



Particularités neurobiologiques et physiologiques des différentes techniques d'abattage

Abattage avec et sans étourdissement : conscience et induction de l'inconscience (partie 1).

Mots-clés : abattage, étourdissement, cerveau, conscience, inconscience

Auteur : Claudia Terlouw ¹, Barbara Ducreux ² et Cécile Bourguet ³

¹ INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, Université Clermont Auvergne, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

² Institut de l'Élevage, service Santé et bien-être, F-69364 LYON Cedex 7

³ Bureau ETRE, Etudes et Travaux de Recherche en Ethologie, Bravant, F-63210 OLBY

email de l'auteur correspondant : claudia.terlouw@inrae.fr

Nos connaissances scientifiques grandissantes permettent d'affiner notre compréhension des méthodes d'abattage. Chaque espèce et chaque technique d'étourdissement ou de mise à mort par la saignée a des spécificités du point de vue neurobiologique et physiologique. Ces spécificités sont abordées dans le présent article, ainsi que certains aspects pratiques et techniques qui peuvent interférer dans le processus de perte de conscience.

Résumé :

Les avancées en matière de pratiques d'abattage reposent à la fois sur des améliorations techniques et sur notre compréhension des principes neurobiologiques et des réactions physiologiques provoqués par les différentes techniques d'étourdissement et par la saignée. Cette revue présente nos connaissances scientifiques actuelles, relatives notamment aux structures cérébrales impliquées dans la conscience, et aux différents effets neurobiologiques et physiologiques que provoquent l'étourdissement et la saignée. Des illustrations par images de l'anatomie du cerveau visent à donner une meilleure compréhension des effets de l'étourdissement sur certaines structures cérébrales. Ces connaissances sont mises en relation avec des phénomènes et des problématiques que l'on peut observer sur le terrain, comme le retour de signes de conscience ou la présence de pédalages ou de convulsions.

Abstract: Neurobiological and physiological aspects of the different slaughter techniques

Slaughter with and without stunning: consciousness and induction of unconsciousness (part 1).

Advances in slaughter practices are based on technical improvements but also on our understanding of the neurobiological principles and the physiological reactions caused by the various stunning techniques and bleeding. This review presents our current scientific knowledge, in particular relating to the brain structures involved in consciousness and the various neurobiological and physiological effects caused by stunning and bleeding. Picture-based illustrations of the brain's anatomy are presented to provide a better understanding of the effects of stunning on certain brain structures. This knowledge presented is used to explain phenomena and issues that can be observed in the field, such as the return of signs of consciousness or the presence of paddling or convulsions, in order to understand better the underlying mechanisms.

INTRODUCTION

En France, on abat environ 4,6 millions de bovins, 23 millions de cochons, 4 millions de moutons par an dans environ 247 abattoirs. Les règles de mise à mort sont harmonisées au niveau européen par le Règlement CE n°1099/2009 du 24 septembre 2009. Ce dernier confie aux exploitants d'abattoir la responsabilité de prendre toutes les mesures nécessaires afin d'assurer la protection des animaux dans leur établissement. En France, des Guides de Bonnes Pratiques fournissent des recommandations aux abattoirs dans le respect du Règlement. Le Règlement ainsi que les Guides des Bonnes Pratiques s'appuient sur les connaissances scientifiques existantes. Une des obligations est

l'étourdissement de l'animal avant sa saignée. Il est provoqué par différentes techniques : mécanique, électrique ou par gaz (Terlouw *et al.*, 2015a). Dans le cadre d'abattages religieux, un abattoir peut obtenir une dérogation à l'étourdissement avant la saignée.

Le présent article présente les évolutions récentes de nos connaissances scientifiques pertinentes pour l'étourdissement et pour la mise à mort dans le contexte de l'abattage. Un deuxième article (Terlouw *et al.*, 2021) aborde les applications pratiques de ces connaissances dans le cadre de l'évaluation de l'inconscience.

I. DEFINITIONS

Quel est le lien entre la conscience et le cortex cérébral ?

Antonio Damasio a défini la conscience comme « un état d'esprit dans lequel il existe une connaissance de sa propre existence et de l'existence de son environnement » (Damasio, 2010). Ces connaissances nécessitent une intégration complexe des informations sensorielles (celles qui renseignent sur l'état du corps et sur l'environnement), des émotions (qui sont le moteur des motivations), et de la mémoire (où sont stockées des connaissances apprises). Par exemple, lorsqu'une gazelle assoiffée se trouve à proximité d'un plan d'eau mais également d'un lion, elle ne doit pas avoir ces informations successivement. Son cerveau doit conjuguer l'ensemble de ces informations et les utiliser de manière intégrée afin de pouvoir éviter le lion tout en accédant à l'eau. Cette capacité d'association des informations fait appel au processus de la conscience.

La conscience n'est pas binaire, mais doit être vue comme un continuum qui connaît différentes formes et niveaux (Terlouw *et al.*, 2015a). L'inconscience est caractérisée par une absence totale de réponses. Un état de conscience diminuée peut être associé à une somnolence, une diminution des réactions à l'environnement, ou des réponses mal adaptées (Terlouw *et al.*, 2015a).

Différentes structures nerveuses sont essentielles pour élaborer l'analyse des informations reçues et les réponses de l'individu :

Le cortex cérébral est la couche périphérique d'une apparence plissée du cerveau. Il joue un rôle essentiel dans les processus impliqués dans l'expérience consciente. Parmi les différentes zones de cette structure, les cortex visuel, auditif, somesthésique¹, gustatif et olfactif sont les cortex primaires, qui reçoivent des informations provenant des nerfs périphériques. Leur rôle est d'assurer le premier décodage des signaux sensoriels. Le cortex moteur primaire envoie des

signaux aux muscles, permettant à l'animal d'agir par rapport à ce qu'il a perçu et à son analyse de la situation. Pour faire cette analyse, le cerveau doit intégrer toutes les informations reçues. Cette fonction est assurée par les cortex associatifs : ils interprètent les informations principales, les intègrent dans un contexte plus large et planifient les réponses appropriées. Le bon fonctionnement des cortex primaires et associatifs est nécessaire pour connaître, comprendre et donner un sens à ce qui est perçu, et ainsi d'avoir une perception consciente de l'environnement et de soi (Crick et Koch, 2003 ; Laureys, 2005).

Le thalamus est un relais essentiel entre le reste du corps et le cortex pour le traitement des informations visuelles, auditives, gustatives, somesthésiques et motrices. Ainsi, de larges lésions du thalamus abolissent la conscience (Terlouw *et al.*, 2015a).

La formation réticulée est située dans le tronc cérébral, à la base du cerveau (Parvizi et Damasio, 2001). Les faisceaux nerveux dans le thalamus et l'hypothalamus, issus de la formation réticulée et certaines structures proches, activent le cortex (Figure 1a). Cette activation est nécessaire pour le fonctionnement correct du cortex et donc, pour la conscience. La formation réticulée et les faisceaux qui en émergent constituent le système réticulaire activateur ascendant. Il joue un rôle essentiel dans le maintien de l'éveil. Son dysfonctionnement abolit la conscience (Terlouw *et al.*, 2015a ; Figure 1a).

Des dysfonctionnements au niveau du thalamus, de l'hypothalamus, du mésencéphale et/ou du pont rostral entraînent une réduction, voire une absence totale de conscience (Moruzzi et Magoun, 1949; Batini *et al.*, 1958; Gottesmann, 1988; Parvizi et Damasio, 2003). Le dysfonctionnement du cortex dans son ensemble entraîne également une perte de conscience (Laureys, 2005).

