



L'évaluation de l'état d'inconscience en abattoir

La conscience, l'inconscience et la mort dans le contexte de l'abattage
Partie II. Méthodes d'évaluation

Mots-clés : Abattage, Mort, Protection animale, Inconscience, Etourdissement, Saignée

Auteurs : Claudia Terlouw^{1,2}, Cécile Bourguet³, Véronique Deiss^{1,2}

¹ INRA, UMR1213 Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle ; ² Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, 63000, Clermont-Ferrand ; ³ Bureau E.T.R.E., Bravant, 63210 Olby

* E-mail de l'auteur correspondant : claudia.terlouw@clermont.inra.fr

Les indicateurs de conscience et d'inconscience utilisables en abattoir évaluent différents aspects de l'état de fonctionnement du cerveau, mais seulement indirectement. Cette revue présente des considérations sur leurs bases neurologiques, leur utilisation et leur interprétation.

Résumé :

Cette seconde revue présente les principaux indicateurs de conscience et d'inconscience utilisables en abattoir. Ils évaluent différents aspects de l'état de fonctionnement du cerveau, mais seulement indirectement. Par conséquent, il est nécessaire d'en vérifier plusieurs concomitamment. On conclut à un état d'inconscience lorsque les signes de conscience sont absents, et ceux d'inconscience sont présents. Etant donné la réversibilité de l'inconscience, les vérifications doivent être poursuivies jusqu'à la fin de la saignée. Les procédures de constat de mort utilisées pour l'humain ne sont pas envisageables dans le contexte de l'abattage. Sur le terrain, pour s'assurer de la mort de l'animal après la saignée, on vérifie qu'il ne respire plus, ne montre pas de réflexes du tronc cérébral et qu'il est saigné correctement. Si ces trois points sont confirmés, à ce stade de l'abattage, la perte des fonctions vitales est irréversible et l'animal peut être considéré comme mort.

Abstract: Evaluation of the state of unconsciousness in the abattoir

This second review describes indicators of consciousness and unconsciousness that can be used in the abattoir. These indicators evaluate different aspects of cerebral functioning, but only indirectly. It is therefore necessary to monitor several indicators. Animals are considered unconscious if signs of consciousness are absent, and signs of unconsciousness are present. Given that the unconscious state is reversible it further necessary to monitor these indicators until the end of bleeding. The techniques used to diagnose brain death in humans cannot be used in the slaughterhouse. Under field conditions, at the end of bleeding, the absence of breathing and of brain stem reflexes and the correctness of the exsanguination are verified. If these three aspects are confirmed, in the context of the slaughterhouse and at this stage of the slaughter process the loss of vital functions is irreversible and the animal can be considered dead.

INTRODUCTION

Notre premier article a présenté l'état actuel de nos connaissances scientifiques sur le fonctionnement cérébral dans le cadre de la perte de conscience et de l'installation de la mort (Terlouw et *al.*, 2015). La perte de conscience est la conséquence d'un dysfonctionnement plus ou moins durable de certaines structures cérébrales : la formation réticulée, le système réticulo-activateur ascendant ou les hémisphères cérébraux de manière globale. La mort d'un individu est définie en termes de mort cérébrale. Ceci implique l'arrêt irréversible des structures cérébrales en charge des fonctions

vitales comme la respiration et la régulation thermique et cardiovasculaire qui se trouvent dans le tronc cérébral (Laureys, 2005b). Cette deuxième synthèse a pour but de contribuer à la réflexion sur l'utilisation et l'interprétation des indicateurs de conscience et d'inconscience. La difficulté de l'évaluation de la mort cérébrale dans le contexte de l'abattage est également adressée. La synthèse concerne les espèces bouchères principales consommées en France et en Europe, à l'exception des poissons, consommées en France et en Europe.

I. INDICATEURS DE CONSCIENCE ET D'INCONSCIENCE

Dans le contexte de l'abattage, un certain nombre d'indicateurs sont utilisés sur le terrain pour évaluer l'état de conscience/inconscience de l'animal (EFSA, 2004). Il s'agit de signes cliniques associés de manière indirecte à cet état : leur absence ou leur présence (selon les indicateurs considérés) peut indiquer que la formation réticulée ou les cortex cérébraux ne sont pas en état de fonctionnement. Certains de ces indicateurs indiquent avec quasi-certitude un état de conscience, et d'autres, un état d'inconscience (Tableau 1). L'absence ou la présence de ces indicateurs

sont vérifiées après l'étourdissement et pendant la saignée, y compris pour l'abattage sans étourdissement. Dans le cadre de l'abattage avec étourdissement, l'animal doit être inconscient avant que la saignée ne soit pratiquée. L'état d'inconscience doit être irréversible avant l'accrochage des bovins, porcins et ovins (Grandin, 2013). Les indicateurs de conscience doivent donc être absents et ceux de l'inconscience présents. D'autres indicateurs ont un pouvoir discriminant plus faible et peuvent être utilisés comme information complémentaire (Gregory et *al.*, 2007).

Tableau 1 : Indicateurs de conscience et d'inconscience

Indicateur	Signe de
posture debout tentatives de redressement de la tête et/ou du corps vocalisations volontaires clignements spontanés des yeux poursuite oculaire	conscience
absence de réflexe cornéen absence de réflexe ciliaire absence de respiration	inconscience ou mort

D'autres indicateurs peuvent être utilisés mais leur pouvoir discriminant est moindre (voir chapitre « Indicateurs de conscience et d'inconscience »)¹. Comme les indicateurs sont seulement indirectement liés à l'état de conscience, il est nécessaire d'en vérifier plusieurs.

On conclut à un état d'inconscience lorsque les signes de conscience sont absents et les signes d'inconscience sont présents.

I.1. Indicateurs de conscience

I.1.1. Posture debout

La posture debout volontaire est un indicateur de conscience (Tableau 1). Par conséquent, la perte immédiate et définitive de la posture debout est utilisée comme indicateur de la perte potentielle de conscience. L'effondrement est l'indicateur observé en premier chez tous les animaux étourdis ou saignés en posture debout car il est le plus visible. L'effondrement doit être interprété avec précaution. Ainsi, il peut être provoqué par une incapacité à se tenir debout, par exemple, lorsque le pistolet est placé dans la nuque et la tige sectionne la moelle épinière paralysant l'animal mais sans atteindre le cerveau. De plus,

l'effondrement ne peut être évalué chez des animaux maintenus dans un piège avec contention de la tête ou du corps, un restrainer, ou accrochés à un rail (volaille).

Suite à un étourdissement mécanique efficace, l'animal s'effondre immédiatement. Cet effondrement peut s'expliquer par l'endommagement de la formation réticulée, impliquée dans le contrôle de la posture debout (Purves et *al.*, 2001 ; Schepens et Drew, 2004). L'électronarcose provoque également un effondrement immédiat, probablement suite à la crise épileptique qui se propage dans les hémisphères cérébraux et les structures sous-corticales. L'étourdissement au gaz et la saignée sans étourdissement

¹ Certains indicateurs sont mentionnés explicitement dans la NOTE DE SERVICE DGAL/SDSSA/N2012-8250 du 05 décembre 2012 : Les opérateurs doivent procéder à des contrôles systématiques pour s'assurer que les animaux ne présentent aucun signe de vie avant l'habillage ou l'échaudage.

Les signes cliniques à vérifier sont :

- absence de réflexe pupillaire;
- absence de réflexe cornéen;
- absence de respiration spontanée.

provoquent progressivement une perte de la posture debout qui peut également s'expliquer par un dysfonctionnement global des structures corticales et sous-corticales.

Dans certains cas, lors de l'abattage religieux, certains bovins peuvent se redresser brièvement une première fois, avant l'effondrement définitif (Gregory et al., 2010). Des ajustements physiologiques pourraient restaurer une fonctionnalité suffisante des neurones permettant un retour de la posture debout et de la conscience (Gregory et al., 2010). Ceci indique également qu'au moins dans certains cas d'abattage sans étourdissement, la première perte de posture pourrait n'être qu'un indicateur d'un début de perte de conscience à un niveau superficiel (Gregory et al., 2010).

