



Étourdissement des bovins par tige perforante

Liens entre les dommages cérébraux, les signes de risque de conscience et les mouvements post-étourdissement

Mots clés : abattage, étourdissement, conscience, inconscience, bien-être, protection animale

Auteurs : Claudia E.M. Terlouw¹, Véronique Deiss¹, Christophe Mallet¹, Noémie Devriendt², Cécile Bourguet²

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

² Bureau ETRE, 106 Place de la Fontaine, 63210 Olby

L'étourdissement des bovins implique l'endommagement d'une zone cible, profonde dans le cerveau, qui est nécessaire pour l'expression de la conscience. L'évaluation de l'inconscience repose sur l'observation d'indicateurs qui sont sous le contrôle de structures proches de la zone cible. La présente étude confirme que la présence de signes de risque de conscience post-étourdissement indique une plus forte probabilité que la zone n'a pas été endommagée. Elle confirme ainsi la validité des indicateurs de risque de conscience.

Résumé

Lors de l'étourdissement des bovins, l'objectif est d'endommager le Système Réticulé d'Activation Ascendant (SRAA) et d'induire un état d'inconscience profonde de l'animal. Afin d'évaluer l'état d'inconscience de l'animal, on vérifie l'absence de signes de risque de conscience. Ces signes sont sous le contrôle de structures proches du SRAA. Le raisonnement est que lorsque le SRAA est endommagé, ces structures proches le sont aussi. Ces liens ont été confirmés par les analyses neuroanatomiques de la présente étude : la présence de signes de risque de conscience post-étourdissement indique une plus forte probabilité que le SRAA n'a pas été endommagé. Elle montre également que lorsque le SRAA n'est pas endommagé par le tir, celui-ci crée rarement des hémorragies qui induisent l'inconscience. Il est donc essentiel de placer le pistolet de manière à maximiser la probabilité d'endommager le SRAA. Enfin, l'étude confirme à nouveau que les mouvements post-étourdissement ne sont pas des indicateurs de l'état de conscience de l'animal.

Abstract: Cattle stunning using a captive-bolt gun

During the stunning of cattle, the objective is to damage the Ascending Reticular Activating System (ARAS). To assess the animal's state of unconsciousness, the absence of signs of risk of consciousness is assessed. These signs are controlled by structures near the ARAS. The rationale is that when the ARAS is damaged, these nearby structures are also affected. These links were confirmed by neuroanatomical analyses in the present study: the presence of signs of risk of consciousness post-stunning indicates a higher probability that the ARAS has not been damaged. The study also shows that when the ARAS is not damaged by the captive bolt pistol, in only a minority of cases the shot causes haemorrhages that induce unconsciousness. It is therefore essential to position the stun gun such that it maximises the probability of damaging the ARAS. The study further confirms that post-stunning movements are not reliable indicators of the animal's state of consciousness.

I. INTRODUCTION

Dans le contexte de l'abattage, l'étourdissement a pour objectif d'induire l'inconscience, pour éviter que les animaux ressentent du stress ou de la douleur pendant les différentes étapes liées au hissage et/ou à la saignée. Ainsi, pour les bovins, on utilise un pistolet à tige perforante positionné sur le front en utilisant des repères anatomiques précis (Demota *et al.*, 2024). La tige qui est propulsée du pistolet provoque différents types de dommages. Une onde de choc est générée par la percussion de la tige sur la boîte crânienne, générant des microdéchirures, des lésions dans le tissu cérébral et des perturbations du flux sanguin. L'onde de choc provoque également une dépolarisation des neurones des hémisphères cérébraux et selon son orientation, du tronc cérébral. Ces effets sont réversibles (Terlouw *et al.*, 2021a). En pénétrant le cerveau, la tige détruit des tissus, provoque une fragmentation locale et entraîne avec elle des fragments d'os, des poils, ainsi que des tissus cutanés et cérébraux (Terlouw *et al.*, 2021a). Un phénomène d'aspiration lié au vide laissé par le retrait de la tige participe à la destruction du tissu cérébral environnant la trajectoire de la tige. Des hémorragies peuvent priver les structures cérébrales d'un apport sanguin essentiel à leur fonctionnement et augmenter la pression intracrânienne, les empêchant de fonctionner également. La destruction des tissus et les hémorragies sont des conséquences irréversibles du tir.

L'objectif du tir est d'endommager une zone spécifique du cerveau qui comprend le mésencéphale, la partie rostrale du pont, le thalamus et l'hypothalamus (Demota *et al.*, 2024). Le mésencéphale et la partie rostrale du pont se trouvent dans le tronc cérébral et contiennent des cellules nerveuses qui stimulent le cortex. La zone du thalamus/hypothalamus contient des voies neuronales reliant le mésencéphale et le pont au cortex. L'ensemble du système, les corps des cellules nerveuses et leurs projections vers le cortex, est nommé le Système Réticulé d'Activation Ascendant (SRAA). Lorsque le SRAA est endommagé, le cortex n'est plus stimulé et l'animal est inconscient (Terlouw *et al.*, 2021a). Seuls les tirs provoquant une lésion et/ou une hémorragie dans le SRAA conduisent à un état d'inconscience irréversible. Un tir mal placé peut provoquer des dysfonctionnements temporaires dans le SRAA suite à une simple onde de choc. Dans ce cas, il

y a un risque élevé d'un retour de conscience avant que la mort soit induite par la saignée. L'objectif du tir est donc d'endommager le SRAA de manière irréversible.

Après l'application de la tige perforante, et pour vérifier l'efficacité du tir, on évalue la présence ou l'absence d'indicateurs (Terlouw *et al.*, 2021b ; Verhoeven *et al.*, 2015 ; Encadré 1) qui sont sous le contrôle de structures dans le tronc cérébral. Certains indicateurs, comme la posture debout, sont sous le contrôle de structures dans le mésencéphale. D'autres, comme les mouvements des paupières et des globes oculaires et la respiration, dépendent de structures dans le pont et dans le bulbe rachidien (Terlouw *et al.*, 2021b). L'hypothèse est qu'un tir perpendiculaire sur le front du bovin à l'emplacement recommandé (Demota *et al.*, 2024) provoque une lésion dans le SRAA, qui est impliqué dans l'expression de la conscience, mais également dans les zones proches, qui sont impliquées dans le contrôle des indicateurs d'évaluation. L'absence simultanée de posture debout et de tentatives de redressement, de réflexe cornéen, de mouvements oculaires, et de respiration, est considérée comme un signe d'inconscience, car elle indique que le mésencéphale, le pont et le bulbe rachidien sont endommagés. Suite à un tir frontal, cela impliquerait que le SRAA est également endommagé et l'animal inconscient (Terlouw *et al.*, 2021b ; Terlouw *et al.*, 2024). La présence du réflexe cornéen, de mouvements oculaires et/ou de respiration indique en revanche que le pont et le bulbe rachidien sont au moins en partie fonctionnels, et que le tir n'a pas été assez profond. Dans ce cas, il est possible que le thalamus/hypothalamus et le mésencéphale ne soient pas irréversiblement endommagés : il y a un risque de conscience ou un risque de retour de conscience (Terlouw *et al.*, 2021a ; Encadré 1). Cependant, ces liens n'ont jamais été étudiés de manière formelle. La présente étude avait pour objectif d'évaluer les liens entre l'absence de signes de risque de conscience et les dommages du SRAA avec une approche chiffrée. Pour ce faire, elle a relevé chez des bovins, après étourdissement, ces signes et les dommages cérébraux provoqués par le tir, et évalué si l'endommagement du SRAA est lié à l'absence de signe de risque de conscience.

Encadré 1 : Les signes de conscience, de l'inconscience et du risque de conscience après un tir frontal

Afin d'évaluer l'état de conscience ou de l'inconscience de l'animal après l'étourdissement, différents indicateurs, c'est-à-dire des observations cliniques objectives, sont utilisés (Terlouw *et al.*, 2021a ; Verhoeven *et al.*, 2015). Chaque observation est ensuite interprétée comme compatible avec la conscience, ou avec l'inconscience, ou incertaine.

Conscience. Les signes compatibles avec la présence de conscience sont la posture debout, des tentatives de redressement coordonnées, la vocalisation spécifique à l'espèce et la réponse à la menace. Ces signes nécessitent la fonctionnalité de structures cérébrales nécessaires à la conscience. En revanche, l'absence de ces signes n'indique pas l'inconscience, car l'animal peut ne rien exprimer, surtout s'il est blessé après une erreur de tir.

Inconscience. Les signes indiquant l'inconscience sont l'absence simultanée de la posture debout, de tentatives de redressement coordonnées, de mouvements oculaires (incluant poursuite oculaire, clignements, nystagmus et rotation), du réflexe cornéen et de la respiration. La présence de ces fonctions nécessite l'intégrité fonctionnelle de structures du tronc cérébral. L'absence de la posture debout indique l'endommagement du mésencéphale, ce qui entraîne l'inconscience. L'absence du réflexe cornéen et de mouvements oculaires indique l'endommagement du pont caudal et/ou du bulbe rachidien et l'absence de respiration indique l'endommagement du bulbe rachidien. Les deux derniers signes indiquent que le tir a été bien orienté et suffisamment profond, avec une forte probabilité que les dommages du mésencéphale, et par conséquent, l'inconscience, soient irréversibles.

Incertain (risque de conscience). Des tentatives de redressement, des mouvements oculaires, la présence de réflexe cornéen, de respiration ou de gasps précoces (i.e. observés tôt après le début de la saignée) sont compatibles avec un risque de conscience (Terlouw *et al.*, 2024). La présence d'un ou de plusieurs de ces signes suggère que les dommages du tronc cérébral ne sont pas étendus et potentiellement réversibles, associés à un risque de reprise de conscience, ou avec la persistance d'un certain niveau de conscience.

Les mouvements du cou et les pédalages que l'on peut observer après l'étourdissement ne sont pas considérés comme des indicateurs fiables de l'efficacité du tir en termes d'inconscience (Grandin, 2002 ; Terlouw *et al.*, 2015). Une étude antérieure sur des bovins inconscients après le tir a cependant démontré que l'emplacement du tir pouvait influencer le niveau des pédalages suggérant que certains dommages cérébraux pourraient influencer des mouvements réflexes (Terlouw *et al.*, 2015). Les

noyaux gris sont un ensemble de structures reliées, essentielles pour les mouvements. Certaines, comme le Putamen et Globus Pallidus et la tête du noyau Caudé, se trouvent dans des parties rostrales, ventrales et latérales par rapport au Thalamus, donc proches de la zone ciblée par le tir (Figure 1 ; Johnson *et al.*, 2019). Un deuxième objectif de la présente étude a été de tester l'hypothèse qu'il existe des liens entre les dommages du SRAA et des noyaux gris, et la présence ou l'absence de mouvements post-étourdissement.

