



Étourdissement des bovins à tige perforante (2^e partie)

Étude de la position et de l'orientation du pistolet en lien avec les dommages cérébraux et la présence d'indicateurs de risque de conscience chez les bovins en abattoir

Mots clés : abattoir commercial, bovins, étourdissement mécanique, dommages cérébraux, inconscience.

Auteurs : Claudia Terlouw¹, Barbara Ducreux², Christophe Mallet¹ et Cécile Bourguet³

¹Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genes-Champanelle, France

²Institut de l'Élevage, 23 rue Jean Baldassini 69364 LYON Cedex 7

³Bureau ETRE, 106 Place de la Fontaine, 63210 Olby

Notre objectif est d'affiner les recommandations concernant la position du pistolet à tige perforante lors de l'étourdissement des bovins. Notre étude précédente a identifié les repères sur la tête de bovins qui permettent de positionner le pistolet de manière à maximiser la probabilité d'atteindre la zone cible. La présente étude réalisée dans un abattoir commercial a permis d'évaluer les liens entre la position du pistolet, les dommages cérébraux et les indicateurs de risque de conscience dans un contexte de terrain.

Résumé

Dans le cadre de l'abattage, l'étourdissement des bovins se fait à l'aide d'un pistolet à tige perforante. Dans une précédente étude, nous avons simulé différentes trajectoires de tir, en utilisant des têtes de bovins de races allaitantes récupérées immédiatement après abattage. Il s'agissait de déterminer les repères externes sur la tête des bovins permettant d'identifier la position de tir qui maximise la probabilité de léser le Système Réticulé Activateur Ascendant (SRAA), et ainsi, la probabilité d'induire un état d'inconscience profond et irréversible. Dans ce même cadre, la présente étude a sélectionné dans un abattoir commercial, des têtes de bovins présentant, zéro, un ou plusieurs indicateurs de risque de conscience après l'étourdissement par tige perforante. L'analyse des têtes des bovins montre que la probabilité d'indicateurs de risque de conscience est plus élevée lorsque le SRAA est macroscopiquement intact. L'analyse montre également une association entre la présence de nystagmus et la respiration. Enfin, l'étude a permis d'identifier des pistes d'amélioration du positionnement et de l'orientation des tirs en abattoir.

Abstract: Study of the position and orientation of the stun gun in relation to brain damage and the presence of risk indicators of consciousness in cattle in a slaughterhouse

At slaughter, cattle are stunned using a captive bolt gun. In a previous study, we simulated different bolt trajectories, using the heads of cattle of suckling breeds obtained immediately after slaughter. The aim was to determine the external landmarks on the head of cattle allowing the identification of the shooting position, which maximizes the probability of damaging the Ascending Reticulated Activating System (ARAS), and thus, the probability of inducing a state of profound and irreversible unconsciousness. To address further these questions, the present study selected in a commercial slaughterhouse, heads of cattle presenting zero, one or more indicators of risk of consciousness after captive bolt stunning. Analysis of these cattle heads shows that the probability of the presence of indicators of risk of consciousness is higher when the ARAS is macroscopically intact. The analysis also shows an association between the presence of nystagmus and breathing. Finally, the study made it possible to identify avenues for improving the positioning and orientation of shots in the slaughterhouse.

I. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'abattage, l'étourdissement des bovins se fait en France à l'aide d'un pistolet à tige perforante. L'objectif est de rendre dysfonctionnel le Système Réticulé Activateur Ascendant (SRAA ; Figure 1). Ce système active le cortex, qui est essentiel à la conscience ; si celui-ci n'est plus activé par le SRAA, l'animal est inconscient (Terlouw *et al.*, 2021a ; Demota *et al.*, 2024). Le tronc cérébral est la structure composée du mésencéphale, du pont et du bulbe rachidien. Les corps cellulaires du SRAA sont localisés au niveau du mésencéphale et de la partie rostrale du pont. Trois voies

nerveuses en émanent et transitent jusqu'au cortex, permettant de l'activer (Terlouw *et al.*, 2021a). L'objectif premier est de provoquer une lésion massive du thalamus, de l'hypothalamus, du mésencéphale ou du pont rostral afin d'induire l'inconscience de l'animal. Il est cependant à noter qu'un tir en dehors du SRAA peut induire l'inconscience s'il provoque des hémorragies étendues. Le rôle exact des hémorragies dans l'étourdissement des bovins est actuellement à l'étude (Terlouw *et al.*, en préparation).

Figure 1. Tête de bovin avec le cerveau exposé illustrant la position optimale du pistolet selon nos précédentes recherches, permettant d'atteindre la zone cible (SRAA, en rose) avec une position perpendiculaire sur la tête (Demota *et al.*, 2024 ; Gilliam *et al.*, 2016).

