



HAL
open science

Les courants électriques parasites en élevage

Karim Rigalma, Christine Duvaux-Ponter, François Gallouin, Sabine Roussel

► **To cite this version:**

Karim Rigalma, Christine Duvaux-Ponter, François Gallouin, Sabine Roussel. Les courants électriques parasites en élevage. INRA Productions Animales, 2009, 22 (4), pp.291-302. hal-01173516

HAL Id: hal-01173516

<https://hal.science/hal-01173516>

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les courants électriques parasites en élevage

K. RIGALMA, C. DUVAUX-PONTER, F. GALLOUIN, S. ROUSSEL

AgroParisTech, Département Sciences de la Vie et Santé, 16 rue Claude Bernard, F-75231 Paris, France

Courriel : rigalma@agroparistech.fr

L'électricité est indispensable à l'élevage moderne. Cependant, des phénomènes non désirés comme les tensions électriques parasites (< 10 volts), d'origine interne ou externe à l'exploitation agricole, peuvent apparaître. Quelles sont leurs conséquences sur le comportement, la physiologie du stress et les performances zootechniques des animaux de rente ?

En France, entre 1830 et 1950, l'essor du machinisme et la diffusion des nouvelles formes d'énergie ont joué un rôle clef dans les progrès de l'agriculture (Jussiau *et al* 1999). L'énergie électrique a contribué à ce progrès en offrant un large panel de machines et d'appareils, capables de fonctionner en continu. Ces machines électriques se sont substituées à l'homme pour un nombre croissant d'opérations. L'élevage moderne et ses nouveaux équipements (robot de traite, distributeur automatique de concentrés, gestion électronique du troupeau...) font désormais largement appel à l'électricité. Ainsi, aujourd'hui, en élevage laitier, 20% de l'énergie totale nécessaire à la production de 1000 litres de lait sont d'origine électrique (Beguin *et al* 2008). Le bloc traite (tank à lait, chauffe-eau et pompe à vide) représente 85% de la consommation électrique d'une exploitation laitière, l'éclairage étant un poste secondaire (Galan *et al* 2007).

Une étude bibliographique permet de situer dans les années 40, en Australie, les premières observations impliquant des tensions électriques en salle de traite comme agent stressant chez la vache laitière (Churchward 1948). Il faut cependant attendre le début des années 80 pour voir publier, en Amérique du Nord, les premières études relatives aux effets des tensions électriques parasites sur les animaux de rente. En France, la question des effets des tensions électriques parasites chez les animaux d'élevage émerge au début des années 90 (Brugère 1993, Blatin et Benetière 1998). L'expression anglo-saxonne «*stray voltage*», utilisée pour décrire ce phénomène, se traduit par l'expression française «tension élec-

trique parasite». Or, l'animal est sensible au courant et non à la tension elle-même (Norell *et al* 1983, Hultgren 1990). C'est pourquoi d'autres expressions sont utilisées comme «*stray current*» ou «*transient current*» («courant vagabond» ou «courant transitoire»). Dans les expérimentations, les auteurs ont appliqué soit une tension électrique (exprimée en volts, V), soit un courant électrique (exprimé en milliampères, mA).

La définition des tensions électriques parasites, donnée par des chercheurs et des universitaires américains suite à la demande du Département de l'Agriculture des Etats-Unis (Lefcourt 1991), est la suivante : «*Une tension électrique parasite est une tension de faible amplitude (inférieure à 10 volts), mesurée entre deux points qu'un animal peut simultanément toucher. Parce que l'animal répond au courant produit par la tension et non pas à la tension elle-même, la source de la tension parasite doit être capable de produire un courant électrique*».

Dans les élevages d'Amérique du Nord, les tensions électriques parasites sont principalement dues au mode de distribution de l'électricité : la mise à la terre des clients est reliée à la mise à la terre et au neutre du réseau de distribution (Hydro-Québec 2005). En Europe cela varie d'un pays à l'autre. En France, par exemple, le neutre et la mise à la terre du réseau de distribution sont reliés ensemble mais pas à la mise à la terre du client.

Ainsi, en Amérique du Nord, contrairement à la situation européenne, des fluctuations de courant extérieures à

l'exploitation peuvent produire des pics de tensions à l'intérieur de cette dernière. Une enquête menée auprès de 140 exploitations laitières en Ontario (Canada) a montré que 21% des exploitations enquêtées étaient touchées par des tensions électriques parasites supérieures à 1 V (Rodenburg 1998). En Europe, bien que le mode de distribution de l'électricité soit différent, la présence de tensions électriques parasites est avérée au sein des exploitations agricoles (Lasseret 2001, Gallouin 2002).

Enfin, la question des effets des tensions électriques parasites en élevage possède une dimension polémique. En effet, certains éleveurs, confrontés à des problèmes non résolus et pour lesquels aucune explication n'a pu être validée, mettent en cause la présence de courants électriques parasites au sein de leur élevage (Brugère 2006, Gallouin 2009).

Après avoir présenté les origines des tensions électriques parasites en élevage, l'objectif de cette revue est de montrer les conséquences des tensions électriques parasites sur le comportement, la physiologie et les performances zootechniques des espèces de rente. Nous nous appuyons principalement sur les résultats des expérimentations ayant eu lieu en Amérique du Nord, en raison du faible nombre d'expérimentations réalisées en France, les principaux modèles d'études étant la vache laitière et le porc. Les résultats des expérimentations nord-américaines sont cependant transposables à l'Europe (courant sinusoïdal, de fréquences voisines : 60 Hz aux USA et 50 Hz en Europe).

1 / Tensions électriques parasites en élevage

1.1 / Origines

En élevage, les équipements électriques et le matériel agricole sont soumis aux intempéries, à l'humidité, aux poussières, aux chocs et à la corrosion notamment par les lisiers, les aliments et les engrais. Tous ces facteurs accélèrent leur dégradation et augmentent donc les risques d'incidents d'origine électrique. Dans les conditions d'élevage, les animaux peuvent être soumis à deux types de tensions électriques parasites : les tensions de pas et les tensions de contact. Les tensions de pas surviennent lorsqu'un courant s'établit entre les membres antérieurs et postérieurs d'un animal (figure 1A). Les tensions de contact apparaissent au contact d'un élément (par exemple un abreuvoir, figure 1B) : un courant traverse alors l'animal et revient au sol par les pattes (Bourget *et al* 2000). Les tensions électriques parasites ont principalement deux origines : une origine interne liée à l'activité de l'élevage comme le couplage électrochimique, la décharge électrostatique ou le courant de fuite, et une origine externe comme le couplage inductif ou capacitif imputables aux équipements et réseaux proches de l'exploitation agricole (Deschamps 2002).

a) Origines internes

Dans le cas d'un couplage électrochimique, des produits comme les engrais

Figure 1. Deux types de tensions électriques parasites coexistent en élevage : les tensions de pas (A) et les tensions de contact (B).