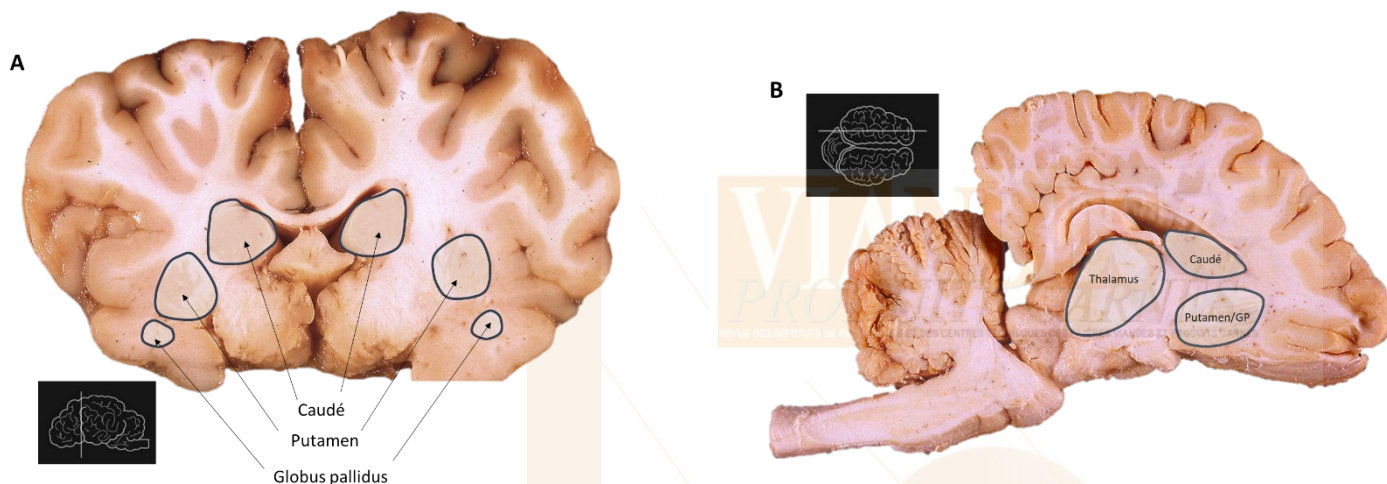


Figure 1A et 1B. A : Coupe frontale présentant les éléments des noyaux gris évalués dans l'étude ; B : Coupe sagittale présentant le Thalamus et les éléments des noyaux gris évalués dans l'étude.

GP : Globus Pallidus. Photos reproduites avec permission (Amsterdam UMC, Dept. Anatomy and Neurosciences; https://anatomy-neurosciences.com/education/cow-brain/cow_frontal_slices/ et https://anatomy-neurosciences.com/education/cow-brain/cow_sagittal_slices/).

Les indications des régions d'intérêt ont été ajoutées par nos soins.

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Abattoir et animaux

La collecte a été réalisée au cours de quatre matinées d'abattage de routine (6 h–12 h) dans un abattoir commercial de moyen tonnage (15 000 tonnes/an). Les bovins ont été étourdis à l'aide d'un pistolet thermique équipé d'une tige perforante de 90 mm de longueur et 12 mm de diamètre (Matador Super Securit 3000, Termet). Des amorces à charge plus élevée (réservées aux taureaux et aux jeunes bovins de gros gabarit, dont le crâne présente une résistance importante à la perforation) ont été utilisées pour les vaches montbéliardes et les taureaux et des amorces à charge standard (destinées aux animaux de plus de 450 kg) pour les vaches des autres races. Pour procéder à l'étourdissement, les animaux étaient introduits dans un box sans contention de la tête. L'étourdissement était réalisé par un opérateur expérimenté, dès que l'animal s'immobilisait dans une position adéquate. Après l'affilage, l'animal était hissé, identifié électroniquement, puis convoyé vers le poste de

saignée, situé à environ 6 m du box d'étourdissement. Les membres antérieurs étaient menottés juste avant la saignée, puis relâchés pendant celle-ci. La saignée était réalisée par une coupe pré-thoracique. Aucune stimulation électrique n'était appliquée.

Sur 4 matinées, environ 600 bovins ont été abattus en notre présence. Des observations ont été effectuées afin d'évaluer la présence ou l'absence de signes de conscience, de risque de conscience et d'inconscience, depuis 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 (Tableau 1). Compte tenu de la cadence de la chaîne, ces indicateurs ont pu être relevés sur environ un bovin sur cinq. Parmi les animaux observés, 45 bovins, mâles et femelles de différentes races, ont été sélectionnés pour des analyses de dommages cérébraux. Pour ces animaux, la position du tir et le nombre de tirs étaient également notés,

permettant de distinguer les premiers des deuxièmes tirs le cas échéant. Un deuxième expérimentateur enregistrait en parallèle les mêmes informations avec un dictaphone (Olympus DM-10 Digital Voice Recorder).

II.2. Analyses des mouvements

Chaque animal a été filmé depuis le moment de l'affalage jusqu'à la fin de la saignée à l'aide de deux caméscopes numériques (JVC, GZ-MG 460-SP). Les films ont été analysés pour enregistrer chaque mouvement et posture de la tête et du cou, et des pattes

La présente étude porte sur ces 45 animaux. Leur sélection visait à inclure 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.

(Tableau 1) à l'aide du logiciel The Observer (version 11, Noldus, Wageningen, Pays-Bas). Les mouvements ont été analysés en pourcentage du temps d'observation.

Tableau 1. Indicateurs et mouvements observés pendant les différentes phases (animal à l'affalage, pendant le hissage, le convoyage et la saignée) après l'étourdissement.

Voir le Tableau 5 et Tableau 2 dans Terlouw et al (2021b), pour les définitions.

Indicateurs de conscience et d'inconscience	Moment ou lieu d'observation
<i>Indicateurs de conscience</i>	
Posture debout	Continu
Tentative de redressement orientée de la tête et/ou du corps	Continu
Réaction à un stimulus nociceptif	A l'affalage et après saignée
Vocalisations	Continu
<i>Indicateurs de risque de conscience</i>	
Clignements spontanés des yeux	Continu
Poursuite oculaire	Continu
Rotation du globe oculaire ¹	Continu
Nystagmus	Continu
Présence du réflexe cornéen	A l'affalage et après saignée
Présence de respiration	Continu
<i>Indicateurs d'inconscience</i>	
Effondrement immédiat sans tentatives de redressement orienté de la tête et/ou du corps	Dans le piège (effondrement immédiat) ; continue (absence de tentatives de redressement)
Absence de réflexe cornéen	A l'affalage et après saignée
Absence de respiration	Continu
Mouvements	Lieu d'observation
Tête pas dans l'axe du corps	A l'affalage, hissage, convoyage, saignée
Pédalage de l'antérieure gauche et/ou droite	A l'affalage, hissage, convoyage, saignée
Pédalage de la patte postérieure gauche et/ou droite	A l'affalage
Pédalage de la postérieure droite	Hissage, convoyage, saignée
Mouvements de queue	A l'affalage, hissage, convoyage, saignée

¹ Deux niveaux de rotation ont été distingués : partiel et complet (cf. Tableau 4)

II.3. Analyses des dommages cérébraux

Après récupération de la tête, une tige en bois 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. 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.

La tige a été retirée et le crâne a ensuite été scalpé puis décalotté à l'aide d'une scie oscillante (Bosch PMF 220 CE). 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 à l'aide d'une scie à ruban en tranches de 10 mm en commençant par le plan médian. Des photographies des plans de sections droits

et gauches ont été réalisées à l'aide d'un appareil photo Sony alpha 99 fixé sur un trépied et équipé d'un objectif Tamron SP 24-70 mm f/2,8 DiVC USD.

Les photos ont ensuite été analysées. Seules les lésions provoquées par le premier tir ont été évaluées. Deux structures ont été analysées : le SRAA et les noyaux gris. Le SRAA a été défini comme l'ensemble du thalamus, hypothalamus, mésencéphale et pont rostral. Les dommages au niveau de la tête du noyau caudé (Caudé), de l'ensemble du Putamen et Globus pallidus (Pu/GP) ont été évalués pour apprécier l'état des noyaux gris (Figure 1). Ces structures des noyaux gris se trouvent à proximité du SRAA et sont connues pour être impliquées dans les mouvements. Les conséquences sur d'autres structures des noyaux gris qui se trouvent éloignées du SRAA n'ont pas été évaluées.

II.4. Dommages au niveau du SRAA et des noyaux gris

Les notes prises lors des observations des étourdissements ont permis d'identifier le premier tir sur les photos des tranches de cerveaux. Deux expérimentateurs ont évalué visuellement, de manière indépendante, les dommages en utilisant différents critères :

- Zone lésée : la tige a provoqué des lésions et/ou déchirures dans la zone
- Zone intacte : la tige n'a causé aucun dommage macroscopique dans la zone.

II.5. Hémorragies

Un expérimentateur a évalué les hémorragies à différents endroits du cerveau, utilisant les 5 tranches centrales, représentant 5 cm (environ la moitié) du cerveau :

- a) Entre le tronc cérébral et la base du crâne
- b) Dans les ventricules (3ème, 4ème, latéraux)

- Points de sang (pétéchies) dans la zone : la tige n'a pas atteint la zone, mais a provoqué des petites hémorragies dans la zone, de la taille d'une pointe d'aiguille.

Dans une minorité des cas (17%), les observateurs n'arrivaient pas à une évaluation identique dans un premier temps. Dans ce cas, ils ont revérifié leurs évaluations pour arriver à une conclusion commune et consensuelle.

- c) Dans les interstices : dans les sillons du cortex, dans le tissu cérébral ou dans les citernes de la base (citerne au-dessus du tronc cérébral)

Les dommages ont été analysés uniquement pour le premier tir. Dans le cas de tirs multiples, les hémorragies ont été analysées uniquement si elles pouvaient être attribuées sans équivoque au premier tir.

II.6. Classification des dommages

Lésions : Les cerveaux ont été classés selon le lieu des lésions :

- lésion du SRAA (groupe SRAA),
- lésion des zones frontales du SRAA de manière à ce que le SRAA soit détaché des zones frontales du cerveau (groupe SRAA-F),
- lésion(s) à d'autres endroits du cerveau sans toucher le SRAA et sans le séparer des parties frontales du cerveau (groupe NON).

Hémorragies : Pour chaque endroit du cerveau, a), b) et c) décrits ci-dessus, en inspectant l'ensemble des

tranches, les hémorragies étaient évaluées selon 3 niveaux

- Niveau 1 : pas ou très peu d'hémorragies ;
- Niveau 2 : hémorragies de niveau intermédiaire – présentes mais sans augmentation de l'espace où elles se trouvent ;
- Niveau 3 : beaucoup d'hémorragies - épanchements larges et très visibles dans toutes ou quasiment toutes les tranches montrant la structure, ventricule distendu le cas échéant (Figure 2).

Un niveau total (score) a été calculé en sommant les 3 notations, théoriquement allant de 3 à 9.

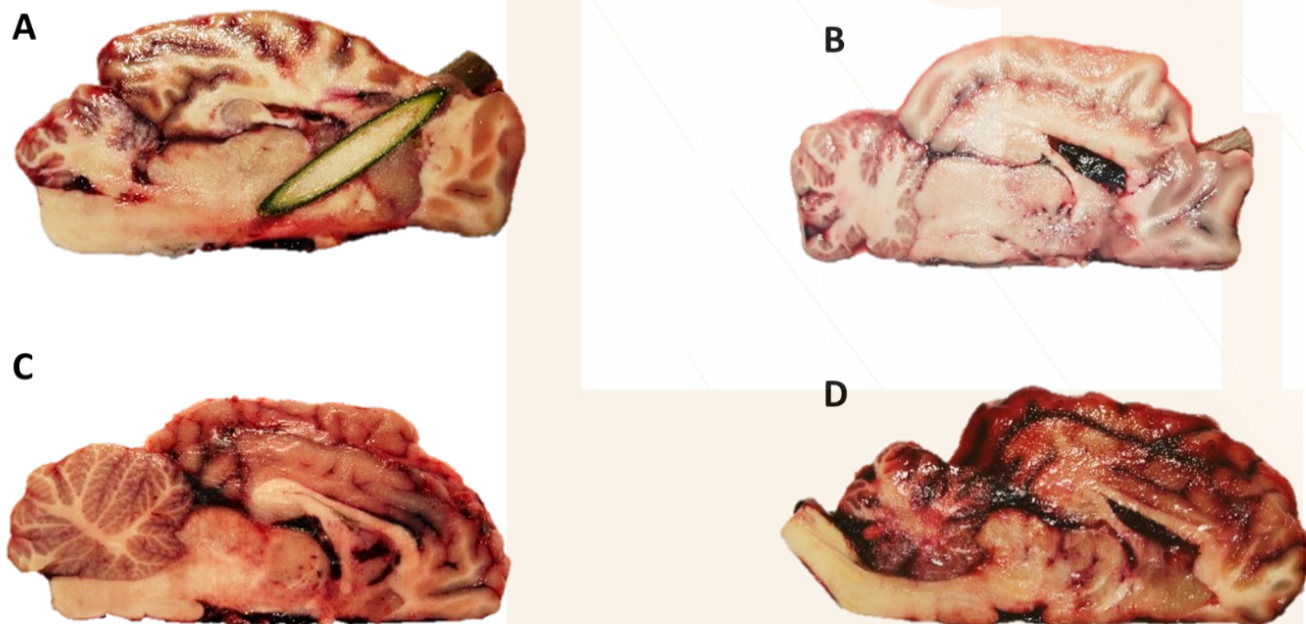


Figure 2. Exemples des différentes hémorragies observées.