II. L'ETOURDISSEMENT, PRINCIPES ET METHODES

2.1 Quel est le but de l'étourdissement ?

L'étourdissement a pour but d'induire un état d'inconscience. L'animal est alors insensible aux stimulations venant de son environnement et de son corps et ne ressent plus

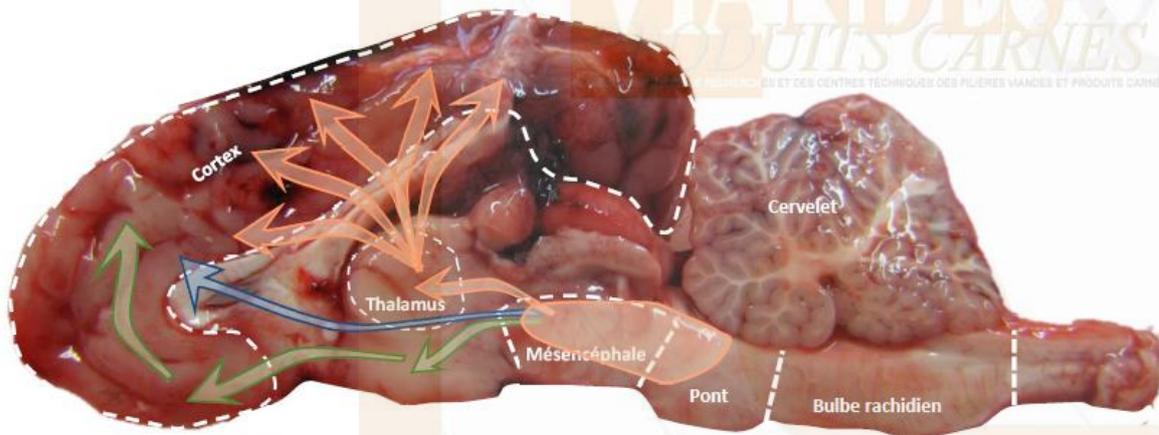
ni douleur ni peur : son cerveau n'est plus en état de traiter les informations sensorielles. Cet état doit durer jusqu'à la mort de l'animal qui est provoquée par la saignée. En temps

¹ Traitant les différentes sensations venant du corps, entre autres le toucher, la chaleur et la douleur.

normal, le cerveau a toujours un certain niveau d'activité, même lors des phases de sommeil. Cette activité implique la dépolarisation (perte de la charge électrique négative) et la repolarisation (restauration de cette charge) continues des

neurones du cerveau. Chez l'animal inconscient, l'activité électrique du cortex est réduite, et parfois quasi nulle (Newhook et Blackmore, 1982a ; 1982b ; Raj *et al.*, 2006 ; Lambooij *et al.*, 2012).

Figure 1 : Anatomie du cerveau
1a : Coupe sagittale d'un cerveau de mouton (frais)

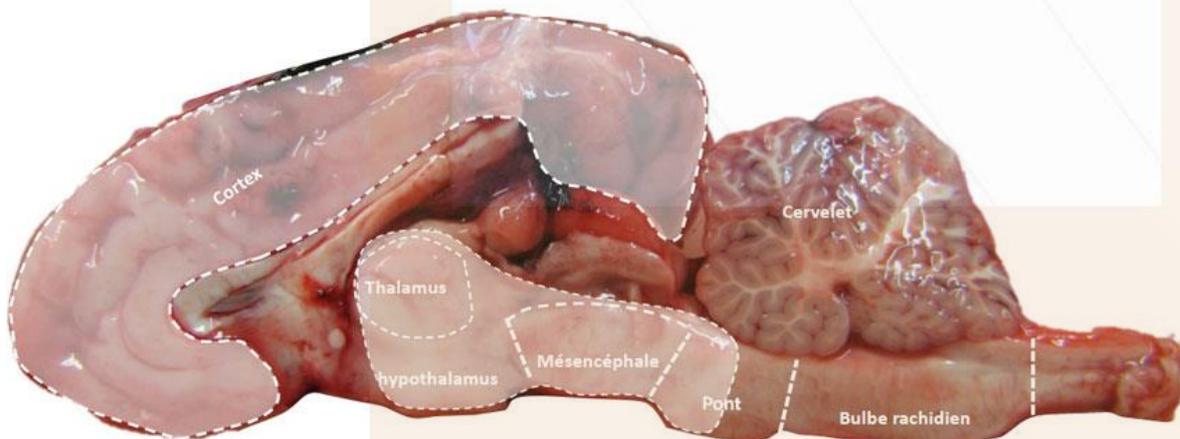


Le système réticulaire activateur ascendant comprend trois voies principales : 1. via le thalamus situé juste au-dessus du tronc cérébral (flèches oranges), 2. via le télencéphale basal (flèches vertes), ou 3. par voie directe (flèche bleue; Porrino *et al.*, 1982; Parvizi et Damasio, 2001; 2003; Weiss *et al.*, 2007; Brown *et al.*, 2012).

Crédit photo V. Paulmier et C. Terlouw. Reproduite avec la permission de CAB International (Terlouw *et al.*, 2020).

a)

1b : Les zones ombrées indiquent les régions essentielles à la conscience.



Reproduite avec la permission de CAB International (Terlouw *et al.*, 2020).

2.2 Comment est provoquée la perte de conscience ?

La perte de conscience est provoquée par un dysfonctionnement généralisé des hémisphères cérébraux, dont fait partie le cortex, ou par une dégradation du système réticulaire activateur ascendant, abolissant son effet stimulant sur le cortex. Plus précisément, la tige perforante utilisée lors de l'abattage vise à provoquer de larges dommages au thalamus et à d'autres structures dont l'hypothalamus et celles

situées dans la région du mésencéphale et du pont rostral (Figure 1b). En revanche, les étourdissements électriques et gazeux visent à provoquer un dysfonctionnement temporaire ou permanent de parties plus étendues du cerveau comprenant les deux hémisphères et le tronc cérébral (Terlouw *et al.*, 2015a).

2.3 Les différentes méthodes d'étourdissement

2.3.1 Etourdissement mécanique

Un pistolet à tige perforante est utilisé pour l'étourdissement mécanique. Une tige est propulsée par l'explosion de poudre (systèmes thermiques) ou par de l'air comprimé (systèmes pneumatiques). Il peut être utilisé chez

toutes les espèces. La position et l'orientation correctes du tir dépendent de l'espèce (Figures 2 et 3).

La perte de conscience est provoquée par plusieurs phénomènes (Tableau 1) :

- Une **onde de choc** est générée par la percussion de la tige sur la boîte crânienne. Elle se propage à travers toutes les structures cérébrales. Elle génère des microdéchirures, des lésions dans le tissu cérébral et des perturbations du flux sanguin. Elle provoque également une dépolarisation des neurones des hémisphères cérébraux et souvent du tronc cérébral. En conséquence, le fonctionnement des neurones est perturbé ce qui empêche le cerveau d'intégrer correctement les informations venant du corps et de l'environnement. Selon l'intensité et l'emplacement de l'impact, le niveau de conscience l'animal est diminué, voire supprimé (Figure 4a). Cet effet est le plus souvent temporaire (Tableau 1).