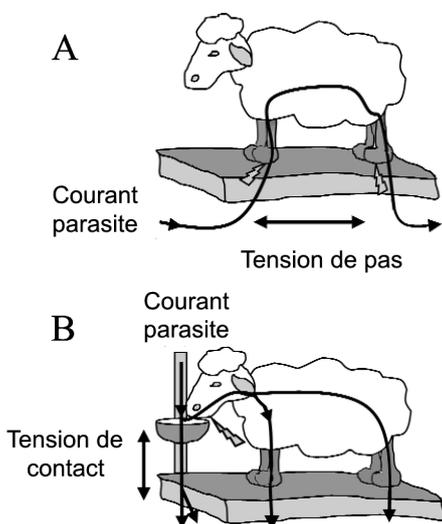
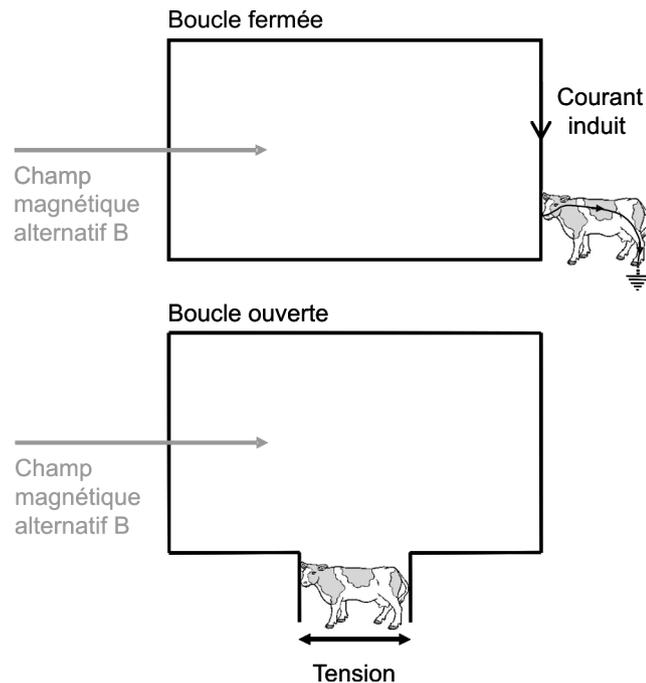


Figure 2. Principe du couplage inductif dans une structure métallique.



chimiques et le lisier se comportent dans un sol humide comme l'électrolyte d'une batterie. En présence de masse métallique, il se produit une migration de charges positives et négatives. Ainsi, un sol initialement isolant peut devenir conducteur. Ceci se traduit par l'apparition de tensions électriques continues de faible niveau (jusqu'à 1 ou 2 V) entre des éléments métalliques.

La décharge électrostatique correspond à l'évacuation instantanée à la terre d'une charge d'électricité statique accumulée sur des matériaux, le plus souvent suite à des frottements (ex. courroies isolantes, tapis roulants...).

Un courant de fuite est un courant dont l'apparition est liée à l'utilisation d'un appareil électrique (ex. démarrage d'une pompe, de la machine à traire...). La protection contre les courants de fuite repose essentiellement sur le câblage du fil de terre qui constitue un chemin privilégié pour leur écoulement. Le défaut de mise à la terre, c'est-à-dire le raccordement défectueux ou inexistant des installations électriques à la terre, est une des principales causes de tensions électriques parasites en élevage (Brugère 1993, Lasseret 2001, Deschamps 2002). Ainsi, le courant de retour des clôtures électriques ou les courants de fuite des machines circulent dans le sol et les bâtiments, et induisent des différences de potentiel entre des structures métalliques non connectées entre elles.

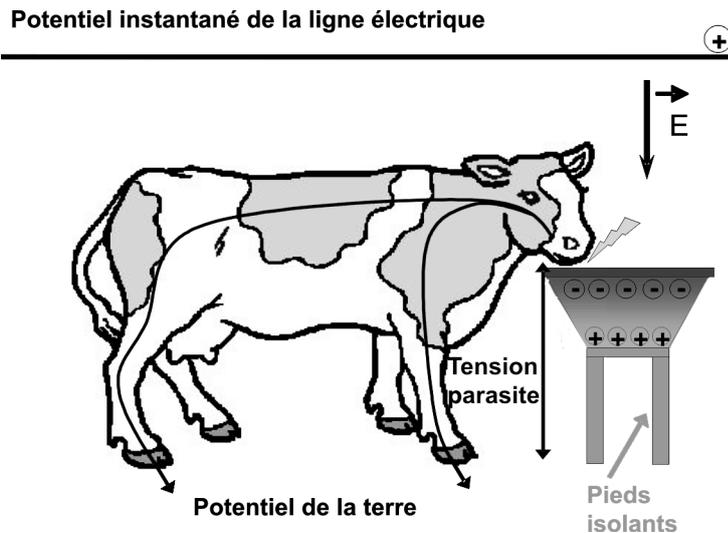
b) Origines externes

Les champs électromagnétiques produits par les équipements ou par les réseaux (EDF, SNCF, télécommunications) peuvent interférer avec des structures métalliques avoisinantes qui se comportent alors comme des antennes. Les phénomènes de couplage créés sont de deux types : le couplage inductif, dont la source est un champ magnétique, et le couplage capacitif, généré par un champ électrique. Dans le cas d'un couplage inductif, le champ magnétique induit des tensions et des courants dans toutes les structures métalliques formant une boucle, selon le principe présenté dans la figure 2. Dans le cas du couplage capacitif, le champ électrique provoque une migration des charges électriques à la surface des conducteurs isolés du sol, d'où la création d'une différence de potentiel. Lorsque l'animal entre en contact avec le conducteur, la migration des charges électriques vers le sol est réalisée *via* le corps de l'animal (figure 3).

1.2 / Résistance tissulaire et corporelle

L'animal étant sensible au courant, et non à la tension, la résistance électrique joue un rôle important dans l'effet des tensions électriques parasites sur les animaux d'élevage. Ainsi, selon la Loi d'Ohm, l'intensité du courant (I , exprimée en ampères) est dépendante de la tension (U , exprimée en volts) et de la résistance du corps de l'animal

Figure 3. Principe du couplage capacitif d'une ligne électrique (par son champ électrique E) sur un abreuvoir métallique isolé du sol (d'après Bourget et al 2000).



(R, exprimée en ohms, Ω) selon l'équation $U = R \times I$.

a) Tissus et résistance électrique

Les propriétés électriques des tissus biologiques sont complexes et varient

considérablement en fonction de la nature du tissu, de la permittivité relative (réponse d'un milieu donné à un champ électrique), de la conductivité et de la température. Ainsi, Geddes et Baker (1967) ont observé que la résis-

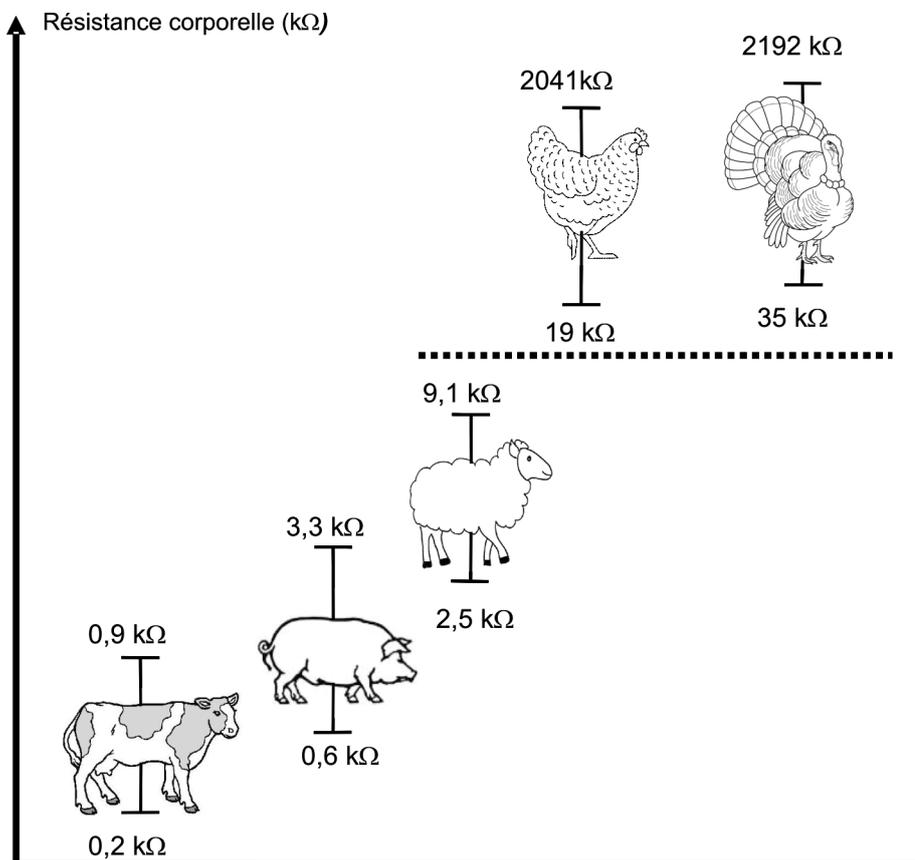
tance des liquides et de la très grande majorité des tissus diminue lorsque la température augmente. Ces auteurs ont également conclu que les liquides sans cellules (urine, liquide amniotique, plasma) ont les plus faibles résistances électriques alors que les poumons, le tissu adipeux et les os sont de mauvais conducteurs.