En inspectant l'ensemble des tranches, les scores pour les ventricules, base et interstices, respectivement, étaient de A: 1, 1, 1 (score : 3); B: 3, 1, 1 (score : 5); C 3, 3, 2 (score : 8) ; D: 3, 2, 3 (score : 8).

II.7. Analyses des données

Parmi les dix signes de conscience et de risque de conscience étudiés, seuls cinq signes de risque de conscience ont été constatés chez les animaux sélectionnés, aucun d'entre eux n'ayant exprimé de réaction à un stimulus nociceptif, de tentative de

redressement, de réflexe cornéen, de poursuite oculaire ni de vocalisation.

Les moyennes de signes de risque de conscience exprimés et les scores d'hémorragies ont été comparés entre les groupes SRAA, SRAA-F et NON en utilisant

le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis (Dwass-Steel-Critchlow-Fligner Test pour les comparaisons post-hoc) et entre les groupes « présentant au moins un signe » vs « ne présentant aucun signe » en utilisant le test non-paramétrique de Mann-Whitney. La comparaison de deux pourcentages a été faite en utilisant le test z avec correction pour continuité pour deux proportions et avec le test de McNemar, lorsqu'il s'agissait de mesures répétées. Pour le groupe NON, l'effet du choix et du nombre des indicateurs utilisés a été évalué. Pour ce faire, la moyenne des signes de

risque de conscience était comparée entre des sélections de 2, 3, 4, ou 5 indicateurs (test de Friedman pour mesures répétées).

Les tableaux de contingence (permettant de comparer des nombres d'animaux classés dans différentes catégories) ont été analysés avec le Fisher exact test (tableaux 2x2) ou Chi2 (pour les tableaux plus larges).

Les tests ont été effectués en utilisant l'Addinsoft XLStat version 2021.4.1 (XLSTAT statistical and data analysis solution. New York, USA).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Lésions provoquées par les tirs et classement des animaux selon les dommages

Le premier tir a pénétré le SRAA chez 12 animaux (groupe SRAA). Il a endommagé et séparé le SRAA des zones frontales du cerveau chez 12 autres animaux (groupe SRAA-F ; Figure 3). Chez les autres, c'est-à-dire 21 animaux, la tige a uniquement touché les zones du cortex frontal, et est passée du côté crânial par

rapport au thalamus ou encore dans les parties latérales du cerveau (groupe NON ; Tableau 2). Vingt-six animaux ont reçu un seul tir, les autres en ont reçu plusieurs (Tableau 2). Seize animaux du groupe NON ont reçu plus d'un tir.

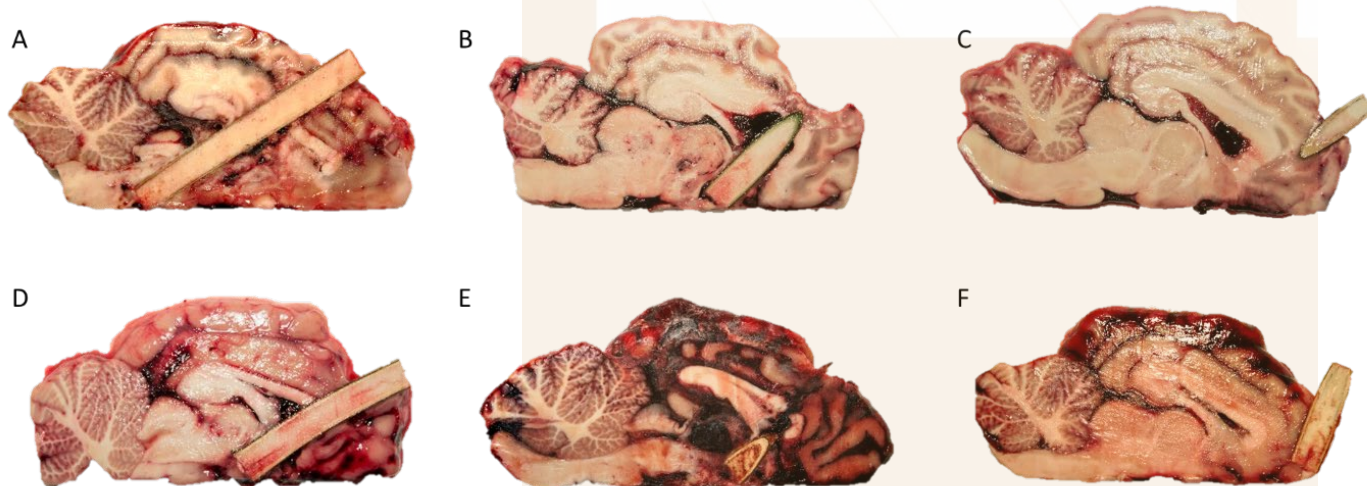


Figure 3. Exemples de tirs classés comme SRAA (A, D), SRAA-F (B, E) et NON (C, F).

A : tir traversant le thalamus, mésencéphale et pont ; B : tir dans l'hypothalamus ; C : tir superficiel dans le lobe frontal ; D : tir dans l'hypothalamus soulevant le thalamus et le mésencéphale ; E : tir dans l'hypothalamus ; F : tir dans le lobe frontal

Tableau 2. Nombre d'animaux selon les classes de dommages, SRAA, SRAA-F, et NON

Nombre de tirs	Nombre d'animaux concernés	1 ^{er} tir SRAA, SRAA-F, NON	2 ^{ème} tir SRAA, SRAA-F, NON	3 ^{ème} tir SRAA, SRAA-F, NON	4 ^{ème} tir SRAA, SRAA-F, NON	Nombre d'animaux NON selon le nombre de tirs
1	26	10, 10, 6	-	-	-	6
2	15	1*, 2, 12	4*, 1, 10	-	-	8
3	3	1, 0, 2	2, 0, 1	0, 1, 2	-	0
4	1	0, 0, 1	1, 0, 0	0, 1, 0	0, 0, 1	0

* animal 21 : tirs 1 et 2 ont lésé le SRAA

III.2. Les lésions concernaient principalement les parties frontales du SRAA

Dans les groupes SRAA et SRAA-F, les premiers tirs ont lésé majoritairement l'hypothalamus (16 cas) et le thalamus (7 cas). Chez seulement 4 animaux la tige a provoqué une lésion dans le mésencéphale (Tableau 3). Parmi ces 4, chez un seul animal le pont a été également touché. Ces observations excluent les lésions provoquées par des éclats d'os. On constate donc que dans l'échantillon d'animaux sélectionné, lorsque le SRAA était endommagé, il s'agissait le plus souvent des parties frontales du SRAA : thalamus et/ou hypothalamus. Il faut noter que la sélection de la moitié

des animaux en raison de présence de signe(s) de risque de conscience a pu constituer un biais. Cependant, une étude dans un autre abattoir a également trouvé des lésions fréquentes dans les parties frontales du SRAA, voire du cerveau (Terlouw *et al.*, 2024). Nos récentes publications avaient déjà indiqué que positionner le pistolet 2 à 3 cm au-dessus de l'emplacement habituellement indiqué peut maximiser la probabilité de léser le SRAA (Demota *et al.*, 2024 ; Terlouw *et al.*, 2024).

Tableau 3. Localisation des dommages selon la trajectoire de la tige pour le premier tir des 45 animaux sélectionnés. Une même structure a pu présenter plusieurs types de dommages et pour un même animal, plusieurs structures ont pu être endommagées.

	Hypothalamus		Thalamus		Mésencéphale		Pont
	Lésion	Pétéchies	Lésion	Pétéchies	Lésion	Pétéchies	Lésion
SRAA	7	2	6	7	2	1	1
SRAA-F	8 ^a	3	1 ^b	7	1 ^a	3	0
NON	1 ^{a,c}	0	0	2	0	0	0
Total	16	5	7	16	4	4	1

a : dont un cas provoqué par un éclat d'os,

b, un animal supplémentaire présentait une déchirure,

c : cet animal a été classé comme NON vue la taille réduite de la lésion.

III.3. Liens entre les dommages cérébraux et la présence de signes de risque de conscience

III.3.1. Les animaux du groupe NON ont présenté davantage de signes de risque de conscience.

Les indicateurs de risque de conscience vérifiés sont présentés dans le Tableau 4. Avec un nombre d'indicateurs observés plus élevé, les moyennes des

nombre des signes présentés augmentent également, notamment pour les groupes NON et SRAA (Tableau 4 ; Figure 4). Les animaux du groupe NON ont présenté

en moyenne davantage de signes de risque de conscience que ceux des groupes SRAA et SRAA-F (Tableau 5 ; Figure 4). De même, un plus grand nombre d'animaux du groupe NON a présenté au moins un de ces signes (Tableau 6). Ces différences en termes de signes de risque de conscience entre les groupes sont

III.3.2. L'utilisation de plus d'indicateurs de risque de conscience augmente la probabilité d'identifier correctement les animaux du groupe NON.

La différence entre les pourcentages d'animaux des groupes NON et SRAA/SRAA-F présentant au moins un signe dépend du nombre d'indicateurs observés et du choix des indicateurs (Tableau 6). L'objectif étant d'identifier le plus grand nombre possible d'animaux du groupe NON, l'utilisation d'un plus grand nombre

cohérentes avec l'état des dommages macroscopiques observés au niveau du SRAA. Les résultats montrent donc que les indicateurs utilisés sont pertinents pour évaluer la présence de dommages macroscopiques du SRAA et donc évaluer l'inconscience.

d'indicateurs améliore les performances de classification. Ceci est également illustré par la Figure 5, qui montre que le pourcentage d'animaux du groupe NON correctement classés comme NON augmente avec le nombre d'indicateurs utilisés ($r=0,84$; $p=0,0001$).

