre autres, les efforts physiques) se mettent en place (Terlouw *et al.*, 2015).

Encadré 2

La douleur : nociception et émotion

La définition de la douleur mondialement adoptée a été initialement proposée par l'Association Internationale pour l'Etude de la Douleur (IASP) en 1979: « *La douleur est une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable, associée à une lésion tissulaire, réelle ou potentielle ou décrite en termes évoquant une telle lésion* ».

La douleur comprend deux composantes : la composante sensorielle nociceptive (impliquant les cortex somesthésiques) et la composante émotionnelle (impliquant les cortex cingulaire et insulaire). La sensation de douleur correspond donc à une sensation nociceptive associée à une sensation affective négative. Que ce soit chez l'Homme ou l'animal, une stimulation nocive de faible intensité peut être insuffisante pour activer les cortex cingulaire et insulaire et ne provoquera pas d'affect négatif. Dans ce cas, on ne peut pas parler de douleur. Les effets de certaines lésions locales illustrent le rôle de ces deux composantes dans l'expérience de la douleur. Un patient présentant des lésions dans les cortex somesthésiques et recevant des stimulations nociceptives a indiqué ressentir un « *sentiment désagréable* » sans pouvoir en caractériser la cause ou l'origine. Il percevait la composante émotionnelle, mais pas la composante nociceptive qui en était à l'origine. À l'inverse, des patients ayant subi une transection du cortex cingulaire et recevant des stimulations nocives signalent que la « *douleur* » était toujours présente, mais qu'elle n'était plus « *gênante* ». Dans ce cas, on ne peut pas parler de douleur à proprement parler, car ces individus ne perçoivent que la composante nociceptive, sans conséquence sur leur état émotionnel.

En raison de la dimension émotionnelle négative, la douleur est considérée comme une source potentielle de stress. Elle est d'origine physique, à la différence de la peur par exemple, qui est une source de stress d'origine psychologique (Terlouw *et al.*, 2008). **Chez un individu inconscient, les cortex impliqués dans le traitement de la douleur ne fonctionnent pas, la perception douloureuse n'est donc pas possible** (Schnakers *et al.*, 2010).

1.2. NOTIONS DE CONSCIENCE ET D'INCONSCIENCE DANS LE CONTEXTE DE L'ABATTAGE

1.2.1. QU'EST-CE QUE LA CONSCIENCE ?

La conscience est un concept complexe dont on peut distinguer deux composantes: **la connaissance de soi et de l'environnement** (le contenu de la conscience) **et le niveau d'éveil** (le niveau de conscience ; Damasio, 2010 ; Zeman, 2005). L'état de conscience n'est pas binaire, il s'agit plutôt d'un continuum qui connaît différentes formes et différents niveaux de conscience (Laureys *et al.*, 2004 ; Zeman, 2005). Afin de pouvoir comprendre les différents processus impliqués dans la perte de conscience, il est tout d'abord nécessaire de connaître l'implication des différentes structures du cerveau dans l'état de conscience (*cf.* encadré 3).

Encadré 3

Implications des différentes structures du cerveau dans l'état de conscience

Le cortex cérébral

Le cortex cérébral correspond à la couche supérieure du cerveau. Il est le siège des fonctions neurologiques élaborées liées aux différents sens. On distingue différentes régions du cortex selon leurs fonctions. Les **cortex primaires** ont pour rôle de décrypter les signaux sensoriels (vue, audition, etc.). Le rôle du cortex moteur primaire est d'envoyer des signaux aux muscles pour permettre à l'animal d'agir en fonction de la situation. Cependant, avant d'agir, les informations issues de l'environnement, de l'état corporel, les émotions et les connaissances entre autres, doivent être intégrées. Ceci est le rôle des **cortex associatifs** : ils interprètent et combinent les informations principales, les intègrent dans un contexte plus large et permettent de planifier les réponses appropriées. Le bon fonctionnement des cortex primaires et associatifs est donc nécessaire pour que l'animal ait conscience de son environnement et de lui-même (Crick et Koch, 2003; Laureys, 2005a).

Le thalamus

Le thalamus est situé au centre du cerveau chez les mammifères. Il est un relais essentiel entre le cortex et les informations relatives à la vision, l'audition, le goût, la somesthésie et l'activité motrice (Rees, 2009). Il est aussi impliqué dans la focalisation de l'attention d'un stimulus à un autre. De larges lésions au niveau du thalamus et des régions sous-thalamiques abolissent la conscience (Gottesman, 1988 ; Terlow *et al.*, 2016a).

La formation réticulée et le système réticulo-activateur ascendant

La formation réticulée est située dans le tronc cérébral, à la base du cerveau et s'étend du bulbe rachidien inférieur jusqu'au cerveau moyen supérieur et consiste en un réseau de fibres neurales entrelacées (Parvizi et Domasio, 2001). Elle joue un rôle activateur sur le cortex et est aussi impliquée dans le cycle du sommeil. **Le système réticulo-activateur ascendant** correspond à l'ensemble des voies allant de la formation réticulée jusqu'au cortex. Ce système est constitué d'une première voie passant par le thalamus et d'une seconde passant par l'hypothalamus. Le système réticulo-activateur ascendant permet l'activation de l'attention, de la motivation, de l'apprentissage et de la mémoire (Brown *et al.*, 2012). La déficience du système réticulo-activateur ascendant abolit la conscience (Terlow, sous presse).

1.2.2. INDUCTION DE L'INCONSCIENCE DANS LE CONTEXTE DE L'ABATTAGE

L'étourdissement a pour objectif de provoquer une réduction du niveau ou du contenu de conscience de l'animal afin de s'assurer que l'animal ne ressente pas de stress (*cf.* encadré 1) ni de douleur (*cf.* encadré 2) durant la saignée (Terlouw *et al.*, 2016a). Cet état peut être obtenu par un dysfonctionnement généralisé des hémisphères cérébraux, de la formation réticulée et/ou du système réticulo-activateur ascendant (*cf.* encadré 3 ; Bateman, 2001 ; Blumenfield et Taylor, 2003 ; Brown *et al.*, 2012). En France, les bovins sont étourdis à l'aide d'un pistolet à tige perforante. Les principes de cette technique et leurs conséquences sont détaillés dans la partie 2 : abattage avec étourdissement préalable à la saignée.

Que ce soit pour l'abattage avec ou sans étourdissement, l'animal perd d'abord conscience avant de mourir. Dans le cadre de l'abattage sans étourdissement, c'est la perte importante de sang suite à l'égorgeage qui entraîne une perte de conscience progressive de l'animal liée au ralentissement de l'activité cérébrale (Terlouw *et al.*, 2016a). Ces aspects sont détaillés dans la partie 3 : abattage sans étourdissement.

1.3. INDUCTION DE LA MORT DANS LE CONTEXTE DE L'ABATTAGE

Dans le cadre de l'abattage des bovins, la mort est induite par un arrêt durable d'apport en oxygène au cerveau, associé ou non à l'arrêt d'apports en nutriments, suite à l'arrêt du cœur, de la respiration ou à la saignée (*cf.* encadré 4).

Les premiers effets physiologiques d'une hémorragie massive sont une ischémie, c'est-à-dire, la restriction de l'apport sanguin aux organes induit une diminution d'apports en oxygène et en glucose en dessous des besoins de l'organe nécessaires pour maintenir ses fonctions. Si le manque d'oxygène et de glucose persiste, les cellules nerveuses du cerveau, y compris celles qui sont en charge des fonctions vitales (respiration, homéostasie, régulation de la température corporelle, activité cardiaque), sont irréversiblement endommagées et l'animal meurt (Terlouw *et al.*, 2016a).

Ainsi dans le cadre de l'abattage avec ou sans étourdissement, le principe de la saignée est de provoquer une hémorragie massive ; 40 à 60 % du volume sanguin corporel total est expulsé pendant la saignée (Anil *et al.*, 2006 ; Warriss, 1984). Avec ou sans étourdissement préalable, **l'objectif de la saignée est de provoquer la mort de l'animal** tout en préservant les qualités des futurs produits carnés (Terlouw *et al.*, 2016a).

Encadré 4

Diagnostic de la mort : signes de vie et de mort

La mort est définie en termes de mort cérébrale : il s'agit de l'arrêt irréversible des structures cérébrales en charge des fonctions vitales comme la respiration ainsi que de la régulation thermique et cardiovasculaire qui se situent dans le tronc cérébral (Laureys, 2005b). Plusieurs études ont relevé que l'arrêt de l'activité cérébrale est irréversible lorsqu'il y a interruption totale de l'apport sanguin au cerveau pendant 5 min (Stiegler *et al.*, 2012 ; Terlouw *et al.*, 2016b).

Le diagnostic de la mort cérébrale implique l'absence de signe de vie, comme **l'absence persistante de la fonction cardiaque et respiratoire, l'absence des réflexes du tronc cérébral, l'absence de conscience et une absence d'activité motrice spontanée** (Terlouw *et al.*, 2016b). En abattoir, pour des raisons pratico-pratiques, seule l'absence persistante des réflexes du tronc cérébral (dont le réflexe cornéen notamment) et de la respiration peuvent être utilisées, associées à un délai d'égouttage d'au moins 5 min ou 5 min 30 pour les abattages avec ou sans étourdissement respectivement.

2. PARTIE 2 : ABATTAGE AVEC ETOURDISSEMENT PREALABLE A LA SAIGNEE

La présente partie fait état des sources de stress et de douleur spécifiques à l'abattage avec étourdissement mécanique préalable à la saignée. Ces sources de stress et de douleur concernent :

- La contention de l'animal.
- L'induction de la perte de conscience.
- Les échecs d'étourdissement et leurs facteurs de variation.

2.1. PRINCIPE DE L'ÉTOURDISSEMENT

2.1.1. DOMMAGES CEREBRAUX PROVOQUES PAR L'ÉTOURDISSEMENT MECANIQUE

L'étourdissement mécanique est la méthode la plus répandue dans le cadre de l'abattage des bovins (EFSA, 2004 ; Finnie, 2016 ; Martin *et al.*, 2018 ; Sandstrom, 2009 ; Terlouw *et al.*, 2015 ; Wagner *et al.*, 2019) et la seule méthode utilisée en routine en France à l'heure actuelle. **Bien qu'il existe des dispositifs non-perforants, seuls les pistolets à tige perforante sont règlementaires pour étourdir les bovins en Europe** (Figure 1 ; Finnie, 2016 ; Human Slaughter Association, 2016). Il existe deux modes de propulsion de la tige, soit à l'aide d'air comprimé (pneumatique) ou à l'aide d'une cartouche à blanc (thermique). Les effets de l'étourdissement mécanique diffèrent selon que le pistolet soit à tige perforante ou qu'il soit non perforant (Finnie, 1993, 1995 et 1997 ; Shaw, 2002).

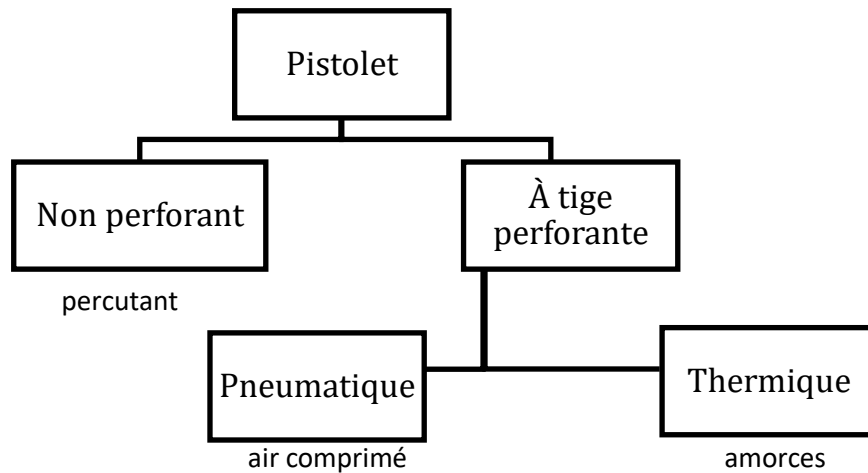


Figure 1 : Différents types de pistolets utilisés pour l'étourdissement mécanique.

PISTOLET À TIGE PERFORANTE

Cette méthode a pour objectif d'induire chez l'animal **une perte de conscience instantanée et irréversible**. Il s'agit de provoquer des déficiences au niveau des structures cérébrales impliquées dans l'état d'éveil de l'animal (cf. encadré 3 ; Figure 2 ; Atkinson *et al.*, 2013 ; Blackmore, 1979 ; Daly *et al.*, 1987 ; Daly et Whittington, 1989 ; Finnie, 2001 ; Finnie *et al.*, 2002 ; Terlouw *et al.*, 2016a).

Des structures dans le mésencéphale et le pont, leurs voies vers le cortex et le cortex lui-même sont nécessaires pour être conscient (zones et flèches oranges ; Figure 2) : il s'agit du système réticulé d'activation.

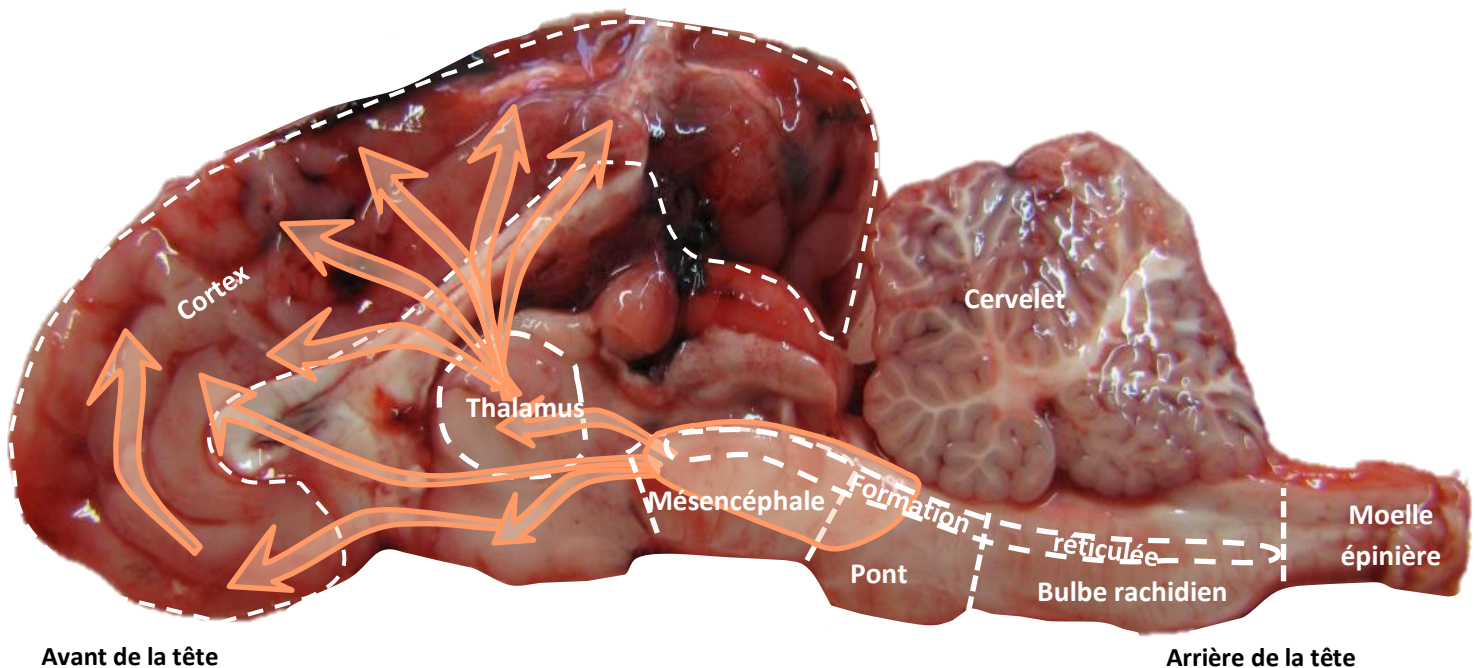


Figure 2 : Coupe sagittale d'un cerveau de mouton (frais). Les zones et flèches en orange indiquent les structures cérébrales impliquées dans la conscience (d'après Terlouw *et al.*, figure issue d'un article en préparation pour la revue Viandes et Produits Carnés).

La tige métallique est contenue dans le pistolet qui sera placé sur le front de l'animal. Cette tige a pour but de provoquer des dommages au niveau du tronc cérébral, induisant ainsi un dysfonctionnement du cortex rendant l'animal insensible aux stimulations venant de son environnement et de son corps. Il ne ressent donc plus de douleur, ni de peur : son cerveau n'est plus en état de traiter les informations sensorielles (Terlouw *et al.*, 2016a).

La perte de conscience engendrée par l'étourdissement mécanique s'explique par différents phénomènes :

- Dans un premier temps, **la percussion engendre une onde de choc** se propageant à l'ensemble du cerveau, provoquant des déchirures et des lésions des tissus cérébraux qui perturbent fortement le fonctionnement cérébral (Finnie *et al.*, 2002 ; Terlouw *et al.*, 2016a). La percussion entraîne aussi des afflux et des efflux d'ions qui provoquent une dépolarisation des cellules nerveuses (Martin, 2016). Ces perturbations empêchent le cerveau d'intégrer les informations et l'animal possède alors un niveau de conscience diminué (EFSA, 2004 ; Gregory, 1998 ; Shaw, 2002 ; Terlouw *et al.*, 2016a ; von Holleben *et al.*, 2010). L'étendue des dommages causés par l'onde de choc est affectée par différents facteurs dont la taille et l'épaisseur du crâne de l'animal, l'épaisseur du cuir, la densité de tissus nerveux et la mobilité de la tête de l'animal au moment de l'étourdissement (voir § 2.2. *Facteurs influençant l'efficacité de l'étourdissement* ; Shaw, 2002)

- **La pénétration de la tige provoque une fracturation locale du crâne** (Finnie, 1997 et 2016 ; Finnie *et al.*, 2002 ; Karger, 1995) et entraîne avec elle des fragments d'os et de peau à l'intérieur du cerveau (Finnie *et al.*, 2002). Le retrait de la tige crée ensuite un vide sur sa trajectoire, provoquant **un phénomène d'aspiration des tissus cérébraux et des vaisseaux sanguins** qui viennent renforcer les dommages provoqués (Finnie *et al.*, 2002 ; Karger, 1995 ; Svendsen *et al.*, 2008 ; Terlouw *et al.*, 2016a).

- **Des hémorragies locales se produisent** au niveau du point d'impact, mais aussi du côté opposé à l'impact, liées au contrecoup (Finnie, 2016). Ces hémorragies engendrent une augmentation de la pression intracrânienne suite à une pression accrue sur les différentes structures cérébrales qui les empêchent ainsi de fonctionner en les privant d'apport sanguin (Finnie, 2001 ; Shaw, 2002 ; Terlouw *et al.*, 2016a).

Certains de ces phénomènes sont irréversibles, comme les déchirures des vaisseaux et du tissu cérébral ou encore la compression des tissus. Toutefois, grâce à des mécanismes protecteurs, d'autres phénomènes sont réversibles, tels que la dépolarisation des cellules nerveuses ou encore le ralentissement de la production d'énergie par les cellules entraînant ainsi une diminution du fonctionnement nerveux (Posner *et al.*, 2008 ; Terlouw *et al.*, en prép.). Ainsi après une phase d'inconscience, il est possible de voir réapparaître quelques dizaines de secondes après des signes de conscience (le plus souvent, il s'agit de mouvements des yeux ou de mouvements respiratoires) mettant ainsi en doute l'état d'inconscience (voir § 2.1.2. sous-section *Indicateurs de conscience/inconscience* ; Terlouw *et al.*, en prép.).

PISTOLET A TIGE NON PERFORANTE

Le pistolet non perforant repose uniquement sur la percussion du crâne, sans perforation. Les effets reposent alors seulement sur l'onde de choc provoquée par la percussion (Finnie, 2016), qui

induit principalement une dépolarisation des cellules nerveuses. Comme vu précédemment, ce phénomène est réversible (voir § 2.1.1. sous-section *Pistolet à tige perforante* ; Posner *et al.*, 2008 ; Terlouw *et al.*, en prép.).

Chez les bovins, cette technique présente un taux d'échec plus important que le pistolet à tige perforante (Blackmore, 1979 ; Gibson *et al.*, 2019 ; Lambooij *et al.*, 1981 et 1983 ; Oliveira *et al.*, 2016). Il est, en effet, difficile d'atteindre 100 % de réussite avec un système non perforant. Une étude récente a par exemple relevé des taux d'échecs de 18 % sur des taureaux avec un pistolet non perforant (Gibson *et al.*, 2019). Les animaux sont aussi plus souvent sujet à un second tir (29 % vs. 12 %) et à un effondrement non immédiat (9 % vs. 1 %) lorsqu'ils sont étourdis avec un pistolet non perforant qu'avec un pistolet à tige perforante (Oliveira *et al.*, 2016). Seule une étude a reporté un taux de réussite de 100 % sur 12 bovins étourdis au pistolet non perforant (Finnie, 1995).

Des travaux portant sur l'étude des dommages cérébraux causés par cette technique permettraient d'y voir plus clair. Aujourd'hui, seule une étude s'est portée sur cette question chez les ovins et en a conclu que les systèmes perforant et non perforant sont tous deux acceptables pour étourdir les ovins (Finnie *et al.*, 2000).

En Europe, la technique étant jugée comme moins efficace que le pistolet à tige perforante, l'utilisation du pistolet non perforant n'est pas autorisée chez les bovins (EFSA, 2004 ; Human Slaughter Association, 2016 ; Mirabito *et al.*, 2013). Ce dispositif est autorisé pour l'abattage de petits ruminants uniquement (< 10 kg ; règlement CE n°1099/2009). Ainsi, la suite du présent rapport traite uniquement des pistolets à tige perforante.

L'étourdissement des bovins à l'aide du **pistolet à tige perforante** provoque des dommages cérébraux de différents types. La destruction directe de certaines structures cérébrales et vaisseaux sanguins via des phénomènes de compression, de déchirure et d'aspiration est associée à des hémorragies, une dépolarisation de cellules nerveuses, ainsi que des projections d'os et de peau dans le cerveau.

Les effets du **pistolet non perforant** se réduisent à l'onde de choc provoquée par la percussion du crâne. Cette technique étant moins performante que le pistolet à tige perforante, elle est interdite en Europe pour l'abattage des ruminants de plus de 10 kg.

2.1.2. LA PERTE DE CONSCIENCE

DELAI DE PERTE DE CONSCIENCE

○ EVALUATION SUR LA BASE DE L'ACTIVITÉ CÉRÉBRALE

Plusieurs études essentiellement réalisées dans les années 1980 ont permis d'étudier la modification de l'activité cérébrale des bovins suite à un étourdissement mécanique. Elles montrent qu'en l'absence d'échec, **le pistolet à tige perforante provoque une perte de conscience irréversible** (apparition d'un EEG isoélectrique pour tous les animaux suivis, sans retour d'EEG actif ; Blackmore et Newhook, 1981 ; Daly *et al.*, 1988 ; Freesman, 1975 cité dans Eikelenboom, 1982 ; Fricker et Riek, 1981 cités dans Eikelenboom, 1982 ; Gross, 1976 cité dans Eikelenboom, 1982 ;

Kallweit *et al.*, 1989 ; Lambooi, 1981 ; Lambooi et Spanjaard, 1981 ; Lambooi *et al.*, 2012 ; Verhoeven *et al.*, 2016 ; Zulkifli *et al.*, 2014).

Immédiatement après le tir, il existe parfois des artefacts que les auteurs imputent à la technique de mesure, aux interférences électriques et/ou aux perturbations causées par les dégâts liés au tir (mouvements importants, effondrement de l'animal ; Daly *et al.*, 1988 ; Gibson *et al.*, 2019 ; Verhoeven *et al.*, 2015a et 2016). Ces artefacts rendent parfois l'interprétation de l'EEG impossible pendant quelques secondes, mais **toutes les études concluent que la perte de conscience est instantanée après le tir** lorsque celui-ci est correctement réalisé (Tableau 1).

Tableau 1 : Délais de perte de conscience des bovins, étourdis par pistolet à tige perforante, reportés dans différentes études sur la base de suivi de l'EEG. EEG = Electroencephalogramme ; HALF = High Amplitude Low Frequency ; PE = Potentiels Evoqués.

Animaux	Conditions expérimentales	Latence avant perte de conscience	Indicateur utilisé	Source
23 veaux (6 mois ; 200 kg)	En abattoir Pistolet thermique perforant	<u>Tir frontal (n=13):</u> 0 s <u>Tir occipital (n=10):</u> 0 s	HALF	Lambooi et Spanjaard, 1981.
8 vaches (455 ± 67 kg)	En abattoir Pistolet thermique perforant	4 à 17 s 0 s	HALF Perte de PE	Daly <i>et al.</i> , 1988
Vaches	-	0 s	Perte de PE	Kallweit <i>et al.</i> , 1989
25 veaux	En abattoir Pistolet thermique perforant	1 s + 1 veau à 11 s	HALF	Verhoeven <i>et al.</i> , 2016
20 taureaux (31 mois ; > 550kg)	En abattoir Pistolet pneumatique perforant	2,3 ± 0,2 s 1 à 5 s	EEG transitionnel	Gibson <i>et al.</i> , 2019

○ **EVALUATION SUR LA BASE DES INDICATEURS DE CONSCIENCE/INCONSCIENCE**

Une autre méthode d'évaluation de l'inconscience dans ce contexte, plus appropriée et plus facile à mettre en œuvre que ce soit en conditions expérimentales ou de terrain, repose sur l'identification des indicateurs de conscience et d'inconscience (Terlouw *et al.*, 2016b).

L'inconscience étant un continuum, il est essentiel d'évaluer le risque que l'animal ne soit pas profondément inconscient, même s'il paraît inanimé. Le Tableau 2 regroupe l'ensemble des indicateurs de conscience, de risque de conscience et d'inconscience utilisés dans le cadre d'un étourdissement mécanique. **La perte instantanée et permanente de tous les signes de conscience, couplée à l'apparition des signes d'inconscience permet donc de s'assurer que l'animal est bien immédiatement inconscient suite au tir** (Terlouw *et al.*, 2016b ; Terlouw *et al.*, en prép).

Tableau 2 : Indicateurs physiques de conscience, de risque de conscience ou de retour de conscience, et d'inconscience et interprétation anatomique dans le cadre d'un tir frontal (d'après Terlouw *et al.*, 2016b et Terlouw *et al.*, en prep., ces documents contiennent aussi les définitions).

Indicateur	Interprétation anatomique	Lien avec l'état de conscience
Posture debout	Mésencéphale, pont, bulbe rachidien fonctionnels.	Conscience
Tentative de redressement orienté de la tête et/ou du corps*	Mésencéphale, pont, bulbe rachidien fonctionnels.	
Réaction à la menace	Cortex, nerf optique, système moteur du tronc cérébral fonctionnels.	
Vocalisations	Mésencéphale fonctionnel.	
Clignements spontanés des yeux	Circuits pertinents dans le mésencéphale, le pont, le bulbe rachidien et la moelle épinière supérieure partiellement fonctionnels.	Risque de conscience ou de retour de conscience
Poursuite oculaire	Circuits pertinents dans le mésencéphale et le pont partiellement fonctionnels.	
Rotation du globe oculaire et/ou nystagmus**	Circuits pertinents dans le mésencéphale et le pont partiellement altérés, créant un déséquilibre dans le système vestibulo-oculaire. Des dommages au cervelet peuvent aussi engendrer un nystagmus, sans lien avec l'état de conscience.	
Absence de réflexe cornéen	Dommages au pont et/ou au bulbe rachidien.	Inconscience
Absence de respiration (rythmique et gasps)	Dommages au bulbe rachidien et/ou section de la moelle épinière supérieure.	

*A ne pas confondre avec une levée progressive de la tête et du cou.

** L'observation de ces signes après l'étourdissement mécanique peut indiquer des lésions limitées ou transitoires du tronc cérébral.

Ces différents signes indiquent l'état de fonctionnement de certaines zones du cerveau. La présence de signes de conscience indique que le cortex est en état de fonctionnement. La présence de signe d'inconscience indique que certaines structures du tronc cérébral ne sont pas en état de fonctionnement.

Plus précisément, les zones impliquées dans les signes d'inconscience sont anatomiquement proches du système réticulé d'activation dont le fonctionnement est nécessaire pour l'activation du cortex. (cf. encadré 3 ; Figure 3; Terlouw *et al.*, 2016b). Par conséquent, la perte de certaines fonctions, comme la perte de la posture debout, l'absence de réflexe cornéen et l'arrêt de la respiration, indique l'endommagement, transitoire ou permanent, de zones du tronc cérébral proches du système réticulé d'activation. Suite à un tir frontal bien positionné (le positionnement du tir est détaillé dans la partie 2.2.1. *Emplacement et orientation du tir*) on conclut que l'ensemble des zones du tronc cérébral est en dysfonctionnement et que l'animal est inconscient (Terlouw *et al.*, en prep.). On notera que suite à un tir occipital, on ne peut tirer la même conclusion.