I.1.2. Tentatives de redressement de la tête et/ou du corps

Un animal conscient qui se trouve sur le sol suite à une tentative d'étourdissement tentera de se lever ou au moins de s'orienter dans l'angle normal (axe du corps perpendiculaire par rapport à l'axe de la terre). Après un étourdissement efficace, l'animal ne tente pas de se redresser. Les mouvements de redressement sont orientés mais parfois difficiles à distinguer d'autres mouvements qui sont des automatismes ou des mouvements réflexes (cf. ci-dessous : pédalages et autres mouvements).

I.1.3. Vocalisations

Les meuglements des bovins pendant l'attente en abattoir sont liés à la communication sociale (Grandin, 2013). En dehors de ce contexte, les vocalisations expriment le plus souvent de la douleur. En effet, 99% des vocalisations des bovins et des porcs en abattoir sont provoquées par des situations d'aversion, comme l'utilisation de l'aiguillon qui applique une stimulation électrique douloureuse sur l'animal, une chute, un étourdissement raté ou une pression excessive des pièges de contention (Grandin, 1998 ; Dunn, 1990 ; Warriss et al., 1994 ; White et al., 1995 ; Watts and Stookey, 2000 ; Prunier et al., 2013). Or, la sensation de douleur ne peut être perçue que si l'animal est conscient.

I.2. Indicateurs de l'inconscience

I.2.1. Absence de respiration rythmique

Un animal qui respire peut être inconscient, mais un animal qui ne respire pas de manière persistante est inconscient ou mort (Verhoeven et al., 2014). La présence de respiration après l'étourdissement est une indication pour procéder à un deuxième étourdissement (Grandin, 2013). Les muscles respiratoires sont innervés par des centres de contrôle localisés dans le bulbe rachidien, la partie inférieure du tronc cérébral. Ces centres consistent en différents groupes de neurones contrôlant soit l'inspiration, soit l'expiration. Ces groupes de neurones sont activés de manière alternée et constituent ainsi un réseau à l'origine de la respiration rythmique. Ils sont stimulés par la formation réticulée qui reçoit des informations de la périphérie et des centres supérieurs du cerveau (Silbernagl et Despopoulos, 2003 ; Siegel et Sapru, 2006).

L'arrêt de la respiration suite à l'étourdissement mécanique peut s'expliquer par le dysfonctionnement de la formation réticulée, voire du bulbe rachidien. L'arrêt de la respiration suite au gazage (surcharge en CO₂ / manque d'O₂) s'explique par un ralentissement de l'activité neuronale des hémisphères et du tronc cérébral. Lors de l'électronarcose, la propagation de la crise épileptique vers les régions sous-corticales (thalamus, tronc cérébral) et

Ainsi, des vocalisations après l'étourdissement sont donc indicatrices de conscience. Certains sons gutturaux sont des réflexes qui ne doivent pas être confondus avec des vocalisations (cf. ci-dessous : gasping).

I.1.4. Clignements spontanés des yeux

Les clignements spontanés des yeux impliquent des circuits dans le tronc cérébral et dans le cortex, partiellement les mêmes que ceux impliqués dans les clignements réflexes cités ci-dessus (Bour et al., 2002 ; Morcuende et al., 2002). Les clignements spontanés sont considérés comme des indicateurs de conscience (Grandin, 2013), mais de plus amples études sont nécessaires pour connaître leur lien exact avec le niveau de conscience. Par exemple, sur 20 taureaux étudiés, aucun n'a montré de réflexe cornéen après l'étourdissement, suggérant un état d'inconscience, mais 3 ont présenté des clignements de paupières (Terlouw et al., 2012).

I.1.5. Poursuite oculaire (les yeux suivent les mouvements apparaissant dans le champ de vision)

Après un étourdissement mécanique ou au gaz efficace, les yeux sont ouverts et les paupières et les globes oculaires immobiles (Grandin, 2013). Après une électronarcose efficace, les yeux sont fermés initialement, mais s'ouvrent ensuite. Les paupières et les globes oculaires sont également immobiles (Grandin, 2013). La poursuite oculaire est considérée comme signe de conscience car elle implique différentes structures non seulement dans le tronc cérébral mais aussi dans le cortex (Tehovnik et al., 2000 ; Enderle, 2000). Dans une étude, on a demandé à des sujets humains de fixer les mouvements d'un pendule alors qu'on appliquait une pression sur le cou de façon à arrêter la circulation cérébrale. Les globes se figeaient au centre des yeux environ 1 s avant la perte de conscience indiquée par la présence d'onde delta dans l'EEG. Interrogés ensuite, les sujets ont expliqué qu'ils étaient encore conscients, mais incapables de bouger leurs yeux (Rossen et al., 1943).

certaines régions corticales peuvent provoquer un arrêt respiratoire (Kaada et Jasper, 1952 ; Devinsky, 2004). La contracture des muscles, y compris respiratoires, associée à la crise contribue aux effets sur la respiration. D'une manière générale, l'absence de la respiration provoque une anoxie dans le cerveau et contribue ainsi à l'état de l'inconscience.

Le gasping ou la respiration agonique sont des mouvements respiratoires intermittents caractérisés par une plus grande vigueur que la normale au début de l'inspiration. Il reflète le dysfonctionnement des neurones impliqués dans la respiration et précède la mort (St-John et Paton, 2000). Il ne doit pas être confondu avec la respiration rythmique. Il est souvent accompagné de sons gutturaux qui ne doivent pas être confondus avec des vocalisations. Des gasps (ou mouvements respiratoires intermittents et inefficaces d'origine réflexe) ont été observés chez un veau étourdi par tige perforante dont l'EEG était isoélectrique depuis 60 s (Blackmore et Newhook, 1982). Certains considèrent cependant que la présence de gasps est indicatrice d'un mauvais étourdissement lorsqu'il s'agit d'un étourdissement mécanique, à la différence de l'électronarcose (Grandin, 2013).

1.2.2. Absence des réflexes oculaires

Un animal qui présente un réflexe oculaire peut être inconscient, mais un animal qui n'en présente pas est inconscient ou mort. La présence de réflexes oculaires après l'étourdissement est une indication pour procéder à un deuxième étourdissement (Grandin, 2013). Le réflexe cornéen est testé en touchant légèrement la cornée. S'il est présent, le globe oculaire se rétracte légèrement et la paupière se ferme. L'information sensorielle passe par le nerf trijumeau pour atteindre le noyau trijumeau situé à côté de la formation réticulée (Cruccu et Deuschl, 2000). Celui-ci stimule le nerf moteur facial permettant la fermeture de la paupière. Les connections entre les nerfs trijumeau et facial traversent la formation réticulée (Aramideh et Ongerboer de Visser, 2002 ; Dauvergne et al., 2004). On peut également tester le réflexe palpébral (léger toucher de la paupière) dont le circuit neuronal est pour une grande partie similaire à celui du réflexe cornéen.

La membrane nictitante est une troisième paupière transparente présente chez certains oiseaux, reptiles, amphibiens et poissons, mais aussi chez certains mammifères comme les lapins. Elle se déplace horizontalement sous la paupière externe. Cette membrane se ferme également lorsqu'on stimule la cornée. Le circuit neuronal est partiellement similaire à celui décrit pour le réflexe cornéen (Desmond et al., 1983). Suite à l'électronarcose, la membrane nictitante reste ouverte. Chez les animaux possédant une membrane nictitante on peut donc tester le réflexe cornéen même si les paupières externes sont fermées : il s'agit de toucher le coin de l'œil et observer ou sentir avec les doigts, le mouvement de fermeture de la membrane (Erasmus et al., 2010 ; Bourguet, Deiss et Terlouw, observations personnelles).