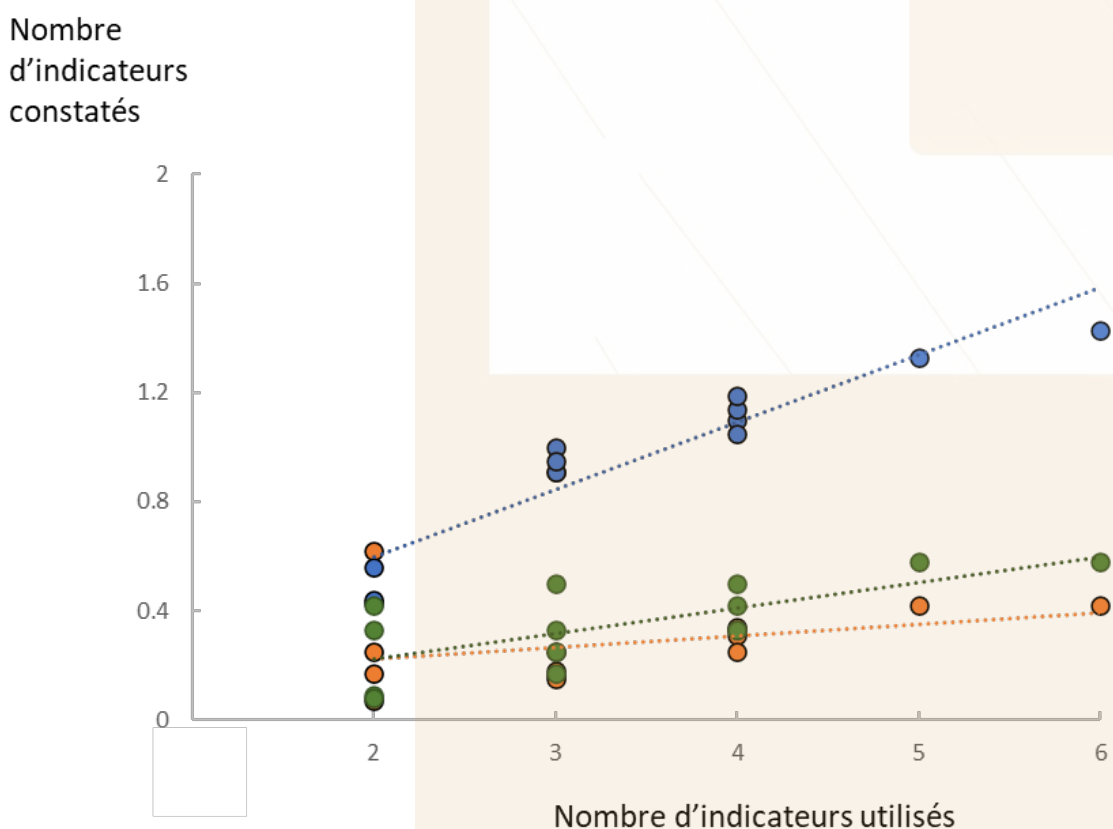


Figure 4. Nombre de signes de risque de conscience observés par animal en fonction du nombre d'indicateurs retenus pour l'évaluation (voir Tableau 1S).

Vert, orange et bleu : groupes SRAA ($r=0,70$; $p=0,005$), SRAA-F ($r=0,37$; $p=0,19$) et NON ($r=0,94$; $p=0,0001$), respectivement.

Lorsque les groupes SRAA et SRAA-F sont regroupés en un seul groupe, la corrélation est de $r = 0,58$ ($p = 0,003$).

Le pourcentage d'animaux du groupe NON correctement classés comme NON

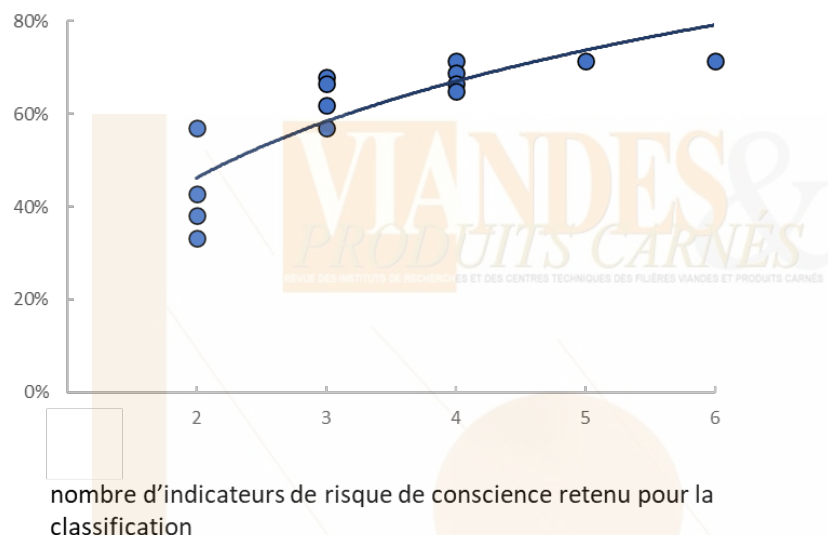


Figure 5. Pourcentage d'animaux du groupe NON correctement identifiés comme appartenant au groupe NON en fonction du nombre d'indicateurs de risque de conscience retenu pour la classification ($r=0,84$; $p=0,0001$) ; formule (logarithmique) utilisée pour calculer le pourcentage correctement classé= $0,30 \times \ln(\text{nombre d'indicateurs utilisés}) + 0,25$.

Tableau 4. Signes de conscience et de risque de conscience exprimés par les animaux sélectionnés et leurs occurrences.

Indicateur	Description	Nombre de constats
Effondrement partiel ou non immédiat	L'animal ne tombe pas immédiatement ou maintient une partie du tonus musculaire lui permettant d'être positionné sur les genoux ou de porter la tête pendant quelques secondes	7
Rotation complète du globe oculaire	Pupille en position médiale ou latérale, dorsale ou ventrale ; < de 25 % de l'iris visible	11
Rotation partielle du globe oculaire	Pupille en position médiale ou latérale, dorsale ou ventrale ; > de 25 % de l'iris visible	8
Nystagmus	Nystagmus (oscillation répétée du globe oculaire, horizontale ou verticale)	6
Respiration	Respiration rythmique visible sur le flanc et/ou les joues, ou ouverture de gueule avec ou sans introduction d'air dans les poumons	9
Clignement	Clignement spontané de la paupière	2
Réaction à un stimulus nociceptif	Mouvement de tête en réponse à une aiguille hypodermique piquée dans le museau	0
Vocalisation	Vocalisation spécifique à l'espèce	0
Tentative de redressement	Animal allongé sur le sol : tentative de relever la tête à l'horizontale Animal hissé : Tête relevée à l'horizontale avec un dos rigide et creux pendant plusieurs secondes	0
Réflexe cornéen	Testé en touchant légèrement la cornée : s'il est absent, la paupière reste ouverte et immobile	0
Poursuite oculaire	Les yeux suivent un objet en mouvement	0

Tableau 5. Différences entre les groupes SRAA, SRAA-F et NON dans le nombre moyen de signes de risque de conscience présentés en fonction des indicateurs retenus pour l'analyse (* : p<0,05).

Voir Tableau 1S pour les données chiffrées.

Nombre d'indicateurs inclus dans l'analyse	Indicateurs inclus dans l'analyse	Différence entre le nombre moyen des signes exprimés (Kuskall-Wallis; * : p<0,05)		
		SRAA vs SRAA-F	SRAA vs NON	SRAA-F vs NON
6	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration, clignements			*
5	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration			*
4	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, respiration			*
	Rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration			*
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, nystagmus, respiration		*	*
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus			*
3	Rotation partielle, rotation complète, respiration			*
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, respiration			*
	Rotation complète, nystagmus, respiration		*	*
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, nystagmus		*	*
2	Rotation partielle, rotation complète			
	Rotation partielle, respiration			
	Rotation complète, nystagmus		*	*
	Effondrement incomplet /non-immédiat, nystagmus			
	Effondrement incomplet /non-immédiat, respiration			

Tableau 6. En fonction des indicateurs retenus pour l'évaluation, pourcentages d'animaux présentant au moins un signe des groupes NON et SRAA/SRAA-F et leur comparaison à l'aide d'un test z pour proportions avec correction de continuité. Voir Tableau 2S pour les détails.

Nombre d'indicateurs retenus pour l'évaluation	Indicateurs retenus pour l'évaluation	Comparaison des proportions d'animaux présentant ≥ 1 signe (NON vs SRAA/SRAA-F)
6	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration, clignements	71% vs 46% : p=0,06
5	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	71% vs 46% : p=0,06
4	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, respiration	71% vs 46% : p=0,06
	Rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	66% vs 38% : p=0,08
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, nystagmus, respiration	66% vs 25% : p=0,002
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus	66% vs 33% : p=0,02
3	Rotation partielle, rotation complète, respiration	66% vs 38% : p=0,08
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, respiration	66% vs 25% : p=0,002
	Rotation complète, nystagmus, respiration	62% vs 21% : p=0,007
	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, nystagmus	57% vs 17% : p=0,002
2	Rotation partielle, rotation complète	57% vs 25% : p=0,05
	Rotation partielle, respiration	38% vs 33% : p=0,98
	Rotation complète, nystagmus	43% vs 8% : p=0,01
	Effondrement incomplet /non-immédiat, nystagmus	33% vs 13% : p=0,09
	Effondrement incomplet /non-immédiat, respiration	43% vs 21% : p=0,20

III.4. Choisir les indicateurs à observer

Les performances de l'évaluation dépendaient non seulement du nombre d'indicateurs observés, mais aussi du choix des indicateurs retenus. Par exemple dans la présente étude, l'observation des clignements spontanés n'a apporté qu'une valeur ajoutée très limitée (Tableaux 1S et 6, Figures 3 et 4). En effet, cet indicateur n'a été présenté que par 2 animaux du groupe NON qui présentaient déjà plusieurs autres signes de risque de conscience.

De même, 16 animaux ont été correctement identifiés comme appartenant au groupe NON à l'aide des quatre indicateurs, « Effondrement immédiat, rotation partielle, rotation complète, respiration ». L'ajout de « nystagmus » à cette liste n'a pas permis d'identifier davantage d'animaux (Tableau 6). En

revanche, l'ajout d'indicateurs a augmenté significativement le nombre moyen de signes de risque de conscience observés (Tableau 3S). L'ampleur de cet effet dépend toutefois de la combinaison initiale d'indicateurs et de l'indicateur ajouté (Tableau 3S). La présente étude ne permet pas de définir des règles générales pour optimiser le choix des indicateurs à retenir, car celui-ci dépend de nombreux facteurs, tels que l'abattoir, l'opérateur, le type d'animaux ou le fonctionnement du pistolet d'étourdissement. La présence de posture debout ou de tentatives de redressement, de réflexe cornéen ou de respiration constitue un risque élevé de conscience ou de retour de conscience et nécessite un réétourdissement immédiat. La présence de nystagmus et/ou de rotation oculaire

nécessite également un réétourdissement immédiat, sans pour autant considérer qu'il s'agit d'un échec de l'étourdissement. Pour rappel, dans le cas d'un tir frontal, l'absence de posture debout sans tentative de

redressement, l'absence de réflexe cornéen et l'absence de respiration constituent des signes fiables d'inconscience (Terlouw *et al.*, 2021b).

Conclusions sur les liens entre les signes de risque de conscience et les dommages macroscopiques au SRAA

- Les liens entre la présence de signes de risque de conscience et l'absence de dommages macroscopiques aux SRAA sont démontrés. Ce résultat confirme la validité et la pertinence de ces indicateurs.
- Utiliser plusieurs indicateurs de risque de conscience limite le risque de ne pas reconnaître un animal dont le SRAA n'a pas été lésé par la tige.

III.5. Certaines hémorragies contribuent à l'inconscience

III.5.1. Animaux du groupe NON ne présentant aucun signe de risque de conscience.

Les cerveaux de 4 des 5 animaux du groupe NON ne présentant pas de signe de risque de conscience (Tableau 2S) pouvaient être analysés en termes d'hémorragies causées par le premier tir. Ces cerveaux présentaient tous des hémorragies majeures ou intermédiaires dans les ventricules et dans les interstices des structures cérébrales ou dans les tissus cérébraux (Tableau 7). Les hémorragies de 11 cerveaux des 16 animaux du groupe NON présentant des signes de risque de conscience pouvaient également être

analysées. Parmi ceux-ci, huit présentaient très peu d'hémorragies, les autres présentaient des hémorragies de niveau intermédiaire. Aussi, le score d'hémorragie était plus élevé chez les animaux NON sans signe de risque de conscience, par rapport à ceux avec indicateurs. Ceci était notamment dû aux moyennes des notes aux trois endroits analysés dans le cerveau, plus élevées chez les animaux sans signe de risque de conscience, que chez les animaux avec signe de risque de conscience (Tableau 7).