b) Résistances corporelles chez différentes espèces

La résistance des corps varie en fonction de l'espèce : les volailles ont une résistance électrique totale plus élevée que les ovins, les porcins et les bovins (figure 4).

Le tableau 1 présente, selon le trajet parcouru, les valeurs de résistance électrique chez la vache laitière obtenues avec des électrodes, c'est-à-dire avec de faibles résistances de contact. En Amérique du Nord, il a été admis, dans un but de simplification sur le terrain, de fixer (estimation) la résistance corporelle de la vache à 1000 ohms dans les cas les plus fréquents et à 500 ohms dans les conditions les plus défavorables (milieu humide, trajet à travers l'animal offrant la plus faible résistance, faibles résistances de contact...) (Brugère 2002). Cependant, des mesures réalisées en condition d'élevage chez des génisses laitières (tension parasite appliquée à une mangeoire métallique, l'animal étant sur une plaque métallique) ont donné une résistance de l'ensemble mangeoire-animal-sol plus élevée : en moyenne 1407 ohms mais avec une grande variabilité, de 115 à 4038 ohms (Rigalma, résultats non publiés).

Figure 4. Résistances corporelles (en $k\Omega$) des espèces animales de rente mesurées entre le muflle ou le bec et les membres au moyen d'électrodes (bovins) ou en conditions d'élevage (porcins, ovins, poules et dindes) ($1 k\Omega = 1000 \Omega$) (d'après Appleman et Gustafson 1985, Halvorson et al 1989, Robert et al 1993, Vidali et al 1995, Roussel résultats non publiés).



Chez les porcins, Robert *et al* (1993) ont observé que la résistance totale (groin-onglons) de porcs âgés de 9 à 22 semaines logés sur un sol humide ou un sol sec variait de 569 à 2786 ohms (figure 5).

Les ovins, peu étudiés, présentent des résistances électriques plus élevées que les bovins et les porcins. Chez des agnelles âgées de quatre mois et demi, l'application d'une tension électrique à une mangeoire métallique, l'animal étant sur une plaque métallique, a entraîné une grande variabilité de la résistance mangeoire-animal-sol : de 1320 à 9100 ohms (Roussel, résultats non publiés).

Les volailles présentent une résistance électrique totale (bec-pattes) beaucoup plus élevée que les autres animaux de rente, supérieure à

Tableau 1. Valeur moyenne et étendue de la résistance électrique de la vache laitière selon le trajet parcouru par le courant électrique.

Trajet	n*	Moyenne (Ω)	Etendue (Ω)	Fréquence ⁺ (Hz)	Références
Mufle - sabots	70	350	324-393	60	(Craine 1975)
	28	359	244-525	60	(Norell <i>et al</i> 1983)
Sabots antérieurs - sabots postérieurs	28	738	496-1152	60	(Norell <i>et al</i> 1983)
Trayon - sabots	28	600	402-953	60	(Norell <i>et al</i> 1983)
	4	880	640-1150	50	(Whittlestone <i>et al</i> 1975)

*n = nombre d'individus testés. + fréquence du courant du secteur.

18 800 ohms chez la poule pondeuse (Vidali *et al* 1995) et supérieure à 35 000 ohms chez le dindonneau (Halvorson *et al* 1989). Ces fortes valeurs peuvent s'expliquer par la résistance élevée présentée par les pattes et le bec de ces animaux.

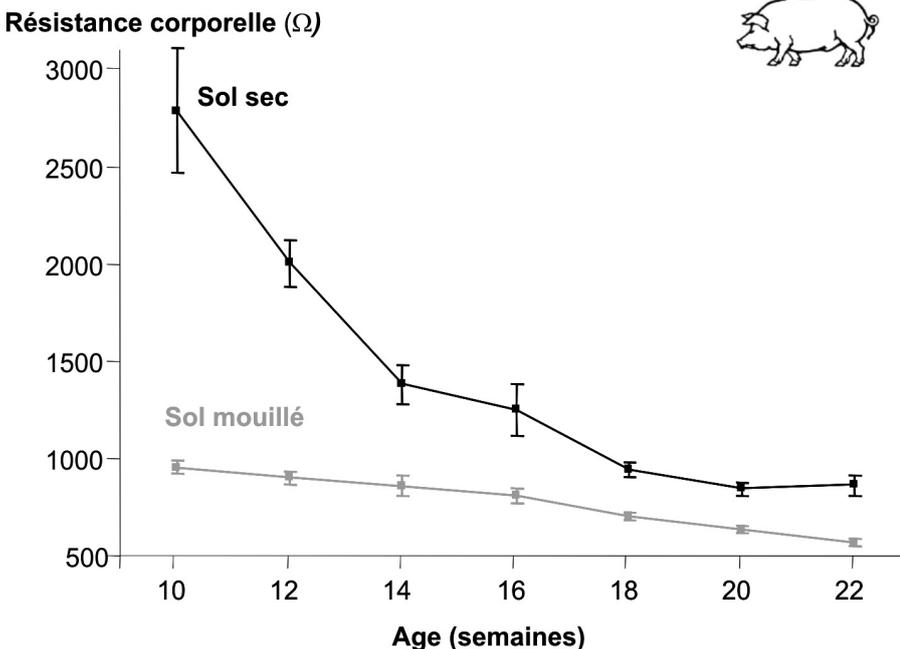
La résistance électrique du corps humain varie de 1000 à 5000 ohms en conditions sèches et de 650 à 1000 ohms en conditions humides (AFNOR 1956). Cependant, en élevage, l'éleveur porte des chaussures ou des bottes en caoutchouc qui augmentent sa résistance et donc son seuil de perception du courant électrique. Ces éléments peuvent expliquer au moins en partie la difficulté à diagnostiquer la présence de tensions électriques parasites dans l'élevage.

c) Facteurs de variations de la résistance corporelle des animaux en élevage

Dans les conditions habituelles d'élevage, de nombreux facteurs font varier la résistance propre de l'animal. Ainsi, la résistance électrique diffère chez la vache laitière suivant le trajet parcouru par le courant (tableau 1). Certaines parties du corps de l'animal sont des points d'entrée et de sortie privilégiés pour le courant électrique : la bouche, le mufle, la tête, l'encolure, la mamelle, les pattes et les sabots (Brugère 2002). Les points d'entrée et de sortie du courant offrent des résistances électriques de contact qu'il faut aussi prendre en compte (figure 6). En effet, Robert *et al* (1994b) ont montré que la résistance corporelle interne des animaux ne représentait qu'une faible partie de la résistance corporelle totale par rapport aux résistances

des points de contact (entrée et sortie). Le poids peut également faire varier la résistance électrique corporelle. Ainsi, la prise de poids (et l'augmentation concomitante de la pression podale) diminue la résistance électrique corporelle totale des porcs à l'engrais (figure 5) (Robert *et al* 1993). Au cours de l'engraissement, le porc présente donc de moins en moins de résistance aux courants électriques parasites.

