

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE NANTES

ANNEE 2009

**DE L'ETOURDISSEMENT DES RUMINANTS DE
BOUCHERIE PAR ELECTRONARCOSE.
CONSEQUENCES POUR L'ANIMAL ET SA
CARCASSE. UNE SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.**

THESE
pour le
diplôme d'Etat
de
DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement
le 02 février 2009
devant
la Faculté de Médecine de Nantes
par

Sandy ESPALLARGAS

Née le 10 Mars 1983 à Vitry-sur-Seine (94)

JURY

Président : Monsieur Michel BOURIN
Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres : Madame Catherine MAGRAS
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes

Monsieur Marc GOGNY
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE NANTES

ANNEE 2009

**DE L'ETOURDISSEMENT DES RUMINANTS DE
BOUCHERIE PAR ELECTRONARCOSE.
CONSEQUENCES POUR L'ANIMAL ET SA
CARCASSE. UNE SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.**

THESE
pour le
diplôme d'Etat
de
DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement
le 02 février 2009
devant
la Faculté de Médecine de Nantes
par

Sandy ESPALLARGAS

Née le 10 Mars 1983 à Vitry-sur-Seine (94)

JURY

Président : Monsieur Michel BOURIN
Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres : Madame Catherine MAGRAS
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes

Monsieur Marc GOGNY
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes

CORPS ENSEIGNANT DE L'E.N.V.N.

Directeur : Pierre SAI (Pr)

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PATHOLOGIE		
Patrick Nguyen – Professeur		
NUTRITION et ENDOCRINOLOGIE	Patrick NGUYEN (Pr) Henri DUMON (Pr)	Brigitte SILIART (Pr) Lucile MARTIN (MC)
PHARMACOLOGIE et TOXICOLOGIE	Marc GOGNY (Pr) Martine KAMMERER (Pr) Jean-Dominique PUYT (Pr)	Hervé POULIQUEN (Pr) Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Chantal THORIN (PCEA)
PHYSIOLOGIE FONCTIONNELLE, CELLULAIRE et MOLECULAIRE	Lionel MARTIGNAT (MC) Jean-Marie BACH (MC)	Philippe BLANCOU (MC)
ANATOMIE PATHOLOGIQUE	Monique WYERS (Pr) Yan CHEREL (Pr) Frédérique NGUYEN (MC)	Jérôme ABADIE (MC) Marie-Anne COLLE (MC)
PATHOLOGIE GENERALE-MICROBIOLOGIE et IMMUNOLOGIE	Jean-Marc PERSON (Pr) Jean-Louis PELLERIN (Pr)	Hervé SEBBAG (MC) Emmanuelle MOREAU (MC)
LANGUES	Marc BRIDOU (PLEA)	
DEPARTEMENT DE SANTE DES ANIMAUX D'ELEVAGE ET SANTE PUBLIQUE		
Christine Fourichon – Maître de Conférences		
HYGIENE ET QUALITE DES ALIMENTS	Michel FEDERIGHI (Pr) Bruno LE BIZEC (Pr) Catherine MAGRAS-RESCH (MC)	Eric DROMIGNY (MC) Marie-France PILET (MC) Jean-Michel CAPPELIER (MC)
MEDECINE DES ANIMAUX D'ELEVAGE	Arlette LAVAL (Pr) Catherine BELLOC (MC) Isabelle BREYTON (MC)	Alain DOUART (MC) Sébastien ASSIE (MC) Raphaël GUATTEO (MC)
PARASITOLOGIE GENERALE, PARASITOLOGIE DES ANIMAUX DE RENTE, FAUNE SAUVAGE ET PATHOLOGIE AQUACOLE	Monique L'HOSTIS (Pr) Alain CHAUVIN (Pr) Albert AGOULON (MC))	Guillaume BLANC (MC) Ségolène CALVEZ (MC)
MALADIE REGLEMENTEE, ZONOSSES ET REGLEMENTATION SANITAIRE	Jean-Pierre GANIERE (Pr) Geneviève ANDRE-FONTAINE (Pr) Suzanne BASTIAN-ORANGE (MC)	Nathalie RUVOEN-CLOUET (MC)
ZOOTECNIE, ECONOMIE	Henri SEEGERS (Pr) Jean-Claude LEBOSSÉ (Pr A) Xavier MALHER (Pr) Nathalie BAREILLE (MC)	François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (MC) Marc ROBERT (MC)
DEPARTEMENT DE SCIENCES CLINIQUES		
Yves Legeay - Professeur		
ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES	Patrick COSTIOU (Pr) Eric BETTI (MC)	Claire DOUART (MC) Claude GUINTARD (MC)
PATHOLOGIE CHIRURGICALE	Olivier GAUTHIER (Pr) Béatrice LIJOUR (MC) Eric AGUADO (MC)) Eric GOYENVALLE (MC)	Delphine HOLOPHERNE (MC) Olivier GEFFROY (Pr C) Gert NIEBAUER (Pr I)
DERMATOLOGIE, PARASITOLOGIE CARNIVORES, EQUIDES, MYCOLOGIE	Patrick BOURDEAU (Pr)	
MEDECINE INTERNE ET LEGISLATION PROFESSIONNELLE IMAGERIE MEDICALE	Yves LEGEAY (Pr) Dominique FANUEL (Pr) Anne COUROUCE-MALBLANC (MC) Catherine IBISCH (MC)	Marion FUSELLIER (MC) Jack-Yves DESCHAMPS (MC) Odile SENECA (MC) Cécilia HINDORF (Pr A)
BIOTECHNOLOGIES ET PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION	Daniel TAINTURIER (Pr) Francis FIENI (Pr) Jean-François BRUYAS (Pr)	Lamia BRIAND (MC) Djemil BENCHARIF (MCC)

Pr : Professeur, Pr A : Professeur Associé, Pr I : Professeur Invité, MC : Maître de Conférences, MCC : Maître de Conférences Contractuel, AERC : Assistant d'enseignement et de recherches, PLEA : Professeur Lycée Enseignement Agricole, PCEA : Professeur certifié enseignement agricole.

Remerciements

A Monsieur Michel Bourin

Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes

Qui nous a fait l'honneur de bien vouloir accepter la présidence de notre jury de thèse.

Remerciements respectueux.

A Madame Catherine Magras

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes

Qui nous a conseillé et guidé dans la réalisation de ce travail

Pour sa disponibilité et sa gentillesse.

Chaleureux remerciements.

A Monsieur Marc Gogny

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse

Pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail.

Sincères remerciements.

A Monsieur Jean-Pierre Kieffer

Président de l'Œuvre d'Assistance aux Bêtes d'Abattoirs

Pour son aide dans la recherche des données et pour son engagement.

Sincères remerciements.

Table des matières

I	<i>L'électronarcose : principe et utilisation dans le cadre de l'abattage</i>	21
A.	L'étourdissement lors de l'abattage : une pratique réglementée	21
1)	L'abattage : un procédé de transformation des viandes soumis à des réglementations	21
a	Les définitions de « l'abattage ».....	21
b	Les trois champs d'exigences réglementaires s'appliquant à l'abattage	21
c	Les opérations unitaires de l'abattage critiques d'un point de vue « bien-être » animal	22
d	Les lieux de réalisation de l'abattage	25
2)	L'étourdissement : une obligation légale générale	26
a	En France	26
b	Dans le monde.....	26
3)	Des dérogations à l'utilisation de l'étourdissement.....	27
a	L'abattage rituel	27
b	La mise à mort du gibier d'élevage	28
4)	Le contrôle du respect de la réglementation.....	28
a	Les services de l'état	28
b	L'appui d'organisations annexes.....	29
B.	Les méthodes d'étourdissement et leur contrôle	29
1)	Définition	29
2)	Les différentes méthodes d'étourdissement autorisées.....	29
a	Les qualités attendues d'un bon étourdissement	29
b	Le pistolet à tige perforante ou à balle libre	30
c	Le procédé à percussion	31
d	L'utilisation de gaz à effet anesthésiant	31
e	L'électronarcose	31
3)	Les contrôles à effectuer	32
C.	L'électronarcose	35
1)	Les matériels utilisés	35
a	L'agrément des matériels	35
b	Le matériel utilisé.....	36
2)	La prévalence de l'électronarcose chez les ruminants.....	38
II	<i>Conséquences physiologiques de l'électronarcose</i>	39
A.	La séquence	39
1)	Les signes cliniques et physiologiques associés.....	39
a	Une crise épileptiforme	39
b	Les modifications cardiaques	42
c	Le « retour » à la conscience	42
2)	Les conséquences hormonales.....	42
a	Les catécholamines	42
b	Le cortisol.....	43
c	Les bêta-endorphines plasmatiques.....	43
d	La vasopressine et l'ocytocine	43
B.	Les paramètres évaluant l'efficacité de l'électronarcose	43
1)	L'inconscience	43
a	Le mécanisme.....	44
b	Les moyens utilisés pour étudier la perte de conscience	44
2)	L'insensibilité à la douleur	49
a	Les éléments de physiologie de la nociception	49
b	L'évaluation de l'insensibilité à la douleur par l'étude des potentiels corticaux évoqués.....	50
c	Le lien entre la durée de la crise épileptiforme et l'insensibilité	50
C.	Les facteurs de variation de l'efficacité de l'étourdissement par électronarcose	51
1)	Les facteurs intrinsèques	51

a	Les paramètres du courant électrique	51
b	Les électrodes	53
2)	Les facteurs extrinsèques	58
a	L'espèce	58
b	L'individu.....	61
c	La répétition	61
d	Le stress.....	61

III Conséquences de l'électronarcose sur la qualité et la sécurité de la production des viandes 62

A. Les caractéristiques de qualité de la viande affectées par l'électronarcose 62

1)	Les qualités liées au pH.....	62
a	L'évolution du pH après la mort d'animaux – effets de l'électronarcose.....	62
b	La couleur.....	64
c	Le pouvoir de rétention d'eau	65
d	La tendreté.....	65
2)	L'oxydation des lipides	66

B. Les caractéristiques hygiéniques affectées 66

1)	Les lésions hémorragiques	67
a	L'étiologie possible	67
b	La prévalence	68
c	Les facteurs de variation.....	68
2)	La saignée.....	70
3)	La dissémination des bactéries	71
4)	L'ESB.....	71

C. La sécurité du personnel..... 72

1)	Les risques.....	72
a	La contention.....	72
b	L'ESB.....	73
2)	Les facteurs de risque.....	74

D. L'optimisation de la production..... 74

1)	La troisième électrode	74
2)	L'automatisation	75
3)	Les caractéristiques du courant	76
4)	Lien entre l'électronarcose et le « cold shortening »	77

Liste des figures et des tableaux

Tableau I : Abattage des animaux de boucherie en France métropolitaine en 2000 (Frayssé et al. 2001).....	25
Tableau II: Méthodes d'étourdissement pour l'abattage ou la mise à mort utilisables selon l'espèce	32
Tableau III : Méthodes d'étourdissement acceptables d'après l'OIE(2006)	34
Tableau IV: Influence sur l'étourdissement de plusieurs substances d'après Cook et ses collaborateurs (1992) 40	
Tableau V : Intensités minimales recommandées par l'OIE(2006).....	58
Tableau VI : Périodes d'inconscience et d'insensibilité chez le mouton et le veau	59
Tableau VII : Influence de l'étourdissement sur l'oxydation lipidique (Linares et al. 2007)	66
Tableau VIII : Fréquence des points de sang sur carrés désossés en fonction du mode d'anesthésie des porcs (d'après Griot et al 2000) Classe 1 : absence de points de sang, classe 2 : présence de points de sang superficiels, classe 3 : points de sang nécessitant un parage.	69
Tableau IX : Influence de la méthode d'étourdissement sur la saignée d'après Blackmore 1976.....	71
Tableau X : Sens d'influence des différents facteurs de variation de l'électronarcose sur les objectifs de l'étourdissement	76

Figure 1 : Amenée des moutons (MPS 2008).....	23
Figure 2 : Schéma général des opérations unitaires du process d'abattage des bovins.....	24
Figure 3 : Application des pinces à électronarcose chez un agneau (MPS 2008).....	36
Figure 4 : Représentation schématique des différents sites d'application des pinces en fonction du type d'étourdissement électrique (d'après Gilbert et al. 1984)	37
Figure 5: Appareil Morphée M4 (Lelong et cie).....	37
Figure 6 : Pinces à anesthésier (www.ferrando.fr).....	38
Figure 7: Diagramme schématique du possible mécanisme d'action de l'électronarcose d'après Cook et ses collaborateurs (1992)	41
Figure 8 : ECG d'un mouton avant et après étourdissement électrique d'après Lambooy 1982	42
Figure 9 : Les régions du cerveau impliquées dans l'état conscient d'après Korsak (2006)	44
Figure 10 : Temps de réapparition de certains réflexes après l'induction de l'électronarcose d'après Gregory et Wotton (1988)	45
Figure 11 : ECoG enregistrés chez le lapin (a) vigile, activité normale, (b) activité épileptiforme après étourdissement, (c) activité unipolaire à plusieurs pics « polyspike » après étourdissement (Anil, Raj, Mc Kinstry 2000)	47
Figure 12 : Electrocorticogramme (ECoG) et potentiels corticaux évoqués visuels (VEP) avant, pendant et après la crise épileptiforme induite par l'étourdissement électrique chez le mouton (Gregory et Wotton 1985).....	49
Figure 13 : la loi d'Ohm.....	51
Figure 14 : Représentation schématique de la position des électrodes (Velarde et Al 2000).....	53
Figure 15 : diagramme de répartition des positions d'électrode observées chez le porc d'après Anil et Mc Kinstry 1998	54
Figure 16 : Influence de l'humidité sur l'efficacité de l'électronarcose (Velarde et al. 2000)	55
Figure 17 : Influence de la tonte sur l'efficacité de l'électronarcose (Velarde et al. 2000).....	56
Figure 18 : Les 5 types de profil de courant (Gregory 2001)	57
Figure 19 : Représentation schématique de la vascularisation cérébrale d'après Bager et al. 1988	60
Figure 20 : Positions anatomiques possibles de la saignée chez le veau	61
Figure 21 : Chute du pH de la viande d'agneau d'après Vergara et Gallego (2000).....	63
Figure 22 : Vitesse de la chute de pH chez l'agneau (Vergara et al. 2005).....	64
Figure 23 : Représentation schématique de la structure musculaire.....	65
Figure 24 : Viande saigneuse d'après Cappelier 2006.....	70
Figure 25 : Comportement en fonction du temps moyen passé en contention avant l'étourdissement sur pieds ou avant la saignée en position renversée d'après Koorts dans Gregory 2005.....	73
Figure 26: Prévalence des comportements de stress lors de la contention avant l'étourdissement sur pieds ou avant la saignée en position renversée d'après Koorts dans Gregory 2005.....	73
Figure 27 : Appareil de contention pour l'étourdissement des bovins utilisé en Nouvelle Zélande.....	75
Figure 28 : Appareils semi-automatiques.....	76

Introduction

Le bien être animal est une préoccupation émergente de notre société. Le lien affectif croissant qu'entretiennent les français avec les animaux, associé à la médiatisation des abattages de masse au moment des épizooties, ont entre autres participé à son développement dans le domaine de l'abattage. Cet intérêt apporte aussi une valeur marchande supplémentaire aux produits de l'abattage respectueux du bien être animal.

Le marché de la viande représente en France plus de 3 millions de tonnes de viande d'animaux de boucherie. Les ruminants en constituent près de la moitié. Pour l'année 2007 ce sont 1 566 400 veaux, 3 457 000 bovins adultes et 6 073 300 caprins et ovins qui ont été abattus et transformés pour la production de viande dans les abattoirs français.

Conformément aux normes communautaires la loi française impose un étourdissement préalable à l'abattage destiné à rendre les animaux inconscients et insensibles, mais les organisations internationales émettent de nouvelles recommandations et lignes directrices concernant le bien-être animal et de nouvelles normes sont étudiées. En 2004 le groupe scientifique sur la santé animale et le bien-être des animaux de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a émis un avis relatif aux aspects concernant le bien-être des principales espèces animales soumises à l'étourdissement et à la mise à mort au cours de l'abattage. Par ailleurs la Commission européenne a décidé de la mise en place d'un Plan d'Action Communautaire pour la protection et le bien-être des Animaux au cours de la période 2006-2010. Pour en préserver la crédibilité, il est nécessaire que le bien-être des animaux soit traité selon une approche scientifique. Les experts scientifiques soulignent l'importance d'investigations complémentaires sur les mécanismes et effets des différentes méthodes d'étourdissement.

Dans ce cadre les autorités européennes s'intéressent au développement de méthodes d'étourdissement jusqu'alors peu utilisées telles que l'électronarcose. En effet, si l'électronarcose est une méthode largement utilisée en Europe pour l'étourdissement des monogastriques, chez les Ruminants, elle demeure anecdotique, particulièrement en France, alors qu'elle est largement utilisée dans certains pays comme la Nouvelle Zélande. De nombreuses questions se posent donc : Quel est son mécanisme d'action ? Quels sont ses effets sur l'animal et sur la qualité de la viande ? Est-elle opérationnelle en abattoir ? Respecte-t-elle bien les principes de base du bien être animal ?

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions nous proposons de réaliser une synthèse des connaissances sur l'étourdissement par électronarcose des Ruminants de boucherie. Dans une première partie le contexte particulier de l'utilisation de l'électronarcose pour l'abattage des animaux producteurs de denrée sera abordé. En effet il est nécessaire de situer les contraintes de l'abattoir, notamment celles liées aux cadences d'abattage et au niveau de formation du personnel, ces contraintes étant très différentes des situations « expérimentales » dans lesquelles la plupart des études sur le bien être animal et/ou sur l'électronarcose sont ou ont été conduites. Nous envisagerons dans une seconde partie les conséquences physiologiques notamment en termes de réactions de l'animal (nature et intensité des mouvements ...) d'inconscience et d'insensibilité à la douleur. Enfin dans une troisième partie, les conséquences sur la qualité et la sécurité de la production des viandes seront abordées car la mise en œuvre d'un tel procédé se doit certes d'envisager le bien-être animal mais sans altérer la qualité et la sécurité des viandes, ni même la sécurité des personnes au travail.

I L'électronarcose : principe et utilisation dans le cadre de l'abattage

L'abattage est le terme général utilisé pour le processus de la première transformation des animaux de production en viande. Il consiste en la succession d'opérations unitaires conduisant d'un animal vivant considéré sain, à la production de deux demi carcasses jugées propres à la consommation humaine. Dans ce cadre l'introduction à l'abattoir, en vue de la consommation humaine, est interdite pour :

- tout animal malade, en état de mort apparente, mort de maladie ou d'accident ou en état de misère physiologique,
- tout animal des espèces bovine, porcine et équine, accidenté depuis plus de 48 heures,
- les ovins et les caprins accidentés, quelque soit leur âge.

« L'abattage » est aussi, comme nous allons le voir ci-dessous, une des opérations unitaires de cette transformation des animaux de production, et est soumis à un cadre réglementaire.

A. L'étourdissement lors de l'abattage : une pratique réglementée

1) L'abattage : un procédé de transformation des viandes soumis à des réglementations

a Les définitions de « l'abattage »

L'abattage est selon l'article 2 de la directive européenne 93/119/CE « le fait de mettre à mort un animal par saignée ». Il diffère de la mise à mort qui correspond à « tout procédé qui cause la mort ». Cependant le terme « abattage » est aussi dans un usage courant utilisé lors de la mise à mort des animaux lors de lutte contre les maladies contagieuses, pour les animaux susceptibles de représenter un danger, pour les animaux élevés pour leur fourrure, et pour les poussins et embryons refusés dans les couvoirs. Dans ces cas et selon l'article 3 de l'arrêté du 25 octobre 1982 relatif à l'élevage, la garde et la détention des animaux, « lorsque les circonstances imposent de provoquer la mort d'un animal, cette dernière doit être pratiquée par un procédé assurant une mort rapide et éliminant toute souffrance évitable ». Nous ne développerons pas dans cette étude les différents procédés autorisés pour la mise à mort des animaux.

b Les trois champs d'exigences réglementaires s'appliquant à l'abattage

Cette étape de la chaîne de production des viandes est soumise à trois champs réglementaires différents :

- le champ de la protection animale,
- le champ de la sécurité et de la qualité des denrées : il s'agit de façon générale d'un ensemble de règlements européens associés à la promulgation le 12 janvier 2000 du Livre Blanc européen, et du règlement socle de la réglementation sanitaire des denrées, le Règlement CE n°178/2002 du 28 janvier 2002. Cet ensemble législatif constitue notamment ce qui est appelé

dans l'usage courant « le paquet hygiène » (4 règlements communautaires : CE n°852/2004, CE n°853/2004, CE n°854/2004 et CE n°882/2004 du 29 avril 2004).

- le champ de la réglementation du travail et de la sécurité et de l'hygiène des personnels d'abattoir : code du travail, arrêté ministériel du 20 octobre 2004, décret n°2001-1016 du 5 novembre 2002, annexe à l'arrêté du 23 juillet 1947.

Nous ne développerons pas dans cette étude les deux derniers champs, excepté lorsque certaines de leurs exigences peuvent interagir avec celles inhérentes au « bien-être » animal. Concernant le champ de la protection animale, le texte réglementaire princeps à ce jour est en Europe, la directive communautaire 93/119/CE établissant les règles à respecter en matière d'abattage, transcrite en droit national par le décret n°97-903 du 1er octobre 1997. Ce décret est régulièrement adapté en fonction de l'évolution des directives communautaires et des recommandations du conseil de l'Europe. Son principal arrêté d'application est l'arrêté ministériel du 12 décembre 1997 relatif aux procédés d'immobilisation, d'étourdissement et de mise à mort des animaux et aux conditions de protection animale dans les abattoirs.

L'esprit de cette réglementation peut être résumé ainsi « les ruminants (les animaux) [...] introduits dans les abattoirs à des fins d'abattage doivent être [...], étourdis avant abattage ou mis à mort instantanément [...], saignés », et « toute excitation, douleur ou souffrance évitable doit être épargnée aux animaux » pendant ces étapes (Directive 93/119/CE). Enfin, « la suspension des animaux est interdite avant leur étourdissement et dans le cas d'abattage rituel, avant la saignée ». Cette notion essentielle, d'éviter à l'animal abattu « toute excitation, douleur ou souffrance » avant sa mort, conduit à imposer à toute personne « manipulant » les animaux, des capacités à la fois technique (bon savoir faire du geste à réaliser) et humaines (patience, prévenance ...) : « toute personne se livrant à des activités comme l'acheminement, l'hébergement, l'immobilisation, l'étourdissement, l'abattage ou la mise à mort d'animaux doit impérativement disposer des connaissances et capacités nécessaires pour les accomplir de manière humaine et efficace. » (Article 8 de la directive 93/119/CE). Les abattoirs doivent donc disposer d'un nombre suffisant d'opérateurs compétents, patients et prévenants, ayant une bonne connaissance des présentes lignes directrices et de leur application au niveau national. Les compétences peuvent être acquises dans le cadre d'une formation professionnelle ou de l'expérience pratique, ou bien dans le cadre des deux. Un certificat en cours de validité, délivré par l'Autorité compétente ou par un organisme indépendant et agréé par cette Autorité, doit attester de l'acquisition de ces compétences. A ce titre, les directeurs d'abattoirs et les agents des services officiels vétérinaires doivent veiller à ce que le personnel ait les compétences requises et remplisse sa tâche conformément aux bonnes pratiques de protection animale. Il faut noter que dans le cadre particulier de l'abattage rituel, le sacrifice ne peut être réalisé que par un sacrificateur habilité par un organisme religieux agréé par le ministère de l'agriculture sur proposition du ministère de l'intérieur. Le sacrificateur doit être en mesure de justifier de cette habilitation (de présenter sa carte) aux agents des services vétérinaires.

c Les opérations unitaires de l'abattage critiques d'un point de vue « bien-être » animal

Les différentes opérations unitaires de l'abattage et leur ordre peuvent varier entre les différentes espèces animales et les procédés utilisés dans l'abattoir. Néanmoins un schéma général des principales opérations unitaires de l'abattage est présenté en Figure 2 pour les deux espèces majeures dites de boucherie : le porc et les bovins. Dans ce processus d'abattage nous soulignerons dans cette étude quatre opérations unitaires qui nous intéressent tout

particulièrement : « l'insensibilisation » ou « l'étourdissement » couplée aux opérations « d'amenée » et de « contention », et d'autre part « la saignée ».

(i) L'amenée, l'immobilisation et l'étourdissement

L'amenée est le parcours à suivre entre les locaux de stabulation jusqu'à la jauge de contention. Elle doit permettre d'individualiser les animaux (Figure 1). Les animaux ne doivent être dirigés vers l'étape d'immobilisation qu'au moment de leur abattage.



Figure 1 : Amenée des moutons (MPS 2008).

La phase d'immobilisation est obligatoire y compris lors d'abattage rituel, et doit « épargner toute douleur, souffrance, agitation, blessure évitable » (Directive 93/119/CE). Seuls les procédés mécaniques agréés sont autorisés. Le liage des pattes et la suspension des animaux sont strictement interdits à cette étape. L'animal est immobilisé à l'aide d'un « procédé conçu pour limiter les mouvements [...] en vue de faciliter un étourdissement ou une mise à mort efficaces ». L'immobilisation doit être maintenue pendant l'induction de l'étourdissement et, lors de l'abattage rituel, pendant toute la durée de la saignée (Article R214-74 du Code Rural).

(ii) La saignée

D'un point de vue « bien-être animal », la saignée est l'opération unitaire qui doit conduire à la mort de l'animal sans souffrance. L'article R214-70 précise que « la saignée commence le plus tôt possible après l'étourdissement et en tout état de cause avant que l'animal ne reprenne conscience ». D'un point de vue sécurité et qualité des viandes, la saignée est une opération unitaire obligatoire qui doit conduire à une exsanguination rapide et complète des masses musculaires de l'animal.