Cette position peut être identifiée en utilisant différentes options (voir Figure 2).



Pour induire l'inconscience, différentes recommandations relatives au positionnement du pistolet sur la tête du bovin existent. Elles présentent toutefois des variations, selon les repères évoqués (EFSA, 2020 ; Gilliam *et al.*, 2016 ; Demota *et al.*, 2024). Dans notre précédente étude sur des têtes de bovins de races allaitantes, les trajectoires théoriques des tiges en fonction de quatre différentes positions de pistolet sur la tête des bovins ont été comparées (Demota *et al.*, 2024 ; Fig. 2): 1. A l'intersection des diagonales reliant l'œil de l'animal avec la base de la corne opposée (position Basse, Œil-corneB et Haute ; Œil-corneH) et 2. Au Milieu d'une Ligne séparant le sommet de la tête à la ligne reliant les deux yeux de l'animal (position Basse, MédianeB, et Haute, MédianeH). Les résultats ont montré que les positions Œil-corneB et Œil-corneH étaient assez variables par rapport au cerveau, car influencées par la forme de la tête des bovins. De plus, la position Œil-corneB était à éviter car la tige passait le plus souvent sous le cerveau. Les positions

MédianeH et Œil-corneB ont permis de toucher le SRAA chez environ trois-quarts des animaux. La position MédianeH a permis de léser le SRAA de la manière la plus fiable. Les inconvénients de cette position sont le risque d'un tir trop caudal et le fait que les canthi externes des yeux soient plus difficilement repérables. En conclusion, placer le pistolet 1 cm plus bas que la position MédianeH (option 1), soit environ 2 à 3 cm plus haut que les positions MédianeB (option 2) ou Œil-corneH (option 3), maximise la probabilité de léser le SRAA, en limitant les risques d'un tir trop caudal (Figures 2 et 3).

La présente étude a été réalisée dans un abattoir commercial. Elle a évalué l'emplacement du pistolet à tige perforante en lien avec les indicateurs de conscience et d'inconscience et avec les dommages cérébraux associés. L'objectif était de compléter l'étude précédente (Demota *et al.*, 2024) en s'appuyant sur des observations dans un abattoir commercial.

Figure 2. Schémas illustrant les repères pour identifier la position optimale du pistolet. Les positions MédianeH, ou environ 2 à 3 cm plus haut que les positions MédianeB ou Œil-corneH, maximisent la probabilité de léser le SRAA, en limitant les risques d'un tir trop caudal. La position Œil-corneB est à éviter. (D'après Demota *et al.*, 2024).

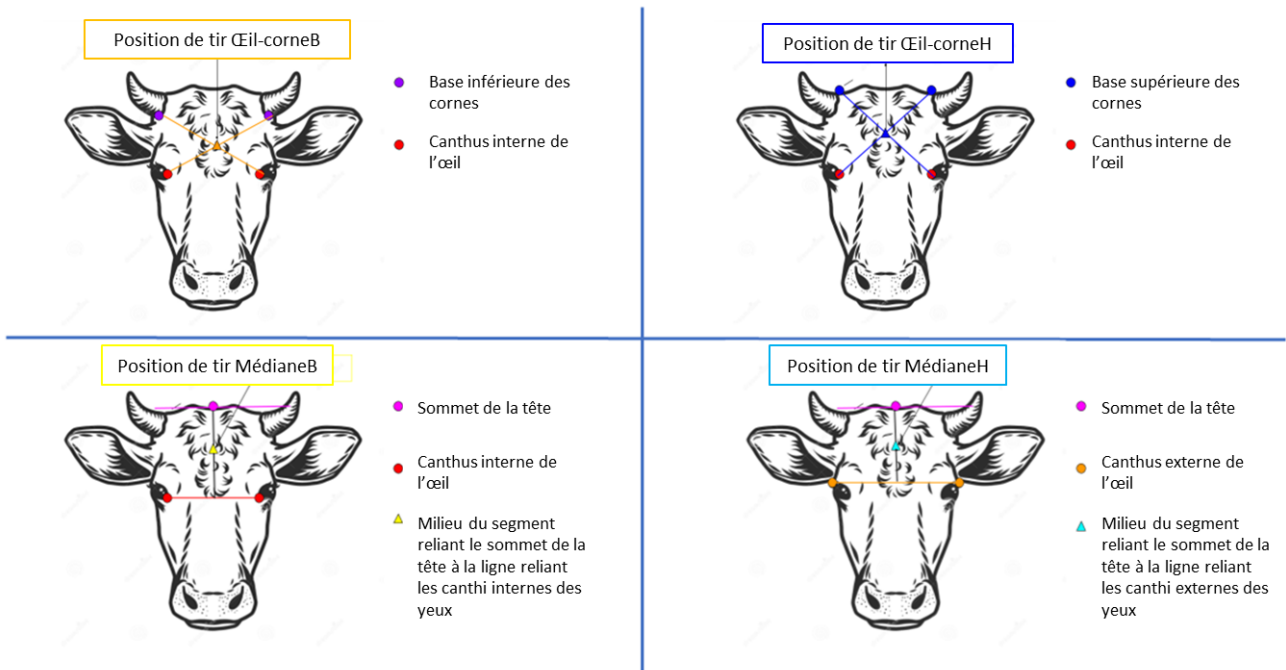
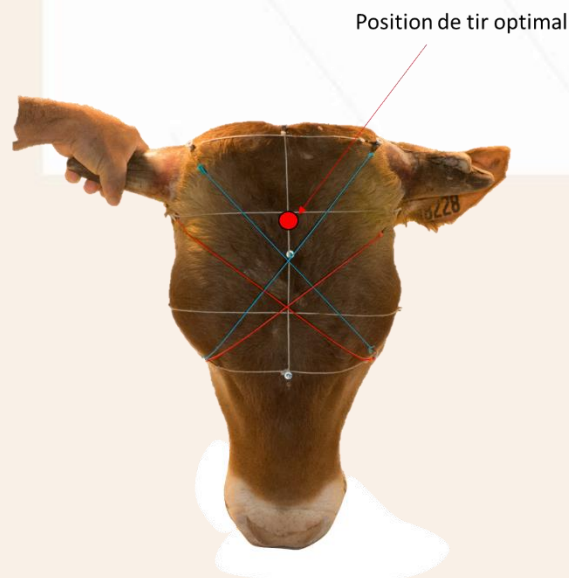