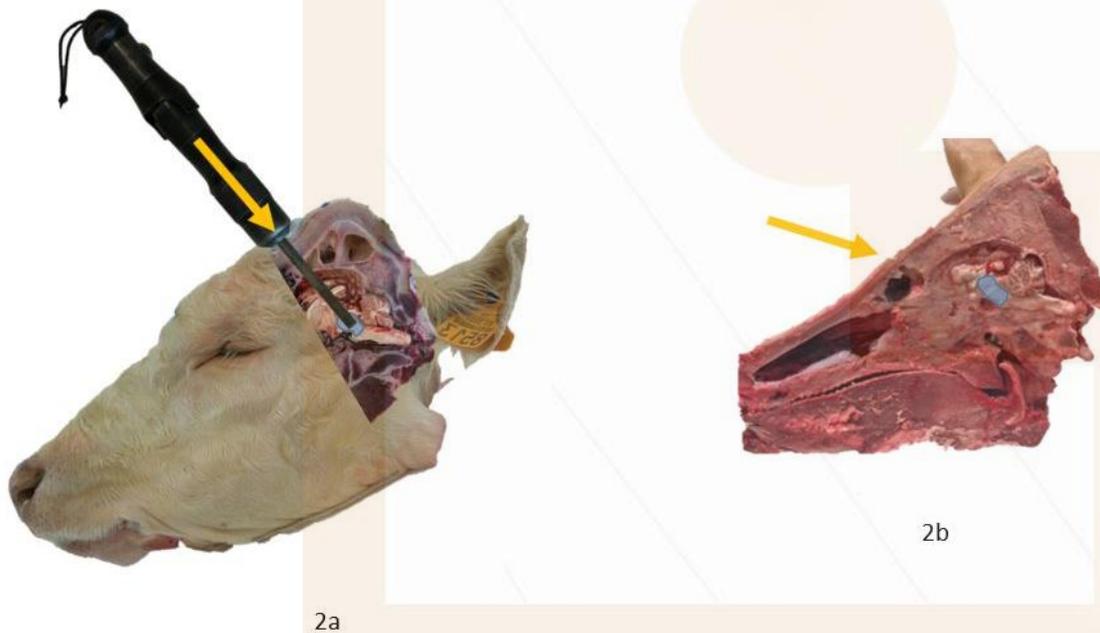
- Une **destruction mécanique de certains tissus** est provoquée par la tige. En effet, la tige cible le thalamus et/ou

le tronc cérébral (mésencéphale, pont et bulbe rachidien), et/ou une partie de la formation réticulée. En pénétrant, la tige provoque une fragmentation locale du crâne et entraîne avec elle des fragments d'os, des poils, ainsi que des tissus cutanés et cérébraux. Le phénomène d'aspiration et le vide laissés par le retrait de la tige participent également à la destruction du tissu cérébral environnant (Figures 4b et 4c ; Tableau 1).

- Des **hémorragies** entraînent une pression accrue sur les structures cérébrales ce qui les empêche de fonctionner et les privent d'un apport sanguin essentiel à leur fonctionnement (Figures 4c et 4d ; Tableau 1).

Lorsque le tir est correctement réalisé à l'aide d'un matériel entretenu, la perte de conscience est instantanée et irréversible.

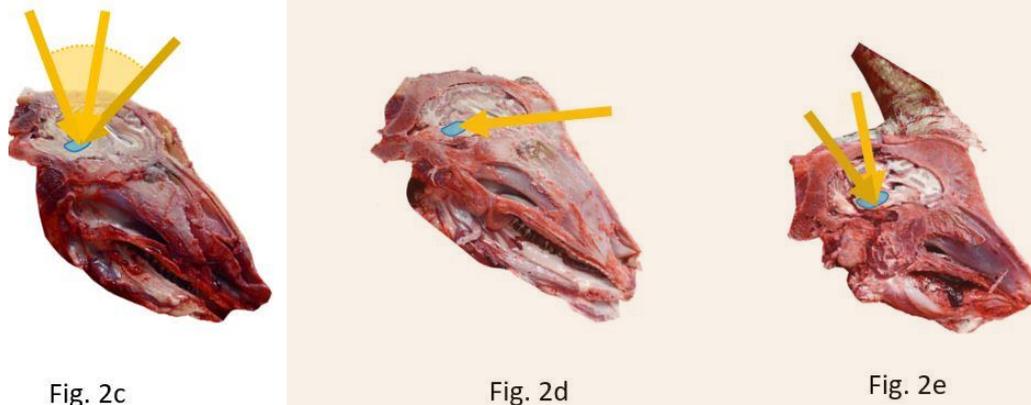
Figure 2 : Positions et orientations possibles du pistolet à tige perforante selon les espèces.



La zone bleue est la cible de la tige perforante. Les flèches jaunes indiquent les différentes possibilités de positionnement du pistolet ; il s'agit, dans ces exemples, d'un positionnement sur la ligne médiane de la tête de l'animal (c'est-à-dire central par rapport à l'axe gauche-droite).

2a. Chez les bovins. Position frontale au niveau de l'intersection des deux diagonales allant du coin intérieur de l'œil à la base supérieure de la corne opposée, mais voir également « Point de vigilance 1 » et Figure. 4. Orientation : perpendiculaire au front. Vache Charolaise, crédit photo C. Mallet et C. Terlouw (Inrae).

2b. Chez le porc. Position frontale, 2 à 5 cm au-dessus de la ligne des yeux (pour les porcelets jusqu'aux verrats, respectivement). Orientation : presque horizontale. Crédit photo Ph. Pergent et Les Abattoirs Puylaurentais.



2c. Chez les ovins et caprins sans cornes. Position au sommet du crâne, orientation verticale mais à ajuster selon l'emplacement exact du pistolet (cf. image). La position verticale a dans sa trajectoire essentiellement le thalamus et ses projections. Néanmoins, sur les petites espèces, les dommages cérébraux sont larges et atteindront aussi des parties rostrales du tronc cérébral. La position verticale est à privilégier car le risque de manquer la cible est restreint. Photo d'ovin.

2d. Chez les ovins avec des cornes latérales. Position frontale juste au-dessus de la ligne des yeux, orientation presque horizontale. Il est à noter qu'avec la position frontale, le tronc cérébral peut facilement être manqué si le pistolet est orienté dans la direction de l'abdomen de l'animal. Photo d'ovin.

2e. Chez les ovins et caprins avec des cornes sur le haut du crâne. Position occipitale derrière la crête entre les cornes. Orientation vers la base de la langue. Avec la position occipitale, le tir manquera la cible lorsqu'il est trop en arrière ; le risque est de toucher la moelle épinière et de paralyser l'animal sans le rendre inconscient et sans pouvoir le détecter (cf. Tableau 1 et Encadré 2 dans Terlouw *et al.*, 2021). Photo de caprin.

Crédit photo B. Ducreux, Idele.

Tableau 1. Conséquences physiologiques et réversibilité des effets de différentes techniques d'étourdissement et de saignée sans étourdissement.

Effets	Conséquences physiologiques	Réversibilité des effets à court terme
<i>Tige perforante</i>		
Onde de choc	Afflux et efflux excessifs d'ions : dépolarisation des cellules nerveuses	Potentiellement réversible
	Ralentissement de la production d'énergie par les cellules	
	Compression des tissus : diminution du fonctionnement des nerfs	
Pénétration de la tige	Compression des tissus : diminution du fonctionnement des nerfs	Potentiellement réversible
	Déchirures et ruptures du tissu cérébral	Irréversible
	Déchirures des vaisseaux	
Hémorragies cérébrales	Circulation sanguine insuffisante : manque de glucose de d'oxygène entraînant un manque d'énergie dans les cellules du cerveau	Irréversible
	Compression des tissus : diminution du fonctionnement des nerfs	
<i>Etourdissement électrique</i>		
Courant traversant le cerveau	Dépolarisation synchronisée des cellules nerveuses, se propageant à d'autres régions du cerveau	Réversible
Courant traversant le cœur (électronarcose à 3 points uniquement)	Fibrillation cardiaque : ralentissement de la circulation sanguine	Potentiellement réversible
Courant traversant la moelle épinière (électronarcose à 3 points uniquement)	Manque de force de contraction du muscle squelettique	Réversible
<i>Etourdissement par CO₂</i>		
Absorption et dissolution du CO ₂ dans le sang	Acidification des cellules cérébrales	Réversible ou irréversible en fonction des durées d'exposition et de la concentration en CO ₂ utilisées
<i>Saignée sans étourdissement</i>		
Hémorragie corporelle massive provoquant une réduction du débit sanguin cérébral	Manques de glucose et d'oxygène entraînant un manque d'énergie dans les cellules du cerveau	Irréversible

Figure 3 : Photos de la tête d'un jeune taurillon ayant reçu un premier tir superficiel et un deuxième provoquant un état d'inconscience durable (abattage en conditions de terrain).