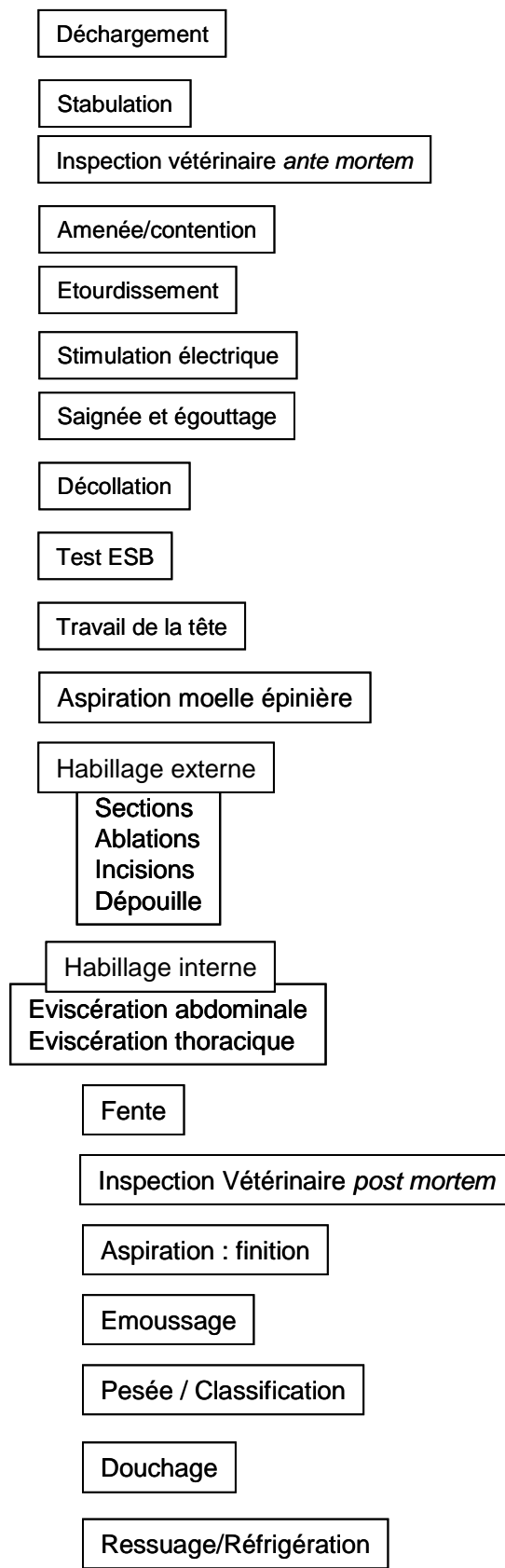


Figure 2 : Schéma général des opérations unitaires du process d'abattage des bovins

d Les lieux de réalisation de l'abattage

L'abattage des animaux de production ne peut s'effectuer que dans un abattoir (article R. 237-2 du Code Rural) à l'exception de cas particuliers qui seront vus ultérieurement. Un abattoir est selon l'annexe 1 du règlement communautaire CE n°853/2004 du 29 Avril 2004, un établissement utilisé pour l'abattage et l'habillage des animaux dont la viande est destinée à la consommation humaine.

En 2000, on a dénombré 339 abattoirs d'animaux de boucherie en France qui ont produit cette année là 3,7 millions de tonnes de viande, soit un tonnage moyen annuel abattu de 10 700 tonnes. Le Tableau I montre la répartition en fonction des espèces.

Tableau I : Abattage des animaux de boucherie en France métropolitaine en 2000 (Fraysse et al. 2001)

	Volume abattu (milliers de tec)
Gros bovins	1 255,9
Veaux	229,5
Ovins-Caprins	111,9
Porcins	2024,5
Equidés	11,1
Total	3 632,9

Deux situations particulières peuvent conduire à réaliser un abattage en dehors d'un abattoir :

- pour toutes les espèces exceptée l'espèce bovine, l'abattage dit familial ;
- pour les bovins, porcins et équins, l'abattage d'animaux accidentés ou « abattage d'urgence ».

L'abattage familial concerne la personne qui abat à la ferme les animaux qu'elle a élevés et entretenus et qui réserve la totalité de la viande à la consommation familiale. Il est visé par les dispositions de l'article R 231-15 du code rural.

L'abattage des animaux accidentés hors d'un abattoir n'est autorisé que de manière exceptionnelle et l'urgence doit être reconnue par un vétérinaire. Il concerne les bovins, porcins, équins accidentés depuis moins de 48h. Cet abattage sur le lieu de l'accident devient possible si le transport de l'animal accidenté vers l'abattoir est incompatible avec son état. L'abattage d'animaux méchants, dangereux ou furieux est assimilé à un cas d'urgence pour cause d'accident (arrêté du 15 Mai 1974). Suite à la publication au journal officiel du 15 avril 2005 de deux arrêtés ministériels en date du 7 avril 2005, les dispositions suivantes sont désormais applicables : lorsque l'animal (bovin, porc ou équin) accidenté est abattu sur place pour des raisons d'urgence ou de bien-être animal constatées par un vétérinaire sanitaire, 1) ce dernier doit vérifier que l'animal était sain avant d'avoir été victime de l'accident, doit contrôler la saignée et l'éviscération abdominale de l'animal accidenté, et doit s'assurer que les délais d'attente des traitements éventuels administrés à l'animal et enregistrés dans le registre d'élevage, n'interdiront pas la mise à la consommation de la viande de l'animal ; 2) l'intégralité de la carcasse avec tous les viscères doit alors être dirigée vers l'abattoir autorisé le plus

proche, dans un délai maximal de 3 heures après l'abattage, en véhicule frigorifique, sous couvert d'un certificat vétérinaire d'information établi par le vétérinaire sanitaire.

Lorsque l'abattage d'urgence sur place ou en abattoir n'est pas possible, l'animal accidenté doit être euthanasié ou mis à mort par un vétérinaire sanitaire aux frais de l'éleveur.

2) L'étourdissement : une obligation légale générale

a En France

Initialement la protection des animaux au cours des opérations d'abattage avait été assurée à partir du décret du n°64-334 du 16 Avril 1964. Ce décret visait à protéger les animaux destinés à la production de viande de boucherie afin qu'ils ne souffrent pas inutilement avant d'être abattus et livrés à la consommation. Son article 2 avait rendu obligatoire l'étourdissement des animaux des espèces bovine, ovine, caprine, porcine, préalablement à leur abattage.

Par la suite l'étourdissement a été appliqué dans certains cas pour les volailles et les rongeurs domestiques avec le décret n°70-886 du 23 septembre 1970.

Aujourd'hui c'est l'article R 214-70 du Code Rural issu du décret n°97-903 du 1 octobre 1997 relatif à la protection des animaux au moment de leur abattage ou de leur mise à mort, qui stipule l'obligation d'étourdissement. L'étourdissement est obligatoire avant la mise à mort, sauf en cas d'abattage rituel, de mise à mort immédiate du gibier d'élevage, ou de mise à mort d'extrême urgence.

b Dans le monde

Bien avant la France, de nombreux pays avaient déjà pris des dispositions en faveur de l'étourdissement des animaux.

Allemagne : la loi du 21 avril **1933** RGBI 1203 sur l'abattage des animaux précise que « lors de l'abattage, les animaux à sang chaud doivent être rendus inconscients avant le début de la saignée [...] la saignée ne doit commencer qu'après complète insensibilisation de l'animal ».

Belgique : l'arrêté royal du 28 Juin **1929** stipule « hormis les abattages de nécessité ou d'urgence effectués hors des abattoirs [...] les volailles et les lapins doivent être étourdis ou anesthésiés avant d'être saignés. »

Danemark : Le ministre de la justice a promulgué le 15 septembre **1953** par application de la loi 256 du 27 Mai 1950 une réglementation prescrivant que tous les animaux domestiques soient rendus absolument inconscients avant d'être saignés (à l'exception des volailles).

Suède : la loi du 4 Juin **1937** sur l'abattage des animaux prévoit dans son article 13 que « lors de l'abattage des animaux domestiques il sera observé que ceux –ci soient inconscients au moment de la saignée. Volailles et lapins peuvent être sacrifiés sans être rendus préalablement inconscients, ceci en séparant la tête du corps ».

Suisse : la loi du 28 Novembre **1955** sur la protection des animaux interdit dans son article 22 « de saigner un animal sans l'avoir préalablement étourdi ».

Norvège : loi du 21 Juin **1929** art 1 : les animaux domestiques et les rennes apprivoisés seront étourdis immédiatement avant d'être saignés ».

Nouvelle Zélande : Les codes de recommandations et des standards minimums pour le bien être des animaux ont été élaborés par l'Animal Welfare Advisory Committee (AWAC)

mis en place en 1989 par le ministre de l'agriculture. Ils prévoient depuis le 17 février 1994 que tous les animaux doivent être rendus insensibles et inconscients avant et pendant tout le processus d'abattage. La seule exception concerne certaines formes d'abattage rituel avec l'accord du Chief Meat Veterinary Officer du ministère de l'agriculture et de la pêche.

3) Des dérogations à l'utilisation de l'étourdissement

a L'abattage rituel

L'abattage rituel est la mise à mort dans un contexte religieux pour la consommation humaine de pratiquants concernés, qui s'inscrit dans un rite par lequel la dimension du sacré est dominante. Aujourd'hui deux grandes religions appliquent les préceptes des interdits alimentaires. Il s'agit des religions tournées vers le Judaïsme et l'Islam. Pour les personnes juives pratiquantes, les aliments doivent être « Casher », et pour les personnes musulmanes pratiquantes seule la viande doit être « Hallal ».

« Il est interdit à toute personne de procéder ou de faire procéder à un abattage rituel en dehors d'un abattoir. La mise à disposition de locaux, terrains, installations, matériel ou équipement en vue de procéder à un abattage rituel en dehors d'un abattoir est interdite » Article R214-73 du Code Rural.

« Avant l'abattage rituel, l'immobilisation par un procédé mécanique des animaux des espèces bovine, ovine et caprine est obligatoire. L'immobilisation doit être maintenue pendant la saignée » Article R214-74 du Code Rural.

« Sous réserve des dispositions du troisième alinéa du présent article, l'abattage rituel ne peut être effectué que par des sacrificateurs habilités par les organismes religieux agréés, sur proposition du ministre de l'intérieur, par le ministre chargé de l'agriculture » Article R214-75 du Code Rural.

◆ Suivant le Judaïsme

Pour les juifs : les prescriptions de l'Ancien Testament dans le Talmud interdisent de consommer du sang ainsi qu'un animal mort.

Le sang apparaît comme vecteur de l'âme, il était interdit de consommer du sang.

Genèse 9 :4 « *Vous ne mangerez point de chair avec son âme, avec du sang* ».

Lévitique 17 : 12-14 « *c'est pourquoi j'ai dit aux enfants d'Israël : personne d'entre vous ne mangera du sang, et l'étranger qui séjourne au milieu de vous ne mangera pas du sang... Vous ne mangerez le sang d'aucune chair ; car l'âme de toute chair, c'est son sang : quiconque en mangera sera retranché* ».

Deutéronome 12 : 23 « *seulement garde-toi de manger le sang, car le sang, c'est l'âme ; et tu ne mangeras pas l'âme avec la chair* » et 12 : 24 « *Tu ne le mangeras pas : tu le répandas sur la terre comme de l'eau* ».

Deutéronome 14 :21 « *Vous ne mangerez d'aucune bête morte : tu la donneras à l'étranger qui sera dans tes portes, afin qu'il la mange, ou tu la vendras à un étranger* ».

Lévitique 7 : 24-25 « *la graisse d'une bête morte ou déchirée [...] vous ne la mangerez point [...] celui qui mangera la graisse des animaux dont on offre à l'Eternel des sacrifices consumés par le feu, celui-là sera retranché de son peuple* ».

◆ Suivant l'islam

Pour les musulmans : le Coran interdit également la consommation du sang ainsi que les animaux blessés, étouffés ou morts :

Sourate V : 4 « *les animaux morts, le sang, la chair du porc, tout ce qui a été tué sous l'invocation d'un autre nom que celui de Dieu (Allah), les animaux suffoqués, assommés, tués par quelque chute ou d'un coup de corne ; ceux qui ont été entamés par une bête féroce, à moins que vous les ayez purifiés par une saignée ; ce qui a été immolé aux autels des idoles ; tout cela est défendu* »

Sourate II : 168 « *il vous est interdit de manger les animaux morts, le sang, la chair du porc, et tout animal sur lequel on aura invoqué un autre nom que celui de Dieu. Celui qui le ferait, contraint par la nécessité et non rebelle et transgresseur, ne sera pas coupable, car Dieu est indulgent et miséricordieux* »

Sourate VI : 143 « *parmi les animaux, les uns sont faits pour porter des fardeaux, les autres pour être égorgés. Nourrissez-vous de ce que Dieu vous a accordé, et ne suivez pas les traces de Satan, car il est votre ennemi déclaré* ».

Dans le cadre de l'abattage rituel, pour que soit autorisée à la consommation des pratiquants la chair d'un animal, il ne doit être ni mort, ni blessé au moment de son abattage suivant les prescriptions des textes religieux.

Ni la Bible ou le Talmud, ni le Coran ou la Sunnah de Mahomet, ne contiennent de règles contraignantes prescrivant l'abattage sans étourdissement ou interdisant la consommation de viande issue d'animaux ayant été étourdis avant la saignée. De ce fait certains musulmans acceptent l'étourdissement avant l'abattage rituel (Mzabi). Un meeting entre l'Organisation Mondiale de la Santé et la Ligue du Monde Musulman qui a eu lieu à Jeddah en 1985, a abouti à la rédaction d'un ensemble de recommandations ; elles permettent à l'étourdissement par électronarcose d'être admissible si plusieurs conditions techniques sont réunies. L'électronarcose est notamment admise pour l'abattage rituel au Portugal et en Malaisie et tolérée par le cahier des charges halal des Mosquées de Paris et d'Evry.

b La mise à mort du gibier d'élevage

Le procédé utilisé doit être préalablement autorisé et entraîner une mort immédiate.

4)Le contrôle du respect de la réglementation

a Les services de l'état

L'application correcte de la réglementation est vérifiée par les services vétérinaires conformément à l'article 214-80 du Code Rural. Dans les abattoirs, les opérations d'immobilisation, d'étourdissement, d'abattage et de mise à mort des animaux sont placées sous la surveillance continue des agents du service d'inspection qui s'assurent notamment de l'absence de défautuosité des matériels utilisés et de l'utilisation conforme de ces matériels par le personnel.

Les articles 283-1 et 283-2 précisent que les vétérinaires inspecteurs, agents techniques sanitaires, préposés sanitaires et les techniciens des services vétérinaires ont qualité pour rechercher et constater les infractions.

« Le vétérinaire officiel doit vérifier le respect des règles communautaires et nationales applicables en matière de bien-être des animaux, notamment celles concernant la protection des animaux au moment de l'abattage » (règlement CE n° 854-2004).Par ailleurs l'article 9 de

arrêté du 12 décembre 1997 précise que « le vétérinaire officiel responsable de l'établissement est habilité à intervenir sur l'utilisation des équipements ou des locaux et à prendre toute mesure nécessaire pouvant aller jusqu'à réduire la cadence de production ou suspendre momentanément la procédure de production lorsqu'un manquement caractérisé aux règles de protection animale est constaté ».

Les services vétérinaires départementaux peuvent renforcer leurs contrôles à la demande de la Direction Générale de l'Alimentation, lorsqu'au plan national des actions prioritaires ciblées sont décidées.

b L'appui d'organisations annexes

Des associations de protection animale telles que l'Œuvre d'Assistance aux Bêtes d'Abattoir (OABA), peuvent signaler aux services vétérinaires départementaux ou à la DGAL des manquements constatés au regard de la protection animale. Les enquêtes sont ensuite menées localement par les agents de l'état.

B. Les méthodes d'étourdissement et leur contrôle

1) Définition

Réglementairement l'étourdissement est un « procédé qui, lorsqu'il est appliqué à un animal, le plonge immédiatement dans un état d'inconscience où il est maintenu jusqu'à la mort ». L'étourdissement a pour but d'instaurer une insensibilité à la douleur et une inconscience instantanées.

2) Les différentes méthodes d'étourdissement autorisées

a Les qualités attendues d'un bon étourdissement

Suite à la directive n°93/119/CE du conseil du 22 décembre 1993, l'arrêté ministériel du 12 décembre 1997 précise les procédés d'immobilisation, d'étourdissement et de mise à mort des animaux ainsi que les conditions de protection animale dans les abattoirs.

Les procédés autorisés pour l'étourdissement des animaux doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- Etre en toutes circonstances immédiatement efficaces dans leur emploi de façon à plonger l'animal dans un état d'inconscience où il est maintenu jusqu'à l'intervention de la mort afin de lui éviter toute souffrance ;
- Ne pas s'opposer à une saignée aussi complète que possible ;
- Ne détériorer aucune des parties consommables de l'animal au point de la rendre impropre à la consommation;
- Etre d'un maniement facile permettant un rythme de travail satisfaisant ;
- Etre peu bruyants.

L'étourdissement des animaux ne doit pas être pratiqué s'il n'est pas possible de saigner ensuite immédiatement les animaux.

L'annexe C de la directive 93/119/CE et l'article 3 de l'arrêté ministériel du 12 décembre 1997 décrivent quatre méthodes : le pistolet à tige perforante ou à balle libre, le procédé à percussion, le gaz à effet anesthésiant et l'électronarcose.

b Le pistolet à tige perforante ou à balle libre

Il s'agit de léser l'encéphale avec un projectile. Cependant il peut être difficile de viser juste en raison des mouvements de l'animal et il est possible que parfois seuls les centres moteurs du cerveau soient touchés et non les centres sensitifs. Ce procédé est considéré satisfaisant pour les équins, les ovins, les caprins, les porcs et les lapins. Néanmoins bien qu'il soit satisfaisant sur le plan du bien-être animal, ce procédé n'est pas utilisé pour l'étourdissement des bovins du fait du risque de transmission de l'ESB.

Les zones à viser sont différentes selon les espèces :

Bovins

Le point de pénétration idéal pour les bovins se situe à l'intersection entre deux lignes imaginaires reliant l'angle externe de chaque œil au cornillon opposé.



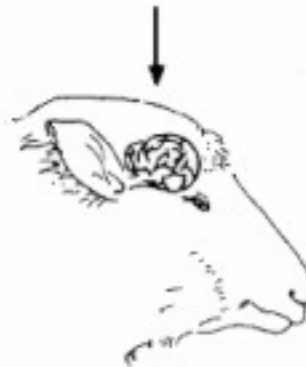
Porcs

Le point de pénétration idéal pour les porcs se situe juste au-dessus des yeux, le tir étant dirigé dans l'axe de la moelle épinière.



Ovins

Le point de pénétration idéal pour les ovins et les caprins sans cornes se situe sur la ligne médiane, à l'arrière et en direction de l'œsophage.



Caprins

Le point de pénétration idéal pour les ovins à grosses cornes et les caprins à cornes se situe derrière le sommet du crâne.



Equidés

Le point de pénétration idéal pour les équidés se situe perpendiculairement à la surface frontale, nettement au-dessus de l'intersection entre les lignes imaginaires reliant chaque œil à l'oreille opposée.



c Le procédé à percussion

On utilise un instrument mécanique qui administre un coup au crâne sans perforation de la boîte crânienne. Le choc provoque une suppression et par conséquent la destruction d'une partie des fonctions du cerveau. Les lésions causées au cerveau sont aussi trop importantes pour permettre un retour à l'état de conscience de l'animal.

Pour obtenir un étourdissement efficace sans fracture du crâne, l'instrument doit être appliqué dans la position requise, et la charge de la cartouche doit être correcte.

Cependant ce procédé nécessite la présence d'un crâne intact pour être totalement efficace. Par conséquent si le premier coup a été mal asséné le second n'aura pas une bonne efficacité. De ce fait, un échec au premier coup doit être immédiatement suivi d'un étourdissement avec le pistolet à tige perforante ou par électronarcose.

Ce procédé est utilisable pour les bovins de plus de 6 mois et les lapins.

d L'utilisation de gaz à effet anesthésiant

Les animaux sont plongés dans une atmosphère riche en CO₂. Le gaz pénètre dans les poumons puis dans le sang provoquant une acidose dans le système nerveux central et conséquemment une perte de conscience. Après leur pénétration dans la chambre d'étourdissement, les animaux doivent être convoyés jusqu'au point où la concentration gazeuse est maximale aussi rapidement que possible et y être maintenus jusqu'à ce qu'ils soient plongés dans un état d'inconscience persistant jusqu'à la mort par saignée. Cette technique peut être difficile à mettre en œuvre car elle met en jeu la concentration en CO₂ qui est difficile à maîtriser et d'autre part elle peut parfois imposer des cadences d'abattage plus faibles.

Cette technique est utilisée pour les porcins, les volailles et éventuellement pour les ovins et les caprins.

e L'électronarcose

Dans cette méthode, un courant électrique est appliqué au travers de la tête de l'animal afin d'induire une perte de conscience temporaire. L'étourdissement électrique implique l'application transcrânienne d'un courant électrique de grandeur suffisante. On l'applique soit en utilisant une paire de pinces ou d'électrodes placées de chaque côté de la tête, soit chez les volailles en employant un bain d'eau électrifié où le corps est plongé. L'étourdissement

électrique peut être réalisé manuellement ou automatiquement grâce à des dispositifs sur mesure.

Plusieurs types d'étourdissement électrique existent, mais seule l'électronarcose (type utilisé en France) ne constitue qu'un étourdissement, les autres provoquant aussi la mort :

- le « head-only stunning » ou électronarcose : des électrodes sont appliquées de part et d'autre de la tête afin que du courant traverse le cerveau et que l'animal soit étourdi. C'est la technique que nous désignerons par le terme électronarcose, et qui sera développée par la suite.
- Le « head-to-body stunning » : par l'application d'une électrode sur la tête et d'une sur le corps (dos, membre postérieur...) le courant traverse le corps et provoque un étourdissement-mise à mort par arrêt cardiaque.

D'autres méthodes d'étourdissement sont autorisées hors de l'Union Européenne comme la « puntilla » en Amérique latine qui consiste à introduire un couteau entre l'atlas et l'axis, ou bien le merlin pour les abattages privés de porcs. Les tableaux II et III résument les méthodes d'étourdissement utilisables selon l'espèce considérée.

Tableau II: Méthodes d'étourdissement pour l'abattage ou la mise à mort utilisables selon l'espèce

	Etourdissement pour abattage			Etourdissement-mise à mort			
	mécanique	électrique	gaz	mécanique	électrique	gaz	autre
Bovins et veaux	X (sauf perforation)	X			X		
Ovins, caprins	X	X			X		
porcins	X	X	X		X	X	
Equidés	X						X tir balle libre
Volailles		X		X	X	X	
Poissons		X		X	X		X tir ou harpon électrique

3) Les contrôles à effectuer

La compétence des opérateurs, l'adéquation et l'efficacité de la méthode d'étourdissement, ainsi que l'entretien du matériel, relèvent de la responsabilité de la direction de l'abattoir. Par ailleurs ces éléments doivent être régulièrement vérifiés par une autorité compétente.

Le personnel préposé à l'étourdissement doit être correctement formé et compétent. Il doit s'assurer que :

- l'animal est correctement immobilisé ;
- les animaux immobilisés sont étourdis dans les plus brefs délais ;
- le matériel d'étourdissement utilisé est correctement entretenu et qu'il est utilisé conformément aux recommandations du fabricant, notamment pour ce qui est de l'espèce et de la taille des animaux ;
- l'instrument est correctement appliqué ;
- les animaux étourdis sont saignés (abattus) dans les plus brefs délais ;
- on ne procède pas à des étourdissements si l'abattage est susceptible d'être retardé ;
- du matériel d'étourdissement de rechange est disponible pour un usage immédiat si la méthode primaire d'étourdissement connaît un dysfonctionnement.

Les opérateurs doivent être capables d'identifier un animal qui n'a pas été correctement étourdi et doivent prendre les mesures nécessaires.

Il est rappelé que le matériel d'étourdissement ne doit pas être appliqué aux animaux pour les guider, les déplacer, les contenir ou les immobiliser et ne doit délivrer aucun choc avant l'étourdissement effectif.

Tableau III : Méthodes d'étourdissement acceptables d'après l'OIE(2006)

Méthode	Méthode spécifique	Préoccupations de bien-être animal	Impératifs majeurs de bien-être animal	Espèces	Commentaires
Mécanique	Tir à balle	Imprécision du tir et paramètres balistiques inadaptés	Compétence des opérateurs, mort immédiate au premier tir	Bovins, veaux, buffles, cervidés, équidés et porcs (verrats et truies)	Sécurité du personnel
	Pistolet à tige perforante	Imprécision du tir ainsi que de la vitesse et du diamètre de la tige	Bon fonctionnement et entretien correct du matériel, immobilisation, précision	Bovins, veaux, buffles, ovins, caprins, cervidés, équidés, porcs, camélidés et ratites	(Ne convient pas au prélèvement pour EST). Un pistolet de secours doit être disponible
Mécanique (suite)	Pistolet à percussion	Imprécision du tir et de la vitesse du projectile, taux d'échecs potentiellement plus élevé qu'avec le pistolet à tige perforante	Bon fonctionnement et entretien correct du matériel, immobilisation, précision	Bovins, veaux, ovins, caprins, cervidés, porcs, camélidés et ratites	Les dispositifs actuels ne sont pas recommandés pour les jeunes taureaux et les animaux à boîte crânienne épaisse.
	Percussion manuelle	Imprécision, puissance insuffisante, taille de l'instrument	Compétence des opérateurs, immobilisation, précision Non recommandé pour un usage général	Jeunes et petits mammifères, ainsi qu'autruches et volailles	Les dispositifs mécaniques sont potentiellement plus fiables. En cas de percussion manuelle, la perte de conscience doit être obtenue par une percussion violente unique appliquée aux os crâniens centraux.
Électrique	Application unique : 1. Tête seulement 2. Tête-corps 3. Tête-patte	Chocs électriques accidentels avant l'étourdissement, mauvaise intensité ou tension, mauvaise position des électrodes, reprise de conscience	Bon fonctionnement et entretien correct du matériel, immobilisation, précision	Bovins, veaux, ovins, caprins, porcs, ratites et volailles	Lors de la première phase, il ne faut pas utiliser les systèmes impliquant une application répétée de courte durée (< 1 seconde) au niveau de la tête seulement ou selon la technique tête-patte.
	Bain d'eau	Immobilisation, chocs électriques accidentels avant l'étourdissement, mauvaise intensité ou tension, reprise de conscience	Bon fonctionnement et entretien correct du matériel	Volailles seulement	
Gazeuse	Mélange CO ₂ /air/O ₂	Agressivité des fortes concentrations de CO ₂ , détresse respiratoire, exposition insuffisante	Concentration, durée d'exposition, conception, entretien et fonctionnement du matériel, gestion de la densité des animaux	Porcs et volailles	
	Mélange CO ₂ /gaz inerte Gaz inertes	Reprise de conscience	Concentration; durée d'exposition, conception, entretien et fonctionnement du matériel, gestion de la densité des animaux	Porcs et volailles	

C. L'électronarcose

L'étourdissement électrique a fait son apparition à la fin des années 1920. Il a été testé puis utilisé chez certaines espèces pour éviter les défauts constatés avec les autres méthodes d'étourdissement, principalement mécanique et au gaz. En effet, l'étourdissement mécanique, même par percussion, présente un grand risque de léser le cerveau des animaux. Aussi pour éviter d'éventuelles lésions il convient d'appliquer l'instrument en un endroit très précis. Chez les porcs, c'est un problème de contention qui se pose, afin d'immobiliser la tête au moment opportun. Enfin, chez les oiseaux, les neurones homologues du neurocortex sont localisés profondément dans les hémisphères cérébraux et non à leur surface, contrairement aux mammifères. Quant au gaz, le prix de revient élevé de l'installation et les mesures de sécurité à prendre pour les personnes, sont des inconvénients majeurs.

L'électronarcose individuelle est aujourd'hui utilisée couramment en France pour les porcs et les ovins, mais aussi pour les bovins en Nouvelle-Zélande ou en Australie. La technique procédant avec des bains d'eau dans lesquels passe un courant électrique est en revanche développée pour l'abattage des volailles et des lapins.

1) Les matériels utilisés

En France, l'arrêté du 12 décembre 1997 précise les exigences que les matériels utilisés pour l'étourdissement des animaux doivent remplir.

a L'agrément des matériels

Les matériels utilisés pour l'étourdissement doivent suivre une procédure d'agrément qui permet aux services vétérinaires, ainsi qu'aux services du travail et de l'emploi, de vérifier que leur conception et leur utilisation sont bien conformes aux règles exigées.