Figure 3. Tête de bovin vue de front illustrant la position optimale du pistolet selon l'étude de Demota *et al.* (2024). Les fils rouges indiquent les diagonales entre les angles internes et le bas des cornes (Œil-corneB ; option rejetée par Demota *et al.*, 2024). Les fils bleus représentent l'option Œil-corneH, les fils clairs les repères pour MédianeB et MédianeH.



II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Abattoir et animaux

L'étude a été conduite au cours d'abattages de routine d'un abattoir commercial de tonnage moyen (30 000 Tonnes/an). Les bovins ont été étourdis à l'aide d'un pistolet à tige perforante thermique non rallongée (Matador Super Securit 3000, Termet). Lors de cette étude, des amorces rouges (destinées à tous les animaux de plus de 450kg) ont été utilisées, sauf pour deux animaux chez qui des amorces noires (réservées aux taureaux et aux jeunes

bovins de gros gabarit, dont le crâne a une résistance importante) ont été utilisées. Pour procéder à l'étourdissement, les animaux ont été placés dans un box avec une contention de la tête à l'aide d'une mentonnière. L'étourdissement était réalisé par un opérateur expérimenté, dès que l'animal s'était immobilisé dans une position adéquate. Les animaux étaient saignés par la technique pré-thoracique.

Dans l'abattoir, les indicateurs de conscience, de risque de conscience et d'inconscience ont été relevés sur une journée sur un échantillon de 100 animaux, selon le Tableau 2 de Terlouw *et al.* (2021b) à partir de l'étourdissement jusqu'à la fin de la saignée (arrêt des écoulements continus de sang), sans interférer dans le déroulement des abattages effectués par les opérateurs. Pour chaque animal, il était noté si un indicateur de conscience ou de risque de conscience était présent ou non, sur la période d'observation. La position du tir et le nombre de tirs étaient également notés selon la méthode proposée

II.2. Analyses des dommages cérébraux

Après récupération de la tête, une tige en téflon de 10 mm de diamètre et de 25 cm de long a été introduite dans le trajet de perforation de la boîte crânienne des bovins et des photographies de face et de profil ont été réalisées, à l'aide d'un appareil photographique Panasonic DMC-FZ-200 équipé d'un objectif avec zoom T 2.8 25-600mm afin de visualiser l'orientation du tir. Des vues de face ainsi que des vues frontales (axe du front parallèle à l'axe de l'appareil photo) ont été prises pour chaque animal.

Le crâne a ensuite été scalpé puis décalotté à l'aide d'une scie oscillante (Bosch PMF 220 CE) et le cerveau a été extrait et congelé dans une barquette après avoir inséré une tige en bois dans la cavité de la trajectoire de la tige. Une fois congelé, chaque cerveau a été coupé dans le plan médian à l'aide d'une scie à ruban et des photographies des plans de sections droits et gauches ont été réalisées à l'aide d'un appareil photographique Sony alpha 99 fixé sur un trépied et équipé d'un objectif Tamron SP 24-70 mm f/2,8 DiVC USD. Lorsque le tir n'avait pas été central, des coupes paramédianes étaient également effectuées et photographiées.

