

Contact : bourin@itavi.asso.fr¹ ITAVI – NOUZILLY² INRA- UMR BOA – NOUZILLY³ INRA – UE PEAT - NOUZILLY

Cette étude a été financée par FranceAgriMer et le CIPC

Electronarcose du poulet de chair

Comment le sexe et le poids des animaux influencent l'efficacité de l'étourdissement et la qualité des produits ?

Résumé

La narcose en abattoir est une étape indispensable précédant la saignée et permettant de maintenir l'animal inconscient jusqu'à sa mort. Cette pratique est encadrée par le règlement n° 1099/2009. En France, l'électronarcose par bain d'eau est la méthode de narcose la plus répandue pour les poulets de chair, pour laquelle le règlement impose une intensité minimum devant être distribuée à chaque poulet, suivant la fréquence appliquée. D'après la littérature, l'inconscience des animaux est mieux garantie pour des fréquences appliquées inférieures à 200 Hz et une intensité appliquée par animal supérieure à 120 mA, alors que la qualité des produits est meilleure pour des fréquences supérieures à 1000 Hz et une intensité inférieure à 100 mA. Cependant, des paramètres autres que les paramètres électriques sont susceptibles d'influencer l'efficacité de l'étourdissement et la qualité des carcasses tels que le sexe des animaux et leur poids. Au cours de notre étude, nous avons testé l'impact du sexe (mâles et femelles de 1,8 kg) en fonction des paramètres électriques (150 mA – 400Hz, 90 mA – 400 Hz et 90 mA 600 Hz) et du poids des animaux (1,3 kg, 1,9 kg et 2,5 kg) en fonction des paramètres électriques (150 mA – 400Hz et 90 mA – 400 Hz) sur l'efficacité de l'étourdissement et la qualité des produits. Le sexe des animaux n'a pas eu d'effet significatif sur l'efficacité de l'étourdissement quels que soient les paramètres testés. Cependant pour le paramètre 90mA/400Hz, les femelles présentaient plus de têtes rouges que les mâles (10/48 vs 1/48 respectivement). Le poids des animaux a influencé l'efficacité de l'étourdissement et la qualité des carcasses. Quels que soient les paramètres électriques appliqués, les poulets lourds (2,5 kg) présentaient moins de bouts d'ailes rouges de classe sévère que ceux des autres catégories de poids (3/48 vs. 15/48 pour les médiums de 1,9 kg et légers de 1,3 kg). De plus, avec le paramètre 90mA/ 400Hz, les poulets lourds après saignée agitaient plus la tête (21/48, 13/48 et 4/48 pour les lourds, médiums et légers respectivement) et les ailes (22/48, 17/48 et 7/48 pour les lourds, médiums et légers respectivement). Avec le traitement 150mA/400Hz, les poulets sont tous suffisamment étourdis sans effet du sexe et du poids. Avec les paramètres inférieurs aux valeurs réglementaires, la qualité des carcasses des femelles semble plus dégradée que celle des mâles. Avec ces paramètres, plus les poulets étaient lourds, plus les signes de réveil étaient nombreux et moins la qualité de leur carcasse était dégradée.

1. Contexte

La narcose en abattoir, ou étourdissement des animaux, est une étape indispensable précédant la saignée et permettant de maintenir l'animal dans un état d'inconscience jusqu'à sa mort. Pour encadrer cette pratique, l'Union Européenne a établi le règlement n° 1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009, sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort (CE, 2009) applicable depuis le 1er janvier 2013. Ce règlement dresse une liste positive de méthodes d'étourdissement et établit des paramètres à respecter quelle que soit la méthode d'étourdissement utilisée.

Le règlement n° 1099/2009 demande que la méthode d'étourdissement ait un effet immédiat pour rendre les animaux, y compris les volailles, inconscients et insensibles, de la saignée jusqu'à leur mort, afin de leur épargner de la souffrance, de la peur et du stress. La méthode d'étourdissement doit immobiliser l'animal afin de faciliter sa saignée (Raj et Tserveni-Gousi, 2000). De plus, il est essentiel que la méthode d'étourdissement ne dégrade pas la qualité de la carcasse et des produits (Fletcher, 1999).

En France, la méthode de narcose la plus généralement utilisée est l'électronarcose par bain d'eau (Bignon et al, 2013). Son principe repose sur l'application d'un courant électrique jusqu'au système nerveux central de l'animal pour provoquer un état d'insensibilité. Les volailles accrochées, par les pattes, à la chaîne d'abattage en mouvement, sont plongées de la tête aux épaules dans un bain d'eau électrifié. Il a été déclaré que seul un tiers des poulets électronarcosés sont réellement étourdis, un tiers ne sont pas étourdis correctement alors que le dernier tiers est en arrêt cardiaque (EFSA, 2004 ; Hindle et al., 2010 ; Mouchonière et al., 1999).

Concernant l'électronarcose par bain d'eau, le règlement impose un **courant minimum devant être distribué à chaque poulet, en fonction de la fréquence appliquée : 100 mA pour une fréquence inférieure à 200 Hz, 150 mA pour une fréquence comprise entre 200 et 400 Hz et 200 mA pour une fréquence comprise entre 400 et 1500 Hz.**

Il est important que les poulets soient parfaitement étourdis suite à l'électronarcose et le restent pendant tout la durée

de l'égouttage, après saignée, jusqu'à la mort de l'animal. L'intervalle entre l'étourdissement et la mort varie en fonction de la longueur et de la vitesse de la chaîne d'abattage et du type de saignée. En règle générale, il est inférieur à 90 secondes et se situe en moyenne autour de 20 secondes après la saignée (EFSA, 2012 ; Raj, 2006)

Pour obtenir un étourdissement efficace, une quantité suffisante de courant électrique doit passer à travers le cerveau de chaque poulet pour induire une crise d'épilepsie qui le rendra inconscient et insensible (Bilgili, 1999 ; EFSA, 2012). L'étourdissement doit provoquer l'inconscience et l'insensibilité jusqu'à la mort et ses effets doivent persister pendant une durée minimum de 45 secondes (EFSA, 2004 et 2012). L'effectivité de cette inconscience est évalué à l'aide d'indicateurs tels que la fibrillation cardiaque et le profil électroencéphalographique (indicateurs « directs » qui garantissent l'inconscience mais non vérifiables en pratiques) ainsi que le réflexe cornéen, le clignement spontané des yeux, le battement des ailes, la présence d'une respiration et la réponse à un stimulus douloureux (indicateurs indirects de l'inconscience ne garantissant pas à 100% que l'état d'inconscience soit atteint/conservé (Prinz et al., 2012)

L'efficacité de l'étourdissement et la qualité des produits sont influencées par plusieurs variables électriques : fréquence, tension, intensité, forme de l'onde, résistance des volailles et dimension du bain d'eau (Grilli et al., 2015). D'autres paramètres interviennent également tels que la qualité de l'eau du bain d'électronarcose, la conception de la chaîne d'abattage, la résistance des animaux variant en fonction du poids, du sexe, de la composition corporelle et de la conformation, de la qualité de la saignée et aussi, vraisemblablement, du temps d'application du courant passant à travers les poulets.

Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que les basses fréquences (50 Hz) et les hautes intensités (>150 mA) augmente la probabilité de fibrillation cardiaque et donc la mort de l'animal avant même sa saignée, alors que les hautes fréquences (> 800 Hz) et les faibles intensités (<100 mA) n'induisent pas de fibrillation cardiaque (Goksoy et al., 1999 ; Gregory et Wilkins., 1991 ; Gregory et Wotton, 1992 ; Hindle et al., 2010 ; Prinz, 2009 ; Prinz et al., 2010 ; Raj, 2003 ; Raj et Johnson, 1997 ; Raj et al., 2001 ; Raj, 1998 ; Savenije et al., 2002 ; von Wenzlawowicz et von Holleben, 2001 ; Wilkins et al., 1998).

Une forte réduction voire une abolition des réponses positives au test du réflexe cornéen et du clignement spontané de l'œil ont été décrites comme étant des indicateurs fiables de l'inconscience (Prinz et al., 2012). Le nombre de poulets présentant une réponse positive au test du réflexe cornéen ou ayant des clignements spontanés des yeux varie grandement en fonction des paramètres

électriques. En effet, la proportion de poulets présentant l'un ou l'autre de ces réflexes est inférieure à 10 % pour une intensité minimale de 130 mA et une fréquence maximale de 200 Hz. Elle augmente au fur et à mesure que la fréquence augmente pour atteindre une proportion d'au moins 80 % pour des fréquences supérieures à 800 Hz et des intensités inférieures à 100 mA / poulet (Prinz et al., 2010 ; Prinz et al., 2012 ; Raj et al., 2006).