La procédure de contrôle étudiée :

- l'implantation du matériel par rapport à sa nature (fixation au sol, au mur)
- la maniabilité
- le rythme
- l'intensité du bruit
- le contrôle de la sécurité
- le contrôle de l'efficacité de l'étourdissement : réflexe oculopalpébral, mouvements réflexes, persistance des battements cardiaques, appréciation de la possibilité de réveil par sursis de saignée, contrôle du temps nécessaire au réveil
- les éléments d'appréciation de l'absence de souffrance des animaux
- le contrôle de la saignée
- le contrôle des lésions traumatiques
- la possibilité de nettoyage et de désinfection.

A ce jour une dizaine d'appareils à électronarcose sont agréés en France. Certains d'entre eux sont utilisables pour plusieurs espèces. Par exemple le coffret GOZLIN TS003 commercialisé par la société Termet-Solefi est agréé pour l'électronarcose des porcs et des moutons.

b Le matériel utilisé

Les dispositifs électriques modernes impliquent des variétés de formes d'onde et de fréquences de courant. Les formes d'onde génériques sont les courants continus et les courants alternatifs. Les caractéristiques optimales du courant ont été déterminées empiriquement pour toutes les espèces.

L'ampérage du courant traversant le cerveau est déterminé par la tension appliquée pendant l'étourdissement (la loi d'Ohm). A une tension constante, la quantité de courant traversant le cerveau est inversement proportionnelle à toute la résistance électrique située entre deux électrodes ou pinces.

(i) Application du courant sur l'animal par des pinces

Il existe deux modèles de pinces agrées :

- la pince à branches fixes avec un écartement non réglable (type Morphée M4). Cette pince est inefficace sur les animaux de petite taille (porcelets, très petits agneaux, cabris et certaines chèvres) car l'écartement fixe et non réglable entre les deux branches est toujours trop large par rapport à la petite taille de la tête. Il est néanmoins possible de changer de taille de pince.
- la pince à branches articulées qui fonctionne comme des ciseaux. C'est le modèle qui doit être utilisé sur les petits animaux.

Les pinces électrodes sont placées de chaque côté de la tête de manière à ce que le courant passe à travers le cerveau comme illustré en Figure 3.



Figure 3 : Application des pinces à électronarcose chez un agneau (MPS 2008)

Une autre technique existe mais elle n'est pas utilisée en France : une électrode est placée sur la tête et l'autre au niveau du corps (spinal discharge Figure 4) ce qui provoque un arrêt cardiaque et une insensibilité instantanée et durable.

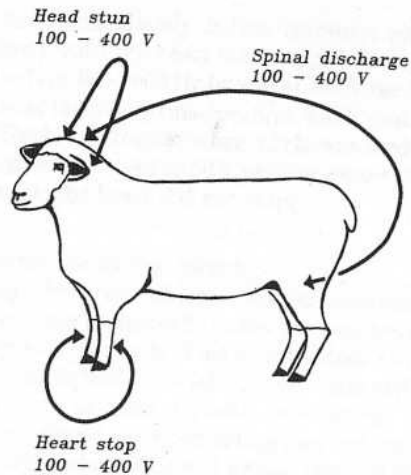


Figure 4 : Représentation schématique des différents sites d'application des pinces en fonction du type d'étourdissement électrique (d'après Gilbert et al. 1984)

Outre une position correcte des électrodes, il faut s'assurer du bon contact électrique en éliminant les excès de laine ou de poils, en mouillant la peau. Afin d'obtenir un bon étourdissement, il est requis que l'appareil soit « pourvu d'un dispositif mesurant l'impédance de la charge et empêchant l'appareil de fonctionner si le courant minimal requis ne passe pas », mais aussi d'un affichage permettant à l'opérateur d'observer la tension et l'intensité du courant appliqué. Par ailleurs avant d'être appliqué sur un animal, l'appareil doit être testé sur des charges factices pour vérifier que la décharge fournie est suffisante pour étourdir des animaux. L'appareil doit disposer d'une alimentation électrique suffisante pour délivrer en continu l'intensité minimale recommandée.

En ce qui concerne l'appareil Morphée M4, l'ensemble comprend comme représenté sur la figure 3 : un coffret avec transformateur renforcé pouvant rester sous tension constante durant toute la période d'abattage. Une goulotte monobloc en plastique, lavable au jet, assurant une isolation parfaite. Un boîtier porte électrodes doté d'un voyant lumineux signalant la mise sous tension. Selon les modèles, l'appareil est fourni avec soit une pince à branches fixes, soit une pince à branches articulées (Figure 5 et Figure 6).



Figure 5: Appareil Morphée M4 (Lelong et cie)

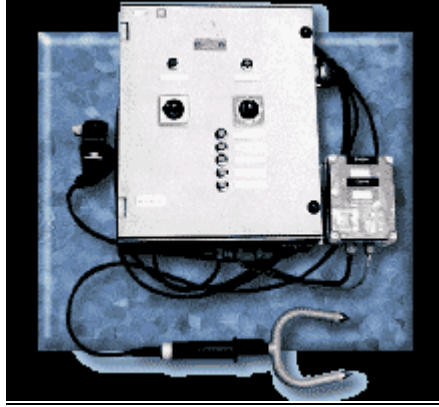


Figure 6 : Pinces à anesthésier (www.ferrando.fr)

(ii) L'application du courant par un bain d'eau

Les bains d'eau sont des bacs de tailles très variables dans lesquels on fait passer un courant électrique grâce à une électrode disposée tout le long de ce bac. Les animaux sont suspendus par les pattes 3 à 6 secondes avant l'étourdissement ; ils arrivent dans le bain la tête en bas. Le niveau de l'eau dans les bacs doit être réglable pour permettre un bon contact avec la tête et immerger complètement et uniquement celle-ci. Le temps d'application est lié à la longueur du bac.

Avec les étourdisseurs à bain d'eau, les oiseaux sont étourdis par groupes et des impédances différentes doivent être prévues pour des oiseaux de poids et de tailles différents. Cette application du courant diffère de l'application par pinces en ce que l'étourdissement n'est pas limité à la tête mais passe de la tête aux pattes impliquant le passage du courant à travers le cœur. Cette technique est bien adaptée aux abattages de groupe, soit les volailles et les lapins.

2) La prévalence de l'électronarcose chez les ruminants

Il n'y a pas de statistiques officielles concernant la pratique de l'étourdissement par électronarcose en France. Cette méthode concerne principalement les porcins, les ovins, les caprins et les oiseaux. En revanche, l'étourdissement électrique chez les bovins n'est à notre connaissance pratiquée en France qu'à l'abattoir de Sarreguemines dans le département de la Moselle.

En revanche on peut estimer le nombre d'animaux recevant un étourdissement préalable à leur abattage en s'intéressant au nombre d'animaux abattus rituellement. Il n'y a pas de données officielles mais en 2005 un rapport de l'inspection de l'agriculture avait donné des estimations. La production française de viande halal se situerait entre 800 000 et 900 000 tonnes équivalent carcasse (tec) par an. Par ailleurs, en 2006 et 2007 l'OABA a lancé une enquête dans 225 établissements agréés par les services vétérinaires, basée sur les déclarations des directeurs d'établissements d'abattage visités et sur les constatations des délégués enquêteurs de l'OABA. 118 abattoirs exactement ont déclaré pratiquer l'abattage rituel dans des proportions importantes : il y serait abattus rituellement 28 % des gros bovins (dont 89 % sans étourdissement préalable) ; 43 % des veaux (dont 93 % sans étourdissement préalable) ; 62 % des ovins et caprins (dont 88 % sans étourdissement préalable). Ainsi dans ces établissements 75% des gros bovins, 60% des veaux et 45% des ovins et caprins seraient étourdis avant l'abattage. Il faut rappeler que toutes les données citées ne sont pas officielles et sont basées sur des hypothèses et des extrapolations.

II Conséquences physiologiques de l'électronarcose

A. La séquence

1) Les signes cliniques et physiologiques associés

Dans la plupart des cas, l'animal soumis à l'électronarcose présente immédiatement des signes physiques ressemblant à une crise épileptique que nous appellerons « crise épileptiforme ». En effet, il ne s'agit pas de la maladie « épilepsie » mais de la réaction à l'application du courant. Cette crise est associée à d'autres modifications comme une disparition de la respiration rythmique ou à une modification des réflexes, et de manière inconstante à des modifications cardiaques. En l'absence de saignée cette crise conduit toujours au réveil de l'animal.

a Une crise épileptiforme

Cette crise épileptiforme est une activité anormale au cours de laquelle le cerveau est très stimulé. Une crise épileptiforme générale débute par une phase initiale de spasmes musculaires toniques suivie par une phase de spasmes musculaires cloniques, et s'achève par une phase de repos caractérisée par une flaccidité musculaire. Pendant les trois phases l'animal est supposé inconscient.

(i) La manifestation physique

Dès l'application du courant on observe les signes de la manifestation physique de la crise épileptiforme, composée de trois phases consécutives :

I La phase tonique : il y a perte brutale de conscience avec chute sur le sol. Toute la musculature se trouve sous tension. Le décubitus est latéral, les membres sont écartés et tendus, la tête est en hyper extension (opisthotonos). Il peut y avoir une apnée.

II La phase clonique : on observe des mouvements de pédalage, des mâchonnements convulsifs, du nystagmus. Il peut y avoir miction, défécation ou salivation.

III La phase stertoreuse : il y a retour progressif au calme. La respiration est souvent bruyante, ronflante par encombrement du larynx par de la salive, et on observe une flaccidité musculaire. Une prostration peut suivre la crise. L'état est ensuite tout à fait normal.

Dans de rares cas une seconde phase clonique peut être observée suite à la phase stertoreuse (Gregory et Wotton 1988).

Les différents auteurs rapportent une durée de la phase tonique de 14 à 17 secondes chez le mouton, 10 secondes chez le veau, et une durée de la phase clonique de 17 à 43 secondes chez le mouton, 20 à 40 secondes chez le veau (Gregory et Wotton 1988, Lambooy 1982, Lambooy et Spanjard 1982, Jones *et al.* 1988). Des études menées chez le cerf élaphe montrent l'absence de phase tonique dans cette espèce. De même, l'expression physique (phases toniques et cloniques) de la crise peut être absente chez le lapin ou bien chez le porc étourdi avec de hautes fréquences.

La crise épileptiforme est bien une activité non physiologique parce que le cerveau est dans une situation de stimulation même si pendant les 3 phases de la crise, l'animal est supposé inconscient (Lambooy et Spanjard 1982). L'inconscience peut survenir sans présence d'une crise générale épileptiforme lors de l'utilisation de courants de haute fréquence qui nécessitent un appareillage spécial.

La perte de conscience est la conséquence de l'interruption des relations normales entre le cortex et la formation réticulée ; la phase tonique correspond à l'inhibition corticale sur la formation réticulée (rigidité de décérébration fonctionnelle) ; la phase clonique est la conséquence de la succession d'épuisements et de récupérations métaboliques des neurones concernés.

(ii) Le mécanisme d'action

Plusieurs études au cours desquelles des neurotransmetteurs ont été dosés aboutissent à l'hypothèse que la crise épileptiforme induite par l'électronarcose résulte d'une modification du fonctionnement de deux systèmes de neurotransmetteurs : le système inhibiteur à GABA et le système activateur qui utilise le glutamate et l'aspartate. Pour évaluer leur influence sur le phénomène, Cook et ses collaborateurs (1992) ont observé l'effet de l'administration de plusieurs substances sur l'électronarcose (Tableau IV) :

- le zolazepam qui facilite la transmission GABAergique
- la tiletamine, antagoniste des récepteurs activateurs NMDA
- l'APV (acide 2 amino-7-phosphonoaléique) et l'APH (acide 2-amino-7-phosphoheptanoïque), antagonistes des récepteurs activateurs, préférentiellement de sous-type NMDA.
- La bicuculline, antagoniste des récepteurs à GABA de type A
- Le baclofen, agoniste des récepteurs à GABA de type B.

Tableau IV: Influence sur l'étourdissement de plusieurs substances d'après Cook et ses collaborateurs (1992)

	zolazepam	tiletamine	APV/APH	bicuculline	baclofen
Durée de la crise	↘	↘	↘	↗	Sans effet
Durée de retour des réflexes	↘ pour les réflexes cornéen, palpébral et pupillaire ↗ pour le pincement et le pédalage	ND	ND	↗ pour les réflexes cornéen, palpébral et pupillaire ↘ pour le pincement et le pédalage	↘ légèrement pour le pincement et le pédalage

Légendes : ↘ diminution, ↗ augmentation, ND données non disponibles.

L'application du courant crée un déséquilibre entre systèmes excitateur glutamatergique et inhibiteur GABAergique qui modifie la balance de l'excitabilité neuronale. Au niveau neuronal, la crise d'épilepsie peut être considérée comme un orage électrique qui correspond à

un fonctionnement anormal du neurone. Celui-ci se met à présenter des décharges électriques excessives de façon spontanée. Le schéma de la réponse physiologique observée chez les animaux électroanesthésiés (Figure 7) est dû à au moins deux groupes de neurotransmetteurs, les acides aminés activateurs (glutamate et aspartate) et le GABA. Les décharges électriques excessives du neurone épileptique peuvent être provoquées par un excès de neurotransmission excitatrice ou/et par un manque de neurotransmission inhibitrice. D'autres travaux suggèrent que le glutamate peut agir directement sur les cellules GABAergiques et contribuer à la libération de GABA.

Cook et ses collaborateurs concluent que les acides aminés activateurs jouent un rôle dans le développement et la durée de la crise, alors que le GABA semble avoir une action plus limitée sur la durée de la crise. Ils observent aussi que les taux élevés de GABA correspondent à la période d'analgésie suivant l'étourdissement des animaux non saignés, et que l'administration d'antagonistes des récepteurs au GABA annule cette période d'analgésie. Le GABA contribuerait à l'analgésie observée chez les animaux suite à l'électroanesthésie.

Par ailleurs lors un travail expérimental réalisé en 1995 et 1996 Cook observe que la libération de neurotransmetteurs est positivement corrélée à la durée d'application du courant sur les veaux et les moutons.

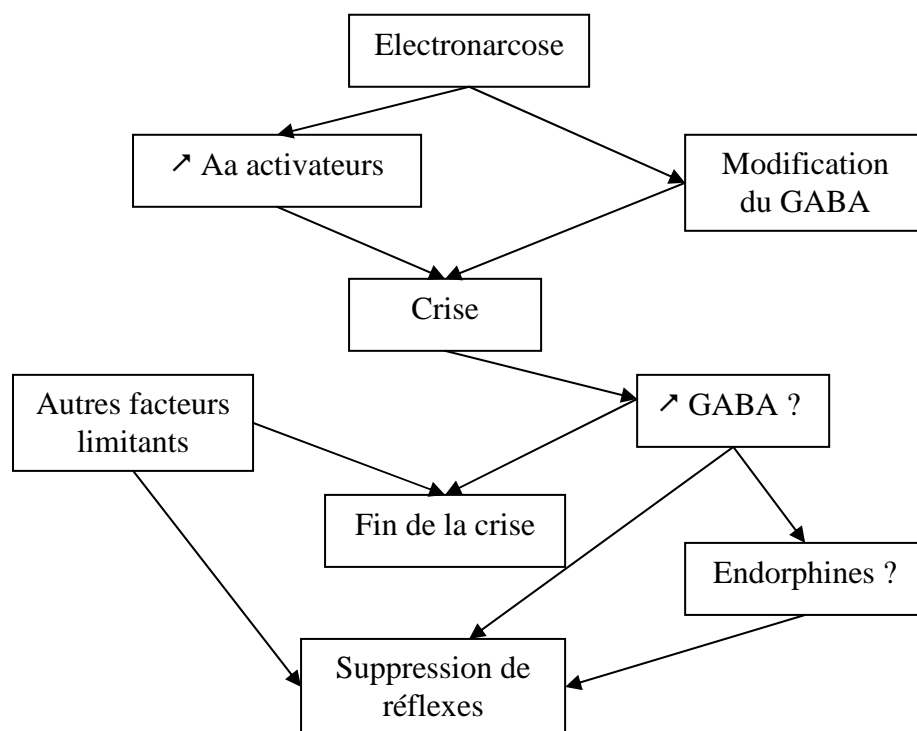


Figure 7: Diagramme schématique du possible mécanisme d'action de l'électroanesthésie d'après Cook et ses collaborateurs (1992)

Ainsi, le passage du courant entraîne une libération massive d'acides aminés activateurs dans l'espace extracellulaire. Les cellules se retrouvent dans un état d'excitation élevé et présentent une activité incoordonnée. Ceci aboutit à une perte de conscience immédiate. L'augmentation plus lente du GABA permet de stopper la crise.

b Les modifications cardiaques

Si toutes les études montrent que l'étourdissement électrique réalisé par application d'électrodes au niveau de la tête ne provoque pas d'arrêt cardiaque, il existe en revanche un désaccord quant à l'apparition d'anomalies cardiaques. Ainsi Blackmore et Newhook (1982) affirment que parmi les six moutons électroanesthésiés au cours de leur étude aucun n'a développé de dysfonctionnement cardiaque, le tracé d'ECG se révélant normal même cinq minutes après le début de la saignée. Au contraire Lambooy (1982) rapporte de la fibrillation atriale chez 90% des veaux, et une tachycardie ventriculaire paroxysmique (Figure 8) durant 2 minutes chez les moutons.

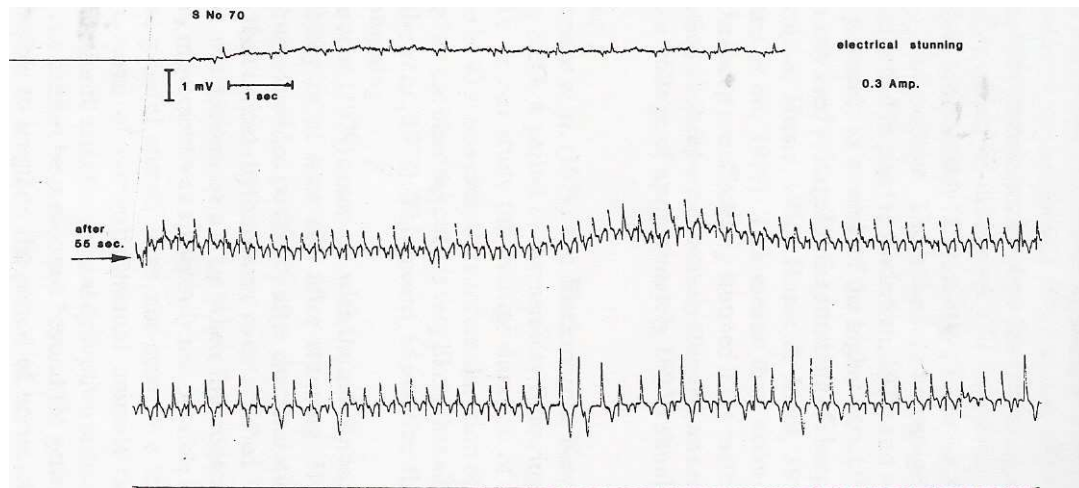


Figure 8 : ECG d'un mouton avant et après étourdissement électrique d'après Lambooy 1982

c Le « retour » à la conscience

Le réveil survient entre 30 et 58s après l'électroanesthésie chez le mouton, entre 60 et 85 secondes chez le veau (Blackmore et Newhook 1982), et vers 50s chez le bovin adulte (Gregory 1993).

2) Les conséquences hormonales

a Les catécholamines

Dans les conditions physiologiques normales les catécholamines, adrénaline et noradrénaline, sont libérées par la médulla surrénale pour réguler certaines fonctions comme la pression sanguine. Face à une situation stressante, la libération de catécholamines en quantités élevées entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque, de la pression sanguine, de la concentration en acides gras libres dans le sang. Chez le mouton, l'étourdissement par électroanesthésie cause une augmentation soudaine de la concentration en adrénaline atteignant jusqu'à 11 fois la concentration normale (Shaw, Tume 1992). Cette variation de la concentration en adrénaline est impliquée dans l'apparition d'altérations des critères de qualité de la viande liés au pH telle que la couleur. Une étude de Linares et de ses collaborateurs (2008) indique que les concentrations en cortisol, adrénaline, et noradrénaline, indicatrices de stress, sont similaires à celles observées lors d'un étourdissement au gaz.

b Le cortisol

L'étude rapportée par Shaw et Tume (1992) affirme que l'électronarcose, ainsi que d'autres méthodes d'étourdissement, n'a pas d'effet sur la concentration en cortisol chez le mouton alors que des situations stressantes, tel que le transport, induisent bien une augmentation de la concentration en cortisol.

c Les bêta-endorphines plasmatiques

Les bêta-endorphines sont relarguées en réponse à des stimuli variés, sources de stress, comme la tonte, l'immobilisation, la contention et le transport. Dans une étude menée en 1990, Anil étudie par immunofluorescence sur des brebis de 35 à 40 kg l'effet de l'électronarcose sur la libération de bêta-endorphines. Il observe d'abord un doublement des concentrations en bêta-endorphines attribuée à la stimulation électrique du tissu nerveux, puis une autre augmentation significative lorsque les animaux reprennent conscience. La reprise de conscience après l'électronarcose peut alors être assimilée à un stress.

d La vasopressine et l'ocytocine

Ces peptides neuronaux affectent entre autres le déroulement des expériences désagréables dans le cerveau et régulent le stockage des informations. La vasopressine favorise la récupération de la mémoire et accélère l'apprentissage par évitement des événements désagréables (Caldwell *et al.* 2008). L'ocytocine quant à elle, contribue à réduire la peur et à mémoriser préférentiellement les événements agréables (Guastella *et al.* 2008). Les taux de vasopressine et d'ocytocine dans le sang ont été mesurés chez des veaux, des moutons, et des porcs. Lamboy (1985) a observé que ces taux augmentent de manière importante immédiatement après électronarcose et rediminuent ensuite progressivement en une heure. Chez le porc le taux de vasopressine est même corrélé à la durée des crises épileptiformes. Pourtant, des moutons conditionnés à l'électronarcose grâce à un signal lumineux ne mémorisent pas son induction comme étant une expérience douloureuse (Leach *et al.* 1980).

B. Les paramètres évaluant l'efficacité de l'électronarcose

Nous rappellerons que l'objectif attendu de l'étourdissement est de plonger immédiatement l'animal dans un état d'inconscience jusqu'à sa mort afin de lui éviter toute excitation, douleur ou souffrance (directive 93/119/CE). Les méthodes permettant d'évaluer l'efficacité d'un étourdissement doivent donc permettre d'évaluer l'état de conscience et la sensibilité à la douleur de l'animal. Si les publications les plus anciennes se basaient sur le principe qu'un animal inconscient est forcément insensible, aujourd'hui les travaux scientifiques distinguent la conscience ou l'inconscience, la sensibilité et la sensibilité à la douleur.

1) L'inconscience

La conscience se définit comme la connaissance par l'individu de lui-même et de son environnement (Ginsberg 2006). Au plan physiopathologique la conscience normale dépend de l'information sensorielle amenée au cerveau, de l'activité intrinsèque du système réticulaire activateur ainsi que de la formation réticulaire ascendante du tronc cérébral et de ses connexions rostrales, qui maintiennent le cortex cérébral en éveil. Les différentes régions du cerveau impliquées dans l'état conscient sont représentées dans la Figure 9.

Le fonctionnement normal du système réticulé peut être modifié par les lésions structurales focales du cerveau ou par des processus plus diffus.

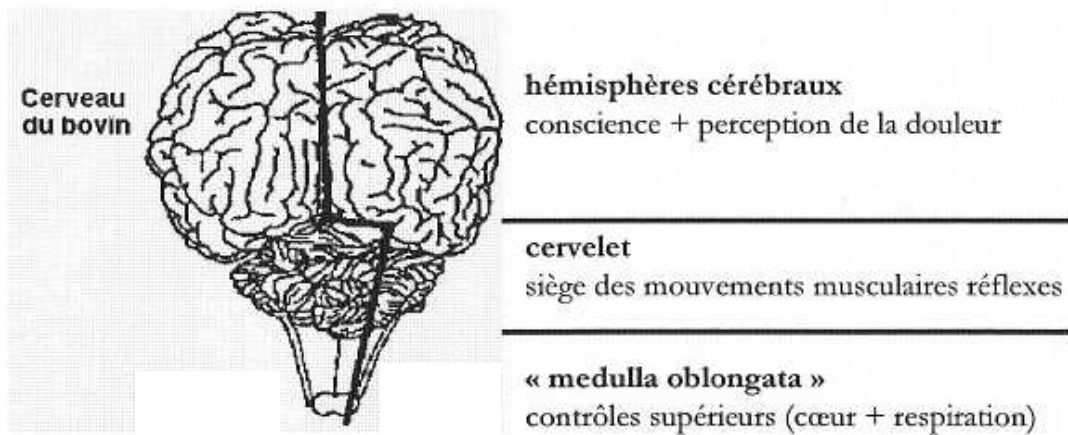


Figure 9 : Les régions du cerveau impliquées dans l'état conscient d'après Korsak (2006)

a Le mécanisme

Les méthodes d'étourdissement efficaces interrompent les circuits neuronaux ou les mécanismes de régulation des neurotransmetteurs dans le cerveau, provoquant un état de dépolarisation neuronale prolongée qui rend les animaux inconscients et insensibles. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer l'état de narcose généré par le passage d'un courant électrique dans le cerveau. La perte de conscience pourrait principalement être la conséquence de l'interruption des relations normales entre le cortex et la formation réticulée.

b Les moyens utilisés pour étudier la perte de conscience

L'induction d'une inconscience par l'électronarcose peut être repérée de 3 manières différentes : par l'observation de signes comportementaux qui sont incompatibles avec un état de conscience normal ; par un électroencéphalogramme ou un électrocorticogramme présentant une activité épileptiforme ; par l'absence de potentiel cortical dans le cerveau en réponse à un stimulus externe.

(i) Les réflexes et les signes physiques

Du fait des observations en humaine sur les épileptiques, l'électronarcose a longtemps été jugée efficace à partir du moment où les signes physiques d'une crise épileptiforme étaient observés. Cependant des études ultérieures ont montré que l'épilepsie humaine pouvait être associée à un certain degré d'amnésie : les patients épileptiques ne peuvent donc pas attester de leur perte de conscience au cours de la crise d'épilepsie.

L'état de conscience est très souvent estimé en testant la disparition de réponses-réflexes (Figure 10). Les réflexes les plus fréquemment examinés sont : le réflexe palpébral, le réflexe cornéen, le retrait de la tête au toucher du museau, le retrait de la tête à la menace (mouvement balayé de la main près des yeux de l'animal), le retrait de la tête au pincement de l'oreille, le retour de la respiration spontanée.