Les conditions environnementales contribuent également à faire varier la résistance corporelle. Robert *et al* (1993) ont ainsi montré que la présence d'humidité au sol (caillebotis humide vs caillebotis sec) diminue la résistance corporelle totale chez le porc (figure 5). Par ailleurs, chez cette même espèce, Valiquette *et al* (1994) ont observé qu'un sol recouvert d'urine diminuait la résistance du point de contact onglons-sol. Cependant, chez la vache laitière, Norell *et al* (1983) n'ont pas observé de différences de résistance électrique selon que celle-ci était mesurée dans des conditions sèches (sabots brossés et secs) ou humides (sabots lavés et sol humidifié). De plus, Halvorson *et al* (1989) ont montré que l'ajout de vitamines et d'électrolytes à l'eau de boisson, afin de simuler un traitement médicamenteux (chez les volailles), réduisait de moitié la résistance de l'eau. La fréquence du courant électrique est également un facteur influençant la résistance corporelle des animaux de rente, celle-ci diminuant lors de l'augmentation de la fréquence du courant électrique (Matte *et al* 1992, Robert *et al* 1994a).

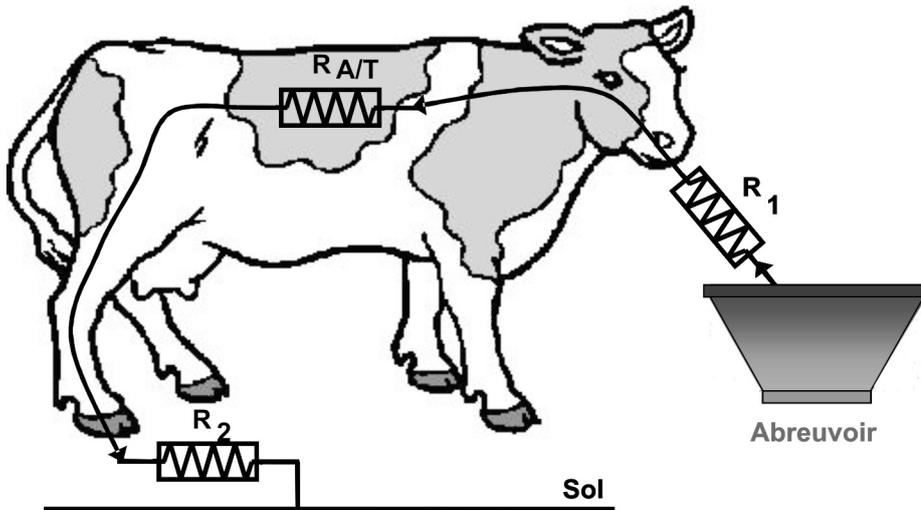
Figure 5. Evolution de la résistance corporelle (ohms, moyenne \pm écart-type) de porcs au cours de leur croissance en fonction du type de sol (sec vs mouillé) (d'après Robert *et al* 1993).

2 / Conséquences des tensions électriques parasites sur les animaux de rente

2.1 / Seuils de réponses

Chez l'homme, les seuils de réponse au courant électrique (de fréquence

Figure 6. Lors de la buvée, le courant qui traverse l'animal du mufle aux sabots postérieurs est fonction du montage en série de la résistance de contact R_1 (entre l'abreuvoir et le mufle), de la résistance de l'animal (qui est fonction du trajet, $R_{A/T}$) et de la résistance de contact R_2 (entre les sabots et le sol).



50-60 Hz) sont bien connus et sont intégrés dans la prévention des risques électriques dans le monde du travail (INRS 2007). La perception cutanée a lieu à partir de 0,5 mA. De 0,5 à 10 mA aucun effet physiologique dangereux n'est observé. Au-delà de 10 mA, en fonction de la durée du contact, les réponses vont de la contraction musculaire à la fibrillation ventriculaire et jusqu'à l'arrêt cardiaque (40 mA pendant 5 secondes, 50 mA pendant 1 seconde ou 500 mA pendant 10 millisecondes). Ces valeurs moyennes cachent cependant une variabilité individuelle de réponse très importante, chez l'homme comme chez l'animal.

Pour les animaux d'élevage, les seuils de réponses aux tensions électriques parasites sont plus difficiles à apprécier et les auteurs adoptent diverses procédures expérimentales pour les mesurer. Ainsi, chez des vaches laitières, Norell *et al* (1983) ont utilisé la suppression d'une réponse conditionnée (appui sur un plateau métallique pour obtenir du concentré) pour déterminer le seuil de réaction au courant électrique. L'augmentation progressive de la tension électrique appliquée sur une mangeoire métallique a été utilisée pour déterminer le seuil de réaction chez la brebis (Duvaux-Ponter *et al* 2005), chez l'agnelle (Duvaux-Ponter *et al* 2006) et chez la génisse (Roussel *et al* 2007), le courant circulant alors du mufle vers les sabots. Reinemann *et al* (1999b) ont également soumis des vaches laitières à une augmentation progressive de courant entre le museau et les sabots afin de déterminer leur seuil de réaction.

Les seuils de réaction à la tension ou au courant électrique sont particulièrement dépendants des conditions expérimentales dans lesquelles ils ont été obtenus. Ainsi, le seuil de réaction d'agnelles soumises à des tensions électriques est plus facile à déterminer si l'animal a la possibilité de passer d'une mangeoire électrifiée à une mangeoire non-électrifiée que si seule la mangeoire électrifiée lui est proposée (Duvaux-Ponter *et al* 2006). De même, chez le porc, l'absence de choix augmente la quantité de courant électrique nécessaire pour provoquer une modification du comportement de buvée (Gustafson *et al* 1986).

Trois types de seuils de réponses aux tensions électriques parasites pourraient être définis chez les animaux d'élevage : *i*) Un seuil de sensation : l'animal prend conscience au travers de ses sens de la présence du courant électrique sans modification visible de son comportement. Les outils de recherche actuels ne permettent pas de déterminer le niveau exact de ce seuil ; *ii*) Un seuil de réaction transitoire : la réaction de l'animal se traduit par une modification comportementale et/ou physiologique ponctuelle ; *iii*) Un seuil de réaction persistante : à partir de ce niveau de tension, l'animal modifie son activité de manière durable.