Les photos ont ensuite été analysées. Seules les lésions provoquées par le premier tir ont été évaluées. Pour les zones cibles, thalamus, hypothalamus, mésencéphale et pont rostral, les dommages ont été évalués visuellement selon 3 classes par 2 observateurs, qui vérifiaient l'accord de leurs classements respectifs :

- zone cible lésée : la tige a provoqué des lésions et/ou déchirures dans la zone cible, potentiellement

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Dommages cérébraux et indicateurs de risque de conscience

Sur les 20 bovins retenus, 4 animaux ont reçu un deuxième tir (Tableau 1). Ces 4 bovins étaient toutes des femelles de race Montbéliarde et ont présenté des mouvements respiratoires. Quatre autres animaux (deux Montbéliardes et deux Charolaises) ont présenté des mouvements respiratoires mais n'ont pas reçu de deuxième tir, car non détectés par l'opérateur (Tableau 1). La comparaison des 3 races principales (Montbéliard, Charolais et Prim'Holstein ; 18 animaux) ou des Montbéliard (11 animaux) à l'ensemble des autres races (9 animaux) indique que le nombre d'indicateurs de risque de conscience présentés par l'animal ne dépendait pas de la race (3 groupes : Kruskal-Wallis, $p = 0.90$ ou 2 groupes :

par Demota *et al.* (2024), permettant de distinguer les premiers des deuxièmes tir les cas échantants.

Dans cet échantillon, 20 animaux mâles et femelles de différentes races ont été sélectionnés par les expérimentateurs pour des analyses de dommages cérébraux (Tableau 1). Cette sélection visait à avoir à la fois des animaux présentant un ou plusieurs indicateurs de conscience ou de risque de conscience, et des animaux n'en présentant aucun. Elle ne représente donc pas un échantillon représentatif de l'ensemble des abattages.

associées à des hémorragies entre le tronc cérébral et la base du crâne souvent suite aux dommages du gros vaisseau (artère basilaire) se trouvant juste sous le tronc cérébral.

- points de sang (pétéchies) dans la zone cible : la tige n'a pas atteint la zone cible, mais a provoqué des petites hémorragies dans la zone (des hémorragies étendues ne font pas partie des effets, car il n'y a pas de gros vaisseaux qui traversent la zone cible).

- zone cible intacte : la tige n'a causé aucun dommage macroscopique dans la zone cible.

Les animaux ont été classés selon le nombre d'indicateurs de risque de conscience observés suite au premier tir. Les trajectoires de la tige des premiers tirs ont été évaluées et cartographiées à l'aide d'une photographie de coupe sagittale modèle. Les résultats des trajectoires sont présentés selon le nombre d'indicateurs de risque de conscience de l'animal.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Addinsoft XLstat, version 2020.5.1. Des comparaisons de races ont été réalisées à l'aide de tests non-paramétriques Kruskal-Wallis, qui permet la comparaison de plusieurs groupes, ou à l'aide du test Mann-Whitney qui permet la comparaison de deux groupes. L'association entre les différents indicateurs de risque de conscience a été évaluée à l'aide du test « exact logistic regression » (PROC EXLOGIT) dans SAS (Version 9.4)

Mann-Whitney, $p = 0.59$). Un éventuel effet race reste néanmoins à être étudié sur un échantillon plus important d'animaux.

Suite au premier tir, 9 animaux avaient une lésion dans la zone cible, le SRAA, 6 présentaient seulement des pétéchies et 5 avaient la zone cible intacte macroscopiquement (Tableau 1). Les indicateurs constatés étaient la respiration, le nystagmus et la rotation des globes oculaires (Tableau 1). Les analyses indiquent (Kruskal-Wallis, $p=0,02$) que les animaux ayant la zone cible intacte présentaient plus d'indicateurs de risque de conscience que les animaux ayant la zone lésée ($p=0,006$) ou avec des pétéchies ($p=0,046$).

Tableau 1. Caractéristiques des animaux et nombre de tirs, indicateurs de risque de conscience présentés et l'état de la zone cible (Ro=Rotation oculaire, R=Respiration, N=nystagmus). * Des amorces rouges ont été utilisées, sauf pour les animaux 0845 et 8002 pour qui c'était une amorce noire.