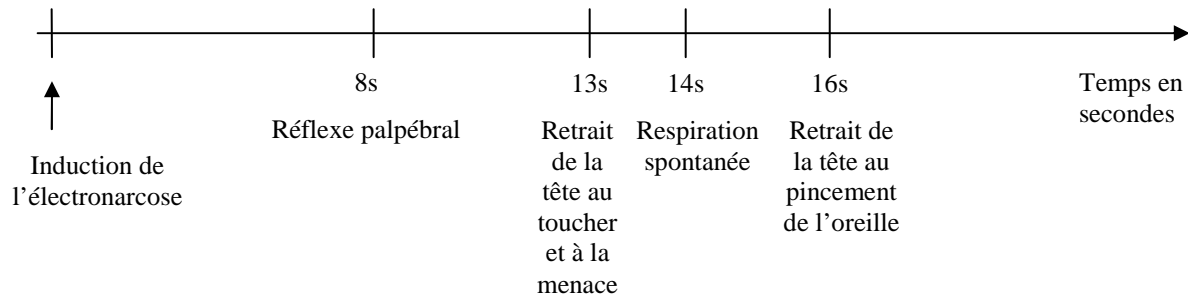


Figure 10 : Temps de réapparition de certains réflexes après l'induction de l'électroanesthésie d'après Gregory et Wotton (1988)

Il faut noter que la présence d'un réflexe cornéen ne permet pas de distinguer exactement la conscience et l'inconscience car le réflexe cornéen est généralement le dernier réflexe à disparaître pendant la perte de conscience ou le début de la mort et le premier réflexe à réapparaître après un étourdissement efficace n'entraînant pas la mort. La présence du réflexe cornéen n'est donc que seulement indicatrice d'une activité cérébrale de base (Anil et Mc Kinstry 1991). Elle ne doit donc pas être utilisée seule pour évaluer l'efficacité d'un étourdissement ou d'une conservation équivoque de conscience après l'électroanesthésie. Néanmoins lorsque des réflexes sont absents, il est probable que l'animal soit sans connaissance.

S'il existe des difficultés à évaluer l'état d'inconscience par la disparition de certains réflexes, en revanche l'échec d'une tentative d'étourdissement peut être évalué par la persistance des signes suivants :

- ✓ Respiration rythmique
- ✓ Myosis
- ✓ Tentatives de soulèvement de la tête
- ✓ Vocalises
- ✓ Réflexe cornéen
- ✓ Réponse à une stimulation douloureuse
- ✓ Oreilles raides.

(ii) L'enregistrement de l'activité électrique cérébrale

Depuis les années 30, l'enregistrement de l'activité électrique est une méthode couramment utilisée par les chercheurs pour identifier les différents états de vigilance (éveil, sommeil lent, sommeil paradoxal) ainsi que certains états mentaux. Ainsi la plupart des études objectives menées pour évaluer l'état de sensibilité de l'animal lors d'un étourdissement ont été basées sur l'enregistrement de l'activité électrique corticale spontanée. Cette activité est enregistrée à l'aide d'électrodes, soit implantées chirurgicalement avec leur extrémité posée sur la dure mère ou bien directement sur la surface du cortex : c'est l'électrocorticogramme (ECoG), soit implantées sur la partie externe du crâne : c'est l'électroencéphalogramme (EEG). Dans ce dernier cas, des aiguilles sont positionnées sous la peau.

Ces 2 techniques présentent des avantages et des inconvénients. Ainsi l'implantation des électrodes d'ECoG nécessite un temps chirurgical qui n'est pas forcément réalisable ou souhaitable au cours du protocole ; néanmoins lorsqu'elles sont correctement implantées, ces

électrodes permettent de faire des enregistrements de haute qualité. Au contraire, les électrodes placées en sous-cutané sont faciles à mettre en place mais elles présentent le désavantage d'amplifier les artéfacts lors de l'enregistrement et peuvent ainsi masquer des variations significatives de l'activité corticale.

Le choix de la technique d'enregistrement de l'activité électrique cérébrale dépend donc des informations recherchées. Si l'objectif est d'identifier l'induction d'une crise épileptiforme par une combinaison de paramètres électriques, on pourra utiliser des électrodes sous-cutanées. En revanche lorsqu'il s'agit de quantifier précisément le niveau d'activité électrique comme c'est le cas pour mesurer le temps d'installation d'un tracé isoélectrique, on utilisera des électrodes implantées.

Pour savoir si le courant électrique est suffisant pour entraîner une crise épileptiforme générale, un EEG ou un ECoG est utilisé.

◆ Les bases cellulaires de l'EEG

Le cortex cérébral présente plusieurs propriétés qui sont communes aux différentes espèces de mammifères : il présente notamment des neurones de sortie (qui émettent des projections axonales en dehors du cortex) de type pyramidal, et qui utilisent le glutamate comme neurotransmetteur. L'activation simultanée de nombreuses synapses dendritiques excitatrices provoque une dépolarisation globale de la dendrite apicale. Au même moment le milieu extracellulaire a cédé des charges positives au milieu intracellulaire au niveau de la dendrite. Ce mouvement de charges peut être détecté par une électrode extracellulaire. L'EEG enregistré à la surface du crâne est donc considéré comme reflétant l'activité électrique des neurones corticaux sous jacents.

◆ Aspect d'un tracé électroencéphalographique

Selon Anil et ses collaborateurs (2000), trois aspects d'un tracé électroencéphalographique montrent une életronarcese effective en l'absence de signes physiques.

- La présence d'une activité typique épileptiforme caractérisée par une activité bipolaire d'amplitude élevée (Figure 11b)

Mais aussi :

- La présence d'une activité unipolaire à plusieurs pics (polyspike en anglais) (Figure 11c)
- La présence d'une activité caractérisée par des ondes lentes de haute amplitude et de basse fréquence.

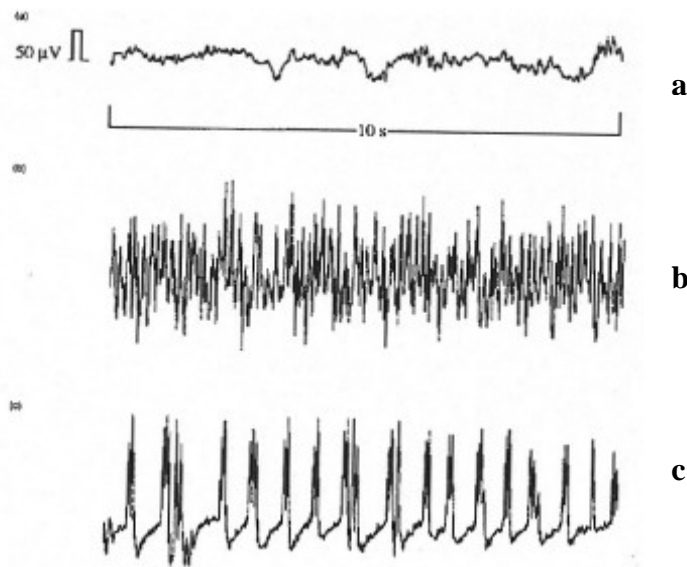


Figure 11 : ECoG enregistrés chez le lapin (a) vigile, activité normale, (b) activité épileptiforme après étourdissement, (c) activité unipolaire à plusieurs pics « polyspike » après étourdissement (Anil, Raj, Mc Kinstry 2000)

Néanmoins le plus fréquemment, l'activité anormale des neurones corticaux se traduit par des décharges épileptiformes apparaissant sur l'EEG avec des pointes de haut voltage, durables, généralisées et irrégulières. Chez le mouton, le tracé électroencéphalographique suivant l'application du courant a les caractéristiques suivantes pendant la crise épileptiforme : les petites ondes (phase initiale) deviennent irrégulières (phase tonique), avec une augmentation inconstante de l'amplitude et une diminution de la fréquence (phase clonique), suivie d'une période de diminution sévère de l'activité électrique. Ce tracé épileptiforme dure aux alentours de 40 secondes (Gregory et Wotton 1988, Lambooy 1982). La fin de la crise épileptiforme est marquée par un changement soudain de l'amplitude entre les pics qui atteint au moins deux fois la valeur observée avant électroanesthésie (Gregory et Wotton 1984). Cette crise épileptiforme est suivie d'une phase de rétablissement d'environ une demi-heure. Dans cette phase l'ECoG décrit des ondes inférieures à 4Hz et comprises entre 4 et 13 Hz alternant avec des ondes en pic qui se muent progressivement en ondes de fréquence normale (supérieure à 13Hz). Cook et ses collaborateurs (1996) observent des courbes similaires chez les veaux.

◆ **Les critères d'interprétation de l'EEG**

Newhook et Blackmore (1982) ont proposé un ensemble de critères permettant de déclarer un animal insensible. Ils se sont basés sur la présence de LVFA (Low Voltage Fast Activity waves). Les LVFA compatibles avec la sensibilité sont comprises entre 10 et 35 μV. La limite inférieure de 10μV est le niveau le plus bas qu'ils aient observé chez un mouton somnolent tandis que la limite supérieure de 35 μV est la valeur la plus haute enregistrée chez un mouton très excité. Ces marges sont très larges car il n'est pas possible de déterminer à quels niveaux d'amplitude d'EEG survient l'insensibilité. Toutes ondes LVFA hors de ces normes marquent alors un état d'insensibilité.

Sur la base de ces critères, Blackmore et Newhook (1982) observent que les moutons développent une période d'insensibilité de 18 à 42s avec une moyenne de 36 secondes. Devine et ses collaborateurs (1986) obtiennent pour leur part une valeur moyenne de 47 secondes. Cette différence de valeur peut s'expliquer par une différence de calibrage des appareils : les valeurs enregistrées par Devine et ses collaborateurs sur des animaux au repos

avant électronarcose sont comprises entre 15 et 40 μ V ce qui est supérieur aux valeurs de 10 et 35 μ V enregistrées par Newhook et Blackmore en 1982.

Chez le veau la crise épileptiforme dure environ 33 secondes, et à 59s après l'électronarcose le signal de l'EEG avait une valeur de 30 à 350 μ V, avec des périodes d'amplitude modérée suivie par des accès d'activité (Devine et al. 1986).

◆ **Controverse sur les valeurs utilisées**

L'électronarcose modifie considérablement l'EEG et d'autres paramètres physiologiques. Des doutes supplémentaires ont été émis quant à l'utilisation de l'intervalle 10-40 μ V pour déterminer l'état de sensibilité des animaux électro-narcosés. Des moutons juste égorgés ont un EEG qui chute rapidement atteignant des valeurs inférieures à 10 μ V en 8 à 22s. Des moutons égorgés après électro-narcose ont un EEG dont la valeur persiste au-delà de 10 μ V bien plus longtemps. Devine et ses collaborateurs ont donc observé un EEG indiquant une apparente sensibilité (amplitude > 10 μ V) chez des moutons électro-narcosés et saignés à un moment où les animaux seulement saignés avaient un tracé indiquant une insensibilité. L'utilisation de la valeur de référence de 10 μ V serait donc surestimée chez les animaux électro-narcosés car l'électro-narcose augmente les valeurs de l'EEG. Jones (1988) aboutit à la même conclusion en comparant les EEG de bovins avant et après une électro-narcose, à l'aide d'outils mathématiques : il observe une augmentation de l'amplitude et une augmentation ou une diminution de la fréquence.

(iii) Les potentiels corticaux évoqués

Les potentiels corticaux évoqués sont des fragments d'activité électrique d'apparition simultanée à un stimulus sensoriel spécifique. L'EEG enregistré pendant l'application d'un stimulus est composé d'une part de l'EEG correspondant à l'activité électrique liée au processus sensoriel du stimulus, et d'autre part de l'EEG « de fond » lié aux autres processus neuronaux. Les potentiels corticaux évoqués persistent sous anesthésie. Cette technique peut utiliser des stimuli visuels, auditifs ou somesthésiques (Académie Vétérinaire de France 2006).

Puisque les potentiels évoqués sont présents à l'état conscient et anesthésié, ils sont considérés comme représentant l'aptitude de réponse du cerveau à un niveau rudimentaire. Aussi lorsque l'animal ne répond à aucun stimulus externe, l'animal est considéré comme insensible.

Certains auteurs (Gregory et Wotton 1985) ont étudié la réponse corticale, lue sur électroencéphalogramme, à des stimuli visuels (Figure 12) : un flash de lumière induit des réponses caractéristiques sur électrocorticogramme. Sur 12 moutons, 8 ont montré une réponse évidente aux flashes lumineux pendant la crise épileptiforme au plus tôt 9s après électro-narcose. L'électro-narcose n'interrompt donc pas le message visuel de façon prolongée.

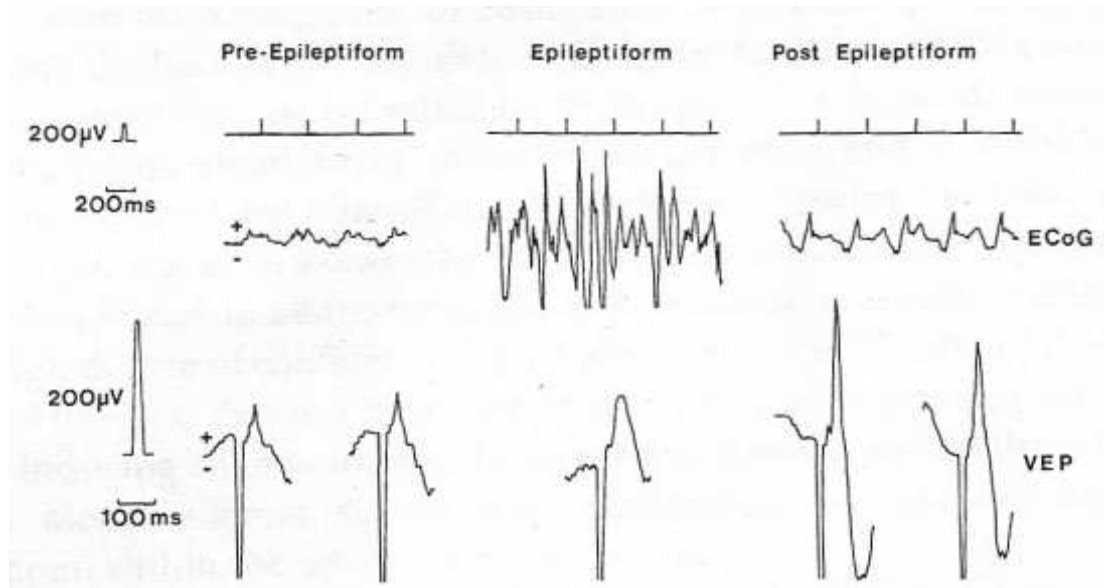


Figure 12 : Electroencéphalogramme (ECoG) et potentiels corticaux évoqués visuels (VEP) avant, pendant et après la crise épileptiforme induite par l'étourdissement électrique chez le mouton (Gregory et Wotton 1985)

(iv) La résistance

Chez les oiseaux, l'activité électrique cérébrale est plus difficile à enregistrer : leurs neurones homologues des neurones du néocortex mammifère sont situés profondément dans les hémisphères cérébraux et non à leur surface. Une approche alternative est donc utilisée pour déterminer le dysfonctionnement du cerveau : c'est la mesure de la résistance du tissu cérébral. En effet, les modifications de résistance du cerveau reflètent les modifications dans l'espace extracellulaire du tissu cérébral liée aux changements métaboliques des cellules (Raj 1998).

2) L'insensibilité à la douleur

Il est important d'évaluer l'insensibilité indépendamment de l'inconscience pour qu'un animal inconscient ne puisse pas ressentir de la douleur. Lors du processus d'abattage il faut que la période d'insensibilité à la douleur induite par l'électronarcose dure suffisamment longtemps pour que l'animal ne se réveille pas avant qu'une insensibilité définitive se mette en place du fait de la saignée.

a Les éléments de physiologie de la nociception

L'association Internationale pour l'Etude de la Douleur (IASP) définit la douleur chez l'Homme comme "une sensation désagréable et une expérience émotionnelle en relation avec une menace réelle ou potentielle, ou décrite en ces termes" et complète la définition pour les animaux de la façon suivante "la douleur est une expérience sensorielle aversive causée par une menace réelle ou potentielle qui provoque des réactions motrices et végétatives protectrices, conduit à l'apprentissage d'un comportement d'évitement et peut modifier le comportement spécifique de l'espèce y compris le comportement social". On la décompose en deux fonctions : la nociception qui permet la perception des stimuli douloureux et l'intégration psychique qui en module l'intensité. En pratique, les études sur la "douleur" chez l'animal concernent souvent la nociception.

La nociception utilise des récepteurs appelés des nocicepteurs. Lors de la nociception, il y a destruction de quelques cellules qui libèrent alors le potassium, la bradykinine contenus dans leur cytoplasme. Il y a alors création d'un foyer inflammatoire local qui a pour conséquence d'abaisser le seuil d'excitabilité du récepteur et du neurone de premier ordre ; ce premier neurone qui reçoit les impulsions venues de récepteurs spécifiques, pénètre dans la moelle par une racine dorsale et s'articule avec le deuxième neurone dont le corps cellulaire est situé dans la corne ventrale de la moelle. Ce deuxième neurone participe à la formation du faisceau spinothalamique. Il atteint ainsi respectivement le thalamus où il s'articule avec le troisième neurone. Enfin cet influx active des contrôles inhibiteurs descendants qui modulent en retour la transmission spinale.

De la nociception à la douleur il se produit au niveau cortical une intégration des informations nociceptives en fonction du vécu et de l'émotivité de l'individu.

b L'évaluation de l'insensibilité à la douleur par l'étude des potentiels corticaux évoqués

Il s'agit de chercher jusqu'à quand le cerveau est capable de percevoir ou de faire percevoir la douleur.

Chez le mouton, Gregory et Wotton (1988) ont étudié les potentiels corticaux évoqués par la stimulation électrique de la dentine de l'incisive, indicateur de la réponse à un stimulus nociceptif pouvant traduire un état d'analgésie. Ce stimulus apporte des informations plus pertinentes sur l'insensibilité à la douleur que les flashes lumineux. Afin de distinguer la composante somesthésique et la composante algique, les auteurs ont tout d'abord enregistré l'ECoG lors de la stimulation de la gencive seule et lors de la stimulation de l'incisive chez des animaux anesthésiés à l'halothane. Ils ont observé des potentiels corticaux évoqués pour la stimulation de la gencive chez 5 animaux, mais aucun potentiel chez les mêmes animaux lors de la stimulation de l'incisive. Ils ont donc conclu qu'il était possible de faire la distinction entre la composante somesthésique et la composante algique. Après électronarcose, les potentiels évoqués sont apparus après 9 minutes et demie chez 8 moutons, entre 2 et 6 minutes chez 5 moutons et en moins de 2 minutes chez seulement 1 mouton.

Il y a une étape après l'électronarcose où le mouton est dans un état d'analgésie. Néanmoins il ne peut être affirmé que l'insensibilité débute instantanément dès le début de l'électronarcose. La période d'insensibilité à la douleur semble dépasser la période d'insensibilité à d'autres modalités sensorielles comme la vision.

c Le lien entre la durée de la crise épileptiforme et l'insensibilité

Le maintien de l'activité électrique hyper-synchronisée de la crise épileptiforme nécessite un intense métabolisme électrochimique qui ne peut pas être soutenu après la saignée probablement à cause de l'anoxie cérébrale due à la diminution importante d'apport sanguin au cerveau. Et ce d'autant plus que l'électronarcose inhibe la respiration pendant au moins 20s. Aussi une réduction de la durée de la crise n'est pas synonyme de réduction de la durée de l'insensibilité, au contraire.

L'excitabilité neuronale est la base de nombreux processus physiologiques et physiopathologiques comme la nociception et l'épilepsie. Dans ces deux cas, les éléments moléculaires impliqués sont communs (canaux ioniques et récepteurs de neurotransmetteurs) et les conséquences découlent des mêmes phénomènes (hyperexcitabilité, facilitation

synaptique). On observe une absence de nociception après une crise épileptiforme chez les animaux d'expérimentation comme chez les humains. L'antinociception suivant une crise épileptiforme est acceptée comme répercussion de beaucoup de types d'accès épileptiques expérimentalement. Ce changement fonctionnel est habituellement expliqué par la persistance de l'inhibition accrue qui se produit à la fin d'une crise. Les changements lors de l'orage électrique des concentrations extracellulaires de diverses substances liées à l'antinociception jouent un rôle important. Par exemple il a été démontré que le GABA a des effets anticonvulsivants aussi bien que des effets antinociceptifs. Par ailleurs De Freitas et ses collaborateurs ont démontré que les changements peuvent durer plusieurs dizaines de minutes.

C. Les facteurs de variation de l'efficacité de l'étourdissement par électronarcose

1) *Les facteurs intrinsèques*

a Les paramètres du courant électrique

Le paramètre déterminant dans l'installation d'une crise épileptiforme est le courant qui traverse le cortex cérébral. Tout se passe comme si l'animal était une résistance R traversée par un courant d'intensité I généré par un dipôle de tension U. Ces trois paramètres sont liés par la loi d'Ohm (Figure 13). La difficulté est que seulement une partie non mesurable du courant appliqué traverse effectivement le cerveau.

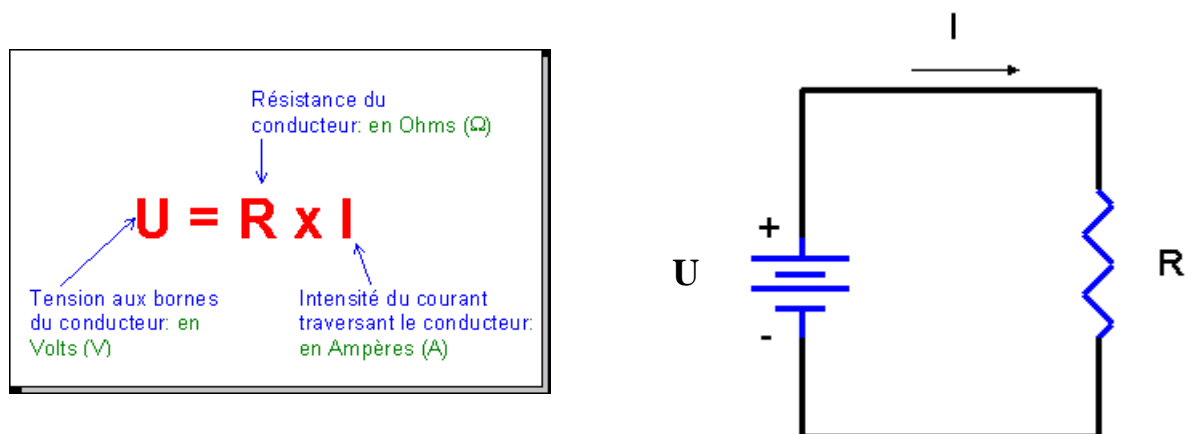


Figure 13 : la loi d'Ohm

En général, sur les appareils à disposition à ce jour, les paramètres modifiables par l'opérateur sont : l'intensité du courant, la tension, la fréquence et la durée d'application du courant.

(i) **L'intensité**

L'induction de la crise épileptiforme dépend de l'intensité du courant qui traverse le cerveau de l'animal, et il existe une intensité minimale du courant pour générer une crise épileptiforme. Pour déterminer et recommander cette intensité minimale, Lambooy et Spanjard se sont appuyés sur la méthode de « l'up and down ». Ils ont déterminé expérimentalement l'intensité qui permettait d'étourdir efficacement 90% des animaux du groupe étudié en testant sur plusieurs lots des paliers d'intensité variant de 0,1A. Si un lot est efficacement étourdi l'intensité est diminuée de 0,1A, et si un animal d'un lot n'est pas

étourdi l'intensité est augmentée de 0,1A. Ainsi pour une tension de 100V et une fréquence de 50Hz, l'intensité minimale recommandée est de 0,87A pour un veau de 200kg (Lambooy et Spanjard 1982), 0,33A pour un mouton d'environ 45kg (Lambooy 1982).

Pour le mouton, la tension couramment utilisée en abattoir étant de 100V, on peut considérer qu'en pratique pour cette intensité minimale recommandée 90% des animaux seraient étourdis ; Lambooy recommande l'utilisation d'un courant de 160V avec une intensité minimale de 0,5A pour être sûr que 100% des animaux soient effectivement étourdis.

(ii) La tension

Augmenter la tension revient indirectement à augmenter l'intensité traversant le cerveau. En fait les appareils les plus récents permettent de choisir le réglage de l'intensité au lieu de la tension comme c'était le cas auparavant. En effet cette dernière est moins prévisible : sur des porcs, l'utilisation d'un courant de 250V au lieu de 150V engendre une augmentation effective du courant dans le cerveau de 56% au lieu des 66% théoriques (Anil et Mc Kinstry 1998). Les effets d'une modification de la tension doivent varier dans le même sens qu'une modification de l'intensité courant. L'électronarcose peut être pratiquée avec un courant bas voltage (70-90 V) qui nécessite une application de 10-15 s pour une anesthésie effective ou bien avec des voltages plus élevés (250 à 700 V) qui permettent de réduire ce délai à une seconde et même moins. Cette dernière méthode (avec 700 V) est préférée sur les chaînes d'abattage à cadence élevée, mais nécessite une automatisation complète du système d'anesthésie (convoyage de l'animal, mise en place des électrodes, passage du courant, éjection de l'animal) pour la sécurité du personnel.

Sur un plan physiologique une augmentation de la tension entraîne une augmentation de la durée de retour de la respiration rythmique, et une augmentation de l'intensité des convulsions. Ces dernières peuvent alors constituer un risque pour le personnel et pour la qualité de la carcasse notamment par défaut de saignée.

Lors des premières utilisations de l'électronarcose, l'utilisation de très bas voltages (60-90V) était très répandue mais nécessitait une application très longue des électrodes. Par la suite il a été démontré qu'un voltage supérieur donnait de meilleurs résultats. Mais dans certains pays le voltage maximum est réglementé pour les anesthésies manuelles, par exemple à 250V en Allemagne. Les systèmes électriques ont évolué vers de hauts voltages (600-1000V) mais cela peut avoir des conséquences négatives sur la viande. Aujourd'hui de bons résultats sont obtenus avec l'utilisation de voltages intermédiaires (250V) (Griot 1998).

(iii) La fréquence

Berghaus et Troeger (dans Grandin 2004) ont comparé l'utilisation de hautes fréquences (500 et 800Hz) et d'une fréquence dite « normale » de 50Hz, et ont conclu que toutes ces fréquences induisaient un étourdissement efficace. Néanmoins l'utilisation des très hautes fréquences peut diminuer la durée de l'inconscience et de l'insensibilité (Anil et McKinstry 1992).

Il faut noter que le nombre d'interruptions du courant pendant l'étourdissement est plus élevé lors d'utilisation de basse fréquence. Par ailleurs si des fréquences électriques plus élevées sont utilisées, des intensités plus fortes peuvent être nécessaires (OIE).

(iv) Le temps d'application

Jusqu'à un certain seuil la durée de la crise épileptiforme augmente avec la durée d'application du courant (Cook *et al.* 1995). Ainsi chez le mouton pour un courant donné de 1A, 50Hz, 500V la durée de la crise épileptiforme atteint un pic pour 4s d'application. Au-delà de 20s d'application la crise dure moins longtemps.

Excepté pour la durée, les effets de diverses applications s'échelonnant de 0,2 à 20s sont les mêmes : dès 0,2s une crise épileptiforme est observée.