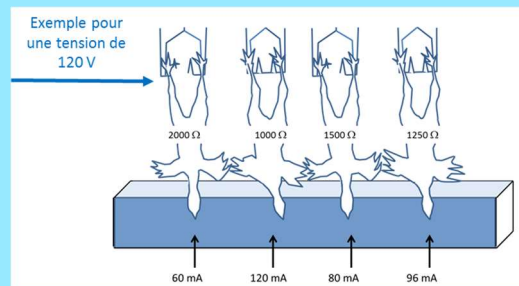
Selon les données de la littérature, il apparaît que l'inconscience est mieux garantie lorsque les fréquences appliquées sont inférieures à 200 Hz et l'intensité appliquée par animal supérieure à 120 mA, et ce quels que soient les indicateurs testés.

Plusieurs paramètres autres que les simples paramètres électriques sont susceptibles d'impacter la qualité de la narcose. Ces paramètres peuvent être propres à chaque abattoir (organisation de la chaîne d'abattage), aux volailles abattues (profondeur d'immersion, variabilité inter individuelle de l'impédance), mais aussi à la qualité de l'eau.

Impédance

Pour une tension donnée, le poulet recevra une intensité en fonction de sa propre impédance (résistance) dont la valeur peut être prédite par la loi d'Ohm :

$$\text{Intensité (A)} = \text{Tension (V)} / \text{Impédance (}\Omega\text{)}$$



En fonction de la gamme de résistance individuelle, chaque poulet recevra un **niveau de courant différent** et ce, pour une même tension délivrée.

Plusieurs études ont montré que la résistance variait considérablement d'un poulet à l'autre et en général allait de 1000 à 2000 ohms (Gregory et Wotton, 1987). La résistance de l'animal peut varier en fonction notamment de son poids, sa composition corporelle et son sexe. Il apparaît important de maîtriser l'homogénéité des lots pour éviter la variabilité de la résistance.

La qualité des produits finis, que ce soit celle des carcasses entières, des découpes, ou de la viande seule

(filet...), est très importante pour les transformateurs. Les blessures, les décolorations de la viande ou les os cassés ou disloqués sont des défauts souvent attribués au processus d'abattage (Bilgili, 1999).

En conditions commerciales, il est extrêmement difficile d'isoler les défauts liés à l'électronarcose de ceux causés par d'autres facteurs, tel que le ramassage, l'accrochage, les battements d'ailes, le type de saignée et son efficacité (Bilgili, 1999).

La saignée a longtemps été considérée comme un facteur important contribuant à la qualité globale de la carcasse. L'effet des paramètres électriques appliqués lors de l'électronarcose sur la qualité de la saignée reste un sujet de débat important notamment concernant le pourcentage de sang évacué, l'allongement du processus de saignement ... (Boyd, 1994). Au cours de la saignée, les poulets perdent entre 35 et 50 % de leur volume de sang total, ce qui représente environ 4 % du poids vif. Il semblerait qu'une haute fréquence (1000 Hz) couplée à une faible intensité (40 mA) permette une meilleure saignée qu'une basse fréquence (50-60 Hz) et ce quelle que soit l'intensité appliquée (Contreras et Beraquet, 2001 ; Craig et Fletcher, 1997 ; Goksoy et al., 1999 ; Lambooi et al., 1999 ; Papinaho et Fletcher, 1995 ; Raj et Johnson, 1997 ; Raj et al., 2001).

L'efficacité de l'étourdissement électrique dépend du contrôle des paramètres appliqués, comme la tension, l'intensité du courant, la fréquence et le temps d'immersion. Cinq effets indésirables de l'électronarcose sont associés à l'utilisation de fortes intensités ou tensions : hémorragies au niveau des ailes ; veines engorgées ; rougeurs cutanées, y compris bouts d'ailes et croupions rouges ; mauvaise qualité de plumaison ; fractures d'os et pétéchies ou coagulation du sang dans le filet. Il a été montré que la proportion de carcasses de poulets ayant des os cassés au cours du processus d'abattage pouvait aller jusqu'à 95 %. (Bilgili, 1999 ; Contreras et Beraquet, 2001 ; Kranen et al., 2000 ; Mota-Rojas et al., 2008)

Selon les données de la littérature, il apparaît que la qualité des produits est meilleure lorsque les fréquences appliquées sont supérieures à 1000 Hz et l'intensité appliquée par animal inférieure à 100 mA, et ce quels que soient les critères évalués.

L'impact des facteurs tels que le poids, l'engraissement, le sexe de l'animal faisant varier son impédance n'ont été que très peu étudiés dans la littérature et très peu voire pas de données sont disponibles pour discuter de l'influence de ces paramètres.

Par ailleurs, pour nous rapprocher de ce qui est fait sur le terrain dans le cadre de l'abattage rituel, nous avons également évalué l'impact de l'utilisation de paramètres électriques en deçà de la réglementation. Pour ce faire, nous avons obtenu une dérogation, dans le cadre d'une Autorisation de Projet par le CEEA Val de Loire (dossier n° 2016041520456061 – 4999)

2. Matériel et méthode

2.1. Animaux

Des poulets de souche Ross 308 ont été élevés à l'Unité Expérimentale du Pôle Avicole de l'INRA de Nouzilly en conditions classiques d'un élevage conventionnel en claustration.

Pour tester l'impact du **sexe des animaux**, 216 poulets mâles et 216 poulets femelles ont été abattus individuellement par électronarcose par bain d'eau, à 33 et 36 jours d'âge respectivement et à un poids vif moyen de 1,8 kg.

Pour tester l'impact du **poids des animaux**, 144 poulets mâles ayant un poids vif moyen de 1,3 kg (équivalent aux poulets exports), 144 poulets mâles ayant un poids vif moyen de 1,9 kg (équivalent aux poulets conventionnels) et 144 poulets mâles ayant un poids vif moyen de 2,5 kg (équivalent aux poulets lourds) ont été abattus individuellement par électronarcose par bain d'eau, à 26, 33 et 37 jours d'âge respectivement.

2.2. Modalités testées

Pour tester l'impact du **sexe des animaux**, les poulets mâles et femelles ont été étourdis suivant 3 couples de paramètres électriques : 1 dont les valeurs sont conformes à la réglementation (150 mA – 400Hz) et 2 dont les valeurs sont inférieures à ce qui est inscrit dans la réglementation (90 mA – 400 Hz et 90 mA 600 Hz).

Pour tester l'impact du **poids des animaux**, les poulets légers (1,3 kg), médiums (1,9 kg) et lourds (2,5 kg) ont été étourdis suivant 2 couples de paramètres électriques : 1 dont les valeurs sont conformes à la réglementation (150 mA – 400Hz nommé A) et 1 dont les valeurs sont inférieures à ce qui est inscrit dans la réglementation (90 mA – 400 Hz nommé B).

Le temps d'application du courant a été fixé à 10 secondes pour chaque poulet quel que soit le facteur testé.

Afin de s'assurer que la tension et le courant électriques demandés étaient bien ceux distribués, un appareil de mesure et d'enregistrement du courant et de la tension (Analyseur C.A 8336, Chauvin Arnoux, Paris, France) a été placé au niveau du bain d'eau afin de visualiser et d'enregistrer le courant distribué à chaque poulet au moment de l'électronarcose. Une mesure par seconde était réalisée par l'appareil.



Figure 1 : Test de réveil avec à gauche le poulet inconscient posé poitrine contre la table et la tête pendante, et à droite un poulet ayant repris conscience au cours des 2 min d'observation.

2.3. Tests de réveil

A la sortie du bain d'eau, pour chaque modalité, 24 poulets ont été décrochés de la chaîne et déposés sur une table l'abdomen appuyé et la tête pendante (figure 1).

Les temps d'apparition du premier réflexe cornéo-palpébral, du redressement du cou et de la reprise de la posture ont été évalués pendant 2 minutes d'observation. Dans les faits, le premier signe de retour à la conscience est le réflexe cornéo palpébral suivi du redressement du cou et de la reprise de la posture. Lorsque l'animal reprend la posture, il peut être considéré comme parfaitement réveillé.

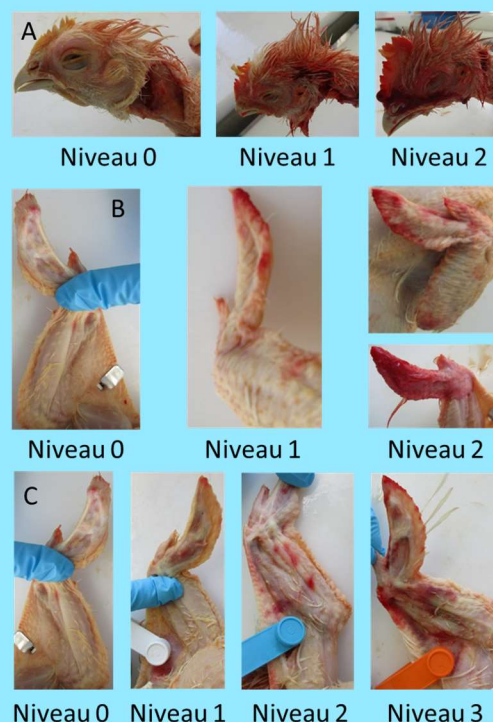
2.4. Tests sur chaîne

Pour chaque modalité, 48 poulets restaient sur la chaîne et étaient saignés ventralement (section des 2 carotides).