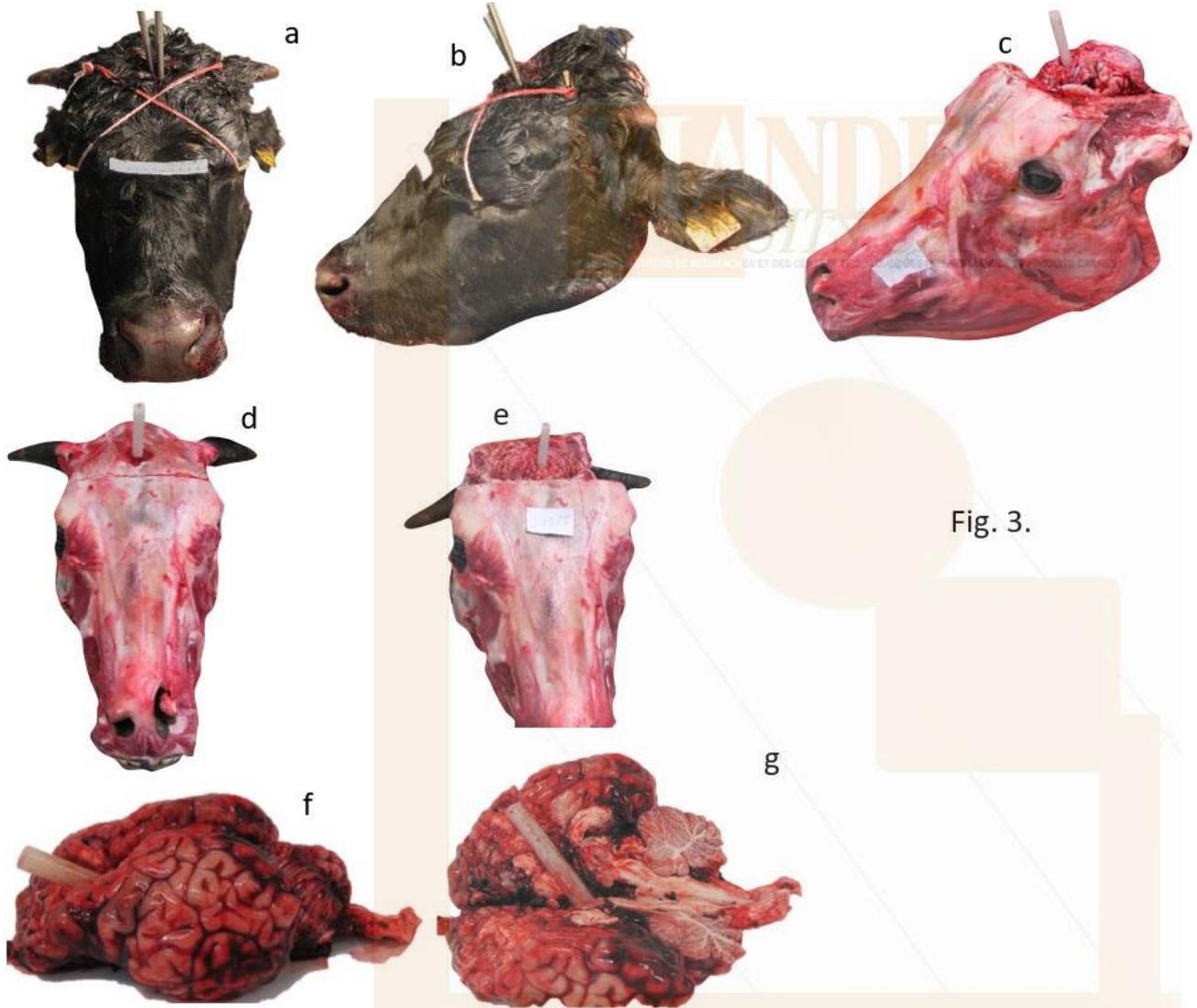
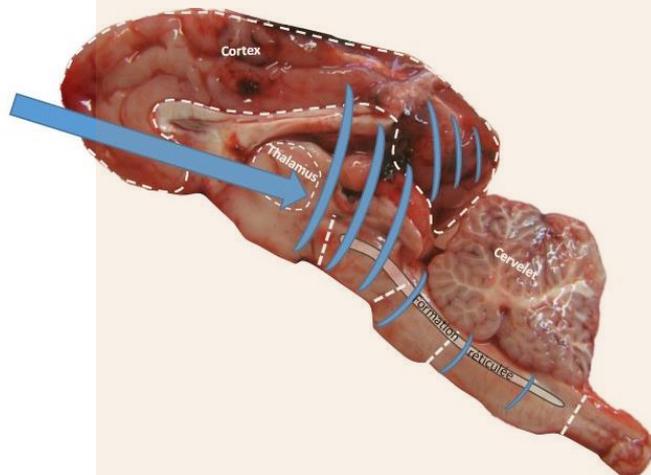


Fig. 3.

Positionnement des deux tirs sur la tête avec la peau (a et b) et sur le crâne sans la peau (c, d, e). Lors du deuxième tir, la tige est entrée au niveau du lobe frontal (f) et a endommagé l'hypothalamus (g). Son passage a notamment provoqué des hémorragies étendues. Des tiges métallique (tête) ou en silicone (crâne, cerveau) ont été placées dans la trajectoire de la tige perforante afin de les visualiser. Crédits photos Christophe Mallet et Nicolas Bouko-Lévy (INRAE).

Figure 4 : Actions de la tige perforante

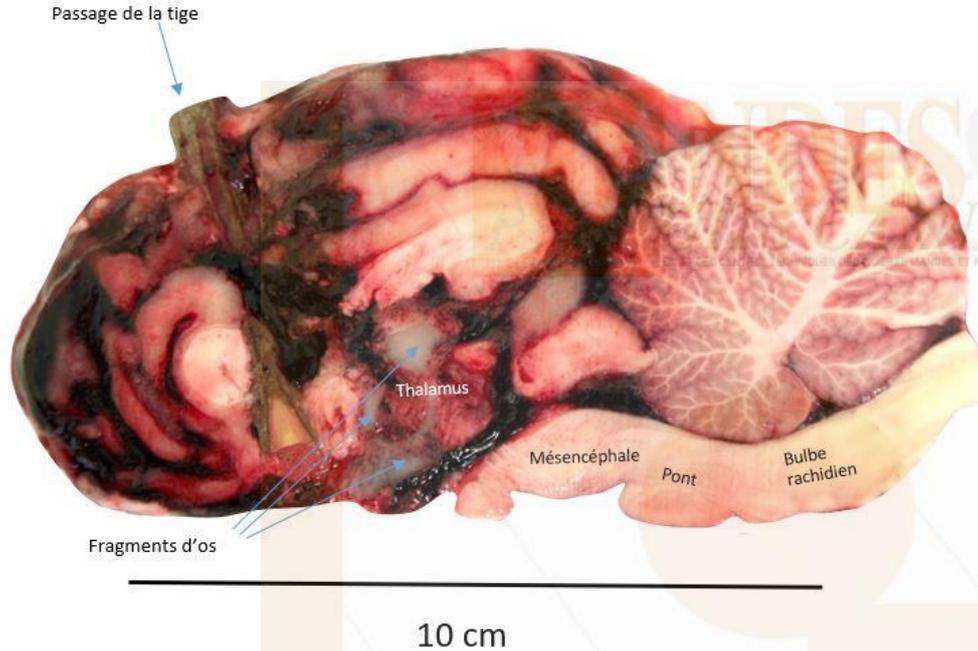
a Illustration schématique de la compression du tissu cérébral (onde de choc) lorsque la tige pénètre dans le cerveau du mouton.