III.5.2. Hémorragies dans l'ensemble des animaux selon les dommages cérébraux et selon les signes de risque de conscience

Sur les 45 animaux inclus dans l'étude, 36 cerveaux ont pu être analysés afin d'évaluer les hémorragies provoquées par le premier tir. Les groupes SRAA et SRAA-F présentaient globalement des scores d'hémorragie plus élevés que le groupe NON (Tableau 7). En revanche, aucune différence significative n'a été

observée entre les groupes SRAA et SRAA-F (toutes les valeurs de $p > 0,51$).

Sur l'ensemble du groupe, les animaux ne présentant aucun signe de risque de conscience avaient un score d'hémorragie global plus élevé (Tableau 7).

Tableau 7. Scores d'hémorragie en fonction de la présence de signes et des dommages cérébraux

	n	Base	Ventricule	Interstices	Score global
NON sans signe	4	1,3 ± 0,3	2,5 ± 0,3	2,3 ± 0,3	6,0 ± 0,4
NON avec signes	11	1,0 ± 0,0	1,5 ± 0,3	1,1 ± 0,1	3,5 ± 0,3
<i>p</i> (Mann-Whitney)		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Tous les animaux sans signe	17	1,5 ± 0,2	2,6 ± 0,1	2,1 ± 0,2	6,2 ± 0,3
Tous les animaux avec signes	19	1,3 ± 0,1	1,9 ± 0,2	1,6 ± 0,2	4,8 ± 0,5
<i>p</i> (Mann-Whitney)		NS	0,03	0,08	0,02
SRAA	11	1,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,4 ± 0,3	6,4 ± 0,5
SRAA-F	10	1,8 ± 0,3	2,6 ± 0,2	1,9 ± 0,3	6,3 ± 0,5
NON	15	1,1 ± 0,1	1,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	4,2 ± 0,4
<i>p</i> (Kruskal-Wallis) SRAA-F vs NON		0,01	0,04	0,42	0,01
<i>p</i> (Kruskal-Wallis) SRAA vs NON		0,02	0,06	0,03	0,01

III.5.3. Effets des hémorragies sur la conscience et sur les indicateurs de risque de conscience

Les hémorragies à la base du cerveau et dans les interstices sont probablement liées aux dommages sur les vaisseaux dans la dure-mère et dans le cerveau et à ceux sur les grosses artères à la base du cerveau (cercle artériel cérébral et rete mirabile ; Ashwini *et al.*, 2008 ; Zdun *et al.*, 2013 ; Al Ayian *et al.*, 2023), provoqués par le passage de la tige, ou par le choc et la lacération, l'écrasement et la cavitation qui y sont liés (Terlouw *et al.*, 2021a). Les hémorragies ventriculaires peuvent résulter directement du passage de la tige ou d'une rupture de la paroi ventriculaire sous la pression d'une hémorragie à proximité (Weisberg, 1990 ; Vakil et Singh, 2017). Les hémorragies cérébrales sont généralement accompagnées par une augmentation de pression intracrânienne et par une réduction de circulation sanguine cérébrale, résultant en une perte de conscience (Weisberg, 1990 ; Suwatcharangkoo *et al.*, 2016). Cependant, les hémorragies frontales ne provoquent en général pas d'inconscience (Weisberg, 1990), expliquant le manque d'efficacité des tirs dans le lobe frontal (Terlouw *et al.*, 2024).

Les structures qui contrôlent les indicateurs de risque de conscience se trouvent dans le mésencéphale, le pont et le bulbe rachidien. Les structures impliquées dans la conscience se trouvent dans le mésencéphale et

dans le pont rostral (Terlouw *et al.*, 2021b). Il s'agit de différents réseaux neuronaux, anatomiquement proches, mais pas identiques. Une hémorragie locale dans le bulbe rachidien ne provoque pas d'inconscience, mais peut provoquer la paralysie du corps et un arrêt respiratoire (Barinagarrementeria et Cantu, 1994 ; Terlouw *et al.*, 2021b). En revanche, une hémorragie locale dans le pont peut provoquer l'inconscience, souvent progressivement, surtout lorsque l'hémorragie est large (≥ 20 mm chez l'humain ; Iwasaki *et al.*, 1988 ; Dziewas *et al.*, 2003 ; Parvizi et Damasio, 2003). De façon similaire, une hémorragie étendue dans le mésencéphale et/ou pont rostral rend des patients humains inconscients (Weisberg, 1990 ; Suwatcharangkoo *et al.*, 2016 ; Parvizi et Damasio, 2003). Il est probable que chez les quatre animaux du groupe NON ne présentant aucun signe de risque de conscience, les hémorragies étendues aient affecté les structures impliquées dans le contrôle de ces indicateurs. Au regard de leur étendue (Tableau 7), elles ont probablement aussi atteint les structures impliquées dans la conscience, rendant ces animaux inconscients. Dans notre étude, chez un cinquième animal du groupe NON ne présentant aucun signe de risque de conscience, l'état des hémorragies

n'a toutefois pas pu être évalué, ce qui ne permet pas de conclure sur son état de conscience. Cependant, bien que des hémorragies étendues puissent contribuer à la perte de conscience, elles ne représentaient qu'une situation minoritaire parmi les animaux du groupe NON. De plus, comme leur survenue ne peut pas être contrôlée lors de l'étourdissement, le positionnement du pistolet doit viser à maximiser la probabilité de provoquer des dommages du SRAA afin d'obtenir une perte de conscience efficace et durable, conformément aux recommandations de Demota et al. (2024).

Ces résultats concernent les tirs frontaux étudiés ici. En revanche, dans d'autres situations, notamment après un tir occipital, il est possible que le SRAA ne soit pas endommagé, et que le tir provoque uniquement des hémorragies locales restreintes dans le pont caudal et/ou le bulbe rachidien. Dans ce cas, l'absence de signes de risque de conscience peut être observée alors que l'animal peut conserver au moins un certain niveau de conscience, le SRAA étant préservé (Terlouw *et al.*, 2021b). De ce fait, le tir occipital doit être évité et réservé uniquement aux situations où le tir frontal ne peut pas être réalisé.

Conclusions sur les signes de risque de conscience après un tir frontal

- Chez une minorité des animaux du groupe NON (4 des 15 animaux dont les hémorragies ont pu être analysées), l'absence de signes de risque de conscience était associée à des hémorragies cérébrales étendues. L'étendue des hémorragies cérébrales suggère que ces animaux étaient inconscients malgré l'absence de dommages macroscopiques du SRAA, sans qu'il soit possible de le démontrer formellement.
 - Chez une majorité des animaux du groupe NON (11 des 15 animaux dont les hémorragies ont pu être analysées), la présence de signes de risque de conscience ne permettait pas de considérer ces animaux comme inconscients.
- => Ces résultats soulignent l'importance d'obtenir des dommages macroscopiques du SRAA lors du tir frontal afin de maximiser la probabilité d'obtenir une perte de conscience efficace et durable.

III.6. L'orientation et la position exactes du tir pourraient expliquer la présence d'indicateurs de risque de conscience dans les groupes SRAA et SRAA-F.

Onze des 24 animaux chez lesquels le SRAA a été lésé (groupes SRAA-F et SRAA) ont présenté au moins un signe de risque de conscience (Tableau 2S). A l'exception de la posture, ces indicateurs sont sous le contrôle de structures qui se trouvent dans des zones caudales par rapport au SRAA, donc plus éloignées de l'extrémité de la tige. Malgré les dommages macroscopiques du SRAA, la présence de ces signes suggère que ces structures caudales conservent une fonctionnalité au moins partielle et que les dommages induits par le tir ne sont pas suffisamment étendus pour

en abolir l'expression. La variabilité de la persistance ou non de certains signes de conscience pourrait notamment s'expliquer par la position et l'orientation précises de la tige lors du tir. Au cours de sa progression, la tige provoque un déplacement des tissus qui la précèdent, générant une compression des structures avoisinantes. L'étendue et la localisation de ces effets mécaniques dépendent de la trajectoire de la tige et conditionnent ainsi le degré d'atteinte du pont et du bulbe rachidien, influençant par conséquent la persistance éventuelle de certains signes de conscience.

Conclusions

- La présence de signes de risque de conscience liés aux yeux et à la respiration, malgré des dommages macroscopiques du SRAA, suggère que ces dommages ne se sont pas étendus aux structures caudales qui contrôlent ces signes.

- Toutefois, les lésions du SRAA sont compatibles avec une perte de conscience, ce qui indique que la persistance de ces signes ne traduit pas nécessairement le maintien de la conscience.

=> Pour rappel, après un tir frontal, l'absence simultanée de la posture debout et de tentatives de redressement, du réflexe cornéen et de la respiration indique que le tir a endommagé les structures profondes du tronc cérébral. Ceci indique que l'animal est inconscient avec une forte probabilité de le rester jusqu'à la fin de la saignée. Cependant, il convient de continuer à observer l'animal jusqu'à la fin de la saignée.

III.7. Mouvements post-étourdissement

Les mouvements de la tête et de la queue lorsque l'animal était sur le sol n'ont pas pu être analysés car souvent non visibles sur les vidéos.

III.7.1. Peu de liens entre les mouvements et les dommages au SRAA ou les indicateurs de risque de conscience

Les différences entre les groupes SRAA, SRAA-F et NON étaient faibles. Les animaux du groupe SRAA-F tendaient à présenter plus de pédalages des antérieures que les autres groupes ($p=0,06$) et plus de mouvements de tête que le groupe NON ($p=0,08$; Tableau 4S). Pendant le hissage, plus d'animaux du groupe SRAA-F que dans le groupe SRAA présentaient des pédalages ($p=0,07$; Tableau 5S). On constate également une tendance vers plus de mouvements de queue et de pattes à certains stades post-étourdissement chez les animaux ne présentant aucun

signe de conscience (Tableau 6S), mais à nouveau, l'effet est mineur. Comme déjà démontré dans le passé, ces résultats montrent que le niveau de ces mouvements n'est pas un indicateur permettant d'identifier un risque de conscience (Terlouw *et al.*, 2015). Cependant, il est probable qu'un animal mal étourdi présente un niveau de mouvements élevé. En cas de doute, il faut vérifier l'absence de posture debout sans tentatives de redressement, l'absence de réflexe cornéen et l'absence de tout mouvement respiratoire.

III.7.2. Le niveau des pédalages dépendait du stade post-étourdissement

Pendant le hissage, le nombre d'animaux présentant des pédalages était plus élevé comparé à celui observé quand ils étaient sur le sol ($p=0,0002$), accrochés ($p=0,04$) ou en convoyage ($p=0,002$; Tableau 8). Sur le sol, le nombre d'animaux présentant des pédalages était plus élevé que pendant l'accrochage ($p=0,004$; Tableau 8). Chez l'animal inconscient post-étourdissement, les mouvements de tête et les pédalages sont des mouvements réflexes, liés au redressement ou aux générateurs de rythme ; c'est-à-dire qu'ils sont involontaires (Encadré 2 ; Terlouw *et*

al., 2015). Les niveaux des pédalages plus élevés notamment pendant le hissage peuvent s'expliquer par un changement d'angle que fait la tête avec le corps, la perte de la pression sur un côté du corps, et le changement de la position du corps par rapport à la gravité (Encadré 2). Pendant le hissage, les durées des mouvements de la queue et des pattes postérieures étaient corrélées ($r=0,66$; $p<0,0001$), suggérant que ces mouvements sont au moins en partie sous le contrôle des mêmes structures cérébrales, ou de structures anatomiquement proches.

Tableau 8. Nombre (et pourcentages) des animaux présentant des pédalages (antérieures et/ou postérieures) selon le stade post-étourdissement.

Les pourcentages marqués par des lettres différentes indiquent des différences significatives (test de McNemar, a,b,c,d : $p < 0,05$).