Dans le cas des mammifères, après un étourdissement électrique, il faut attendre quelques secondes que l'animal rouvre les yeux, avant de pouvoir faire le test cornéen (Grandin, 2013). Un problème pratique est qu'à un certain stade, l'animal entre en phase clonique et les mouvements (pédalages, battement d'ailes) rendent difficiles les tests ou d'autres interventions (saignée par exemple).

Effleurer les extrémités des cils provoque également une fermeture des paupières. Le réflexe ciliaire est considéré peu fiable pour l'évaluation des effets de certaines anesthésies pharmacologiques (Vuyk et al., 1992). Lors de l'abattage sans étourdissement, le réflexe ciliaire semble généralement se perdre après la perte du réflexe cornéen ; il serait donc plus résistant aux effets de l'anoxie (observations personnelles).

Le réflexe photomoteur de la pupille, qui correspond au rétrécissement de celle-ci exposée à la lumière, est un outil important dans le pronostic de patients comateux (Thomas, 2000). Il dépend de l'état fonctionnel de la rétine. Le circuit neurologique implique le nerf optique (sensoriel) et le nerf oculomoteur (moteur) dont le centre d'intégration est

1.3. Indicateurs avec un faible pouvoir discriminant

1.3.1. Tonus musculaire

Suite à un étourdissement mécanique efficace, un bovin s'effondre avec les pattes plus ou moins pliées, puis après quelques secondes, les pattes antérieures se tendent (Atkison et al., 2013). Après une électronarcose efficace, un ovin ou porcine effondré est tout d'abord rigide (phase tonique), les pattes postérieures pliées et les pattes antérieures se tendent,

localisé dans le mésencéphale, proche de la formation réticulée. Ce réflexe pourrait être moins adapté après le début de la saignée car la perte de sang peut réduire le fonctionnement de la rétine (Blackman et al., 1986).

L'absence des réflexes oculaires s'explique par une interruption du circuit neuronal. Tenant compte de la proximité ou de l'entrecroisement des circuits des réflexes oculaires et la formation réticulée, l'absence de ces réflexes est très souvent associée à un dysfonctionnement plus large, englobant une partie de la formation réticulée, et donc, à un état d'inconscience (Kimura et Lyon, 1972 ; Cruccu et al., 1997 ; Zerari-Mailly et al., 2003 ; Laureys, 2005b ; Sturges, 2005). Pour cette raison, elle est considérée comme un indicateur assez fiable d'inconscience. Il convient toutefois de l'associer à d'autres indicateurs car il existe des exceptions. Ainsi, certaines lésions très locales² peuvent abolir le réflexe cornéen, au moins de façon unilatérale, sans induire une perte de conscience (Ongerboer de Visser et Kuipers, 1978). Cette situation est peu probable dans le contexte de l'étourdissement ou de la saignée sans étourdissement. En revanche, un dysfonctionnement de la formation réticulée à un endroit éloigné du circuit du réflexe cornéen ou encore un dysfonctionnement du système réticulo-activateur ascendant peuvent induire un état d'inconscience sans pour autant abolir le réflexe cornéen. C'est pour cette raison qu'un animal inconscient peut présenter un réflexe cornéen, y compris à l'abattage. Par exemple, en moyenne 37s après l'électronarcose, on peut observer un retour du réflexe cornéen et à ce stade, dans certains abattoirs, la saignée est en cours (McKinstry et Anil, 2004 ; Vogel et al., 2011). Toutefois, dans ces études, ce retour de réflexe cornéen n'était pas associé à un retour d'autres signes, comme la respiration, indiquant que l'animal était toujours inconscient (McKinstry et Anil, 2004 ; Vogel et al., 2011).

Un retour temporaire des réflexes oculaires est également possible dans le cadre d'abattages sans étourdissement (Bourguet et al., 2011). Ces retours peuvent s'expliquer par différents phénomènes. Premièrement, dans certains cas d'abattage religieux, le bovin peut contracter les muscles oculaires durant un certain nombre de secondes après le début de la saignée. Cette contraction empêche la fermeture de la paupière en réponse à la stimulation de la cornée, le réflexe apparaît donc comme absent. Par ailleurs, cette contraction est souvent associée à une rotation du globe oculaire, ce qui rend impossible de toucher la cornée et donc de faire le test (Terlouw et al., observations personnelles). Deuxièmement, comme indiqué ci-dessus (« posture debout »), des modifications physiologiques pourraient restaurer une fonctionnalité suffisante des neurones permettant un rétablissement temporaire du réflexe (Gregory et al., 2010). Ces signes ne sont donc pas forcément indicateurs d'un retour de conscience mais laissent un doute (Gregory et al., 2010 ; Bourguet et al., 2011).

en raison d'une contraction générale des muscles qui dure 10 à 20 s. Puis on observe des mouvements de pédalage involontaires (phase clonique) pendant 15 à 60 s (Velarde et al., 2002). Chez les oiseaux les phases tonique puis clonique sont caractérisées par une extension des pattes, des ailes pressées contre le corps, un port du cou arqué puis par des battements d'ailes s'apparentant à des spasmes. Le corps

² Suite à une hémorragie locale ou à une tumeur par exemple

d'un animal étourdi par inhalation de CO₂ est au contraire d'abord détendu, puis des contractions peuvent apparaître, notamment chez les oiseaux (Raj et al., 1990).

1.3.2. Rotation du globe oculaire

Après l'étourdissement par tige perforante, des bovins qui ne respirent pas et qui ne montrent pas de réflexe cornéen peuvent présenter une rotation du globe oculaire (Gregory et al., 2007 ; Terlouw et al., 2012). Même si des animaux présentant des signes d'inconscience peuvent montrer une rotation du globe oculaire, on considère qu'en sa présence il y a un risque d'une moindre profondeur d'inconscience ou d'un retour de conscience (Gregory et al., 2007 ; Atkinson et al., 2013). La distinction entre une rotation partielle ou complète peut permettre d'affiner son pouvoir discriminant. Une étude a montré que la présence d'une rotation complète nécessite un deuxième étourdissement, alors qu'une rotation partielle nécessite une surveillance accrue de l'animal (Atkinson et al., 2013). Pendant une saignée sans étourdissement, on peut observer une rotation des globes oculaires alors que l'animal n'est pas encore inconscient (Terlouw et al., observations personnelles). En revanche, dans les stades ultérieurs suite à une saignée sans étourdissement la rotation des yeux peut être associée à une perte de conscience profonde (Grandin, 2013)³. Cette suggestion est cohérente avec l'augmentation progressive de proportion de bovins présentant une rotation des globes oculaires suite à la saignée sans étourdissement

(Bourguet et al., 2011)⁴. Les mouvements des globes oculaires dépendent de 6 muscles extra-oculaires qui reçoivent des informations de centres localisés dans le pont et le mésencéphale du tronc cérébral et ils sont contrôlés par le cerveau supérieur (Tehovnik et al., 2000 ; Enderle, 2000). Les mécanismes sous-jacents aux mouvements des globes oculaires après étourdissement ou après la saignée sans étourdissement ne sont pas encore connus.

1.3.3. Nystagmus

Le nystagmus est une oscillation rapide verticale ou horizontale du globe oculaire liée à des contractions des muscles impliqués dans les mouvements de celui-ci. Ces muscles sont sous le contrôle de différents noyaux dans le tronc cérébral (les noyaux oculomoteur, trochléaire et abducens), eux-mêmes soumis à des contrôles centraux (Tehovnik et al., 2000 ; Enderle, 2000). La perturbation dans leur fonctionnement est donc indicatrice d'un endommagement de ces circuits. Le nystagmus est considéré comme un indicateur ayant un pouvoir discriminant faible. En effet, une étude sur l'étourdissement par tige perforante chez les bovins montre que les nystagmus sont rares (observés chez 3% des animaux) mais lorsqu'ils sont présents, il y a 1 chance sur 3 pour que la qualité de l'étourdissement ait été insuffisante (Gregory et al., 2007). Cette estimation est cohérente avec d'autres études (Terlouw et al., 2012 ; Bourguet et al., 2011).