Des indicateurs de conscience (réflexe cornéo-palpébral, clignement spontané des yeux, respiration cloacale, déglutition, redressement du cou, agitation de la tête et battement des ailes) ont été observés juste après électronarcose et avant saignée (la saignée était réalisée en moyenne à 28 ± 6 sec), ainsi que pendant l'égouttage et en moyenne à 51 ± 11 sec après l'électronarcose.

La qualité des produits et des carcasses a été évaluée 12h post mortem. Le nombre de têtes rouges, ailes rouges, la présence d'hématomes sur les ailes et sur le reste du corps, les fractures des ailes et la présence de pétéchies sur les filets ont été évalués (voir encadré). Le pH ultime et la couleur des filets, ainsi que la quantité de gras abdominal ont également été mesurés.

Evaluation de la qualité des carcasses



Pour évaluer les carcasses, différents défauts ont été observés et notés sur plusieurs niveaux de gravité :

- **Les têtes rouges (A)** étaient notées de 0 : tête normale à 2 : tête très rouge
- **Les bouts d'aile rouges (B)** étaient notés de 0 : bout d'aile normal à 2 : première phalange de l'aile toute rouge
- **Les hématomes sur les ailes (C)** étaient notés de 0 : pas d'hématome à 2 : nombreux hématomes larges sur l'aile.

2.5. Analyses statistiques

Pour évaluer l'effet du sexe des poulets, nous avons comparé les résultats obtenus pour chacun des facteurs testés (poids des poulets, tensions et intensités appliquées, impédance des animaux, temps d'application du courant, indicateurs de retours à la conscience, données qualité des produits....) entre les différentes modalités (150 mA / 400 Hz Femelle, 150 mA / 400 Hz Mâle, 90 mA / 400 Hz Femelle, 90 mA / 400 Hz Mâle, 90 mA / 600 Hz Femelle, 90 mA / 600 Hz Mâle) et nous avons cherché à savoir s'il y avait une différence entre les modalités.

Pour évaluer l'effet du poids, le même raisonnement a été suivi. Seules les modalités comparées étaient différentes (150mA / 400Hz Lourd, 150mA / 400Hz Medium, 150mA / 400Hz Léger, 90mA / 400Hz Lourd, 90mA / 400Hz Medium et 90mA / 400Hz Léger)

Pour mettre en évidence d'éventuelles différences, plusieurs tests statistiques ont été réalisés, en fonction de la nature des données (quantitatives ou qualitatives) et de la distribution des données quantitatives (suivant une loi Normale ou non).

Les données quantitatives du type poids des poulets, tensions et intensités appliquées, impédance des animaux, temps d'application du courant, ne suivant pas une loi Normale, ont été analysés en fonction des modalités, à l'aide d'un test de comparaison multiple Kruskal Wallis. Le test de Kruskal-Wallis est souvent utilisé comme une alternative à l'ANOVA dans le cas où les données ne suivent pas une loi normale.

Les données qualitatives récoltées lors du test de réveil (nombre de poulets présentant un réflexe cornéo palpébral, une reprise de la tension du cou et une reprise de posture, ou complètement réveillés nombre de poulets réveillés avant et après 45 sec) ont été analysées avec un test de Fisher global puis en comparant les modalités 2 à 2.

Les données récoltées lors du test sur chaîne ont été analysées de 2 façons :

- Les indicateurs de conscience ainsi que les indicateurs de qualité des carcasses, qui sont des données qualitatives, ont été analysés avec un test de Fisher global puis en comparant les modalités 2 à 2.
- Les critères qualité des produits, qui sont des données quantitatives, tels que pH ultime et la couleur ($L^*a^*b^*$) du filet, les quantités de gras, et de sang évacué ont été analysés avec un test de comparaison multiple Kruskal Wallis.

De plus, sur les données collectées au cours du test sur chaîne, une analyse Factorielle Multiple avec classification hiérarchique des données a été réalisée. L'analyse

multifactorielle permet une représentation simple mais précise des groupes de variables fournissant une image synthétique des données. L'analyse multifactorielle permet la réalisation de clusters dans lesquels, pour notre étude, seront regroupés les poulets ayant des caractéristiques semblables en terme de réponse aux indicateurs de conscience et de qualité des produits et carcasses.

Les résultats ont été jugés significatifs au seuil de 5%, c'est-à-dire que pour une $p\text{-value} \leq 0,05$, la différence est jugée significative et il y a une différence entre les modalités testées, alors que pour une $p\text{-value} > 0,05$, la différence est jugée non significative (NS). Afin de comparer les modalités (paramètres électriques) entre elles, des lettres (a, b, c, d) ont été ajoutées. Deux modalités ayant au moins une lettre en commun ne sont pas différentes statistiquement, alors que deux modalités n'ayant aucune lettre en commun sont jugées différentes statistiquement.

3. Effet du sexe des animaux

3.1. Vérifications préalables

Pour chaque modalité, plusieurs vérifications ont été réalisées. Tous d'abord, nous nous sommes assurés que le poids vif des poulets était homogène pour chacune des modalités, que l'intensité distribuée correspondait à la consigne donnée, que le temps d'application du courant ne différait pas d'une modalité à l'autre et était proche des 10 secondes. Enfin, la tension a également été mesurée et l'impédance moyenne des poulets a été calculée selon la loi d'Ohms $Tension = Impédance \times Intensité$ (Tableau 1).

Il est à noter que l'impédance moyenne différait en fonction du sexe des animaux et les femelles étaient plus résistantes que les mâles ($1660 \pm 434 \Omega$ vs. $1376 \pm 263 \Omega$), quel que soit le paramètre utilisé (Tableau 1).

Tableau 1 : Vérification des paramètres généraux pour chacune des modalités (sexe x paramètres électriques) (moyenne $\pm$ écartype et NS = Non significatif, $p \leq 0,05$ = Différence significative)

Modalités	150 mA/400 Hz Femelle	150 mA /400 Hz Mâle	90 mA/400 Hz Femelle	90 mA/400 Hz Mâle	90 mA/600 Hz Femelle	90 mA/600 Hz Mâle	Valeur de P
Effectif	72	71	72	72	72	72	
Temps d'application mesuré (s)	9,51 $\pm$ 0,95	9,54 $\pm$ 0,88	9,24 $\pm$ 0,78	9,63 $\pm$ 1,72	9,42 $\pm$ 0,76	9,18 $\pm$ 0,61	NS
Intensité mesurée (mA)	151 $\pm$ 13 a	157 $\pm$ 6 a	88 $\pm$ 13 b	93 $\pm$ 8 B	86 $\pm$ 11 b	93 $\pm$ 7 b	0,05
Tension mesurée (V)	223 $\pm$ 25 a	194 $\pm$ 22 a	145 $\pm$ 16 bd	132 $\pm$ 18 Cd	149 $\pm$ 16 b	134 $\pm$ 16 d	0,05
Impédance de l'animal (Ohm)	1495 $\pm$ 294 bd	1233 $\pm$ 155 c	1718 $\pm$ 521 ad	1445 $\pm$ 293 B	1767 $\pm$ 412 a	1450 $\pm$ 261 b	0,05
Poids vif (g)	1836 $\pm$ 106	1825 $\pm$ 152	1816 $\pm$ 127	1828 $\pm$ 144	1831 $\pm$ 104	1820 $\pm$ 152	NS

3.2. Test de réveil

Les temps d'apparition du premier réflexe cornéo-palpébral, du redressement du cou, et de la reprise de la posture ont été évalués pour 23 poulets minimum par condition (Tableau 2).

Le sexe des animaux n'a pas eu d'impact sur leur temps de retour à la conscience. Cependant aux paramètres électriques en deçà de la réglementation (90 mA/400 Hz et 90 mA 600 Hz), un plus grand nombre de poulets ont présenté un réflexe cornéo palpébral positif, ont recouvré la tension du cou avant 45 s, et ont repris la posture après 45 s. Trois mâles et quatre femelles étourdis en respectant le seuil réglementaire (150 mA / 400 Hz) ont présenté un réflexe cornéo palpébral avant 45 s mais aucun d'entre eux n'a recouvré la tension du cou, ni repris une posture dans l'intervalle de 45s et l'étourdissement pouvait être considéré comme non réversible.

3.3. Test sur chaîne

3.3.1. Evaluation de la qualité de l'étourdissement

• Juste après l'électronarcose

Quelles que soient les modalités testées, aucun des poulets n'a présenté d'agitation de la tête, ni d'ouverture de bec (résultats non présentés).