Stade post-étourdissement	Pédalages		
	Absents (nb animaux)	Présents (nb animaux)	Présents (% d'animaux)
A l'affalage	36	6	14% ^{ab}
Accrochage	26	16	38% ^{ad}
Hissage	14	25	64% ^c
Convoyage	24	8	25% ^a

Encadré 2 : réflexes de redressement et mouvements volontaires

Le redressement du corps et du cou consiste en une chaîne relativement fixe de mouvements réflexes (Magnus, 1925, 1926a,b; Pollock and Davis, 1930). D'abord, la tête est ramenée dans une position normale, puis le cou et le tronc. Les réflexes de redressement de la tête utilisent des informations labyrinthiques provenant de l'oreille interne (dans l'os temporal ; SanMartin *et al.*, 1992). L'interconnexion des centres contrôlant les réflexes de redressement peut être observée chez des animaux dont le labyrinthe ou l'oreille interne a été retiré expérimentalement. Tourner la tête d'un tel animal sur le côté provoque une extension des membres du côté vers lequel la tête est tournée. La raison est que les propriocepteurs des muscles du cou sont stimulés, ce qui agit ensuite sur les muscles des membres. Les réflexes de redressement utilisent également des stimuli tactiles : une pression sur un côté du corps (comme lorsqu'un animal est couché) stimule le redressement de la tête. La pression sur les deux côtés du corps n'a pas cet effet (Magnus, 1926b). Les centres qui contrôlent des réflexes de redressement de la tête et du corps se trouvent dans le mésencéphale (Magnus, 1926b). Les centres des réflexes du cou se trouvent dans le bulbe rachidien (Magnus, 1926b). Enfin, il existe des groupes de cellules nerveuses dans le tronc cérébral et dans la moelle épinière en charge de mouvements de routine, comme la locomotion, certains mouvements de tête, le clignement des paupières, et de la bouche, appelés des générateurs de rythme (Hikosaka, 2007 ; Kaminer *et al.*, 2011 ; Terlouw *et al.*, 2015). Ainsi, les différentes composantes automatiques du redressement et des mouvements de routine sont générées dans différentes zones du tronc cérébral et de la moelle épinière. Chez l'animal conscient, le contrôle volontaire des mouvements se produit dans le cortex (Magnus, 1925, 1926a, b ; Pollock et Davis, 1930). Les noyaux gris jouent un rôle important dans l'intégration des mouvements volontaires et automatiques (Takakusaki *et al.*, 2004).

III.7.3. Liens entre les mouvements et les dommages au niveau des noyaux gris

Les dommages des noyaux gris causés par le premier tir ont pu être analysés chez 12, 11 et 17 animaux des groupes SRAA, SRAA-F et NON, respectivement (Tableau 9). Chez 17 et 16 animaux, le

Caudé et le Putamen/Globus Pallidus, respectivement, présentaient une lésion et/ou des pétéchies. Le Caudé est sur la trajectoire de la tige lorsque celle-ci est orientée vers le SRAA en étant légèrement déportée

latéralement (Figures 1 et 6). Le Putamen/Globus Pallidus était touché lorsque le tir était légèrement déporté latéralement mais en même temps placé un peu plus bas. Pendant le hissage, les animaux avec des dommages au Putamen/Globus Pallidus présentaient

plus de pédalages (Tableau 10). Il n'y a pas eu de différences entre les groupes quand les animaux étaient sur le sol (Mann-Whitney : $p > 0,66$) ou pendant le convoyage (Mann-Whitney : $p > 0,13$).

Tableau 9. Nombres d'animaux avec des lésions et des pétéchiés dans le noyau caudé et Putamen/Globus Pallidus (Pu/GP), selon les groupes SRAA, SRAA-F et NON

Groupe selon dommages du SRAA	Noyau caudé		Putamen/Globus Pallidus	
	Lésion	Pétéchiés	Lésion	Pétéchiés
SRAA (n=12)	5	4	2	3
SRAA-F (n=11)	5	4	7	1
NON (n=17)	1	2	6	3
Nombre total	11	10	15	7
Total %	28%	25%	38%	18%

Tableau 10. Mouvements pendant le hissage (moyennes de pourcentages de temps et nombres d'animaux) en fonction des dommages dans les noyaux gris (dommages : "lésions et/ou les pétéchiés dans le Putamen/Globus Pallidus (Pu/GP) et/ou des pétéchiés dans le noyau caudé").

	Pétéchiés et/ou lésion dans le PU/GP			Pétéchiés et/ou lésion dans le PU/GP		
	Non	Oui		Non (n=24) ¹	Oui (n=15) ²	
Mouvements	Moyennes (% de temps)		p (Mann-Whitney)	Nombre d'animaux présentant les mouvements		p (z-test)
Tête	10,4 ± 4,0	13,4 ± 6,6	0,79	12	8	NS
Antérieures	0,1 ± 0,1	2,6 ± 1,3	<0,0001	1	5	0,06
Postérieures	6,7 ± 2,1	12,2 ± 2,6	0,05	14	12	NS
Antérieures et postérieures	3,4 ± 1,0	7,4 ± 1,5	0,03	15	12	NS
Queue	10,7 ± 3,5	18,1 ± 6,3	0,45	10	7	NS
Tête+queue+antérieures+postérieures	23,3 ± 5,3	41,6 ± 10,5	0,21	20	13	NS

Dû à des valeurs manquantes : 1. pour les mouvements de tête, groupe non : $n=22$, pour les mouvements de queue, $n=23$; 2. pour tous les mouvements, groupe oui : $n=15$

Le tonus musculaire est régulé par des effets de contreponds entre des systèmes inhibiteur et facilitateur, gérés par les noyaux gris (Takakusaki *et al.*, 2004). L'augmentation des mouvements involontaires chez des animaux ayant des dommages

aux noyaux gris peut suggérer que ces derniers ont un effet inhibiteur sur les pédalages post-étourdissement, notamment sur les mouvements réflexes stimulés par les manipulations pendant le hissage (Encadré 2). Il est également possible que les pédalages soient en partie

liés à l'activité des générateurs de rythme (Encadré 2 ; Terlouw *et al.*, 2015). Des études antérieures indiquent que des dommages aux noyaux gris peuvent effectivement entraîner une incapacité d'inhibition des mouvements qui sont sous le contrôle des générateurs de rythme (Mink, 2003 ; Hikosaka, 2007 ; Defebvre et Krystkowiak, 2016). En résumé, les résultats suggèrent que les manipulations liées au hissage stimulent des générateurs de rythme et/ou des centres impliqués dans les mouvements réflexes du redressement. Les noyaux gris ont un effet inhibiteur et lorsqu'ils sont endommagés par le tir, pendant le hissage, les pédalages s'expriment à un niveau plus élevé. Les

résultats sont cohérents avec une étude antérieure qui a déjà indiqué que le niveau des pédalages post-étourdissement pouvait être lié aux structures endommagées (Terlouw *et al.*, 2015).

Les noyaux gris sont proches du SRAA, augmentant la probabilité de les léser en atteignant le SRAA avec la tige. Ainsi, un étourdissement efficace peut être associé à des niveaux plus élevés des pédalages, voire d'autres mouvements. Cependant, comme déjà indiqué, il est probable d'observer un niveau élevé de mouvements après un étourdissement peu efficace et en cas de doute, il faut vérifier l'absence de tentatives de redressement, de réflexe cornéen et de respiration.

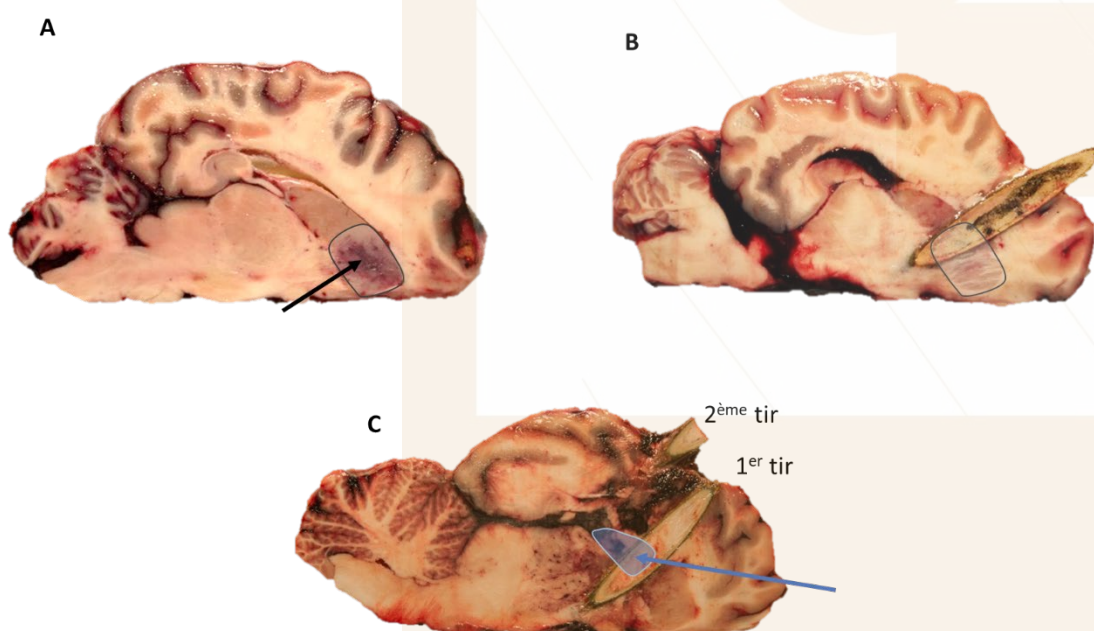


Figure 6. Coupes sagittales de cerveaux avec des exemples de petites lésions et pétéchies (flèche) dans le putamen/Globus Pallidus (A), et de tir dans le Putamen/Globus Pallidus (B) et dans le Caudé (C). Le Putamen/Globus Pallidus est représenté par une zone de gris transparent (A, B), le Caudé par une zone de bleu transparent (C). Photo : C. Mallet et C. Terlouw.

Conclusions sur les mouvements post-étourdissement

- Les manipulations liées au hissage peuvent stimuler l'expression de pédalages réflexes.
- Des dommages aux noyaux gris peuvent entraîner une désinhibition des pédalages.
- Les noyaux gris se trouvent anatomiquement proches du SRAA qui est la cible du tir.

IV. CONCLUSIONS

La présence des signes de risque de conscience, préconisés par des études antérieures (Gregory *et al.*, 2007 ; Atkinson *et al.*, 2013, Verhoeven *et al.*, 2015 ; Terlouw *et al.*, 2021b), est associée à une probabilité significativement plus élevée d'absence de dommages macroscopiques au SRAA. Comme l'absence de dommages au SRAA est associée au maintien de la conscience de l'animal, ces résultats soutiennent la validité de ces indicateurs pour évaluer l'inconscience des bovins après l'étourdissement par tir frontal. En effet, un nombre plus élevé de signes de risque de conscience était associé à une probabilité accrue d'absence de dommages macroscopiques du SRAA. L'utilisation d'un plus grand nombre d'indicateurs de risque de conscience augmente la probabilité d'identifier correctement les animaux dont le SRAA n'a pas été endommagé. L'utilisation de plus d'indicateurs augmente également le nombre d'animaux considérés comme présentant un risque de conscience alors que leur SRAA est en réalité lésé. Ces animaux recevront également un deuxième tir. Cette approche entraîne donc une augmentation des deuxième tirs. Cette augmentation du nombre de deuxième tirs ne reflète pas un taux élevé d'échecs du premier tir, mais un niveau élevé de précaution.

La perte de conscience peut également résulter d'hémorragies étendues touchant la région du SRAA. Lorsqu'elles s'étendent au-delà du SRAA et altèrent le fonctionnement d'une plus grande partie du tronc cérébral, elles provoquent également l'absence de signes de risque de conscience. Cependant, chez les animaux dont le SRAA ne présentait pas de dommages macroscopiques, les cas d'hémorragies étendues

touchant la région du SRAA restaient minoritaires. Comme la survenue de ces hémorragies ne peut pas être contrôlée lors de l'étourdissement, l'objectif du tir doit rester de provoquer des dommages suffisants du SRAA afin d'assurer une perte de conscience efficace (Demota *et al.*, 2024).