N° boucle	Race	Sexe	Nombre de tirs	Indicateurs présents	Etat de la zone cible
0767	Montbéliarde	F	1	-	lésée
2884	Charolaise	F	1	-	lésée
3096	Croisée	F	1	-	lésée
0845*	Montbéliarde	F	1	Ro	pétéchie
3178	Prim' Holstein	F	1	Ro	pétéchie
3214	Prim' Holstein	M	1	Ro	lésée
6520	Montbéliarde	F	1	Ro	pétéchie
9725	Limousine	F	1	Ro	lésée
2007	Charolaise	F	1	N	pétéchie
8017	Montbéliard	M	1	N	lésée
2318	Montbéliarde	F	1	R	pétéchie
8002*	Montbéliarde	F	2	R	intact
1786	Montbéliarde	F	1	Ro, N	intact
3215	Prim' Holstein	M	1	Ro, N	lésée
1728	Montbéliarde	F	2	N, R	lésée
6027	Charolaise	F	1	Ro, N, R	lésée
7254	Charolaise	F	1	Ro, N, R	pétéchie
0606	Montbéliarde	F	3	Ro, N, R	intact
2558	Montbéliarde	F	2	Ro, N, R	intact
4254	Montbéliarde	F	1	Ro, N, R	intact

CONCLUSION : Si un animal présente un grand nombre d'indicateurs de risque de conscience, il y a un plus grand risque que la zone cible soit restée intacte macroscopiquement.

Les résultats montrent également que la présence d'indicateurs de risque de conscience ne veut pas forcément dire que la zone cible du cerveau n'a pas été atteinte. En effet, certains animaux présentaient des indicateurs de risque de conscience tout en présentant des pétéchie ou des lésions dans la zone cible. La raison est que cette zone cible, qui contient le SRAA nécessaire à la conscience, n'est pas exactement celle impliquée dans l'expression des indicateurs de risque de conscience. La Figure 2 de Terlouw *et al.* (2021b) montre que ces zones-là sont caudales (en arrière) par rapport au SRAA. Ainsi, un tir frontal peut rendre dysfonctionnel la SRAA, et donc provoquer un état d'inconscience mais des structures caudales dans le pont et bulbe rachidien peuvent rester partiellement intactes, permettant l'expression de certains indicateurs de risque de conscience. Ainsi, dans le cadre

d'un tir frontal, la présence d'indicateurs de risque de conscience n'indique pas avec certitude que l'animal est conscient, mais ne permet pas de l'exclure non plus. Afin de pouvoir exclure le risque de conscience, les indicateurs de risque de conscience doivent être absents (cf. encadré « Rappel »).

De même, les animaux ayant la zone cible intacte macroscopiquement ne montrent pas tous le plus grand nombre d'indicateurs de risque de conscience. L'explication est très probablement la présence d'hémorragies chez ces animaux. Celles-ci compressent les structures du cerveau, les empêchant ainsi de fonctionner ; les hémorragies étendues provoquent à la fois l'inconscience et l'absence d'indicateurs de risque de conscience (Terlouw *et al.*, 2021a).