Le sexe des animaux n'a pas eu d'impact sur le nombre de signes positifs de retour à la conscience.

Au regard de la protection animale, les poulets mâles et femelles étourdis avec le paramètre réglementaire (150 mA / 400 Hz) ont présenté moins de signes positifs de retour à la conscience, que ce soit pour les réflexes cornéo palpébraux, la déglutition, la respiration cloacale ou le battement des ailes que les autres poulets (Tableau 3). Au contraire, les poulets électronarcosés aux paramètres 90 mA/400 Hz et 90 mA 600 Hz semblent moins bien étourdis et présentent des taux importants de réponses positives aux différents indicateurs de conscience.

En effet, aux paramètres 90 mA / 400 Hz, au minimum 30 mâles sur 48 (> 65%) et 40 femelles sur 48 (> 83 %) ont présenté un réflexe cornéo palpébral positif, ont dégluti et respiré. Le nombre de poulets mâles ou femelles présentant des signes positifs de retour à la conscience était encore plus important au paramètre 90 mA / 600 Hz (Tableau 3).

Tableau 2 : Impact du sexe des animaux sur les temps de réveil avec nombre de poulets présentant un signe de retour à la conscience au cours ou au-delà des 45s suivant l'électronarcose (nombre de poulets présentant l'indicateur à mettre en relation avec l'effectif présent dans chaque modalité)

Modalités		150 mA/400 Hz	150 mA /400 Hz	90 mA/400 Hz	90 mA/400 Hz	90 mA/600 Hz	90 mA/600 Hz
		Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle
Réflexe cornéo palpébral	< 45 s	4	3	21	17	24	22
	> 45 s	3	0	0	1	0	0
	Pas de réveil	15	21	3	6	0	2
	p <0,001	a	a	bc	b	c	bc
Reprise tension du cou	< 45 s	0	0	9	8	18	13
	> 45 s	2	2	8	7	5	9
	Pas de réveil	21	22	7	9	1	2
	p <0,001	a	a	b	b	c	bc
Reprise de la posture	< 45 s	0	0	0	0	1	0
	> 45 s	0	1	12	14	19	18
	Pas de réveil	23	23	12	10	4	6
	p <0,001	a	a	b	b	b	b
Effectif		24	24	24	24	24	24

Tableau 3 : Impact du sexe des animaux sur le nombre de poulets présentant un retour à la conscience juste après l'électronarcose (nombre de poulets présentant l'indicateur à mettre en relation avec l'effectif présent dans chaque modalité)

Indicateurs de conscience / inconscience	150 mA/400 Hz Femelle	150 mA /400 Hz Mâle	90 mA/400 Hz Femelle	90 mA/400 Hz Mâle	90 mA/600 Hz Femelle	90 mA/600 Hz Mâle	valeur de P
Réflexe corneo palpébral	2 c	0 c	41 ab	31 b	45 a	44 a	< 0,001
Déglutition	4 c	1 c	42 ab	34 b	45 a	42 ab	< 0,001
Respiration (cloaque)	13 c	9 c	40 ab	38 b	47 a	43 ab	< 0,001
Agitation des ailes	1 b	1 b	10 ab	9 a	14 a	6 ab	< 0.05
Effectif	47	47	48	48	47	47	

• Pendant l'égouttage

La même tendance a été observée après la saignée (Tableau 4) : le sexe des animaux n'a pas eu d'impact sur le nombre de signes positifs de retour à la conscience. Par ailleurs, aucune différence statistique n'a été observée pour le test du réflexe cornéo-palpébral et le redressement du cou en fonction des modalités testées (résultats non présentés).

Les poulets étourdis au paramètre 150 mA / 400 Hz ont présenté moins de signes positifs de retour à la conscience que les autres poulets et ce quelle que soit la catégorie de poids testée. Au contraire, les poulets électronarcosés aux paramètres 90 mA/400 Hz et 90 mA 600 Hz ont présenté des taux plus importants de réponses positives aux différents indicateurs de conscience tels que clignements spontanés, agitation de la tête, agitation des ailes, ouverture du bec et respiration (Tableau 4).

3.3.2. Evaluation de la qualité des produits

Au regard de la qualité des produits, aucune différence statistique n'a été observée pour le pHu et la composante jaune (b*) du filet et ce quelles que soient les modalités testées (Tableau 5). Les différences observées pour la

luminance (L*) et la composante rouge (a*) des filets restent minimales et ne sont pas détectables à l'œil nu. En effet, 2 points d'écart au minimum sont nécessaires pour que l'œil humain perçoive une différence. Par ailleurs, aucune différence statistique n'a été observée concernant la quantité de gras abdominal chez le poulet entre les différentes modalités (Tableau 5).

En proportion, les poulets étourdis aux paramètres en deçà de la réglementation (90 mA/400 Hz et 90 mA 600 Hz), ont perdu plus de sang pendant la saignée que les poulets étourdis aux paramètres réglementaires (150 mA / 400 Hz) et ce quel que soit le sexe de l'animal (Tableau 5).

Concernant la qualité des carcasses, les différences observées sont essentiellement liées au sexe de l'animal, les femelles montrant plus de défauts que les mâles (Tableau 6) en terme de nombre de tête rouges et d'ailes rouges. Aucune différence n'a été observée en fonction des modalités concernant le nombre de pétéchies sur les carcasses, de fractures du bréchet et de fracture d'ailes (résultats non présentés).

Tableau 4 : Impact du sexe des animaux sur le nombre des poulets présentant un retour à la conscience après la saignée et pendant l'égouttage (nombre de poulets présentant l'indicateur à mettre en relation avec l'effectif présent dans chaque modalité).

Indicateurs de conscience / inconscience	150 mA/400 Hz Femelle	150 mA/400 Hz Mâle	90 mA/400 Hz Femelle	90 mA/400 Hz Mâle	90 mA/600 Hz Femelle	90 mA/600 Hz Mâle	Valeur de P
Clignements spontanés	0 c	0 c	9 ad	3 bcd	19 a	10 ad	< 0,001
Agitation de la tête	3 b	0 b	34 a	30 a	35 a	33 a	< 0,001
Agitation des ailes	5 b	1 b	34 a	30 a	36 a	36 a	< 0,001
Ouvre le bec	5 c	1 c	35 ab	27 b	43 a	37 a	< 0,001
Respiration	9 b	11 b	36 a	18 b	33 a	32 a	< 0,001
Effectif	47	47	48	48	47	47	

Tableau 5 : Impact du sexe des animaux sur la qualité des produits (moyenne $\pm$ écartype et NS = Non significatif, $p \leq 0,05$ = Différence significative).

Modalités	150 mA/400 Hz Femelle	150 mA/400 Hz Mâle	90 mA/400 Hz Femelle	90 mA/400 Hz Mâle	90 mA/600 Hz Femelle	90 mA/600 Hz Mâle	Valeur de P
Poids de sang évacué (g)	39 $\pm$ 12 c	45 $\pm$ 14 cd	43 $\pm$ 73 bd	54 $\pm$ 14 bd	55 $\pm$ 6 ba	59 $\pm$ 8 a	0,05
Sang évacué (% du poids vif)	2,10 $\pm$ 0,63 c	2,46 $\pm$ 0,72 bc	2,07 $\pm$ 5,99 ab	2,93 $\pm$ 0,68 a	2,99 $\pm$ 0,37 a	3,24 $\pm$ 0,41 a	0,05
Poids de gras abdominal (g)	25,2 $\pm$ 7,6	25,6 $\pm$ 4,9	25,6 $\pm$ 6,4	26,5 $\pm$ 5,9	27,9 $\pm$ 7,3	24,6 $\pm$ 6,2	NS
Gras abdominal (% du poids vif)	1,36 $\pm$ 0,36	1,40 $\pm$ 0,27	1,42 $\pm$ 0,35	1,45 $\pm$ 0,26	1,52 $\pm$ 0,36	1,34 $\pm$ 0,30	NS
pHu du filet	5,81 $\pm$ 0,11	5,81 $\pm$ 0,14	5,79 $\pm$ 0,10	5,80 $\pm$ 0,11	5,81 $\pm$ 0,11	5,82 $\pm$ 0,12	NS
Luminance L* du filet	49,95 $\pm$ 2,57 ab	49,58 $\pm$ 1,90 b	50,25 $\pm$ 2,56 ab	49,36 $\pm$ 2,26 b	50,83 $\pm$ 2,14 a	49,88 $\pm$ 2,36 ab	0,05
a* du filet	-0,86 $\pm$ 0,59 bc	-0,43 $\pm$ 0,45 a	-1,00 $\pm$ 0,59 bd	-0,59 $\pm$ 0,57 ac	-1,12 $\pm$ 0,45 b	-0,73 $\pm$ 0,49 acd	0,05
b* du filet	9,43 $\pm$ 1,23	10,00 $\pm$ 1,00	9,71 $\pm$ 1,09	10,01 $\pm$ 0,90	9,83 $\pm$ 1,13	10,01 $\pm$ 0,99	NS
Effectif	47	47	48	48	47	47	