II. SIGNES COMPORTEMENTAUX SANS POUVOIR DISCRIMINANT AVERE

On observe fréquemment des mouvements des membres (pédalages), du cou, du dos ou des ailes après l'étourdissement ou après la saignée sans étourdissement, en dehors de ceux associés à la phase clonique liée à l'électronarcose (Grandin, 2013). Une étude sur des bovins indique que les pédalages sont très probablement des automatismes (Terlouw et al., 2012). Ces mouvements involontaires peuvent être liés aux centres générateurs de rythme, structures du tronc cérébral et de la moelle épinière impliquées dans la production de mouvements moteurs rythmiques, comme la marche (Guertin, 2009 ; Frigon, 2012). Le fonctionnement de ces générateurs est indépendant de la conscience.

Dans l'étude de Terlouw et al. (2012), une partie des bovins présentait un mouvement du cou dans la direction ventrale en réponse à la coupe de la peau et des vaisseaux pratiquée pour la saignée. Étonnamment, cette réaction était plus prononcée chez les animaux inconscients depuis plus longtemps. Ce mouvement correspond très probablement à une réponse réflexe de type nociceptif qui passe par la moelle épinière. Chez l'animal intact, certaines structures, notamment dans le tronc cérébral, limitent cette réponse réflexe (Andersen et al., 2004 ; Pertovaara et Almeida, 2006). L'action inhibitrice de ces structures serait donc plus faible chez les animaux inconscients depuis plus longtemps, probablement parce que chez ces animaux le dysfonctionnement du cerveau était plus avancé. Ces différents mouvements ne sont donc pas des indicateurs de conscience (Grandin, 2013 ; Terlouw et al., 2012).

Les mouvements latéraux du cou sont plus difficiles à interpréter. Une partie des vaches profondément inconscientes après étourdissement présentaient des mouvements du cou (Bourguet et al., 2011 ; Terlouw et al., 2012). En revanche, chez les taureaux, seuls les animaux montrant des signes oculaires (nystagmus, rotation des globes, clignement des paupières) ou une respiration, présentaient des mouvements du cou (Terlouw et al., 2012). Il est à noter toutefois qu'aucun taureau ne présentait de réflexe cornéen, indiquant que ces animaux étaient inconscients.

En résumé, dans le cadre de l'abattage, il est indispensable d'utiliser une approche multicritère pour vérifier l'absence de conscience et la présence d'inconscience. La posture debout et les vocalisations volontaires sont des signes de conscience et doivent être absents. L'absence de réflexes et de mouvements oculaires, et l'absence de respiration rythmique sont des signes essentiels d'inconscience. Le réflexe cornéen est en général considéré comme le réflexe oculaire de référence. S'il est aboli et que l'on constate la perte définitive de la station debout et l'absence de respiration, alors on considère que l'animal est efficacement étourdi.

D'autres indicateurs, comme le nystagmus, ont un pouvoir discriminant faible et leur présence nécessite une vérification des autres indicateurs ainsi qu'une surveillance accrue de l'animal.

³ <http://www.grandin.com/ritual/kosher.box.variables.time.lose.sensibility.html>

⁴ La faible proportion d'animaux présentant une rotation des globes oculaires peut s'expliquer par la méthode de relevé des observations par pointages plutôt qu'en continu, technique peu adaptée aux expressions comportementales de courte durée.

III. LIENS ENTRE LES DIFFERENTS INDICATEURS

Les localisations et les résistances à l'anoxie des différentes structures cérébrales expliquent l'ordre de perte des différentes fonctions. Chez l'homme, lors de l'installation de la mort cérébrale suite à des traumatismes neurologiques, la perte des fonctions se fait souvent dans le sens rostro-caudal : le bulbe rachidien est la dernière structure à arrêter ses fonctions (Wijdicks ; 2001). Dans le contexte de l'abattage, les résultats varient selon l'espèce, les techniques utilisées et les indicateurs relevés (Tableau 2). On observe toutefois certaines cohérences. Par exemple, lors du gazage des poules, la perte de la posture debout a lieu 6 à 10 s avant la fermeture des yeux en moyenne (Raj et Gregory, 1990 ; Raj et al., 1990 ; Deiss, communication personnelle). Chez le veau (Tableau 2), les gasps s'arrêtent après que l'EEG soit isoélectrique (Newhook et Blackmore, 1982b ; Blackmore et al., 1983). Chez le porc, lors d'un retour de conscience après l'électronarcose, le rétablissement du réflexe cornéen a lieu avant la reprise de la respiration (McKinstry et Anil, 2004 ; Vogel et al., 2011). En revanche, chez le veau, on observe l'inverse (Gregory et al., 1996).

On considère que l'abolition du réflexe cornéen et l'arrêt de la respiration sont des indicateurs importants de l'inconscience de l'animal. De plus, l'arrêt de la respiration induit ou contribue à l'anoxie du cerveau. Ces indicateurs ont donc un intérêt particulier. Malgré cela, dans le contexte de l'abattage, leurs liens avec l'état cérébral ou avec les autres indicateurs sont insuffisamment connus. Par exemple, après étourdissement, une rotation des globes oculaires ou une respiration rythmique est plus fréquemment présente que le réflexe cornéen (Gregory et al., 2007 ; Terlouw et al., 2012). Ces résultats peuvent indiquer que le réflexe cornéen est souvent aboli avant la rotation des globes oculaires ou la respiration. Toutefois, des cas contraires ont également été observés. Certains bovins et porcs présentent un réflexe cornéen en l'absence de respiration, de clignements des paupières ou mouvement du globe oculaire (Bourguet et al., 2011 ; Vogel et al., 2011 ; Terlouw et al., 2012). De même, l'absence de réflexe cornéen n'est pas forcément associée à l'absence du réflexe palpébral ou ciliaire (Bourguet et al., 2011 ; Terlouw, Paulmier et Bourguet, observations personnelles).

Chez des bovins saignés sans étourdissement, des mouvements du globe oculaire et des clignements de paupières peuvent également être présents, alors que le réflexe cornéen est déjà aboli (Bourguet et al., 2011). Une étude sur des veaux indique que la conscience était perdue en moyenne à 80 s après le début de la saignée directe, alors que le réflexe cornéen était aboli seulement à 135 s (Lambooi et al., 2012). Cette étude a utilisé des techniques d'EEG (cf. Encadré 2 dans Terlouw et al., 2015) pour estimer l'état de conscience et ce résultat est cohérent avec celui d'une autre étude utilisant la même technique (Daly et al., 1988). Le délai plus long que le délai moyen de 20 s de la perte de posture debout rapporté dans une autre étude (Gregory et al., 2010) peut s'expliquer par les différents critères utilisés.

L'étude des liens entre les indicateurs de l'inconscience pourrait s'appuyer sur des analyses par corrélation. Newhook et Blackmore (1982b) ont étudié l'ordre d'apparition de certains indicateurs suite à une saignée sans étourdissement (cf. Tableau 2). Cet ordre différait selon les animaux, mais les délais étaient globalement corrélés (Tableau 3). L'analyse de ces données montre que l'abolition du réflexe cornéen précédait de 10 s en moyenne l'EEG anormal permanent, et ce de manière assez fiable (Figure 1). De même, l'analyse des données de Wotton et al. (2000) sur l'électronarcose de bovins adultes montre que la durée de la phase tonique dépend de la quantité de courant reçu. Le délai jusqu'au retour de la posture debout était corrélé avec la durée de la phase clonique et avec le délai de retour de la respiration. Pour la moitié des animaux, le retour de la respiration avait lieu avant la fin de la phase clonique (Tableau 4). D'autres analyses de ce type permettraient de mieux connaître les liens entre les indicateurs de l'inconscience et l'état du fonctionnement du cerveau, voire l'état d'inconscience.