Dans le cadre des études concernant les effets des agents stressants sur le bien-être des animaux de rente, il est généralement admis, qu'en raison de leur plus grande sensibilité, les critères comportementaux sont particulièrement intéressants en complément des

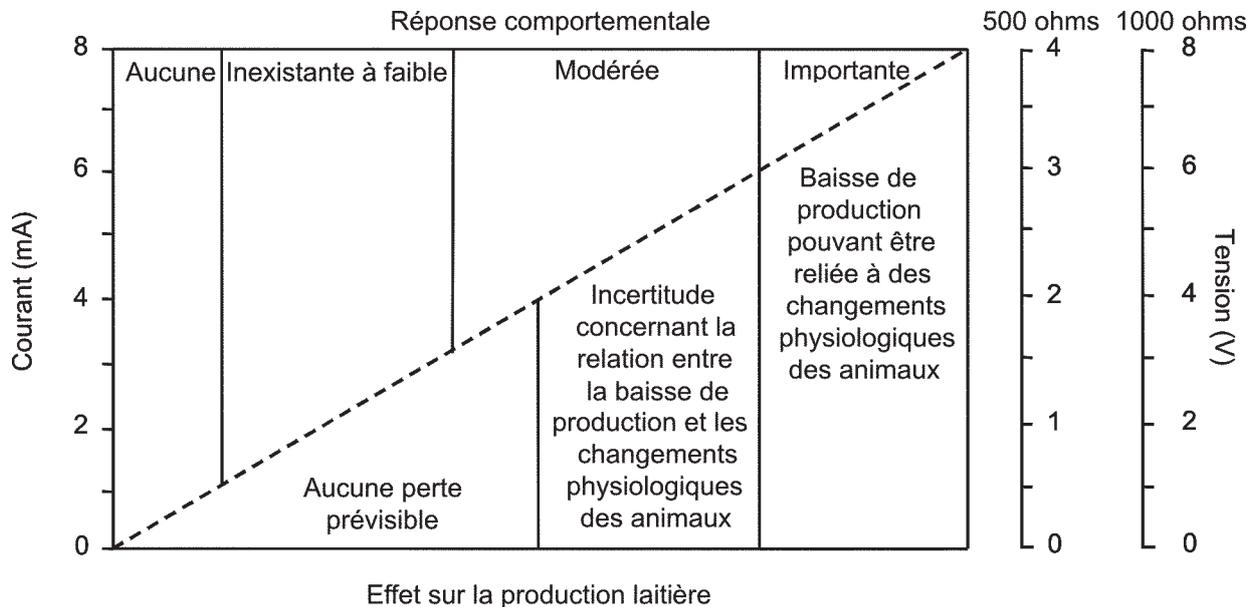
critères physiologiques, zootechniques et sanitaires plus classiquement rencontrés (Veissier *et al* 1999). Au cours des expérimentations menées chez les animaux de rente, les seuils de réponse aux tensions électriques sont donc généralement évalués en étudiant les réponses comportementales et physiologiques des animaux ainsi que les conséquences éventuelles de ces tensions sur des paramètres de production.

2.2 / Réponses comportementales

De nombreuses études ont utilisé une approche comportementale descriptive afin de caractériser la réponse des animaux aux tensions électriques parasites et de déterminer les seuils de réponse aux tensions électriques. Cependant, pour un même trajet emprunté par le courant, les réponses comportementales peuvent être très variées, du simple lever de patte au sursaut, à la crispation et jusqu'au courbement de dos et au coup de patte pour les vaches laitières (Lefcourt *et al* 1986). La difficulté pour les auteurs réside donc dans le choix de critères comportementaux pertinents pour définir le seuil de réponse des animaux aux tensions parasites. Reinemann *et al* (1999b) ont déterminé que l'activité faciale (mouvements de la tête, du museau ou des oreilles...) était le critère comportemental le plus sensible et le plus répétable lorsque l'application d'un courant électrique était réalisée entre le mufle et les sabots, le soulèvement des sabots étant également un bon critère de détermination du seuil de réaction. Les réponses observées en présence de tensions parasites chez les bovins vont d'une réponse comportementale modérée à une réponse comportementale sévère. Lefcourt (1982) définit la «réponse comportementale modérée» par la manifestation de tressaillements de la peau ou de vocalisations auxquelles peuvent s'ajouter, selon les auteurs, des levers intempestifs de pattes ou bien une «danse» d'une patte sur l'autre, de la crispation musculaire et des mouvements soudains de la tête (Gustafson *et al* 1985, Lefcourt *et al* 1986, Brugère 2002). La «réponse comportementale sévère» se traduit par des sauts, des courbements de dos et des coups de pattes (Lefcourt *et al* 1985, 1986, Aneshansley *et al* 1992).

Chez les bovins, il serait possible de réduire les seuils de réponse comportementale observés dans la littérature à deux valeurs : 2 et 6 mA. Ainsi, généralement aucune réponse n'a été

Figure 7. Réponses comportementales et effets sur la production laitière en fonction du courant électrique (axe des ordonnées à gauche) chez la vache laitière. Les tensions (axes des ordonnées à droite) sont estimées en considérant la résistance corporelle de la vache à 500 ohms (conditions défavorables, c'est-à-dire milieu humide, trajet à travers l'animal offrant la plus faible résistance ou faible résistance de contact) et à 1000 ohms (cas le plus fréquent en élevage). Les informations fournies par cette figure correspondent à l'opinion consensuelle d'experts en sciences animales qui ont participé à la plupart des recherches sur les tensions électriques parasites conduites aux Etats-Unis et au Canada (d'après Aneshansley et Gorewit 1991). Cette figure représente les réponses moyennes. Cependant, de par la variabilité individuelle, il est probable que certains individus répondent à des courants ou tensions plus faibles.



observée jusqu'à 2 mA (environ 2 V) chez des vaches laitières (Gustafson *et al* 1985). De 2 à 6 mA (2 à 4 V selon les auteurs), les réponses sont durables et de type «réponses comportementales modérées» (Norell *et al* 1983, Roussel *et al* 2007). Au delà de 6 mA (ou > 4 V selon les auteurs), des «réponses comportementales sévères» peuvent être observées et certains animaux dits «sensibles» manifestent alors des comportements dangereux qui mettent en jeu leur sécurité et celle des expérimentateurs (Lefcourt *et al* 1986). Les chercheurs nord-américains (Etats-Unis et Canada) sont arrivés au consensus de trois valeurs seuils : absence de réponse comportementale jusqu'à 1 mA, une perception du courant de 1 à 3 mA, des réponses comportementales modérées de 3 à 6 mA et des réponses sévères au delà de 6 mA (figure 7, d'après Aneshansley et Gorewit 1991).

Chez des porcs à l'engrais, aucune réponse comportementale n'a été observée jusqu'à 0,25 mA appliqués sur l'abreuvoir. A partir de 3 mA le temps de buvée a été affecté avec, au-delà de 4 mA, une réduction de la quantité d'eau consommée (Gustafson *et al* 1986). Certaines observations en élevage porcin font cependant état de caudo-phagie chez les animaux soumis à des tensions électriques parasites (Lasseret 2001). Chez le mouton, des réponses

comportementales modérées durables sont observées à partir de 5 V (Duvaux-Ponter *et al* 2005, 2006).