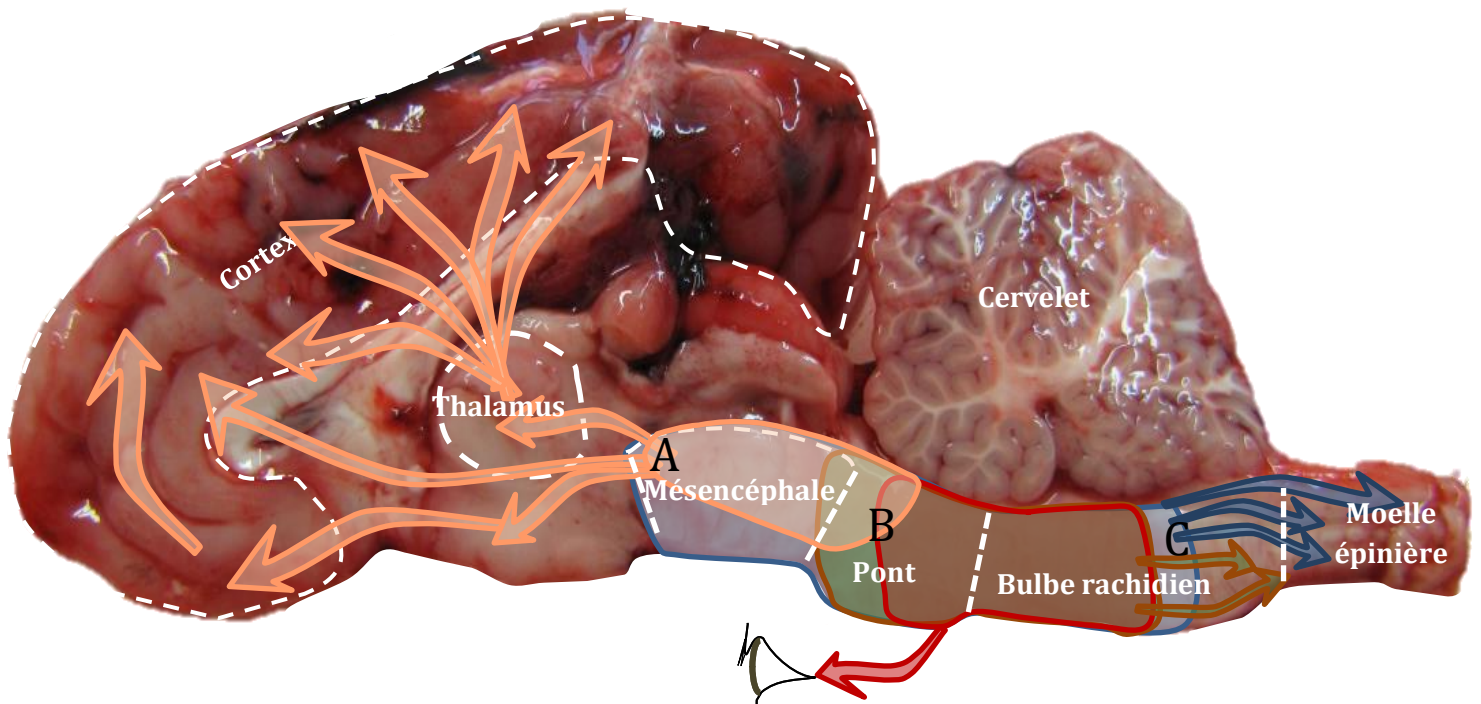


Figure 3 : Zones impliquées dans certains indicateurs clés de l'inconscience (cerveau d'ovine ; d'après Terlouw *et al.*, figure issue d'un article en préparation pour la revue Viandes et Produits Carnés). Des structures dans le mésencéphale, pont et bulbe rachidien (zone bleue) et leurs voies vers la moelle épinière (flèches bleues) permettent la posture debout. Un animal incapable de se tenir debout présente un dysfonctionnement dans la zone bleue ou caudal par rapport à la zone bleue (caudal à partir du point A). Un circuit dans le pont et dans la partie rostrale du bulbe rachidien contrôle le réflexe cornéen (zone et flèches rouges). Un animal qui n'a plus de réflexe cornéen a une interruption dans ce circuit (caudal à partir du point B). Un réseau de structures dans le mésencéphale caudal, le pont et la partie rostrale du bulbe rachidien permettent le cycle normal d'inspiration et expiration (zone verte) ; de cette zone partent les voies nerveuses vers la moelle épinière qui contrôlent les mouvements des muscles respiratoires. Un dysfonctionnement dans la zone verte du pont modifie et ralentit la respiration, lorsque c'est davantage caudal (à partir du point C), la respiration s'arrête. On remarquera que les voies nerveuses vers le cortex (flèches oranges) ont un rôle dans la conscience, et les voies nerveuses vers la moelle épinière dans les mouvements du corps (flèches bleues) et dans la respiration (flèches vertes).

Indicateurs de conscience :

- Posture debout :

Suite à un étourdissement mécanique efficace, l'animal s'effondre, les pattes plus ou moins pliées, puis après quelques secondes, les pattes antérieures se tendent (Atkinson *et al.*, 2013 ; EFSA, 2004). La perte de posture s'explique par des dommages causés au niveau du tronc cérébral impliqué dans le contrôle de la posture debout (Figure 3 ; Tableau 2 ; Purves *et al.*, 2001 ; Schepens et Drew, 2004). La perte permanente de posture est étroitement associée à la perte de conscience. Les zones cérébrales et les voies situées dans le tronc cérébral possédant un rôle dans le maintien de la posture debout et dans les réflexes de redressement sont situées à proximité immédiate de zones du tronc cérébral essentielles au maintien de la conscience (*cf.* encadré 3 ; Figure 3). Dans le contexte de l'étourdissement mécanique, la perte de posture indique que le mésencéphale est lésé, si les dommages sont généralisés et irréversibles, l'animal est alors inconscient (Terlouw, sous presse).

- Tentative de redressement orienté de la tête et/ou du corps :

Un animal conscient qui se trouve au sol suite à un étourdissement inefficace tentera de se relever ou au moins de s'orienter dans l'angle normal (c'est-à-dire, l'axe du corps perpendiculaire à l'axe de la Terre ; Anil, 1991). Les animaux présentant des lésions au niveau du thalamus présentent des réflexes de redressement, alors que des lésions du mésencéphale (ou des zones situées plus bas ; Figure 3) abolissent les réflexes de redressement orientés (Magnus, 1925, 1926a et 1926b ; Pollock et Davis, 1930). Ainsi, les tentatives de redressement orienté de la tête et/ou du corps doivent être absentes après l'étourdissement car leur présence indique que le mésencéphale n'a pas été endommagé (Figure 3 ; Tableau 2 ; Terlouw, sous presse).

- Réaction à la menace :

Pour le test de réaction à la menace, un doigt ou la main est déplacé rapidement vers l'œil de l'animal et la présence d'une réaction de retrait ou d'un clignement des yeux est évalué (Verhoeven *et al.*, 2015b). Le test n'est valable que dans un environnement suffisamment lumineux et lorsque l'animal a une vision adéquate (pas de rotation du globe oculaire ou de nystagmus, pas de sang dans les yeux, par exemple ; Terlouw *et al.*, 2016b). La réponse à ce test implique des mécanismes cérébraux d'ordre supérieur, y compris les fonctions corticales, pour que l'animal puisse intégrer les informations à venir de l'environnement (*cf.* encadré 3 ; Liu et Ronthal, 1992). Bien que dans de rares cas des patients dans un état végétatif aient présenté une réaction suite à ce test, cet indicateur est considéré comme un indicateur de conscience (Blumenfeld, 2009).

- Vocalisations volontaires :

Les vocalisations se réfèrent aux sons émis par un animal qui lui permettent de communiquer avec les autres membres de son espèce (Manteuffel *et al.*, 2004). Si l'animal vocalise à la suite de l'étourdissement, il peut s'agir d'une vocalisation exprimant de la douleur ou de la peur, et n'impliquant que le mésencéphale, ou d'une communication volontaire avec un de ses congénères, impliquant alors le mésencéphale mais aussi le cortex (Figure 3 ; Grandin, 1998a ; Warriss *et al.*, 1994). Dans les deux cas, la vocalisation est un signe de conscience (Tableau 2).

Indicateurs de risque de conscience ou de retour de conscience :

- Clignement spontané des yeux :

Le clignement spontané implique des circuits dans le tronc cérébral, au niveau de la moelle épinière supérieure et des circuits dans le cortex (Kaminer *et al.*, 2011 ; Van der Werf et Smit, 2008). Son absence n'indique pas nécessairement une perte de conscience et sa présence n'indique pas nécessairement que l'animal est conscient (Tableau 2). En effet, des clignements spontanés ont déjà été observés chez des patients dans un état végétatifs, mais aussi dans le contexte de l'abattage chez des taureaux inconscients (Blumenfeld, 2009 ; Terlouw *et al.*, 2015). Il s'agit donc d'un indicateur de risque de conscience.

- Poursuite oculaire :

Après un étourdissement efficace, les yeux de l'animal sont ouverts, paupières et globes oculaires immobiles (Grandin, 2013a). La poursuite oculaire implique différentes structures situées dans le tronc cérébral et dans le cortex (Figure 3 ; Enderle, 2000 ; Tehovnik *et al.*, 2000). Elle est considérée comme un signe de risque de conscience relativement fort. Néanmoins, sa présence n'indique pas

dans tous les cas la présence de conscience ; dans de rares cas, des réflexes primitifs d'orientation de la tête et des yeux vers un stimulus visuel ou auditif ont été observés chez des humains inconscients (Blumenfeld, 2009 ; Majerus *et al.*, 2005). Il est à noter que l'absence de mouvement oculaire ne signifie pas nécessairement que l'animal est inconscient (Tableau 2 ; Terlouw *et al.*, 2016b).

- Rotation du globe oculaire et/ou nystagmus :

Dans certains cas, après le tir, le globe oculaire n'est temporairement pas en position centrale dans son orbite : on parle alors de rotation du globe oculaire, celui-ci étant le plus souvent orienté vers l'intérieur de l'orbite laissant ainsi apparaître la sclère de l'œil. Cette rotation peut être complète (ou quasi complète) ou partielle (Atkinson *et al.*, 2013) et ne dure généralement que quelques secondes avant que le globe oculaire ne se replace en position centrale. Une rotation du globe oculaire indique qu'il y a des dommages au niveau du tronc cérébral mais qu'ils sont incomplets. Il y a donc un risque de conscience. Plus le niveau de la rotation du globe oculaire est important, plus ce risque est élevé (Atkinson *et al.*, 2013).

Il est à noter que pendant la rotation du globe oculaire, il peut être impossible de tester le réflexe cornéen car la contraction du muscle oculaire pourrait interférer avec la réponse (Terlouw *et al.*, 2016b).

Le nystagmus correspond quant à lui à une oscillation rapide, verticale ou horizontale, du globe oculaire en raison de contractions répétées des muscles impliqués dans les mouvements de ce dernier. Là encore, ce phénomène est temporaire et ne dure généralement que quelques secondes. Le nystagmus est causé par des dommages au niveau des circuits sous-jacents du tronc cérébral, mais peut également résulter de dommages au niveau du cervelet ou du système vestibulaire (Hüfner *et al.*, 2007). La direction du nystagmus dépend des zones du cerveau touchées (Terlouw, sous presse). Le nystagmus est un indicateur à faible pouvoir discriminant. En effet, lorsque l'animal présente un nystagmus cela signifie que le tronc cérébral est endommagé mais il est possible qu'il ne le soit pas suffisamment pour obtenir un état d'inconscience profond et durable (Gregory *et al.*, 2007; Terlouw *et al.*, 2015).

- Gasps :

Les gasps sont des mouvements respiratoires inefficaces, associés à une ouverture de la gueule (comme un poisson qui serait hors de l'eau), en général avec des intervalles plus longs que des respirations normales. Ils peuvent être provoqués par une ischémie ou une hypoxie. Ces mouvements reflètent le dysfonctionnement des centres cérébraux du pont et du bulbe (St John, 2009). Les gasps précèdent généralement la mort cérébrale et ne doivent pas être confondus avec une respiration rythmique (Terlouw *et al.*, 2016b). Dans le cadre de l'étourdissement mécanique, les gasps sont rares et sont souvent confondus avec des mouvements de respiration effective. Leur présence indique un risque de conscience ou de retour de conscience (Terlouw *et al.*, en prép).

Indicateurs d'inconscience :

- Absence de réflexe cornéen :

Le réflexe cornéen est testé en effleurant la cornée de l'animal. Dans le cas où l'animal présente un réflexe cornéen positif, le globe oculaire se rétracte légèrement et la paupière se ferme (Terlouw *et al.*, 2016b). Ce réflexe implique la transmission d'informations sensorielles au pont, entraînant une réponse motrice via la formation réticulée (Figure 3 ; Aramideh et Ongerboer de Visser, 2002 ;

Cruccu et Deuschl, 2000). Si le réflexe cornéen est absent, il y a une très forte probabilité que la formation réticulée et/ou le thalamus soient endommagés et donc que l'animal soit profondément inconscient (Cruccu *et al.*, 1997; Laureys, 2005b). En revanche, le réflexe cornéen peut être positif chez un animal inconscient.

- Absence de respiration rythmique :

Un animal inconscient respire si seul le mésencéphale est endommagé par le tir (i.e. ni le pont caudal ou le bulbe n'est touché ; Figure 3). L'absence de respiration rythmique est un indicateur d'inconscience car cela indique que les zones contrôlant la respiration situées dans le pont et le bulbe ne sont plus fonctionnelles (Figure 3). Après l'étourdissement mécanique, l'absence de respiration rythmique indique que des dommages profonds du tronc cérébral ont été causés par le tir et que l'animal est inconscient (Terlouw, sous presse). En revanche, la présence de respiration n'indique pas que l'animal est conscient car des dommages cérébraux suffisants pour rendre l'animal inconscient peuvent être provoqués par la tige perforante sans perturber la respiration.

Ces indicateurs sont souvent retrouvés dans des études réalisées en abattoirs pour évaluer la qualité de l'étourdissement (Algers et Atkinson, 2007 et 2014 ; Atkinson, 2016 ; Atkinson et Algers, 2007 ; Atkinson *et al.*, 2013 ; Bourguet *et al.*, 2011a ; Derscheid *et al.*, 2016 ; Gallo *et al.*, 2003 ; Gouveia *et al.*, 2009 ; Grandin, 2002 et 2013 ; Gregory *et al.*, 2009a ; Martin *et al.*, 2018 ; Miranda-de la Lama *et al.*, 2012 ; Oliveira *et al.*, 2016, 2017 et 2018a ; Sandström, 2009 ; Schiffer *et al.*, 2017 ; Shaw, 1989 ; Svendsen, 2008 ; Terlouw *et al.*, 2015 ; Verhoeven *et al.*, 2016 ; von Wenzlawowicz *et al.*, 2012). Cependant, pour des raisons pratiques et techniques, ils ne peuvent pour la plupart être observés qu'après l'affalage de l'animal, soit quelques secondes après le tir (à l'exception de la perte de posture, des tentatives de redressement et de l'absence de vocalisation).

Il est à noter que l'état des animaux évolue après l'étourdissement (voir § 2.1.1. sous-section *Pistolet à tige perforante*). Ces derniers doivent donc être surveillés jusqu'à la fin de l'égouttage afin de s'assurer que les animaux restent inconscients jusqu'à leur mort (Shearer, 2018 ; Terlouw *et al.*, en prép.). Au moindre doute, les opérateurs doivent pratiquer un nouvel étourdissement. De ce fait, les taux de ré-étourdissement ne sont pas des indicateurs pertinents pour pouvoir juger de l'efficacité de l'étourdissement (Terlouw *et al.*, en prép.).

Lorsqu'il est efficace, l'étourdissement mécanique est une méthode irréversible mais la fonction cardiaque peut continuer jusqu'à six minutes après l'étourdissement (Jerlström, 2014). Les animaux doivent être saignés le plus rapidement possible après le tir (EFSA, 2004 ; Finnie, 1993 et 1997 ; Gregory et Shaw, 2000 ; Gilliam *et al.*, 2014 ; von Holleben *et al.*, 2010), et à titre indicatif dans un délai maximum de 3 min (Mirabito *et al.*, 2013). En cas de problème dans le déroulement de la procédure étourdissement-saignée prolongeant ce délai (par exemple un animal coincé à l'affalage), l'opérateur du poste de saignée doit venir réaliser la saignée sur l'animal sans délai.

LE TIR PROVOQUE-T-IL DE LA DOULEUR ?

L'objectif du pistolet à tige perforante est de provoquer un état d'inconscience profond, immédiat et irréversible, sans provoquer de douleur. La perception de la douleur nécessite que l'animal soit conscient (*cf.* encadré 2 et 3) ; la question centrale est donc d'évaluer si le délai

nécessaire pour que l'animal perçoive la douleur est compatible avec les délais de perte de conscience observés. Il est utile de comparer les vitesses de transmission et de traitement des messages nociceptifs, les vitesses du signal douloureux et les délais de perte de conscience (Terlouw *et al.*, en prep.).

L'impact du pistolet à tige perforante entraîne en quelques millisecondes une chute de la puissance totale de l'activité cérébrale, ainsi qu'une baisse significative des valeurs des ondes α et β (les ondes α et β correspondent aux ondes à haute fréquence et de faible amplitude, impliquées dans l'état d'éveil ; Gibson *et al.*, 2019 ; Lambooij *et al.*, 2012 ; Terlouw *et al.*, en prép ; Zulkifli *et al.*, 2014). Chez les bovins, la distance entre la peau qui recouvre le crâne et le tronc cérébral est d'environ 7,5 cm et la vitesse de la tige est comprise en 27 et 61 m/s (Dörfler *et al.*, 2014 ; Gibson *et al.*, 2015a ; Oliveira *et al.*, 2017). Le tronc cérébral est donc atteint par la tige perforante en 30 ms, voire moins. Ensuite, les premiers effets liés à l'onde de choc provoquée par le tir atteignent les structures cérébrales en seulement quelques millisecondes (voir § 2.1.1. sous-section *Pistolet à tige perforante* ; Chafi *et al.*, 2011 ; Martin, 2016 ; Zhu *et al.*, 2013).

Suite à une stimulation nocive, les messages provoquant dans un premier temps une douleur immédiate, aiguë, vive et précise, se déplacent vers le cerveau à une vitesse comprise entre 5 et 30 m/s (Purves *et al.*, 2008). Ensuite, ce message est traité par le cortex. A titre indicatif, dans une étude, ce délai de traitement était de 271 ms (Ploner *et al.*, 2006). En extrapolant ces données au contexte de l'abattage des bovins, le message nociceptif pourrait atteindre le cerveau en environ 100 ms (en se basant sur la vitesse la plus faible, à savoir 5 m/s), auxquelles s'ajouteraient 271 ms de traitement du message. La perception douloureuse aurait ainsi lieu au bout de 371 ms.

Ainsi, le délai d'induction de l'inconscience suite à un étourdissement mécanique est bien plus court que le délai nécessaire à la perception de la douleur (Terlouw, sous presse). **Lorsqu'il est correctement réalisé, l'étourdissement via un pistolet à tige perforante induit donc un état d'inconscience avant que l'animal ne puisse intégrer les messages nociceptifs associés au tir et ne puisse ressentir de douleur.**

Lorsque le tir est efficace, l'étourdissement des bovins à l'aide du **pistolet à tige perforante** provoque **une inconscience immédiate, irréversible et indolore**. La qualité de l'étourdissement doit être contrôlée jusqu'à la mort de l'animal en s'assurant de **l'absence persistante de l'ensemble des indicateurs de conscience et de risque de conscience, et de la présence des indicateurs d'inconscience**. En effet, de par la localisation des réseaux de neurones qui contrôlent ces indicateurs, les dommages cérébraux provoqués par la tige doivent être suffisamment étendus pour abolir leur fonctionnement. Au moindre doute, l'animal doit être immédiatement ré-étourdi.

2.2. FACTEURS INFLUENÇANT L'EFFICACITÉ DE L'ÉTOURDISSEMENT

Il est important de relever et de réduire autant que possible les taux d'échecs du premier tir en abattoir car un mauvais tir est source de stress et de douleur pour l'animal (Atkinson *et al.*, 2013 ; Fries *et al.*, 2012 ; Human Slaughter Association, 2016). En effet, les profils d'EEG d'animaux mal étourdis (maintien de la puissance totale et des ondes β , et augmentation des ondes α dans le cas

d'un étourdissement à tige non-perforante inefficace) indiquent qu'ils sont en mesure d'intégrer les messages nociceptifs (Gibson *et al.*, 2019).

Lors de différentes études réalisées dans des abattoirs commerciaux, les taux d'échecs du premier tir sont très variables et compris entre 0 et 49 % (Tableau 4). Il est à noter que l'abattoir atteignant 49 % d'échec d'étourdissement utilisait un pistolet pneumatique sans contention de la tête (obligatoire en Europe ; règlement CE n°1099/2009) et que les taux d'échecs du premier tir rapportés dans la littérature paraissent dans certains cas particulièrement élevés au regard des taux relevés à l'heure actuelle en France sur le terrain.

Tableau 4 : Taux d'échecs du premier tir relevés issus de différentes études réalisées en abattoir commercial, dans le cadre de l'utilisation d'un pistolet à tige perforante.

Taux d'échec du premier tir	Pays	Source
22 %	Afrique du Sud	Chulayo <i>et al.</i> , 2016
4 %	Allemagne	Ilgert, 1985 cité dans EFSA, 2004
6 %	Allemagne	Endres, 2005 cité dans von Holleben <i>et al.</i> , 2010
9,2 – 35 %	Allemagne	von Wenzlawowicz <i>et al.</i> , 2012
1 – 2 %	Brésil	Oliveira <i>et al.</i> , 2017
1 %	Brésil	Oliveira <i>et al.</i> , 2018a
2,2 – 27,2 %	Chili	Gallo <i>et al.</i> , 2003
5 – 10 %	Etats-Unis	Grandin, 1998b
1 %	Etats-Unis	Grandin, 2002
1,1 – 3,8 %	Etats-Unis	Grandin, 2005
1,4 – 10,5 %	Etats-Unis	Grandin, 2006
10,4 %	Etats-Unis	Gilliam <i>et al.</i> , 2012
7,2 %	France	Marzin <i>et al.</i> , 2008
21 %	France	Bourguet <i>et al.</i> , 2011a
49 %	Mexique	Miranda-de la Lama <i>et al.</i> , 2012
31,8 %	Portugal	Gouveia <i>et al.</i> , 2009
9 %	Royaume-Uni	Gregory <i>et al.</i> , 2007
8 %	Suède	Atkinson et Algers, 2007
0 – 12 %	Suède	Hultgren <i>et al.</i> , 2014
12,5 %	Suède	Atkinson, 2016

Un taux d'échec du premier tir supérieur à 5 % est considéré comme non acceptable (Grandin, 2003) et il est possible d'atteindre 100 % de réussite au premier tir (Grandin, 1998b et 2013b ; Gregory et Shaw, 2000). **En cas d'échec du premier tir, un second tir doit être immédiatement réalisé.**

Pour garantir la réussite du tir, plusieurs paramètres sont à prendre en compte (Tableau 5 ; Alger et Atkinson, 2014 ; EFSA, 2013 ; règlement CE n°1099/2009) et sont détaillés dans les parties suivantes. Les premiers paramètres à maîtriser sont l'emplacement et l'orientation du tir (EFSA, 2004), eux-mêmes influencés par la technicité et l'expérience de l'opérateur, la qualité de la contention et les caractéristiques de l'animal. D'autres causes d'échecs sont liées à un mauvais fonctionnement du pistolet, comme lorsque celui-ci est mal entretenu et/ou non adapté au type d'animal à étourdir (Tableau 5).

Tableau 5 : Facteurs de risques associés à l'étourdissement mécanique des bovins.

Facteurs de risques d'échecs d'étourdissement	
Emplacement et orientation du tir	Opérateur : Expérience, formation et fatigue de l'opérateur au poste d'étourdissement
	Contention de l'animal
	Animal : sexe, poids, âge, race, réactivité
Matériel utilisé	Vitesse et énergie cinétique de la tige
	Longueur de la tige
	Type de pistolet : thermique vs. pneumatique
	Choix des amorces (thermique) / Paramétrage de la pression (pneumatique)
	Entretien du pistolet
Etablissement	Organisation

2.2.1. EMLACEMENT ET ORIENTATION DU TIR

Les échecs d'étourdissement sont majoritairement causés par un défaut de positionnement du pistolet lors du tir (EFSA, 2004). Un tir mal positionné ou mal orienté ne permettra pas à la tige perforante d'atteindre les zones cérébrales à l'origine de l'éveil de l'animal (voir §2.1.1 sous-section *Pistolet à tige perforante*), l'animal risque d'être blessé et toujours conscient (Terlouw *et al.*, 2016a). Une étude a relevé que dans 10 cas sur 12, la raison de l'échec de l'étourdissement était un mauvais positionnement du pistolet (Grist *et al.*, 2019a). Lors d'observations de routine en abattoir ou d'études approfondies des dommages cérébraux provoqués par le tir, 3 à 40 % des tirs réalisés sont mal positionnés (Algers et Atkinson, 2007 ; Fries *et al.*, 2012 ; Gregory *et al.*, 2007 ; Miranda-de la Lama *et al.*, 2012 ; von Wenzlawowicz *et al.*, 2012).

Il existe différentes positions de tir : le tir frontal et le tir occipital. Le tir dans la nuque est quant à lui interdit car il ne permet pas d'induire l'inconscience de l'animal (arrêté du 12 décembre 1997¹). Le tir occipital présente cependant des risques. En effet, un emplacement ou une orientation de la tige légèrement déviée peut générer une paralysie de l'animal sans provoquer de perte de conscience (Lambooij et Spanjaard, 1981).

Ainsi, **le tir frontal est fortement recommandé** et le tir occipital n'est à utiliser que si le front de l'animal n'est pas accessible. Le pistolet à tige perforante doit être placé au centre du front de l'animal et avec une orientation de la tige vers le tronc cérébral (Algers et Atkinson, 2014 ; Atkinson, 2016 ; EFSA, 2004 ; Finnie, 1993 et 1997 ; Gilliam *et al.*, 2012 et 2016 ; Lambooij *et al.*, 1981 ; Le Neindre *et al.*, 2009 ; Shearer, 2018 ; Terlouw *et al.*, 2016a ; von Holleben *et al.*, 2010). De cette façon, la tige provoque des dommages directs au niveau du cortex, du thalamus et du tronc cérébral (Figure 2 et 3 ; Finnie, 1993 ; Gilliam *et al.*, 2016 ; Wagner *et al.*, 2019). Alors que les premières recommandations indiquaient de positionner le pistolet perpendiculairement au front de l'animal, au niveau de l'intersection de 2 lignes imaginaires allant de la corne à l'œil opposé, des données et des observations récentes indiquent que **placer le pistolet quelques cm plus haut augmentent les chances de provoquer des perturbations du tronc cérébral, ce qui réduit le risque de retour de sensibilité de l'animal** (Gilliam *et al.*, 2012 et 2016 ; Kaegi, 1988 cité dans von Wenzlawowicz *et al.*, 2012 ; von Holleben *et al.*, 2010). Toutefois, l'ensemble des dommages cérébraux provoqués par la

¹ Arrêté du 12 décembre 1997 relatif aux procédés d'immobilisation, d'étourdissement et de mise à mort des animaux et aux conditions de protection animale dans les abattoirs.

tige perforante induisent des dysfonctionnements tels qu'il est possible d'induire un état d'inconscience même si le tir est légèrement au-dessus ou au-dessous de l'emplacement recommandé.

EXPÉRIENCE, FORMATION ET FATIGUE DE L'OPÉRATEUR AU POSTE D'ÉTOURDISSEMENT

L'expérience de l'opérateur au poste d'étourdissement influence les taux d'échec d'étourdissement (Atkinson, 2016 ; EFSA, 2004 ; Grandin, 2002 ; von Holleben *et al.*, 2010). Plusieurs études ont reporté **davantage d'échecs du premier tir lorsque l'opérateur était moins expérimenté**, probablement lié à un mauvais positionnement du pistolet (Figure 4 ; Atkinson, 2016 ; Grandin, 2002 ; Wagner *et al.*, 2019). Lors d'une étude, 2 animaux sur 8 ont présenté une activité cérébrale compatible avec un retour de sensibilité. Les auteurs ont remarqué que l'opérateur qui avait pratiqué ces tirs était moins expérimenté et qu'il avait de manière générale un taux de double tir supérieur à celui des autres opérateurs du site (Gibson *et al.*, 2019). Une autre étude a observé le taux d'échec d'étourdissement au sein d'un abattoir avant de changer le système d'étourdissement (passage à un système pneumatique, nouveau piège d'étourdissement) et de former les opérateurs sur la position du tir et l'identification des signes de conscience/inconscience. Le taux d'échec initial était de 27,2 %. Après changement de l'équipement il est passé à 10,4 % et a atteint 2,2 % après la formation des opérateurs. Ainsi, une bonne formation des opérateurs permet de diminuer les échecs d'étourdissement (Gallo *et al.*, 2003).

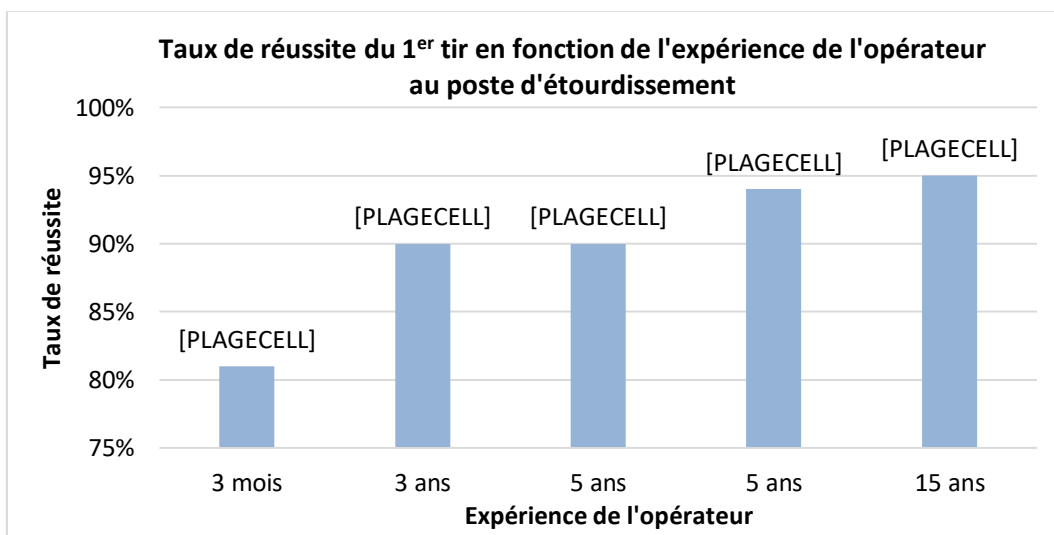


Figure 4 : Nombre et pourcentage de tirs corrects lors de l'étourdissement de bovins en fonction de l'expérience de l'opérateur (d'après Atkinson, 2016).