Tableau 6 : Impact du sexe des animaux sur la qualité des carcasses (nombre de poulets présentant l'indicateur à mettre en relation avec l'effectif présent dans chaque modalité)

		150 mA/400 Hz	150 mA/400 Hz	90 mA/400 Hz	90 mA/400 Hz	90 mA/600 Hz	90 mA/600 Hz
		Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle
Têtes rouges	0	22	21	28	33	28	29
	1	11	20	15	8	15	14
	2	6	1	0	2	0	1
	p < 0,05	ab	bc	c	b	c	b
Ailes rouges	0	2	2	5	4	4	7
	1	19	20	30	22	36	26
	2	19	23	10	18	7	13
	3	7	2	3	4	0	1
	p < 0,05	a	a	ab	a	b	ab
Effectif		47	47	48	48	47	47

3.3.3. Résultats de l'analyse multifactorielle

L'analyse multifactorielle permet une représentation simple mais précise des groupes de variables fournissant une image synthétique des données. Dans le cadre de notre étude, l'analyse multifactorielle a permis de mettre en évidence 5 clusters regroupant les poulets ayant des caractéristiques semblables en terme de réponse aux indicateurs de conscience et de qualité des produits et carcasses (Figure 2).

Ainsi, **les poulets femelles étourdis à 150 mA / 400 Hz** (cluster 5), sont caractérisés par le fait qu'après l'électronarcose, moins de 6 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), moins de 2 % déglutissent et moins de 2 % présentent un réflexe cornéo-palpébral positif. Au cours de l'égouttage, 15 % des poulets respirent, 10 % agitent des ailes, 10 % ouvrent le bec et 5 % agitent la tête. En revanche, 15 % des carcasses ont des têtes très rouges (niveau 2) et 15 % ont le bout des ailes très rouges (niveau 3).

Les poulets mâles étourdis à 150 mA / 400 Hz (cluster 4), sont caractérisés par le fait qu'après l'électronarcose, moins de 20 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), et aucun des poulets ne présente de réflexe cornéo-palpébral positif, ne déglutit ou n'agit les ailes. Au cours de l'égouttage, moins de 25 % des poulets respirent, et aucun n'agit les ailes, n'ouvre le bec ou n'agit la tête. En revanche, 47 % des carcasses ont des têtes moyennement rouges (niveau 1) et 43 % ont le bout des ailes moyennement rouge (niveau 2).

Les poulets femelles étourdis à 90 mA / 400 Hz et les poulets femelles étourdis à 90 mA / 600 Hz (cluster 2), sont caractérisés par le fait qu'après l'électronarcose, plus de 90 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), déglutissent et présentent un réflexe cornéo-palpébral. Au cours de l'égouttage, plus de 70 % des poulets respirent, agitent des ailes, agitent la tête et plus de 83 % ouvrent le bec. Par ailleurs, 70 % des

carcasses ont des bouts d'ailes faiblement rouges (niveau 0).

Les poulets mâles étourdis à 90 mA / 400 Hz (cluster 3), sont caractérisés par le fait qu'après l'électronarcose, plus de 80 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque). Au cours de l'égouttage, plus de 30 % des poulets respirent, et plus de 60 % agitent la tête. Par contre, plus de 75 % des carcasses n'avaient pas de têtes rouges (niveau 0).

Les poulets mâles étourdis à 90 mA / 400 Hz (cluster 1), sont caractérisés par le fait qu'après l'électronarcose, plus de 90 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), et déglutissent et plus de 95 % présentent un réflexe cornéo-palpébral positif. Au cours de l'égouttage, plus de 65 % des poulets respirent, plus de 75 % ouvrent le bec et agitent des ailes et plus de 70 % agitent la tête.

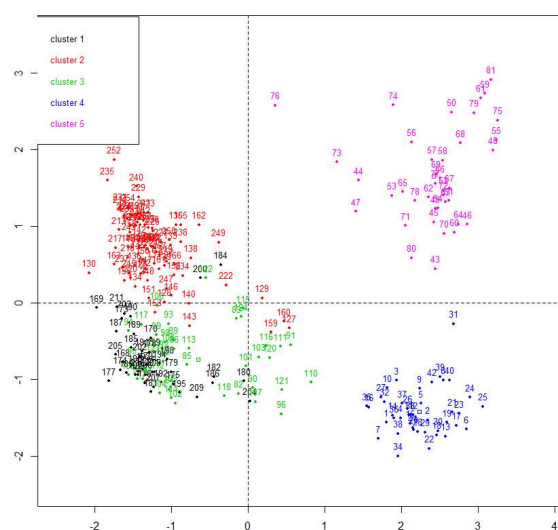


Figure 2 : Clusters mis en évidence par l'analyse multifactorielle pour évaluer l'impact du sexe des animaux

4. Effet du poids des animaux

4.1. Vérifications préalables

Pour chaque modalité, plusieurs vérifications ont été réalisées. Tous d'abord, nous nous sommes assurés que l'intensité distribuée correspondait à la consigne donnée, que le temps d'application du courant ne différait pas d'une modalité à l'autre et était proche des 10 secondes. Enfin, la tension a également été mesurée et l'impédance moyenne des poulets a été calculée selon la loi d'Ohms $Tension = Impédance \times Intensité$ (Tableau 7).

Le poids des animaux correspondait aux poids cibles attendus pour chacune des catégories, à savoir 1,3 kg pour les poulets légers, 1,9 kg pour les médiums et 2,5 kg pour les lourds (Tableau 7).

L'impédance moyenne différait en fonction du poids des animaux et les poulets légers ($1347 \pm 140 \Omega$) étaient plus résistants que les moyens ($1179 \pm 130 \Omega$), eux-mêmes plus résistants que les lourds ($1042 \pm 120 \Omega$) et ce, quel que soit le paramètre utilisé (Tableau 7).

Tableau 7 : Vérification des paramètres généraux pour chacune des modalités (poids x paramètres électriques) (moyenne $\pm$ écartype et NS = Non significatif, $p \leq 0,05$ = Différence significative)

Modalités	150mA/400Hz Lourd	150mA/400Hz Medium	150mA/400Hz Léger	90mA/400Hz Lourds	90mA/400Hz Medium	90mA/400Hz Léger	Valeur de p
Effectif	71	72	72	72	72	72	
Temps d'application mesuré (s)	$9,1 \pm 0,74$	$8,8 \pm 0,62$	$9,0 \pm 0,88$	$9,1 \pm 0,71$	$9,1 \pm 0,93$	$9,2 \pm 0,69$	NS
Tension mesurée (V)	161 ± 16 b	177 ± 17 b	203 ± 20 a	101 ± 12 d	117 ± 13 d	133 ± 12 c	0,05
Intensité mesurée (A)	157 ± 6 a	156 ± 5 a	156 ± 8 a	96 ± 5 b	96 ± 5 b	95 ± 4 b	0,05
Impédance de l'animal (Ohm)	1024 ± 107 d	1137 ± 113 c	1295 ± 128 ab	1060 ± 130 cd	1221 ± 132 b	1398 ± 134 a	0,05
Poids vif (g)	2551 ± 147 a	1966 ± 149 b	1353 ± 109 c	2557 ± 154 a	1961 ± 151 b	1348 ± 115 c	0,05

Tableau 8 : Impact du poids des animaux sur les temps de réveil avec nombre de poulets présentant un signe de retour à la conscience au cours ou au-delà des 45s suivant l'électronarcose

		150mA/400Hz Lourd	150mA/400Hz Medium	150mA/400Hz Léger	90mA/400Hz Lourds	90mA/400Hz Medium	90mA/400Hz Léger
Réflexe cornéo-palpébral	<45 s	0	1	2	10	17	6
	>45 s	1	0	0	3	0	0
	Pas de réveil	22	23	22	11	6	18
	<0,001	a	ab	ab	cd	d	bc
Reprise tension du cou	<45 s	0	0	0	7	8	1
	>45 s	0	0	0	5	6	2
	Pas de réveil	23	24	24	12	9	21
	<0,001	a	a	a	b	b	a
Reprise de la posture	<45 s	0	0	0	0	0	0
	>45 s	0	0	0	4	7	0
	Pas de réveil	23	24	24	20	16	24
	<0,001	a	a	a	ab	b	a
Effectif		23	24	24	24	23	24

4.3. Test sur chaîne

4.3.1. Evaluation de la qualité de l'étourdissement

• Juste après l'électronarcose

Quelles que soient les modalités testées, aucun des poulets n'a présenté d'agitation de la tête, n'a ouvert le bec (résultats non présentés). Le nombre de poulets agitant les ailes n'était pas significativement différents d'une modalité à l'autre (Tableau 9).