Reproduite avec la permission de CAB International (Terlouw *et al.*, 2020).

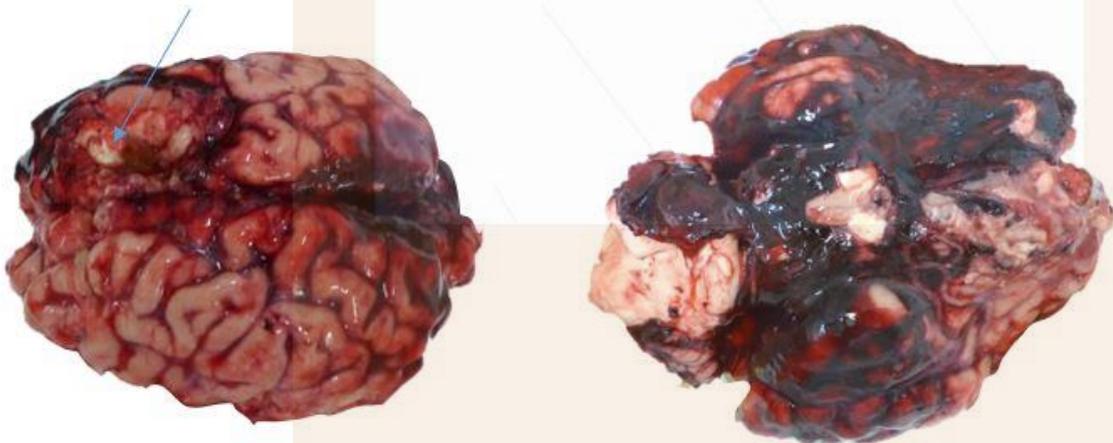
b. Coupe sagittale du cerveau congelée d'une vache Charolaise après un étourdissement efficace par tige perforante.

On observe une destruction locale, des fragments d'os et une hémorragie étendue (zones rouge foncé). La tige n'a pas atteint le tronc cérébral car le pistolet a été positionné trop bas de plusieurs centimètres, mais l'animal était inconscient en raison des autres dommages cérébraux provoqués. Crédit photo N. Bouko-Levy (INRAE, ENVT). Reproduite avec la permission de CAB International (Terlouw *et al.*, 2020).



c. En plus des hémorragies à l'intérieur du cerveau (Figure 4b), la tige perforante provoque souvent des hémorragies étendues à la surface supérieure (image à gauche) et à la base du cerveau (image à droite). Les hémorragies sont irréversibles et empêchent le cerveau de fonctionner correctement. Ceci peut provoquer l'inconscience, même si le mésencéphale et/ou le pont n'a pas été perforés par la tige.

point d'entrée de la tige perforante



2.3.2 Etourdissement électrique

En Europe, l'étourdissement électrique, ou électronarcose, est couramment utilisé sur les volailles, les ovins, les porcs, les veaux et plus rarement sur les bovins adultes.

Dans le cas de l'électronarcose à deux points (ou « tête seule »), un courant électrique d'intensité qui respecte les recommandations réglementaires traverse le cerveau et provoque une série d'évènements (Tableau 1) :

- Le courant déclenche d'abord une crise épileptique. La perte de conscience est induite si la crise épileptique est généralisée : elle se propage et implique différentes structures cérébrales, notamment le tronc cérébral, le thalamus et le cortex (Terlouw *et al.*, 2015a).

- La crise est suivie d'une période d'activité cérébrale fortement réduite reflétant la dépolarisation massive et

synchronisée des neurones (Blumenfeld, 2005). Pendant la crise et tant que les neurones sont dépolarisés, l'animal est inconscient. Le passage du courant à travers le cerveau provoque une phase tonique, pendant laquelle les muscles sont en contraction, elle est suivie par deux phases cloniques successives plus ou moins marquées (souvent perçues comme une seule phase) qui sont caractérisées par des convulsions (Velarde *et al.*, 2002).

- Progressivement, la charge électrique des neurones et l'état métabolique du cerveau se rétablissent et l'animal reprend peu à peu conscience (Terlouw *et al.*, 2015a). L'effet est donc réversible (Tableau 1).

Selon une étude réalisée sur des ovins en conditions expérimentales, avec une application bien maîtrisée, et en mettant de l'eau salée sur les électrodes pour favoriser le passage du courant, le retour de la conscience se situe à la fin de la première phase de convulsions, soit au bout de 30 secondes environ. Ces données sont basées sur l'analyse de l'activité électrique cérébrale (EEG) lors d'une électronarcose à deux points (50Hz et 250V pendant 3 secondes, Velarde *et al.*, 2002). Sur le terrain, où les conditions sont plus difficiles à maîtriser, pour éviter que l'animal reprenne conscience avant la fin de la saignée, celle-ci doit être réalisée immédiatement après le retrait des électrodes, de préférence pendant la phase tonique de l'animal (qui dure 10 secondes au maximum) ; cela facilite également le geste de saignée. Ainsi, l'EFSA recommande un délai maximal de 8 secondes (2004).

La méthode à trois points ou « tête-corps » comprend, en plus des 2 points de contact qui permettent le passage de courant à travers le cerveau, un troisième point de contact qui entraîne, dans un second temps, une stimulation électrique dans la région du cœur.

La position du 3^{ème} point de contact varie d'un système à un autre : il peut être positionné selon les espèces sur le thorax, voire sur une patte ou sur le dos au niveau des épaules. Les effets provoqués sont différents de ceux provoqués par la méthode à deux points :

- La stimulation électrique traversant le cœur provoque une fibrillation cardiaque. Par conséquent, le débit sanguin est fortement réduit aggravant l'hypoxie cérébrale ce qui a minima approfondit et prolonge la durée de l'inconscience induite par les électrodes situées au niveau de la tête (Terlouw *et al.*, 2015a). La fibrillation cardiaque étant fréquemment suivie d'un arrêt cardiaque, l'étourdissement à trois points est souvent irréversible à la différence de l'électronarcose à deux points (Terlouw *et al.*, 2015a; Lambooij et Spanjaard, 1982).

- Les contractions musculaires toniques et cloniques sont souvent moins prononcées qu'avec la méthode à deux points (Wotton *et al.*, 1992). La raison est qu'une partie du courant visant à induire une fibrillation cardiaque peut traverser la moelle épinière ce qui paralyse partiellement l'animal.

- Les premières secondes après l'application du courant, l'effet partiellement paralysant peut masquer d'éventuels signes de conscience (observations personnelles C. Bourguet ; cf. Point de vigilance 1).

Lorsque le courant traverse les tissus, le circuit électrique est en réalité une combinaison de circuits non-uniformes (Prentice, 2011). La distribution exacte des circuits entre les électrodes dépend de l'emplacement des électrodes et des caractéristiques des tissus (Terlouw *et al.*, 2015a). Les poils, la laine, les plumes, les os, la saleté, les tissus adipeux et la couche externe de la peau ont une résistance électrique relativement élevée et peuvent partiellement bloquer le transfert du courant des électrodes au cerveau (Faes *et al.*, 1999; Velarde *et al.*, 2000; Grandin, 2019). Il est essentiel de s'assurer qu'une quantité suffisante d'électricité traverse le cerveau et que cela se produise instantanément (Lambooij, 1982; Lambooij et Spanjaard, 1982). Le positionnement des électrodes doit maximiser la quantité de courant traversant spécifiquement le cerveau. Pour cela, elles doivent être placées de part et d'autre du cerveau (cf. Point de vigilance 2). Les trois positions optimales sont : entre les yeux et la base des oreilles ; sous la base des oreilles ; en diagonale : une

électrode entre l'œil et l'oreille et l'autre de l'autre côté de la tête derrière l'oreille ; Figure 5 ; Anil et McKinstry, 1998). La position dans le cou, derrière les oreilles, peut fonctionner dans certains cas, mais elle n'est pas recommandée car le cerveau n'est pas au centre du circuit et il est généralement nécessaire d'utiliser des paramètres électriques plus élevés que ceux recommandés pour éviter un retour de conscience très rapide. Le placement des électrodes de part et d'autre du museau ou de la mâchoire ne donne pas de résultats satisfaisants (Anil et McKinstry, 1998) et sont à proscrire.