Sur le terrain, vu la variabilité des résultats en termes de délai d'induction d'inconscience, les opérateurs d'abattoir doivent faire une évaluation de l'état d'inconscience de chaque animal. La diversité des indicateurs d'inconscience rend nécessaire d'associer un maximum d'entre eux afin d'aboutir à un diagnostic fiable. Au moindre doute, l'opérateur doit procéder le plus rapidement à une deuxième application d'étourdissement, et à une vérification du matériel.

Tableau 2 : Exemples de délais successifs d'indicateurs de l'état de l'inconscience et signes comportementaux après la saignée directe ou après étourdissement

Etudes sur la perte de conscience : veaux					
La première anomalie de l'EEG 70 ± 6	L'abolition du réflexe cornéen	EEG anormal permanent	EEG isoélectrique	L'arrêt des gasps	
	187 ± 25	197 ± 22	225 ± 27	311 ± 26	
Première anomalie EEG 75 ± 46	Réflexe cornéen aboli	EEG anormal en permanence	EEG isoélectrique	Arrêt des gasps	
	NA	164 ± 17	183 ± 17	193 ± 56	
Etudes sur la perte de conscience : volaille					
Bourquet et al., 2012 (observations personnelles) : 20 poulets, abattage sans étourdissement (s)					
Fermeture définitive des paupières 8 ± 3	Début et fin des battements intenses des ailes	Arrêt respiration	Battements faibles des ailes	Perte du réflexe cornéen	Détente du cou
	10 ± 1 ; 29 ± 5	22 ± 10	De 29 ± 4 à 78 ± 10 s	36 ± 8	81 ± 4
Réduction dans la puissance de l'EEG 21 ± 4	Perte des potentiels évoqués	Fermeture des yeux	Début et fin de la phase clonique (battements d'ailes)	Début et fin de la phase tonique (extension des ailes et des pattes)	EEG isoélectrique
	30 ± 2	34 ± 5	45 ± 4 ; 60 ± 5	68 ± 10 ; 85 ± 7	101 ± 18
Etudes sur le retour de la conscience : porcs et veaux					
Vogel et al., 2011 ; 45 porcs étourdis « à deux points » par électroanesthésie : retour des indicateurs à partir de 30 s post-étourdissement (% des porcs)					
Réflexe cornéen	Clignements spontanés des yeux	Poursuite oculaire	Mouvements spontanés du groin	Réflexe du redressement	Respiration rythmique
93,8	40,8	32,7	26,5	14,3	12,2
McKinstry et Anil, 2004 ; 16 porcs étourdis « à deux points » par électroanesthésie : phases épileptiques et retour des indicateurs (délais en s)					
Fin de la phase tonique	Fin EEG épileptiforme	Fin de la phase clonique	Retour réflexe cornéen	Retour respiration rythmique	Redressement de la tête
9 ± 3	34 ± 7	43 ± 13	37 ± 12	44 ± 8	50 ± 7
Gregory et al., 1996, 10 veaux, électroanesthésie (200 V, 3s) : fins des phases tonique/clonique et retour des indicateurs (délais en s)					
Fin de la phase tonique	Fin de la phase clonique	Retour respiration rythmique	Retour réflexe cornéen	Redressement de la tête	
11 ± 0,1	22 ± 1	25 ± 1	67 ± 8	67 ± 7	

Tableau 3 : Corrélations entre différents indicateurs de l'installation progressive de l'inconscience après une saignée directe (d'après les données sur 8 veaux de Newhook et Blackmore, 1982b)

	Délai (en secondes)			
	d'abolition du réflexe cornéen	EEG anormal permanent	EEG isoélectrique	de disparition des gasps
Moyennes →	186,9 ± 25,2 s	196,9 ± 21,9 s	224,8 ± 27,0	311,3 ± 25,8
Délai :				
de la première anomalie de l'EEG (70,0 ± 6,3 s)	0,41	0,26	0,29	0,31
d'abolition du réflexe cornéen		0,85**	0,59	0,75*
d'EEG anormal permanent			0,83*	0,64+
d'EEG isoélectrique				0,75*

+ : p < 0,10 ; * : p < 0,05 ; ** : p < 0,01

Figure 1 : Corrélation entre le délai d'abolition du réflexe cornéen et l'apparition d'un EEG anormal (d'après les données de Newhook et Blackmore, 1982b)

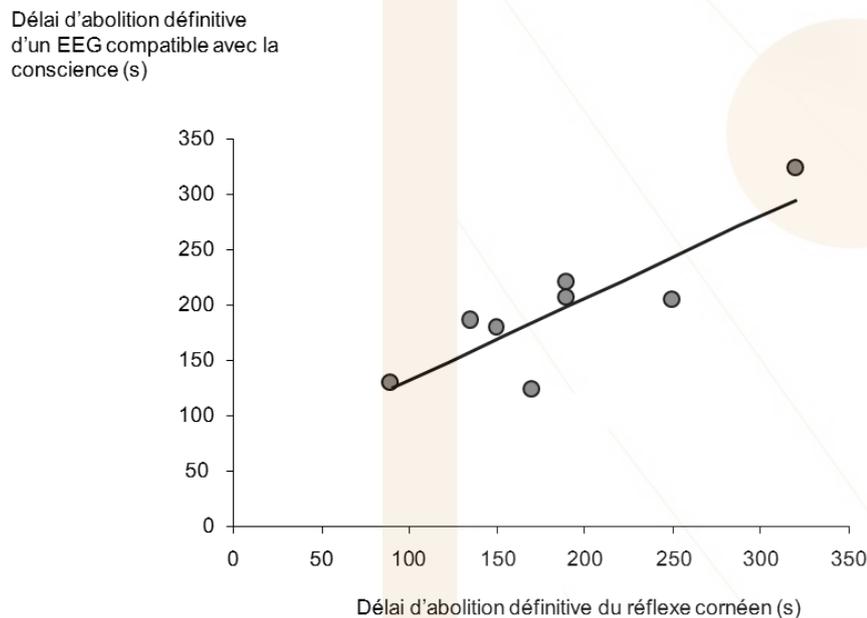


Tableau 4 : Corrélations entre différents indicateurs de la crise épileptique et du retour de la conscience (d'après les données sur bovins adultes de Wotton et al., 2000)

	durée de la phase tonique	durée de la phase clonique	durée totale des phases tonique + clonique	Délai de retour de la respiration	Délai de retour de la posture debout
Moyennes →	12,7 ± 1,3 s	43,9 ± 5,8 s	56,6 ± 5,8 s	53,6 ± 4,6 s	132,6 ± 16,5 s
Intensité de courant reçu (1,3 ± 0,06 A)	-0,54*	0,22	0,07	-0,15	0,21
durée de la phase tonique		-0,04	0,19	0,43	0,09
durée de la phase clonique			0,97***	0,76**	0,78**
durée totale des phases toniques + cloniques				0,86***	0,55*
Délai de retour de la respiration					0,60*

* : p < 0,05 ; ** : p < 0,01 ; *** : p < 0,001

IV. ESTIMATION DU DELAI DE L'INSTALLATION DE LA MORT EN ABATTOIR

Il est difficile de connaître avec certitude le délai d'installation de la mort après la saignée. Chez l'humain, les critères exacts du constat de la mort varient selon le pays mais impliquent les signes d'absence de vie⁵ : l'arrêt cardiaque et respiratoire persistant, l'absence totale de conscience et d'activité motrice spontanée (hors réflexes spinaux), l'abolition de tous les réflexes du tronc cérébral (cf. Encadré 7 dans Terlouw et al., 2015) et l'absence totale de ventilation spontanée (Code de la santé publique, Article R1232-1). L'absence de facteurs confondant (drogue, médicaments, hypothermie, etc.) doit être assurée (Wijdicks, 2001). Des tests de confirmation (EEG, angiographie, tomographie cérébrale) montrant l'absence d'activité électrique, de circulation sanguine, d'activité métabolique (Laureys, 2005b) et du réflexe ventilatoire (épreuve d'hypercapnie⁶, Wijdicks, 2001) peuvent être nécessaires⁷. On notera que les signes de vie ne se situent pas tous au même niveau : alors que l'arrêt cardiaque et respiratoire durable est susceptible d'induire la mort, l'absence de conscience et de réflexes du tronc cérébral en sont les conséquences.