2.3 / Réponses physiologiques

Les réponses physiologiques à un agent stressant mettent en jeu le système nerveux sympathique (libération des catécholamines : adrénaline et noradrénaline) et l'axe corticotrope (libération de cortisol chez les ruminants et les porcins). Les catécholamines agissent sur le système cardiovasculaire en augmentant la fréquence cardiaque. En raison des contraintes expérimentales liées à la mesure directe des catécholamines, le recours à la mesure de la fréquence cardiaque est très fréquent pour évaluer l'état de stress (Hopster et Blokhuis 1994, Veissier *et al* 1999, von Borell *et al* 2007), malgré le fait que les variations de la fréquence cardiaque ne soient pas spécifiques de l'effet des catécholamines. Pour apprécier la réponse de l'axe corticotrope de l'animal en situation de stress, le dosage du cortisol est une mesure courante dans l'évaluation d'un stress aigu (Mormède *et al* 2007).

a) Fréquence cardiaque

L'intensité du courant électrique a un effet sur la fréquence cardiaque. Ainsi, chez la vache laitière, des courants de

3,6 mA, 6 mA, 10 mA et 12,5 mA, appliqués entre la patte antérieure droite et la patte postérieure droite, durant la traite, entraînent respectivement une augmentation de +3, +6, +17 et +30 battements/minute (augmentations relatives de +4%, +8%, +23% et +40%, respectivement) (Lefcourt *et al* 1985, 1986). Par ailleurs, Gorewit et Scott (1986) ont observé une augmentation de +25 battements/minute (augmentation relative de +33%) chez des vaches laitières immédiatement après l'application de 4 mA dans la région lombaire.

b) Endocrinologie (catécholamines et cortisol)

Chez des vaches laitières, les concentrations plasmatiques d'adrénaline et de noradrénaline ne semblent pas affectées par des courants de 2,5 mA et de 12 mA, appliqués entre la patte antérieure droite et la patte postérieure droite (Lefcourt et Akers 1982, Lefcourt *et al* 1986). Chez des génisses laitières, une élévation transitoire de la concentration plasmatique en cortisol par rapport à des animaux témoins a été observée suite à l'application d'une tension électrique de 1 V (environ 1,3 mA) au niveau de la mangeoire mais cette augmentation n'était plus observée pour des tensions supérieures (Rigalma, résultats non publiés). Une augmenta-

tion de la concentration plasmatique en cortisol a également été mise en évidence, chez la vache laitière pour un courant de 8 mA appliqué entre la mamelle et les sabots (Henke Drenkard *et al* 1985), chez la brebis pour un courant de 4 mA appliqué sur la patte antérieure (Przekop *et al* 1985) et chez le porc pour un courant de 2,5 mA appliqué sur la patte arrière (Ziecik *et al* 1993). L'application d'un courant électrique n'entraîne pas une augmentation systématique de la concentration plasmatique en cortisol comme le montrent les résultats de Reinemann *et al* (2003) qui ont appliqué (entre les sabots antérieurs et postérieurs) des courants de 3 à 5,25 mA à des vaches laitières. Cependant, les réponses en cortisol des animaux soumis à des tensions électriques parasites sont à interpréter avec prudence au regard de la sécrétion pulsatile et des rythmes ultra- et circadiens du cortisol (Mormède *et al* 2007).

2.4 / Performances zootechniques et état sanitaire

a) Production laitière

A partir d'observations en élevage, de nombreux auteurs associent une chute de la production laitière à la présence de tensions électriques parasites (Salisbury et Williams 1967, Sanders *et al* 1981, Wilson *et al* 1996). Ainsi, en éliminant des tensions électriques parasites générées par le distributeur automatique de concentrés, Wilson *et al* (1996) ont observé une augmentation de la production laitière.

Cependant, la plupart des études sur les performances laitières en milieu expérimental contrôlé ne montrent pas d'effets des tensions parasites. Ainsi, la quantité de lait produite et sa qualité (taux butyreux et protéique) ne sont pas modifiées chez des vaches laitières soumises à des courants de 1 à 8 mA appliqués au niveau de la colonne vertébrale (Gorewit *et al* 1985, Gorewit et Scott 1986), de la mamelle aux sabots (Henke Drenkard *et al* 1985), entre le sabot postérieur droit et le genou antérieur droit (Lefcourt *et al* 1985), ou entre les sabots antérieurs et postérieurs (Reinemann *et al* 2002). Le temps de traite n'est pas modifié par des courants de 3,6 à 8 mA appliqués de la mamelle aux sabots (Henke Drenkard *et al* 1985) ou entre le sabot postérieur droit et le genou antérieur droit (Lefcourt *et al* 1985).

Néanmoins, Lefcourt et Akers (1982) observent une diminution de la produc-

tion laitière (- 12%) et de la durée de traite (- 51 secondes) suite à l'application aléatoire, lors de la traite, de 5 mA entre la patte antérieure droite et la patte postérieure droite. Ces auteurs n'observent cependant pas de modifications physiologiques concomitantes à la diminution de production laitière (les concentrations plasmatiques en ocytocine et en catécholamines restent inchangées). De plus, à part l'étude de Gorewit *et al* (1992a) réalisée à l'échelle d'une lactation complète et qui n'a montré aucun effet de l'exposition à des tensions comprises entre 1 et 4 V au niveau de l'abreuvoir, les études sont réalisées la plupart du temps sur une échelle de temps réduite (généralement inférieure à 1 semaine).

b) Production de viande

La quantité d'aliment ingérée et le gain moyen quotidien entre les âges de 17 et 21 semaines de porcs soumis à une tension électrique de 5 V (environ 8 mA), appliquée entre la mangeoire ou l'abreuvoir et le sol, ont été moins élevés que ceux des animaux témoins (Robert *et al* 1991). Cependant, ces effets n'ont pas été confirmés par Robert *et al* (1992) et par Godcharles *et al* (1993). Chez le poussin, l'exposition à un courant électrique de 2,9 à 8,7 mA appliqué entre les pattes (au moyen d'un sol grillagé) a entraîné une diminution du gain de poids et de l'ingestion, et une augmentation de l'indice de consommation (McFarlane *et al* 1989).

c) Production d'œufs

Dans un élevage de poules pondeuses soumis à des tensions électriques parasites de 0,8 à 1,5 V au niveau de l'abreuvoir et de la cage, Wilcox et Jordon (1986) ont observé une baisse de la consommation d'aliments et une réduction de la ponte de l'ordre de 30% par rapport aux résultats «normaux» de l'élevage. La réduction de ces tensions électriques parasites à 0,2 V a été accompagnée d'un retour à la normale de la consommation d'aliments et d'eau ainsi que de la ponte, ce qui laisse supposer que les tensions électriques parasites pourraient nuire aux performances de ponte. Cependant, chez la poule pondeuse, une expérimentation menée en milieu contrôlé a montré que des tensions électriques de 1 à 18 V (de 0,0025 mA à 0,045 mA), appliquées entre le bec et les pattes, n'avaient d'effets ni sur la fréquence de ponte hors du nid ni sur la consommation d'eau et de nourriture (Vidali *et al* 1995). De plus, une étude menée dans

quinze élevages de poules pondeuses a montré que la fréquence de ponte hors du nid ne serait pas corrélée à la présence de tensions électriques parasites (de 1 à 21 V selon les élevages) (Worley et Wilson 2001).

d) Reproduction et état sanitaire

Des observations en élevages laitiers semblent montrer que la présence de courants électriques parasites pourrait augmenter l'occurrence de mammites (Churchward 1948, Kirk *et al* 1984, Wilson *et al* 1996). Cependant, aucune étude en milieu contrôlé n'a confirmé cette hypothèse (Henke Drenkard *et al* 1985, Lefcourt *et al* 1985, Gorewit *et al* 1992b, Southwick *et al* 1992). Ainsi, chez des vaches laitières, l'application d'un courant électrique de 1 mA au niveau de l'abreuvoir, durant une lactation complète, n'a eu d'effets ni sur l'incidence des mammites, ni sur l'apparition de boiteries, ni sur les performances de reproduction (Gorewit *et al* 1992b). Les travaux de Reinemann *et al* (1999a) chez la vache laitière ont montré également l'absence d'effets sur la fonction immunitaire (niveaux cellulaires et humorales) d'un courant électrique de 1 mA appliqué entre les sabots antérieurs et postérieurs.