(v) L'état du système électrique

L'état du système électrique peut être testé par rapport à son utilisation prévue. Le rendement de l'anesthésie est calculé en mesurant le voltage en circuit ouvert, puis en circuit fermé avec une résistance ou une tête d'animal récemment abattu. Si le rendement est inférieur à 90% le fabricant doit être contacté (Griot 1998).

$$\text{Rendement de l'anesthésie} = \frac{\text{Voltage en charge}}{\text{Voltage en circuit ouvert}} * 100$$

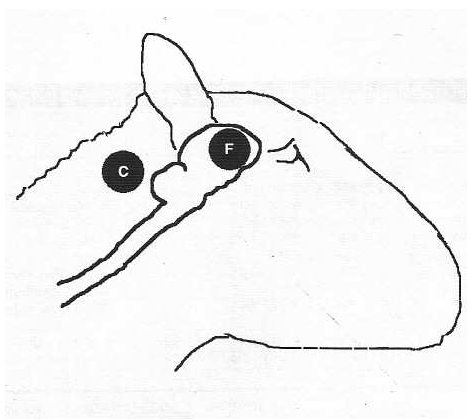
b Les électrodes

Les électrodes permettent l'application du courant généré par le générateur à l'animal. Leur bon positionnement détermine le trajet qu'emprunte le courant mais aussi la qualité du contact et donc de la transmission du courant. Il s'agit de diminuer au maximum la résistance constituée par « l'enveloppe » du cerveau, c'est-à-dire la toison, la peau, les muscles, la graisse et la boîte crânienne.

(i) La position des électrodes

◆ L'efficacité

Velarde et ses collaborateurs (2000) ont étudié certains facteurs pouvant affecter l'efficacité de l'électronarcose chez 89 moutons âgés de 12 à 14 semaines. L'électronarcose était considérée comme efficace si elle entraînait une crise épileptiforme attestée par observation et EEG (amplitude au moins 4 fois supérieure à l'amplitude de base). Chez le mouton, les électrodes peuvent être placées en position frontale ou caudale comme représenté en Figure 14. Les auteurs ont observé que l'efficacité de l'étourdissement était significativement supérieure lorsque les électrodes étaient placées en position frontale par rapport à une position caudale : 71,4% contre 46,7%.



Frontal : entre les yeux et les oreilles de chaque côté de la tête

Caudal : derrière les oreilles sur le condyle occipital de chaque côté de la tête.

Figure 14 : Représentation schématique de la position des électrodes (Velarde et Al 2000)

Anil et McKinstry (1998) ont démontré que chez les porcs une application caudale des électrodes générait un courant plus élevé qu'une application frontale, probablement parce que l'épaisseur plus importante de la masse tissulaire présente dans le cou induit une résistance

plus faible. Il est possible que chez le mouton cet effet soit masqué par la toison épaisse présente dans cette région.

Par ailleurs, une simulation de la distribution du courant dans le cerveau a été réalisée sur le modèle du porc en utilisant un outil mathématique, la méthode des éléments finis, qui consiste à diviser une forme complexe en une série d'éléments modélisables. En pratique plusieurs positions d'électrodes ont été testées en mesurant le courant dans différentes portions de l'animal : le cerveau, le nerf optique, les vaisseaux sanguins... La densité du courant suit clairement les structures anatomiques : les intensités les plus élevées concernent le nerf optique et les vaisseaux sanguins (Eike *et al.* 2005). Cela montre qu'une grande partie du courant rejoint le cerveau en suivant ces tissus car leur résistance est plus faible que celle de l'os. Le calcul confirme l'utilisation courante du positionnement des électrodes dans la région située entre l'œil et l'oreille.

◆ **La prévalence de la position recommandée en abattoir**

Nous ne disposons pas d'études terrain publiées menées chez le mouton ou le veau aussi nous nous appuyons sur des données collectées en abattoir de porcs.

Chez le porc la position recommandée est frontale. Dans cette position l'intensité minimale requise pour obtenir un étourdissement satisfaisant est de 0,41A (Anil 1991). Néanmoins, une déviation par rapport à cette position est possible lors de l'utilisation en abattoir : l'observation de 1227 porcs électronarcosés a révélé que les électrodes étaient mal positionnées dans 83% des cas (Anil et McKinstry 1998). Pourtant le courant n'a pas cheminé par le cerveau dans seulement 36% des cas. Dans une seconde étude menée sur 145 animaux, seulement 6 moutons sur 145 n'ont pas été étourdis (2 en position cou et 4 sur les mâchoires).

Les principales positions observées en 1993 par Anil et Mc Kinstry ont été (Figure 15) :

1. entre les yeux et la base des oreilles
2. derrière la base des oreilles
3. de part et d'autre du cou derrière les oreilles
4. en diagonale, une électrode sur le dessus de la tête et l'autre derrière la tête
5. Sur les mâchoires.

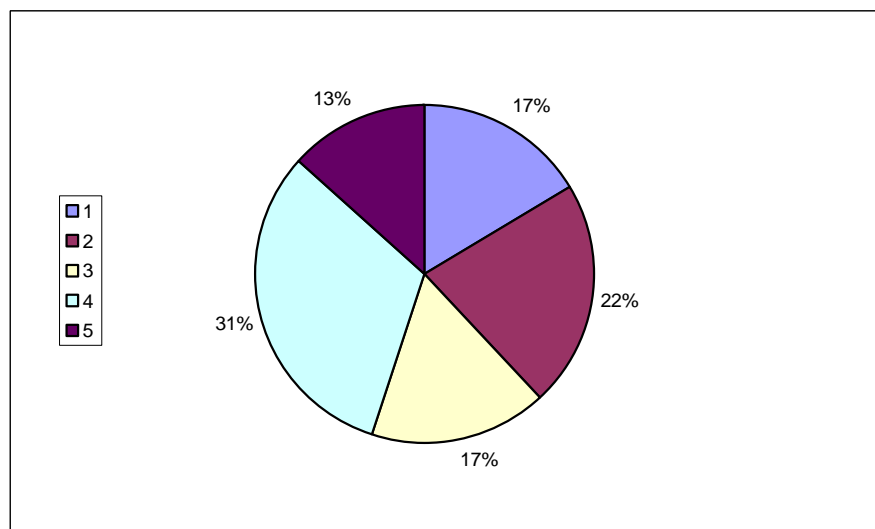


Figure 15 : diagramme de répartition des positions d'électrode observées chez le porc d'après Anil et McKinstry 1998

Néanmoins, la position influe sur le temps de retour de la respiration rythmique, le temps de retour du réflexe cornéen et la sévérité des convulsions. Les auteurs rappellent donc l'importance de la qualité de la formation du personnel d'abattoir. Dans les systèmes d'anesthésie électrique automatique les plus perfectionnés, un positionnement optimal (oreille-oreille) des électrodes principales est obtenu par contrôle vidéo.

(ii) La préparation de l'animal

◆ L'humidité de la peau

L'efficacité de l'étourdissement est significativement supérieure lorsque les électrodes sont placées sur une peau mouillée par rapport à une peau sèche : 87,7% contre 29,5% d'après Velarde et ses collaborateurs 2000 (Figure 16).

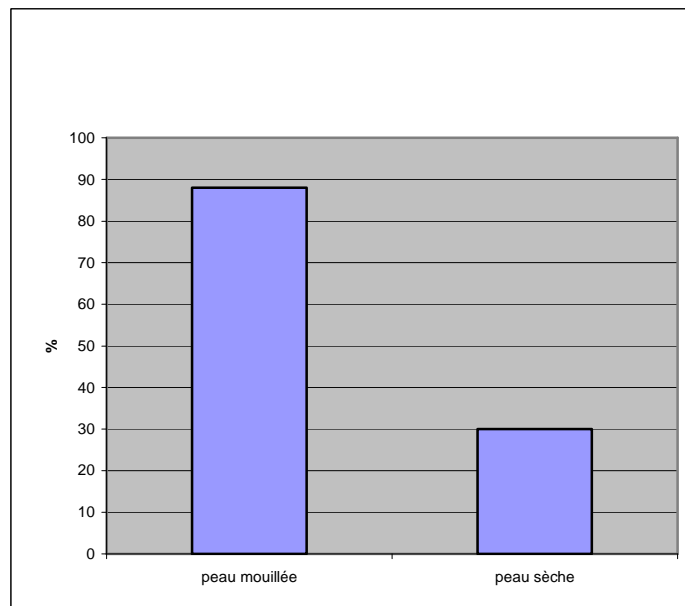


Figure 16 : Influence de l'humidité sur l'efficacité de l'électronarcose (Velarde et al. 2000)

◆ La tonte

L'efficacité de l'étourdissement est significativement supérieure lorsque les électrodes sont placées sur des moutons tondus par rapport à des animaux avec de la laine : 73,3% contre 43,2% (Figure 17). Néanmoins lorsque les électrodes sont appliquées en position frontale sur une peau humide, la présence de laine ou non n'a pas d'incidence. Il est plus efficace d'appliquer les électrodes sur une peau mouillée non tondue que sur une peau tondue mais sèche.

Le paramètre déterminant dans l'induction de la crise épileptiforme est le courant traversant le cortex cérébral. On observe ainsi que la préparation à l'étourdissement est primordiale ; en effet dans l'étude de Velarde et al. (2000) aucun des animaux à peau sèche et avec laine n'a été étourdi avec efficacité. Les résultats obtenus renforcent l'idée que l'influence de la préparation est liée à la diminution de résistance qu'elle induit : dans cette étude le courant était plus élevé chez les agneaux à peau humide (0,446V contre 0,349V) et chez les agneaux sans laine (0,433V contre 0,375V).

Il est recommandé d'étourdir les animaux en position frontale après humidification de la peau.

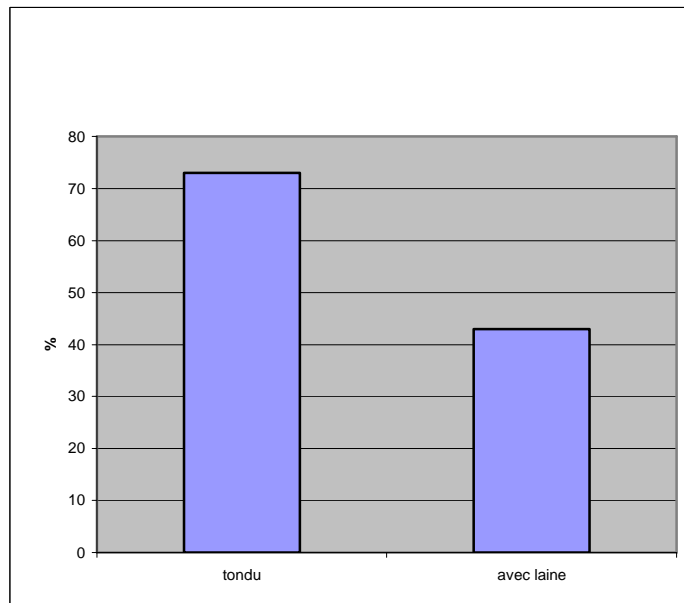


Figure 17 : Influence de la tonte sur l'efficacité de l'électronarcose (Velarde et al. 2000)

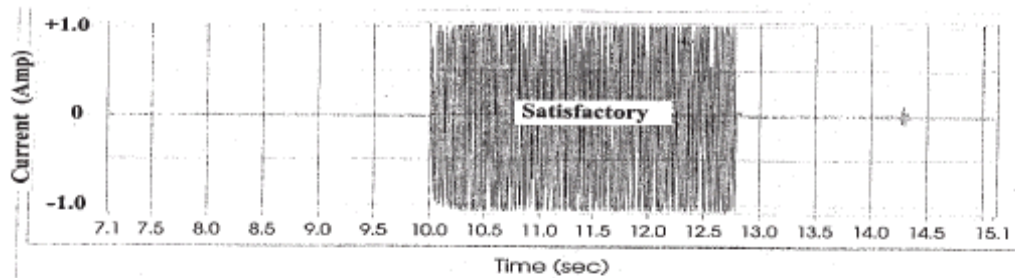
(iii) La mise en contact des électrodes

La recherche sur l'électronarcose a permis d'établir des courants minimaux requis pour étourdir efficacement les animaux. Par ailleurs ce courant doit être appliqué correctement : il faut que le courant atteigne la valeur requise immédiatement et qu'il ne soit pas interrompu, afin que l'animal ne ressente pas de choc électrique avant être étourdi. C'est parfois le cas lorsque les électrodes sont mal positionnées ou dans les systèmes à bains d'eau pour les volailles (Anil et McKinstry 1998).

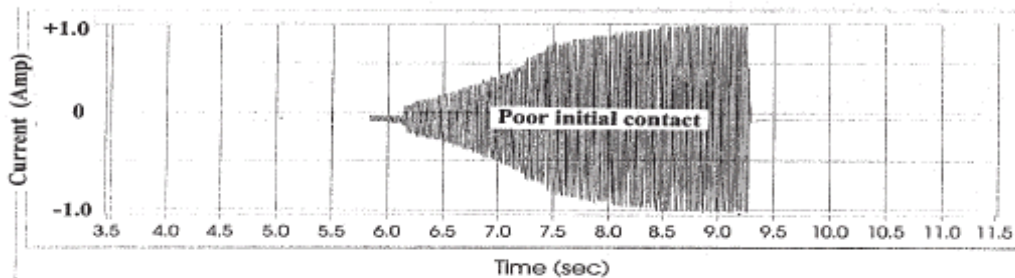
Gregory (2001) a inspecté les profils de courant appliqués dans 6 chaînes d'abattoir de porcs en Nouvelle Zélande. Les profils obtenus se répartissent dans 5 catégories (Figure 18) :

1. satisfaisant : le courant atteint rapidement le niveau requis
2. mauvais contact initial : le courant n'augmente pas rapidement ; l'animal subit un courant de basse intensité pendant au moins 0,2s
3. interruption du courant : il y a un arrêt du courant au cours de l'électronarcose
4. courant inconstant : vers la fin de l'application, le courant diminue considérablement
5. pic de courant : il y a un accès de courant au début ou à la fin de l'application.

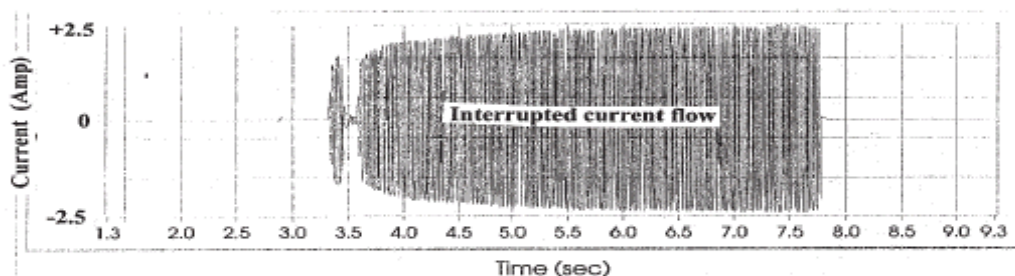
(1)



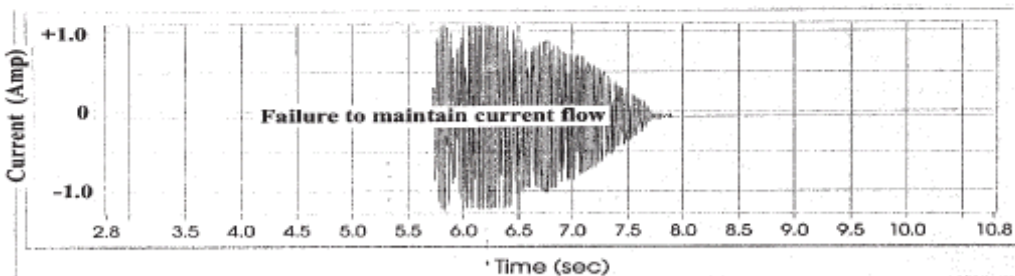
(2)



(3)



(4)



(5)

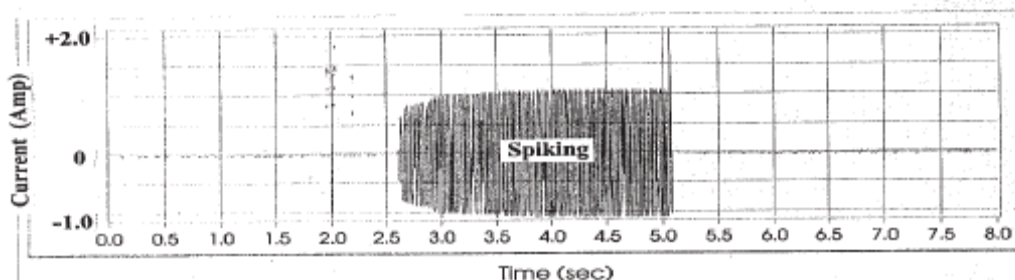


Figure 18 : Les 5 types de profil de courant (Gregory 2001)

En cas d'interruption (n°3 Figure 18) ou de pic (n°5 Figure 18), le corps de l'animal fait des soubresauts ce qui peut endommager la carcasse et en cas de mauvais contact initial, l'animal peut ressentir un choc électrique. L'inconstance du courant (n°4 Figure 18) ne constitue ni un problème de bien être ni un facteur d'endommagement de la carcasse. Ainsi 85% des profils étaient satisfaisants et 91% étaient acceptables d'un point de vue de bien être animal.

2) Les facteurs extrinsèques

a L'espèce

(i) La morphologie

En liaison avec leur morphologie, les animaux peuvent présenter des résistances différentes au niveau de la tête. Ce paramètre de morphologie comprend l'espèce, l'âge, le poids, le sexe. On peut donc établir un tryptique espèce-âge/intensité/effet. Des différences de résistance entre les sexes ont seulement été mises en évidence chez les oiseaux, les femelles présentant une résistance accrue.

Pour obtenir un étourdissement efficace avec l'application pendant 1 à 3 secondes d'un courant standard de 50hz l'OIE recommande des intensités allant de 0,4 à 1,5A selon les espèces figurant dans le Tableau V :

Tableau V : Intensités minimales recommandées par l'OIE(2006)

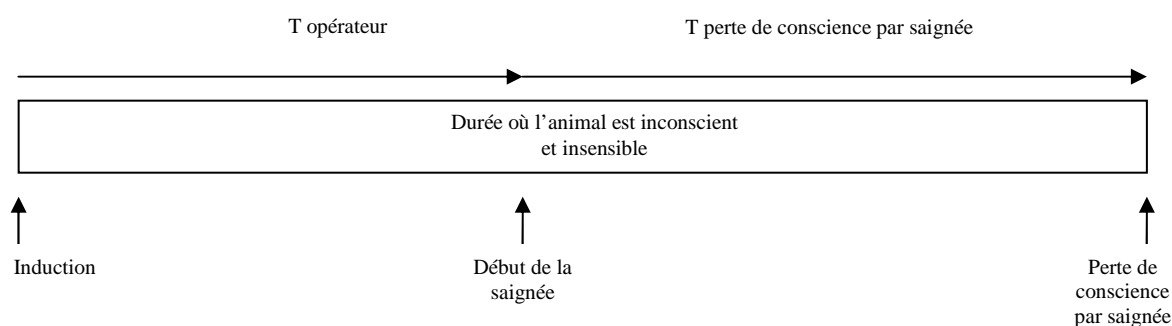
Espèces	Intensité minimale
Bovins	1,5 A
Veaux	1,0 A
Porcs	1,25 A
Ovins et caprins	1,0 A
Agneaux	0,7 A
Autruches	0,4 A

(ii) L'anatomie : L'influence de la distribution des débits sanguins sur la durée de l'insensibilité

L'efficacité de l'étourdissement n'est avérée que lorsque la période où l'animal est inconscient ET insensible est assez longue pour que l'inconscience irréversible de la saignée s'installe. Cela comprend d'une part le temps nécessaire à l'opérateur pour réaliser la saignée, puis d'autre part le temps nécessaire à la perte de conscience liée à la saignée. Or les différentes périodes varient selon les espèces. Le Tableau VI rassemble les durées concernant le mouton et le veau.

Tableau VI : Périodes d'inconscience et d'insensibilité chez le mouton et le veau

Espèce	Durée où l'animal est inconscient suite à l'électronarcose	Durée où l'animal est insensible suite à l'électronarcose	Temps nécessaire à l'installation de la perte de conscience irréversible par saignée
Mouton	36s Blackmore et Newhook 1982	2 à 9,5mn Gregory et Wotton 1988	7s Newhook et Blackmore 1982
Veau	44s Gregory et al. 1996	Non disponible	65-85s Newhook et Blackmore 1982



Légendes : T opérateur = Temps maximal disponible pour l'opérateur afin d'effectuer la saignée afin qu'il n'y ait pas de réveil de l'animal pendant la saignée ; T perte de conscience par saignée = Temps mesuré pour la perte de la conscience suite à la saignée sans électroanesthésie.

Pour assurer le bien-être des animaux durant leur abattage, la durée de l'inconscience induite par l'électroanesthésie doit être supérieure à la somme de l'intervalle séparant l'induction de l'étourdissement de la saignée et du temps nécessaire pour que la saignée seule entraîne l'inconscience de l'animal. A l'aide des valeurs du Tableau VI on peut calculer le temps maximal dont dispose l'opérateur pour effectuer la saignée. La durée où le mouton est inconscient et insensible est de 36 secondes (au-delà le mouton toujours insensible peut être conscient), et le temps nécessaire à l'installation de la perte de conscience irréversible par saignée est de 7 secondes. Le temps maximal disponible pour l'opérateur pour effectuer la saignée est donc au maximum de 29 secondes. La valeur moyenne des T opérateur observée par Gregory et Wotton (1984) étant de 21 secondes chez le mouton, l'électroanesthésie permet donc de saigner un mouton alors qu'il est toujours inconscient et insensible.

Cependant le calcul est réalisé par rapport à une moyenne alors qu'en réalité l'inconscience peut durer seulement 18s chez le mouton (Blackmore et Newhook 1982). Dans ce cas il faudrait que l'opérateur sectionne les vaisseaux sous 11s ce qui est bien moins que le délai effectivement observé. L'animal risquerait alors de reprendre conscience mais resterait tout de même insensible.

Chez le veau nous ne disposons pas de toutes les valeurs. On observe néanmoins que le temps nécessaire à l'installation de l'inconscience par saignée est beaucoup plus long.

Différence entre le veau et le mouton pour le temps d'apparition de l'inconscience par saignée

En étudiant les EEG de moutons et de veaux pendant le processus d'abattage Newhook et Blackmore (1982) ont affirmé qu'il existait entre les deux espèces d'importantes différences sur l'apparition de l'inconscience par saignée. Ils émirent l'hypothèse que cette différence était probablement liée à un apport de sang au cerveau plus important par l'artère vertébrale chez les bovins. Déjà en 1963 Baldwin et Bell avaient montré par injection de colorant dans les artères et clampage, que chez le mouton l'unique source d'irrigation du cerveau est constituée des artères carotides externes. Chez le mouton et chez les bovins ces artères carotides externes forment la source principale d'irrigation sanguine du cerveau, par l'intermédiaire de la branche maxillaire interne et des prolongements des rameaux articulaires qui se rendent au réseau admirable épidual. En revanche chez les bovins ce réseau communique avec l'artère vertébrale par un plexus basioccipital (Figure 19). Cette connexion n'existe pas chez les petits ruminants.

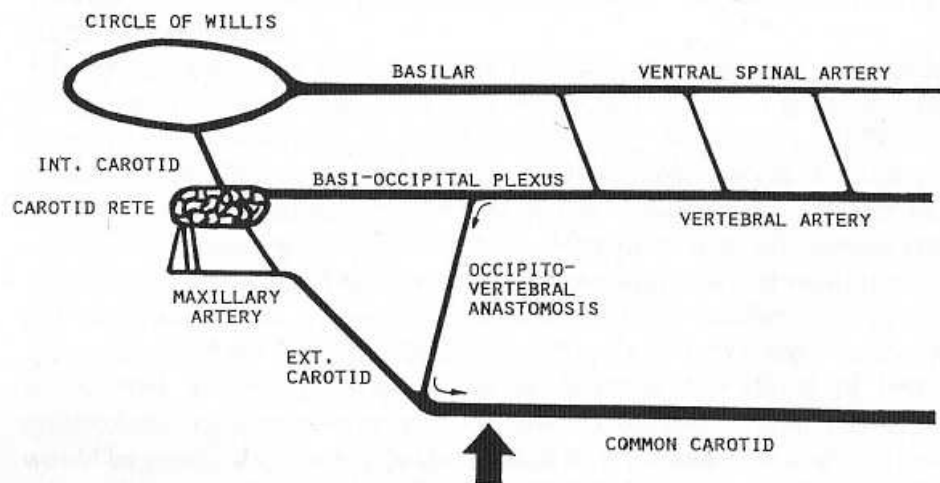


Figure 19 : Représentation schématique de la vascularisation cérébrale d'après Bager et al. 1988

Chez les bovins, dans les conditions normales, l'apport sanguin par l'artère vertébrale n'est pas important, voire même inexistant. Cependant puisqu'il existe entre les portions périphériques de l'artère vertébrale et de la carotide commune, une anastomose de diamètre relativement grand (artère occipitale et artère condylienne), il est possible que par cette anastomose, et sous certaines conditions (blocage ou ligature de l'artère carotide commune), l'artère vertébrale puisse apporter des quantités supérieures de sang au cerveau. Cependant lors de l'abattage le problème est différent car il y a en même temps perte de sang donc baisse de la pression sanguine. Blackman et ses collaborateurs (1986) ont refait ces expériences mais en sectionnant bilatéralement les artères carotides au lieu de les clamber. Du bleu de méthylène est injecté dans le cœur, les hémisphères cérébraux sont mis à nu : chez le mouton on n'observe pas de colorant dans les hémisphères cérébraux alors que chez le veau le flux sanguin amène le colorant jusqu'au cerveau jusqu'à cent secondes après le début de la saignée.

La méthode d'abattage consiste à sectionner les carotides communes et les veines jugulaires par incision de la face ventrale du cou. Les artères vertébrales sont donc non lésées. L'apport de sang par ces dernières prolonge la période de sensibilité des veaux égorgés mais non étourdis. Selon ces résultats l'étourdissement par électronarcose ne permettrait donc pas au veau d'être insensible pendant toute la saignée. Il est conseillé de saigner les veaux au

niveau de la poitrine plutôt qu'au cou (Figure 20) pour accélérer la saignée et la perte de conscience liée à cette saignée.

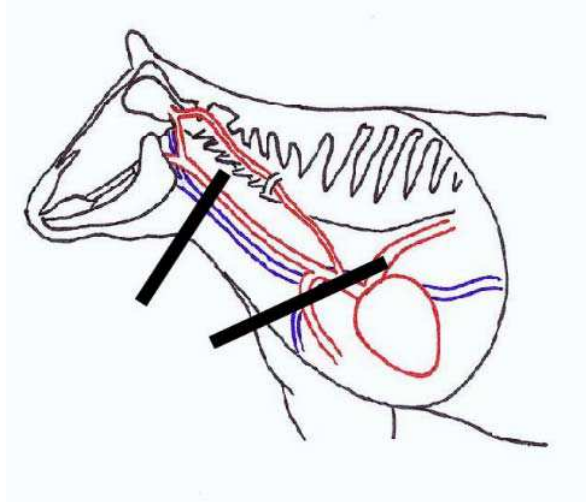


Figure 20 : Positions anatomiques possibles de la saignée chez le veau

b L'individu

Le courant électrique traversant le cerveau doit être suffisant pour provoquer une crise épileptiforme. L'intensité du courant traversant chaque individu est dépendant certes de la tension appliquée mais aussi de la résistance électrique de chaque individu. Lorsque l'on trace la courbe représentant le pourcentage d'animaux étourdis en fonction de l'intensité du courant appliqué, on obtient une courbe plus horizontale (dont le coefficient de corrélation est plus proche de 0) chez le mouton que chez le veau ou le porc ; ceci traduit une plus grande variabilité individuelle du mouton (Lambooy 1982). La résistance du crâne peut varier de manière importante entre les individus d'une même espèce comme c'est cas chez les oiseaux (Woolley *et al.* 1986).