Au paramètre réglementaire, le poids des animaux n'a pas eu d'impact sur le nombre de signes positifs de retour à la conscience. Au paramètre en deçà de la réglementation, les poulets légers ont présenté moins de réflexe cornéo palpébraux (1 poulet sur 48 vs 18 sur 48) et ont moins dégluti (8 poulets sur 48 vs 19 sur 48) que les poulets lourds (Tableau 9).

Au regard de la protection animale, les poulets étourdis avec le paramètre réglementaire (150 mA / 400 Hz) et ce quelle que soit la catégorie poids ont présenté moins de signes positifs de retour à la conscience que ce soit pour les réflexes cornéo palpébraux, la déglutition, la respiration cloacale ou le battement des ailes que les autres poulets (Tableau 9). Au contraire, les poulets électroanesthésiés au paramètre en deçà de la réglementation (90 mA/400 Hz)

sont moins bien étourdis et ont présenté des taux assez importants de réponses positives aux différents indicateurs de conscience (de 20 à 78 % de réponse positives chez les poulets médiums et lourds pour le réflexe cornéo-palpébral, la déglutition et la respiration cloacale). En effet, au paramètre 90 mA / 400 Hz, les taux de réflexes cornéo palpébraux positifs ont atteint 37% chez les poulets lourds (18 poulets sur 48 vs 0 pour ceux étourdis au paramètre réglementaire), et les taux de poulets déglutissant ont atteint 40 % chez les poulets lourds (19 poulets sur 48 vs 0 pour ceux étourdis au paramètre réglementaire). Plus de 75 % des poulets étourdis au paramètre non réglementaire (90 mA / 400 Hz) ont respiré (visible aux mouvements du cloaque) contre 35 % au maximum pour les poulets étourdis au paramètre réglementaire (150 mA / 400 Hz) (Tableau 9).

• Pendant l'égouttage

Quelles que soient les modalités testées, aucun des poulets n'a présenté de réflexe cornéo palpébraux, de clignements spontanés des yeux, ni de redressement du cou (résultats non montrés). Pour les autres indicateurs évalués, la même tendance est observée pendant l'égouttage qu'après électroanesthésie (Tableau 10).

Tableau 9 : Impact du poids des animaux sur le nombre de poulets présentant un retour à la conscience juste après l'électronarcose

Modalités	150mA/400Hz Lourd	150mA/400Hz Medium	150mA/400Hz Léger	90mA/400Hz Lourds	90mA/400Hz Medium	90mA/400Hz Léger	Valeur de P
Effectifs	48	48	48	48	49	48	
Réflexe cornéo palpébral	0 b	0 b	0 b	18 a	10 a	1 b	<0,001
Déglutition	0 c	1 cd	1 cd	19 a	14 ab	8 bd	<0,001
Respiration (Cloaque)	8 b	15 b	17 b	36 a	38 a	35 a	<0,001
Agitation des ailes	0	1	0	4	5	3	NS

Au paramètre réglementaire, le poids des animaux n'a pas eu d'impact sur le nombre de signes positifs de retour à la conscience. Au paramètre en deçà de la réglementation, les poulets légers ont moins agité la tête (4 poulets sur 48 vs 21 sur 48), et moins agité les ailes (7 poulets sur 48 vs 22 sur 48) que les poulets lourds (Tableau 10).

Les poulets étourdis au paramètre réglementaire (150 mA / 400 Hz) n'ont montré quasiment aucun signe positif de retour à la conscience et ce quelle que soit la modalité testée. Au contraire, les poulets électroanesthésiés aux paramètres en deçà de la réglementation ont montré des taux plus importants de réponses positives aux différents indicateurs de conscience que sont l'agitation de la tête, l'agitation des ailes et les ouvertures du bec (Tableau 10).

4.3.2. Evaluation de la qualité des produits

Au regard de la qualité des produits, les différences observées pour le pH ultime sont tellement faibles qu'elles n'auront pas d'impact sur les rendements technologiques, et la différence de couleur des filets (luminance L^* , composantes rouge a^* et jaune b^*) reste minime et n'est pas détectable à l'œil nu. En effet, 2 points d'écart au minimum sont nécessaires pour que l'œil humain perçoive une différence. Par ailleurs, aucune différence statistique n'a été observée concernant la proportion de gras abdominal en fonction du poids vif, ni entre les différentes catégories de poids ni entre les différents paramètres électriques (Tableau 11). En proportion, les poulets lourds étourdis aux paramètres réglementaires (150 mA/400 Hz), ont perdu moins de sang par rapport au poids vif ($1,57 \pm$

0,62 %), pendant la saignée, que les poulets médiums et légers ($2,60 \pm 0,69$ % et $2,29 \pm 1,04$ %) étourdis aux mêmes paramètres et que les poulets lourds ($2,47 \pm 0,69$ %) étourdis aux paramètres en deçà de la réglementation (90 mA / 400 Hz) (Tableau 11).

Au regard de la qualité des carcasses, les poulets lourds ont montré plus de bouts d'ailes rouges que les poulets médiums et légers et ce quels que soient les paramètres électriques testés (Tableau 12). Aux paramètres

réglementaires (150 mA/400 Hz), le poids n'a pas impacté la prévalence d'hématome sur les ailes, alors qu'aux paramètres en deçà de la réglementation, les poulets lourds (9 de niveau 2) ont eu moins d'hématomes que les médiums (13 de niveau 2) et les légers (27 de niveau 2). Aucune différence n'a été observée en fonction des modalités concernant le nombre de têtes rouges, d'hématomes sur les carcasses, de fractures du bréchet et de fracture au niveau des ailes (résultats non montrés).

Tableau 10 : Impact du poids des animaux sur le nombre des poulets présentant un retour à la conscience après la saignée et pendant l'égouttage

Modalités	150mA/400Hz Lourd	150mA/400Hz Medium	150mA/400Hz Léger	90mA/400Hz Lourds	90mA/400Hz Medium	90mA/400Hz Léger	Valeurs de p
Effectifs	48	48	48	48	49	48	
Agitation de la tête	0 c	1 c	0 c	21 a	13 ab	4 bc	<0,001
Agitation des ailes	0 c	1 cd	0 c	22 a	17 ab	7 bd	<0,001
Ouvre le bec	0 c	1 bc	0 c	13 a	15 a	7 ab	<0,001

Tableau 11 : Impact du poids des animaux sur la qualité des produits (moyenne $\pm$ écartype et NS = Non significatif, $p \leq 0,05$ = Différence significative).

Modalités	150mA/400Hz Lourd	150mA/400Hz Medium	150mA/400Hz Léger	90mA/400Hz Lourds	90mA/400Hz Medium	90mA/400Hz Léger	Valeur de P
Effectif	48	48	48	48	49	48	
Poids de sang évacué (g)	40 ± 15 b	51 ± 14 a	31 ± 14 b	63 ± 17 a	54 ± 13 a	36 ± 9 b	0,05
Sang évacué (% du poids vif)	$1,57 \pm 0,62$ c	$2,60 \pm 0,69$ ab	$2,29 \pm 1,04$ b	$2,47 \pm 0,69$ ab	$2,79 \pm 0,65$ a	$2,70 \pm 0,63$ ab	0,05
Poids de gras abdominal (g)	37 ± 9 a	27 ± 7 b	17 ± 5 c	35 ± 8 a	26 ± 6 b	17 ± 5 c	0,05
Gras abdominal (% du poids vif)	$1,46 \pm 0,35$	$1,36 \pm 0,33$	$1,24 \pm 0,33$	$1,39 \pm 0,32$	$1,34 \pm 0,30$	$1,28 \pm 0,34$	NS
pHu du filet	$5,8 \pm 0,13$ ab	$5,7 \pm 0,11$ bc	$5,7 \pm 0,17$ c	$5,8 \pm 0,10$ a	$5,8 \pm 0,12$ abc	$5,7 \pm 0,10$ bc	0,05
Luminance L* du filet	$49,6 \pm 2,6$ c	$50,9 \pm 2,1$ ab	$52,0 \pm 2,6$ a	$50,5 \pm 2,2$ bc	$51,3 \pm 2,4$ ab	$51,8 \pm 2,5$ ab	0,05
a* du filet	$-0,14 \pm 0,89$ a	$-0,53 \pm 0,62$ ab	$-0,23 \pm 0,74$ a	$-0,58 \pm 0,84$ ab	$-0,78 \pm 0,51$ ab	$-0,47 \pm 0,65$ b	0,05
b* du filet	$10,28 \pm 1,19$ ab	$10,00 \pm 1,06$ ab	$10,75 \pm 1,21$ a	$10,06 \pm 1,18$ ab	$9,88 \pm 1,13$ ab	$10,17 \pm 0,93$ b	0,05

Tableau 12 : Impact du poids des animaux sur la qualité des carcasses.