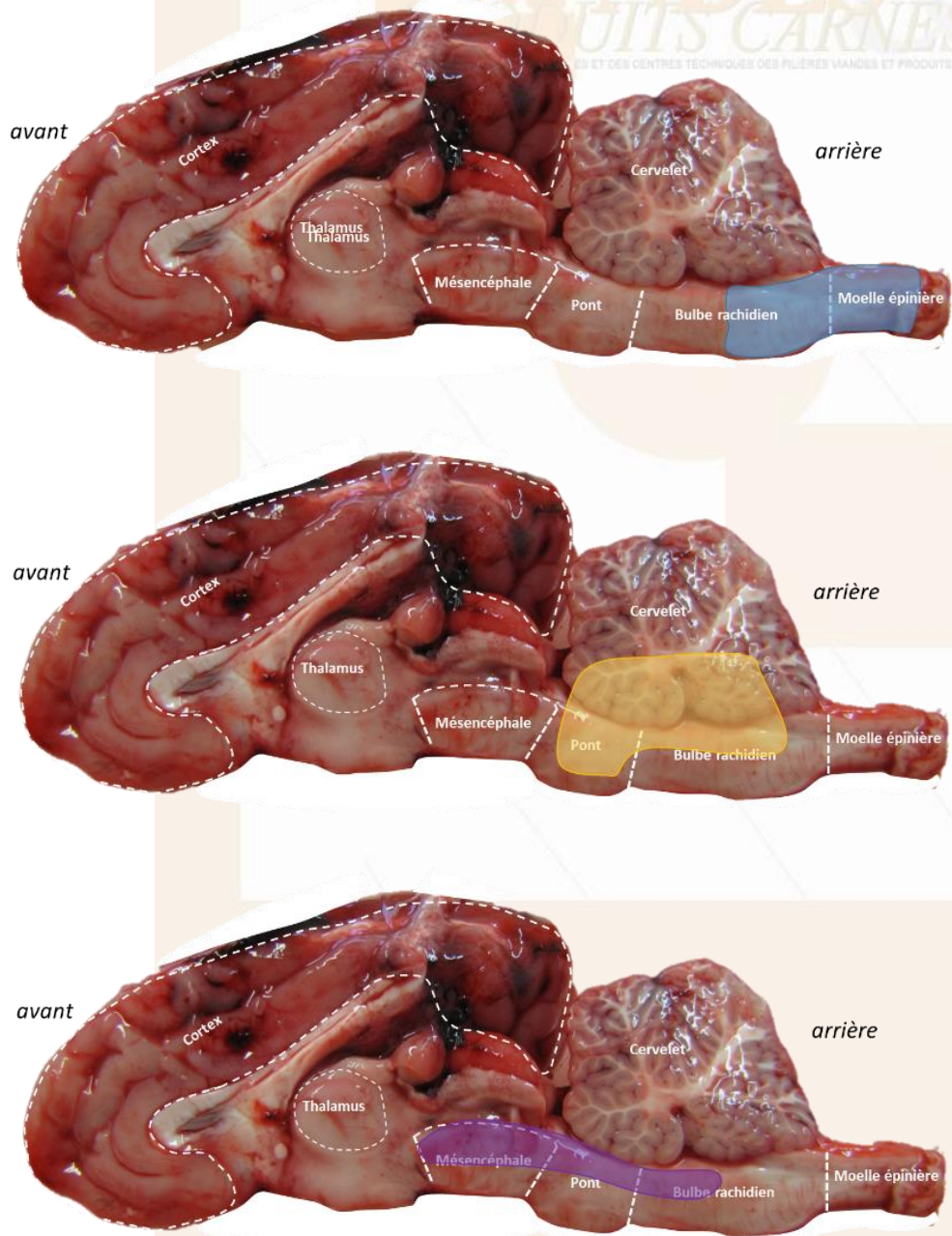
RAPPEL : L'étourdissement par tige perforante (tir frontal) est réussi si l'animal présente tous les indicateurs de l'inconscience : perte de la posture debout sans tentatives de redressement, absence de réflexe cornéen et arrêt permanent de la respiration (Terlouw *et al.*, 2021b).

Associations entre indicateurs

La respiration et le nystagmus étaient liés (test de « exact logistic regression » : $p=0,02$), indiquant qu'un animal présentant des mouvements respiratoires avait une plus grande probabilité de présenter un nystagmus, et vice versa. La présence de nystagmus et de respiration chez un même animal (pas forcément au même moment après l'étourdissement) s'explique par des dommages cérébraux

insuffisamment profonds au niveau du tronc cérébral (Fig. 4 : zones jaune et bleue partiellement intactes ; Abadi, 2002; Hüfner *et al.*, 2007 ; Strupp *et al.*, 2014). La présence de rotation oculaire observée à l'affalage s'explique également par des lésions insuffisamment étendues dans le tronc cérébral (Fig. 4 : zone violette partiellement intacte ; Strupp *et al.*, 2014 ; Terlouw, 2020).

Figure 4. Le tronc cérébral est composé du mésencéphale, du pont et du bulbe rachidien. La présence de respiration indique que la zone bleue est encore partiellement intacte (figure du haut). Une lésion incomplète dans la zone jaune peut provoquer l'apparition de nystagmus (figure du milieu). Une lésion incomplète dans la zone violette peut provoquer l'apparition de rotation du globe oculaire (figure du bas).



RECOMMANDATIONS POUR CET ABATTOIR :

- La présence de nystagmus est souvent associée à la présence ou à la reprise de respiration → **ré-étourdissement systématique et immédiat de tous les animaux présentant un nystagmus et/ou de la respiration**
- La rotation oculaire n'est pas associée dans notre échantillon à la présence d'autres indicateurs de conscience ou de risque de conscience. Néanmoins, c'est un indicateur de risque de conscience, ainsi, → **ré-étourdissement systématique et immédiat de tous les animaux présentant une rotation oculaire.**

III.2. Analyse des causes de la présence d'indicateurs de risque de conscience

La Figure 5 illustre les tirs des animaux observés dans l'abattoir, par catégorie : sans indicateur, avec 1 ou 2 indicateurs, et avec 3 indicateurs. Elle montre que dans 6 cas, la position du tir est proche de la position optimale (Tableau 3), mais souvent, dans ces cas, l'orientation n'est

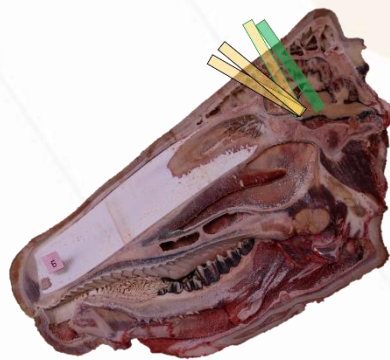
pas correcte car non perpendiculaire sur la tête avec une direction rostrale (Figure 5). Dans 10 cas, la position est légèrement trop basse. Dans 4 cas, la position est trop basse, avec dans 3 de ces 4 cas, une orientation du pistolet plus caudale.