Par ailleurs, il existe une corrélation négative entre le courant traversant la tête et le poids vif de l'individu, entre le courant traversant la tête et le poids de la carcasse, mais une corrélation positive entre le courant traversant la tête et le pourcentage de viande maigre.

c La répétition

Aucune étude n'ayant été menée chez les ruminants nous nous basons sur les résultats obtenus chez le porc. L'application répétée de l'étourdissement électrique provoque des crises épileptiformes successives. Les phases tonique et clonique sont plus courtes et le retour des réflexes est plus rapide. Ces éléments ne constituent pas une contre indication à l'utilisation d'une application répétée d'un point de vue de bien être animal (Mc Kinstry et Anil 2003).

d Le stress

Nous avons vu précédemment que la libération lente du GABA induite par le passage du courant électrique est responsable de la fin de la crise épileptiforme. Or le stress est aussi générateur de GABA. C'est pourquoi le stress peut affecter négativement l'induction de la crise épileptiforme. Ceci illustre l'importance de la manipulation des animaux avant leur étourdissement.

III Conséquences de l'électronarcose sur la qualité et la sécurité de la production des viandes

Les objectifs d'un bon abattage sont d'une part le respect du bien-être animal, et d'autre part l'obtention d'une « viande propre à la consommation humaine », ceci par une méthode qui garantit la sécurité du personnel de l'abattoir.

La « viande » correspond à toutes les parties comestibles des animaux visés aux points 1.2 à 1.8 du règlement (CE) N°853/2004 du 29 avril 2004 (annexe 1), y compris le sang et les abats. Les animaux visés sont notamment les ongulés domestiques bovins, porcins, ovins, caprins, ainsi que les solipèdes domestiques. Ces parties comestibles sont donc issues du corps d'un animal après l'abattage et l'habillage (Règlement (CE) N°853/2004 du 29 avril 2004 annexe 1), appelé la « carcasse ». La carcasse ou plus exactement chez les ruminants, les deux demi-carcasses issues de l'abattage des animaux, doivent être « propres à la consommation humaine », c'est-à-dire d'une part non préjudiciable à la santé du consommateur – il s'agit de la sécurité de l'aliment – et d'autre part acceptable compte tenu de l'utilisation prévue – il s'agit là de la qualité attendue de la viande.

La qualité, selon les termes de la norme International Standard Organisation ou ISO 9000:2000, se définit comme «l'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences», les exigences étant des «besoins ou attentes formulés, habituellement implicites, ou imposés». Pour une denrée telle que la viande (carcasse) la qualité peut donc être définie comme "une somme pondérée de caractéristiques conduisant à un optimum de satisfaction pour l'(les) utilisateur(s) de la carcasse". Les différentes caractéristiques qui peuvent être recherchées par ces acteurs de la filière de production de viande de ruminants peuvent être regroupées en six groupes : des caractéristiques nutritionnelles, organoleptiques, technologiques, commerciales, zootechniques, hygiéniques ou sécurité de l'aliment) (Magras polycopié qualité UV). Nous ne développerons pas toutes les caractéristiques attendues de la viande mais nous aborderons ici les caractéristiques pour lesquelles le procédé d'étourdissement par électronarcose peut avoir une influence.

A. Les caractéristiques de qualité de la viande affectées par l'électronarcose

Il s'agit essentiellement de caractéristiques organoleptiques (couleur, tendreté, flaveur-oxydation des lipides) et technologiques (évolution des viandes, pouvoir de rétention d'eau) liées au pH de la viande. C'est pourquoi nous allons revenir sur l'évolution post-mortem du pH.

1) Les qualités liées au pH

a L'évolution du pH après la mort d'animaux – effets de l'électronarcose

De manière générale la saignée entraîne un arrêt de l'apport en oxygène aux muscles par le sang. La synthèse d'ATP par les cellules musculaires se fait alors par glycolyse anaérobie ce qui entraîne une formation importante d'acide lactique. L'accumulation de l'acide lactique provoque un abaissement du pH qui est limité par l'épuisement du stock en glycogène musculaire.

Dans les cas d'une saignée après électronarcose deux causes possibles de modification du pH peuvent être envisagées : d'une part la libération de catécholamines et d'autre part l'activité musculaire élevée induite par la phase clonique de la crise épileptiforme, toutes deux sources de glycolyse post-mortem. La modification du métabolisme post-mortem par l'électronarcose est une conséquence d'une stimulation indirecte nerveuse. En effet l'administration de curare, substance empêchant la transmission neuromusculaire, réduit cette glycolyse post-mortem. Mais plusieurs résultats confirment que la glycolyse post-mortem n'est pas plus importante après étourdissement. Il est possible que la phase clonique modérée et le court intervalle étourdissement-saignée limitent en effet l'augmentation de la glycolyse post-mortem qui pourrait être attendue.

D'une manière générale, l'ampleur de la baisse du pH à 24h post-mortem est la même chez les animaux électronarcosés et non étourdis (Figure 21 et Figure 22). Les études menées sur l'agneau (Vergara *et al.* 2005, Vergara et Gallego 2000), sur le veau (Onenç et Kaya 2004, Velarde *et al.* 2003), sont toutes en accord sur ce point. Néanmoins à partir de 5 jours post-mortem des différences d'évolution du pH sont observées : le pH des carcasses des agneaux électronarcosés augmente alors que le pH des animaux non étourdis reste constant. L'hypothèse émise est que l'activité musculaire accrue lors d'électronarcose serait responsable d'une accélération de la baisse du pH et donc d'une maturation plus précoce de la viande.

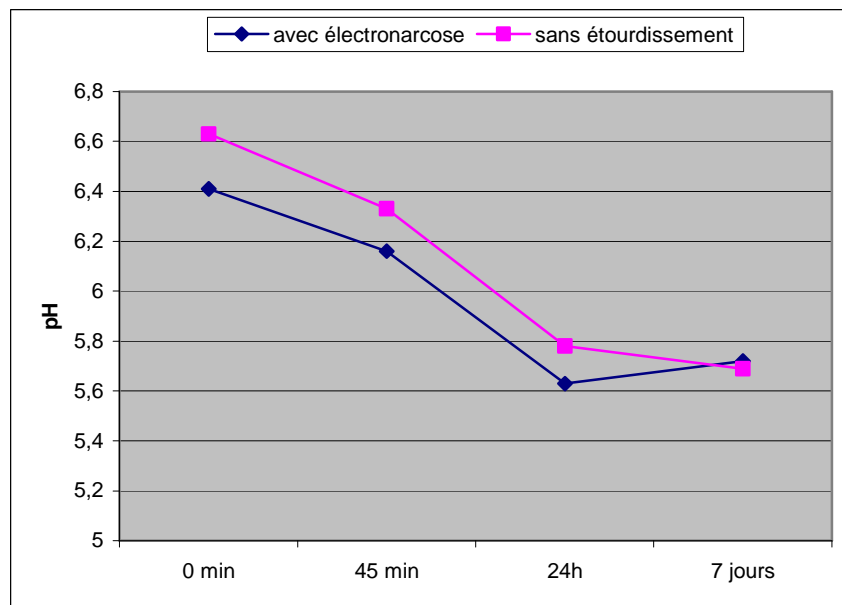


Figure 21 : Chute du pH de la viande d'agneau d'après Vergara et Gallego (2000)

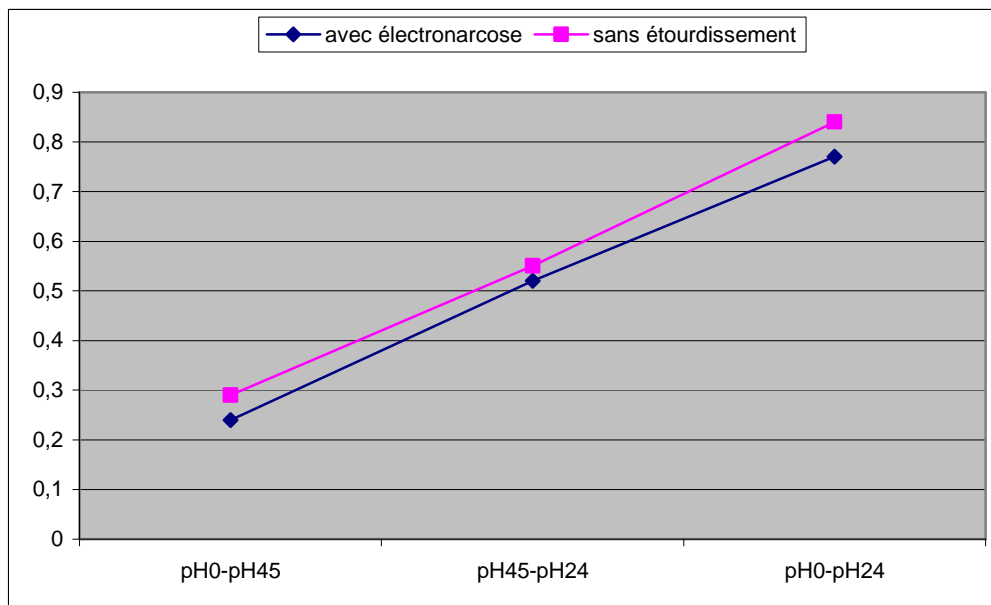


Figure 22 : Vitesse de la chute de pH chez l'agneau (Vergara et al. 2005)

Attention cependant chez le porc, Channon *et al.* 2003 ont montré qu'une application excessive de l'électronarcose augmente le risque d'une évolution anormale de la viande vers une viande de type PSE (Pale Soft Exsudative). Ceci peut survenir dans 2 cas de figure : soit le courant est appliqué trop longtemps (par exemple 19s au lieu de 4s) soit le courant est trop élevé (2A au lieu de 1,3A).

***b* La couleur**

La couleur est un des éléments essentiels de la motivation du choix du consommateur. La teneur en myoglobine des muscles est conditionnée par différents facteurs :

- nature du muscle : en liaison avec la structure en faisceaux de taille différentes du muscle
- l'espèce : pour un même muscle la teneur en myoglobine varie selon l'espèce considérée
- la race
- l'âge : la coloration plus foncée des muscles d'animaux âgés est une constatation courante
- l'activité : l'activité musculaire se traduit par une augmentation de la teneur en myoglobine des muscles.
- les facteurs alimentaires, notamment le fer
- les facteurs individuels.

(i) La couleur et le pH ultime

Il est établi que les variations de pH du muscle s'accompagnent également de variations de couleur. En effet à teneur en myoglobine identique, la viande paraît plus foncée lorsque le pH est élevé par suite du plus faible pourcentage de lumière réfléchi (Callow 1938 dans Zert 1970).

Schématiquement les chaînes peptidiques de protéines musculaires portent des groupements chargés négativement, des groupes chargés positivement et des groupements polaires (Figure 23). Lorsque le pH est élevé (supérieur à 6) la dissociation des groupes acides (négatifs) est importante. La charge nette des protéines est élevée et les dipôles d'eau sont

attirés par les charges excédentaires. Les chaînes peptidiques retiennent des dipôles d'eau entre elles et sont alors écartées. Cet état correspond à une « structure ouverte » qui laisse pénétrer les rayons lumineux.

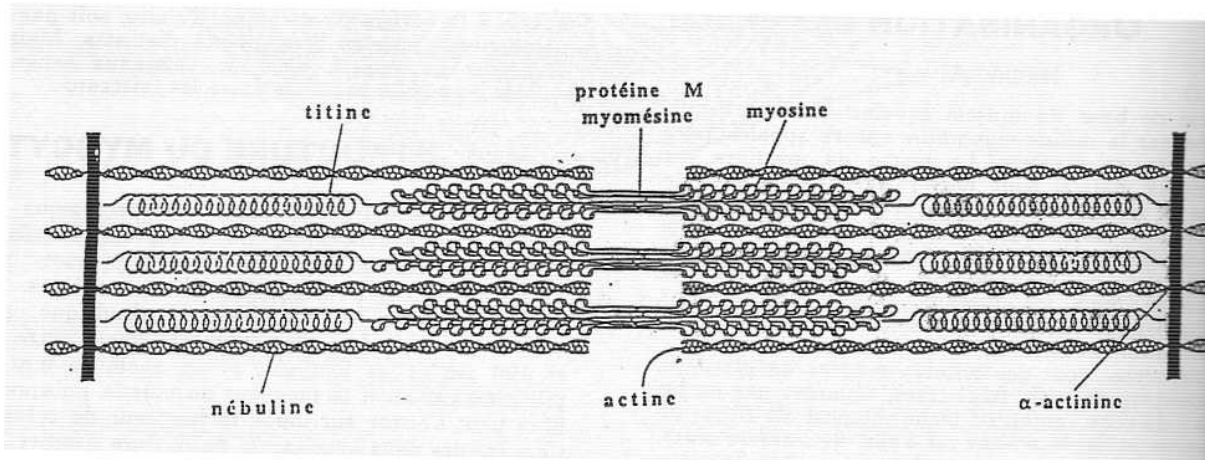


Figure 23 : Représentation schématique de la structure musculaire

Cette influence du pH sur la couleur se manifeste nettement lors de la glycogénolyse post-mortem. En effet la chute du pH qui se produit dans le muscle après la mort s'accompagne d'une augmentation de la réflectance donc de la « clarté ». Lorsque la valeur finale du pH (pH ultime) est élevée, le tissu musculaire apparaît foncé. Or la valeur du pH ultime dépend essentiellement de la quantité de glycogène contenue dans le muscle au moment de l'abattage.

(ii) L'influence de l'étourdissement

La présence d'un étourdissement quelle que soit la méthode utilisée ne semble pas affecter la couleur de la viande chez plusieurs espèces étudiées : l'agneau (Vergara *et al.* 2005, Vergara et Gallego 2000), les bovins (Onenc et Kaya 2004), l'autruche (Lambooy *et al.* 1999) et la dinde (Northcutt *et al.* 1998). Par ailleurs Chanon et ses collaborateurs (2002) n'ont pas observé de différence sur la couleur initiale de la viande de porc après étourdissement électrique ou au gaz. Seuls Linares et ses collaborateurs (2007) observent une viande plus foncée chez les agneaux non étourdis que chez les agneaux électronarcosés.

c Le pouvoir de rétention d'eau

Le pouvoir de rétention d'eau traduit la force de la liaison de l'eau aux protéines musculaires. Il est mesuré à 24h post-mortem. Il n'y a pas de différence significative liée à l'étourdissement (Vergara *et al.* 2005). Néanmoins après une maturation de 7 jours la capacité de rétention d'eau diminue (la perte d'eau est accrue). Nous ne disposons pas de données concernant le pouvoir de rétention d'eau comme la tendreté chez les Bovins.

d La tendreté

Elle est mesurée à l'aide d'un texturomètre sur le muscle grand dorsal de l'agneau. Globalement à 72h post-mortem la viande issue des agneaux étourdis est plus tendre que la viande issue des agneaux non étourdis. A 7 jours post-mortem il n'y a pas de différence significative entre ces 2 groupes.

2) L'oxydation des lipides

La viande de mouton est plus riche en acides gras polyinsaturés que la viande de bœuf ou de porc. Or les acides gras polyinsaturés constituent un substrat qui favorise l'amorce du processus oxydatif de la viande aboutissant à la formation de produits finaux responsables du rancissement de la viande stockée.

Linares et ses collaborateurs (2007) ont comparé les effets du type d'étourdissement utilisé sur l'oxydation des lipides sur de la viande fraîche (24h et 7 jours post mortem). Ils ont utilisé des agneaux de 12 et 25 kg électroanesthésiés avec des électrodes en position caudale par un courant de 110V 50 Hz pendant 5 secondes. Les carcasses ont ensuite été réfrigérées à 4°C pendant 24h. Ils ont observé que ce traitement pré-abattage affectait l'oxydation lipidique. En effet l'oxydation lipidique est plus faible à 7 jours post-mortem chez les animaux étourdis que chez les animaux non étourdis ; les plus faibles taux ont été observés chez les agneaux étourdis par CO₂ (du fait de l'hypoxie des tissus) (Tableau VII).

Tableau VII : Influence de l'étourdissement sur l'oxydation lipidique (Linares et al. 2007)

Catégorie d'étourdissement	Agneaux électroanesthésiés		Agneaux étourdis au CO ₂		Agneaux non étourdis	
	12kg	25kg	12 kg	25kg	12kg	25kg
Valeur moyenne d'oxydation lipidique à 24h post mortem	0,8	0,19	0,11	0,17	0,3	0,1
Valeur moyenne d'oxydation lipidique à 7 jours post mortem	3,44	1,24	1,01	0,6	3,73	1,54

L'étourdissement électrique pourrait donc favoriser le rancissement de la viande. Mais plusieurs facteurs, tels que le poids de l'animal ou l'atmosphère de conditionnement, entrent aussi en jeu, et pourraient compenser cet effet négatif.

B. Les caractéristiques hygiéniques affectées

A l'abattoir une inspection post-mortem réalisée par un vétérinaire sanitaire conduit au retrait de toute viande considérée comme dangereuse ou impropre à la consommation. Cette inspection repose sur l'examen macroscopique individuel de chaque demi-carcasse. Les anomalies observables corrélées à l'électroanesthésie sont :

- des lésions hémorragiques
- une saignée modifiée.

1) Les lésions hémorragiques

Il existe deux principaux types de lésions hémorragiques observées sur les carcasses d'animaux : les pétéchies et le tiquetage. Les pétéchies surviennent lors d'effusion de sang dans la graisse ou le tissu conjonctif entourant le muscle alors que le tiquetage apparaît comme des taches de sang résultant d'une fuite de sang dans le muscle même .

Le tiquetage musculaire touche seulement les muscles striés. Il apparaît fréquent chez les bovins et les ovins, plus rare chez les porcins et les équins, quasi inexistant chez les équins. En règle générale il s'observe sur les animaux jeunes : veau de lait, jeunes bovins de boucherie, agneau. Il existe des variations importantes selon la région, l'abattoir et même la saison. Les animaux excités ou effarouchés ont plus de risque de présenter cette lésion. La localisation varie selon l'espèce.

a L'étiologie possible

Il y a rupture des capillaires autour et à l'intérieur des muscles au moment de l'étourdissement ; ceci est lié à une augmentation de la pression artérielle, aux contractions parfois violentes au moment de l'agonie et à une fragilité constitutionnelle chez certains individus d'origine génétique ou alimentaire.

(i) Les mouvements

Lors de la phase clonique de l'électronarcose les animaux réalisent de fortes contractions musculaires qui peuvent être l'origine de rupture de vaisseaux sanguins. Comme l'électronarcose ne provoque pas l'arrêt cardiaque, le flux sanguin persiste après la phase tonique. Ce qui fait que lorsqu'un vaisseau sanguin est lésé, du sang peut encore s'en échapper. Ce phénomène semble plus important dans le muscle lui-même (tiquetage) que dans les tissus l'entourant (pétéchies). Ces mouvements réflexes violents de l'animal lors de l'électronarcose pourraient être la cause majeure des lésions hémorragiques. En effet lorsque l'on provoque une paralysie musculaire en administrant une substance bloquant le système neuromusculaire, aucune lésion hémorragique n'est observée.

(ii) La hausse de pression sanguine

L'électronarcose entraîne une libération massive de catécholamines dans la circulation sanguine ce qui favorise une vasoconstriction au niveau de la peau et des muqueuses et une dilatation partielle des vaisseaux des muscles squelettiques selon la répartition des récepteurs alpha et beta.

Pour identifier les causes de pétéchies et de tiquetage, Gilbert et Devine (1982) ont mesuré les variations de pression sanguine lors de l'électronarcose. Ils ont observé que ce procédé entraînait une augmentation de la pression artérielle de 300mm de Hg et de la pression veineuse de 100mm de Hg. En revanche il n'y avait pas de relation entre l'augmentation de la pression sanguine et la présence de lésions hémorragiques sur la carcasse contrairement à ce qui était attendu.

(iii) Les autres causes

Bien que de nombreux facteurs aient été étudiés par Kirton et Frazerhurst : race, âge, âge au sevrage, manipulations à l'abattoir, paramètres du courant (Résultats non publiés), aucun d'eux n'a eu d'effet mesurable sur le tiquetage des carcasses. Cependant les erreurs de contention sont souvent incriminées.

Ainsi, en entraînant une contraction importante des muscles et une rupture des vaisseaux, l'électronarcose peut être responsable de lésions hémorragiques sur les carcasses qui peuvent être des motifs de saisie à l'abattoir. Elle s'ajoute à d'autres facteurs telles que les erreurs de contention antérieures à l'étourdissement (saisie par la laine, chocs contre les parois du couloir de contention...).

***b* La prévalence**

Dans ses études menées sur des moutons soumis à l'électronarcose, Kirton observe 38% de carcasses présentant des lésions hémorragiques tandis que Gilbert et Devine en observent 47%. Velarde et ses collaborateurs (2000) observent des hémorragies 2 à 2,5 fois plus fréquentes sur les carcasses produites dans les abattoirs utilisant l'électronarcose que sur celles produites dans les abattoirs utilisant le CO₂. La prévalence des hémorragies augmente sur les carcasses d'animaux soumis à 2 électronarcoses (d'intensités différentes ou identiques) atteignant 63%. Ces éléments montrent l'importance de correctement pratiquer l'électronarcose.

Concernant les abats, la prévalence des pétéchies est très élevée sur le cœur des animaux électronarcosés (72,7%) alors qu'aucune lésion de ce type n'a été observée sur le cœur des animaux non étourdis (Velarde *et al.* 2003). Les lésions hémorragiques observées sur la rate et le duodénum ne sont pas significativement différentes entre les groupes électronarcosés ou non. Ceci montre que le seul organe affecté par l'électronarcose en ce qui concerne les lésions hémorragiques, est le cœur. Ces valeurs ne sont pas affectées significativement par une deuxième électronarcose.

***c* Les facteurs de variation**

(i) La conformation de l'animal

Des analyses statistiques ont été menées chez des porcs étourdis électriquement mais avec un courant traversant le cerveau et un autre traversant le cœur. Elles montrent une prévalence significativement plus élevée du tiquetage chez les mâles castrés, chez les animaux de plus faible poids vif, avec un taux plus important de viande maigre, avec un plus faible numéro de conformation de carcasse. Grandin et Smith (2000) affirment que la maigreur est probablement associée à une fragilité accrue des capillaires sanguins et donc à la fréquence du tiquetage.

(ii) L'intervalle étourdissement-saignée

La brièveté du délai entre l'étourdissement et la saignée permet de réduire l'impact de l'électronarcose. Ainsi lorsque la saignée est effectuée rapidement (12s) Velarde et ses collaborateurs (2003) n'observent aucune ecchymose ou pétéchie sur les 22 agneaux électronarcosés. Les auteurs proposent l'explication suivante : lors de la phase tonique il y a une chute de la pression sanguine suivie d'une augmentation progressive pour atteindre une valeur 2 à 3 fois supérieure à la normale 11s après l'étourdissement. La réalisation de la saignée à 12s entraîne une chute de pression sanguine alors que celle-ci était maximale, ce qui laisse peu de temps pour une extravasation du sang hors des vaisseaux rompus. Par ailleurs la phase clonique peut être suffisamment modérée et courte pour éviter la rupture de vaisseaux sanguins à cause des contractions musculaires. Chez les ovins saignés alors que le cœur bat encore 75 à 85% de la perte sanguine totale survient dans la première minute. Donc au moment de la phase clonique l'animal peut avoir déjà perdu la moitié du volume de saignée.

(iii)Le courant

Les défauts de nature hémorragique seraient moins fréquents avec les hauts voltages chez le porc. Néanmoins chez l'agneau l'utilisation d'un courant plus élevé provoque une phase tonique plus intense et une augmentation de la pression sanguine avec rupture des vaisseaux, d'où la formation d'ecchymoses (Velarde *et al.* 2000).

Il est recommandé d'employer un générateur où l'intensité demeure constante et la tension change avec la résistance de l'animal. Les appareils anciens où la tension est constante permettent des variations d'intensité qui endommagent la viande. Quelques abattoirs ont établi leurs propres générateurs maintenant électroniquement l'intensité constante. Certains abattoirs parviennent ainsi réduire de 100% la fréquence des lésions hémorragiques.

Quelques abattoirs ont essayé de réduire les lésions hémorragiques en ramenant l'ampérage à 0,5 ampère. Ceci ne peut pas être permis car de bas ampérages ou de trop hautes fréquences risquent de ne pas induire l'inconscience instantanée.

(iv)Les autres facteurs

Ce sont entre autre toutes les agressions entre le départ de l'élevage et l'abattage ; le douchage systématique des porcs en diminue la fréquence. On a aussi constaté une influence de la pression atmosphérique. Par ailleurs la qualité de l'électronarcose (formation du personnel, matériel) est essentielle.

L'incidence des lésions hémorragiques est réduite par l'usage du convoyeur à bande ventrale, dans lequel les porcs ne sont pas comprimés sur les côtés comme avec les convoyeurs en V. Pour les minimiser, il convient de réduire autant que possible l'intervalle entre l'anesthésie et la saignée, si possible à moins de 10 secondes (Tableau VIII, Griot *et al.* 2000). Ceci est possible avec la saignée horizontale : le porc est éjecté du système d'anesthésie directement sur une table de saignée, ce qui économise le délai d'accrochage. La saignée horizontale est également favorable à la qualité de la viande car les animaux saignés horizontalement se débattent moins, ce qui réduit la vitesse d'acidification post-mortem. En outre, dans la saignée verticale, la musculature du membre par lequel l'animal est suspendu est soumise à des contraintes très fortes et connaît une chute du pH plus rapide que celle survenant dans l'autre membre, d'où une augmentation de la variabilité des caractéristiques de la viande.

Tableau VIII : Fréquence des points de sang sur carrés désossés en fonction du mode d'anesthésie des porcs (d'après Griot et al 2000) Classe 1 : absence de points de sang, classe 2 : présence de points de sang superficiels, classe 3 : points de sang nécessitant un parage.

Caractéristiques des abattoirs	Nombre d'abattoirs	Classe 1 (%)	Classe 2 (%)	Classe 3 (%)
Haut voltage, grande cadence, restrainer double bandes	5	51,6-54,5	29,0-42	4,0-18,8
Haut voltage, cadence moyenne, restrainer double bandes	4	38,0-61,5	27,2-48,0	1,9-23,3
Voltage moyen, grande cadence, convoyeur bande porteuse	2	70,5-90,7	9,3-27,4	0-2,1
Anesthésie CO ₂	1	85,0	14,5	0,5

2)La saignée

Une saignée incomplète ou insuffisante risque d'aboutir à des viandes saigneuses. Ce phénomène est toujours généralisé et se traduit par une coloration rose ou rouge de l'ensemble de la carcasse (Figure 24) et des viscères habituellement peu ou pas colorés (poumon, tissu adipeux, tissu conjonctif et séreuses). Le signe de l'araignée est visible sur le tissu conjonctivoadipeux et sur les séreuses. Il est dû aux arborisations vasculaires bien visibles car le sang stagne dans les vaisseaux sans entraîner une coloration rose diffuse autour.

La persistance de sang entraîne un risque considérable en hygiène alimentaire car le sang est le véhicule potentiel de microorganismes. D'autre part la présence de sang s'oppose à une bonne acidification de la viande d'où une altération rapide de la viande. En cas de viande saigneuse la saisie totale de la carcasse doit être prononcée (catégorie 2).