La fatigue de l'opérateur est également évoquée dans plusieurs études. Même s'il n'y a pas toujours de corrélation entre la position du tir et l'ordre d'abattage (Terlouw *et al.*, 2015), **davantage d'animaux sont mal étourdis ou nécessitent un second tir en fin de journée ou à l'approche des pauses** (Grandin, 1998b ; Martin *et al.*, 2008).

CONTENTION DE L'ANIMAL

Dans le cadre de l'abattage avec étourdissement mécanique préalable à la saignée, les animaux sont toujours étourdis debout (i.e. aucun retournement ne peut être pratiqué ; règlement CE n°1099/2009). Une fois l'animal entré dans le piège, si le piège est équipé de parois ajustables, les contentions arrière et latérale peuvent ainsi être mises en place. Ce type de piège permet une meilleure contention mais présente aussi un risque, puisque comme pour les pièges rotatifs (voir § 3.1.1. sous-section *Qualité de la contention*), l'absence de capteurs de pression peut entraîner la mise en place d'une contention trop forte par les opérateurs. **Les pièges dépourvus de parois ajustables pourraient alors présenter une source de stress moins importante pour les animaux, mais le manque de contention est aussi une source de risque d'échec d'étourdissement.**

La contention de la tête a pour objectif de réduire le taux d'échec d'étourdissement en favorisant le positionnement du pistolet par l'opérateur (Atkinson *et al.*, 2013 ; EFSA, 2004). En effet, plus les mouvements de la tête de l'animal sont fréquents, plus le délai du tir est élevé (Bourguet *et al.*, 2011a). En l'absence de contention de la tête lors d'étourdissement avec un pistolet pneumatique, les échecs d'étourdissement au premier tir peuvent atteindre 49 % (Miranda-de la Lama *et al.*, 2012). **Ainsi, la contention de la tête est obligatoire dans le cadre de l'utilisation d'un dispositif pneumatique afin de limiter les mouvements latéraux et verticaux de la tête de l'animal (règlement CE n°1099/2009).** Cependant, dans le cadre d'un système thermique, elle permet également un meilleur emplacement de tir. Par exemple, des défauts de positionnement du pistolet (voir § 2.2.1. *Emplacement et orientation du tir*) de l'ordre de 35 % dans un piège sans contention de la tête, contre 4 à 10 % lorsque le piège était équipé d'une mentonnière ont été rapportés (Tableau 6 ; von Wenzlawowicz *et al.*, 2012). Bien que les résultats de cette étude proviennent de différents abattoirs et sont à croiser avec l'ensemble des facteurs abattoir-dépendant (tels que la cadence), l'utilisation d'un système de contention de la tête est donc recommandée (von Wenzlawowicz *et al.*, 2012).

La mise en place de la contention de la tête est cependant une étape délicate. En effet, une étude a rapporté que seuls 8 bovins sur 55 ont placé volontairement leur tête dans la mentonnière. Parmi ces 8 bovins, 6 ont ensuite reculé et ont exprimé des débattements voire un refus total de la positionner à nouveau dans le système de contention. Dans cette même étude, les animaux étourdis avec utilisation de la mentonnière présentaient des taux de cortisol significativement plus élevés que ceux étourdis sans contention de la tête (Tableau 6 ; Ewbank *et al.*, 1992).

En résumé, la contention permet d'améliorer la précision et la qualité du tir, mais elle est une source de stress pour l'animal (Atkinson et Algiers, 2009 cités dans Schiffer *et al.*, 2017 ; EFSA, 2004 ; Ewbank *et al.*, 1992 ; Grandin, 1992 ; Troeger et Moje, 2012 cités dans Schiffer *et al.*, 2017) et plus un animal est stressé au moment du tir, plus le risque d'échec d'étourdissement au premier tir est élevé (Atkinson, 2016 ; Bourguet *et al.*, 2011a). La contention doit donc être parfaitement adaptée au gabarit de l'animal et sa mise en place doit être réalisée avec beaucoup d'attention. Par exemple, lorsque les mentonnières sont mises en place trop rapidement, cela surprend l'animal. Celui-ci est alors plus réactif et plus difficile à manipuler. L'opérateur peut alors avoir tendance à utiliser davantage l'ASACE pour repositionner l'animal, qui dans certains cas, sera plus difficile à étourdir par la suite (Tableau 7 ; Atkinson, 2016 ; Bourguet *et al.*, 2011a).

Tableau 6 : Comparaison des délais d'étourdissement et du taux de cortisol entre animaux avec ou sans contention de la tête (d'après Ewbank *et al.*, 1992). a, b, c : sur une même colonne, lettres différentes = différence significative, même(s) lettre(s) = pas de différence significative.

Traitement		Taux de cortisol sanguin (en nmol/L)
Bovins étourdis avec contention de la tête	Bovins insérant leur tête dans la mentonnière sans sollicitation de la part de l'opérateur <i>n</i> =2	143,1 ± 36,68 ^b
	Bovins contraints à positionner leur tête dans la mentonnière <i>n</i> =19	
Bovins étourdis sans contention de la tête	<i>n</i> =23	67,6 ± 24,97 ^c

Tableau 7 : Influence de la contention sur la précision des tirs réalisés dans différents abattoirs (d'après von Wenzlawowicz *et al.*, 2012).

Type de contention et d'animaux	Mauvaise position du tir (% d'animaux)	Mauvais angle de tir (nombre d'animaux concernés/nombre d'animaux où l'angle a pu être observé)
Absence de contention de la tête <i>Vaches</i>	35,4 %	3 / 3
Absence de contention de la tête <i>Veaux</i>	4 %	1 / 1
Contention de la tête (support) <i>Vaches</i>	4,6 %	7 / 20
Contention de la tête (support + pousoir arrière) <i>Vaches</i>	9,9 %	10 / 11
Contention de la tête (mentonnière + pousoir arrière) <i>Vaches</i>	7,0 %	7 / 8
Contention de la tête (mentonnière + pousoir arrière) <i>Veaux</i>	4 %	1 / 1

FACTEURS LIÉS AUX CARACTÉRISTIQUES DE L'ANIMAL

Différents facteurs liés à l'animal, tels que le sexe, la race, le poids ou encore l'âge peuvent influencer la qualité du tir. Ces facteurs sont souvent confondus et inextricables mais ils sont tous probablement **liés à la morphologie, la dureté et l'épaisseur du crâne, aux caractéristiques du cerveau ainsi qu'à la réactivité de l'animal.**

○ EFFET DU SEXE DE L'ANIMAL

De nombreuses études indiquent **des taux d'échec d'étourdissement plus élevés pour les bovins mâles que pour les femelles** (Algers et Atkinson, 2007 et 2014 ; Atkinson et Algers, 2007 ; Atkinson,

2016 ; Daly, 1987 et 1991 cité dans Algers et Atkinson, 2007 ; Gregory *et al.*, 2007 ; Gouveia *et al.*, 2009 ; Grandin, 2013b ; Grist *et al.*, 2019a ; Hultgren *et al.*, 2014 ; Marzin *et al.*, 2008 ; Terlouw *et al.*, 2015). Le risque d'échec d'étourdissement pourrait-être 8 fois plus élevé chez les taureaux que pour les autres classes (vaches, génisses, taurillons ; Atkinson, 2016). Cependant, cette différence existe pour les animaux de plus de 12 mois, en deçà de cet âge il y a au contraire davantage d'échec d'étourdissement sur les femelles (Gouveia *et al.*, 2009).

La différence d'efficacité du tir entre les mâles et les femelles s'explique par plusieurs facteurs, tels que la morphologie, l'épaisseur et/ou la dureté du crâne, ainsi que la réactivité de l'animal (Algers et Atkinson, 2014 ; Dyce *et al.*, 1997 cités dans Gouveia *et al.*, 2009). Chez les taureaux ayant atteint la puberté, la peau, les poils et les os sont plus denses au niveau du crâne que chez les vaches (Atkinson, 2016). L'épaisseur du crâne pourrait potentiellement amortir le choc et réduire les dommages engendrés par le tir (Shaw, 2002 ; Terlouw *et al.*, 2015). Il est aussi plus difficile d'effectuer un tir précis sur les taureaux. Les tirs ont tendance à être plus souvent en dessous de la zone recommandée que chez les vaches, ce qui pourrait indiquer que l'emplacement optimal est peut-être plus difficile à évaluer pour l'opérateur sur un taureau (Marzin *et al.*, 2008 ; Terlouw *et al.*, 2015).

○ POIDS ET ÂGE

Les difficultés d'étourdissement des taureaux peuvent également être liées à leur poids, **sans doute en raison de l'épaisseur et/ou la résistance du crâne plus importantes chez les animaux lourds** (Daly *et al.*, 1987 ; Dersheid *et al.*, 2016 ; Gouveia *et al.*, 2009 ; Grandin, 2002 ; Terlouw *et al.*, 2015 ; von Holleben *et al.*, 2010 ; von Wenzlawowicz *et al.*, 2012). Par exemple, une étude rapporte que sur 11 bovins ayant présenté des signes de retour de sensibilité, 8 avaient un crâne imposant (Grandin, 2002). Des liens ont aussi été trouvés entre l'efficacité de l'étourdissement et l'âge des bovins : **le risque d'échec du premier tir augmente avec l'âge du bovin** (Gouveia *et al.*, 2009), probablement en raison d'un effet du poids de l'animal.

Une étude mentionne cependant l'absence de corrélation entre le poids de l'animal et l'épaisseur de son crâne. Toutefois, les bovins de cette étude pesaient tous moins 510 kg (Dersheid *et al.*, 2016).

○ RACE

Plusieurs études ont également mis en avant un effet de la race sur la qualité de l'étourdissement (Atkinson, 2016 ; Gouveia *et al.*, 2009 ; Grist *et al.*, 2019a ; Hultgren *et al.*, 2014 ; Terlouw *et al.*, 2015 ; Wagner *et al.*, 2017). **Les échecs d'étourdissement semblent plus fréquents chez les animaux de race allaitante par rapport aux races laitières** (Atkinson, 2016 ; Gouveia *et al.*, 2009). Une étude réalisée sur 2 800 bovins a relevé des échecs d'étourdissement de 37,8 % sur des bovins allaitants et de 25,7 % sur des bovins laitiers (Gouveia *et al.*, 2009). Cela est au moins en partie lié au lien entre la race et la morphologie de la tête des bovins (Gouveia *et al.*, 2009 ; Grist *et al.*, 2019a ; Shearer, 2018 ; Terlouw *et al.*, 2015), mais d'autres facteurs sont sans doute également impliqués.

○ RÉACTIVITÉ DE L'ANIMAL

La réactivité des animaux influence la qualité du tir. En effet, il est souvent plus difficile pour un opérateur d'étourdir un animal agité (Atkinson, 2016 ; Bourguet *et al.*, 2011a ; Grandin, 2000 ; Gregory *et al.*, 2007 ; Hultgren *et al.*, 2014). Une étude a observé que les animaux ayant reçu plus d'un tir avaient été exposés à davantage d'événements douloureux juste avant d'être introduit dans

le piège (décharges électriques via un ASACE ou fermeture de la porte guillotine du piège d'étourdissement sur leur dos). Cette corrélation suggère que **la facilité, ou la difficulté, avec laquelle l'animal a été conduit dans le piège d'étourdissement est liée à la qualité du tir et/ou au nombre de tirs nécessaires pour étourdir efficacement un animal** (Bourguet *et al.*, 2011a ; Grandin, 2000 ; Gregory *et al.*, 2007).

Les bovins principalement conduits en plein air sont plus à risque de présenter des échecs du premier tir. Ces animaux étant généralement moins habitués au contact de l'homme, ils réagissent davantage lors des manipulations en abattoir (Bunzel-Drueke *et al.*, 2009 cités dans Schiffer *et al.*, 2017 ; Probst *et al.*, 2012).

2.2.2. CARACTERISTIQUES ET ENTRETIEN DU MATERIEL UTILISE

VITESSE ET ÉNERGIE CINÉTIQUE DE LA TIGE

La vitesse de la tige est un des paramètres essentiels à prendre en compte pour optimiser l'efficacité du tir (Daly *et al.*, 1987 ; Dörfler *et al.*, 2014 ; EFSA, 2004 ; Finnie, 2016 ; Gregory et Shaw, 2000 ; Grist *et al.*, 2019b ; Kamenik *et al.*, 2019 ; règlement CE n°1099/2009 ; von Holleben *et al.*, 2018 cités dans Grist *et al.*, 2019b). Par exemple, lors d'une étude réalisée sur 39 animaux avec suivi de l'EEG, les pertes de potentiels évoqués étaient plus rapides lorsque la vitesse de la tige était supérieure à 55 m/s (Daly *et al.*, 1987). **Cela s'explique par le fait que l'énergie cinétique¹ de la tige est proportionnelle au carré de sa vitesse (Grist *et al.*, 2019b ; Oliveira *et al.*, 2017) ; et plus l'énergie cinétique de la tige est élevée, plus l'onde de choc qui se propage dans le cerveau et les dommages qui en résultent sont importants** (Atkinson *et al.*, 2013 ; EFSA, 2004 ; Gibson *et al.*, 2015a ; Kamenik *et al.*, 2019). Ainsi, la vitesse de la tige recommandée pour l'étourdissement des bovins est de 55 m/s minimum (Daly *et al.*, 1987) et 70 m/s pour les taureaux (Gregory, 2007).

LONGUEUR DE LA TIGE

Une tige plus longue permet d'augmenter l'efficacité du tir car elle a la possibilité de pénétrer plus profondément dans le cerveau (EFSA, 2004 ; Kamenik *et al.*, 2019 ; Kline *et al.*, 2019 ; Martin *et al.*, 2018 ; Oliveira *et al.*, 2018a ; règlement CE n°1099/2009 ; Shear et Reynolds, 2011 ; Wagner *et al.*, 2019). Par exemple, l'utilisation d'un pistolet perforant possédant une tige de 16,5 ou 17,8 cm vs. 15,2 cm permet d'augmenter les dommages cérébraux causés par le tir (Wagner *et al.*, 2017). Cette condition est nécessaire mais pas suffisante. En effet, la profondeur de pénétration de la tige dans le cerveau n'est pas toujours proportionnelle à la longueur de la tige (Kline *et al.*, 2019 ; Wagner *et al.*, 2017) puisque cela dépend également de l'énergie cinétique conférée par sa vitesse.

TYPE DE PISTOLET (THERMIQUE VS. PNEUMATIQUE)

L'utilisation d'un pistolet à tige perforante pneumatique est plus efficace qu'un pistolet thermique (Atkinson, 2016 ; Kamenik *et al.*, 2019 ; Schwenk *et al.*, 2016 ; von Wenzlawowicz *et al.*, 2012), probablement au moins en partie en raison de leurs tiges généralement plus longues et d'un diamètre parfois plus important (Tableau 8 ; Kamenik *et al.*, 2019 ; Schwenk *et al.*, 2016). Par

¹ L'énergie cinétique d'un corps correspondant à l'énergie que possède ce corps du fait de son mouvement.

exemple, une étude a relevé des taux d'échec d'étourdissement de 3,6 à 15,9 % dans 6 abattoirs utilisant un pistolet thermique, contre 2 à 7 % dans 2 abattoirs utilisant un pistolet pneumatique (Atkinson, 2016). Il est aussi envisageable que la pression sur la tige ne soit pas maintenue de la même façon selon que le système soit pneumatique ou thermique.

Tableau 8 : Diamètre et longueur de tige de pistolet thermique ou pneumatique utilisés dans différentes études (d'après Kamenik *et al.*, 2019)

Pistolet	Diamètre de la tige (mm)	Longueur de la tige (mm)	Vitesse (en m/s)	Source
Pistolet thermique				
Cash spécial	11,35	73 ± 2	52,63 ± 1,09	Gibson <i>et al.</i> , 2015a
Cash spécial Heavy	11,35	72 ± 3	53,86 ± 0,42	
Cash Euro Stunner	11,40	76 ± 1	60,17 ± 0,57	
Karl Schermer 6.8/15 KR	12	85	42,30 à 54,30	Dörfler <i>et al.</i> , 2014
Karl Schermer 6.8/15 KS	12	80	41,90 à 51,60	
Karl Schermer 6.8/15 KL	12	125	42,90 à 52,90	
Cash Magnum 9000 S	11,40	121	-	Schwenck <i>et al.</i> , 2016
Cash Magnum 9000	11,91	121	-	Atkinson <i>et al.</i> , 2013
Matador super Sécurité 3000	11,60	85 ± 2	61,53 ± 0,45	Gibson <i>et al.</i> , 2015a
Super Sécurité 3000	12	90 (taureaux) 85 (vaches)	-	Terlouw <i>et al.</i> , 2015
Blitz, PTB, 3-69	12	75	-	Svendsen, 2008
Pistolet pneumatique				
USSS-1	15,90	210	47,70 à 54,60	Oliveira <i>et al.</i> , 2017
USSS-1	15,90	280	54,60 ± 1,33	Oliveira <i>et al.</i> , 2018a et b
USSS-1 (STRD)	10	152	-	Wagner <i>et al.</i> , 2019
USSS-1 (MED)	10	165	-	
USSS-1 (LON)	10	178	-	Kline <i>et al.</i> , 2019
USSS-1 (CON)	-	152,40	39,50 à 43,22	Martin <i>et al.</i> , 2018
USSS-1 (MED)	-	165,10	39,14 à 42,82	
USSS-1 (LON)	-	177,80	38,77 à 42,43	
VB 215	12	135	-	Schwenk <i>et al.</i> , 2016
VB 315	14,50	121	-	von Holleben <i>et al.</i> , 2018 cités dans Kamenik <i>et al.</i> , 2019

SPÉCIFICITÉ RELATIVE AUX PISTOLETS THERMIQUES - LE CHOIX DES AMORCES

Pour les pistolets thermiques, la tige perforante est propulsée via l'utilisation d'une amorce. Il en existe différents types, possédant des caractéristiques différentes qui influencent la vitesse et donc l'énergie cinétique de la tige (Tableau 9). Un code couleur est mis en place par les fabricants et est à consulter pour utiliser des amorces adaptées à la catégorie d'animal (Tableau 7 ; EFSA, 2004 ; Gibson *et al.*, 2015a ; Mirabito *et al.*, 2013 ; von Holleben *et al.*, 2018 cités dans Kamenik *et al.*, 2019). **L'utilisation d'amorces inappropriées peut provoquer des dommages cérébraux insuffisants et résulter en un étourdissement inefficace pouvant être douloureux pour l'animal** (Gibson *et al.*, 2015a ; Grist *et al.*, 2019b). Les amorces doivent être gardées dans un endroit sec car lorsqu'elles

sont humides, les risques d'échec d'étourdissement sont plus élevés (Atkinson, 2016 ; EFSA, 2004 ; Grandin, 2002 et 2013b ; Grist *et al.*, 2019b).

Tableau 9 : Vitesse, énergie cinétique et profondeur de pénétration de la tige, en fonction des amorces utilisées (d'après Gibson *et al.*, 2015). La profondeur de pénétration de la tige est testée expérimentalement sur des blocs de gel balistique.

Couleur des amorces	Vitesse (m/s)	Energie cinétique (J)	Profondeur de pénétration de la tige (mm)
Matador Super Sécurité 3000			
Rouge	57,70 à 60,00	406	85 ± 1
Noire	61,10 à 62,50	443	85 ± 2
Schermer KS			
Verte	36,90 à 40,70	185	71 ± 1
Cash Spécial			
Verte	51,10 à 53,90	292	73 ± 2
Cash Spécial Heavy			
Rouge	53,30 à 54,30	306	72 ± 3
Cash Euro Stunner			
Noire	59,30 à 61,30	327	76 ± 1
Cash Dispatch Kit MB			
Bleue	49,30 à 55,40	308	69 ± 2
Cash Dispatch Kit LB			
Bleue	43,50 à 51,10	267	88 ± 1

SPECIFICITÉ RELATIVE AUX PISTOLETS PNEUMATIQUES - PARAMÉTRAGE DE LA PRESSION

Une pression plus élevée permet d'obtenir des tirs plus efficaces (Gallo *et al.*, 2003 ; Gregory, 2007 ; Kamenik *et al.*, 2019 ; Oliveira *et al.*, 2017 et 2018b ; von Holleben *et al.*, 2018 cités dans Kamenik *et al.*, 2019) au moins en partie en raison de sa corrélation positive avec la vitesse du tir, ce qui provoque davantage de dommages cérébraux (Tableau 10 ; Oliveira *et al.*, 2018b). Par exemple, la proportion d'animaux présentant une respiration rythmique après le tir était plus de 3 fois plus élevée chez des bovins étourdis via un pistolet pneumatique à faible pression (11 à 12 bar) comparé à ceux étourdis avec une pression plus élevée (13 bar), ce qui traduit probablement des dommages cérébraux moins profonds (voir § 2.1.1. *Dommages cérébraux provoqués par l'étourdissement mécaniques*). Toutefois, avec une faible pression, les tirs étaient plus précis (65,4 % de tir déviés de plus de 2 cm de la position idéale avec une forte pression contre 35 % avec une faible pression ; Oliveira *et al.*, 2017). Cela s'explique probablement par le fait que le recul provoqué par les tirs à forte pression est tel que les opérateurs tirent fréquemment légèrement avant que le pistolet soit en contact avec le crâne de l'animal. Il est aussi envisagé qu'avec des pressions élevées, les opérateurs accordent moins d'importance à l'emplacement du tir car ils ont davantage confiance en l'efficacité du matériel d'étourdissement. Il est donc fondamental d'assurer une bonne formation des opérateurs en rappelant l'importance de l'emplacement du tir, y compris dans le cas de pistolets pneumatiques à forte pression.

Tableau 10 : Vitesse et énergie cinétique de la tige en fonction de la pression paramétrée (d'après Martin *et al.*, 2018 ; Oliveira *et al.*, 2017, 2018a et b).

	Pression (bar)	Vitesse (m/s)	Energie cinétique (J)
USSS-1			
	11	47,70 ± 0,44	338 ± 6,26
	12	48,80 ± 0,74	356 ± 11,08
	13	54,60 ± 1,33	448 ± 22,02
USSS-1 (CON)			
	11,7	39,50	-
	13,8	43,22	-
USSS-1 (MED)			
	11,7	39,14	-
	13,8	42,82	-
USSS-1 (LON)			
	11,7	38,77	-
	13,8	42,43	-

ENTRETIEN DU PISTOLET

La maintenance du pistolet est primordiale pour obtenir un taux d'échec minimal (EFSA, 2004 ; Gibson *et al.*, 2015a ; Gouveia *et al.*, 2009 ; Grandin, 1998b, 2000 et 2002 ; Gregory et Shaw, 2000 ; Grist *et al.*, 2019a et b ; Kamenik *et al.*, 2019 ; von Holleben *et al.*, 2010 ; von Wenzlawowicz *et al.*, 2012). Grandin (1998b) a par exemple observé que dans 4 abattoirs sur 11 la mauvaise maintenance des systèmes d'étourdissement était à l'origine d'échec d'étourdissement lors du premier tir.

Qu'il s'agisse d'un système thermique ou pneumatique, les pistolets doivent être démontés quotidiennement (ou hebdomadairement en fonction du volume d'abattage ; EFSA, 2004 ; von Holleben *et al.*, 2010) afin de contrôler l'usure des différentes pièces et réaliser les opérations de nettoyage, y compris l'élimination de l'accumulation de poudre pouvant s'y déposer (Gibson *et al.*, 2015a ; Gregory et Shaw, 2000 ; Mirabito *et al.*, 2013). La vitesse de la tige doit être contrôlée à l'aide de tests en chambre de tir (réalisés à l'abattoir directement ou chez le fournisseur ; EFSA, 2004). Les pistolets doivent être entièrement changés tous les 40 000 tirs ou tous les 3 ans, selon le paramètre atteint en premier (Mirabito *et al.*, 2013). Toutes les informations relatives à la maintenance des pistolets et leur changement doivent être enregistrées et conservées par l'abattoir pendant au minimum 1 an (règlement CE n°1099/2009).

2.2.3. ORGANISATION ET CARACTERISTIQUES DU FONCTIONNEMENT DES ABATTOIRS

Enfin, certains aspects organisationnels influencent également l'efficacité de l'étourdissement, (EFSA, 2004 ; Grandin, 2000 et 2005 ; Marzin *et al.*, 2008 ; Sandstrom, 2009). Par exemple, lorsque la cadence est élevée, les opérateurs peuvent se presser davantage pour réaliser le tir, au risque d'avoir un taux d'échec plus élevé et/ou une possibilité amoindrie de vérification de l'efficacité du tir et d'application d'une mesure corrective le cas échéant. Cependant, des données récoltées dans 50 abattoirs différents montrent aussi que les cadences n'affectent pas forcément l'efficacité de l'étourdissement (Grandin, 2006) et que des abattoirs fonctionnant avec des cadences faibles peuvent aussi avoir des taux élevés d'échecs d'étourdissement (von Wenzlawowicz *et al.*, 2012).

Ainsi, quelle que soit la cadence, l'efficacité de l'étourdissement peut être optimale si l'ensemble de ses facteurs de variation sont maîtrisés.

Le nombre d'opérateurs présents aux différents postes (amenée des animaux, étourdissement et saignée) joue aussi un rôle sur l'efficacité de l'étourdissement. Par exemple, dans une étude les pourcentages de tirs multiples étaient de 4,6, 20 et 25 % selon qu'il y avait une, deux ou trois opérateurs en même temps pour conduire l'animal au piège respectivement (Hultgren *et al.*, 2014). On peut supposer que la présence de plusieurs opérateurs au même poste peut générer un stress supplémentaire à l'animal et ainsi amoindrir l'efficacité de l'étourdissement. De même, la coordination des opérateurs (gestes, positionnement par rapport à l'animal, etc.) est dans ces cas peut-être plus difficile.

- CONCLUSIONS -

ABATTAGE AVEC ETOURDISSEMENT PREALABLE A LA SAIGNEE

En France, l'étourdissement des bovins est réalisé avec un pistolet à tige perforante thermique ou pneumatique. L'onde de choc et la pénétration de la tige dans le cerveau de l'animal provoquent des dommages cérébraux étendus de différents types : une dépolarisation des cellules nerveuses, des projections de fragments d'os, des lésions et des déchirures diverses ainsi que des hémorragies. Lorsque le tir est correctement réalisé, cette technique permet d'induire une inconscience profonde, immédiate, indolore et irréversible.

Sur le terrain, l'absence de l'ensemble des indicateurs de conscience et de risque de conscience, combinée à la présence des indicateurs d'inconscience permet de garantir que l'étourdissement est parfaitement efficace.

De nombreux facteurs influencent l'efficacité du tir et peuvent être regroupés en trois catégories. Premièrement la position du pistolet au moment du tir (emplacement et orientation) détermine l'étendue des dommages cérébraux provoqués. Elle-même est influencée par l'opérateur (en fonction de son expérience, de son niveau de formation et de sa fatigue), la qualité de la contention de l'animal, ainsi qu'à un ensemble de caractéristiques liées à l'animal (tels que sa morphologie et sa réactivité). Deuxièmement, l'entretien, les caractéristiques (vitesse et longueur de la tige notamment) et le paramétrage du matériel d'étourdissement utilisé (type d'amorces ou paramétrage de la pression) jouent un rôle important. En effet, les pistolets pneumatiques donnent de meilleurs résultats que les thermiques. Enfin, des facteurs liés à l'organisation et au fonctionnement de l'abattoir sont également impliqués.

Lorsque l'ensemble de ces facteurs de variation sont maîtrisés, les taux d'échec du premier tir sont faibles. Au moindre doute concernant l'efficacité du premier tir, l'animal doit être immédiatement ré-étourdi.

3. PARTIE 3 : ABATTAGE SANS ÉTOURDISSEMENT

La deuxième partie de la présente synthèse fait état des sources de stress et de douleur spécifiques à l'abattage sans étourdissement. Elle se base sur les données publiées dans les articles scientifiques. Ces sources de stress et de douleur concernent :

- La contention de l'animal.
- Le délai de perte de conscience et l'ensemble de ses facteurs de variation.
- La qualité de l'égorgeage et de la saignée.
- L'infiltration de sang dans les voies respiratoires.