Tableau 3. Les positions du pistolet dans l'échantillon des bovins de l'abattoir

Position du pistolet	N° de cas
Proche de la position optimale selon Figures 2 et 3	6
A l'intersection des lignes imaginaires reliant l'angle des yeux interne à la base supérieure de la corne controlatérale	10
Un emplacement trop bas	4

Figure 5. Positions et orientations des tirs (en jaune, orange ou rouge) pour les bovins en fonction du nombre d'indicateurs de risque de conscience constatés. Le tir en vert illustre la position optimale. Les tirs entourés en noir sont jugés placés trop bas, ceux entourés en vert proches de la position optimale selon les Figures 2 et 3. Cependant, si pour ces derniers tirs la position est correcte, l'orientation ne l'est souvent pas.

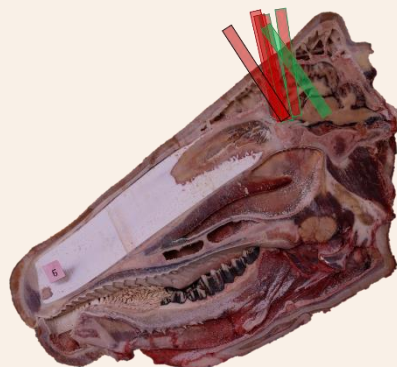
Trois animaux sans indicateur :



Douze animaux avec 1 ou 2 indicateurs

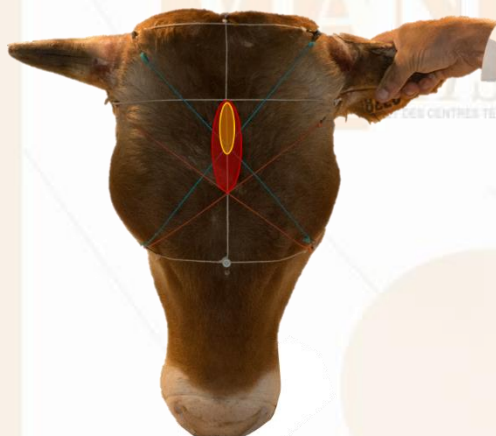


Cinq animaux avec 3 indicateurs



Les zones cérébrales atteintes par l'extrémité de la tige lors de l'étude sont illustrées dans la Figure 6.

Figure 6. Les zones cérébrales situées à la base du cerveau, atteintes par l'extrémité de la tige, se trouvent inscrites dans l'ovale rouge. Environ 55% des zones atteintes se trouvent inscrites dans l'ovale jaune.



En conclusion, pour 11 des 20 têtes sélectionnées, les tirs ont atteint seulement la partie frontale du cerveau sans toucher le thalamus, l'hypothalamus ou le tronc cérébral. Nous constatons que l'orientation des tirs est assez variable et n'est pas toujours perpendiculaire au crâne. Le positionnement non perpendiculaire avec une orientation rostrale (vers le museau) explique le fait que certains dommages cérébraux étaient limités aux parties frontales du cerveau. C'était notamment le cas pour les positions proches de la position optimale selon notre étude précédente (Demota *et al.*, 2024). De plus, l'orientation rostrale avait pour conséquence que la compression des tissus lors de la pénétration de la tige n'était pas orientée vers le tronc cérébral. Cette orientation a probablement partiellement préservé le tronc cérébral des effets du tir : onde de choc, hémorragies et destruction des tissus. Des

lésions seulement partielles dans le tronc cérébral peuvent expliquer la présence de rotation oculaire, de nystagmus et de respiration dans ces cas (Figure 4).

Pour 3 des 4 cas de positions du pistolet trop rostrales (basses), nous observons également une orientation non perpendiculaire sur le crâne, mais avec une direction caudale (vers la queue), probablement en raison d'une tentative de correction de la trajectoire du tir de la part de l'opérateur. Ceci a permis malgré tout de toucher l'hypothalamus ou le tronc cérébral. Malgré ceci, des indicateurs de risque de conscience ont été observés chez 1 des 3 animaux concernés (Figure 10 : animal avec 1 ou 2 indicateurs : animal présentant un nystagmus). Ces tirs étaient trop rostraux et l'emplacement du tir selon les options 1, 2 ou 3 (cf. Introduction) est à privilégier.