Dans le contexte de l'abattage, le diagnostic de la mort tel que réalisé chez l'humain ne peut être effectué pour des raisons techniques et pratiques. Lorsque la mort n'est pas provoquée par des dommages cérébraux dus à l'étourdissement, elle est induite par l'arrêt durable d'apports 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 l'exsanguination. L'arrêt cardiaque et l'arrêt permanent de la respiration peuvent être difficiles à identifier en abattoir. Il est cependant possible d'estimer le délai d'installation de la mort, en fonction du délai de la fin de la saignée. Chez l'humain, après un arrêt cardiaque, les chances de survie dépendent du délai de la réanimation cardio-pulmonaire. Lorsque celle-ci a lieu en moins de 4 min, les chances de survie sont 2 fois plus grandes que lorsqu'elle a lieu entre 5 et 8 min (Cole et Corday, 1956 ;

Eisenberg et al., 1979 ; Weston et al., 1997 ; Waalewijn et al., 2001 ; Larsen et al., 1993). De plus, les patients qui survivent à plus de 4 min d'arrêt cardiaque ont quasiment toujours des séquelles cardiaques et cérébrales graves (Cole et Corday, 1956 ; Brierley, 1977 ; Torbey et al., 2004). Si on transpose ces informations aux animaux d'élevage, en faisant abstraction des séquelles possibles liées à l'étourdissement, on peut penser qu'après un délai de 4 min à partir de la fin de la saignée, même lorsque celle-ci était effectuée sur un animal non-étourdi, l'animal est profondément inconscient, voire mort (mais voir l'Encadré 1).

Encadré 1 : De nouvelles techniques repoussent le seuil de la mort

Le passage de la vie à la mort n'est pas forcément immédiat ; il ne s'agit pas d'un phénomène en tout-ou-rien, mais d'un processus qui évolue vers la mort (Laureys, 2005b).

Jusqu'à récemment, on considérait que plus de 4 min d'ischémie globale et complète du cerveau provoquaient la mort ou une survie avec des séquelles graves car les dommages cérébraux étaient irréversibles (Cole et Corday, 1956 ; Madl et Holzer, 2004 ; Allen et Buckberg, 2012). Toutefois, de nouvelles techniques sont en cours de développement, comme celle de la circulation extracorporelle. Elle implique la perfusion progressive et contrôlée des organes y compris du cerveau avant le rétablissement de la circulation sanguine normale et avant la reprise de l'activité cardiaque normale. Ce résultat n'a été obtenu pour l'instant qu'en conditions expérimentales. L'utilisation de ces techniques a permis la ressuscitation sans séquelle cérébrale après 10 à 15 min d'arrêt cardiaque et après 30 min d'ischémie globale complète du cerveau chez des porcs (Trummer et al., 2010 ; Liakopoulos et al., 2010 ; Nichol et al., 2006 ; Allen et al., 2012).

Ces résultats ne changent pas la définition de la mort cérébrale : l'arrêt irréversible des structures cérébrales en charge des fonctions vitales. Ils posent, en revanche, la question de la définition de « l'irréversibilité ».

CONCLUSION

Cette deuxième synthèse a pour but de contribuer à la réflexion sur l'utilisation et l'interprétation des indicateurs de conscience et d'inconscience. Les indicateurs de conscience et d'inconscience sont des outils pour évaluer indirectement l'état de fonctionnement du cerveau. Leur multiplicité permet d'évaluer les différents aspects de l'état de la conscience, lié à son contenu (ex. la poursuite oculaire indique que l'animal intègre des informations venant de l'environnement) et à son niveau (ex. l'absence de réflexe cornéen indique *a priori* que le niveau de conscience est nul). Comme les indicateurs sont seulement indirectement liés à l'état de conscience, il est nécessaire d'en vérifier plusieurs. On peut conclure à un état d'inconscience lorsque les signes de conscience sont absents et que ceux d'inconscience sont présents. Lorsqu'après un

étourdissement, l'ensemble des indicateurs vérifiés n'indique pas de manière concordante la présence d'un état d'inconscience il est nécessaire de procéder à un deuxième étourdissement. En abattoir, étant donné la réversibilité de l'inconscience, les vérifications doivent être poursuivies jusqu'à la fin de la saignée.

Les procédures de constat de mort utilisées pour l'humain ne sont pas envisageables dans le contexte de l'abattage. Le Règlement Européen prévoit toutefois que l'habillage ou l'échaudage ne soient pratiqués qu'après vérification de l'absence de signe de vie de l'animal (CE N° 1099/2009 Du Conseil). Sur le terrain, cette règle est adaptée au contexte : après la saignée, on vérifie que l'animal ne respire pas, ne montre pas de réflexes du tronc cérébral et qu'il est saigné correctement. Si ces trois points sont

⁵ Les signes de la mort ne peuvent être constatés que plus tardivement : refroidissement cadavérique, rigidité cadavérique, lividités cadavériques (zones de coloration rose bleutée de la peau), déshydratation (opacification de la cornée par exemple), putréfaction.

⁶ Induction d'une pCO₂ sanguine de 60 mmHg ou 20 mmHg au-dessus des valeurs normales.

⁷ D'après le code de la santé publique, si la personne, dont le décès est constaté cliniquement, est assistée par ventilation mécanique et conserve une fonction hémodynamique, l'absence de ventilation spontanée est vérifiée par une épreuve d'hypercapnie (absence de respiration en réponse à une quantité donnée de CO₂ dans le sang) et par des tests de confirmation (2 EEG à 4h d'intervalle ou angiographie ; Code de la santé publique Article R1232-2).

confirmés, dans le contexte de l'abattoir et à ce stade de l'abattage, la perte des fonctions vitales est irréversible car l'animal est exsangue et peut donc être considéré comme mort.

L'entrée en vigueur du règlement CE N° 1099/2009 du Conseil constitue une avancée significative et les besoins d'aujourd'hui semblent se positionner à deux niveaux. Premièrement, une clarification de certains termes et concepts relatifs au règlement est nécessaire. Par exemple, il est important de distinguer de manière consensuelle les notions de mort, d'arrêt cardiaque et d'absence de signes de vie. De même, dans cette revue, nous avons utilisé les deux termes, absence de signes de conscience et présence de

signes d'inconscience, en fonction de leur lien avec la conscience et l'inconscience. Les deux termes sont utilisés dans différents textes, dont le Règlement (CE) N° 1099/2009 du Conseil (*cf.* Gregory *et al.*, 2010 ; Von Holleben *et al.*, 2010 ; EFSA, 2013 ; Verhoeven *et al.*, 2014). Leur signification exacte n'est pas toujours explicite, et une utilisation plus harmonisée et consensuelle de ces termes faciliterait les échanges. Deuxièmement, il est nécessaire de continuer les efforts de recherches sur l'interprétation de ces signes, en rapport avec les dommages cérébraux et de fiabilité. Ces connaissances permettraient d'affiner les méthodes d'évaluation de l'état de conscience des animaux et le cas échéant, de réduire les marges d'erreur.

Remerciements :

Nous remercions les relecteurs anonymes de la revue pour leurs commentaires pertinents.