3.1. POINTS CRITIQUES EN TERMES DE PROTECTION ANIMALE DANS LE CADRE DE L'ABATTAGE SANS ÉTOURDISSEMENT

3.1.1. LA CONTENTION

L'abattage sans étourdissement nécessite obligatoirement une contention mécanique du corps et de la tête des bovins. Le règlement CE n°1099/2009 indique que le matériel, ainsi que les installations d'immobilisation doivent être conçus, construits et entretenus de manière à empêcher les blessures, et à réduire au minimum les vocalisations et la durée d'immobilisation des animaux. La contention doit également être adaptée au gabarit de l'animal et doit permettre une immobilisation sans douleur (Règlement CE n°1099/2009). **La contention doit être maintenue jusqu'à ce que l'animal ne présente plus aucun signe de conscience (règlement CE n°1099/2009 ; voir § 3.1.2. sous-section *Indicateurs physiques de conscience et d'inconscience*).**

La zone de l'égorgeage étant innervée, la contention doit être maintenue jusqu'à ce que l'animal perde conscience afin d'éviter les contacts entre la plaie et le système de contention tant que l'animal est conscient (Grandin et Regenstein, 1994 ; Mirabito *et al.*, 2015). Les chercheurs ayant participé au programme Dialrel ont en effet rapporté des réactions des animaux (tentatives de redressement de la tête) lorsque la plaie entrait en contact avec la mentonnière (von Holleben *et al.*, 2010). Il est toutefois recommandé de relâcher légèrement la tension de la mentonnière afin de favoriser la saignée, sans toutefois libérer la contention de la tête de l'animal.

MISE EN PLACE DE LA CONTENTION

La mise en place de la contention inclut :

- La contention du corps : après l'entrée du bovin, des parois latérales et arrières sont mises en place, parfois suivi du soutien ventral.
- La contention de la tête : la tête de l'animal est introduite dans une mentonnière afin que celle-ci puisse immobiliser la tête et tendre le cou du bovin.

L'ensemble de ces étapes représente une durée variable en fonction du système utilisé et de la facilité de manipulation de l'animal. Des observations réalisées dans 18 abattoirs européens indiquent que cela peut prendre jusqu'à 90 secondes (Mirabito *et al.*, 2015). L'introduction de la tête des animaux dans la mentonnière est une étape particulièrement délicate. Par exemple, dans une

étude cette étape dure 34 secondes en moyenne et seuls 14 % des animaux ont introduit spontanément leur tête dans la mentonnière (Ewbank *et al.*, 1992). Dans le cas contraire, des manipulations de l'animal sont alors nécessaires et provoquent du stress supplémentaire.

QUALITÉ DE LA CONTENTION

La contention mécanique de l'animal (tête et corps) est indispensable pour pratiquer un égorgement sur un bovin conscient, mais elle génère du stress chez l'animal (Berg, 2007 cité dans van Holleben *et al.*, 2010 ; Gregory, 2004 ; Velarde et Dalmau, 2018). La contention doit être suffisante pour pouvoir immobiliser l'animal. Dans le cas d'une contention insuffisante, le geste d'égorgement sera difficile à réaliser.

Toutefois, la contention ne doit pas non plus être excessive. Une pression excessive appliquée sur l'animal lors de la contention provoque divers comportements : vocalisations, tremblements, tentatives de sauts, débattements. Ils traduisent le stress et la douleur ressentis par l'animal (Bourguet *et al.*, 2011a ; Cenci-Goga *et al.*, 2013 ; Dunn, 1990 ; Ewbank *et al.*, 1992 ; Grandin, 1992 ; Mirabito *et al.*, 2015 ; Velarde *et al.*, 2014). Une étude a montré que dans le contexte de l'abattage, 98,2 % des bovins qui ont vocalisé le faisaient juste après un évènement désagréable ou douloureux, incluant une contention trop forte. Dans cette même étude, l'auteur n'a pas observé d'animaux vocalisant lorsque la pression appliquée était correctement ajustée (Grandin, 1998a). La contention doit donc être parfaitement adaptée au gabarit et à la conformation de chaque animal, ce qui est difficile en pratique puisque celle-ci est ajustée manuellement sur la base de l'appréciation visuelle de l'opérateur. Par exemple, pour un même système de contention et un même opérateur, une étude a mis en évidence davantage de comportements de débattement dans le piège et corrélés à des taux d'hématocrite plus élevés chez des bovins de race Blond d'Aquitaine par rapport à des Charolais. Outre leur réactivité au stress plus importante, les auteurs en ont conclu que la contention était probablement trop forte pour les Blancs d'Aquitaine en raison de leur musculature (Bourguet *et al.*, 2011a).

Le niveau de contention de la tête doit également être parfaitement maîtrisé. Le cou des bovins doit impérativement être tendu pour pouvoir réaliser un égorgement rapide et efficace. Néanmoins, la réduction de la tension exercée par la mentonnière permet de passer de 23 % des bovins qui vocalisent à 0 % (Grandin, 2001). Un cou tendu à outrance peut avoir des effets néfastes sur la qualité de la saignée (voir § 3.1.3. sous-section *Formation d'occlusions*). La tension du cou ne doit donc pas être excessive. La mentonnière doit elle aussi être adaptée au gabarit des animaux. Cela nécessite *a minima* de disposer d'une mentonnière spécifique aux veaux et une autre spécifique aux bovins adultes.

Enfin, même dans le cas d'une contention optimale de la tête et du corps de l'animal, celle-ci doit être la plus courte possible. En effet, il y a moins de vocalisations lorsque les animaux sont égorgés immédiatement après la mise en place de la contention de la tête (Grandin, 1998).

L'abattage des bovins sans étourdissement nécessite obligatoirement **une contention mécanique du corps et de la tête de l'animal**. La mise en place de la contention est une étape délicate, qui peut générer **du stress chez l'animal**. La contention doit être parfaitement **adaptée au gabarit de l'animal** afin de ne pas être excessive, ni insuffisante. La contention doit être **la plus courte possible**. Après l'égorgeage, **la plaie ne doit pas entrer en contact** avec le système de contention.

3.1.2. DELAI DE PERTE DE CONSCIENCE

Les premiers effets physiologiques d'une hémorragie massive chez un animal vivant sont essentiellement liés au manque d'oxygène, et dans une moindre mesure, au manque de glucose. Chez l'animal non-étourdi, ces manques entraînent une diminution progressive et non immédiate du niveau de conscience causée par un ralentissement de l'activité cérébrale (Terlouw *et al.*, 2016a). Lorsque l'animal est profondément inconscient, il ne ressent plus de stress ni de douleur (voir § 1.2.1. *Qu'est-ce que la conscience ?*). Dans le contexte de l'abattage sans étourdissement, une question essentielle est donc d'évaluer le délai à partir duquel les bovins sont inconscients.

SUIVI DE L'ACTIVITÉ CÉRÉBRALE POST-EGORGEMENT

En conditions expérimentales, la technique la plus fiable pour évaluer le délai de perte de conscience lors de l'abattage sans étourdissement repose sur l'analyse de l'activité cérébrale (EEG lorsque les électrodes sont positionnées sur le crâne de l'animal ou EcoG lorsque les électrodes sont implantées directement sur le cortex). Cette analyse repose sur l'étude de la fréquence et de l'amplitude des ondes électriques cérébrales. Selon le niveau de vigilance et de conscience, les ondes de différentes fréquences sont présentes dans des proportions différentes. Lors de la perte de conscience provoquée par la saignée, le tracé de l'EEG évolue progressivement, selon quatre grandes phases (Figure 5) :

- **(a)** Etat d'éveil : tracé d'EEG caractérisé par la présence d'ondes à haute fréquence et d'amplitude faible (ondes α et β).
- **(b)** Etat de conscience réduite : tracé d'EEG faisant apparaître des ondes à basse fréquence et d'amplitude élevée (ondes θ et δ). On parle d'EEG transitionnel.
- **(c)** Etat d'inconscience : tracé d'EEG caractérisé par une majorité d'ondes à basse fréquence et d'amplitude élevée (ondes θ et δ). On parle alors d'EEG en HALF (*High Amplitude, Low Frequency*) ou d'EEG supprimé, en rapport avec la suppression des ondes à haute fréquence (α et β).
- **(d)** Etat de mort cérébrale : tracé d'EEG plat. On parle alors d'EEG isoélectrique. Bien qu'il ne soit pas forcément irréversible, ce tracé d'EEG caractérise généralement la mort (Terlouw *et al.*, 2016a).

Dans quelques travaux anciens, l'inconscience est également caractérisée par l'apparition d'un tracé d'EEG d'amplitude $<10 \mu\text{V}$ ou $>35 \mu\text{V}$, appelé LVFA (Low Voltage, Fast Activity ; Tableau 11 ; Blackmore *et al.*, 1983 ; Newhook et Blackmore, 1982).

Les seuils et les paramètres utilisés pour analyser l'EEG et évaluer dans laquelle de ces 4 phases l'animal se trouve varient d'une étude à l'autre. Ces analyses sont cependant délicates et des « zones grises » existent pour lesquelles il est difficile de déterminer le niveau de conscience de l'animal (Johnson *et al.*, 2015).

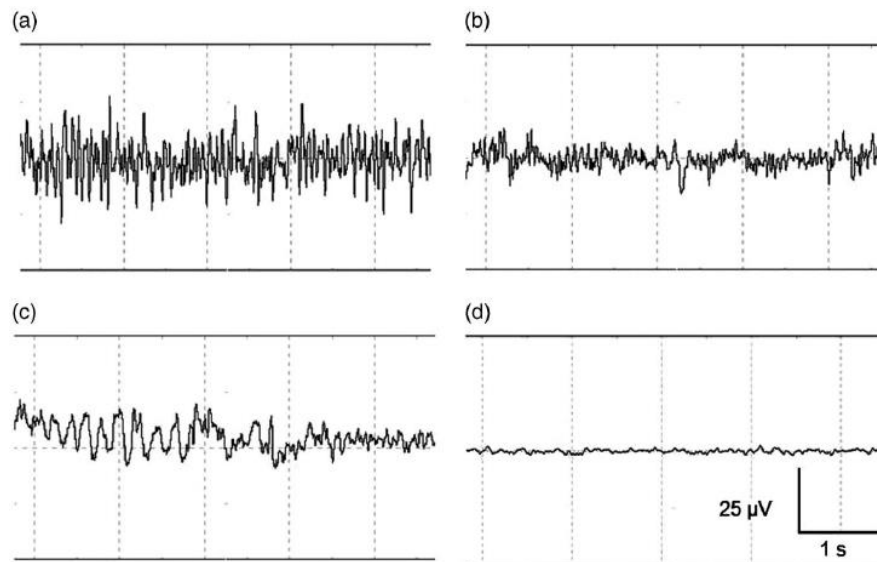


Figure 5 : Exemple des différentes étapes de l'EEG avant (a) et après (b, c et d) abattage sans étourdissement chez des veaux (Verhoeven *et al.*, 2016).

Dans certaines études, une autre mesure est utilisée. Il s'agit d'un test permettant d'identifier des modifications de l'activité électrique du cerveau, en réponse à une stimulation extérieure qu'elle soit visuelle, auditive, sensitive ou motrice. On parle alors de perte des potentiels évoqués (SEP : *Somatosensory Evoked Potentials* ou VEP : *Visual Evoked Potentials*). La perte de ces potentiels indique un état d'inconscience probable. Cependant, leur présence ne signifie pas forcément que l'animal est conscient. Certains chercheurs ont en effet observé des réponses à des stimuli chez des animaux anesthésiés (principalement chez les volailles) ou présentant un EEG isoélectrique (Gregory, 1998). L'interprétation de la perte de potentiels évoqués doit donc se faire en parallèle de l'étude de l'activité cérébrale spontanée (EFSA, 2004).

Les résultats de l'ensemble des études menées sur des bovins et basées sur l'analyse de l'activité cérébrale indiquent que lors de l'abattage sans étourdissement :

1. La perte de conscience n'est pas immédiate,
2. Son délai est très variable d'un animal à l'autre,
3. Elle peut nécessiter plusieurs minutes.

La variabilité dans le délai de perte de conscience dans ce contexte est telle qu'il est souvent impossible d'extraire des moyennes. Cela indique que de nombreux facteurs entre en jeu et influencent ce délai (voir § 3.1.3. *Qualité de la saignée*). Dans certaines études, la perte de conscience est observée entre 10 et 186 secondes après l'égorgeage (Tableau 11 ; Bager *et al.*,

1992 ; Blackmore *et al.*, 1983 ; Daly *et al.*, 1988 ; Devine *et al.*, 1986 ; Gibson *et al.*, 2009a ; Gregory et Wotton, 1984 ; Kallweit *et al.*, 1989 cités dans von Holleben, 2010 ; Lambooij *et al.*, 2012 ; Nangeroni et Kenneth, 1963 cités dans Levinger, 1995 ; Newhook et Blackmore, 1982 ; Schulze *et al.*, 1978 cités dans Hazem *et al.*, 1977 ; Verhoeven *et al.*, 2016). Des pertes de conscience encore plus tardives sont aussi identifiées. Après une phase d'inconscience, de possibles retours de conscience sont rapportés jusqu'à 323 s après l'égorgeage (Newhook et Blackmore, 1982). Dans une autre étude, l'EEG isoélectrique d'un animal survient seulement 680 s après la saignée (Bager *et al.*, 1992).

Il est à noter que les animaux présentant des défauts de saignement (occlusion(s) des vaisseaux sanguins, sont parfois exclus des moyennes calculées (Bager *et al.*, 1992 ; Schulze *et al.*, 1978 cités dans Hazem *et al.*, 1977). Or, sur le terrain, ces défauts de saignement sont fréquents et retardent encore davantage la perte de conscience (voir § 3.1.3. sous-section *Formation d'occlusions*). De plus, les sections réalisées dans ces études ne sont pas, dans un certain nombre de cas, des égorgements tels que réalisés classiquement en abattoir dans le cadre de l'abattage sans étourdissement, au risque de sous-évaluer les risques d'occlusion et/ou de faciliter le geste de saignée. Enfin, les difficultés techniques imposées par l'analyse de l'EEG aboutissent à des effectifs souvent très faibles et/ou des animaux expérimentaux très jeunes pour lesquels l'égorgeage est plus aisé à réaliser. Ces paramètres permettent de suggérer que certaines données de la littérature basées sur l'EEG dans ce contexte pourraient sous-estimer les cas de perte de conscience tardive.

Dans les études les plus récentes, engageant probablement des techniques d'analyse de l'EEG plus performantes et une meilleure prise en compte des cas d'occlusions, les résultats confirment que la perte de conscience nécessite plusieurs dizaines de secondes, voire plusieurs minutes, et avec une variabilité interindividuelle importante (de 49 à 109 s en moyenne ; Gibson *et al.*, 2009a ; Lambooij *et al.*, 2012 ; Verhoeven *et al.*, 2016). Ces délais représentant des moyennes, seule l'une de ces études indique le délai maximal qui se situe à 2 min 20 s avant que l'animal n'ait perdu conscience (Verhoeven *et al.*, 2016).

Tableau 11 : Délais de perte de conscience des bovins rapportés dans différentes études expérimentales sur la base de l'EEG. EEG = Electroencephalogramme ; ECoG = Electrocorticogramme ; HALF = High Amplitude, Low Frequency ; LVFA = Low Voltage, Fast Activity; PE = Potentiels Evoqués.

Pour les études n'utilisant aucun de ces indicateurs, les délais d'apparition d'un EEG isoélectrique sont présentés.

ANIMAUX	CONDITIONS EXPÉRIMENTALES	LATENCE AVANT PERTE DE CONSCIENCE	INDICATEUR UTILISÉ	SOURCE
5 veaux	-	18,8 à 24,9 s + 1 veau à 139,2 s	EEG isoélectrique	Nangeroni et Kenneth, 1963 cités dans Levinger, 1995
10 veaux (40-60 kg)	-	Moyenne : 10 s + 1 veau à 24 s	HALF	Schulze <i>et al.</i> , 1978 cités dans Hazem <i>et al.</i> , 1977
8 veaux (1 semaine)	Conditions expérimentales Incisions bilatérales	65 à 85 s + 1 veau à 168 s 123 à 323 s	Retour de conscience possible	Newhook et Blackmore, 1982
3 veaux (4 à 6 semaines)	Conditions expérimentales Incisions bilatérales	28, 30, 168 s	LVFA	Blackmore <i>et al.</i> , 1983
8 veaux (35 kg)	Conditions expérimentales Animaux anesthésiés Egorgement	11,5 à 23 s	Perte de PE	Gregory et Wotton, 1984
1 veau (6 semaines)	Coupe « rapide »	35/38 s	HALF	Devine <i>et al.</i> , 1986
8 vaches (436 kg)	En abattoir Animaux retournés à 180° Egorgement	5 à 13 s 20 à 126 s	HALF Perte de PE	Daly <i>et al.</i> , 1988
4 vaches (170 kg)	En abattoir	8,7 à 12,8 s + 1 vache à 126 s	ECoG isoélectrique	Kallweit <i>et al.</i> , 1989 cités dans von Holleben, 2010
6 veaux (1 à 2 mois)	Conditions expérimentales Animaux anesthésiés Coupe des 2 veines jugulaires, des 2 carotides, et du tronc vago-sympathique	Moyenne : 10 s + 1 veau à 52 s	HALF	Bager <i>et al.</i> , 1992
8 veaux (109-162 kg)	Conditions expérimentales Animaux anesthésiés Retournés à 180° Incision thoracique	Moyenne : 76 ± 26 s	HALF	Gibson <i>et al.</i> , 2009a
10 veaux (185 ± 26 kg carcasse)	En abattoir Animaux à 90° ou 120° ou 180° Egorgement	Moyenne : 80 s	HALF	Lambooij <i>et al.</i> , 2012
32 veaux (201 ± 22 kg carcasse)	En abattoir Animaux debout ou 180° Egorgement	<u>Debout (n=7) :</u> Moyenne : 109 ± 32 s Max : 140 s <u>180° (n=25) :</u> Moyenne : 49 ± 25 s Max : 109 s	HALF	Verhoeven <i>et al.</i> , 2016

LES INDICATEURS PHYSIQUES DE CONSCIENCE ET D'INCONSCIENCE

Le suivi de l'activité cérébrale lors d'abattages de routine n'est pas envisageable et sa mise en œuvre est complexe, y compris en conditions expérimentales. Ainsi, l'évaluation de l'état d'inconscience est également réalisée indirectement en observant l'animal via des indicateurs physiques de conscience, de risque de conscience et d'inconscience. Ces indicateurs sont présentés dans le Tableau 2. Comme pour l'analyse de l'EEG, **l'évaluation basée sur ces indicateurs dans le cadre de l'abattage sans étourdissement indique une forte variabilité dans le délai de perte de conscience, qui peut s'observer au bout de plusieurs minutes après l'égorgeage** (Blackmore *et al.*, 1983 ; Cenci-Goga *et al.*, 2013 ; Gregory *et al.*, 2010 ; Mirabito *et al.*, 2015 ; Pozzi *et al.*, 2017). Par exemple, la perte de posture de l'animal, qui est l'un des premiers indicateurs de conscience observé après l'égorgeage, peut avoir lieu plus de 4 min après l'égorgeage (Tableau 12 ; Gregory *et al.*, 2010). De même, dans 2 abattoirs, 10,2 et 42 % des bovins adultes présentaient encore des mouvements oculaires spontanés au bout de 90 s post-égorgeage, indiquant un risque de conscience ou de retour de conscience (Tableau 2 ; Mirabito *et al.*, 2015).

La variabilité dans les délais de disparition ou d'apparition de ces indicateurs traduit également l'arrêt progressif du fonctionnement des centres et des réseaux de neurones qui les contrôlent. En effet, les différentes structures cérébrales ne présentent pas la même vulnérabilité face aux effets de la diminution de l'apport sanguin et de l'ischémie : le tronc cérébral, le thalamus et l'hypothalamus sont plus résistants que l'hippocampe et les structures corticales (Hossmann, 1998 ; Marcoux *et al.*, 1982 ; Mlynash *et al.*, 2010). En tenant compte d'observations réalisées chez l'humain (Wijdicks, 2001), on s'attend à ce que la progression des pertes des fonctions cérébrales conséquentes à l'égorgeage sans étourdissement se fasse de l'avant vers l'arrière du cerveau (Terlouw *et al.*, 2016a). En fonction de leur localisation, les différents indicateurs de conscience et d'inconscience traduisent l'arrêt progressif du fonctionnement des structures cérébrales après l'égorgeage (Tableau 2, Figure 3, voir § 2.1.2. sous-section *Evaluation sur la base des indicateurs de conscience/inconscience*).

Ainsi, dans le cadre de l'abattage sans étourdissement, certains indicateurs de conscience peuvent être qualifiés de « précoces », dans le sens où ils disparaissent relativement rapidement et généralement avant que l'animal n'ait perdu conscience. Par exemple, la réaction à la menace est l'un des premiers indicateurs à disparaître. En effet, on estime que 88 à 100 % des animaux (selon qu'ils sont ou non retournés sur le dos) n'expriment plus de réaction à la menace avant d'avoir perdu conscience (évaluée sur la base de l'EEG). Il est en de même pour la réaction à un stimulus nociceptif qui disparaît avant que les animaux aient perdu conscience dans 96 à 100 % des cas (Verhoeven *et al.*, 2016).

A l'inverse, les indicateurs d'inconscience peuvent être qualifiés de « tardifs » car ils apparaissent après que l'animal ait perdu conscience.

Les réflexes oculaires, qu'il s'agisse du réflexe cornéen, palpébral ou ciliaire, persistent plusieurs dizaines de secondes et parfois plusieurs minutes après l'égorgeage (Tableau 2 ; Bourguet *et al.*, 2011a ; Cenci-Goga *et al.*, 2013 ; Gibson *et al.*, 2015b ; Lambooij *et al.*, 2012 ; Mirabito *et al.*, 2015 ; Newhook et Blackmore 1982 ; Verhoeven *et al.*, 2016). Des travaux chez les veaux ont étudié la persistance du réflexe cornéen post-égorgeage en parallèle de la mesure de l'activité cérébrale. Ils montrent que le réflexe cornéen disparaît environ 1 à 2 min (selon que l'animal est retourné ou debout respectivement) après l'apparition d'un EEG compatible avec l'inconscience (Figure 6 ;

Lambooij *et al.*, 2012 ; Verhoeven *et al.*, 2016). Des résultats similaires ont été rapportés chez les ovins, indiquant que le réflexe palpébral perdure en moyenne 59 s après la perte de conscience évaluée sur la base de l'EEG. Que ce soit chez les bovins ou les ovins, ces indicateurs disparaissent dans la majorité des cas après que l'EEG soit qualifié d'isoélectrique (« *minimal brain activity* » ; Verhoeven *et al.*, 2015a ; 2016).

La respiration est quant à elle modifiée dès le début de la saignée en raison de la transection du nerf vague lors de l'égorgeage. Cela provoque une respiration plus lente et plus profonde, bien qu'elle puisse demeurer rythmique (à l'exception des cas où celle-ci est bloquée par le retournement de l'animal sur le dos, voir § 3.1.3. sous-section *Position de l'animal*). Au bout d'un certain temps, elle devient peu à peu arythmique pour aboutir à des gasps (mouvements respiratoires inefficaces associés à une ouverture de la gueule de l'animal), ultime tentative respiratoire réflexe précédant généralement la mort cérébrale (Terlouw *et al.*, en prép). Selon les sites d'abattage, des données indiquent que 10 à 100 % des bovins présentent « *des mouvements respiratoires efficaces ou non efficaces* » jusqu'à 90 s après l'égorgeage (Mirabito *et al.*, 2015). Dans deux études, des animaux ont même présenté des gasps 5 min après l'égorgeage (Blackmore *et al.*, 1983 ; Newhook et Blackmore, 1982). Des travaux chez les ovins rapportent que la respiration rythmique persiste en moyenne 27 s après que l'animal ait perdu conscience (évaluation sur la base de l'EEG ; Verhoeven *et al.*, 2015b).

Ainsi, certains indicateurs traduisent un état de conscience, d'autres un risque de conscience (ou d'inconscience pas suffisamment profonde et donc un risque de retour de conscience), et d'autres enfin indiquent que l'animal est très probablement profondément inconscient (Tableau 2). **Dans le cadre de l'abattage sans étourdissement, les indicateurs de conscience et de risque de conscience doivent tous être absents avant de relâcher la contention de l'animal et de procéder à son affilage. Les indicateurs d'inconscience doivent être présents dans la mesure du possible avant de relâcher la contention et *a minima* avant de hisser l'animal.**

○ LES INDICATEURS DE CONSCIENCE

Tant que l'animal se maintient debout, présente des tentatives de redressement orienté, des vocalisations, une réaction d'évitement ou de fermeture de la paupière suite à un test de réponse à la menace, ou exprime des vocalisations, l'animal est encore conscient (Tableau 2 ; Terlouw *et al.*, 2016b ; Terlouw *et al.*, en prep.). Si l'un de ces signes persiste, il s'agit d'un cas de perte de conscience particulièrement tardive. Dans ce cas, il convient alors d'étourdir l'animal. A titre indicatif, un délai de 90 s au maximum après le début de la saignée peut être utilisé pour décider d'étourdir l'animal présentant encore l'un de ces signes passé ce délai.

○ LES INDICATEURS DE RISQUE DE CONSCIENCE

Après l'égorgeage sans étourdissement préalable, si l'animal est capable de suivre du regard un élément de son environnement (poursuite oculaire), exprime des clignements spontanés des paupières ou présente une rotation du globe oculaire ou un nystagmus malgré l'absence de l'ensemble des indicateurs de conscience, il y a un risque de conscience ou de retour de conscience plus ou moins élevé en fonction des indicateurs (Tableau 2 ; § 2.1.2 sous-section *Evaluation sur la base des indicateurs de conscience/inconscience*). Comme pour les indicateurs de conscience, il est

donc recommandé d'étourdir l'animal si l'un de ces indicateurs est encore présent 90 s après l'égorgeage.

○ **LES INDICATEURS D'INCONSCIENCE**

Comme précédemment indiqué, la présence du réflexe cornéen ou de la respiration (rythmique ou non) n'indique pas forcément que l'animal est conscient. En revanche, leur disparition de manière persistante confirme l'état d'inconscience de l'animal probablement depuis un certain temps déjà.

De par la résistance de ces indicateurs, étourdir systématiquement les animaux qui présentent encore un réflexe cornéen ou de la respiration au bout de 90 s après l'égorgeage peut constituer un risque en termes de protection animale. En l'absence de l'ensemble des indicateurs de conscience et de risque de conscience, l'étourdissement systématique sur la base de l'absence des indicateurs d'inconscience (i.e. réflexe cornéen positif ou respiration) peut aboutir à remplacer cet animal par un animal supplémentaire abattu sans étourdissement, sans que ce cela ne soit forcément utile. En abattoir, cela entraîne parfois une augmentation importante du nombre d'animaux abattus sans étourdissement préalable (C. Bourguet, observations personnelles). Ainsi, si l'absence de l'ensemble des indicateurs de conscience et de risque de conscience est constatée, mais que les indicateurs d'inconscience ne sont pas encore présents (i.e. arrêt total de la respiration et perte du réflexe cornéen), la contention peut être prolongée. Dans tous les cas, aucun animal ne peut être hissé tant que l'inconscience n'est pas prouvée (règlement CE n°1099/2009).

○ **INDICATEUR COMPLÉMENTAIRE : LE PROLAPSUS DE LA LANGUE**

Le prolapsus de la langue est associé au relâchement des muscles de la mâchoire, ce qui peut être un signe d'inconscience au moment où il est observé. Dans une étude, cet indicateur apparaissait en moyenne au bout de $31,4 \pm 7,2$ s après l'égorgeage (Pozzi *et al.*, 2017). Cependant, pour un de ces animaux, le prolapsus de la langue n'a jamais été observé. Dans une seconde étude, le prolapsus de la langue n'était pas encore observé pour un tiers des animaux 30 s après la saignée sans étourdissement (Bourguet *et al.*, 2011a). Il est à noter que cet indicateur pourrait être influencé par d'autres facteurs, notamment le sexe de l'animal (Gregory *et al.*, 2007). En revanche, la race ou le poids de l'animal ne semblent pas influencer le délai d'apparition de cet indicateur (Pozzi *et al.*, 2017).

Afin d'homogénéiser davantage l'évaluation de cet indicateur lors du contrôle de la perte de conscience en abattoir, on peut évaluer la résistance de la langue à la traction. Mais compte tenu des risques pour l'opérateur lors de la réalisation de ce geste et de la difficulté de standardiser la méthode pour le réaliser, ce signe ne paraît pas très pratique en routine.

Tableau 12 : Délais de perte de conscience des bovins reportés dans différentes études sur la base d'indicateurs de conscience/inconscience.