CONCLUSION, POUR LES TÊTES SÉLECTIONNÉES :

- La **position** du pistolet sur le crâne était souvent un **peu basse par rapport à la position optimale**.
- L'orientation n'était généralement **pas suffisamment perpendiculaire** par rapport à la surface du crâne, avec des conséquences négatives **notamment lorsque le pistolet** était proche de la **position optimale** identifiée dans nos études.

IV. CONCLUSIONS

Cette étude montre que la probabilité d'observer des indicateurs de risque de conscience est plus élevée lorsque le SRAA n'a pas été directement lésé par la tige perforante. La présence de l'un de ces indicateurs doit donc entraîner un ré-étourdissement de l'animal. De plus, cette étude met en évidence une association entre la présence de nystagmus et la respiration. Enfin, elle a permis d'identifier des pistes d'amélioration du positionnement et de l'orientation des tirs en abattoir (pour détails : Demota *et al.*, 2024), à savoir placer le pistolet selon une des différentes options présentées ci-dessous, en le maintenant perpendiculairement au crâne :

- 2 à 3 cm au-dessus de l'intersection des lignes imaginaires reliant l'angle interne de l'œil à la base supérieure de la corne controlatérale,
- 2 à 3 cm au-dessus du milieu du segment séparant la ligne des angles internes des yeux du sommet de la tête,
- 1 cm en dessous du milieu du segment séparant la ligne des angles externes des yeux du sommet de la tête.

Remerciements

Nous adressons nos vifs remerciements à l'abattoir qui nous a ouvert ses portes pour mener cette étude et à Nicolas Bouko-Levy et Claire Allègre pour leur participation dans l'étude.

Références bibliographiques :

- Abadi, R.V. (2002). Mechanisms underlying nystagmus. *Journal of the Royal Society of Medicine* 95, 231–234.
- Demota, F., Bourguet, C., Devriendt, N., Mallet, C., Terlouw, E.M.C. (2024). Etourdissement des bovins au pistolet à tige perforante : Etude des dommages cérébraux provoqués en fonction de la position du tir. *Viandes et Produits carnés*, : VPC-2024-40-12 https://viandesetproduitscarnes.fr/phocadownload/vpc_vol_40/Vol_4012_Etourdissement%20bovins.pdf.
- Finnie, J.W. (2001). Animal models of traumatic brain injury: a review. *Australian Veterinary Journal*, 79, 9, 629-633.
- Gilliam, J.N., Shearer, J.K., Bahr, R.J., Crochik, S., Woods, J., Hill, J., Reynolds, J. Taylor, J.D. (2016). Evaluation of brainstem disruption following penetrating captive bolt shot in isolated cattle head: comparison of traditional and alternative shot-placement landmarks. *Animal welfare*, 25, 347-353.
- Hüfner, K., Stephan, T., Kalla, R., Deutschländer, A., Wagner, J. Holtmannspotter, M., Schulte-Altendorneburg, G., Strupp, M., Brandt, T., Glasauer, S. (2007). Structural and functional MRIs disclose cerebellar pathologies in idiopathic downbeat nystagmus. *Neurology* 69, 1128.
- Kamenik, J., Paral, V., Pysko, M., Voslarova, E. (2019). Cattle stunning with a penetrative captive bolt device: a Review. *Animal Science Journal*, 1-10.
- Strupp, M., Kremmyda, O., Adamczyk, C., Bottcher, N., Muth., C., Yip, C.W., Bremova, T. (2014). Central ocular motor disorders, including gaze palsy and nystagmus. *Journal of Neurology*, 261 (Suppl. 2), S542–S558.
- Terlouw, C. (2020). The physiology of the brain and determining insensibility and unconsciousness. In: *The slaughter of farmed animals: practical ways of enhancing animal welfare* (Eds T. Grandin and M. Cockram). CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.
- Terlouw, 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. *Viandes et Produits Carnés*, 31 (2-2), 1-20.
- Terlouw, C., Ducreux, B., Bourguet, C. (2021a). Abattage avec et sans étourdissement : conscience et induction de l'inconscience. Particularités neurobiologiques des différentes techniques d'abattage. (partie 1). *Viandes et Produits Carnés VPC* 37-25,1-11.
- Terlouw, C., Ducreux, B., Bourguet, C. (2021b). Abattage avec et sans étourdissement : évaluation pratique de l'inconscience partie 2 : Spécificités des indicateurs de conscience et d'inconscience selon les méthodes d'abattage. *Viandes et Produits Carnés VPC* 37-25, 1-10.