Références :

- Allen, B.S., & Buckberg, G.D. (2012). Studies of isolated global brain ischaemia: I. Overview of irreversible brain injury and evolution of a new concept - redefining the time of brain death. *Eur J Cardiothorac Surg*, 41, 1132-1137.
- Allen, B.S., Ko, Y., Buckberg, G.D., & Tan, Z. (2012). Studies of isolated global brain ischaemia: II. Controlled reperfusion provides complete neurologic recovery following 30 min of warm ischaemia - the importance of perfusion pressure. *Eur J Cardiothorac Surg*, 41, 1147-1154.
- Andersen, O. K., Finnerup, N. B., Spaich, E. G., Jensen, T. S., & Arendt-Nielsen, L. (2004). Expansion of nociceptive withdrawal reflex receptive fields in spinal cord injured humans. *Clin Neurophysiol*, 115(12), 2798-2810.
- Aramideh, M., & Ongerboer de Visser, B. W. (2002). Brainstem reflexes: electrodiagnostic techniques, physiology, normative data, and clinical applications. *Muscle Nerve*, 26(1), 14-30.
- Atkinson, S., Velarde, A., & Algers, B. (2013). Assessment of stun quality at commercial slaughter in cattle shot with captive bolt. *Animal Welfare*, 22(4), 473-481.
- Blackman, N. L., Cheetham, K., & Blackmore, D. K. (1986). Differences in blood supply to the cerebral cortex between sheep and calves during slaughter. *Res Vet Sci*, 40(2), 252-254.
- Blackmore D.K. & Newhook J.C. (1982). 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 Sci*, 9, 145-149.
- Bour, L., Ongerboer de Visser, B., Aramideh, M., & Speelman, J. (2002). Origin of eye and eyelid movements during blinking. *Mov Disord*, 17 Suppl 2, 30-32.
- Bourguet, C., Deiss, V., Tannugi, C. C., & Terlouw, E. M. C. (2011). Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Sci*, 88(1), 158-168.
- Brierley, J. B. (1977). Experimental hypoxic brain damage. *J Clin Pathol Suppl (R Coll Pathol)*, 11, 181-187.
- Cole, S. L., & Corday, E. (1956). Four-minute limit for cardiac resuscitation. *J Am Med Assoc*, 161(15), 1454-1458.
- Cruccu, G., & Deuschl, G. (2000). The clinical use of brainstem reflexes and hand-muscle reflexes. *Clin Neurophysiol*, 111(3), 371-387.
- 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. *Neurosci Lett*, 222(1), 33-36.
- 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. *Vet Rec*, 122(14), 325-329.
- Dauvergne, C., Ndiaye, A., Buisseret-Delmas, C., Buisseret, P., Vanderwerf, F., & Pinganaud, G. (2004). Projections from the superior colliculus to the trigeminal system and facial nucleus in the rat. *J Comp Neurol*, 478(3), 233-247.
- Desmond, J. E., Rosenfield, M. E., & Moore, J. W. (1983). An HRP study of the brainstem afferents to the accessory abducens region and dorsolateral pons in rabbit: implications for the conditioned nictitating membrane response. *Brain Res Bull*, 10(6), 747-763.
- Devinsky, O. (2004). Effects of Seizures on Autonomic and Cardiovascular Function. *Epilepsy Curr*, 4(2), 43-46.
- Dunn, C. S. (1990). Stress reactions of cattle undergoing ritual slaughter using two methods of restraint. *Vet Rec*, 126(21), 522-525.
- EFSA (2004). Welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals The EFSA Journal, 45, 1-29,
- EFSA (2013). Event report. EFSA's information meeting: identification of welfare indicators for monitoring procedures at slaughterhouses, Parma, 30th January 2013 European Food Safety Authority
- Eisenberg, M. S., Bergner, L., & Hallstrom, A. (1979). Cardiac resuscitation in the community. Importance of rapid provision and implications for program planning. *JAMA*, 241(18), 1905-1907.

- Erasmus, M. A., Turner, P. V., & Widowski, T. M. (2010). Measures of insensibility used to determine effective stunning and killing of poultry. *The Journal of Applied Poultry Research*, 19(3), 288-298.
- Frigon, A. (2012). Central pattern generators of the mammalian spinal cord. *Neuroscientist*, 18(1), 56-69.
- Grandin, T. (1998). The feasibility of using vocalization scoring as an indicator of poor welfare during cattle slaughter. *Appl. Anim. Behav. Sc.*, 56, 121-128.
- Grandin, T., (2013). Recommended animal handling guidelines and Audit guide: A systematic approach to animal welfare. AMI Foundation.
- Gregory, N. G. (1994). Preslaughter handling, stunning and slaughter. *Meat Sci.*, 36, 45-56.
- Gregory, N.G. (1998). Animal welfare and meat science. Ed Neville G. Gregory ; with guest chapter by Temple Grandin. Publ. Oxon, UK ; New York, NY, USA: CABI Pub.
- Gregory, N. G., Anil, M. H., McKinstry, J. L., & Daly, C. C. (1996). Prevalence and duration of insensibility following electrical stunning in calves. *N Z Vet J*, 44(1), 1-3.
- Gregory, N. G., Fielding, H. R., von Wenzlawowicz, M., & von Holleben, K. (2010). Time to collapse following slaughter without stunning in cattle. *Meat Sci*, 85(1), 66-69.
- Gregory, N. G., Lee, C. J., & Widdicombe, J. P. (2007). Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. *Meat Sci*, 77(4), 499-503.
- Guertin, P. A. (2009). The mammalian central pattern generator for locomotion. *Brain Res Rev*, 62(1), 45-56.
- Kaada, B. R., & Jasper, H. (1952). Respiratory responses to stimulation of temporal pole, insula, and hippocampal and limbic gyri in man. *A.M.A. Archives of Neurology & Psychiatry*, 68(5), 609-619.
- Kallweit, V.E., Ellendorf, F., Daly, C. & Smidt, D. (1989). Physiologische reaktionen bei der schlachtung von rindern und schafen mit und ohne betäubung. *Dtsch. tierärztl. Wschr.*, 96, 85-156.
- Kimura J. & Lyon L.W. (1972). Orbicularis oculi reflex in the Wallenberg syndrome: alteration of the late reflex by lesions of the spinal tract and nucleus of the trigeminal nerve. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 35, 228-233.
- Lambooi, 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(1), 22-28.
- Lang, C. J. G., & Heckmann, J. G. (2005). Apnea testing for the diagnosis of brain death. *Acta Neurologica Scandinavica*, 112(6), 358-369.
- Larsen, M. P., Eisenberg, M. S., Cummins, R. O., & Hallstrom, A. P. (1993). Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: a graphic model. *Ann Emerg Med*, 22(11), 1652-1658.
- Laureys, S. (2005a). The neural correlate of (un)awareness: lessons from the vegetative state. *Trends Cogn Sci*, 9 556-559.
- Laureys, S. (2005b). Science and society: death, unconsciousness and the brain. *Nat Rev Neurosci*, 6(11), 899-909.
- Laureys, S., Owen, A. M., & Schiff, N. D. (2004). Brain function in coma, vegetative state, and related disorders. *Lancet Neurol*, 3(9), 537-546.
- Laureys, S., Berré, J., & Goldman, S. (2001). Cerebral Function in Coma, Vegetative State, Minimally Conscious State, Locked-in Syndrome, and Brain Death. In J.-L. Vincent (Ed.), *Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine* (pp. 386-396). Berlin: Springer.
- Lee U., Mashour G.A., Kim S., Noh G.J. & Choi B.M. (2009). Propofol induction reduces the capacity for neural information integration: implications for the mechanism of consciousness and general anesthesia. *Conscious Cogn*, 18, 56-64.
- Lee, W. H., Deng, Z.-D., Kim, T.-S., Laine, A. F., Lisanby, S. H., & Peterchev, A. V. (2012). Regional electric field induced by electroconvulsive therapy in a realistic finite element head model: influence of white matter anisotropic conductivity. *Neuroimage*, 59(3), 2110-2123.
- Liakopoulos, O. J., Allen, B. S., Buckberg, G. D., Hristov, N., Tan, Z., Villablanca, J. P., & Trummer, G. (2010). Resuscitation after prolonged cardiac arrest: role of cardiopulmonary bypass and systemic hyperkalemia. *Ann Thorac Surg*, 89(6), 1972-1979.
- Madl, C., & Holzer, M. (2004). Brain function after resuscitation from cardiac arrest. *Curr Opin Crit Care*, 10(3), 213-217.
- Maskrey, M., & Nicol, S. C. (1980). The respiratory frequency response to carbon dioxide inhalation in conscious rabbits. *J Physiol*, 301, 49-58.
- McKinstry, J. L., & Anil, M. H. (2004). The effect of repeat application of electrical stunning on the welfare of pigs. *Meat Sci*, 67(1), 121-128.
- Morcuende, S., Delgado-Garcia, J.-M., & Ugolini, G. (2002). Neuronal premotor networks involved in eyelid responses: retrograde transneuronal tracing with rabies virus from the orbicularis oculi muscle in the rat. *J Neurosci*, 22(20), 8808-8818.
- Newhook, J. C., & Blackmore, D. K. (1982a). Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves: Part 1 - The onset of permanent insensibility in sheep during slaughter. *Meat Science*, 6, 221-233.
- Newhook, J. C., & Blackmore, D. K. (1982b). Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves-part 2: The onset of permanent insensibility in calves during slaughter. *Meat Sci*, 6(4), 295-300.
- Nichol, G., Karmy-Jones, R., Salerno, C., Cantore, L., & Becker, L. (2006). Systematic review of percutaneous cardiopulmonary bypass for cardiac arrest or cardiogenic shock states. *Resuscitation*, 70(3), 381-394.
- Ommaya, A. K., & Gennarelli, T. A. (1974). Cerebral concussion and traumatic unconsciousness. Correlation of experimental and clinical observations of blunt head injuries. *Brain*, 97(4), 633-654.
- Ommaya, A. K., Rockoff, S. D., Baldwin, M., & Friauf, W. S. (1964). Experimental Concussion. *Journal of Neurosurgery*, 21(4), 249-265.
- Ongerboer de Visser, B. W., & Kuypers, H. G. (1978). Late blink reflex changes in lateral medullary lesions. An electrophysiological and neuro-anatomical study of Wallenberg's Syndrome. *Brain*, 101(2), 285-294.
- Pertovaara, A. & Almeida, A. (2006). Descending inhibitory systems In: *Handbook of Clinical Neurology*, Vol. 81 (3rd series. Vol.3). Eds. F. Cervero, T. Jensen. Edinburgh: Elsevier, p. 179-192 14 p.