Chez les porcs, les tensions électriques parasites ne semblent pas avoir d'effets sur leur santé. Ainsi, chez des porcs à l'engrais, des tensions électriques de 2 V, 5 V ou 8 V (entre 1,8 mA et 14 mA), appliquées au niveau de la mangeoire ou de l'abreuvoir, n'ont eu aucun effet sur l'apparition de lésions gastriques ou sur le profil métabolique (Robert *et al* 1991, 1992). De plus, la santé de truies en lactation soumises à des tensions de contact (mangeoire et abreuvoir) ou à des tensions de pas (onglons avants-onglons arrières) de 2 V, 5 V ou 8 V (entre 1,8 mA et 14 mA) n'a pas été détériorée de même que les performances de reproduction (Robert *et al* 1996).

En conditions expérimentales, Vidali *et al* (1995) n'ont pas observé de problèmes de santé chez des poules pondeuses soumises à des tensions allant jusqu'à 18 V. Cependant, dans un élevage de dindes, Halvorson *et al* (1989) ont enregistré des taux de mortalité élevés (de 10 à 26%) sur trois bandes successives de dindonneaux. Des tensions électriques parasites de 2,5 V mesurées entre l'abreuvoir et le sol étaient suspectées d'être responsables de cette mortalité. Dans un cadre expérimental (application au niveau de l'abreuvoir de courants supérieurs à 0,5 mA), ces

mêmes auteurs ont enregistré une augmentation de la mortalité précoce entre 0 et 7 jours de vie, à cause d'une déshydratation. Cependant, au cours de cette même expérimentation, il a été montré que le niveau de tension électrique mesuré dans l'élevage pouvait difficilement expliquer les taux de mortalité importants puisqu'une tension de 17,5 V serait nécessaire pour qu'un dindonneau soit parcouru par un courant de 0,5 mA en considérant une résistance minimale de 35 kilo ohms (figure 4).

2.5 / Facteurs de variation de la réponse des animaux

a) Variabilité individuelle de réponse

Il existe une forte variabilité individuelle de réponse aux tensions électriques parasites intra- et inter-expérimentations. Cette variabilité peut provenir de différentes sources. Tout d'abord, pour une même tension électrique appliquée, des animaux présentant des résistances différentes ne seront pas soumis à la même intensité de courant et n'auront donc pas la même réponse à l'agent stressant. Ainsi, lorsque des porcs sont soumis à

une tension de 2 V au niveau de leur abreuvoir un individu présentant une forte résistance corporelle (1056 Ω , pour le trajet groin-onglons) n'est soumis en moyenne qu'à un courant de 1,8 mA alors qu'un congénère présentant une résistance plus faible (399 Ω , pour le même trajet) est parcouru en moyenne par un courant de 5,2 mA (Valiquette *et al* 1994). Il est possible qu'au sein d'un même lot d'animaux, les individus présentant une résistance corporelle faible expérimentent des courants jusqu'à 3 fois plus forts que les individus présentant une résistance corporelle plus élevée. La figure 8 illustre la variabilité interindividuelle de la résistance observée pour un même trajet chez la vache laitière, à partir des résultats de Norell *et al* (1983).

De plus, de par sa réponse comportementale, l'animal peut également modifier la résistance du point de contact à ces tensions parasites, et faire ainsi varier la quantité de courant le traversant (figure 6). Ainsi, chez des vaches laitières soumises à des tensions électriques au niveau de leur abreuvoir, Reinemann *et al* (2005) ont observé une modification du comportement de

buvée : les animaux ont exercé une pression sur l'abreuvoir de manière à augmenter la surface de contact mufle-abreuvoir et donc diminuer la densité de courant au niveau de leur mufle. De même, chez le porc, Valiquette *et al* (1994) ont observé que certains individus étaient capables d'augmenter leur résistance corporelle totale notamment en modifiant le contact de leur groin avec l'élément électrifié. Ainsi, la capacité de certains individus à adapter leur comportement peut en partie expliquer la variabilité des réponses aux tensions électriques parasites.

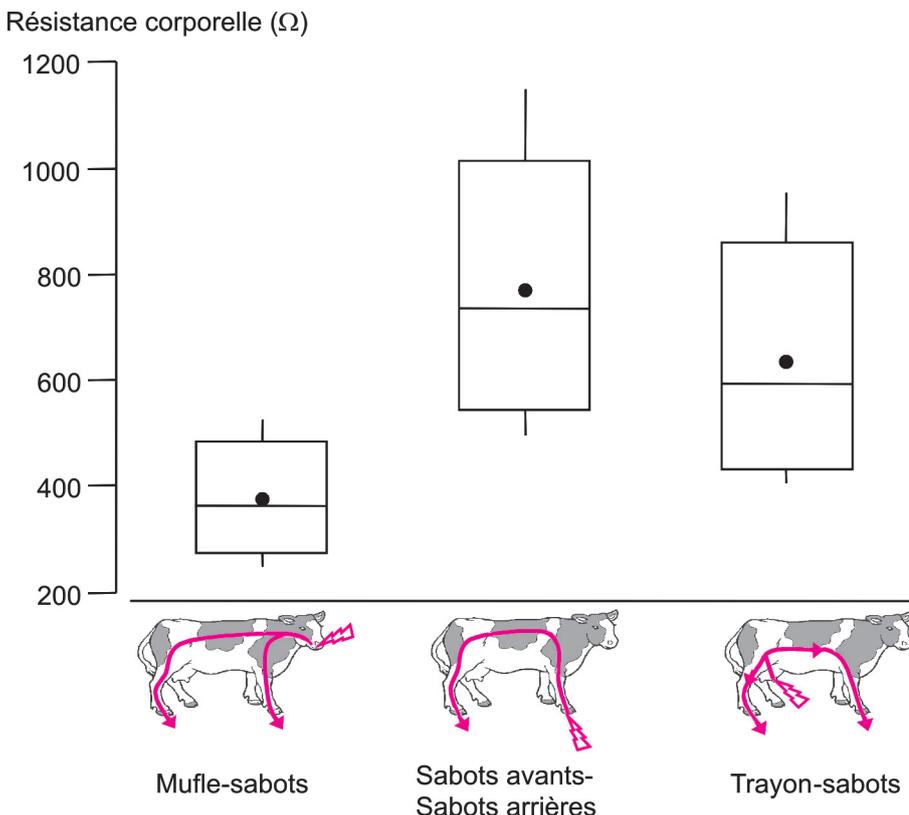
b) Imprévisibilité

En élevage, les tensions électriques parasites sont parfois des phénomènes intermittents, voire aléatoires, ce qui les rend donc imprévisibles et difficiles à diagnostiquer (Deschamps 2002). Or, cette imprévisibilité peut s'avérer perturbante pour l'animal. En effet, les études sur le stress en élevage montrent que la réaction de l'animal est déterminée par la manière dont il se représente l'évènement et non par l'évènement en tant que tel (Boissy *et al* 2007). Ainsi, la prévisibilité serait un des critères qui permettrait à l'animal d'évaluer une situation (Désiré *et al* 2002) : des moutons soumis à un évènement surprenant prévisible ont été moins stressés que les moutons pour lesquels l'évènement surprenant était imprévisible (Greiveldinger *et al* 2007). Dans le cas des courants parasites, le caractère aléatoire de leur présence peut introduire une composante « imprévisibilité » qui accentuerait le niveau de stress ressenti par l'animal en comparaison avec un stress vécu de manière prévisible (cas de la présence systématique de tensions électriques). Une expérience menée récemment confirme cette hypothèse. Des génisses laitières exposées de manière imprévisible à une tension électrique de 3,3 V (environ 3,1 mA) au niveau d'une mangeoire n'ont pas adapté leur comportement pour limiter l'exposition à l'agent stressant contrairement aux génisses exposées en permanence à la même tension électrique (Rigalma *et al* 2007).