ANIMAUX	CONDITIONS EXPÉRIMENTALES	LATENCE AVANT PERTE DE CONSCIENCE	SOURCE
Délais de perte de posture			
63 vaches (252 à 690 kg)	En abattoir Animaux debout Egorgement	8 à 180 s	Gregory <i>et al.</i> , 2009b
174 vaches (418 kg)	En abattoir Animaux debout Egorgement	11 à 265 s	Gregory <i>et al.</i> , 2010
664 vaches	En abattoir Animaux debout Egorgement	<u>Coupe haute (n=83) :</u> Moyenne : 13,5 ± 1,3 s <u>Coupe basse (n=561) :</u> Moyenne : 18,9 ± 1,1 s	Gibson <i>et al.</i> , 2015b
60 vaches	En abattoir Animaux debout Egorgement	0 à 30 s	Mirabito <i>et al.</i> , 2015 (Projet BoRest)
Délais de perte du réflexe cornéen			
95 vaches	En abattoir Animaux à 180° Egorgement	10 à 210 s	Bourguet <i>et al.</i> , 2011a
10 veaux (185 ± 26 kg carcasse)	En abattoir Animaux à 90° ou 120° ou 180° Egorgement	Moyenne : 135 ± 57 s	Lambooij <i>et al.</i> , 2012
1 vache	En abattoir Animaux à 90° Egorgement	79 s	Cenci-Goga <i>et al.</i> , 2013
664 vaches	En abattoir Animaux debout Egorgement	<u>Coupe haute (n=83) :</u> Moyenne : 92,2 ± 3,8 s <u>Coupe basse (n=561) :</u> Moyenne : 117,9 ± 2,5 s	Gibson <i>et al.</i> , 2015b
159 veaux	En abattoir Animaux à 180° Egorgement	15 à plus de 120 s	Mirabito <i>et al.</i> , 2015 (Projet BoRest)
32 veaux (201 ± 22 kg carcasse)	En abattoir Animaux debout ou 180° Egorgement	<u>Debout (n=7) :</u> Moyenne : 235 ± 86 s <u>180° (n=25) :</u> Moyenne : 123 ± 34 s	Verhoeven <i>et al.</i> , 2016

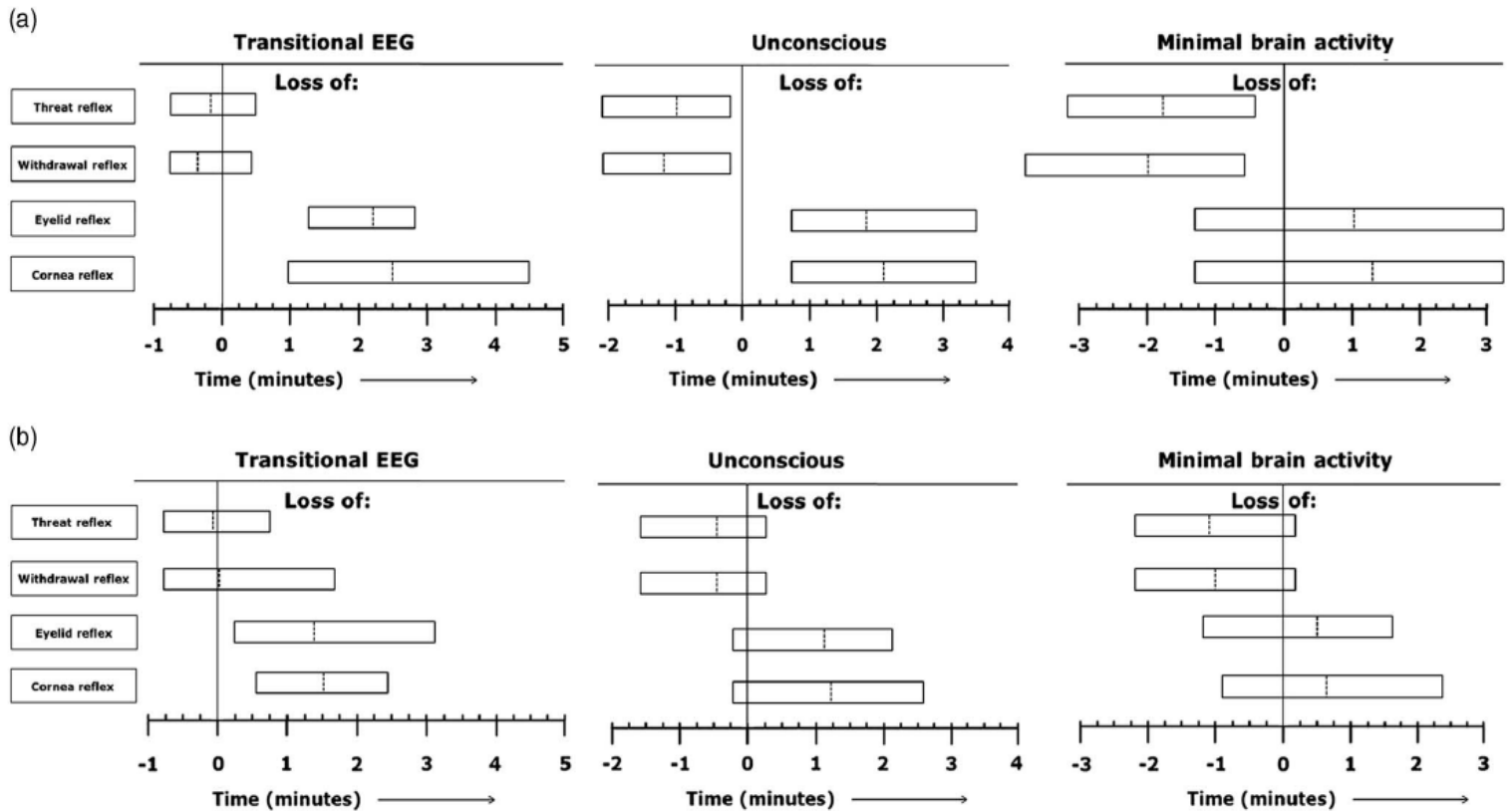


Figure 6 : Délai de disparition du réflexe de réaction à une menace, de réaction à une stimulation nocive, du réflexe palpébral et du réflexe cornéen par au délai d'apparition d'un EEG transitionnel (à gauche), d'un EEG en HALF (au milieu) et d'un EEG isoélectrique (à droite). (a) Animaux égorvés debout (n=7) ; (b) Animaux égorvés sur le dos (n=25 ; Verhoeven *et al.*, 2016).

Lors de l'abattage des bovins sans étourdissement, le délai de perte de conscience est variable et peut dans certains cas durer jusqu'à plusieurs minutes. Si un des indicateurs de conscience ou de risque de conscience est encore présent 90 s après l'égorvement, il convient d'étourdir l'animal. Les indicateurs d'inconscience étant plus tardifs et généralement présents après que l'animal ait perdu conscience, la contention peut être prolongée jusqu'à leur apparition. Dans tous les cas, aucun animal ne peut être hissé tant que les indicateurs d'inconscience ne sont pas présents.

3.1.3. QUALITE DE LA SAIGNEE

La qualité de la saignée, c'est-à-dire la vitesse et la quantité de sang expulsé lors de la saignée, est déterminante dans le délai de perte de conscience. Dans le contexte de l'abattage sans étourdissement, la saignée consiste en un égorvement de l'animal en sectionnant à la fois la peau, le muscle de l'os hyoïde, la trachée, l'œsophage, les deux veines jugulaires, les deux veines carotides, les deux veines brachiocéphaliques, les cordons nerveux du tronc sympathique ainsi que le nerf vague, les deux nerfs laryngés récurrents, et une partie du muscle de la gorge (König, 1999, cité dans von Holleben *et al.*, 2010), sans toucher les vertèbres. Ainsi, l'irrigation du cerveau via les artères vertébrales (non sectionnées lors de l'égorvement car protégées par les vertèbres) est maintenue. Or, chez les bovins, ces artères sont particulièrement efficaces. En effet, les artères vertébrales chez

le veau et le bovin adulte ont un flux sanguin plus élevé que celles des ovins (Baldwin et Bell, 1963a ; Gregory *et al.*, 2006 ; 2008 ; 2012) et prolongeraient la durée de conscience des bovins lors de l'abattage sans étourdissement (Blackmore, 1984 ; Gregory *et al.*, 2006 ; Newhook et Blackmore, 1982). Une étude a confirmé ces hypothèses en injectant un colorant dans le cœur de 2 veaux. Après incision des jugulaires et des carotides, ce colorant a été retrouvé dans le cerveau dans un délai de 8 à 10 s. Ainsi, après section des vaisseaux sanguins situés au niveau du cou, l'artère vertébrale continue effectivement d'irriguer le cerveau (Blackman *et al.*, 1986).

La saignée doit donc être la plus rapide et efficace possible afin de limiter dans le temps le stress et la douleur ressentis par l'animal. Plusieurs facteurs peuvent affecter la qualité de la saignée, notamment la qualité du geste d'égorgeage et la formation d'occlusions.

FACTEURS DE VARIATION DE LA QUALITÉ DE LA SAIGNÉE

○ QUALITÉ DU GESTE D'ÉGORGEMENT

L'égorgeage nécessite une incision précise à l'aide d'un couteau tranchant afin de limiter autant que possible la douleur ressentie par l'animal (règlement CE n°1099/2009). L'incision doit être réalisée juste en dessous du larynx de l'animal et la lame du couteau doit être orientée en direction de ses oreilles. **L'égorgeage doit être réalisé dans la mesure du possible en un seul passage de couteau (3 au maximum sans le retirer de la plaie).** Néanmoins, dans le cas d'un mauvais écoulement sanguin, les vaisseaux doivent ensuite être recoupés afin de garantir un écoulement optimal tout au long de la saignée ; cela implique une surveillance continue de l'animal.

L'importance d'un bon geste de saignée lors de l'égorgeage est mentionnée dans beaucoup de textes. De nombreuses études rapportent que l'égorgeage peut nécessiter plusieurs passages de couteaux, ce qui multiplie les contacts avec la plaie. Ayant collecté des données dans 18 abattoirs européens, le rapport BoRest rapporte par exemple 1,2 à 15,1 passages de couteau en moyenne selon les abattoirs (Mirabito *et al.*, 2015).

De plus, si tous les vaisseaux ne sont pas correctement sectionnés, la saignée est plus lente et l'irrigation du cerveau est au moins partiellement maintenue par les artères vertébrales. Une étude rapporte que cela peut concerner jusqu'à 11% des bovins dans certains abattoirs (Mirabito *et al.*, 2015). D'autres auteurs ont observé des prévalences plus faibles, comme 6 % (Gregory *et al.*, 2008) ou inférieures à 1 % (Levinger, 1976 cité dans Gregory *et al.*, 2008). Ce phénomène de mauvaise section des vaisseaux lors de l'égorgeage est donc variable en fonction des sites et des sacrificateurs.

○ FORMATION D'OCCLUSIONS

Une fois les vaisseaux correctement sectionnés, ceux-ci peuvent également se boucher : on parle d'occlusions, de faux anévrisme ou de gonflement des vaisseaux. En raison de l'élasticité des parois des artères, celles-ci peuvent se rétracter dans leur gaine après la coupe, et ce d'autant plus si le cou est tendu à outrance. L'accumulation de plaquettes peut aussi engendrer la formation de caillots qui bouchent les vaisseaux (Anil *et al.*, 1995).

Dans le cas d'une occlusion carotidienne, la pression artérielle est partiellement maintenue et le flux sanguin dans l'artère vertébrale est suffisant pour maintenir une irrigation cérébrale, retardant ainsi la perte de conscience. En effet, une étude a montré chez de très jeunes veaux (5 à 7

jours) que la ligature d'une des carotides augmente le flux non seulement dans l'autre carotide, mais également, et de manière plus prononcée, dans les 2 artères vertébrales (Baldwin et Bell, 1963b). Une autre étude a relevé que 2 veaux présentant des occlusions carotidiennes ont présenté des tentatives de redressement plus de 6 min après l'égorgeage, alors que cet indicateur disparaissait au bout de 30 à 47 s chez les veaux sans occlusions (Blackmore, 1984). Chez les bovins adultes, une étude réalisée en abattoir indique que 96 % des animaux ne présentant pas d'occlusion se sont effondrés dans la minute suivant l'égorgeage, contre 44 % seulement pour ceux présentant une occlusion (Gregory *et al.*, 2010). Ces résultats sont confirmés par des travaux basés sur l'EEG : le délai d'apparition d'un ECoG isoélectrique est plus long chez les individus présentant des occlusions carotidiennes (Bager *et al.*, 1992).

Dans une dernière étude, le délai d'apparition d'un EEG isoélectrique suite à une saignée sans étourdissement a été comparé entre quatre veaux soumis à une ligature des carotides, et quatre autres soumis à une ligature de l'artère vertébrale. Les délais d'apparition de l'EEG isoélectrique étaient équivalents chez ces deux lots (51 ± 25 s et 43 ± 13 s respectivement ; Shaw *et al.*, 1990). Bien que l'auteur en ait conclu que l'irrigation du cerveau par l'artère vertébrale n'expliquerait pas à elle seule les délais de perte de conscience chez les bovins abattus sans étourdissement, ces résultats semblent simplement montrer que le sang emprunte le(s) trajet(s) disponible(s) et que chez les bovins l'artère vertébrale peut avoir la même efficacité d'irrigation cérébrale que les carotides en cas d'occlusions carotidiennes.

Les phénomènes d'occlusions sont relativement fréquents. Une étude a relevé que les faux anévrysmes pouvaient concerner 17 à 18 % des bovins (abattages Halal et Shehita respectivement ; Gregory *et al.*, 2008), une seconde étude rapporte des gonflements de plus de 3 cm chez 16 % des bovins adultes et 25 % des veaux (Gregory *et al.*, 2006). Il est à noter que même si les occlusions sont plus fréquentes en début de saignée, elles peuvent aussi (ré)apparaître tardivement. De ce fait, la surveillance des occlusions et la reprise des vaisseaux doit avoir lieu tout au long de la saignée. De plus, l'opérateur doit s'assurer que la peau du cou au niveau de la plaie ne gêne pas l'évacuation du sang.

COMMENT AMELIORER LA QUALITÉ DE LA SAIGNÉE ?

○ POSITION DE L'ANIMAL

Lors de l'abattage sans étourdissement, les bovins sont généralement retournés à l'aide d'un piège rotatif. L'objectif est de pouvoir faciliter le geste de saignée effectué par le sacrificateur (voir § 3.1.3. sous-section *Qualité du geste d'égorgeage*) et limiter le risque d'occlusions afin de ne pas prolonger le délai de perte de conscience de l'animal.

En effet, comme indiqué dans le rapport Dialrel, l'égorgeage des bovins en position debout nécessite un sacrificateur particulièrement expérimenté pour limiter le nombre de passage du couteau en raison du geste plus difficile à réaliser (von Holleben *et al.*, 2010). Une étude rapporte 9 passages de couteau en moyenne lorsque les animaux sont égorgés debout, contre 3 à 5 selon qu'ils soient sur le côté ou sur le dos respectivement (Velarde *et al.*, 2014). Cependant, ces données ayant été récoltées dans différents abattoirs, d'autres facteurs pourraient aussi être impliqués.

La fréquence d'animaux présentant des occlusions et/ou une mauvaise section des vaisseaux sanguins semble aussi plus importante lorsqu'ils sont égorgés en position debout (Velarde *et al.*, 2014). En cohérence avec cette observation, les délais de perte de conscience sont plus rapides lorsque les animaux sont égorgés sur le dos, en comparaison aux animaux égorgés debout au sein d'un même abattoir (49 ± 25 s vs. 109 ± 32 s respectivement ; Verhoeven, 2016 ; voir § 2.3.1. La présence d'occlusions). Les auteurs en ont conclu à une meilleure qualité de l'égorgement lorsque les animaux sont sur le dos. Une autre étude n'a quant à elle pas relevé de lien entre la position de l'animal lors de l'égorgement la prévalence de faux anévrisme (Gregory *et al.*, 2008).

Le retournement de l'animal sur le dos est donc nécessaire pour permettre un geste de saignée de meilleure qualité. Ainsi dans la pratique, différentes positions sont utilisées :

- Position debout : l'animal n'est pas retourné.
- Position sur le côté : l'animal est généralement positionné sur le côté à 90° ou parfois à 45°.
- Position sur le dos : l'animal est complètement retourné à 180°. Parfois, le retournement est stoppé un peu avant, l'animal est alors à 120° ou à 150°. En France, des données datant de 2012 rapportent que 90 % des animaux abattus sans étourdissement sont retournés sur le dos avant égorgement (Mirabito *et al.*, 2015).

Le retournement de l'animal a cependant des conséquences notables en termes de bien-être animal. Premièrement, le retournement sur le dos nécessite un temps supplémentaire, comme indiqué par des travaux réalisés dans différents abattoirs européens et rapportant des durées de 3 à 13 secondes pour le retournement sur le côté, et de 6 à 29 secondes pour le retournement sur le dos (Mirabito *et al.*, 2015 ; von Holleben *et al.*, 2010). Ainsi, le retournement augmente nécessairement la durée de contention de l'animal alors que cette dernière génère du stress et doit être la plus courte possible (Règlement CE 1099/2009).

De plus, dans cette posture l'animal est dans une position non naturelle source de stress, d'inconfort et de douleur, comme montré par de nombreuses études. Lorsque l'animal est retourné, le rumen et les viscères abdominales appuient sur le diaphragme et compriment les poumons, provoquant ainsi des difficultés respiratoires (Tagawa *et al.*, 1994 ; Velarde et Dalmau, 2018 ; Wagner *et al.*, 1990) et une réduction de l'oxygénation du sang dans les poumons (Tagawa *et al.*, 1994). Ainsi, 61 % des animaux retournés sur le dos présentent des difficultés respiratoires contre 28 % lorsqu'ils sont contenus debout (Dunn, 1990). Une étude a montré que le rythme cardiaque est plus élevé après contention et retournement de l'animal, sans toutefois pouvoir distinguer les effets de ces deux procédures (Lambooj *et al.*, 2012 ; Tableau 13). D'autres comportements, comme des vocalisations ou des comportements de lutte (Grandin, 1998b), sont exprimés lors du retournement du piège et traduisent le stress de l'animal. Par exemple, une étude a montré que les animaux retournés à 180° vocalisaient davantage et se débattaient pendant plus longtemps que les animaux debout (Dunn, 1990). L'ensemble de ces résultats pourrait être expliqué, au moins en partie, par le fait que plus la rotation est longue et/ou le niveau de retournement de l'animal est important, plus l'inconfort est grand. Cette position est probablement d'autant plus inconfortable si la contention est insuffisante ; si au contraire elle est trop forte elle peut être douloureuse (Grandin, 1998b).

D'autres travaux rapportent que le taux de cortisol des bovins augmente également fortement suite au retournement de l'animal sur le dos (Dunn, 1990 ; Tagawa *et al.*, 1994). Toutefois, dans la

première de ces études, il est difficile de déterminer si l'augmentation du taux de cortisol correspond spécifiquement au retournement de l'animal. En effet, le taux de cortisol augmente progressivement sur une période de 10 à 20 min suite à l'exposition à un évènement stressant. Dans la seconde étude, la position sur le dos était maintenue pendant 30 min, ce qui ne reflète pas les pratiques réelles d'abattage.

De ce fait, le retournement des bovins sur le dos est interdit dans certains pays (Slovaquie, Danemark, Royaume-Uni, Pays-Bas). Afin d'écourter la durée passée dans la position retournée, l'égorgeage doit avoir lieu immédiatement et à titre indicatif dans un délai maximum de 5 s (Mirabito *et al.*, 2013). Le retournement sur le côté permettrait de limiter la pression du rumen sur le diaphragme, l'aorte et les veines principales (Petty *et al.*, 1994 ; von Holleben, *et al.* 2010) et serait moins néfaste que sur le dos (Cenci-Coga *et al.*, 2013). Cependant, Wagner (1990) a montré qu'une diminution de l'oxygénation du sang artériel s'observe que l'animal soit sur le côté ou qu'il soit sur le dos, indiquant une insuffisance respiratoire dans les deux positions.

Tableau 13 : Evolution du rythme cardiaque des veaux pendant l'hébergement, à l'entrée du restrainer et après retournement, en fonction du degré de rotation du piège (d'après Lambooi et al., 2012). Pour chaque degré de rotation, la fréquence cardiaque est plus élevée après retournement de l'animal. a, b, c : sur une même ligne, lettres différentes = différence significative, mêmes lettres = pas de différence significative.

Angle de rotation \ Rythme cardiaque (bpm)	Pendant l'hébergement	À l'entrée du restrainer	À la fin de la rotation
90°	92 ± 18 ^a	113 ± 18 ^b	126 ± 20 ^b
120°	84 ± 5 ^a	115 ± 17 ^b	150 ± 27 ^c
180°	85 ± 11 ^a	118 ± 23 ^b	138 ± 18 ^c

○ L'EMPLACEMENT DE LA COUPE

L'emplacement de la coupe réalisée est aussi un facteur important de la qualité de la saignée. **Plus la coupe est haute, c'est-à-dire proche de la tête de l'animal, plus la saignée est efficace.** Selon une étude, lorsque la coupe est réalisée au niveau de la troisième cervicale, 44 % des animaux présentent une occlusion dans les 45 secondes suivant la saignée. La fréquence d'occlusion passe à 12 % lorsque la coupe est faite au niveau de la première cervicale (Gregory *et al.*, 2012). Une autre étude a montré qu'une coupe basse (au niveau de la deuxième ou troisième cervicale) induit significativement plus d'occlusions qu'une coupe haute (au niveau de la première cervicale). Ces mêmes animaux se sont effondrés moins rapidement et leurs réflexes oculaires ont persisté plus longtemps, ce qui indique une perte de conscience plus tardive (Tableau 12 ; Gibson *et al.*, 2015b).

○ L'OPÉRATEUR

La qualité du geste de saignée varie selon le sacrificateur. Des observations en abattoir ont montré que le nombre de coups de couteau réalisé dépendait du sacrificateur. **Ainsi, certains sacrificateurs seraient plus hésitants et/ou n'utiliseraient pas un couteau approprié pour réaliser l'égorgeage, ce qui augmenterait le nombre de passages de couteau réalisés** (Pozzi *et al.*, 2017). Or, une étude a mis en avant un lien entre le nombre de coups de couteau et la fréquence d'occlusions : plus le nombre de coups de couteau réalisé est élevé, plus l'animal a de risque de

présenter une occlusion carotidienne (Pozzi *et al.*, 2017). L'expérience du sacrificateur explique très probablement, au moins en partie, ces différences (EFSA, 2004 ; Le Neindre *et al.*, 2009 ; Mirabito *et al.*, 2015 ; von Holleben *et al.*, 2010).

○ LE COUTEAU

Le couteau utilisé influence également la qualité du geste de saignée. Au-delà de son affûtage, qui bien entendu détermine la facilité de la coupe, une étude a montré qu'en moyenne 3,2 passages de couteau étaient réalisés en abattage Shehita contre 5,2 en abattage Halal (Gregory *et al.*, 2008). Lors de l'abattage Shehita, un couteau aux caractéristiques spécifiques est utilisé, le halef. Il s'agit d'un couteau de forme carré, dont la longueur doit être égale à au moins deux fois la largeur du cou des bovins (Elbaz, 2007). Le nombre moins élevé de passages de couteau indiqué par la précédente étude pourrait être expliqué par ces différences de forme et/ou longueur de couteau. D'après Grandin et Regenstein (1994), le couteau utilisé lors des abattages Halal est parfois trop court. Ils recommandent aux autorités religieuses d'exiger **un couteau bien aiguisé, avec une lame droite et avec les mêmes exigences de taille que le couteau utilisé lors de la Shehita**. Toutefois, les données issues du programme européen BoRest n'ont pas pu permettre de mettre en avant un lien entre la longueur du couteau et la qualité du geste de saignée (Mirabito *et al.*, 2015). Il est à noter que cette étude de terrain regroupe un nombre important de facteurs de variation qui pourraient masquer ce lien. Le sacrificateur doit disposer d'au moins un couteau de rechange à portée de main et prêt à l'emploi.

Les bovins disposent d'une **artère vertébrale** non sectionnée lors de l'égorgeage et particulièrement efficace qui maintient partiellement l'irrigation cérébrale. Ainsi, une bonne qualité de saignée est indispensable pour ne pas prolonger davantage le délai de perte de conscience.

De nombreux facteurs sont impliqués dans la qualité de la saignée. Premièrement, l'ensemble des vaisseaux sanguins du cou doivent être correctement sectionnés, en limitant le nombre de passages de lame (idéalement un seul passage) afin de ne pas multiplier les contacts avec la plaie. En cas d'occlusion des vaisseaux, ceux-ci doivent être immédiatement recoupés.

Lorsque l'animal est debout au moment de l'égorgeage, le geste est plus difficile à réaliser et la prévalence d'occlusions plus élevée. Toutefois, le retournement des bovins sur le dos est une source de stress et de douleur importante. Le positionnement de l'animal sur le côté est à privilégier.

La coupe doit être réalisée le plus haut possible pour diminuer les risques d'occlusion.

Enfin, l'expérience de l'opérateur et les caractéristiques du couteau utilisé (bien tranchant et suffisamment long) jouent également un rôle important.

3.1.4. LA PRESENCE DE SANG DANS LES VOIES RESPIRATOIRES

Après la saignée, du sang peut s'infiltrer dans les voies respiratoires via la trachée (EFSA, 2004). Dans le cadre de l'abattage sans étourdissement, plusieurs études et rapports mentionnent ce phénomène (Agbeniga et Webb, 2012 ; Gregory *et al.*, 2009 ; Mirabito *et al.*, 2015 ; Pozzi *et al.*, 2017 ; von Holleben *et al.*, 2010). Suite à l'égorgeage, les animaux sont dans l'incapacité de tousser pour expulser ce liquide puisque leur nerf vague est sectionné. Toutefois, la section de ce nerf

n'empêche pas la transmission de messages nociceptifs via les voies spinales et crâniennes (Gregory *et al.*, 2009). **Les voies respiratoires étant pourvues de récepteurs sensoriels, l'aspiration de sang dans les voies respiratoires est probablement une source supplémentaire de douleur** (von Wenzlawowicz et von Holleben, 2007 cités dans Gregory *et al.*, 2009)

3.2. LA QUESTION DE LA DOULEUR LORS DE L'ÉGORGEMENT SANS ÉTOURDISSEMENT PRÉALABLE

3.2.1. GENERALITES SUR LA DOULEUR ET SES MECANISMES

De manière générale, une douleur peut être causée par des lésions ou des stimulations chimiques (ex : injections de produits), mécaniques (ex : incisions, coups) ou thermiques (ex : écornage ; Gibson *et al.*, 2007). Ces stimulations sont appelées stimulations nocives car elles peuvent blesser ou menacer l'intégrité de l'organisme. Ces stimulations activent des récepteurs sensoriels spécialisés, appelés nocicepteurs. Les nocicepteurs génèrent des messages nerveux nociceptifs et les transmettent au cerveau par l'intermédiaire de la moelle épinière. Le cerveau traite et intègre le signal. On parle de douleur lorsque la nociception (processus sensoriel à l'origine du message nerveux qui provoque la douleur) est associée à une émotion négative ressentie par l'individu (*cf.* encadré 2 ; Le Neindre *et al.*, 2009 ; Terlouw, 2018).

La douleur a un fort potentiel à influencer le comportement en cours, ce qui illustre son importance en matière de survie (Terlouw, 2018). Malgré cela, la façon dont une stimulation nocive est perçue en termes de douleur varie selon le contexte (*cf.* encadré 5). Certains mécanismes permettent de réduire ou au contraire d'augmenter la douleur ressentie (McMahon, 2013). Par exemple, il est connu depuis longtemps chez l'humain notamment, que dans certains cas, des personnes n'ont pas ressenti de douleur au moment où elles se sont blessées. Dans une étude menée sur des patients aux urgences hospitalières suite à une blessure, 53 % des personnes interrogées ont déclaré ne pas avoir ressenti immédiatement de douleur lorsque la blessure se limitait à une lésion cutanée. Lorsque la blessure avait atteint d'autres tissus (lésions profondes, fractures, amputation), cette proportion passait à 28 % (Melzack *et al.*, 1982). Ces travaux permettent de tirer deux conclusions : 1/ certains mécanismes peuvent effectivement moduler la sensation de douleur, et 2/ de manière plus ou moins fréquente selon le type de lésion et/ou le tissu concerné. Ces mécanismes de modulation de la douleur perçue agissent à différents niveaux (*cf.* encadré 5).

Encadré 5 **La modulation de la douleur**

Plusieurs mécanismes modulant la douleur fonctionnent en parallèle (Tableau 14 ; McMahon, 2013 ; Terlouw, 2018).

Au niveau de la lésion :

Le message nociceptif est généré grâce à la présence de diverses substances présentes dans la plaie. Elles sont issues des cellules lésées, du sang libéré à cause des vaisseaux coupés et des cellules immunitaires impliquées dans les réactions réparatrices et inflammatoires. Certaines molécules, libérées par les terminaisons nerveuses libres des nocicepteurs activés eux-mêmes, peuvent faciliter la formation du message nociceptif.

D'autres mécanismes permettent la limitation de la sensation de la douleur. Les opioïdes peuvent inhiber la transmission du message nociceptif au niveau de la lésion. Ils sont produits par des cellules immunitaires présentes sur le site de la lésion. Des récepteurs opioïdes, intermédiaires indispensables aux effets des opioïdes, sont produits par les nocicepteurs et transportés vers les terminaisons libres pour limiter leur activation, malgré la stimulation nocive.

Au niveau de la moelle épinière :

Une partie des récepteurs opioïdes produits par les nocicepteurs est transportée vers la synapse au niveau de la corne dorsale de la moelle épinière, où ils inhibent la transmission du signal au neurone secondaire. D'autres substances peuvent également limiter la transmission des messages nociceptifs au niveau de la corne dorsale. Ces substances sont issues des voies de la modulation descendante (voir dessous) et des interneurons présents dans la corne dorsale (Millan, 2002).

Au niveau du cerveau :

Le cerveau exerce son contrôle en partie via la modulation descendante car la transmission du message dans la corne dorsale est sous l'influence des voies descendantes, qui trouvent leur origine dans le tronc cérébral. Elles reçoivent des connections importantes des cortex cingulaire et insulaire, entre autres. Le stress peut diminuer ou augmenter la douleur perçue, en partie via les voies modulatrices descendantes. Les systèmes opioïdergique et Gabaergique sont impliqués dans la modulation descendante. Le système opioïdergique est impliqué dans les effets de stress modéré sur la perception de la douleur. D'autres systèmes sont probablement impliqués dans les effets de stress sévère (Parikh *et al.*, 2011). Le système dopaminergique est impliqué dans le comportement nocifensif chez les animaux, entre autres (Bannister, 2019).

Tableau 14 : Substances impliquées dans la perception et la modulation de la douleur à différents niveaux (liste non exhaustive). Les délais ont été estimés.