- Purves D., Augustine G. J., Fitzpatrick D, Katz, L. C. Anthony-Samuel LaMantia, A. S. McNamara, J. O. & Williams, S. M., editors. (2001). Neuroscience. 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates. Motor Control Centers in the Brainstem: Upper Motor Neurons That Maintain Balance and Posture. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11081/>
- Prunier, A., Mounier, L., Le Neindre, P., Letierrier, C., Mormède, P., Paulmier, V., Prunet P., Terlouw C. & Guatteo, R. (2013). Identifying and monitoring pain in farm animals: a review. *animal*, 7(06), 998-1010.
- Raj, A.B.M., Gregory N.G., Wotton S.B., 1990. Effect of carbon dioxide stunning on somatosensory evoked potentials in hens. *Research in Veterinary Science*, 49, 355-359.
- Raj, A., & Gregory, N. G. (1990). Effect of rate of induction of carbon dioxide anaesthesia on the time of onset of unconsciousness and convulsions. *Research in Veterinary Science*, 49, 460-463.
- Rossen, R. R., Kabat, H., & Anderson, J. P. (1943). Acute arrest of cerebral circulation in man. *Archives of Neurology & Psychiatry*, 50(5), 510-528.
- 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. *J Neurophysiol*, 92(4), 2217-2238.
- Siegel, A., & Sapru, H.N. (2006). The reticular formation, Part 23. In: Siegel, A., Sapru, H.N. (Eds.), *The Neuron. Essential Neuroscience*, Section IV. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, London/Tokyo, Hong Kong, pp. 427-444.
- Silbernagl, S. & Despopoulos, A. (2003). *Color Atlas of Physiology 2003*, 5th edition, Thieme, Stuttgart, New York.
- St-John, W. M., & Paton, J. F. (2000). Characterizations of eupnea, apneusis and gasping in a perfused rat preparation. *Respir Physiol*, 123(3), 201-213.
- Sturges, B. K. (2005). *Neuro-ophthalmology: The Visible Nervous System 2nd Annual Veterinary Neurology Symposium*, University of California, Davis - USA 2005.
- 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 Res Brain Res Rev*, 32(2-3), 413-448.
- Terlouw, C., Bourguet, C., & Deiss, V. (2012). Evaluation de l'origine des mouvements musculaires des bovins après l'étourdissement et pendant la saignée. 19èmes Rencontres autour des recherches sur les ruminants, Paris, 321-324.
- Terlouw, E. M. C., Bourguet, C., & Deiss, V. (2015). La conscience, l'inconscience et la mort dans le contexte de l'abattage. Partie I. Mécanismes neurobiologiques impliqués lors de l'étourdissement et de la mise à mort. VPC.
- Thomas, P. D. (2000). The differential diagnosis of fixed dilated pupils: a case report and review. *Crit Care Resusc*, 2(1), 34-37.
- Torbey, M. T., Geocadin, R., & Bhardwaj, A. (2004). Brain arrest neurological outcome scale (BrANOS): predicting mortality and severe disability following cardiac arrest. *Resuscitation*, 63(1), 55-63.
- Trummer, G., Foerster, K., Buckberg, G. D., Benk, C., Heilmann, C., Mader, I., . . . & Beyersdorf, F. (2010). Successful resuscitation after prolonged periods of cardiac arrest: a new field in cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 139(5), 1325-1332.
- Velarde, A., Ruiz-de-la-Torre, J. L., Rosello, C., Fabtega, E., Diestre, A., & Manteca, X. (2002). Assessment of return to consciousness after electrical stunning in lambs. *Animal Welfare*, 11, 333-341.
- Verhoeven, M. T., Gerritzen, M. A., Hellebrekers, L. J., & Kemp, B. (2014). Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: a review. *Animal*, 1-11.
- Vogel, K. D., Badtram, G., Claus, J. R., Grandin, T., Turpin, S., Weyker, R. E., & Voogd, E. (2011). Head-only followed by cardiac arrest electrical stunning is an effective alternative to head-only electrical stunning in pigs. *J Anim Sci*, 89(5), 1412-1418.
- 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
- Vuyk, J., Engbers, F. H. M., Lemmens, H. J. M., Burm, A. G. L., Vletter, A. A., Gladines, M. P. R. R., & Bovill, J. G. (1992). Pharmacodynamics of Propofol in Female-Patients. *Anesthesiology*, 77, 3-9.
- Waalewijn, R. A., de Vos, R., Tijssen, J. G., & Koster, R. W. (2001). Survival models for out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation from the perspectives of the bystander, the first responder, and the paramedic. *Resuscitation*, 51, 113-122.
- 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 Sci*, 38(2), 329-340.
- Watts, J. M., & Stookey, J. M. (2000). Vocal behaviour in cattle: the animal's commentary on its biological processes and welfare. *Appl Anim Behav Sci*, 67(1-2), 15-33.
- Weston, C. F., Jones, S. D., & Wilson, R. J. (1997). Outcome of out-of-hospital cardiorespiratory arrest in south Glamorgan. *Resuscitation*, 34(3), 227-233.
- White, R. G., DeShazer, J. A., Tressler, C. J., Borchert, G. M., Davey, S., Wanninge, A., . . . & Clemens, E. T. (1995). Vocalization and physiological response of pigs during castration with or without a local anesthetic. *J Anim Sci*, 73(2), 381-386.
- Wijdicks, E. F. (2001). The diagnosis of brain death. *N Engl J Med*, 344(16), 1215-1221.
- Wotton, S. B., Gregory, N. G., Whittington, P. E., & Parkman, I. D. (2000). Electrical stunning of cattle. *Vet Rec*, 147(24), 681-684.
- Zerari-Mailly, F., Dauvergne, C., Buisseret, P., & Buisseret-Delmas, C. (2003). Localization of trigeminal, spinal, and reticular neurons involved in the rat blink reflex. *J Comp Neurol*, 467(2), 173-184.