		150mA/400Hz Lourd	150mA/400Hz Medium	150mA/400Hz Léger	90mA/400Hz Lourds	90mA/400Hz Medium	90mA/400Hz Léger	Valeur de P
Bout d'ailes rouge	0	14	5	7	22	7	3	<0,001
	1	30	24	27	24	32	28	
	2	4	19	14	2	10	16	
		b	a	a	b	a	a	
Hématomes sur les ailes	0	22	18	19	33	23	13	<0,001
	1	14	15	10	6	13	7	
	2	12	15	19	9	13	27	
		bc	ab	ab	c	bc	a	
Pétéchie sur carcasse		10 a	4 ab	1 b	3 ab	2 b	0 b	<0,05
Effectif		48	48	48	48	49	48	

4.3.3. Résultats de l'analyse multifactorielle

Dans le cadre de notre étude, l'analyse multifactorielle a permis de mettre en évidence 6 clusters regroupant les poulets ayant des caractéristiques semblables en terme de réponse aux indicateurs de conscience et de qualité des produits et carcasses (figure 3).

Ainsi, **les poulets lourds étourdis à 150 mA / 400 Hz** (cluster 5), sont caractérisés par un poids vif supérieur à la moyenne (2561 g vs 1964 g) et une impédance plus faible que la moyenne (1026 Ω vs 1186 Ω). Après l'électronarcose, plus de 25 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), mais aucun ne déglutit ni ne présente de réflexes cornéo-palpébraux positifs. Au cours de l'égouttage, aucun poulet n'agit des ailes, n'ouvre le bec ou n'agit la tête. Par contre, 9 % des carcasses ont le bout des ailes très rouges (niveau 2).

Les poulets médiums étourdis à 150 mA / 400 Hz (cluster 3), sont caractérisés par le fait qu'après l'électronarcose, plus de 30 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), mais aucun ne présente de réflexes cornéo-palpébraux positifs. Au cours de l'égouttage, aucun poulet n'agit des ailes, n'ouvre le bec ou n'agit la tête. Par contre, plus de 45 % des carcasses ont le bout des ailes très rouges (niveau 2) et 50 % des carcasses présentent des têtes moyennement rouges (niveau 1).

Les poulets légers étourdis à 150 mA / 400 Hz (cluster 1), sont caractérisés par un poids vif inférieur à la moyenne (1357 g vs 1964 g) et une impédance supérieure à la moyenne (1299 Ω vs 1186 Ω). Après l'électronarcose, moins de 3 % des poulets déglutissent et aucun ne présente de réflexes cornéo-palpébraux positifs. Au cours de l'égouttage, aucun poulet n'agit des ailes, n'ouvre le bec ou n'agit la tête.

Les poulets lourds étourdis à 90 mA / 400 Hz (cluster 6), sont caractérisés par un poids vif supérieur à la moyenne (2507 g vs 1964 g) et une impédance plus faible que la moyenne (1060 Ω vs 1186 Ω). Après l'électronarcose, plus de 90 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), plus de 65 % présentent un réflexe cornéo-palpébral et plus de 75 % déglutissent. Au cours de l'égouttage, plus de 85 % des poulets agitent des ailes, 50 % ouvrent le bec et plus de 80 % agitent la tête. Par ailleurs, 75 % des carcasses n'ont pas le bout des ailes rouges (niveau 0) et plus de 90 % des carcasses n'ont pas de têtes rouges (niveau 0).

Les poulets médiums étourdis à 90 mA / 400 Hz (cluster 4), sont caractérisés par le fait qu'après l'électronarcose, plus de 80 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque), plus de 20 % présentent un réflexe cornéo palpébral positif et plus de 30 %

déglutissent. Au cours de l'égouttage, plus de 35 % des poulets agitent des ailes et ouvrent le bec et plus de 25 % agitent la tête. Par ailleurs, 75 % des carcasses ont le bout des ailes moyennement rouges (niveau 1) et plus de 5 % les ont très rouges (niveau 2).

Les poulets légers étourdis à 90 mA / 400 Hz (cluster 2), sont caractérisés par un poids vif inférieur à la moyenne (1358 g vs 1964 g) et une impédance supérieure à la moyenne (1372 Ω vs 1186 Ω). Après l'électronarcose, plus de 70 % des poulets respirent (visualisation par le mouvement du cloaque) et plus de 2 % présentent un réflexe cornéo-palpébral positif. Par ailleurs, plus de 10 % des carcasses ont des têtes très rouges (niveau 2).

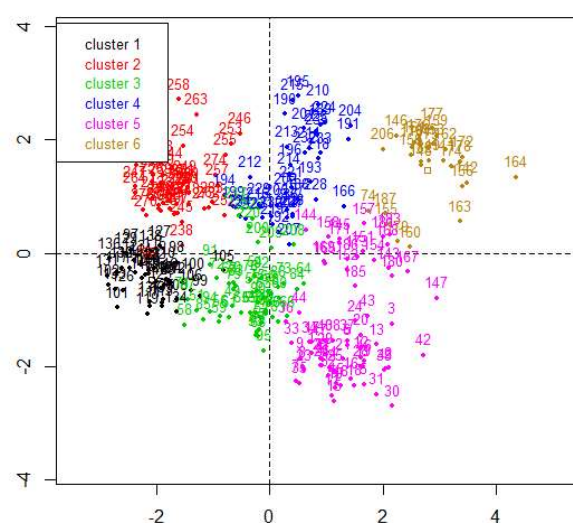


Figure 3 : Clusters mis en évidence par l'analyse multifactorielle pour évaluer l'impact du poids des animaux

5. Conclusion

Au cours de ces deux études expérimentales, il a été constaté qu'aux paramètres réglementaires 150mA/400Hz l'étourdissement était efficace. A ces paramètres, aucun effet du sexe et/ou du poids n'a été constaté.

L'effet du sexe est palpable lorsque les poulets étourdis aux paramètres les plus faibles, notamment au niveau de la qualité des carcasses, les femelles ayant une qualité de carcasse dégradée par rapport à celle des mâles.

Le même constat est fait lorsque l'on évalue le poids des poulets. En effet, plus les poulets étaient lourds, plus les signes de réveil étaient nombreux et moins la qualité de leur carcasse était dégradée.

Notre étude a également permis de mettre en évidence que les mâles étaient moins résistants que les femelles (impédance moins élevée). Ceci a été également décrit dans la littérature. En effet, il a été montré que la résistance (ou impédance) variait en fonction du sexe de l'oiseau et celle des femelles est toujours supérieure à celle des

mâles. L'hypothèse avancée est que cette différence est peut-être due à la plus grande longueur et minceur des pattes de la poule, ce qui induit un contact plus faible avec les crochets de la chaîne d'abattage (Gregory, 1995 ; Prinz, et al., 2012).

Nous avons également mis en évidence que les poulets légers étaient plus résistants que les médiums, eux-mêmes plus résistants que les lourds. Ceci a également été décrit dans la littérature, en effet il a été montré que plus le poids était important, plus la résistance de l'animal diminuait (Wilkins et al., 1998). Wilkins et al. (1998) ont aussi établi, au paramètre 105 mA / 50 Hz, que le poids des animaux avait un effet sur le temps de retour de la respiration et de la tension du cou. En effet, les oiseaux les plus lourds (poids > 2,7 kg) mettaient plus de temps à se rétablir que les poulets légers (poids < 1,68 kg) (Wilkins et al., 1998).

La différence de résistance des animaux, qu'elle soit liée au poids ou au sexe, est sans doute en partie responsable de la variabilité des réponses des poulets face aux paramètres électriques appliqués en terme de retour à la conscience et de qualité des produits. Cette résistance variable pourrait impacter plus profondément la qualité de l'étourdissement dans les abattoirs commerciaux qui utilisent un générateur de tension et non un générateur

d'intensité (catégorie de générateur utilisé dans notre étude). En effet, avec un générateur d'intensité, l'intensité reste fixe quel que soit la résistance du poulet alors qu'avec un générateur de tension, c'est la tension qui est fixée et l'intensité qui varie en fonction de la résistance de l'animal selon la loi d'Ohm : Tension (V) = Intensité (A) x Résistance (Ohms). Dans le cas de l'utilisation d'un générateur de tension, un animal plus résistant recevra un niveau plus faible d'intensité, ce niveau pouvant être en deçà du minimum réglementaire.

Ces résultats permettront aux abatteurs de mieux appréhender les variabilités d'impédance des animaux en fonction de leur poids et de leur sexe et ainsi d'ajuster en fonction les paramètres électriques à appliquer.

Remerciements

Ce projet a été conduit dans le cadre collaboratif de l'UMT BIRD impliquant l'INRA et l'ITAVI, ainsi que dans le cadre du projet FranceAgriMer Expect (2017-2019).