NIVEAU	SUBSTANCES IMPLIQUEES DANS LA PERCEPTION DE LA DOULEUR	PROVENANCE	EFFET SUR LA PERCEPTION DE LA DOULEUR	LIEU D'ACTION	DELAIS	REFERENCE(S)
LESION	Protons, ATP, adénosine	Cellules lésées	Stimulation des nocicepteurs	Terminaisons nerveuses du nocicepteur primaire	Immédiat	Basbaum <i>et al.</i> , 2009 Besson, 1999 Ringkamp, 2013
	Somatostatine	Nocicepteur primaire, cellules du système immunitaire	Atténuation du message nociceptif		Immédiat	Ringkamp, 2013
	Acétylcholine muscarinique	Cellules de la peau et du système immunitaire	Atténuation du message nociceptif		Immédiat	Basbaum <i>et al.</i> , 2009 Ringkamp, 2013
	Bradykinine, ATP	Plasma	Stimulation des nocicepteurs		Immédiat	Ringkamp, 2013
	Sérotonine	Plasma (plaquettes)	Stimulation des nocicepteurs		Immédiat	
	Prostaglandines, histamine, bradykinine, sérotonine, interleukine, interféron, facteur de nécrose tumorale	Cellules du système immunitaire	Stimulation des nocicepteurs		Rapide	Basbaum <i>et al.</i> , 2009 Ringkamp, 2013
	Endorphines, enképhaline, dynorphine	Cellules du système immunitaire	Atténuation du message nociceptif		Réponse à l'inflammation	Stein, 2013
	Acétylcholine muscarinique, somatostatine	Cellules de la peau et du système immunitaire	Atténuation du message nociceptif		Immédiat	Ringkamp, 2013
	Substance P, peptide relié au gène calcitonine	Nocicepteur primaire	Réponse inflammatoire		Vaisseaux sanguins, cellules immunitaires	Rapide
MOELLE EPINIERE	Substance P, peptide relié au gène calcitonine, glutamate	Nocicepteur primaire	Augmentation du message nociceptif	Nocicepteur secondaire	Réponse secondaire à la douleur ou à la nociception	Ringkamp, 2013
	Opioides	SNC (voies descendantes)	Atténuation du message nociceptif	Nocicepteurs primaire et secondaire		Millan, 2002
	Adrénaline	Plasma	Atténuation du message nociceptif		Réponse au danger ou au stress	McMahon, 2013
	GABA, Glycine	Neurones inhibiteurs	Faibles quantités: atténuation du message nociceptif Fortes quantités: stimulation des nocicepteurs	Nocicepteur secondaire	Réponse anticipatoire ou secondaire à la douleur	Todd, 2010 Zeilhofer, 2013

NIVEAU	SUBSTANCES IMPLIQUEES DANS LA PERCEPTION DE LA DOULEUR	PROVENANCE	EFFET SUR LA PERCEPTION DE LA DOULEUR	LIEU D'ACTION	DELAIS	REFERENCES
STRUCTURES SOUS-CORTICALES	Endorphines, enképhaline, vasopressine, ocytocine	Hypothalamus	Atténuation du message nociceptif	Nocicepteur secondaire au niveau de la moelle épinière	Réponse au danger ou au stress Réponse anticipatoire ou secondaire à la douleur	Millan, 2002
	Histamine	Hypothalamus	Augmentation du message nociceptif			
	Dopamine	Hypothalamus	Atténuation ou augmentation du message nociceptif			
	Opioides	Tronc cérébral	Atténuation du message nociceptif			
	Sérotonine, adrénaline	Tronc cérébral	Atténuation ou augmentation du message nociceptif			
	Cholécystokinine, substance P	Tronc cérébral	Augmentation du message nociceptif			
	Opioides	SNC	Atténuation de la composante affective			
Opioides	SNC	Atténuation de la composante affective	Cortex insulaire	Potentiellement rapide	Lee, 2014	
CORTEX	Pour le reste, largement inconnu	SNC	Processus d'attention et de traitement d'information, conscience	Augmentation, atténuation	Rapide	Millan, 2002

3.2.2. L'EGORGEMENT PROVOQUE-T-IL DE LA DOULEUR ?

La question de la douleur ressentie par l'animal provoquée par l'égorgement spécifiquement est une question centrale et fréquemment abordée. D'un point de vue réglementaire, l'égorgement doit être réalisé de manière à limiter autant que possible les souffrances de l'animal. Toute douleur, détresse ou souffrance évitable doit leur être épargnée (règlement CE n°1099/2009). La douleur, et notamment l'émotion négative qui y est associée, est difficile à caractériser chez les animaux (Le Neindre *et al.*, 2009). Cependant, la poursuite des travaux de recherche à ce sujet permet progressivement une meilleure compréhension des douleurs animales (Le Neindre *et al.*, 2016).

ETUDES SPECIFIQUES A LA QUESTION DE LA DOULEUR DANS LE CONTEXTE DE L'ABATTAGE

Des études se sont intéressées spécifiquement à la question de la capacité du cerveau à traiter le signal nociceptif suite à la saignée des bovins sans étourdissement (Gibson *et al.*, 2009a, b, c). Dans ces travaux, des analyses de l'activité cérébrale (EEG) lors de différents types d'incisions ont été réalisées. L'analyse de l'activité cérébrale était basée sur la variation de la puissance de l'EEG enregistrée durant l'intervention. Trois indicateurs ont été utilisés :

- La puissance totale de l'EEG,
- La F50 : fréquence au-dessous de laquelle se situe 50 % de la puissance totale de l'EEG,
- La F95 : fréquence au-dessous de laquelle se situe 95 % de la puissance totale de l'EEG.

Il s'agit d'indicateurs classiquement utilisés pour caractériser la nociception chez l'Homme (Chen *et al.*, 1989) et les animaux de rente (Gibson *et al.*, 2007 ; Johnson *et al.*, 2005 ; Murrell *et al.*, 2003).

Lors d'une première étude, 24 animaux ont été répartis en deux lots différents : le premier lot était saigné via une coupe thoracique comme pratiquée classiquement dans le contexte de l'abattage, le second était saigné via une coupe thoracique restreinte, autant que possible, à la section des vaisseaux sanguins. Au total, 18 animaux présentaient des données exploitables. Les résultats ont montré qu'un message nociceptif est bien perceptible sur l'EEG des animaux après la coupe, mais ce uniquement pour le lot soumis à une coupe thoracique classique (augmentation de la F50 et de la F95 et diminution de la puissance totale ; Gibson *et al.*, 2009a).

Une seconde étude complémentaire a été réalisée afin de pouvoir identifier plus précisément la source de ces messages nociceptifs, étant donné les résultats différents obtenus selon que la coupe ait été plus ou moins limitée à la section des vaisseaux sanguins. Pour cela, 17 veaux ont subi une opération chirurgicale visant à réaliser une externalisation des carotides et des jugulaires. À la suite de cela, dans un premier lot d'animaux, seuls les vaisseaux sanguins externalisés étaient sectionnés. Dans le second lot, seuls les tissus du cou étaient sectionnés, sans léser les vaisseaux sanguins externalisés. Le profil d'EEG caractéristique de la présence de messages nociceptifs n'est observé que lorsque l'on sectionne les tissus du cou, et non quand seuls les vaisseaux sanguins sont sectionnés. Ainsi, cette étude montre que les messages nociceptifs identifiés lors de la saignée sont liés à la section des tissus du cou plutôt qu'à la section des vaisseaux sanguins ou à la réduction de la circulation sanguine cérébrale qui y est associée, ce qui confirme que la stimulation nociceptive est à l'origine du profil de l'EEG (Gibson *et al.*, 2009b).

L'ensemble de ces travaux montre que la coupe des tissus du cou de l'animal lors de l'abattage génère bien un message nociceptif transmis jusqu'au cerveau (cortex somesthésique). Une autre

étude a abordé ces questions en se basant sur des mesures de l'EEG avant et pendant la saignée, ainsi que sur les taux d'hormones sanguines connues pour être secrétées en cas de stress et de douleur. Ces travaux confirment les précédents et indiquent également que la stimulation nocive est bien traitée par le cerveau (Zulkifli *et al.*, 2014).

Aucune autre étude scientifique réalisée à ce jour ne permet de prouver que l'animal ne ressentirait pas de douleur dans le cadre de l'égorgeage sans étourdissement préalable.

En conclusion, étant donné que la zone où est réalisée l'incision est **innervée et dotée de récepteurs à la douleur**, que les travaux montrent que **le message nociceptif lié à l'égorgeage arrive au cerveau et modifie son activité**, et qu'au moment de l'incision **l'animal est pleinement conscient**, les auteurs en concluent que **l'égorgeage sans étourdissement préalable provoque de la douleur** (Gibson *et al.*, 2009c ; Lambooj *et Kijlstra*, 2008 ; von Holleben *et al.*, 2010 ; Zulkifli *et al.*, 2014).

HYPOTHÈSES EN FAVEUR/DÉFAVEUR DE LA PRÉSENCE DE DOULEUR CHEZ L'ANIMAL LORS DE L'ÉGORGEMENT

Comme indiqué précédemment, toutes les études spécifiques à la question de la douleur dans le cadre de l'abattage sans étourdissement préalable indiquent que cette stimulation nocive est bien traitée par le cerveau et la majorité des scientifiques s'accordent à dire qu'il n'y a aucune raison de penser que l'animal ne ressent pas la douleur qui y est associée dans ce contexte. Quelques auteurs ont cependant avancé des hypothèses non étayées par des études selon lesquelles certains mécanismes permettraient de réduire, voire d'abolir cette sensation de douleur. L'objet de la présente section est de lister ces hypothèses et de les discuter au vu des connaissances scientifiques actuelles (Tableau 15).

○ LES RÉACTIONS DE L'ANIMAL LORS DE L'ÉGORGEMENT

Certains auteurs ont fait référence à la faible présence et parfois même l'absence de réaction de l'animal lors de l'égorgeage (Grandin *et Regenstein*, 1994 ; Levinger, 1995 ; Rosen, 2004). Dans la première étude, les auteurs ont cependant conclu qu'il ne fallait pas exclure que l'animal ressent de la douleur lors de l'égorgeage (Grandin *et Regenstein*, 1994). Par exemple, l'absence de réaction visible chez l'animal peut également traduire son incapacité à réagir, en raison notamment de sa contention (von Holleben *et al.*, 2010) ou de la section de sa trachée qui rend les vocalisations plus difficiles à exprimer (EFSA, 2004). **Il n'est donc pas possible de remettre en doute la question de la douleur ressentie par l'animal lors de l'égorgeage sans étourdissement préalable sur la base de ces réactions comportementales.**

○ LE DÉLAI DE PERTE DE CONSCIENCE ET LE DÉLAI DE TRAITEMENT DU MESSAGE NOCICEPTIF

Un autre argument est que le message nerveux se transmettant par chimiorécepteurs, l'animal serait inconscient avant que ce message n'atteigne le cerveau en raison de la vitesse de transmission de ce type de message (Levinger, 1995). Or, comme indiqué précédemment sur la base de calculs théoriques, le message nociceptif associé à l'égorgeage pourrait atteindre le cerveau en environ

100 ms, auxquelles s'ajoutent 271 ms de traitement du message. La perception douloureuse aurait ainsi lieu au bout de 371 ms (voir § 2.2.1. sous-section *Le tir provoque-t-il de la douleur ?*). **L'hypothèse selon laquelle l'animal perdrait conscience avant de pouvoir percevoir la douleur impliquerait que la perte de conscience ait lieu en un temps extrêmement court (< 1 s), ce qui ne correspond pas aux délais rapportés précédemment (voir § 3.1.2. *Délai de perte de conscience*) et exclut cette hypothèse.**

○ **LA DIMINUTION DE LA PRESSION SANGUINE**

Un auteur stipule que dans le cadre de l'abattage sans étourdissement, la diminution importante de la pression sanguine provoquerait une perte de conscience dans les quelques secondes qui suivent l'égorgeage (Rosen, 2004).

Certaines études ont abordé les liens entre la pression sanguine et le niveau de conscience. Des observations chez l'homme indiquent qu'en cas d'hémorragie, lorsqu'un individu a perdu plus de 30 % de son volume total sanguin, la pression sanguine ne peut être maintenue malgré de nombreux ajustements physiologiques et l'état mental est alors qualifié de confus ou léthargique (Gutierrez *et al.*, 2004). Chez les bovins, des travaux ont rapporté des délais de 68 s (Anil *et al.*, 2006) à plus de deux minutes (Sahlstedt, 1929, cité dans Levinger, 1995) avant que l'animal n'ait perdu 30 % de son volume sanguin, en fonction de la qualité de l'exsanguination. **Les données relatives au délai de perte de conscience sont cohérentes avec ces délais et réfutent l'hypothèse selon laquelle la chute de la pression sanguine provoquerait une perte de conscience et donc une insensibilité à la douleur en quelques secondes.** De plus, ce phénomène ne serait, dans tous les cas, pas instantané et laisserait un temps suffisant au message nociceptif d'être traité par le cerveau (voir § 3.2.2. sous-section *Le délai de perte de conscience et le délai de traitement du message nociceptif*).

○ **L'UTILISATION D'UN COUTEAU TRÈS AFFÛTÉ ET AFFILÉ**

Une autre suggestion est que la coupe avec un couteau extrêmement bien affûté ne provoque pas de douleur (Rosen, 2004). Cependant, les dommages tissulaires provoquent la lésion des cellules et la rupture des vaisseaux sanguins, libérant ainsi les substances qui sont à l'origine même de la stimulation des nocicepteurs, et donc de la naissance du message nociceptif (Woolf, 2004). Des substances libérées par le système immunitaire stimulent également les nocicepteurs, contribuant ainsi à la douleur (*cf.* encadré 5). Le rapport Dialrel stipule qu'un bon geste de saignée limitant autant que possible le nombre de passages de couteau limiterait la présence de ces substances, mais sans pouvoir les éliminer (von Holleben *et al.*, 2010). **Ainsi, bien qu'une lame de couteau mal aiguisée augmente la durée de perte de conscience et la douleur perçue, il est impossible d'affirmer qu'un geste de saignée efficace avec un couteau bien affûté pourrait éliminer la perception de douleur.**

○ **LA LIBÉRATION DE B-ENDORPHINES**

La sécrétion d'endorphines peut moduler la douleur ressentie, que ce soit chez l'homme ou chez l'animal (*cf.* encadré 6) et certains rapports mentionnent la possibilité de mise en œuvre de ces mécanismes dans le cadre de l'égorgeage sans étourdissement préalable (EFSA, 2004).

Une étude chez des ovins a montré une augmentation du taux de β -endorphines dans le sang suite à une hémorragie, provoquée artificiellement par prélèvement sanguin, par rapport à un lot témoin (Smith *et al.*, 1986). Cependant, cet effet était progressif jusqu'à atteindre une valeur

maximale au bout de 45 min seulement. A l'heure actuelle, il n'existe donc pas de données montrant que dans le contexte de l'égorgeage sans étourdissement, les taux de β -endorphines augmentent suffisamment rapidement pour avoir un effet analgésique immédiat. Plus précisément, une autre étude rapporte qu'après une saignée sans étourdissement, les niveaux d'endorphines sanguines n'augmentent pas (Zulkifli *et al.*, 2014).

La sécrétion d'endorphines dans certaines structures cérébrales liées au traitement de la douleur est probablement plus rapide. En effet, des travaux chez l'humain indiquent que la concentration en β -endorphines dans le cerveau augmente dès 5 min après la stimulation nocive, et peut-être même avant (Young *et al.*, 1993). Cependant, dans le cas d'hémorragies provoquées chez les ovins, la concentration en β -endorphines dans le cerveau n'était pas significativement différente de celle des ovins non soumis à une hémorragie (Smith *et al.*, 1986). Les données de cette étude ne permettent donc pas de conclure que suite à une hémorragie, des sécrétions suffisamment importantes et/ou rapides d'endorphines permettraient de moduler la douleur immédiate chez les ovins.

À ce jour, on ne dispose donc pas d'étude indiquant un effet analgésique des endorphines lors de l'égorgeage dans le contexte de l'abattage sans étourdissement. Les travaux disponibles ne montrent pas d'augmentation rapide d'endorphines sanguines et la possibilité d'une augmentation dans le cerveau ou l'augmentation d'autres molécules de cette famille, comme l'enképhaline ou la dynorphine, n'ont à ce jour pas encore été étudiées.

Encadré 6 Le rôle des endorphines

Chez l'homme et l'animal, il est connu que la sécrétion d'endorphines, des peptides opioïdes endogènes, peut permettre de réduire la douleur ressentie. Les endorphines agissent sur les récepteurs opiacés et ont une action analgésique à tous les niveaux du système douleur : au niveau de la plaie, de la moelle épinière et du cerveau (Luan *et al.*, 2017). Chez des rats, par exemple, l'administration de peptides opioïdes endogènes dans le sang, au niveau de sites spinaux ou dans différentes régions du cerveau, diminue les réactions de douleur (Froehlich, 1997). Les endorphines sont issues du système immunitaire et du système nerveux. On sait, par exemple, qu'elles sont sécrétées par l'hypophyse, qui se trouve à la base du cerveau, dans la circulation sanguine, en cas de stress ou de douleur. Chez les animaux de rente, on sait également que des stimulations nocives provoquent des sécrétions de β -endorphines sanguines, comme par exemple chez les ovins soumis à une procédure de castration (Jephcott *et al.*, 1987).

Les endorphines sécrétées par les cellules du système immunitaire sont produites localement au niveau de la plaie et agissent sur les nocicepteurs primaires (Stein, 2013). Par contre, alors qu'il a été amplement démontré que les endorphines sanguines ont un effet antalgique, leur niveau d'action n'a toujours pas été clairement établi (Basbaum et Fields, 1984 ; Bruehl *et al.*, 2011 ; Millan, 2002). Il est également à noter qu'à de faibles doses, les opioïdes peuvent aussi avoir un effet inverse à savoir un effet facilitateur de la douleur (Ghelardini *et al.*, 2015).

○ **L'ÉTAT ÉMOTIONNEL ET COGNITIF DE L'ANIMAL AU MOMENT DE LA STIMULATION NOCIVE**

De nombreux facteurs cognitifs influencent la perception du stress et de la douleur. Le rôle potentiel de ces facteurs au regard de la douleur perçue dans le cadre de l'abattage sans étourdissement n'est cependant pas abordé dans la littérature scientifique.

Par exemple, chez l'homme, un état émotionnel négatif au moment de l'événement douloureux augmente la sensation de douleur (Loggia *et al.*, 2008 ; Villemure *et al.*, 2003). La période d'abattage étant associée à une multitude de sources de stress d'origine physique et psychologique (Bourguet *et al.*, 2010 ; Terlouw *et al.*, 2008), son état émotionnel au moment de l'égorgeage pourrait amplifier la douleur ressentie. Chez les animaux d'élevage, plusieurs études montrent l'interconnectivité entre l'état émotionnel et les capacités cognitives. Chez les ovins par exemple, un état émotionnel négatif, provoqué par un état de stress chronique, accentue la perception négative de certaines situations (Destrez *et al.*, 2013). Chez les bovins, d'autres travaux ont mis en évidence qu'un état émotionnel négatif, provoqué par une privation alimentaire pendant 30 h, augmente la réactivité des animaux à certains facteurs de stress (Bourguet *et al.*, 2011b). **Il est possible que chez les animaux, l'état émotionnel n'influence pas uniquement les capacités cognitives ou la réactivité au stress mais également la réactivité à la douleur comme chez l'humain (cf. encadré 2 ; Le Neindre *et al.*, 2009).**

D'autres facteurs liés aux caractéristiques de la situation rencontrée pourraient également intervenir. Chez l'Homme par exemple, **le niveau de prévisibilité de la survenue d'un événement douloureux module également la sensation de douleur.** Des travaux ont comparé le niveau de douleur ressenti par des humains suite à des stimulations nocives, selon que ces derniers s'attendaient ou non à la survenue d'un événement douloureux. Les résultats indiquent que le fait de s'attendre à la survenue d'un événement douloureux amplifie l'intensité de la douleur ressentie (Villemure *et al.*, 2003). **De même, l'importance de la contrôlabilité de la situation dans ce contexte n'a pas encore été étudiée, mais on peut penser que cette caractéristique est importante dans la perception de la douleur.** Par exemple, la contrôlabilité d'une situation de stress influence les réactions des animaux. Chez les ovins, la fréquence cardiaque et certaines réponses comportementales de stress suite à un événement aversif étaient plus élevées chez des animaux qui n'avaient pas la possibilité d'arrêter l'événement aversif, comparé à ceux qui en avaient le contrôle (Greiveldinger *et al.*, 2009).

Enfin, lors de situations d'extrême urgence, le cerveau peut dans certains cas prioriser momentanément des informations provenant du corps et de l'environnement, et en ignorer d'autres, comme la douleur, pour permettre la fuite. L'effet peut être anticipatoire et est considéré comme adaptatif. Ainsi, lorsqu'un animal est menacé, malgré des lésions ou des blessures, il pourrait dans certains cas être capable de se défendre ou de s'enfuir (Millan, 2002). **À l'heure actuelle, nous ne savons pas si de tels phénomènes pourraient concerner le contexte de l'abattage. Le cas échéant, cela ne représenterait probablement qu'un certain pourcentage d'individus et non la totalité.** Enfin, un tel mécanisme suppose un état de stress extrême de l'animal, ce qui n'est pas acceptable en termes de protection animale.

Les processus liés à l'attention et à la conscience en lien avec la perception de la douleur chez l'animal sont peu connus (Terlouw, 2018). On peut suggérer leur implication, mais **il est impossible de dire à l'heure actuelle dans quelle mesure ils pourraient augmenter ou atténuer la sensation de douleur dans le contexte de l'abattage sans étourdissement**. Et dans le cas d'une atténuation de la douleur, le mécanisme envisagé sous-entend que l'animal est dans un état de stress extrême, ce qui n'est pas acceptable d'un point de vue éthique.

Tableau 15 : Hypothèses et contre-arguments concernant la perception de la douleur liée à l'égorgeage dans le cadre de l'abattage sans étourdissement.

HYPOTHESE	REFERENCE(S)	CONTRE-ARGUMENT	REFERENCE(S)	INCERTITUDE
La faible présence voire l'absence de réaction visible de l'animal lors de l'égorgeage sous-entend l'absence de douleur liée à l'égorgeage.	Grandin et Regenstein, 1994 Levinger, 1995 Rosen, 2004	L'absence de réactions visibles chez l'animal peut aussi traduire son incapacité à réagir (contention, section de la trachée, ...).	EFSA, 2004 Grandin et Regenstein, 1994 von Holleben <i>et al.</i> , 2010	
L'animal perd conscience avant de pouvoir ressentir la douleur.	Levinger, 1995	Le signal arrive au cerveau avant que l'animal perde conscience. L'activité électrique du cerveau change suite à l'incision, suggérant l'arrivée du message nociceptif.	Purves <i>et al.</i> , 2008 Ploner <i>et al.</i> , 2006 Terlouw <i>et al.</i> , en prép. Gibson <i>et al.</i> , 2009abc Zulkifli <i>et al.</i> , 2014	Pas d'information concernant le <u>traitement du message par le cortex limbique</u> en termes d'affect de la <u>douleur</u> .
La diminution importante de la pression sanguine provoquerait une perte de conscience dans les quelques secondes qui suivent l'égorgeage.	Rosen, 2004	Un grand nombre d'étude montre que les délais de perte de conscience sont en général bien au-delà de 10 s, voire plusieurs minutes chez les bovins.	Nangeroni et Kenneth, 1963 Newhook et Blackmore, 1982 Blackmore <i>et al.</i> , 1983 Devine <i>et al.</i> , 1986 Gibson <i>et al.</i> , 2009a Lamboojij <i>et al.</i> , 2012 Verhoeven <i>et al.</i> , 2016	Pas d'information sur l'effet d'une diminution de la pression artérielle et donc du débit de la circulation sanguine cérébrale sur <u>les capacités de traitement du signal nociceptif par les cortex</u> .
L'utilisation d'un couteau bien affûté, couplé à un bon geste de saignée, ne provoquerait pas de douleur.	Rosen, 2004	L'incision provoque la libération de substances contenues dans les cellules et les vaisseaux. Ces substances stimulent les nocicepteurs. L'incision des tissus engendre une inflammation, qui accroît la sensation douloureuse.	Basbaum, 2009 Woolf, 2004	L'inflammation est un processus lent.

HYPOTHESE	REFERENCE(S)	CONTRE-ARGUMENT	REFERENCE(S)	INCERTITUDE
La libération de β -endorphine inhiberait la perception de la douleur.	Froehlich, 1997	<p>Dans le sang, la β-endorphine sanguine n'augmente pas suite à la coupe. Elle est essentiellement impliquée dans la modulation périphérique de la douleur liée à l'inflammation (Stein, 1995), mais des travaux indiquent que de nombreuses stimulations nocives sont nécessaires avant d'obtenir une analgésie impliquant le système opioïdérique (Hyson et al., 1982).</p> <p>Au niveau de la plaie, les kératocytes peuvent libérer des endorphines sans présence d'inflammation. L'effet peut avoir lieu au niveau de la plaie à partir du moment où il y a des récepteurs sur les terminaisons nerveuses des nocicepteurs primaires, mais ce processus n'est pas immédiat (Stein, 2013 ; Stein 1995). Les lymphocytes produisent également des endorphines mais celles-ci concernent la gestion de la douleur dans le cadre de l'inflammation (Kdororova et al., 2003).</p>	<p>Hyson et al., 1982 Kdororova et al., 2003 Stein, 1995 Stein, 2013 Zulkifli et al., 2014 (cf. encadré 3)</p>	
L'état de stress extrême pourrait momentanément inhiber la perception de la douleur.	Dennis et Melzack, 1977	La présupposition est que l'animal est alors dans un état de stress extrême, ce qui est inacceptable d'un point de vue de la protection animale.		<p>On ne connaît ni le degré, ni la durée de cette diminution de la perception de la douleur, ni l'influence du contexte.</p> <p>Il est fort probable le cas échéant que de tels phénomènes ne concernent qu'un certain pourcentage d'animaux et non la totalité des individus.</p> <p>On connaît insuffisamment les <u>processus liés à l'attention et à la conscience</u> en lien avec la <u>perception de la douleur</u> (Terlouw, 2018).</p>

- CONCLUSIONS – ABATTAGE SANS ETOURDISSEMENT

L'abattage sans étourdissement consiste en l'égorgeage d'un animal pleinement conscient. Bien que la contention en tant que telle soit source de stress, celle-ci est alors indispensable pour pouvoir pratiquer un geste de saignée efficace. Elle doit cependant être ni excessive, ni insuffisante.

La perte de conscience, qui est dans ce cas provoquée par le manque d'irrigation du cerveau, n'est pas immédiate, présente une variabilité interindividuelle notable et peut prendre jusqu'à plusieurs minutes. L'ensemble des indicateurs de conscience et de risque de conscience doit être absent avant de relâcher la contention de l'animal. S'ils persistent au-delà de 90 s après l'égorgeage, il est recommandé d'étourdir l'animal. Les indicateurs d'inconscience doivent quant à eux être présents si possible avant de relâcher la contention et *a minima* avant de hisser l'animal.

Les bovins disposant d'artères vertébrales particulièrement efficaces, l'irrigation du cerveau est partiellement maintenue après l'égorgeage. Ainsi, moins la qualité de la saignée est bonne, plus la perte de conscience est tardive. De nombreux facteurs influencent la qualité de la saignée, à commencer par la qualité du geste d'égorgeage. L'ensemble des vaisseaux sanguins du cou doivent être sectionnés en un seul passage de lame afin de ne pas multiplier les contacts avec la plaie. La formation d'occlusions impacte également notablement la qualité de la saignée, le flux maintenu par les artères vertébrales étant d'autant plus conséquent.

Pour améliorer la qualité de la saignée, les bovins doivent être retournés sur le dos avant l'égorgeage. Le geste est alors facilité et les occlusions sont moins fréquentes (bien qu'elles demeurent présentes chez un certain pourcentage d'animaux). Cependant, cette pratique provoque un stress notable à l'animal, de la douleur supplémentaire et prolonge la durée de sa contention. L'emplacement de la coupe est également important : plus la coupe est proche de la tête de l'animal (coupe haute), meilleure est la qualité de la saignée. Enfin, l'expérience du sacrificateur et la qualité du couteau utilisé (lame longue et très tranchante) jouent aussi un rôle.

Après l'égorgeage, du sang peut s'infiltrer dans les voies respiratoires, ce qui est également une source de douleur supplémentaire.

Les études spécifiques à la question de la douleur liée à l'égorgeage sans étourdissement indiquent que cette stimulation nocive est bien traitée par le cerveau de l'animal et la majorité des scientifiques s'accordent à dire qu'il n'y a aucune raison de penser que l'animal ne ressente pas la douleur qui y est associée dans ce contexte. Les hypothèses qui remettent en cause la douleur ressentie par l'animal dans ce contexte disposent toutes de contre-arguments scientifiques qui ne permettent pas de les valider. Les mécanismes de transmission et de traitement des messages nociceptifs, ainsi que les mécanismes de modulation de la douleur sont des systèmes très complexes et à l'heure actuelle, il n'existe pas de connaissances suffisantes permettant de dire si certains mécanismes pourraient effectivement atténuer ou au contraire augmenter la sensation de douleur associée à l'égorgeage sans étourdissement. Dans le cas de mécanismes permettant d'atténuer la douleur, la seule hypothèse valable mais qui reste à confirmer est basée sur le fait que l'animal serait dans un état de stress extrême, ce qui est tout autant inacceptable d'un point de vue éthique.