Chez les bovins efficacement étourdis, les pédalages peuvent être stimulés par les manipulations liées au hissage et être renforcés s'il y a des lésions dans certaines zones des noyaux gris, provoquant une désinhibition de ces mouvements. Pour cette raison, ces mouvements ne peuvent pas être utilisés comme indicateur de risque de conscience. En cas de niveau de mouvements élevé il faut s'assurer qu'aucun des indicateurs de risque de conscience n'est exprimé.

Pour rappel, suite à un tir frontal, l'absence de signes de risque de conscience indique que l'animal est inconscient avec une forte probabilité de le rester jusqu'à la fin de la saignée. Cependant, il peut arriver que malgré leur absence initiale, des signes de risque de conscience apparaissent au cours des étapes suivantes de l'abattage. Pour cette raison, il convient de continuer à observer l'animal jusqu'à la fin de la saignée. En cas d'apparition de signes de risque de conscience, il doit être réétourdi immédiatement. Suite à un tir occipital, ces indicateurs ne sont pas applicables (Terlouw *et al.*, 2021b).

D'autres lésions, non visibles à l'œil nu ou difficiles à identifier sur des photographies, telles que de petites hémorragies, des déchirures ou des compressions, notamment dans les régions précises du mésencéphale et du pont rostral impliquées dans la conscience, peuvent également affecter le niveau de conscience.

Remerciements

Nous remercions l'abattoir qui a ouvert ses portes pour rendre cette étude possible et l'abattoir expérimental INRAE-Herbipôle d'avoir permis de réaliser l'étude anatomique dans de bonnes conditions. Nous remercions Claire Allègre et Nicolas Bouko-Levi, pour leurs contributions aux analyses.

Références

- Al Aiyan, A., & Balan, R. (2023). Mapping the branching pattern of the middle cerebral artery in the camel (*Camelus dromedarius*): a comprehensive anatomical analysis. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1224197.
- Ashwini, C. A., Shubha, R., & Jayanthi, K. S. (2008). Comparative anatomy of the circle of Willis in man, cow, sheep, goat, and pig. *Neuroanatomy*, 7, 54-85.
- 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.
- Barinagarrementeria, F., & Cantu, C. (1994). Primary medullary hemorrhage. Report of four cases and review of the literature. *Stroke*, 25(8), 1684-1687.
- Defebvre, L., & Krystkowiak, P. (2016). Movement disorders and stroke. *Revue neurologique*, 172(8-9), 483-487.
- Demota, F., Bourguet, C., Devriendt, N., Mallet, C., & Terlouw, C., (2024). Etourdissement des bovins au pistolet à tige perforante : Etude des dommages cérébraux provoqués par la tige perforante en fonction de la position du pistolet lors de l'étourdissement des bovins. *Viandes et produits carnés, VPC-2024-40-12*, 1.
- Dziewas, R., Kremer, M., Lüdemann, P., Nabavi, D. G., Dräger, B., & Ringelstein, E. B. (2003). The prognostic impact of clinical and CT parameters in patients with pontine hemorrhage. *Cerebrovascular diseases*, 16(3), 224-229.
- Grandin, T. (2002). Return-to-sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 221(9), 1258-1261.
- Gregory, N. G., Lee, C. J., & Widdicombe, J. P. (2007). Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. *Meat Science*, 77(4), 499-503.
- Hikosaka, O. (2007). GABAergic output of the basal ganglia. *Progress in brain research*, 160, 209-226.
- Iwasaki, Y., Kinoshita, M., & Ikeda, K. (1988). Primary pontine hemorrhage: Clinico-computed tomographic correlations. *Computerized medical imaging and graphics*, 12(6), 365-370.
- Johnson, P. J., Janvier, V., Luh, W. M., FitzMaurice, M., Southard, T., & Barry, E. F. (2019). Equine stereotaxic population average brain atlas with neuroanatomic correlation. *Frontiers in neuroanatomy*, 13, 89.
- Kaminer, J., Powers, A. S., Horn, K. G., Hui, C., & Evinger, C. (2011). Characterizing the spontaneous blink generator: an animal model. *Journal of Neuroscience*, 31(31), 11256-11267.
- Magnus, R. (1925) Croonian Lecture. Animal posture. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B* 98, 339–353.
- Magnus, R. (1926a) Some results of studies in the physiology of posture. Part I. *The Lancet* 211, 531–536.
- Magnus, R. (1926b) Some results of studies in the physiology of posture. Part II. *The Lancet* 211, 585–588.
- Mink, J. W. (2003). The basal ganglia and involuntary movements: impaired inhibition of competing motor patterns. *Archives of neurology*, 60(10), 1365-1368.
- Parvizi, J., & Damasio, A. R. (2003). Neuroanatomical correlates of brainstem coma. *Brain*, 126(7), 1524-1536.
- Pollock, L. J., & Davis, L. (1930). The reflex activities of a decerebrate animal. *Journal of comparative neurology*, 50(2), 377-411.
- SanMartin, J., Rauch, S. D., & Moscicki, R. A. (1992). Bovine temporal bones as a source of inner ear antigen. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 101(8), 688-690.
- Suwatcharangkoon, S., Meyers, E., Falo, C., Schmidt, J. M., Agarwal, S., Claassen, J., & Mayer, S. A. (2016). Loss of consciousness at onset of subarachnoid hemorrhage as an important marker of early brain injury. *JAMA neurology*, 73(1), 28-35.
- Takakusaki, K., Saitoh, K., Harada, H., & Kashiwayanagi, M. (2004). Role of basal ganglia-brainstem pathways in the control of motor behaviors. *Neuroscience research*, 50(2), 137-151.
- Terlouw, C., Ducreux, B., & Bourguet, C. (2021a). Particularités neurobiologiques et physiologiques des différentes techniques d'abattage. *Viandes & Produits Carnés, VPC-2021-3725*.

Terlouw, C., Ducreux, B., & Bourguet, C. (2021b). Spécificités des indicateurs de conscience et d'inconscience selon les méthodes d'abattage. Viandes & Produits Carnés, VPC-2021-3726.

Terlouw, C., Ducreux, B., Mallet, C., & Bourguet, C. (2024). Etourdissement des bovins à tige perforante (2 e partie : Etude 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). Viandes et produits carnés, VPC-2024-40-13, 1.

Terlouw, E.M.C., Bourguet, C., Deiss, V., & Mallet, C. (2015). Origins of movements following stunning and during bleeding in cattle. Meat science, 110, 135-144.

Vakil, M. T., & Singh, A. K. (2017). A review of penetrating brain trauma: epidemiology, pathophysiology, imaging assessment, complications, and treatment. Emergency radiology, 24(3), 301-309.

Verhoeven, M. T. W., Gerritzen, M. A., Hellebrekers, L. J., & Kemp, B. (2015). Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: a review. Animal, 9(2), 320-330.

Weisberg, L. A. 1990. How to identify and manage brain hemorrhage. Postgraduate Medicine, 88 3 , 169-175.

Zdun, M., Frąckowiak, H., Kiełtyka - Kurc, A., Kowalczyk, K., Nabzdyk, M., & Timm, A. (2013). The arteries of brain base in species of Bovini tribe. The Anatomical Record, 296(11), 1677-1682.

ANNEXE matériel Supplémentaire

Tableau 1S. Nombre moyen de signes de risque de conscience exprimés selon les indicateurs retenus pour l'analyse et selon la classe des dommages cérébraux (SRAA, SRAA-F et NON), ainsi que leurs comparaisons (Kruskal-Wallis).

Nombre d'indicateurs inclus dans l'analyse	Indicateurs exclus	Indicateurs inclus	Dommages	Nombre moyen des signes exprimés	Valeur de p (test de Kruskal-Wallis)		
					SRAA vs SRAA-F	SRAA vs NON	SRAA-F vs NON
6	Aucun	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration, clignements	SRAA	0,58 ± 0,15	0,50	0,056	0,008
			SRAA-F	0,42 ± 0,19			
			NON	1,43 ± 0,25			
5	Clignements	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA	0,58 ± 0,15	0,49	0,074	0,01
			SRAA-F	0,42 ± 0,19			
			NON	1,33 ± 0,24			
4	Clignements, nystagmus	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, respiration	SRAA	0,58 ± 0,15	0,45	0,22	0,03
			SRAA-F	0,33 ± 0,14			
			NON	1,10 ± 0,19			
	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements	Rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA	0,50 ± 0,15	0,49	0,073	0,01
			SRAA-F	0,33 ± 0,19			
			NON	1,14 ± 0,21			
	Clignements, rotation partielle	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA	0,33 ± 0,19	0,74	0,02	0,008
			SRAA-F	0,25 ± 0,13			
			NON	1,19 ± 0,25			
3	Clignements, respiration	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus	SRAA	0,42 ± 0,15	0,65	0,055	0,02
			SRAA-F	0,33 ± 0,19			
			NON	1,05 ± 0,20			
	Effondrement incomplet/non-immédiat, nystagmus, clignements	Rotation partielle, rotation complète, respiration	SRAA	0,50 ± 0,15	0,30	0,16	0,01
			SRAA-F	0,25 ± 0,13			
			NON	0,91 ± 0,17			
	Nystagmus, clignements, rotation partielle	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, respiration	SRAA	0,33 ± 0,14	0,63	0,09	0,01
			SRAA-F	0,17 ± 0,13			
			NON	0,95 ± 0,19			

2	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements, rotation partielle	Rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA	0,25 ± 0,13	0,73	0,02	0,005
			SRAA-F	0,17 ± 0,11			
			NON	1,00 ± 0,21			
	Clignements, rotation partielle, respiration	Effondrement incomplet /non-immédiat, rotation complète, nystagmus	SRAA	0,17 ± 0,11	1,0	0,01	0,01
			SRAA-F	0,17 ± 0,11			
			NON	0,91 ± 0,21			
	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements, nystagmus, respiration	Rotation partielle, rotation complète	SRAA	0,33 ± 0,15	0,63	0,36	0,06
			SRAA-F	0,62 ± 0,13			
			NON	0,43 ± 0,62			
	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation complète, nystagmus, clignements	Rotation partielle, respiration	SRAA	0,42 ± 0,15	0,42	0,92	0,41
			SRAA-F	0,25 ± 0,13			
			NON	0,43 ± 0,13			
	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements, rotation partielle, respiration	Rotation complète, nystagmus	SRAA	0,08 ± 0,08	1,0	0,02	0,02
			SRAA-F	0,08 ± 0,08			
			NON	0,57 ± 0,16			
	Rotation partielle, rotation complète, nystagmus, clignements	Effondrement incomplet /non-immédiat, nystagmus	SRAA	0,08 ± 0,08	0,64	0,09	0,24
			SRAA-F	0,17 ± 0,11			
			NON	0,43 ± 0,15			
	Rotation partielle, rotation complète, nystagmus, clignements	Effondrement incomplet /non-immédiat, respiration	SRAA	0,25 ± 0,13	0,88	0,50	0,25
			SRAA-F	0,17 ± 0,11			
			NON	0,52 ± 0,15			

Tableau 2S. En fonction des indicateurs retenus pour l'évaluation, nombre d'animaux présentant au moins un signe de risque de conscience et nombre d'animaux incorrectement classés (pourcentages entre parenthèses). La comparaison des proportions d'animaux présentant au moins un signe entre les groupes NON et SRAA/SRAA-F a été réalisée à l'aide d'un test z pour proportions avec correction de continuité.