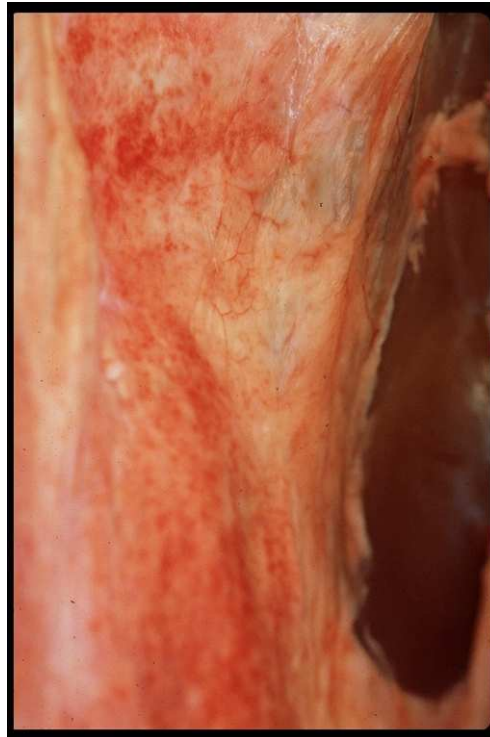


Figure 24 : Viande saigneuse d'après Cappelier 2006

Les facteurs affectant le débit de saignée ou l'efficacité de la saignée sont :

- La nature des vaisseaux incisés
- La taille de la plaie de saignée
- Le fonctionnement cardiaque
- L'orientation de la carcasse (verticalement ou horizontalement)
- La vasodilatation ou vasoconstriction des capillaires
- La présence de contractions musculaires toniques éjectant le sang hors des vaisseaux
- La présence de mouvements de l'activité clonique dirigeant le sang vers la plaie de saignée.

Le volume de saignée mis en rapport avec le poids corporel est significativement plus élevé chez les agneaux électroanesthésiés que chez les agneaux étourdis mécaniquement ou non

étourdis, et que la durée de saignée est raccourcie (Velarde *et al.* 2003, Blackmore 1976 Tableau IX). En effet la vasoconstriction induite par la libération des catécholamines, associée aux spasmes musculaires favorise l'extériorisation du sang.

Tableau IX : Influence de la méthode d'étourdissement sur la saignée d'après Blackmore 1976

<u>Sur des agneaux</u>	Etourdissement par percussion puis saignée	Electronarcose puis saignée	Saignée seule
Durée de la saignée en secondes	73	68	ND
Quantité de sang récoltée par saignée en grammes	957	1387	ND
Débit de saignée en phase initiale en g/s	11,9	19,4	ND
<u>Sur des brebis</u>			
Durée de la saignée en secondes	94	ND	120
Quantité de sang récoltée par saignée en grammes	1756	ND	1900
Débit de saignée en phase initial en g/s	17	ND	14,7

Légende : ND Données non disponibles

3) La dissémination des bactéries

Aucune étude n'a démontré un impact négatif ou positif de l'électronarcose sur la dissémination des bactéries chez les mammifères. Nous ne disposons que de données concernant l'étourdissement des volailles en bains électriques.

Les bains électriques utilisés pour l'étourdissement des volailles entraînent l'inhalation de particules d'eau du bain représentant un volume estimé à 0,5ml par poulet (Gregory et Whittington, 1992). Étant donné que la majorité des oiseaux défèquent dans le bain pendant l'application du courant et que les fèces sont une source importante de micro-organismes, cette inhalation pourrait constituer un problème d'hygiène.

Étant donné que l'électronarcose des mammifères ne s'effectue pas en bain, ces observations ne peuvent pas être étendues aux ruminants de boucherie.

4) L'ESB

Certaines méthodes d'étourdissement provoquent des dégâts cérébraux et peuvent être à l'origine d'une dissémination de particules cérébrales dans le sang. Dans ces circonstances, les autres tissus et organes irrigués peuvent être contaminés par du matériel du système

nerveux. Cette dissémination de particules de cerveau associée au risque d'ESB est une question de santé publique. L'électronarcose étant une méthode d'étourdissement non invasive, elle ne risque pas de causer de dissémination dans la carcasse et donc dans la viande. Ainsi, l'analyse sanguine de plus de 15 moutons électronarcosés n'a pas mis en évidence d'embolie de tissu nerveux, alors que 2 cas sur 15 ont été détectés après étourdissement mécanique (Anil *et al.* 2000).

C. La sécurité du personnel

1) Les risques

Le risque pour le personnel lors d'électronarcose est constitué tout d'abord par la manipulation d'appareils délivrant des courants électriques parfois à haut voltage, mais aussi par la proximité d'animaux présentant des convulsions après l'application du courant. En effet la phase clonique pendant laquelle apparaissent les mouvements de pédalage survient immédiatement après la phase tonique, et d'un point de vue sécuritaire la saignée devrait être idéalement réalisée pendant la phase tonique. Cela n'est pourtant pas toujours réalisable. Par ailleurs l'opérateur est exposé à plus de mouvements brusques lorsque les animaux sont mal étourdis.

a La contention

Le temps de contention des animaux avant électronarcose est aussi une source de risques d'accidents du travail. Le personnel peut rencontrer des difficultés pour immobiliser les animaux vivants soit du fait de leur taille comme pour les bovins adultes, soit du fait d'un défaut de conception du piège. Cependant il faut noter que les risques sont moins importants lors d'une contention pour électronarcose que lors d'une contention pour saignée sans étourdissement préalable car la contention dure moins longtemps et les mouvements des animaux sont moins violents (Figure 25 Figure 26).

En effet, dans le cadre de l'abattage rituel certains pays utilisent préférentiellement une contention renversée dans un box rotatif plutôt qu'une contention sur pieds. Six méthodes de contention ont été testées. Les comportements de lutte ont été comparés lors de contention renversée avant saignée et lors de contention sur pied avant étourdissement. Cette dernière contention est plus rapide et induit moins de mouvements de lutte que pour une contention renversée avant saignée. Cependant la contention sur pied avant une saignée présente plusieurs inconvénients : le mouvement d'incision doit se faire du bas vers le haut au lieu du haut vers le bas, geste qui favorise le risque d'envoi de sang sur l'opérateur.

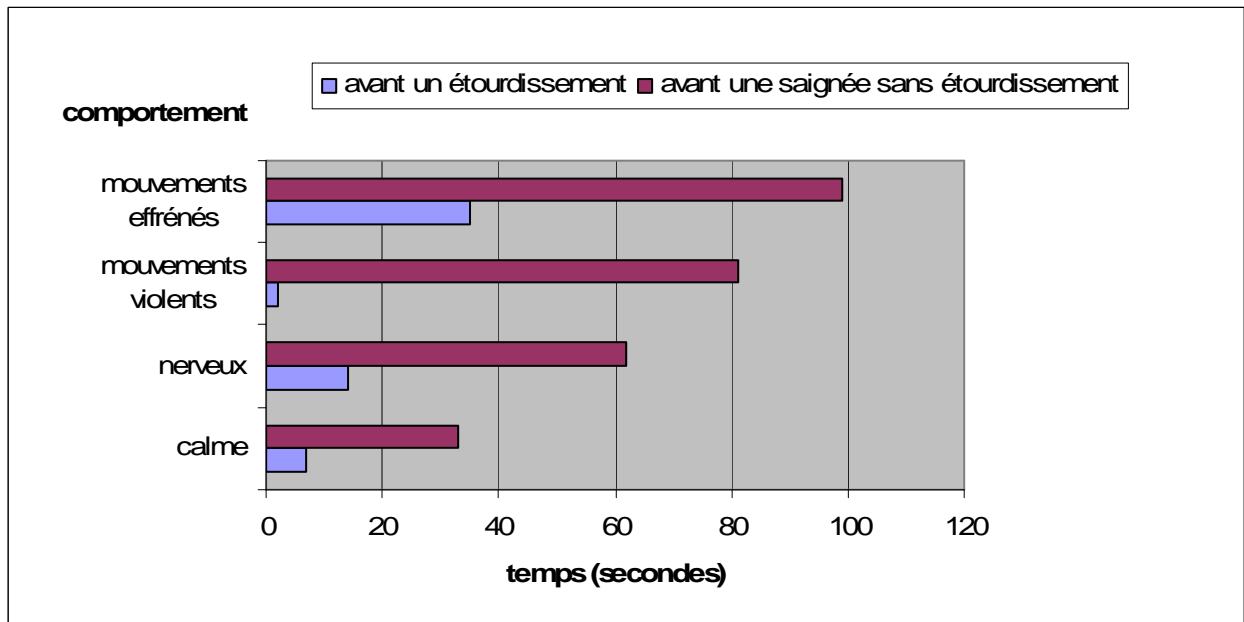


Figure 25 : Comportement en fonction du temps moyen passé en contention avant l'étourdissement sur pieds ou avant la saignée en position renversée d'après Koorts dans Gregory 2005

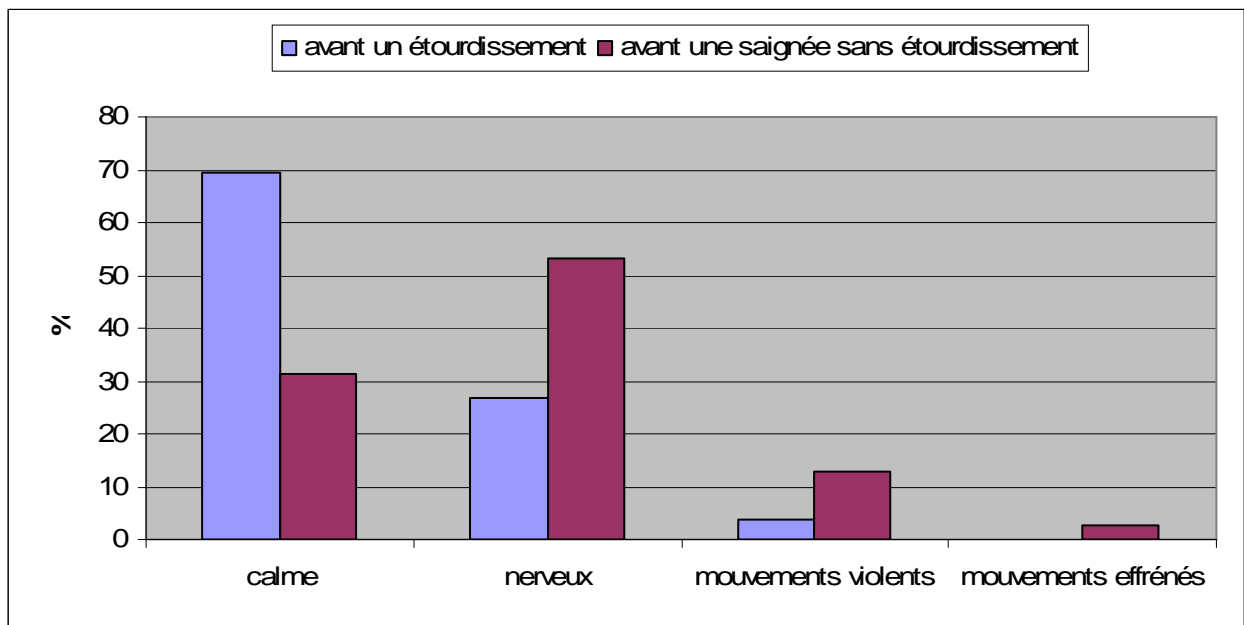


Figure 26: Prévalence des comportements de stress lors de la contention avant l'étourdissement sur pieds ou avant la saignée en position renversée d'après Koorts dans Gregory 2005

***b* L'ESB**

Enfin, comme nous l'avons vu précédemment que le risque ESB était limité par l'utilisation d'une méthode d'étourdissement non invasive comme l'électronarcose.

2) Les facteurs de risque

Les accidents du travail en abattoir dépendent de plusieurs facteurs de risque :

- la contrainte de temps, la surcharge de travail, l'absence fréquente de personnel.
- les tâches inhabituelles, une formation insuffisante : les accidents du travail peuvent résulter d'un défaut de connaissances. Une insuffisance générale en matière d'accueil et de formation est constatée. Par ailleurs les nouvelles exigences réglementaires qui ont vu le jour notamment en raison de la crise ESB ont été à l'origine de transformations du travail et des techniques dans des configurations figées. Les différentes crises dans la filière viande ont obligé presque du jour au lendemain, les abattoirs à des modifications qui ont des conséquences sur les salariés : par exemple l'interdiction du jonglage a entraîné de nouvelles façons de travailler comme la contention des pattes ou la stimulation électrique.
- un entretien insuffisant des machines, un défaut d'équipement : l'entretien des outils individuels n'est pas considéré comme du temps productif. Par exemple différentes études ont montré que dans la filière viande plus de 60% des couteaux utilisés coupaient mal. D'autre part les abattoirs multi espèces réalisent parfois un faible tonnage d'espèces électronarcosables et ne disposent pas de couloir de contention.

Ce sont les bovins adultes qui présentent le plus grand danger pour les opérateurs car ils rassemblent l'ensemble des risques évoqués. Les systèmes manuels existants pour d'autres types d'animaux ne sont pas efficaces : en raison de la grande taille des bovins adultes d'une part les électrodes ne restent pas en place lorsque l'animal s'affaisse, et d'autre part le renversement de l'animal en crise épileptiforme pour la saignée peut s'avérer très dangereux pour les opérateurs.

D. L'optimisation de la production

Afin de lutter contre le risque d'altérations de la qualité de la viande et contre le risque d'accidents pour le personnel, des adaptations du système d'étourdissement par électronarcose ont été mises en place.

1) La troisième électrode

Pour minimiser l'impact de l'électronarcose sur l'incidence des hémorragies de la carcasse et des mouvements brusques, des appareils automatiques associant une troisième électrode placée sur le corps ont été développés. Mais ces appareils sont très peu utilisés en France. Il s'agit de systèmes « head-to-body stunning » qui associent étourdissement et mise à mort. Ces systèmes permettent une réduction des convulsions cloniques de l'animal du fait de l'inhibition des fonctions de la moelle épinière et une hypoxie des nerfs périphériques (Gilbert *et al.* 1984).

Néanmoins les résultats de Velarde et ses collaborateurs sont en désaccord avec ceux de Wotton et ses collaborateurs (1992) qui observent une incidence plus élevée des hémorragies chez les animaux étourdis par cette méthode (82%). Cette différence peut être liée à la position de la troisième électrode car dans l'étude de Wotton et ses collaborateurs l'électrode

était placée sur la 8^e vertèbre thoracique alors que pour celle de Velarde et ses collaborateurs l'électrode était placée sur la poitrine de l'animal. Cette dernière position permet en effet de réduire la stimulation musculaire tout en maintenant l'effet du courant sur le cœur (fibrillation).

Excepté pour l'abattage rituel, les bovins sont étourdis par 3 cycles séquentiels (Figure 4 page 27) : tout d'abord un cycle "Head-only" de 3s pour étourdir l'animal, puis un cycle concernant le cœur de 15s pour induire une fibrillation ventriculaire et un arrêt cardiaque, et enfin une décharge de 4s pour réduire les convulsions après la mort (Wotton *et al.* 2000).

2) L'automatisation

L'étourdissement électrique des bovins adultes est utilisé avec succès en Nouvelle Zélande depuis de nombreuses années grâce à un système automatique. Ce système Nouvelle Zélande comprend 2 électrodes appliquées automatiquement. Le courant passe entre le nez et la nuque, soit entre le menton et le front (l'électrode du menton relève progressivement la tête de l'animal pour qu'elle soit en contact avec l'électrode frontale). Un dispositif maintenant la tête de l'animal en place lorsqu'il s'affaisse y est associé (Figure 27). Le coût de l'équipement nécessaire reste très élevé pour de nombreux pays.

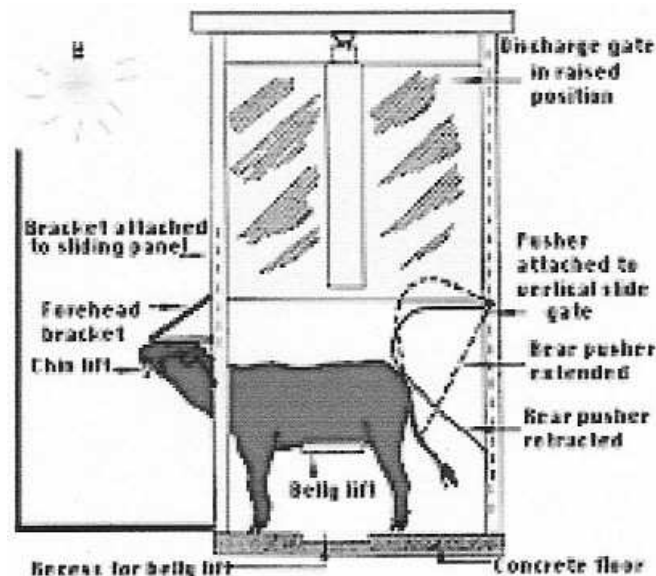


Figure 27 : Appareil de contention pour l'étourdissement des bovins utilisé en Nouvelle Zélande

L'alternative aux appareils automatiques néozélandais serait ce nouveau box de contention pour l'étourdissement : il s'ouvre latéralement, intègre des électrodes et permet de réaliser la saignée immédiatement après la fin du flux électrique alors que les animaux sont toujours en position debout. Des barres de support de fonctionnement pneumatique évitent l'affaissement de l'animal pendant l'étourdissement. Après la saignée le box se bascule afin d'enchaîner le membre de l'animal à l'abri des mouvements réflexes de l'animal (Figure 28). Une première étude menée sur des paramètres de qualité de la viande indique une absence de fractures et une tendance positive en ce qui concerne la couleur et la tendreté de la viande (Troeger 2004).



Figure 28 : Appareils semi-automatiques

3) Les caractéristiques du courant

Le choix des caractéristiques optimales du courant intègre l'ensemble des exigences liées à l'abattage. Il s'agit donc de trouver un compromis. Nous avons dans le Tableau X les facteurs impliqués n'influent pas dans le même sens sur les 3 objectifs de l'étourdissement : qualité de la viande, sécurité de l'opérateur et respect du bien-être animal (Tableau X).

Tableau X : Sens d'influence des différents facteurs de variation de l'électronarcose sur les objectifs de l'étourdissement

	Qualité de la viande	Sécurité de l'opérateur	Respect du bien être animal
↘ Intensité	+	+	---
↗ Tension	-	---	+
↗ Fréquence	ND	-	=/-
↘ Délai étourdissement saignée	+	-	++
Utilisation d'une 3 ^e électrode	-	+	=/+

Légendes : amélioration : de + à +++ ; dégradation : de - à --- ; pas d'effet : = ; données non disponible : ND.

4) Lien entre l'électronarcose et le « cold shortening »

Sur la chaîne d'abattage la carcasse peut être soumise à plusieurs stimulations électriques. Tout d'abord pour l'étourdissement avec l'électronarcose, pour faciliter le retrait de la peau, mais aussi dans but d'amélioration qualitative de la viande.

En effet, si le muscle est refroidi trop tôt et trop rapidement, le calcium présent dans les cellules musculaires diffuse dans le cytoplasme et provoque une contraction irréversible. C'est le phénomène de « cold shortening ». On obtient alors une viande dure. La stimulation électrique de la carcasse sur la chaîne d'abattage prévient ce phénomène car elle provoque une contraction musculaire et donc une consommation d'ATP.

Geesink et ses collaborateurs (2001) ont testé l'utilisation d'une stimulation électrique de la carcasse plus courte (20 secondes au lieu de 80 en général). Leurs résultats indiquent qu'associée à un étourdissement par électronarcose, une courte stimulation électrique de la carcasse est suffisante pour obtenir une tendreté, une courbe de température et une courbe de pH optimales. Cette alternative pourrait donc constituer un gain de temps sur la chaîne d'abattage.

Conclusion

L'électronarcose est un procédé autorisé dans l'Union Européenne pour l'étourdissement des ruminants de boucherie. Elle rend les animaux inconscients et insensibles en provoquant une dépolarisation neuronale prolongée se traduisant par une crise épileptiforme. Cet état est réversible et conduit, en l'absence de section des jugulaires, au réveil de l'animal. Néanmoins l'efficacité de cette méthode d'étourdissement varie en fonction de l'animal, des réglages et de la préparation opérés par le personnel. Concernant la qualité de la production de viande, chez le mouton l'étourdissement par électronarcose conduit à une viande de maturation plus précoce et globalement plus tendre mais en contrepartie les lésions hémorragiques sont plus fréquentes sur la carcasse si la saignée n'est pas réalisée très rapidement.

La grande majorité des recherches sur l'électronarcose s'est déroulée dans des conditions de laboratoire et non dans des conditions de terrain. De ce fait les données ne reflètent pas les contraintes de l'abattoir, notamment celles liées aux cadences d'abattage et au niveau de formation du personnel. Seules trois études qui concernent le positionnement des électrodes et la qualité du courant ont été dirigées en abattoir. L'importance des résultats des observations menées sur le terrain peut être illustrée par ce résultat de Anil et Mc Kinstry (1998) : parmi les animaux étudiés seuls 17% recevaient un positionnement correct des électrodes par le personnel d'abattoir. L'électronarcose reste cependant compatible avec les cadences habituelles d'un abattoir. Dans ce cadre, son utilisation nécessite une formation spécifique du personnel pour que chaque animal électroarcosé soit effectivement étourdi puis saigné dans les plus brefs délais mais aussi pour des raisons de sécurité. En effet la manipulation d'appareils électriques ainsi que les mouvements désordonnés de l'animal étourdi peuvent présenter un risque pour le personnel de l'abattoir.

Le respect des cinq "protections" (protection contre l'inconfort, la faim et la soif, la frayeur, la souffrance, et la possibilité d'exprimer un comportement naturel) est un principe fondamental commun à toutes les actions de protection animale. L'étourdissement préalable à l'abattage est une exigence statutaire dans l'Union européenne, avec des exceptions dans certains États membres pour cause d'abattage religieux. L'étourdissement est une étape clé car en induisant une inconscience et une insensibilité, il peut éviter et minimiser les réactions de peur et de douleur chez les animaux concernés. Les caractères réversible, non invasif et indolore de l'étourdissement par électronarcose ne s'opposent pas à son utilisation dans le cadre de l'abattage rituel.

S'il est avéré que l'électronarcose correctement appliquée permet d'abattre les ovins lorsqu'ils sont inconscients et insensibles conformément au bien-être animal, des doutes subsistent en ce qui concerne l'insensibilité chez les bovins. Il est impossible d'extrapoler les résultats récoltés chez les ovins du fait de l'absence d'artère vertébrale chez ces derniers. La seule étude dont nous disposons sur leur sensibilité suggère qu'un bovin électroarcosé peut recouvrer sa sensibilité (mais pas sa conscience) entre le début de la saignée et la mort par saignée. Cette hypothèse demeurant toutefois préférable à l'absence totale d'étourdissement, l'utilisation d'une autre méthode d'étourdissement serait néanmoins recommandée si l'hypothèse se vérifiait. Ces constatations sont en accord avec l'avis émis par l'Académie Vétérinaire de France qui s'exprime sur la réversibilité de cette méthode d'étourdissement mais ne précise pas l'état de sensibilité des animaux au cours de la saignée. L'EFSA (agence européenne de sécurité sanitaire des aliments) estime qu'il n'existe pas de méthode idéale

d'étourdissement des animaux de ferme et qu'il est donc nécessaire de sélectionner les procédures présentant les avantages maximaux pour le bien-être des animaux.

Les résultats expérimentaux peuvent différer selon les études, car la méthode utilisée pour juger de l'efficacité de l'électronarcose n'est pas toujours la même. Certains auteurs se sont intéressés à la présence des réflexes, d'autres aux potentiels évoqués, à l'EEG ou bien à l'ECOG. De plus, les critères d'interprétation des valeurs obtenues ne sont pas fixes, et le type d'individu étudié (poids, âge, race) rarement mentionné. On peut déplorer que des méthodes d'investigation plus récentes telles que l'EEG bi spectral ne soient pas employées. Il faut noter la bibliographie disponible est ancienne: la moitié des références utilisées date de plus de 10 ans et un quart a plus de 20 ans. Par ailleurs, nous disposons de peu de données concernant les bovins adultes et les caprins car l'électronarcose est peu employée chez ces espèces. C'est l'espèce porcine qui a motivé le plus d'études expérimentales.

Ainsi, des études expérimentales en abattoir et des essais précisant la durée de l'insensibilité en particulier chez les bovins, associés à une formation adéquate du personnel permettraient de développer cette méthode d'étourdissement et d'améliorer sa reproductibilité.

Le bien être des animaux est une question d'intérêt général présentant des aspects scientifiques, éthiques, économiques et culturels. Un espoir d'avancée palpable s'annonce avec la proposition récente par le conseil de l'Union Européenne d'un règlement sur la protection animale lors de la mise à mort. Ce règlement serait à l'origine d'autocontrôles plus réguliers de la pratique et du matériel d'étourdissement dans les abattoirs. Il prévoirait notamment la nomination d'un responsable « bien-être animal » au sein de chaque abattoir, et la nécessité d'obtention d'un certificat de compétences par le personnel au contact des animaux.