4. PARTIE 4 : L'ÉTOURDISSEMENT POST-ÉGORGEMENT DANS LE CADRE DE L'ABATTAGE RITUEL

4.1. ÉTOURDISSEMENT ET CERTIFICATION DES VIANDES RELIGIEUSES

L'abattage rituel impose différentes normes qui conditionnent la certification des viandes par les autorités religieuses. L'absence d'étourdissement des animaux en fait partie, les animaux devant être vivants et indemnes de blessure au moment du sacrifice (Adams et Sheridan, 2008 ; Assemat, 2015 ; Bergeaud-Blackler, 2004 ; Cenci-Goga *et al.*, 2013 ; Fuseini *et al.*, 2016 ; Salamano *et al.*, 2013 ; Thieri-Pigé, 2009). **De ce fait, l'étourdissement via l'utilisation d'un pistolet à tige perforante avant le sacrifice n'est pas accepté par la majorité des communautés religieuses** (Nakyinsige *et al.*, 2013 ; Thieri-Pigé, 2009). En effet, l'animal est considéré comme blessé suite à l'étourdissement et peut être jugé comme étant mort (Farouk, 2013 ; Istamullah *et al.*, 2015 ; Nakyinsige *et al.*, 2013 ; Salamano *et al.*, 2013 ; Thieri-Pigé, 2009).

Toutefois, l'utilisation de méthodes d'étourdissement dites « réversibles », c'est-à-dire pour lesquelles l'animal retrouverait conscience s'il n'était pas saigné, sont parfois acceptées par certaines communautés religieuses (Fuseini *et al.*, 2017). Chaque entreprise se fournissant en viandes issues d'abattages rituels possède son propre cahier des charges dont les exigences suivent les principes énoncés dans les textes religieux, mais peuvent varier d'une entreprise à l'autre (Assemat, 2015).

A l'échelle internationale, deux méthodes principales sont utilisées pour que les animaux soient inconscients au moment de l'égorgement rituel ou dans les secondes qui le suivent : l'électronarcose 2 points pré-saignée et l'étourdissement mécanique post-saignée (Aghwan *et al.*, 2015 ; Assemat, 2015 ; Berg et Jakobsson, 2007). Dans le second cas, on parle alors de **soulagement**. Plusieurs pays, tels que la Finlande, l'Autriche ou encore l'Australie, imposent l'utilisation d'une de ces deux méthodes dans le cadre des abattages religieux (Anil et Lambooi, 2009 ; Berg et Jakobsson, 2007 ; Bergeaud-Blackler, 2004 ; Ferrari et Bottoni, 2010 ; Mirabito *et al.*, 2015). En France, l'électronarcose n'étant pas utilisée chez les bovins, la question de réaliser un étourdissement mécanique post-égorgement se pose. Cette procédure permet de garantir que le sacrifice est réalisé sur un animal vivant et indemne et l'inconscience est provoquée par le tir réalisé après l'égorgement (Gerritzen, 2015).

4.2. L'ÉTOURDISSEMENT MÉCANIQUE POST-ÉGORGEMENT

4.2.1. OBJECTIFS DU SOULAGEMENT

L'induction de l'inconscience via la saignée sans étourdissement préalable est provoquée progressivement par la privation en oxygène et en glucose au niveau cérébral (Terlouw *et al.*, 2016a et b ; voir § 3.1.2. *Délai de perte de conscience*). Comme indiqué dans la précédente partie du présent rapport, les délais de perte de conscience des bovins sont alors très variables et peuvent nécessiter jusqu'à plusieurs minutes (Gibson *et al.*, 2015b ; Gregory *et al.*, 2010 ; Newhook et Blackmore, 1982 ; Verhoeven *et al.*, 2016 ; Tableau 11 & 12). Quant à l'étourdissement mécanique à

tige perforante, il permet, lorsque le tir est efficace, d'induire instantanément l'inconscience suite aux différents dommages causés au niveau du cerveau (Lambooij et Spanjaard, 1981 ; Lambooij *et al.*, 2012 ; Shaw, 2002 ; Verhoeven *et al.*, 2016 ; voir § 2.1.1. *Dommages cérébraux provoqués par l'étourdissement mécanique*).

Dans le cas spécifique du soulagement via l'étourdissement mécanique post-égorgement, une fois le tir correctement réalisé, le suivi de l'activité cérébrale confirme que les animaux sont immédiatement inconscients, contrairement à la période précédente située entre le geste d'égorgement et le tir (Gibson *et al.*, 2009d ; Lambooij *et al.*, 2012 ; Verhoeven *et al.*, 2016). Par exemple, dans des travaux comparant les deux méthodes (avec et sans soulagement), les veaux n'ayant pas été étourdis après l'égorgement étaient dans cette étude-là inconscients 80 s en moyenne après l'égorgement, alors que ceux étourdis après l'égorgement étaient tous inconscients immédiatement après le tir (Lambooij *et al.*, 2012). Dans une autre étude, deux tiers des veaux étaient encore conscients lorsque le soulagement était appliqué 34 ± 8 s après l'égorgement (Verhoeven *et al.*, 2016).

Ainsi, la pratique d'un soulagement ne supprime pas le stress et la douleur liés à l'égorgement (voir § 3.1. *Points critiques en termes de protection animale dans le cadre de l'abattage sans étourdissement*) mais permet de rendre l'animal inconscient et insensible plus rapidement, afin de limiter dans le temps, l'inconfort et la douleur provoqués par l'égorgement (voir § 3.2. *La question de la douleur lors de l'égorgement sans étourdissement préalable* ; Adams et Sheridan, 2008 ; Assemat, 2015 ; Le Neindre *et al.*, 2009 ; Mellor *et al.*, 2009 ; von Holleben *et al.*, 2010).

La contention de l'animal étant obligatoire jusqu'à ce dernier ait perdu conscience (règlement CE n°1099/2009), le soulagement est aussi pratiqué dans certains abattoirs afin de maintenir une certaine cadence (Mirabito *et al.*, 2015).

4.2.2. DELAI D'APPLICATION DU TIR POST-EGORGEMENT

Il est donc indispensable de pratiquer le tir le plus rapidement possible après l'égorgement de l'animal. D'un point de vue pratique, cela implique que le poste soit aménagé et la procédure organisée de manière à permettre un étourdissement très rapide après l'égorgement. Pour cela, il est judicieux que deux opérateurs soient présents au poste afin qu'ils se répartissent les tâches (Salamano *et al.*, 2013).

Sur le terrain, les délais entre l'égorgement et le tir sont variables, allant de quelques secondes à plusieurs minutes (Berg et Jakobson 2007 ; Lambooij *et al.*, 2012 ; Velarde *et al.*, 2014 ; Verhoeven *et al.*, 2016 ; Zulkifli *et al.*, 2014). Cette variabilité est principalement liée à la position de l'animal au moment de l'égorgement. Dans le cas où l'animal est retourné sur le dos, il faut positionner l'animal sur le côté pour pouvoir effectuer le tir, ce qui peut nécessiter jusqu'à une dizaine de secondes environ (Binder, 2010). L'Agence Suédoise de Protection des Animaux a observé l'application de cette méthode dans des abattoirs autrichiens (pays imposant le soulagement). Le tir était réalisé 12 à 15 s après l'égorgement lorsque l'animal était retourné à 120° ou plus (Berg et Jakobson 2007 ; Binder, 2010).

Il est toutefois à noter qu'une fois les opérateurs formés à cette méthode, le pistolet à tige perforante peut être appliqué dans les quelques secondes suivant l'égorgement, dans le cas où la

position de l'animal est adaptée à la méthode du soulagement (c'est-à-dire, absence de retournement ou animal sur le côté et piège permettant à l'opérateur de pouvoir étourdir l'animal ; Gerritzen, 2015 ; Mirabito *et al.*, 2015).

Dans un abattoir américain, des intervalles considérablement plus longs entre l'égorgeage et l'étourdissement ont été observés, car pour des raisons religieuses une période minimale de trente secondes entre la coupe et l'étourdissement est appliquée. Il a été observé que cet intervalle a ensuite augmenté tout au long de la journée pour atteindre 5 min (Berg et Jakobson 2007 ; Binder, 2010). Dans ce cas, la pratique du soulagement perd son intérêt qui est de raccourcir autant que possible la phase de conscience et de sensibilité de l'animal. **Les recommandations des guides de bonnes pratiques et des rapports scientifiques indiquent un délai maximal de 5 s à 10 s entre l'égorgeage et le tir selon les référentiels (Mirabito *et al.*, 2013 et 2015).**

4.2.3. EFFICACITE DU TIR

Comme pour l'abattage avec étourdissement préalable à la saignée, le tir doit être correctement réalisé en prenant en compte l'emplacement et l'orientation du tir, l'expérience et la formation des opérateurs, la maintenance du pistolet et en adaptant les caractéristiques du matériel d'étourdissement à l'animal (voir § 2.2. *Facteurs influençant l'efficacité du tir*). Le tir doit être réalisé à l'aide d'un pistolet à tige perforante.

Une contrainte supplémentaire réside en **l'accessibilité de la tête de l'animal**. En effet, dans les pièges rotatifs, la mentonnière peut gêner le positionnement du pistolet. De plus, lorsque l'animal est en position debout, la tête est parfois difficile d'accès selon la conception du poste. Dans ces cas, des aménagements doivent être réalisés afin que le tir puisse être rapide et efficace : la mentonnière doit permettre de réaliser le tir et le poste de l'opérateur pratiquant le tir doit être à la bonne hauteur. Si ce n'est pas le cas, un marchepied peut par exemple être ajouté.

- CONCLUSIONS -

ABATTAGE AVEC ETOURDISSEMENT POST-EGORGEAGE

Une alternative à l'abattage sans étourdissement dans le cadre d'abattages rituels consiste en l'étourdissement post-égorgement. Cette technique permet de pratiquer un égorgement sur un animal vivant et indemne de blessure, comme exigé par les autorités religieuses concernées. Dans ce cas, l'objectif est de pratiquer un étourdissement mécanique immédiatement après l'égorgement afin de limiter dans le temps le stress et la douleur ressentis par l'animal. Un des points essentiels en termes de protection animale, en plus de l'ensemble des précautions évoquées dans le cadre de l'abattage sans étourdissement et de l'étourdissement mécanique, est le délai entre l'égorgement et le tir. Celui-ci doit être le plus court possible, et à titre indicatif limité à quelques secondes. La tête du bovin doit être parfaitement accessible, ce qui implique que le poste et la procédure soient adaptés à cette technique. Le tir doit être pratiqué avec un pistolet à tige perforante.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adams D. B., Sheridan A., 2008. Specifying the Risks to Animal Welfare Associated with Livestock Slaughter without Induced Insensibility. 81p.
- Agbeniga B., Webb E. C., 2012. Effect of slaughter technique on bleed-out, blood in the trachea and blood splash in the lungs of cattle. *South African Journal of Animal Science*, 42 (5): 524-529.
- Aghwan Z. A., Sazili A. Q., Deuraseh N., 2015. Traditional Halal slaughter from scientific perspectives. *International journal of society*, 11: 8-15.
- Algers B., Atkinson S., 2007. *Stun quality in relation to cattle size, gun type and brain hemorrhages*. Proceedings of the XIII International Congress in Animal Hygiene (ISAH), Tartu, Estonia.
- Algers B., Atkinson S., 2014. Stunning: Mechanical stunning. Devine, Dikeman (EDS). *Encyclopedia of Meat Sciences*, 2 (3), Oxford, Elsevier. 413-417.
- Anil M. H., 1991. Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. *Meat Science*, 30 (1): 13-21.
- 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 (2): 113-123.
- Anil M. H., Yesildere T., Aksu H., Matur E., McKinstry J. L., Weaver H. R., Erdogan O., Hughes S., Mason C., 2006. Comparison of Halal slaughter with captive bolt stunning and neck cutting in cattle: Exsanguination and quality parameters. *Animal Welfare*, 15: 325-330.
- Anil H., Lambooi B., 2009. Stunning and slaughter methods in : *Welfare of production animals : assessment and management of risks (volume 5)*, Smulders F. J. M., Algers B., (EDS). Wageningen, Netherlands. 169-190.
- Aramideh M., Ongerboer de Visser B. W., 2002. Brainstem reflexes: electrodiagnostic techniques, physiology, normative data, and clinical applications. *Muscle Nerve*, 26: 14-30.
- Assemat A., 2015. *L'abattage rituel des bovins et ovins en France : origines, réglementation, déroulement et analyse des polémiques*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France. 149 p.
- Atkinson S., Algers B., 2007. *The development of a stun quality audit for cattle and pigs at slaughter*. Proceedings of the XIII International Congress in Animal Hygiene (ISAH), Tartu, Estonia.
- Atkinson S., Algers B., 2009. *Cattle welfare, stun quality and efficiency in 3 abattoirs using different designs of stun box loading, stun box restraint and weapons*. Project Report, Department of Animal Environment and Health, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Skara, Sweden
- Atkinson S., Velarde A., Algers B., 2013. Assessment of stun quality at commercial slaughter in cattle shot with captive bolt. *Animal Welfare*, 22: 473-481.
- Atkinson S., 2016. *Assessment of Cattle and Pig welfare at stunning in commercial abattoirs*. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Science, Uppsala.
- Bager F., Braggins T. J., Devine C. E., Graafhuis A. E., 1992. Onset of insensibility at slaughter in calves: effects of electroplectic seizure and exsanguination on spontaneous electrocortical activity and indices of cerebral metabolism. *Research in Veterinary Science*, 52: 162-173.
- Baldwin B. A., Bell F. R., 1963a. Blood flow in the carotid and vertebral arteries of the sheep and calf. *Journal of physiology*, 167: 448-462.
- Baldwin B. A., Bell F. R., 1963b. The effect of temporary reduction in cephalic blood flow on the EEF of sheep and calf. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 15: 465-473.
- Bannister K., 2019. Descending pain modulation: influence and impact. *Current Opinion in Physiology*, 11: 62-66.
- Basbaum A. I., Fields H. L., 1984. Endogenous pain control systems: Brainstem Spinal Pathways and Endorphin Circuitry. *Annual Review of Neurosciences*, 7: 309-338.

- Basbaum A. I., Bautista D. M., Scherrer G., Julius D., 2009. Cellular and Molecular Mechanisms of Pain. *Cell*, 139: 267-284.
- Bateman D. E., 2001. Neurological assessment of coma. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 71 (Suppl. 1): i13-i17.
- Berg C., Jakobsson T., 2007. Post-cut stunning at religious slaughter. *Svensk Veterinärtidning*, 59 (6): 21-28.
- Berg L., 2007. Regeringsuppdrag om religiös slakt - government contract on religious slaughter. Swedish Animal Welfare Agency, 30 p.
- Bergeaud-Blackler F., 2004. *Nouveaux enjeux autour de l'abattage rituel musulman: une perspective européenne*. Cahiers d'économie et sociologie rurales, n° 73. 33p.
- Binder R., 2010. Post-cut stunning – methods and experience: example Austria in : *The Ethics Workshops of the Dialrel projet – Deliverable D 1.2*. Caspar J., Luy J., (EDS). Baden-baden, Germany, février 2010, 239-242.
- Blackman N. L., Cheetham D. K., Blackmore D. K., 1986. Differences in blood supply to the cerebral cortex between sheep and calves during slaughter. *Research in veterinary science*, 40: 252-254.
- Blackmore D. K., 1979. Non-penetrative percussion stunning of sheep and calves. *The Veterinary Record*, 105 (16): 372-375.
- Blackmore D. K., Newhook J. C., 1981. Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves – part 3: the duration of insensibility induced by electrical stunning in sheep and calves. *Meat Science*, 7: 19-28.
- Blackmore D. K., Newhook J. C., Grandin T., 1983. Time of onset of insensibility in four- to six-week-old calves during slaughter. *Meat science*, 9: 145-149.
- Blackmore D. K., 1984. Differences in behavior between sheep and cattle during slaughter. *Research in Veterinary Science*, 37: 223-226.
- Blumenfeld H., Taylor J., 2003. Why do seizures cause loss of consciousness? *The Neuroscientist*, 9(5), 301-310.
- Blumenfeld H., 2009. The Neurological Examination of Consciousness, in: Laureys S, Tononi G (EDS). *The Neurology of Consciousness*. Academic Press: San Diego, 15-30.
- 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., 2007. Emotions et cognition : stratégie pour répondre à la question de la sensibilité des animaux. *INRA Productions Animales*, 20 (1) : 17-22.
- Bourguet C., 2010. *Stress pendant la période d'abattage chez les bovins : rôle de la réactivité émotionnelle et des facteurs environnementaux*. Thèse d'Université, Clermont-Ferrand, France, 243p.
- Bourguet C., Deiss V., Tannugi C., Terlouw C., 2011a. Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Science*, 88: 158-168.
- Bourguet C., Deiss V., Boissy A., Andanson S., Terlouw E.M.C., 2011b. Effects of feed deprivation on behavioral reactivity and physiological status in Holstein. *Journal of Animal Science*, 89:3272-3285.
- 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. Current Topics in Veterinary Medicine and Animal Science*, vol 42. Springer, Dordrecht, 101-110.
- Brown R. E., Basheer R., McKenna J. T., Strecker R. E., McCarley R. W., 2012. Control of sleep and wakefulness. *Physiological Reviews*, 92 (3): 1087-1187.
- Bruehl S., Burns J. W., Chung O. Y., Chont M., 2011. What do plasma beta-endorphin levels reveal about endogenous opioid analgesic function? *European Journal of Pain*, 16 (3) : 370-380.
- Bunzel-Drueke M., Böhm C., Finck P., Kämmer G., Luick R., Reisinger E., Riecken U., Riedl J., Scharf M., Zimball O., 2009. *Praxisleitfaden fuer Ganzjahresbeweidung in Naturschutz und Landschaftsentwicklung – "Wilde Weiden"*. Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz in Kreis Soest eV, Bad Sassendorf-Lohne, Germany.

- Cenci-Goga B. T., Sechi P., Cuccurese A., Poeta A., De Angelis G., Marini P., Mattiaci C., Rossi R., Pezzato R., Salamano G., Santori P., 2013. Religious slaughter: Data from surveys and spot-check visits in Italy and animal welfare issues. *Society & Animals*, 21: 459-488.
- Chafi M. S., Ganpule S., Gu L., Handra N., 2011. Dynamic response of brain subjected to blast loadings: influence of frequency ranges. *International Journal of Applied Mechanics*, 03: 803-823.
- Chen A. C. N., Dworkin S. F., Haug J., Gehrig J., 1989. Topographic brain measures of human pain and pain responsivity. *Pain*, 37: 129-41.
- Chulayo A. Y., Bradley G., Muchenje V., 2016. Effects of transport distance, lairage time and stunning efficiency on cortisol, glucose, HSPA1A and how they relate with meat quality in cattle. *Meat Science*, 117: 86-96.
- Crick F., Koch C., 2003. A framework for consciousness. *Nature Neuroscience*, 6: 119-126.
- Cruccu G., Leardi M. G., Ferracuti S., Manfredi M., 1997. Corneal reflex responses to mechanical and electrical stimuli in coma and narcotic analgesia in humans. *Neuroscience letters*, 222: 33-36.
- Cruccu G., Deuschl G., 2000. The clinical use of brainstem reflexes and hand-muscle reflexes. *Clinical neurophysiology*, 111: 371-387.
- Daly C. C., 1987. Recent developments in captive bolt stunning. *Humane slaughter of animals for food*.
- 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., Ellendorf F., 1988. Cortical function in cattle during slaughter: Conventional captive bolt stunning followed by exsanguination compared with shechita slaughter. *The Veterinary Record*, 122 (14): 325-329.
- Daly C. C., Whittington P. E., 1989. Investigation into the principal determinants of effective captive bolt stunning of sheep. *Research in Veterinary Science*, 46 (3): 406-408.
- Daly C.C., 1991. *Captive bolt stunning of bulls*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food Report. Tolworth, England.
- Dennis S. G., Melzack R., 1977. Pain-signaling systems in the dorsal and ventral spinal cord. *Pain*, 4: 97-132.
- Derscheid R. J., Dewell R. D., Dewell G. A., Kleinhenz K. E., Shearer L. C., Gilliam J. N., Reynolds J. P., Sun Y., Shearer J. K., 2016. Validation of a portable pneumatic captive bolt device as a one-step method of euthanasia for use in depopulation of feedlot cattle. *Journal of American Veterinary Medicine Association*, 248 (1): 96-104.
- Destrez A., Deiss V., Lévy F., Calandrea L., Lee C., Chaillou-Sagon E., Boissy A., 2013. Chronic stress induces pessimistic-like judgment and learning deficits in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 148: 28-36.
- Devine C. E., Gilbert K. V., Graafhuis A. E., Tavener A., Reed H., Leigh P., 1986. The effect of electrical stunning and slaughter on the electroencephalogram of sheep and calves. *Meat Science*, 17: 267-281.
- Dörfler K., Troeger K., Lückner E., Schönekeß H., Frank M., 2014. Determination of impact parameters and efficiency of 6.8/15 caliber captive bolt guns. *International journal of legal medicine*, 128: 641-646.
- Dunn C. S., 1990. Stress reactions of cattle undergoing ritual slaughter using two methods of restraint. *Veterinary Record*, 126: 522-525.
- Dyce K. M., Sack W.O., Wensing C. J. G., 1997. *Tratado de Anatomia Veterinária*. Guanabara Koogan S.A. (EDS). Rio de Janeiro, Brazil. 429-509
- EFSA, 2004. Welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals: Opinion of the scientific panel on animal health and welfare on a request from the commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. *The EFSA Journal*, 45: 1-29.
- EFSA, 2013. Scientific Opinion on monitoring procedures at slaughterhouses for bovines, EFSA Panel on Animal Health and Welfare. *The EFSA Journal*, 11(12): 1-65.
- Eikelenboom G., 1982. *Stunning of animals for slaughter*. Zeist, The Netherlands. 228p.
- Elbaz J. M., 2007. *L'abattage rituel juif ou le respect de l'animal*. 11 p.

- Enderle J. D., 2000. The fast eye movement control system. the biomedical engineering handbook: second edition, in : D. Joseph (EDS), *Bronzino Boca Raton: CRC Press LLC*.
- Endres J. M., 2005. *Effektivität der Schuss-Schlag-Betäubung im Vergleich zur Bolzenschussbetäubung von Rindern in der Routineschlachtung*. Veterinary medicine. Diss Ludwig-Maximilians-Universität München, 210 p.
- Ewbank R., Parker M. J., Mason C. W., 1992. Reactions of cattle to head-restraint at stunning: a practical dilemma. *Animal Welfare*, 1: 55-63.
- Farouk M. M., 2013. Advances in the industrial production of halal and kosher red meat. *Meat Science*, 95: 805-820.
- Ferrari S., Bottoni R., 2010. Legislation regarding religious slaughter in the EU member, candidate and associated countries. *Dialrel project, deliverable 1.4*, février 2010. 205p.
- Finnie J. W., 1993. Brain damage caused by a captive bolt pistol. *Journal of Comparative Pathology*, 109 (3): 253-258.
- Finnie J. W., 1995. Neuropathological changes produced by non-penetrating percussive captive bolt stunning of cattle. *New Zealand Veterinary Journal*, 43 (5): 183-185.
- Finnie J. W., 1997. Traumatic head injury in ruminant livestock. *Australian Veterinary Journal*, 75 (3): 204-208.
- Finnie J. W., Blumbergs P. C., Manavis J., Summersides G. E., Davies R. A., 2000. Evaluation of brain damage resulting from penetrating and non-penetrating captive bolt stunning using lambs. *Australian Veterinary Journal*, 78: 775-778.
- Finnie J.W., 2001. Animal models of traumatic brain injury: A review. *Australian Veterinary Journal*, 79 (9): 628-633.
- Finnie J. W., Manavis J., Blumbergs P. C., Summersides G. E., 2002. Brain damage in sheep from penetrating captive bolt stunning. *Australian Veterinary Journal*, 80 (1-2): 67-69.
- Finnie J. W., 2016. Forensic pathology of traumatic brain injury. *Veterinary Pathology*, 53 (5): 962-978.
- Fraser D., Ritchie J. S. D., Faser A. F., 1975. The term "stress" in a veterinary context. *British Veterinary Journal*, 131: 653-62.
- Freesman L., 1975. Elektroencephalographische und elektrokardiographische Untersuchungen zur Bolzenschussbetäubung beim Schaf. *Diss. Hannover*.
- Fricker C., Riek W., 1981. Die Betäubung von Rindern vor dem Schlachten mit Hilfe des Bolzenschussapparatus. *Die Fleischwirtschaft*, 61: 124-127.
- Fries R., Schrohe K., Lotz F., Arndt G., 2012. Application of captive bolt to cattle stunning – a survey of stunner placement under practical conditions. *Animal*, 6 (7): 1124-1128.
- Froehlich, J. C., 1997. Opioid peptides. *Alcohol Heath & Research World*, 132-136.
- Fuseini A., Knowles T. G., Hadley P. J., Wotton S.B., 2016. Halal stunning and slaughter: Criteria for the assessment of dead animals. *Meat Science*, 119: 132-137.
- Fuseini A., Wotton S. B., Hadley P. J., Knowles T. G., 2017. The compatibility of modern slaughter techniques with halal slaughter: a review of the aspects of 'modern' slaughter methods that divide scholarly opinion within the Muslim community. *Animal Welfare*, 26: 301-310.
- Gallo C., Cartes M., Uribe H., Grandin T., 2003. Improvements in stunning of cattle with a pneumatic stunner after changes in equipment and employee training. *Archivos de Medicina Veterinaria*.
- Gerritzen M. A., 2015. *Research concerning slaughter without stunning of ruminants in The Netherlands. Livestock research Report 417*. Wageningen, The Netherlands. 33p.
- Ghelardini C., Di Cesare Mannelli L., Bianchi E., 2015. The pharmacological basis of opioids. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*, 12 (3): 219-221
- Gibson T. J., Johnson C. B., Stafford K. J., Mitchinson S. L., Mellor D. J., 2007. Validation of the acute electroencephalographic responses of calves to noxious stimulus with scoop dehorning. *New Zealand Veterinary Journal*, 55 (4): 152-157.

- Gibson T. J., Johnson C. B., Murrell J. C., Hulls C. M., Mitchinson S. L., Stafford K. J., Johnstone A. C., Mellor D. J., 2009a. Electroencephalographic responses of halothane-anaesthetised calves to slaughter by ventral-neck incision without prior stunning. *New Zealand Veterinary Journal*, 57 (2): 77-83.
- Gibson T. J., Johnson C. B., Murrell J. C., Chambers J. P., Stafford K. J., Mellor D. J., 2009b. Components of electroencephalographic responses to slaughter in halothane-anaesthetised calves: Effects of cutting neck tissues compared with major blood vessels. *New Zealand Veterinary Journal*, 57 (2): 84-89.
- Gibson T. J., 2009c. A re-evaluation of the need to stun calves prior to slaughter by ventral-neck incision: An introductory review. *New Zealand Veterinary Journal*, 57 (2): 74-76.
- Gibson T. J., Johnson C. B., Murrell J. C., Mitchinson S. L., Stafford K. J., Mellor D. J., 2009d. Amelioration of electroencephalographic responses to slaughter by non-penetrative captive-bolt stunning after ventral-neck incision in halothane-anaesthetised calves. *New Zealand Veterinary Journal*, 57 (2): 96-101.
- Gibson T. J., Mason C. W., Spence J. Y., Barker H., Gregory N. G., 2015a. Factors affecting penetrating captive bolt gun performance. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 18: 22-238.
- Gibson T. J., Nikolaos D., Gregory N. G., 2015b. Effect of neck cut position on time to collapse in halal slaughtered cattle without stunning. *Meat Science*, 110: 310-314.
- Gibson T. J., Oliveira S. E. O., Costa F. A. D., Gregory N. G., 2019. Electroencephalographic assessment of pneumatically powered penetrating and non-penetrating captive-bolt stunning of bulls. *Meat Science*, 151: 54-59.
- Gilliam J. N., Shearer J. K., Woods J., Hill J., Reynolds J., Taylor J. D., Bahr R. J., Crochik S., Snider T. A., 2012. Captive-bolt euthanasia of cattle: determination of optimal-shot placement and evaluation of the Cash Special Euthanizer Kit® for euthanasia of cattle. *Animal Welfare*, 21 (S2): 99-102.
- Gilliam J. N., Woods J., Hill J., Shearer J.K., Reynolds J., Taylor J.D., 2014. *Evaluation of the Cash Euthanizer Captive Bolt system as a single step euthanasia method for cattle of various ages*. Proceedings of the 4th International Symposium on Beef Cattle Welfare, Ames, IA, USA, 16–18 July 2014.
- Gilliam J. N., Shearer J.K., Bahr R. J., Crochik S., Woods J., Hill J., Reynolds J., Taylor J.D., 2016. Evaluation of brainstem disruption following penetrating captive-bolt shot in isolated cattle heads: comparison of traditional and alternative shot placement landmarks. *Animal Welfare*, 25: 347-353.
- Gottesmann C., 1988. What the cerveau isolé preparation tells us nowadays about sleep-wake mechanisms? *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 12: 39-48.
- Gouveia K. G., Ferreira P. G., Roque da Costa J. C., Vaz-Pires P., Martins da Costa P., 2009. Assessment of the efficiency of captive-bolt stunning in cattle and feasibility of associated behavioural signs. *Animal Welfare*, 18: 171-175.
- Grandin T., 1992. Observations of cattle restraint devices for stunning and slaughtering. *Animal Welfare*, 1 (2): 85-90.
- Grandin T., Regenstein J. M., 1994. Religious slaughter and animal welfare: a discussion for meat scientists. *Meat Focus International*, 115-123.
- Grandin T., 1998a. The feasibility of using vocalization scoring as an indicator of poor welfare during cattle slaughter. *Applied Animal Behaviour Science*, 56: 121-128.
- Grandin T., 1998b. Objective scoring of animal handling and stunning practices in slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medicine Association*, 212: 36-39.
- Grandin T., 2000. Effect of animal welfare audits of slaughter plants by a major fast food company on cattle handling and stunning practices. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 216: 848-851
- Grandin T., 2001. Cattle vocalizations are associated with handling and equipment problems at beef slaughter plants. *Applied Animal Behaviour Science*, 71: 191-201.
- Grandin T., 2002. Return-to-sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medicine Association*, 221 (9): 1258-1261.
- Grandin, T., 2003. *Good management practices for animal handling and stunning*, 2nd edition. AMI Meat Institute Foundation, Washington, DC, USA. 21p.