Nombre d'indicateurs utilisés	Indicateurs retirés	Indicateurs inclus	Groupe des dommages du SRAA	Nb (%) animaux présentant ≥ 1 signe	Nb (%) animaux du groupe NON incorrectement classés comme SRAA ou SRAA-F	Nb (%) animaux des groupes SRAA et SRAA-F combinés incorrectement classés comme NON	Comparaison des proportions d'animaux présentant ≥ 1 signe (NON vs SRAA/SRAA-F)
6	Aucun	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration, clignements	SRAA SRAA-F NON	7 (58) 4 (33) 16 (71)	6 (28)	11 (46)	71% vs 46% : p=0,06
5	Clignements	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA SRAA-F NON	7 (58) 4 (33) 16 (71)	6 (28)	11 (46)	71% vs 46% : p=0,06
4	Clignements, nystagmus	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, respiration	SRAA SRAA-F NON	7 (58) 4 (33) 16 (71)	6 (28)	11 (46)	71% vs 46% : p=0,06
	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements	Rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA SRAA-F NON	6 (50) 3 (25) 14 (67)	7 (33)	9 (38)	66% vs 38% : p=0,08
	Clignements, rotation partielle	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA SRAA-F NON	3 (25) 3 (25) 15 (67)	7 (33)	6 (25)	66% vs 25% p=0,002
	Clignements, respiration	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus	SRAA SRAA-F NON	5 (42) 3 (25) 15 (67)	7 (33)	8 (33)	66% vs : 33% : p=0,02

3	Effondrement incomplet/non-immédiat, nystagmus, clignements	Rotation partielle, rotation complète, respiration	SRAA	6 (50)				
			SRAA-F	3 (25)	7 (33)	9 (38)	66% vs 38% :	
			NON	14 (67)			p=0,08	
	Nystagmus, clignements, rotation partielle	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation complète, respiration	SRAA	4 (33)				
2			SRAA-F	2 (17)	7 (33)	6 (25)	66% vs 25% :	
			NON	15 (67)			p=0,002	
	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements, rotation partielle	Rotation complète, nystagmus, respiration	SRAA	3 (25)				
			SRAA-F	2 (17)	8 (38)	5 (21)	62% vs 21% :	
3			NON	13 (62)			p=0,007	
	Clignements, rotation partielle, respiration	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation complète, nystagmus	SRAA	2 (17)				
			SRAA-F	2 (17)	9 (43)	4 (17)	57% vs 17% :	
			NON	13 (57)			p=0,002	
2	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements, nystagmus, respiration	Rotation partielle, rotation complète	SRAA	4 (33)				
			SRAA-F	2 (17)	9 (43)	6 (25)	57% vs 25% :	
			NON	12 (57)			p=0,05	
	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation complète, nystagmus, clignements	Rotation partielle, respiration	SRAA	5 (42)				
2			SRAA-F	3 (25)	13 (62)	8 (33)	38% vs 33% :	
			NON	8 (38)			p=0,98	
	Effondrement incomplet/non-immédiat, clignements, rotation partielle, respiration	Rotation complète, nystagmus	SRAA	1 (8)				
			SRAA-F	1 (8)	12 (57)	2 (8)	43% vs 8% :	
3			NON	9 (43)			p=0,01	
	Rotation partielle, rotation complète, clignements, respiration	Effondrement incomplet/non-immédiat, nystagmus	SRAA	1 (8)				
			SRAA-F	2 (17)	14 (67)	3 (13)	33% vs 13% :	
			NON	8 (33)			P=0,09	
3	Rotation partielle, rotation complète, nystagmus, clignements	Effondrement incomplet/non-immédiat, respiration	SRAA	2 (17)		5 (21)		
			SRAA-F	3 (25)	12 (57)		43% vs 21% :	
			NON	9 (43)			p=0,20	

Tableau 3S. Exemples de l'effet de l'ajout ou du retrait d'un indicateur d'une liste d'indicateurs sur le nombre moyen de signes de risque de conscience exprimés par les animaux du groupe NON. Les valeurs de p ont été calculées à l'aide du test de Friedman (test non paramétrique), comparant les moyennes obtenues avant et après le retrait de l'indicateur. Dans la colonne "Liste initiale", l'indicateur souligné est celui retiré dans la colonne "Indicateur retiré".

Nombre d'indicateurs dans la liste initiale	Liste initiale	Indicateur retiré	Moyennes du groupe NON		Friedman
			Avec l'indicateur	Sans l'indicateur	Valeur de p
5	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, <u>nystagmus</u> , respiration	Nystagmus	1,38 ± 0,23	1,14 ± 0,19	0,025
4	Rotation partielle, rotation complète, <u>nystagmus</u> , respiration		1,14 ± 0,21	0,91 ± 0,17	0,025
4	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation complète, <u>nystagmus</u> , respiration		1,24 ± 0,24	1,00 ± 0,21	0,03
5	<u>Effondrement incomplet/non-immédiat</u> , rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	Effondrement incomplet/non immédiat	1,38 ± 0,23	1,14 ± 0,21	0,03
4	<u>Effondrement incomplet/non-immédiat</u> , rotation complète, nystagmus, respiration		1,24 ± 0,24	1,00 ± 0,21	0,03
5	Effondrement incomplet/non-immédiat, <u>rotation partielle</u> , rotation complète, nystagmus, respiration	Rotation partielle	1,38 ± 0,23	1,24 ± 0,24	0,08
4	Effondrement incomplet/non-immédiat, <u>rotation partielle</u> , rotation complète, respiration		1,10 ± 0,19	1,00 ± 0,18	0,08
4	<u>Rotation partielle</u> , rotation complète, nystagmus, respiration		1,14 ± 0,21	1,00 ± 0,21	0,08
4	Effondrement incomplet/non-immédiat, <u>rotation partielle</u> , rotation complète, nystagmus		1,10 ± 0,19	0,95 ± 0,20	0,08
3	Rotation partielle, rotation complète, respiration	Rotation complète	0,91 ± 0,17	0,43 ± 0,13	0,002
3	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation complète, respiration		1,00 ± 0,18	0,52 ± 0,15	0,002
5	Effondrement incomplet/non-immédiat, rotation partielle, rotation complète, nystagmus, respiration	Respiration	1,38 ± 0,23	1,10 ± 0,19	0,01
3	Rotation partielle, rotation complète, respiration		0,91 ± 0,17	0,62 ± 0,13	0,01
3	Rotation complète, nystagmus, respiration		1,00 ± 0,21	0,57 ± 0,16	0,008

**Tableau 4S. Durées moyennes (en pourcentage du temps d'observation) des différents mouvements selon les dommages (SRAA, SRAA-F et NON).
Sur une même ligne, les moyennes n'ayant pas les mêmes lettres a,b sont différentes : $p < 0,05$ (test de Dunn).**

<i>Affalage</i>				
Mouvements	SRAA	SRAA-F	NON	Valeur de p (kruskal-wallis)
Antérieures	14,3 ± 10,0	0,2 ± 0,2	0,0 ± 0,0	NS
Postérieures	14,4 ± 10,0	2,6 ± 1,6	0,8 ± 0,8	NS
Pattes total	14,4 ± 10,0	1,4 ± 0,8	0,4 ± 0,4	NS
<i>Accrochage</i>				
Tête	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	NS
Queue	9,3 ± 7,3	10,0 ± 10,0	0,0 ± 0,0	NS
Antérieures	3,3 ± 3,0	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,0	NS
Postérieures	11,2 ± 6,3	20,5 ± 9,2	9,0 ± 3,7	NS
Pattes total	7,3 ± 4,4	10,4 ± 4,6	4,5 ± 1,9	NS
<i>Hissage</i>				
Tête	24,3 ± 10,6	5,7 ± 2,6	6,6 ± 2,0	NS
Queue	2,5 ± 1,4	12,5 ± 3,9	5,5 ± 2,2	NS
Antérieures	0,0 ± 0,0 ^a	3,3 ± 1,8 ^b	0,4 ± 0,3 ^a	0,06
Postérieures	6,6 ± 2,6	9,9 ± 2,4	9,6 ± 3,1	NS
Pattes total	3,3 ± 1,3	6,6 ± 1,6	5,0 ± 1,6	NS
<i>Convoyage</i>				
Tête	46,5 ± 15,4 ^{ab}	54,5 ± 15,7 ^a	20,0 ± 13,3 ^b	0,08
Queue	3,4 ± 3,4	11,1 ± 11,1	20,0 ± 13,3	NS
Antérieures	1,1 ± 1,1	3,0 ± 2,1	6,2 ± 6,1	NS
Postérieures	12,6 ± 7,8	5,3 ± 3,6	10,0 ± 10,0	NS
Pattes total	3,9 ± 2,0	3,6 ± 2,4	7,1 ± 5,0	NS

Tableau 5S. Nombre d'animaux présentant des mouvements selon les dommages cérébraux et le stade post-étourdissement. Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre d'animaux pour lesquels les données étaient disponibles, si celui-ci diffère de l'effectif initial (SRAA, n=11, SRAA-F, n=11, NON, n=20).

	Nb animaux (n=11)	Nb animaux (n=11)	Nb animaux (n=20)	Valeur de p (Chi2) comparant les 3 colonnes*
<i>Affalage</i>				
Mouvements	SRAA	SRAA-F	NON	
Antérieures	2	1	0	NA
Postérieures	2	3	1	0,22
Pattes total	2	3	1	0,22
<i>Accrochage</i>				
Tête	0	0	0	NA
Queue	2(10)	1 (10)	0	NA
Antérieures	2	1	0	NA
Postérieures	4	6	6	0,40
Pattes total	4	6	6	0,40
<i>Hissage</i>				
Tête	8	5	7 (15)	0,33
Queue	3	7	6 (16)	0,20
Antérieures	0	4	2 (17)	NA
Postérieures	5	9	12 (17)	0,18
Pattes total	5 a	10 b	12 (17) ab	0,07
<i>Convoyage</i>				
Tête	6 (10)	6	2 (10)	0,15
Queue	1 (10)	1 (9)	2 (10)	0,78
Antérieures	1 (10)	2	2 (10)	0,81
Postérieures	3 (10)	2	1 (10)	0,52
Pattes total	4 (10)	2	2 (10)	0,46

Tableau 6S. Durées moyennes (en pourcentage du temps d'observation) des différents mouvements selon la présence d'indicateurs de risque de conscience (test de Mann-Whitney).

<i>Affalage</i>			
Mouvements	Avec indicateurs	Sans indicateur	Valeur de p (Mann-Whitney)
Antérieures	2,5 ± 2,5	5,4 ± 5,2	Ns
Postérieures	3,3 ± 2,7	6,6 ± 5,2	Ns
Pattes total	2,9 ± 2,6	6,0 ± 5,2	Ns
<i>Accrochage</i>			
Tête	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	Ns
Queue	4,4 ± 3,6	5,9 ± 5,9	0,09
Antérieures	1,4 ± 1,4	0,2 ± 0,2	Ns
Postérieures	11,0 ± 4,0	14,7 ± 5,9	Ns
Pattes total	6,2 ± 2,5	7,4 ± 2,9	Ns
<i>Hissage</i>			
Tête	7,5 ± 2,0	15,5 ± 6,5	Ns
Queue	9,1 ± 4,6	18,1 ± 4,5	Ns
Antérieures	0,4 ± 0,2	1,8 ± 1,1	Ns
Postérieures	6,8 ± 2,1	11,0 ± 2,5	Ns
Pattes total	3,6 ± 1,1	6,4 ± 1,4	Ns
<i>Convoyage</i>			
Tête	23,9 ± 12,1	52,6 ± 11,8	Ns
Queue	7,7 ± 7,7	14,0 ± 8,2	Ns
Antérieures	0,9 ± 0,9	5,0 ± 3,3	Ns
Postérieures	5,9 ± 5,9	11,6 ± 5,9	Ns
Pattes total	2,1 ± 1,6	6,6 ± 2,9	0,09