Bibliographie

1. ABADIE J. Le tissu musculaire strié squelettique. Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes. Unité d'Histologie-Anatomie Pathologique. 2002/2003
2. ACADEMIE VETERINAIRE DE FRANCE Rapport au ministre de l'agriculture et de la pêche sur le degré de réversibilité de l'étourdissement des animaux d'abattoir tel qu'il est pratiqué en France, 2006.
3. ANDERSEN H.J., OKSBJERG N., THERKILDSEN M. Potential quality control tools in the production of fresh pork beef and lamb demanded by the European society. *Livestock Production Science* 2005, 94 : 105–124
4. ANIL M.H. , WHITTINGTON P.E., MCKINSTRY J.L. The effect of the sticking method on the welfare of slaughter pigs. *Meat Science* 2000, 55 : 315-319
5. ANIL M.H., FORDHAM D.P., RODWAY R.G. The plasma beta endorphin increase following electrical stunning in sheep. *British Veterinary Journal* 1990, 146(5) : 476-477.
6. ANIL M.H., LOVE S., HELPS C.R., HARBOUR D.A. Potential for carcass contamination with brain tissue following stunning and slaughter in cattle and sheep. *Food Control* 2002, 13 : 431–436
7. ANIL M.H., MCKINSTRY J.L. Reflexes and loss of sensibility following head to back electrical stunning in sheep. *Veterinary Record* 1991, 128 : 106-107.
8. ANIL M.H., MCKINSTRY J.L. Variation in electrical stunning tongs placement and relative consequences in slaughter in pigs. *Veterinary Journal* 1998, 155 : 85-90
9. ANIL M.H., MCKINSTRY J.L., WOTTON S.B. a, and GREGORY N.G. Welfare of calves-1. Investigations into some aspects of calf slaughter. *Meat Science* 1995,41: 101-112.
10. ANIL M.H., MCKINSTRY M.L., GREGORY N.G., WOTTON S.B., SYMONDS H. b. Welfare of Calves - 2. Increase in Vertebral Artery Blood Flow Following Exsanguination by Neck Sticking and Evaluation of Chest Sticking as an Alternative Slaughter Method. *Meat Science*, 1995, 41(2) : 113-123
11. ANIL M.H., RAJ A.B.M., MCKINSTRY J.L. Evaluation of electrical stunning in commercial rabbits: effect on brain function. *Meat-Science*. 2000, 54(3): 217-220
12. BAGER F., SHAW F.D., TAVENER A., LOEFFEN M.P.F., DEVINE C.E. Comparison of EEG and ECoG for detecting cerebrocortical activity during slaughter of calves. *Meat Science* 1990, 27 : 211-225
13. BAGER F., BRAGGINS T.J., DEVINE C.E., GRAAFHUIS A.E. Onset of insensibility at slaughter in calves : effects of electroplectic seizure and exsanguinations on spontaneous electrocortical activity and indices of cerebral metabolism. *Research in Veterinary Science* 1992, 52 : 162-173.
14. BAGER F., DEVINE C.E, GILBERT K.V. Jugular blood flow in calves after head-only electrical stunning and throat-cutting. *Meat-Science* 1988; 22(3) : 237-243

15. BARONE R. Anatomie comparée des mammifères domestiques Tome 5 Angiologie Editions VIGOT 1996
16. BILGILI S.F. Recent advances in electrical stunning. Poultry-Science 1999, 78(2) : 282-286
17. BLACKMAN N.L., CHEETHAM K., BLACKMORE D.K. Differences in blood supply to the cerebral cortex between sheep and calves during slaughter. Research in Veterinary Science 1986, 40 : 252-254
18. BLACKMORE D.K. Differences in behaviour between sheep and cattle during slaughter. Research in Veterinary Science 1984, 37 : 223-226
19. BLACKMORE D.K. Non penetrative percussion stunning of sheep and calves. Veterinary Record 1979, 105 : 372-375.
20. BLACKMORE D.K., NEWHOOK J.C. Effects of different slaughter methods on bleeding sheep. The veterinary Record 1976, 16 : 312-317
21. BLACKMORE D.K., NEWHOOK J.C. Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves- part 3: the duration of insensibility induced by electrical stunning in sheep and calves. Meat Science 1982, 7: 19-28.
22. BLACKMORE D.K., COOK C.J., DEVINE C.E., GILBERT K.V., TAVENER A., LANGDON S., ISAACS S. MAASLAND S.A. Electrical stunning of red deer (*Cervus elaphus*). New Zealand Veterinary Journal 1993, 41, 126-130.
23. BROOKS J. La vascularisation artérielle cérébrale et ses conséquences en médecine vétérinaire Thèse Médecine Vétérinaire : Alfort : 1989 ; 72
24. BUNCIC S., Mc KINSTRY J., REID C.A., ANIL M.H. Spread of microbial contamination associated with penetrative captive bolt stunning of food animals. Food Control 2002, 13 : 425–430
25. CALDWELL H.F., LEE H-J, MACBETH A.H., YOUNG W.S. Vasopressin: behavioral roles of an ‘‘original’’ neuropeptide. Progress in Neurobiology 2008, 84 : 1–24
26. CHANNON H.A., PAYNE A.M., WARNER R.D. Comparison of CO₂ stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. Meat Science 2002, 60 : 63–68
27. CHANNON H.A., PAYNE A.M., WARNER R.D. Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. Meat Science 2003, 65 : 1325–1333
28. CHANNON H.A., PAYNE A.M., WARNER R.D. Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. Meat-Science 2000, 56(3): 291-299
29. CLARK J.D., RAGER D.R., CALPIN J.P. Animal well-being IV. Specific assessment criteria. Laboratory animal science 1997, 47(6) : 586-597
30. COOK C.J., DEVINE C.E., GILBERT K.V., TAVENER A., DAY AM.

Electroencephalograms and electrocardiograms in young bulls following upper cervical vertebrae-to-brisket stunning. *New Zealand Veterinary Journal*, 1991 : 121-125

31. COOK C.J., DEVINE C.E., GILBERT K.V., TAVENER A., SMITH D.D., MAASLAND S.A. The effect of electrical head only stun duration on electroencephalographic-measured seizure and brain aminoacid neurotransmitters release. *Meat science* 1995, 40 : 137-147
32. COOK C.J., DEVINE C.E., TAVENER K.V., GILBERT K.V. Contribution of amino acid transmitters to epileptiform activity and reflex suppression in electrically head stunned sheep. *Research in Veterinary Science* 1992, 60 : 255-261.
33. COOK C.J., MAASLAND S.A., DEVINE C.E., GILBERT K.V., BLACKMORE D.K. Changes in the release of amino acid neurotransmitters in the brains of calves and sheep after head-only electrical stunning and throat cutting. *Research in Veterinary Science*, 1996 60 : 255-261.
34. DALY C.C., GREGORY N.G., WOTTON S.B., WHITTINGTON P.E. Concussive methods of pre-slaughter stunning in sheep : assessment of brain function using cortical evoked responses. *Research in Veterinary Science* 1986, 41 : 349-352
35. DAUB J.L. L'abattage rituel dans les abattoirs français. Œuvre d'Assistance aux Bêtes d'Abattoir, Août 2003.
36. DE FREITAS R.L., DE OLIVEIRA R.C., DE CARVALHO A.D., FELIPPOTTI T.T., BASSI G.S., ELIASFILHO D.H., COIMBRA N.C. Role of muscarinic and nicotinic cholinergic receptors in an experimental model of epilepsy-induced analgesia. *Pharmacol Biochem Behav* 2004, 79: 367-376
37. DEMONT P., GONTHIER A., MIALET COLLARDELLE S. Motifs de saisie des viandes, abats et issues des animaux de boucherie. *QSA ENVL* 2007
38. DEVINE C.E., ELLERY S., WADE L. & CHRYSTALL B.B. Differential effects of electrical stunning on the early post-mortem glycolysis in sheep. *Meat Science* 1984, 11: 301-309.
39. DEVINE C.E., GILBERT K.V., GRAAFHUIS A.E., TAVENER A., REED, H., LEIGH P. The effect of electrical stunning and slaughter on the electroencephalogram of sheep and calves. *Meat-Science*. 1986, 17(4): 267-281
40. EIKE H., KOCH R., FELDHUSEN F., SEIFERT H. Simulation of the distribution of current density in the brain of slaughter pigs with the finite element method. *Meat Science* 2005, 69 : 603–607
41. FRAYSSE J., D'HERBOMEZ J.-P., SOLER P. Les abattoirs d'animaux de boucherie : évolution depuis 1990. *Rencontres et recher sur les ruminants* 2001, 8 : 31.
42. GEESINK G.H., MAREKO M.H.D., MORTON J.D., BICKERSTA R. Electrical stimulation : when more is less. *Meat Science* 2001, 57 : 145-151
43. GILBERT K.V., DEVINE C.E. Effect of electrical stunning methods on petechial haemorrhages and on the blood pressure of lambs. *Meat Science* 1982, 7: 197-207.

44. GILBERT K.V., DEVINE C.E., HAND R., ELLERY S. Electrical stunning and stillness of lambs. *Meat-Science* 1984, 11(1) : 45-58
45. GINSBERG L. *Neurologie clinique* 2006 Editions Maloine
46. GOGNY M. Douleur et traitement de la douleur. *Le point vétérinaire* 1993, 24(149) :577-586
47. GRANDIN T. How to determine insensibility. 2007 www.grandin.com
48. GRANDIN T. Methods to reduce PSE and bloodsplash. 2000 www.grandin.com
49. GRANDIN T., SMITH G.C. *Animal Welfare and humane slaughter*. 2004 www.grandin.com
50. GREGORY N.G. Profiles of currents during electrical stunning. *Australian-Veterinary-Journal*. 2001, 79(12) : 844-845
51. GREGORY N.G. Recent concerns about stunning and slaughter. *Meat Science* 2005, 70 : 481–491
52. GREGORY N.G., ANIL M.H., Mc KINSTY J.L., DALY C.C. Prevalence and duration of insensibility following electrical stunning in calves. *New-Zealand-Veterinary-Journal*. 1996, 44(1): 1-3
53. GREGORY N.G., SHAW F.D., WHITFORD J.C., PATTERSON-KANE J.C. Prevalence of ballooning of the severed carotid arteries at slaughter in cattle, calves and sheep. *Meat Science* 2006, 74 : 655–657
54. GREGORY N.G., WOTTON S.B. Effect of electrical stunning on somatosensory evoked potentials in chickens. *British Veterinary Journal* 1989, 145 : 159-164
55. GREGORY N.G., WOTTON S.B. Effect of stunning on spontaneous physical activity and evoked activity in the brain. *British Poultry Science* 1990, 31 : 215-220
56. GREGORY N.G., WOTTON S.B. a Sheep slaughtering procedures. I. Survey of abattoir practice. *British veterinary Journal* 1984, 140: 281-286.
57. GREGORY N.G., WOTTON S.B. b Sheep slaughtering procedures. II. Time to loss of brain responsiveness after exsanguinations or cardiac arrest. *British veterinary Journal* 1984, 140: 354-360
58. GREGORY N.G., WOTTON S.B. c Sheep slaughtering procedures. III. Head-to-back electrical stunning. *British Veterinary Journal*. 1984, 140, 570-575
59. GREGORY N.G., WOTTON S.B. Sheep slaughtering procedures. IV. Responsiveness of the brain following electrical stunning. *British Veterinary Journal*. 1985, 141(1), 74-81
60. GREGORY N.G., WOTTON S.B. Sheep slaughtering procedures. V. Responsiveness to potentially painful stimuli following electrical stunning. *British Veterinary Journal*. 1988, 144 : 573-580.

61. GREGORY N.G., WOTTON S.B. Studies on the central nervous system : visually evoked cortical responses in sheep. *Research in Veterinary Science* 1983, 34 : 315-319
62. GRIOT B. L'anesthésie des porcs. *Techniporc* 1998, 21 : 35-38
63. GUASTELLA A.J., MITCHELL P.B., FROSSO M. Oxytocin enhances the encoding of positive social memories in humans. *Biol Psychiatry* 2008, 64 : 256–258.
64. HUDETZ A.G. Suppressing consciousness: Mechanisms of general anesthesia. *Seminars in Anesthesia, Perioperative Medicine and Pain* 2006, 25 : 196-204
65. HWANG I.H., DEVINE C.E., HOPKINS D.L. The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat Science* 2003, 65 : 677–691
66. INRS, MSA. Evaluer les risques professionnels en abattoir et atelier de découpe. Aide à la rédaction d'un document unique.
67. JONES P.N. The comparison of electroencephalograms recorded before and after electrical stunning of cattle. *Meat Science* 1988, 22 : 255-265
68. JORDAN D., Mc EWEN S.A., LAMERDING A.M., Mc NAB W.B., WILSON J.B.A simulation model for studying the role of pre-slaughter factors on the exposure of beef carcasses to human microbial hazards. *Preventive Veterinary Medicine* 1999, 41 : 37-54
69. KIRTON A.H., FRAZERHURST L.F. Effects of normal, light/normal or double stunning on the incidence and severity of blood splash in lambs. *Meat-Science* 1983, 9(1) : 1-6
70. KORSAC N. Thèse de 1er Doctorat en Médecine Vétérinaire : Liège : 2006.
71. LAMBOOY E. Electrical stunning of sheep. *Meat science* 1982, 6(2) : 123-135
72. LAMBOOY E., PIETERSE C., POTGIETER C.M., SNYMAN J.D., NORTJE G.L. a Some neural and behavioural aspects of electrical and mechanical stunning in ostriches.: *Meat Science*. 1999, 52(4): 339-345
73. LAMBOOY E., POTGIETER C.M., BRITZ C.M., NORTJE G.L., PIETERSE E. b Effects of electrical and mechanical stunning methods on meat quality in ostriches. *Meat-Science* 1999; 52(3) : 331-337
74. LAMBOOY E.; MENS W.B.J.; GREIDANUS T.B.van-W. Vasopressin and oxytocin in plasma of veal calves, sheep and pigs after high voltage electrical stunning. *Meat-Science* 1985, 14(3) : 127-135
75. LAMBOOY E; SPANJAARD W. Electrical stunning of veal calves. *Meat-Science* 1982; 6(1) : 15-25
76. LAMMENS V., VAN DE WATER G., COENEGRACHTS J., DRIESSEN B., PEETERS E., GEERS R. Head current during and blood splashes after electrical stunning in relation to characteristics of the pig's body. *Meat Science* 2006, 72 : 140–145
77. LAWRIE R.A. *Meat Science Third Edition*. Pergamon press 1979.

78. LEACH T.M., WARRINGTON R., WOTTON S.B. Use of a conditioned stimulus to study whether the initiation of electrical pre-slaughter stunning is painful. *Meat Science* 1980, 4 (3) : 203-208.
79. LINARES M.B., BERRUGA M.I., BORNEZ R., VERGARA H. Lipid oxidation in lamb meat: effect of the weight, handling previous slaughter and modified atmospheres. *Meat-Science*. 2007, 76(4) : 715-720
80. LINARES M.B., BORNEZ R., VERGARA H. Cortisol and catecholamine levels in lambs: Effects of slaughter weight and type of stunning. *Livestock Science* 2008, 115 (1) : 53-61
81. LINARES M.B., BORNEZ R., VERGARA H. Effect of different stunning systems on meat quality of light lamb. *Meat science* 2007
82. LOGAN V., SLEIGH J. Monitoring consciousness: the current status of EEG-based depth of anaesthesia monitors. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology* 2007, 21(3) : 313-325
83. LYNCH G.P., OLTJEN R.R., THORTON J.W., HINER R.L. Quantitative changes in the free plasma amino acids and other nihydrin reactive substances of sheep due to preslaughter stunning. 1133-1137
84. MANTECA X. Neurophysiology and Assessment of Welfare. *Meat Science* 1998, 49 (1) : 205-218
85. MARES J., ROKYTA R. Algesia after epileptic seizure. www.biomed.cas.cz
86. MARIA G., LOPEZ M., LAFUENTE R., MOCE M.L. Evaluation of electrical stunning methods using alternative frequencies in commercial rabbits. *Meat science* 2001, 57 : 139-143
87. MASHOUR G.A. Monitoring consciousness : EEG-based measures of anesthetic depth. *Seminars in Anesthesia, Perioperative Medicine and Pain* 2006, 25 : 205-210
88. MCKINSTRY J.L., ANIL M.H. The effect of repeat application of electrical stunning on the welfare of pigs. *Meat Science* 2004, 67 : 121-128
89. MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE, OABA, FNEAP. Fascicule destiné aux sacrificateurs lors de la fete de l'Aid Al Adha.
90. MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE, INSPECTION GENERALE DE L'AGRICULTURE. Rapport d'activité 2005. Le champ du Halal, 63-64.
91. MITCHELL G., HATTINGH J., GANHAO M. Stress in cattle assessed after handling, after transport and after slaughter. *The Veterinary Record* 1988, 20 : 201-205
92. MONIN G. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *INRA Productions animales*, octobre 2003 : 259-260
93. MORAILLON R. Syndromes convulsifs des carnivores. *Encyclopédie vétérinaire*.

94. MURREL J.C., JOHNSON C.B. Neurophysiological techniques to assess pain in animals. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics* 2006, 29 : 325-335
95. MZABI M. Travail de recherche sur l'abattage rituel et l'électronarcose
96. NEWHOOK J.C., BLACKMORE D.K. a Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves : part 1 – The onset of permanent insensibility in sheep during slaughter. *Meat Science* 1982, 6 : 221-233
97. NEWHOOK J.C., BLACKMORE D.K. b Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves : part 1 – The onset of permanent insensibility in calves during slaughter. *Meat Science* 1982, 6 : 295-300
98. NORTH CUTT J.K., BUHR J., YOUNG L.L. Influence of pre-slaughter stunning on turkey breast muscle quality. *Poultry science* 1998 77, 487-492.
99. ŒUVRE D'ASSISTANCE AUX BETES D'ABATTOIR. Recommandations concernant le matériel d'abattage. 2005.
100. OFFICE DE L'ELEVAGE. Chiffres clés 2006 : Cheptel bovin, Cheptel Ovin et Caprin.
101. ONENC A., KAYA A. The effects of electrical stunning and percussive captive bolt stunning on meat quality of cattle processed by Turkish slaughter procedures. *Meat Science* 2004, 66 : 809–815
102. Organisation Mondiale de la Santé Animale (OIE). Code sanitaire pour les animaux terrestres, 2006. Article 3.7.5.
103. PARES CASANOVA P.M. El aturdimiento en los conejos y su efecto sobre los canales. *Medicina veterinaria* 2000, 17(12) : 298-301
104. PETERSEN G.V., BLACKMORE D.K. The effect of different slaughter methods on the post mortem glycolysis of muscle in lambs. *New Zealand Veterinary Journal* 1982, 30 : 195-198
105. PETERSEN G.V., CARR D.H., DAVIES A.S., PICKETT B.T. The effect of different methods of electrical stunning of lambs on blood pressure and muscular activity. *Meat-Science* 1986; 16(1) : 1-15
106. PLANTE C. La protection animale au cours de l'abattage et de la mise à mort : aspects réglementaires et techniques. Thèse de médecine vétérinaire : Toulouse : 2000 ; 26
107. PLATT S.R. The role of glutamate in central nervous system health and disease. *The Veterinary Journal* 2007, 173 : 278-286
108. POLACK P.O. Physiopathologie des épilepsies-absences humaines : apport des modèles animaux validés et des nouvelles données obtenues chez les rats Long-Evans. Thèse de médecine vétérinaire : Nantes : 2004 ; 132
109. RAJ M. Welfare during stunning and slaughter of poultry. *Poultry-Science* 1998; 77(12) : 1815-1819

110. SAJET M. Conditions d'abattage et protection de l'animal de boucherie. Thèse de médecine vétérinaire : Nantes : 1995 ; 42
111. SAVENIJE B., LAMBOOY E., GERRITZEN M.A., KORF J. a Development of brain damage as measured by brain impedance recordings, and changes in heart rate, and blood pressure induced by different stunning and killing methods. *Poultry science* 2002, 81 : 572-578
112. SAVENIJE B., SCHREURS F.J.G., WINKELMAN-GOEDHART H.A., GERRITZEN M.A., KORF J., LAMBOOY E. b Effects of feed deprivation and electrical, gas, and captive needle stunning on early post mortem muscle metabolism and subsequent meat quality. *Poultry science* 2002, 81 : 561-571
113. SHARON C.W., BORTHWICK F.J.W., GENTLE M.J. a Flow routes of electric currents in domestic hens during pre-slaughter stunning. *British Poultry Science* 1986, 27 : 403-408
114. SHARON C.W., BORTHWICK F.J.W., GENTLE M.J. b Tissue resistivities and current pathways and their importance in pre-slaughter stunning of chickens. *British Poultry Science* 1986, 27 : 301-306
115. SHAW F.D., TUME R.K. The assessment of pre-slaughter and slaughter treatments of livestock by measurement of plasma constituents – a review of recent work. *Meat-Science*. 1992, 32(3): 311-329
116. TROEGER K Overview of current and alternative slaughter practices. *Biotechnologie, Agronomie, Societe et Environnement*. 2004; 8(4): 275-281
117. VELARDE A., GISPERT M., DIESTRE A., MANTECA X. Effect of electrical stunning on meat and carcass quality in lambs. *Meat Science* 2003, 63 : 35–38
118. VELARDE A., GISPERT M., FAUCITANO L., ALONSO P., MANTECA X., DIESTRE A. a Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat-Science* 2001; 58(3) : 313-319
119. VELARDE A., GISPERT M., FAUCITANO L., ALONSO P., MANTECA X., DIESTRE A. b Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat-Science* 2001; 58(3) : 313-319
120. VELARDE A., GISPERT M., FAUCITANO L., MANTECA X., DIESTRE A. a The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat-Science* 2000; 55(3) : 309-314
121. VELARDE A., RUIZ DE LA TORRE J.L., STUB C., DIESTRE A., MANTECA X. b Factors affecting the effectiveness of head-only electrical stunning in sheep. *Veterinary record* 2000, 147 (2) : 40-43
122. VERGARA H., GALLEGO L. Effect of electrical stunning on meat quality of lamb. *Meat Science* 2000, 56 : 345-349
123. VERGARA H., LINARES M.B., BERRUGA M.I., GALLEGO L. Meat quality in suckling lambs: effect of pre-slaughter handling. *Meat-Science* 2005, 69(3) : 473-478

124. WATANABE A., DALY C.C., DEVINE C.E. The Effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Science* 1996, 42(1) : 67-78
125. WOTTON S.B., GREGORY N.G., WHITTINGTON P.E., PARKMAN I.D. Electrical stunning of cattle. *The Veterinary Record* 2000, 9 : 681-684
126. www.ferrando.fr
127. www.iasp-pain.org
128. www.lelong-cie.fr
129. www.mps-group.nl
130. www.nievre.pref.gouv.fr/Archiv_communiquees_2005/a2_animaux_accidentees_mai05.htm
131. ZERT P. Le porc d'abattage : appréciation, classement. Institut technique tu porc 1970
132. ZYWICA R., BANACH J.K. Analysis of changes in electric current intensity during high voltage electrical stimulation in the aspect of predicting the pH value of beef. *Journal of Food Engineering* 2007, 81 : 560–565

Textes législatifs

1. CODE DU TRAVAIL. Article D4153-27 du Code du travail : travaux interdits aux jeunes travailleurs âgés de moins de dix-huit ans. Abattage des animaux dans les abattoirs, sauf pour les apprentis en dernière année.
2. CODE DU TRAVAIL. Article R3132-5 du Code du travail : repos hebdomadaire par roulement
3. CODE RURAL
4. COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES. Livre blanc européen. 12 janvier 2000.
5. EFSA Bien-être des principales espèces commerciales d'animaux soumises aux principaux systèmes d'étourdissement et de mise à mort Résumé de l'avis du groupe scientifique sur la santé animale et le bien être des animaux sur une question de la Commission relative aux aspects concernant le bien-être des principales espèces commerciale d'animaux soumises aux principaux systèmes d'étourdissement et de mise à mort (Question n° EFSA-Q-2003-093) EFSA Journal (2004), 45, 1-29,
6. FRANCE Arrêté du 19 juillet 2001 modifiant l'arrêté du 17 mars 1992 relatif aux conditions auxquelles doivent satisfaire les abattoirs d'animaux de boucherie pour la production et la mise sur le marché de viandes fraîches et déterminant les conditions de l'inspection sanitaire de ces établissements
7. FRANCE Arrêté du 30 juin 1998 modifiant l'arrêté du 18 juillet 1994 modifié fixant la liste des agents biologiques pathogènes.
8. FRANCE Arrêté interministériel du 25 Octobre 1982 relatif à l'élevage, la garde et la détention des animaux. Journal Officiel du 10 Novembre 1982
9. FRANCE Arrêté ministériel du 12 décembre 1997 relatif aux procédés d'immobilisation, d'étourdissement et de mise à mort des animaux et aux conditions de protection animale dans les abattoirs Journal Officiel du 21 décembre 1997
10. FRANCE Arrêté ministériel du 20 octobre 2004 fixant la liste des travaux effectués dans les entreprises agricoles et nécessitant une surveillance médicale.
11. FRANCE Décret n°2001-1016 du 5 novembre 2001 portant création d'un document relatif à l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, prévue par l'article L.230-2 du code du travail et modifiant le code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat).
12. FRANCE Décret n°64-334 du 16 Avril 1964 relatif à la protection de certains animaux domestiques, conditions d'abattage. Journal Officiel du 18 Avril 1964
13. FRANCE Décret n°97-903 du 1er octobre 1997 relatif à la protection des animaux au moment de leur abattage ou de leur mise à mort. Journal Officiel du 4 octobre 1997
14. OIE Code sanitaire pour les animaux terrestres Annexe 3.7.5. lignes directrices pour l'abattage des animaux 2006 article 3.7.5.1.

15. UNION EUROPEEN. Règlement CE 178/2002 du parlement européen et du conseil du 28 Janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires..
16. UNION EUROPEEN. Règlement CE 852/2004 du parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires.
17. UNION EUROPEEN. Règlement CE 853/2004 du parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 fixant des règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale.
18. UNION EUROPEENNE Directive 93/119/CE du conseil du 22 décembre 1993 sur la protection des animaux au moment de leur abattage ou de leur mise à mort Journal Officiel de la communauté Européenne n°L340 du 31 décembre 1993
19. UNION EUROPEENNE. Règlement CE 882/2004 du parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 relatif aux contrôles officiels effectués pour s'assurer de la conformité avec la législation sur les aliments pour animaux et les denrées alimentaires et avec les dispositions relatives à la santé animale et au bien-être des animaux

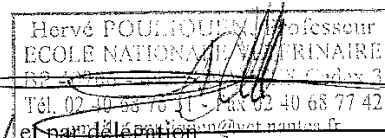
Vu : Le Professeur Rapporteur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire
de Nantes



Dr C. MAGRAS, MC, HDR

Vu : Le Directeur de l'Ecole
Nationale Vétérinaire de Nantes

P. SAI



Professeur M. GOGNY

H. Poulliquen

Nantes, le 12 Janvier 2009

Vu : Le Président de la Thèse



Professeur BOURIN

Vu : Le Doyen de la Faculté
de Médecine de Nantes

Professeur J.M. ROGEZ

Vu et permis d'imprimer

Nom : ESPALLARGAS
Prénom : Sandy

TITRE :

DE L'ÉTOURDISSEMENT DES RUMINANTS DE BOUCHERIE PAR ELECTRONARCOSE. CONSEQUENCES POUR L'ANIMAL ET SA CARCASSE. UNE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.

RESUME :

L'étourdissement est une pratique exigée par la loi préalablement à l'abattage mais il existe des dérogations en particulier pour l'abattage rituel. L'électronarcose est une méthode d'étourdissement, utilisable notamment chez les bovins et les ovins, qui permet à l'animal de rester inconscient et insensible jusqu'à ce que la mort survienne par saignée. En l'absence de saignée rapide, cet état est réversible et l'animal se réveille. En pratique l'électronarcose consiste en l'application au cerveau d'un courant qui induit chez l'animal une crise épileptiforme objectivée entre autres par des enregistrements électroencéphalographiques. L'électronarcose peut altérer la qualité de la viande en provoquant chez les ruminants des lésions hémorragiques principalement. Les conséquences sur l'animal et sa carcasse sont fortement liées au réglage des paramètres du courant qui doit concilier bien-être animal, qualité de la viande et sécurité du personnel.

MOTS-CLES :

Abattage – ruminant – viande de boucherie - ovin – bovin – caprin – réglementation.

TITLE :

HEAD-ONLY STUNNING IN RUMINANTS SLAUGHTER. EFFECTS ON THE ANIMAL AND ITS CARCASS. A REVIEW.

SUMMARY :

Stunning is a practice required by the law before slaughter but exemptions exist especially for ritual slaughter. Head-only stunning is a method which can be used for cattle and ovine, which keeps the animal alive, unconscious and insensitive until death occurs by bleeding. In absence of fast bleeding, this state is reversible and the animal awakes. Head-only stunning consists in the application of a current through the brain which induces an epileptiform seizure objectified by electroencephalographic studies. Head-only stunning may provoke deterioration of the meat quality by mainly causing, in the ruminants, hemorrhagic lesions. The effects on the animal and its carcass are strongly related to the adjustment of the current parameters which must reconcile animal wellbeing, quality of the meat and staff safety.

KEY WORDS :

Slaughter – ruminant – meat - ovine – cattle – caprine – regulation.