L'humidité de la peau au niveau de l'emplacement des électrodes facilite le passage du courant entre les électrodes et donc à travers le cerveau si les électrodes sont correctement positionnées. Une humidification légère de la tête de l'animal est donc recommandée. Toutefois, le niveau d'humidité doit être limité. En effet, si la tête de l'animal est mouillée, c'est-à-dire qu'un film d'eau couvre sa surface, le courant peut passer en surface, sans atteindre le cerveau ou insuffisamment. Il est rappelé que la valeur de l'intensité affichée par le boîtier d'électronarcose n'est pas l'intensité qui traverse le cerveau, mais l'intensité délivrée entre les électrodes. Celle-ci peut donc être correcte, bien que l'intensité traversant le cerveau soit insuffisante ce qui entraîne un étourdissement insatisfaisant de l'animal. Il est donc indispensable de s'assurer non seulement que l'intensité délivrée soit correcte mais également que l'animal est bien inconscient jusqu'à sa mort. De même, si le corps de l'animal est mouillé, le passage du courant est diffusé sur l'ensemble du corps au lieu d'être concentré au niveau du cerveau, ce qui affecte l'efficacité de l'électronarcose et entraîne un stimulus très douloureux pour l'animal (Velarde *et al.*, 2000). Ainsi, il faut éviter de mouiller la tête de l'animal avec un jet d'eau par exemple, ou de brumiser la totalité du corps de l'animal juste avant l'amenée dans le piège.

Le niveau d'hydratation de l'animal joue aussi un rôle : chez des animaux déshydratés le passage du courant est plus difficile et donc, il faut un voltage plus élevé pour obtenir un résultat satisfaisant (Sparrey et Wotton, 1997 ; Grandin, 2015). Il est d'ailleurs rappelé qu'à l'abattoir les animaux doivent avoir un accès à des abreuvoirs propres et fonctionnels sur toutes les aires de stockage (Règlement CE 1099/2009). Ailleurs (aires de tri, zones de circulation), les animaux ne doivent pas rester plus d'une heure s'il n'y a pas d'abreuvoir (30 min selon Grandin, 2019). Afin que les animaux aient un réel accès à l'eau, il est préférable que chaque parc dispose de plusieurs abreuvoirs positionnés à différents endroits du parc. Cela permet également d'avoir des points d'eau de secours en cas de panne d'un des abreuvoirs. Enfin, les densités d'hébergement doivent permettre que tous les animaux aient facilement accès à l'eau, ce qui n'est généralement pas possible avec les densités issues de la réglementation Transport (Règlement CE 1/2005), fréquemment utilisées sur le terrain pour l'hébergement en abattoir.

Enfin, lorsque le courant commence à circuler, la résistance des tissus diminue progressivement (Kalinowsky, 1939 ; Fish et Geddes, 2009 ; Wotton et O'Callaghan, 2002). Par conséquent, le voltage initial nécessaire pour atteindre instantanément l'intensité correcte est plus élevé que par la suite (Gregory, 2001).

Figure 5 : Positionnements possibles des pinces d'électronarcose
(D'après Anil et McKinstry, 1998 et Štembirek *et al.*, 2012).



Positions de façon symétrique de part et d'autre sur la tête ; Position 1 : entre les yeux et la base des oreilles ; Position 2 : sous la base des oreilles ; Position 3 : sur le haut du cou, derrière les oreilles. Position diagonale non symétrique ; 4 : placement d'une électrode en haut de la tête et l'autre sous la tête derrière la mâchoire. Les pinces doivent enserrer le cerveau le mieux possible pour qu'une quantité maximale du courant le traverse. Par exemple, la position 3 est relativement éloignée du cerveau et il est probable qu'une partie du courant traverse d'autres tissus que le cerveau ; elle risque donc d'être moins efficace. D'autres facteurs qui interviennent dans l'efficacité de l'électronarcose sont la présence de poils, de laine, de plumes, des tissus ayant une résistance relativement élevée à l'électricité, ou encore des fuites de courant liés à un matériel défectueux ou mal entretenu ou encore un animal mouillé (voir le texte pour les détails).

2.3.3 Etourdissement par gaz

L'étourdissement par gaz est utilisé pour des porcs et des volailles. Le principe est l'immersion des animaux dans un mélange de gaz contenant de fortes concentrations de CO₂. Les porcs sont placés par groupe de 4 à 8 animaux dans une nacelle et plongés dans une fosse remplie d'un mélange de CO₂ et d'air atmosphérique. Ainsi, la concentration de CO₂ est plus élevée dans l'air inspiré que dans le sang.

Les effets sont progressifs :

- Le CO₂ est absorbé dans la circulation sanguine et acidifie le sang, conduisant à une acidification des cellules cérébrales (Tableau 1).

- L'acidification des cellules cérébrales provoque une diminution de l'activité cérébrale et une perte de conscience. La respiration ralentit et lorsque l'exposition au gaz perdure, elle s'arrête, entraînant la mort (Terlouw *et al.*, 2015a).

2.3.4 Saignée avec ou sans étourdissement

La saignée peut être pratiquée sur un animal inconscient, sur un animal mourant (suite à des techniques d'étourdissement au gaz ou électrique irréversibles) ou en cas de dérogation dans le cadre d'abattages religieux, sur un animal pleinement conscient. 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

- Au début de l'exposition au gaz, la fréquence cardiaque augmente, puis ralentit et finalement s'arrête si l'animal reste immergé dans le gaz (Terlouw *et al.*, 2015a).

Les délais pour obtenir la perte de conscience et l'induction de la mort sont plus courts avec des concentrations de CO₂ plus élevées mais ils dépendent de l'espèce (Conlee *et al.*, 2005 ; Terlouw *et al.*, 2015a). La réversibilité de l'étourdissement dépend donc de l'espèce, de la concentration en CO₂, de la durée de l'exposition et des caractéristiques de l'animal (Tableau 1 ; âge, poids, état global de la santé, etc.). Une immersion de 3 minutes dans plus de 90% de CO₂ est nécessaire pour obtenir un étourdissement irréversible (Llonch *et al.*, 2013), ce qui est recommandé afin d'éviter tout risque de reprise de conscience.

non-étourdi, ces manques entraînent une diminution progressive (non immédiate) du niveau de conscience causée par un ralentissement de l'activité cérébrale (Terlouw *et al.*, 2015a). Si les manques d'oxygène et de glucose persistent, les cellules nerveuses du cerveau, y compris celles qui sont en charge des fonctions vitales (respiration, homéostasie, régulation de la température corporelle), sont irréversiblement endommagées et l'animal meurt.

2.4 Quels sont les délais d'induction de l'inconscience ?

La question de savoir si l'animal perçoit les interventions qui précèdent sa perte de conscience est importante. Le cerveau a besoin de moins d'une demi-seconde (entre 250 et 400 ms) pour faire émerger une perception consciente (Encadré 1).