- Grandin T., 2005. Maintenance of good animal welfare standards in beef slaughter plants by use of auditing programs. *Veterinary medicine today: Special report*, 226 (3): 370-373.
- Grandin T., 2006. Progress and Challenges in Animal Handling and Slaughter in the U.S. *Applied Animal Behaviour Science*, 100: 129-139.
- Grandin T., 2013a. *Recommended animal handling guidelines and audit guide: A systematic approach to animal welfare*. AMI Foundation.
- Grandin T., 2013b. Making slaughterhouses more humane for cattle, pigs and sheep. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1: 491-512.
- Gregory N. G., Wotton S. B., 1984. Time to loss of brain responsiveness following exsanguination in calves. *Research in veterinary science*, 37: 141-143.
- Gregory N. G., 1998. *Animal welfare and meat science*. Wallingford, Oxon. 298p.
- Gregory N. G., Shaw F., 2000. Penetrating Captive Bolt stunning and exsanguination of cattle in abattoirs. *Journal of applied animal welfare science*, 3 (3): 215-230.
- Gregory N. G., 2004. *Physiology and behaviour of animal suffering*. Blackwell Science, 227 p.
- Gregory N. G., Shaw F. D., Whitford J. C., 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., 2007. *Animal welfare and meat production*. Wallingford, Oxfordshire UK: CABI Publishing, 299 p.
- 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.
- Gregory N. G., von Wenzlawowicz M., Alam R. M., Anil H. M., Yesildere T., Silva-Fletcher A., 2008. False aneurysms in carotid arteries of cattle and water buffalo during shechita and halal slaughter. *Meat Science*, 79: 285-288.
- Gregory N. G., Spence J. Y., Mason C. W., Tinarwo A., Heasman L., 2009a. Effectiveness of poll stunning water buffalo with captive bolt guns. *Meat Science*, 81: 178-182.
- Gregory N. G., von Wenzlawowicz M., von Holleben K., 2009b. Blood in the respiratory tract during slaughter with and without stunning in cattle. *Meat Science*, 82: 13-16.
- Gregory N. G., Fielding H. R., von Wenzlawowicz M., von Holleben K., 2010. Time to collapse following slaughter without stunning in cattle. *Meat Science*, 85: 66-69.
- Gregory N. G., Schuster P., Mirabito L., Kolesar R., McManus T., 2012. Arrested blood flow during false aneurysm formation in the carotid arteries of cattle slaughtered with and without stunning. *Meat Science*, 90: 368-372.
- Greiveldinger L., Veissier I., Boissy A., 2009. Behavioural and physiological responses of lambs to controllable vs. uncontrollable aversive events. *Psychoneuroendocrinologie*, 34: 805-814.
- Grist A., Knowles T. G., Wotton S., 2019a. Macroscopic Examination of Multiple-Shot Cattle Heads—An Animal Welfare Due Diligence Tool for Abattoirs Using Penetrating Captive Bolt Devices ?. *Animals*, 328 (9): 1-9.
- Grist A., Lines J. A., Bock R., Knowles T. G., Wotton S. B., 2019b. An Examination of the Performance of Blank Cartridges Used in Captive Bolt Devices for the Pre-Slaughter Stunning and Euthanasia of Animals. *Animals*, 552 (9): 1-18.
- Gross R., 1976. Elektroencephalographische und elektrokardiographische Verlaufsuntersuchungen nach Bolzenschussbetaubung und nach Toten durch Entbluten in den Form des Rituellen Schlachtens. *Diss. Hannover*.
- Gutierrez G., Reines H. D., Wulf-Gutierrez M. E., 2004. Clinical review: hemorrhagic shock. *Crit Care*, 8 (5): 373-381.
- Hazem A. S., Groß R., Schulze W., 1977. Objektivierung von Schmerz und Bewusstsein im Rahmen der konventionellen und rituellen Schlachtung von Wiederkäuern - Abschlussbericht über den Forschungsauftrag. 108 pp.
- Hossmann K. A., Lechtape-Gruter H., Hossmann V., 1973. The role of cerebral blood flow for the recovery of the brain after prolonged ischemia. *Zeitschrift für Neurologie*, 204 (4): 281-299.

- Hüfner K., Stephan T., Kalla R., Deutschländer A., Wagner J., Holtmannspötter M., Schulte-Altendorneburg G., Strupp M., Brandt T., Glasauer S., 2007. Structural and functional MRIs disclose cerebellar pathologies in idiopathic downbeat nystagmus. *Neurology*, 69: 1128.
- Hultgren J., Wiberg S., Berg C., Cvek K., Kolstrup C. L., 2014. Cattle behaviours and stockperson actions related to impaired animal welfare at Swedish slaughter plants. *Applied Animal Behaviour Science*, 152: 23-37.
- Human Slaughter Association, 2016. *Captive-Bolt stunning of livestock*. The Old School, Brewhouse Hill, Wheathampstead, Herts, AL4 8AN, UK, 23p.
- Hyson R. L., Ashcraft L. J., Drugan R. C., Grau J. W., Maier S. F., 1982. Extent and control of shock affects naltrexone sensitivity of stress-induced analgesia and reactivity to morphine. *Pharmacology Biochemistry & Behavior*, 17: 1019-1025.
- Ilgert H., 1985. *Effizienz der Bolzenschussnetübung beim Rind mit Berücksichtigung der Einschussstelle und der Eindringrichtung des Bolzens unter Praxisbedingungen*. PhD Thesis, Free University of Berlin.
- Istamullah H., Khattak H. Z., Khattak J. Z. K., 2015. Stunning methods prior to slaughter and religious concerns. *Canadian Journal of Bioinformatics et Biosciences*, 1 (15) : 18-22.
- Jephcott E. H., McMillen I. C., 1987. A comparison of the effects of electroimmobilisation and, or, shearing procedures on ovine plasma concentrations of β -endorphin/ β -lipoprotein and cortisol. *Research in Veterinary Science*, 43: 97-100.
- Jerlström, J. 2014. *When and what determines the death of an animal? A study investigating the heart activity during slaughter of farm animals*. Thesis. Swedish University, Skara. 39p.
- Johnson C. B., Stafford K. J., Sylvester S. P., Ward R. N., Mitchinson S., Mellor D. J., 2005. Effects of age on the electroencephalographic response to castration in lambs anaesthetised using halothane in oxygen. *New Zealand Veterinary Journal*, 53: 433-437.
- Johnson C. B., Mellor D. J., Hemsworth P. H., Fisher A. D., 2015. A scientific comment on the welfare of domesticated ruminants slaughtered without stunning. *New Zealand Veterinary Journal*, 63 (1): 58-65.
- Kaegi B., 1988. *Untersuchung zur Bolzenschussbetäubung beim Rind*. PhD Thesis, University of Zurich, Switzerland.
- Kallweit E., Ellendorf F., Daly C., Smidt D., 1989. Physiologic reactions during the slaughter of cattle and sheep with and without stunning. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*.
- Kamenik J., Paral V., Pyszko M., Voslarova E., 2019. Cattle stunning with a penetrative captive bolt device: A review. *Animal Science Journal*, 00: 1–10.
- Kaminer J., Powers A. S., Horn K. G., Hui C., Evinger C., 2011. Characterizing the spontaneous blink generator: an animal model. *Journal of Neuroscience*, 31: 11256-11267.
- Karger B., 1995. Penetrating gunshots to the head and lack of immediate incapacitation. II. Review of case reports. *The Journal of Legal Medicine*, 108: 117-126.
- Khodorova A., Navarro B., Jouaville L. S., Murphy J. E., Rice F. L., Mazurkiewicz J. F., Long-Woodward D., Stoffel M., Strichartz G. R., Yukhananov R., Davar G., 2003. Endothelin-B receptor activation triggers an endogenous analgesic cascade at sites of peripheral injury. *Nature Medicine*, 9 (8): 1055-1061.
- Kline H. C., Wagner D. R., Edwards-Callaway L. N., Alexander L. R., Grandin T., 2019. Effect of captive bolt gun length on brain trauma and post-stunning limb activity in finished cattle Bos Taurus. *Meat Science*, 155: 69-73.
- König H. E., 1999. Rituelles Schlachten - anatomische Überlegungen. *Wien.Tierärztl.Mschr*, 86: 94-98.
- Lambooij E., 1981. Some neural and physiological aspects of electrical and mechanical stunning in ruminants. Doctoral thesis. Utrecht, Netherlands.
- Lambooij E., Spanjaard W., Eikelenboom G., 1981. Concussion stunning of veal calves. *Fleischwirtschaft*, 61: 98-100.
- Lambooij E., van Logtestijn J. G., Sybesma W., 1983. Some aspects of electrical and mechanical stunning in ruminants. *Fleischwirtschaft*, 63 (5): 901-903.
- Lambooij E., Kijlstra A., 2008. *Ritueel slachten en het welzijn van herkauwers en pluimvee*. Rapport 161, 34 pp.

- Lambooij E., van der Werf J. T. N., Reimert H. G. M., Hindle V. A., 2012. Restraining and neck cutting or stunning and neck cutting of veal calves. *Meat Science*, 91: 22-28.
- Laureys S., Owen A. M., Schiff N. D., 2004. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders. *Lancet Neurology*, 3 (9): 537–546.
- Laureys S., 2005a. The neural correlate of (un)awareness: Lessons from the vegetative state. *Trends in Cognitive Science*, 9: 556–559.
- Laureys S., 2005b. Death, unconsciousness and the brain. *Natural Reviews Neuroscience*, 6: 899-909.
- Le Neindre P., Guatteo R., Guémené D., Guichet J.-C., Latouche K., Leterrier C., Levionnois O., Mormède P., Prunier A., Serrie A., Servière J., 2009. *Douleurs animales : les identifier, les comprendre, les limiter chez les animaux d'élevage. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport*. INRA (France), 338 p.
- Le Neindre P., Bernard E., Boissy A., Boivin X., Calandreau L., Delon N., Deputte D., Desmoul-Canselier S., Dunier M., Faivre N., Giurfa M., Guichet J. L., Lansade L., Larrère R., Mormède P., Prunet P., Schaal B., Servière J., Terlouw C., 2016. *Animal Consciousness*. External scientific report. 165 p.
- Levinger I. M., 1976. Physiological and general medical aspects of shechita. *Verlag nicht ermittelbar*.
- Levinger I. M., 1995. *Shechita in the light of the Year 2000: Critical Review of the scientific aspects of methods of slaughter and shechita*. Maskil L'David, 223 p.
- Liu G. T., Ronthal M., 1992. Reflex blink to visual threat. *Journal of Clinical Neuro-Ophthalmology*, 12 (1): 47–56.
- Loggia M. L., Mogil J. S., Bushnell M. C., 2008. Experimentally induced mood changes preferentially affect pain unpleasantness. *Pain*, 9 : 784–791.
- Luan Y.-H., Wang D., Yu Q., Chai X.-Q., 2017. Action of β -endorphin and nonsteroidal anti-inflammatory drugs, and the possible effects of nonsteroidal anti-inflammatory drugs on β -endorphin. *Journal of clinical anaesthesia*, 37: 123-128.
- Magnus R., 1925. Croonian Lecture. —Animal posture. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 98: 339-353.
- Magnus R., 1926a. Some results of studies in the physiology of posture Part I. *Lancet*, 211: 531-536.
- Magnus R., 1926b. Some results of studies in the physiology of posture Part II. *Lancet*, 211: 585-588.
- Majerus S., Gill-Thwaites H., Andrews K., Laureys S., 2005. Behavioral evaluation of consciousness in severe brain damage. *Progress in brain research*, 150: 397-413.
- Manteuffel G., Puppe B., Schön P. C., 2004. Vocalization of farm animals as a measure of welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 88: 163-182.
- Marcoux F. W., Morawetz R. B., Crowell R. M., DeGirolami U., Halsey J. H., 1982. Differential regional vulnerability in transient focal cerebral ischemia. *Stroke*, 13 (3): 339-346.
- Martin G. T., 2016. Acute brain trauma. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 98: 6-10.
- Martin S. M., Kline H. C., Wagner D. R., Alexander L. R., Edards-Callaway L. N., Grandin T., 2018. Evaluation of different captive bolt lengths and breed influence upon post stun hind limb and forelimb activity in fed cattle at a commercial slaughter facility. *Meat Science*, 143 : 159-164.
- Marzin V., Collobert J. F., Jaunet S., Marrec L., 2008. Critères pratiques de mesure de l'efficacité et de la qualité de l'étourdissement par tige perforante chez le bovin. *Revue Médecine Vétérinaire*, 159 (8-9) : 423-430.
- McMahon S. B., Koltzenburg M., Tracey I., Turk D., 2013. *Wall & Melzack's Textbook of Pain*. Sixth edition. Elsevier Ltd. 1153p.
- Melzack R., Wall P. D., Ty T. C., 1982. Acute pain in an emergency clinic: Latency of onset and descriptor patterns related to different injuries. *Pain*, 14: 33-43.
- Millan M. J., 2002. Descending control of pain. *Progress in Neurobiology*, 66: 355-374.
- Mirabito L., Marzin V., Vialter S., Frencia J. P., Morlevat S., Alleyrangues X., 2013. *Guide de bonnes pratiques : maîtrise de la protection animale des bovins à l'abattoir*. Version 3.0 – Novembre 2013. 196p.
- Mirabito L., Stadig L., Terlouw C., Bourguet C., Marzin V., Ducreux B., Bergeaud-Blackler F., Dalmau A., Rodriguez P., Pallisera Lloveras J., Baltussen W., Gerritzen M., de Winter M., Gibson T., Cenci-Goga B.,

- Novelli S., 2015. *Restraining systems for bovine animals slaughtered without stunning: welfare and socio-economic implications*. Rapport final BoRest, juin 2015. 269 p.
- Miranda-de la Lama G. C., Leyva I. G., Barreras-Serrano A., Pérez-Linares C., Sanchez-Lopez E., Maria G. A., Figueroa-Saavedra F., 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Tropical Animal Health Production*, 44: 497-504.
- Mlynash M., Campbell D. M., Leproust E. M., Fischbein N. J., Bammer R., Eyngorn I., Hsia A. W., Moseley M., Wijman C. A. C., 2010. Temporal and spatial profile of brain diffusion-weighted MRI after cardiac arrest. *Stroke*, 41 (8): 1665-1672.
- Murrell J. C., Johnson C. B., White K. L., Taylor P. M., Haberham Z. L., Waterman-Pearson A. E., 2003. Changes in the EEG during castration in horses and ponies anaesthetized with halothane. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 30: 138-146.
- Nakyinsige K., Che Man Y. B., Aghwan Z. A., Zulkifli I., Goh Y. M., Adu Bakar F., Al-Kahtani H. A., Sazili A. Q., 2013. Stunning and animal welfare from Islamic and scientific perspectives. *Meat Science*, 95: 352-361.
- Nangeroni L. I., Kennet P. D., 1963. *An electroencephalographic study of the effect of shechita slaughter on cortical function in ruminants*. 49 p.
- Newhook J. C., 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.
- Oliveira S. E. O., Gregory N. G., Costa F. A. D., Betancourt M. C. C., da Costa M. J. R. P., Costa O. A. D., 2016. Effects of high airline pressures on stunning cattle with pneumatically powered captive bolt guns. *International Meeting of Advances in Animal Science*, Vol. 1 – 2016.
- Oliveira S. E. O., Gregory N. G., Costa F. A. D., Gibson T. J., da Costa M. J. R. P., 2017. Efficiency of low versus high airline pressure in stunning cattle with a pneumatically powered penetrating captive bolt gun. *Meat Science*, 130: 64-68.
- Oliveira S. E. O., Gregory N. G., Costa F. A. D., Gibson T. J., da Costa M. J. R. P., Costa O. A. D., 2018a. Effectiveness of pneumatically powered penetrating and non-penetrating captive bolts in stunning cattle. *Meat Science*, 140: 9-13.
- Oliveira S. E. O., Costa F.A. D., Gibson T. J., Costa O. A. D., Coldebella A., Gregory N. G., 2018b. Evaluation of brain damage resulting from penetrating and non-penetrating stunning in Nelore Cattle using pneumatically powered captive bolt guns. *Meat Science*, 145: 347-351.
- Parikh D., Hamid A., Friedman T. C., Nguyen K., Tseng A., Marquez P., Lutfy K., 2011. Stress-induced analgesia and endogenous opioid peptides: the importance of stress duration. *European Journal of Pharmacology*, 650 (2-3): 563-567.
- Parvizi J., Damasio A. R., 2003. Neuroanatomical correlates of brainstem coma. *Brain*, 126: 1524-36.
- Paul E.S., Harding E.J., Mendl M., 2005. Measuring emotional processes in animals: the utility of a cognitive approach. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 29: 469-91.
- Petty D. B., Hattingh J., Ganhao M. F., Bezuidenhout L., 1994. Factors which affect blood variables of slaughtered cattle. *Journal of South Africa vet. Ass*, 65: 41-45
- Ploner M., Gross J., Timmermann L., Schnitzler A., 2006. Pain processing is faster than tactile processing in the human brain. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 26: 10879-10882.
- Pollock L. J., Davis L., 1930. The reflex activities of a decerebrate animal. *Journal of Comparative Neurology*, 50: 377-411.
- Posner J. B., Saper C. B., Schiff N., Plum F., 2008. *Plum and Posner's Diagnosis of Stupor and Coma*, Oxford University Press.
- Pozzi P. S., Geraisy W., Perry Markovish M., 2017. Observation of certain parameters with animal welfare consequences during the implementation of Shechita. *Israel Journal of Veterinary Medicine*, 72 (4): 18-27.
- Probst J. K., Neff A. S., Leiber F., Kreuzer M., Hillmann E., 2012. Gentle touching in early life reduces avoidance distance and slaughter stress in beef cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 139: 42-49.

- Purves D., Augustine G. J., Fitzpatrick D., Katz L. C., LaMantia A. S., McNamara J. O., Williams S. M., 2001. Motor Control Centers in the Brainstem: Upper Motor Neurons That Maintain Balance and Posture in *Neuroscience*. 2nd edition. Sinauer Associates (EDS).
- Purves D., Augustine G. J., Fitzpatrick D., Hall W. C., LaMantia A-S., McNamara J. O., Williams S. M., 2008. *Neuroscience, Third Edition*. Sinauer Associates: Sunderland, MA, US. 773 p.
- Rees G, 2009. Visual Attention: The Thalamus at the Centre? *Current Biology*, 19: R213-R214.
- Rosen S. D., 2004. Physiological insights into Shechita. *Veterinary Record*, 154: 759-765.
- Sahlstedt A. V., 1929. Some Attempts to Obtain, by Means of Physiological Experiments, an Objective Basis for an Opinion as to the Cruelty Alleged to be Attendant on the Jewish Ritual Method of Slaughtering Cattle. *Veterinary Journal*, 85: 328-330.
- Salamano G., Cuccurese A., Poeta A., Santella E., Sechi P., Cambiotti V., Cenci-Goga B. T., 2013. Acceptability of electrical stunning and post-cut stunning among Muslim communities: a possible dialogue. *Society and Animals*, 21: 443-458.
- Sandström V., 2009. Development of a monitoring system for the assessment of cattle welfare in abattoirs. Skara, Suède. 55p.
- Schepens B., Drew T., 2004. Independent and convergent signals from the pontomedullary reticular formation contribute to the control of posture and movement during reaching in the cat. *Journal of Neurophysiology*, 92 (4): 2217–2238.
- Schiffer K. J., Retz S. K., Algers B., Hensel O., 2017. Assessment of stun quality after gunshot used on cattle: a pilot study on effects of diverse ammunition on physical signs displayed after the shot, brain tissue damage and brain haemorrhages. *Animal Welfare*, 26: 95-109.
- Schnakers C., Chatelle C., Vanhauzenhuysse A., Majerus S., Ledoux D., Boly M., Bruno M. A., Boveroux P., Demertzi A., Moonen G., Laureys S., 2010. The Nociception Coma Scale: a new tool to assess nociception in disorders of consciousness. *Pain*, 148 (2): 215–219.
- Schulze W., Schultze-Petzold H., Hazem A. S., Groß R., 1978. Versuche zur Objektivierung von Schmerz und Bewusstsein bei der konventionellen sowie religionsgesetzlichen Schlachtung von Schaf und Kalb. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 85: 62-66.
- Schwenk B. K., Lechner I., Ross S. G., Gascho D., Kneubuehl B. P., Glardon M., Stoffel M. H., 2016. Magnetic resonance imaging and computer tomography of brain lesions in water buffaloes and cattle stunned with handguns and captive bolts. *Meat Science*, 113: 35–40.
- Shaw F. D., 1989. The corneal reflex following captive bolt stunning. *New Zealand Veterinary Journal*, 37 (1): 43-44.
- Shaw F. D., Bager F., Devine C. E., 1990. The role of vertebral arteries in maintaining spontaneous electrocortical activity after electrical stunning and slaughter in calves. *New Zealand veterinary journal*, 38: 14-16.
- Shaw N. A., 2002. The neurophysiology of concussion. *Progress in Neurobiology*, 67: 281-344.
- Shear J. K., Reynolds J. P., 2011. Euthanasia Techniques for Dairy Cattle in : *Dairy Production Medicine*. Riso C. A., Retamal P. M., (EDS) Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 331-340.
- Shearer J. K., 2018. Euthanasia of Cattle: Practical considerations and application. *Animals*, 57 (8): 1-17.
- Smith R., Owen P. C., Lovelock M., Chan E-C., Falconer J., 1986. Acute hemorrhagic stress in conscious sheep elevates immunoreactive β -endorphin in plasma but not in cerebrospinal fluid. *The Endocrine Society*, 118 (6): 2572-2576.
- St John W. M., 2009. Noeud vital for breathing in the brainstem: gasping--yes, eupnoea--doubtful. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 364: 2625-2633.
- Stein C., 1995. The control of pain in peripheral tissue by opioids. *The New England Journal of Medicine*, 332 (5): 1685-1690.
- Stein C., 2013. Targeting pain and inflammation by peripherally acting opioids. *Frontiers in pharmacology*, 4: 1-3.

- Stiegler P., Sereinigg M., Puntschart A., Seifert-Held T., Zmugg G., Wiederstein-Grasser I., Marte W., Meinitzer A., Stojakovic T., Zink M., Stadlbauer V., Tscheliessnigg K., 2012. A 10 min "no-touch" time - is it enough in DCD? A DCD. *Animal Study. Transplant International*, 25 (4): 481–492.
- Svendsen O., Jensen S. K., Karlsen L. V., Svalastoga E., Jensen H. E., 2008. Observations on newborn calves rendered unconscious with a captive bolt gun. *Veterinary Record*, 162: 90-92.
- Tagawa M., Okano S., Sako T., Orima H., Steffey E. P., 1994. Effect of change in body position on cardiopulmonary function and plasma cortisol in cattle. *Journal of Veterinary Medicine Science*, 56 (1): 131-134.
- Tehovnik E. J., Sommer M. A., Chou I. H., Slocum W. M., Schiller P. H., 2000. Eye fields in the frontal lobes of primates. *Brain research reviews*, 32: 413-448.
- 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., Bourguet C., Deiss V., Mallet C., 2015. Origins of movements following stunning and during bleeding in cattle. *Meat Science*, 110: 135-144.
- Terlouw E. M. C., Bourguet C., Deiss V., 2016a. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I: neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat science*, 118: 133-146.
- Terlouw E. M. C., Bourguet C., Deiss V., 2016b. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part II: Evaluation methods. *Meat science*, 118: 147-156.
- Terlouw E. M. C., 2018. Conscience et douleur. In : Le Neindre P., Dunier M., Larrère R., Prunet P., (ESD). *La conscience des animaux*. Quae Edition, France, 87-93.
- Terlouw E. M. C., 2020. The Physiology of the Brain and Determining Insensibility and Unconsciousness, *sous presse*.
- Terlouw E. M. C., Ducreux B., Bourget C., 2020. Abattage avec et sans étourdissement : principes et l'évaluation pratique de l'inconscience, *en préparation*.
- Thieri-Pigé E. J. E., 2009. *Étourdissement électrique des animaux de boucherie : acceptabilité par les communautés religieuses*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Paris, France. 95 p.
- Troeger K., Moje M., 2012. Stunning failure rate zero per cent ? *Fleischwirtschaft International*, 27: 28-30.
- Van der Werf F., Smit A. E., 2008. The World According to Blink: Blinking and Aging. *Age-Related Changes of the Human Eye*, 319-341.
- Velarde A., Rodriguez P., Dalmau A., Fuentes C., Llonch P., von Holleben K. V., Anil M. H., Lambooi J. B., Pleiter H., Yesildere T., Cenci-Goga B. T., 2014. Religious slaughter: Evaluation of current practices in selected countries. *Meat Science*, 96: 278-287.
- Velarde A., Dalmau A., 2018. Slaughter without stunning. *Advances in Agricultural Animal Welfare*, 221-240.
- Verhoeven M. T. W., Gerritzen M. A., Hellebrekers L. J., Kemp B., 2015a. Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: a review. *Animal*, 9 (2): 323-330.
- Verhoeven M. T. W., Gerritzen M. A., Kluivers-Poodt M., Hellebrekers L. J., Kemp B., 2015b. Validation of indicators used to assess unconsciousness in sheep. *Research in Veterinary Science*, 101: 144-153.
- Verhoeven M. T. W., Gerritzen M. A., Hellebrekers L. J., Kemp B., 2016. Validation of indicators used to assess unconsciousness in veal calves at slaughter. *Animal*, 10 (9): 1457-1465.
- Villemure C., Slotnick B. M., Bushnell M. C., 2003. Effects of odors on pain perception: deciphering the roles of emotion and attention. *Pain*, 106: 101–108.
- von Holleben K., von Wenzlawowicz M., Gregory N., Anil H., Velarde A., Rodriguez P., Cenci-Goga B., Catanese B., Lambooi B., 2010. *Report on good and adverse practices - Animal welfare concerns in relation to slaughter practices from the viewpoint of veterinary sciences*. Dialrel project, deliverable 1.3, février 2010. 81 p.

- von Holleben K., Schneider Y., von Wenzlawowicz M., 2018. Bolzenschussbetäubung von Rindern. Untersuchung zur Eignung eines pneumatischen Bolzenschussapparates für die Betäubung während der Routineschlachtung (80/h). *Fleischwirtschaft*, 98: 94–98.
- von Wenzlawowicz M., von Holleben K., 2007. Tierschutz bei der betäubungslosen Schlachtung aus religiösen Gründen. *Deutsches Tierärzteblatt*, 11: 1374–1388.
- von Wenzlawowicz M., von Holleben K., Eser E., 2012. Identifying reasons for stun failures in slaughterhouses for cattle and pigs: a field study. *Animal Welfare*, 21 (S2): 51-60.
- Wagner A. E., Muir W., Grospitch B. J., 1990. Cardiopulmonary effects of position in conscious cattle. *American journal of veterinary research*, 51 (1): 7-10.
- Wagner D. R., Kline H. C., Martin M. S., Vogel K., Alexander L., Grandin T., 2017. Cattle breed and head dimension effects on the performance of a captive bolt stunner equipped with three different length bolts. *Journal of Animal Science*, 95 (10), abstract.
- Wagner D. R., Kline H. C., Martin M. S., Alexander L. R., Grandin T., Edwards-Callaway L. N., 2019. The effects of bolt length on penetration hole characteristics, brain damage and specified-risk material dispersal in finished cattle stunned with a penetrating captive bolt stunner. *Meat Science*, 155: 109-114.
- Warriss P. D., 1984. Exsanguination of animals at slaughter and the residual blood content of meat. *Veterinary Record*, 115 (12): 292-295.
- Warriss P. D., Brown S. N., Adams S. J., Corlett I. K., 1994. Relationships between subjective and objective assessments of stress at slaughter and meat quality in pigs. *Meat Science*, 38 (2): 329–340.
- Wijdicks, E. F., 2001. The diagnosis of brain death. *New England Journal of Medicine*, 344 (16): 1215- 1221.
- Woolf C. J., 2004. Pain: Moving from symptom control toward mechanism-specific pharmacologic management. *Annals of Internal Medicine*, 140 (6): 441-451.
- Young R. F., Bach F. W., Van Norman A. S., Yaksh T. L., 1993. Release of β -endorphin and methionine-enkephalin into cerebrospinal fluid during deep brain stimulation for chronic pain: effects of stimulation locus and site of sampling. *Journal Neurosurgery*, 79: 816-825.
- Zeman A., 2005. What in the world is consciousness? In: S. Laureys (EDS), *The boundaries of consciousness: Neurobiology and neuropathology* (pp. 1–10). Amsterdam: Elsevier Press.
- Zhu F., Skelton P., Chou C. C., Mao H., Yang K. H., King A. I., 2013. Biomechanical responses of a pig head under blast loading: a computational simulation. *International journal for numerical methods in biomedical engineering*, 29: 392-407.
- Zulkifli I., Goh Y. M., Norbaiyah B., Sazili A. Q., Lotfi M., Soleimani A. F., Small A. H., 2014. Changes in blood parameters and electroencephalogram of cattle as affected by different stunning and slaughter methods in cattle. *Animal production science*, 54: 187-193.