Nous remercions la DGER et le CIPC pour leur concours financier. Nous remercions également les abatteurs qui ont participé au projet.

Références bibliographiques

- Bignon, L.; Mika, A.; Berri, C.; Guardia S. (2013) "Impact de l'électronarcose sur la protection des volailles et la qualité des produits." Actes des 10èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras du 26 au 28 mars, 2013, La Rochelle, France Pages: 450-454
- Bilgili, S. F. (1999). "Recent advances in electrical stunning." Poultry Science 78(2): 282-286.
- Boyd, F. (1994). "Humane Slaughter of Poultry - the Case against the Use of Electrical Stunning Devices." Journal of Agricultural & Environmental Ethics 7(2): 221-236.
- CE Communauté Européenne (2009). "Règlement N°1099/2009 du conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort ". Journal officiel de l'Union Européenne 303:1-30
- Contreras, C. C. and N. J. Beraquet (2001). "Electrical stunning, hot boning, and quality of chicken breast meat." Poultry Science 80(4): 501-507.
- Craig, E. W. and D. L. Fletcher (1997). "A comparison of high current and low voltage electrical stunning systems on broiler breast rigor development and meat quality." Poultry Science 76(8): 1178-1181.
- EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) (2004) "Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals" EFSA Journal, 45, 1-29
- EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) (2012) "Scientific opinion on the electrical requirements for waterbath stunning equipment applicable for poultry." EFSA Journal 2012 10(6) : 2757
- Fletcher, D. L. (1999). "Slaughter technology." Poultry Science 78(2): 277-281.
- Goksoy, E. O., L. J. McKinstry L. J., Wilkins LJ; Parkman I, Phillips A, Richardson RI; Anil MH. (1999). "Broiler stunning and meat quality." Poultry Science 78(12): 1796-1800.
- Gregory, Ng (1995) "Stunning And Slaughter" Chapter 2 Of Processing Of Poultry, Edited By G. C. Mead Afric Institute Of Food Research, Bristol Laboratory, Langford, Bristol, Uk Pp 31-63.
- Gregory, N. G. and S. B. Wotton (1991). "Effect of Depth of Immersion in the Waterbath on the Effectiveness of Electrical Stunning in Chickens." Research in Veterinary Science 51(2): 200-202.
- Gregory, N. G. and S. B. Wotton (1992). "Effect of Wetting a Chickens Feathers on the Effectiveness of Electrical Stunning." Research in Veterinary Science 53(2): 250-251.
- Gregory, N. G. and S. B. Wotton (1987). "Effect of Electrical Stunning on the Electroencephalogram in Chickens." British Veterinary Journal 143(2): 175-183.
- Grilli, C., Loschi A. R., Stocchi R, Leoni L, Conti, F. (2015). "Welfare indicators during broiler slaughtering." British Poultry Science 56(1): 1-5.
- Hindle, V. A., Lambooj E., Reimert HGM, Workel L. D., Gerritzen, MA. (2010). "Animal welfare concerns during the use of the water bath for stunning broilers, hens, and ducks." Poultry Science 89(3): 401-412.
- Kranen, R. W., Lambooj E., Veerkamp CH; Van Kuppevelt TH; Veerkamp JH. (2000). "Haemorrhages in muscles of broiler chickens." Worlds Poultry Science Journal 56(2): 93-126.
- Lambooj, E., Pieterse C, Hillebrand SJW; Dijksterhuis GB. (1999). "The effects of captive bolt and electrical stunning, and restraining methods on broiler meat quality." Poultry Science 78(4): 600-607.
- Mota-Rojas, D., Maldonado, M., Becerril, M., Flores, S., González-Lozano, M., Alonso-Spilsbury, M., Camacho-Morfin, D., Ramirez, R., Cardona, A., & Morfin-Loyden, L. (2008) "Welfare at slaughter of broiler chickens: A review" International Journal of Poultry Science, 7, 1-5.
- Mouchoniere, M., Le Pottier G., Fernandez X. (1999). "The effect of current frequency during waterbath stunning on the physical recovery and rate and extent of bleed out in turkeys." Poultry Science 78(3): 485-489.
- Papinaho, P. A. and D. L. Fletcher (1995). "Effect of Stunning Amperage on Broiler Breast Muscle Rigor Development and Meat Quality." Poultry Science 74(9): 1527-1532.
- Prinz, S. (2009) "Electrical stunning of broiler chickens." World Poultry Science Association, Proceedings of the 19th European Symposium on Quality of Poultry Meat, 13th European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products, Turku, Finland, 21-25 June 2009 Pages: 1-8

Références bibliographiques

- Prinz, S., Van Oijen G., Ehinger F, Bessei W, Coenen A. (2012). "Electrical waterbath stunning: Influence of different waveform and voltage settings on the induction of unconsciousness and death in male and female broiler chickens." *Poultry Science* 91(4): 998-1008.
- Prinz, S., G. Van Oijen, Ehinger F, Coenen A, Bessei W. (2010). "Electroencephalograms and physical reflexes of broilers after electrical waterbath stunning using an alternating current." *Poultry Science* 89(6): 1265-1274.
- Raj, A. B. M. (2003). "A critical appraisal of electrical stunning in chickens." *Worlds Poultry Science Journal* 59(1): 89-98.
- Raj, A. B. M. and S. P. Johnson (1997). "Effect of the method of killing, interval between killing and neck cutting and blood vessels cut on blood loss in broilers." *British Poultry Science* 38(2): 190-194.
- Raj, A. B. M., O'Callaghan M., Knowles TG. (2006). "The effects of amount and frequency of alternating current used in water bath stunning and of slaughter methods on electroencephalograms in broilers." *Animal Welfare* 15(1): 7-18.
- Raj, A. B. M., Wilkins L. J., O'Callaghan M; Phillips AJ. (2001). "Effect of electrical stun/kill method, interval between killing and neck cutting and blood vessels cut on blood loss and meat quality in broilers." *British Poultry Science* 42(1): 51-56.
- Raj, M. (1998). "Welfare during stunning and slaughter of poultry." *Poultry Science* 77(12): 1815-1819.
- Raj, M. and A. Tserveni-Gousi (2000). "Stunning methods for poultry." *Worlds Poultry Science Journal* 56(4): 291-304.
- Savenije, B., Lambooi E., Gerritzen MA; Korf, J. (2002). "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* 81(4): 572-578.
- Sparrey, J. M., Paice M. E. R, Kettlewell PJ. (1992). "Model of Current Pathways in Electrical Water Bath Stunners Used for Poultry." *British Poultry Science* 33(5): 907-916.
- von Wenzlawowicz, M. and K. von Holleben (2001). "Assessment of stunning effectiveness according to the present scientific knowledge on electrical stunning of poultry in a waterbath." *Archiv Fur Geflugelkunde* 65(5): 193-198.
- Wilkins, L. J., Gregory N. G., Wotton SB; Parkman ID. (1998). "Effectiveness of electrical stunning applied using a variety of waveform-frequency combinations and consequences for carcass quality in broiler chickens." *British Poultry Science* 39(4): 511-518.

Electrical stunning of poultry: influence of animal sex and weight

Stunning in slaughterhouse is an essential stage preceding bleeding and allowing to maintain the unconsciousness of the animal until death. This practice is under the regulation N 1099/2009. In France, electric waterbath stunning is the method the most wide-spread to stun broiler chickens, for which the regulation imposes a minimum current that must be distributed to every chicken, following the applied frequency. According to the literature, the unconsciousness of animals is better guaranteed for applied frequencies lower than 200 Hz and an intensity applied by animal above 120 mA, while products quality is better for frequencies above 1000 Hz and an intensity lower than 100 mA. However, other parameters than the electric parameters may influence stunning efficiency and the carcasses quality such as the sex of animals and their weight. In our study, we tested the impact of the sex (male and female) depending of the electric parameters (150 mA – 400Hz, 90 mA – 400 Hz et 90 mA 600 Hz) and the impact of animal weight (1.3 kg, 1.9 kg and 2.5 kg) depending of the electric parameters (150 mA – 400Hz and 90 mA – 400 Hz) on stunning efficiency and product quality. The sex of animals had no significant effect on stunning efficiency whatever are the tested electric parameters. However for the electric parameter 90mA / 400Hz, females presented more red heads than males. The weight of animals influenced stunning efficiency and carcasses quality. Whatever are the applied electric parameters, the heavy chickens (2.5 kg) presented fewer red wings of severe class than those of the other weighty categories. Furthermore, with the parameter 90mA / 400Hz, the heavy chickens after bleeding, shook more the head and the wings. With the electric parameters 150mA / 400Hz, the chickens are well stunned without impact of the sex and the weight. With the electric parameters below the regulations, the quality of the carcasses of females seems more degraded than that of males. With this parameter, the more the chickens were heavy, the more the signs of awakening were many and less the quality of their carcass was degraded.