L'étourdissement mécanique provoque une perte de conscience avant que l'animal ne puisse percevoir de la douleur, de la peur ou d'autres formes d'émotions négatives (Terlouw *et al.*, 2015a). Par exemple, chez une vache

Holstein, la distance entre la peau du front et le tronc cérébral est d'environ 7,5 cm et la vitesse de la tige est comprise entre 27 et 61 m / s (Gibson *et al.*, 2015; Dörfler *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2017). Ainsi, la tige atteint les structures cérébrales profondes au maximum en 30 millisecondes. L'effet initial du tir, provoqué par l'onde de choc, est encore plus rapide et atteint les structures profondes en quelques millisecondes (Martin, 2016; Chafi *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2013). Ainsi, la tige perforante induit une perte de conscience

beaucoup plus rapidement que les 250 à 400 ms nécessaires au traitement d'informations conscientes (Encadré 1) et l'animal n'a pas de perception consciente du tir : si le tir est correctement réalisé, il ne ressent donc ni stress ni douleur.

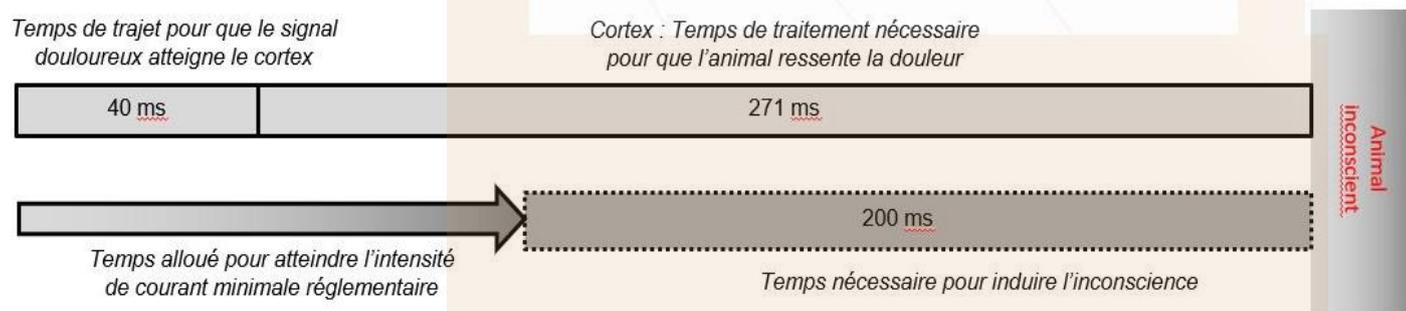
Lorsqu'elle n'induit pas une perte de conscience immédiate, l'administration d'un choc électrique à la tête est douloureuse (Impastato, 1954 ; Fish et Geddes, 2009). Il est donc essentiel que l'intensité du courant permettant d'induire l'inconscience soit atteinte instantanément. Une fois qu'un courant d'intensité suffisante traverse le cerveau, la perte de conscience survient en 200 ms (Kalinowsky, 1939 ; Liberson, 1948; Cook *et al.*, 1995). A partir de ce moment, il n'y a plus de perception consciente de douleur ou de peur. Tenant compte du temps nécessaire aux signaux de douleur pour atteindre le cortex et du temps nécessaire au traitement des

signaux avant que l'animal ne ressente de la douleur (Encadré 1), le temps maximal alloué pour atteindre l'intensité de courant correcte est très court (probablement une centaine de ms ; Figure 6).

L'induction de l'inconscience lors d'un étourdissement par gaz et lors de l'abattage sans étourdissement n'est pas instantanée. Ces délais sont d'environ 20 secondes pour un étourdissement par gaz chez le porc et variables lors de l'abattage sans étourdissement chez les bovins (jusqu'à plusieurs dizaines de secondes). Ce délai est moins variable et plus court chez les ovins, avec 14 secondes en moyenne. Pendant cette période d'induction, l'animal a une perception consciente de la situation et ressent donc vraisemblablement de la peur et de la douleur (Terlouw *et al.*, 2015a).

Encadré 1. Temps nécessaire pour que des informations provenant du corps ou de l'environnement deviennent conscientes
Un certain temps est nécessaire pour que les informations sensorielles (toucher, vision, douleur, etc.) atteignent le cortex et soient traitées pour donner lieu à une expérience consciente.
*Suite à un stimulus nocif, une douleur immédiate, aiguë, vive et précise est perçue. Elle fait place ensuite à une douleur plus diffuse et plus sourde. Les messages de la première douleur se déplacent vers le cerveau à une vitesse comprise entre 5 et 30 m/s, tandis que ceux du deuxième type, survenant plus tard, se propagent à des vitesses inférieures (2 m/s ; Purves *et al.*, 2008). Ploner *et al.* (2006) observent que 128 millisecondes (ms) ont été nécessaires pour qu'une stimulation nocive sur la main atteigne le cortex somesthésique (vitesse d'environ 8 m/s), puis 271 ms pour qu'elle soit traitée par le cortex et que la personne réagisse.*
*En comparaison, les stimuli tactiles (non nocifs) se déplacent plus rapidement (de 30 à 70 m/s) et ont besoin de 36 ms pour se déplacer de la main au cortex (soit une vitesse d'environ 30 m/s), mais 333 ms pour être traités (Ploner *et al.*, 2006). Par conséquent, les stimuli tactiles et douloureux sont ressentis 370 à 400 ms après l'application. Ce délai est fonction de la distance entre le stimulus et le cerveau.*
Les signaux visuels, auditifs et olfactifs véhiculent des informations sur l'environnement pouvant indiquer la présence d'un danger et donc susciter la peur. La perception consciente de ces signaux intervient généralement 250 à 400 ms après la présentation du stimulus (Chennu et Bekinschtein, 2012; Comerchero et Polisch, 1999).
Les différents signaux atteignent le cortex après des temps variables, mais un temps total entre 250 et 400 ms, est nécessaire pour avoir une perception consciente des informations sensorielles, quelle que soit sa modalité.

Figure 6 : Délais estimés dans le contexte de l'étourdissement électrique.



L'électricité provoque un stimulus douloureux dans les tissus situés sous les électrodes, que l'animal ne doit pas percevoir consciemment. Le temps nécessaire pour que ce stimulus atteigne le cortex est inconnu, mais en supposant une vitesse de 8 m / s (Encadré 1) et une distance de trajet de 30 cm chez un cochon, cela pourrait représenter environ 40 ms. Une fois que le stimulus douloureux atteint le cortex, le temps de traitement nécessaire à la perception consciente est en moyenne de 271 ms (encadré 1). Dans ce cas supposé, la perception de la douleur consciente commence après 311 ms. Comme 200 ms sont nécessaires pour induire l'inconscience, le temps maximal alloué pour atteindre une intensité de courant suffisante sans que l'animal ne puisse ressentir de douleur serait de 111 ms. Reproduite avec la permission de CAB International (Terlouw *et al.*, 2020).

CONCLUSION

Les différentes techniques d'étourdissement perturbent le fonctionnement du cerveau selon des principes distincts. L'étourdissement mécanique provoque dans une succession quasi-instantanée, une onde de choc, une destruction au moins partielle du système réticulaire activateur ascendant, et des hémorragies. L'électronarcose provoque une dépolarisation massive des neurones du cerveau, et, lorsqu'il s'agit d'une

technique à trois points, une fibrillation cardiaque aboutissant fréquemment à un arrêt cardiaque. L'étourdissement par CO₂ et la saignée sans étourdissement préalable provoquent, respectivement, progressivement une acidification et une anoxie des neurones du cerveau. Tous ces événements empêchent le fonctionnement correct du cerveau et si les effets sont suffisamment étendus, une conscience de l'animal.

Seuls l'étourdissement mécanique et l'électronarcose provoquent une inconscience instantanée ou quasi-instantanée, c'est-à-dire, avant la perception par l'animal d'un dysfonctionnement physique ou physiologique. Les effets de l'onde de choc, de la dépolarisation des neurones du cerveau

ou de leur acidification sont réversibles. Il est pour cette raison nécessaire de vérifier l'inconscience de l'animal jusqu'à la fin de l'égouttage, selon des principes qui sont expliqués dans Terlouw *et al.* (2021).

Remerciements

Nous remercions tous les abattoirs qui nous ont accueillis. Les échanges avec le personnel interne et externe sont un enrichissement pour nos réflexions scientifiques et techniques ; leur volonté de progresser, une source de motivation. Nous remercions également les deux relecteurs anonymes pour leur relecture détaillée et pour les suggestions pertinentes sur le texte.

Références :

- Anil M.H., McKinstry J.L. (1998). Variations in electrical stunning tong placements and relative consequences in slaughter pigs. *The Veterinary Journal*, 155(1), 85-90.
- Batini C., Moruzzi G., Palestini M., Rossi G.F., Zanchetti A. (1958). Persistent Patterns of Wakefulness in the Pretrigeminal Midpontine Preparation. *Science*, 128(3314), 30-32.
- Blumenfeld H. (2005). Cellular and Network Mechanisms of Spike-Wave Seizures. *Epilepsia*, 46, 21-33.
- 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.
- Chafi M.S., Ganpule S., Gu L., Chandra N. (2011). Dynamic response of brain subjected to blast loadings: influence of frequency ranges. *International Journal of Applied Mechanics*, 03(04), 803-823.
- Chennu S., Bekinschtein T. (2012). Arousal Modulates Auditory Attention and Awareness: Insights from Sleep, Sedation, and Disorders of Consciousness. [Review]. *Frontiers in Psychology*, 3(65).
- Comerchero M.D., Polich J. (1999). P3a and P3b from typical auditory and visual stimuli. *Clinical Neurophysiology*, 110(1), 24-30.
- Conlee K.M., Stephens M.L., Rowan A.N., King, L.A. (2005). Carbon dioxide for euthanasia: concerns regarding pain and distress, with special reference to mice and rats. *Laboratory Animals*, 39(2), 137-161.
- Cook C.J., Devine C.E., Gilbert K.V., Smith D.D., Maasland S.A. (1995). The effect of electrical head-only stun duration on electroencephalographic-measured seizure and brain amino acid neurotransmitter release. *Meat Science*, 40(2), 137-147.
- Crick F., Koch, C. (2003). A framework for consciousness. *Nature Neuroscience*, 6(2), 119-126
- Damasio A.R. (2010). *Self comes to mind: constructing the conscious brain* (1st ed.). New York: Pantheon Books.
- Dörfler K., Troeger K., Lücker 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(4), 641-646.
- Faes T.J., van der Meij H.A., de Munck J.C., Heethaar R.M. (1999). The electric resistivity of human tissues (100 Hz-10 MHz): a meta-analysis of review studies. *Physiological Measurement*, 20(4), R1-10.
- Fish R.M., Geddes L.A. (2009). Conduction of electrical current to and through the human body: a review. *Eplasty*, 9, e44.
- Gibson T.J., Whitehead C., Taylor R., Sykes O., Chancellor N.M., Limon G. (2015). Pathophysiology of penetrating captive bolt stunning in Alpacas (*Vicugna pacos*). *Meat Science*, 100, 227-231.
- Gottesmann C. (1988). What the cerveau isolé preparation tells us nowadays about sleep-wake mechanisms? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 12(1), 39-48.
- Grandin T. (2015) Electric Stunning of Pigs and Sheep. <https://www.grandin.com/humane/elec.stun.html>. Accessed 15/07/2020.
- Grandin T. (2019). Recommended animal handling guidelines and Audit guide: A systematic approach to animal welfare. Washington, DC: American Meat Institute. http://www.animalhandling.org/producers/guidelines_audits
- Gregory N.G. (2001). Profiles of currents during electrical stunning. *Australian Veterinary Journal*, 79(12), 844-845.
- Impastato D.J. (1954). The use of barbiturates in electroshock therapy. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 14(5), 269-275.
- Kalinowsky L. (1939). Electric-convulsion therapy in schizophrenia. *The Lancet*, 234(6067), 1232-1233.
- 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(1), 22-28.
- Lambooij E. (1982). Electrical stunning of sheep. *Meat Science*, 6(2), 123-135.
- Lambooij E., Spanjaard W. (1982). Electrical stunning of veal calves. *Meat Science*, 6(1), 15-25.
- Liberson W.T. (1948). Brief stimulus therapy. *American Journal of Psychiatry*, 105(1), 28-39.
- Martin G.T. (2016). Acute brain trauma. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 98(1), 6-10.
- Moruzzi G., Magoun H.W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1(4), 455-473.
- Newhook J.C., Blackmore D.K. (1982a). 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.
- Newhook J.C., Blackmore D.K. (1982b). 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.
- Oliveira S.E.O., Gregory N.G., Dalla Costa F.A., 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.
- Parvizi J., Damasio A. (2001). Consciousness and the Brainstem. *Cognition*, 79(1-2), 135-159.

- Parvizi J., Damasio, A. R. (2003). Neuroanatomical correlates of brainstem coma. *Brain*, 126(7), 1524-1536.
- Ploner M., Gross J., Timmermann L., Schnitzler A. (2006). Pain processing is faster than tactile processing in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 26(42), 10879-10882.
- Porrino L.J., Goldman-Rakic P. S. (1982). Brainstem innervation of prefrontal and anterior cingulate cortex in the rhesus monkey revealed by retrograde transport of HRP. *Journal of Comparative Neurology*, 205(1), 63-76.
- Prentice W.E. (2011). *Therapeutic modalities in rehabilitation* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Medical.
- Purves D. (2008). *Neuroscience* (4th ed.). Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, Publishers.
- Raj A.B.M., O'Callaghan M., Hughes S.I. (2006). The effects of amount and frequency of pulsed direct current used in water bath stunning and of slaughter methods on spontaneous electroencephalograms in broilers. *Animal Welfare*, 15(1), 19-24.
- Sparrey J.M., Wotton S.B. (1997). The design of pig stunning tong electrodes—A review. *Meat Science*, 47(1), 125-133.
- Štebáček J., Kyllar M., Putnová I., Stehlík L., Buchtová M. (2012). The pig as an experimental model for clinical craniofacial research. *Laboratory Animals*, 46(4), 269-279.
- Terlouw, C., Ducreux, B., Bourguet, C. (2021). Abattage avec et sans étourdissement : évaluation pratique de l'inconscience (partie 2). *Viandes et Produits Carnés*, sous presse.
- Velarde A., Ruiz-de-la-Torre J.L., Roselló C., Fàbrega E., Diestre A., Manteca X. (2002). Assessment of Return to Consciousness After Electrical Stunning in Lambs. *Animal Welfare*, 11(3), 333-341.
- Velarde A., Ruiz-de-la-Torre J.L., Stub C., Diestre A., Manteca X. (2000). Factors affecting the effectiveness of head-only electrical stunning in sheep. *Veterinary Record*, 147(2), 40-43.
- Weiss N., Galanaud D., Carpentier A., Naccache L., Puybasset L. (2007). Clinical review: Prognostic value of magnetic resonance imaging in acute brain injury and coma. *Critical Care*, 11(5), 230.
- Wotton S.B., Anil M.H., Whittington P.E., McKinstry J. L. (1992). Pig slaughtering procedures: Head-to-back stunning. *Meat Science*, 32(3), 245-255.
- Wotton S.B., O'Callaghan M. (2002). Electrical stunning of pigs: the effect of applied voltage on impedance to current flow and the operation of a fail-safe device. *Meat Science*, 60(2), 203-208.
- 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(3), 392-407.