c) Expérience préalable et habituation

La réponse à un agent stressant est modérée si l'individu a une expérience préalable de cet agent stressant (Lauber *et al* 2006). Ainsi, lors de l'application de 3,3 V au niveau de la mangeoire, la libération de cortisol a été plus importante chez des génisses naïves vis-à-vis de l'électricité que chez des génisses

Figure 8. Distribution de la résistance corporelle (en ohms, Ω) mesurée sur 28 vaches de race Holstein, selon le trajet emprunté par le courant : mufle-sabots, sabots avants-sabots arrière et trayon-sabots (d'après Norell *et al* 1983). L'étendue interquartile (\square), la médiane (—), la moyenne (\bullet) et l'intervalle de confiance ($|$) sont représentés.



ayant une expérience préalable de celle-ci (Rigalma *et al* 2007). L'expérience préalable de l'électricité pourrait donc moduler la réponse des animaux et diminuer ses effets négatifs lorsque la tension électrique est à nouveau appliquée.

Après les manifestations initiales de stress aigu, consécutives à l'exposition à un agent stressant, les animaux sont souvent capables de s'habituer à cet agent stressant (Friend 1991). Pour Bouissou (1992), l'habituation intervient à la suite de la répétition d'un stimulus et est dépendante de la possibilité de contrôle de l'agent stressant (stimulus) et de son pouvoir aversif. Dans le cadre des études sur les tensions électriques, plusieurs auteurs (Gorewit *et al* 1985, Henke Drenkard *et al* 1985, McFarlane *et al* 1989, Ziecik *et al* 1993, Rigalma *et al* 2007) rapportent que les animaux (bovins, porcins, volailles) s'habituent à l'électricité. Ainsi, après avoir observé de fortes réponses comportementales (courbure du dos, déplacements latéraux ou coups de patte) lors de l'application initiale de 4 mA au niveau de la colonne vertébrale, Gorewit *et al* (1985) montrent qu'après 24 h les vaches laitières s'habituent au courant électrique, pour ne présenter quasiment plus de réponses comportementales en fin d'expérimentation (16 j). Cependant, l'habituation aux tensions électriques parasites n'est pas systématique. Ainsi, certaines vaches doivent être retirées des expérimentations car elles ne s'habituent pas à l'électricité (Gorewit *et al* 1989, 1992a). Ces observations montrent que, bien que la majorité des individus semblent s'habituer aux tensions parasites, quelques individus, plus sensibles n'y parviendraient pas.

d) Présence d'autres agents stressants

La présence simultanée de plusieurs agents stressants peut avoir des consé-

quences négatives sur le comportement et les performances zootechniques. Ainsi, chez le porc à l'engrais, la présence simultanée de tensions électriques parasites et d'une restriction alimentaire a entraîné une modification du comportement alimentaire et de buvée accompagnée d'une augmentation des comportements agressifs (coups de tête aux congénères) et d'une diminution du temps de repos alors que ces effets n'étaient pas observés lorsque les tensions électriques parasites étaient appliquées seules, sans autres agents stressants (Robert *et al* 1991, 1992). Cependant, chez le poussin, les performances de croissance sont diminuées de façon similaire lorsque les courants électriques (de 2,9 à 8,7 mA) sont appliqués seuls ou en association avec un autre agent stressant tel que la manipulation, un environnement bruyant, une infestation expérimentale par des coccidies, une forte teneur en ammoniac ou un stress thermique (McFarlane *et al* 1989). Il est possible qu'en élevage les tensions électriques parasites jouent le rôle de facteur aggravant et déclencheur, chez un animal placé dans des conditions non optimales : l'animal ne peut ainsi plus supporter davantage de stress.

Conclusion

Même si la présence de tensions électriques parasites en élevage est une réalité, le diagnostic de problèmes liés à ces tensions reste cependant complexe à réaliser car étroitement lié aux conditions d'élevage, à l'imprévisibilité et à la nature du signal électrique.

La variabilité des réponses des individus au courant électrique parasite justifie l'utilisation d'une approche multicritère afin d'évaluer les effets des courants électriques parasites sur les

animaux de rente. Cette approche combine en effet des critères comportementaux, physiologiques, zootechniques et sanitaires qui, s'ils étaient seuls pris en compte, ne seraient pas spécifiques de l'effet des courants, mais qui, combinés, pourraient mettre en évidence la présence d'un problème au sein de l'élevage.

En élevage, une modification du comportement, une détérioration de l'état sanitaire ou une réduction de la production du troupeau mettent parfois en cause les tensions électriques parasites. Cependant, les résultats des expérimentations menées en milieu contrôlé ne confirment qu'une partie de ces observations. En effet, les expérimentations ne montrent que très peu d'effets des tensions électriques parasites sur les performances de production et sur la santé des animaux de rente. Néanmoins, des modifications du comportement plus ou moins durables et plus ou moins sévères en fonction de l'intensité du courant électrique appliqué et du mode d'application sont enregistrées.

Les réponses physiologiques obtenues au cours des expérimentations semblent indiquer que l'exposition à des tensions élevées entraîne un «stress aigu». L'éventualité d'un stress chronique n'a pas été testée et l'étude de ce type de stress est à envisager. Même si la majorité des animaux s'habituent à l'exposition aux tensions électriques parasites faibles, certains individus plus «sensibles» présentent des réponses comportementales et/ou physiologiques importantes à des niveaux de tension inférieures au seuil de réaction moyen de l'espèce considérée. Il est probable qu'en élevage la présence de tensions électriques parasites constitue, pour ces individus «sensibles», un facteur de stress important.

Références

- AFNOR, 1956. NF C15-100. Article 322-2.
- Aneshansley D.J., Gorewit R.C., 1991. Physiological and behavioral effects. In : Effects of electrical voltage/current on farm animals. How to detect and remedy problems. Lefcourt A.M. (Ed), Agriculture Handbook, 696 (3), 1-23.
- Aneshansley D.J., Gorewit R.C., Price L.R., 1992. Cow sensitivity to electricity during milking. *J. Dairy Sci.*, 75, 2733-2741.
- Beguïn E., Bonnet J., Dolle J.B., Charroin T., Ferrand M., 2008. Les différents postes de consommation en énergie et les pistes d'économie en élevage bovin laitier. *Renc. Rech. Rum.*, 15, 217.
- Blatin D., Benetière J.J., 1998. Influence sur les élevages des champs électromagnétiques induits par les lignes électriques à haute tension. Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Paris, France, 48p.
- Boissy A., Arnould C., Chaillou E., Colson V., Desire L., Duvaux-Ponter C., Greiveldinger L., Leterrier C., Richard S., Roussel S., Saint-Dizier H., Meunier-Salaün M.C., Valance D., 2007. Emotions et cognition : stratégie pour répondre à la question de la sensibilité des animaux. *INRA Prod. Anim.*, 20, 17-21.
- Bouissou M.F., 1992. La relation Homme-Animal. Conséquences et possibilités d'amélioration. *INRA Prod. Anim.*, 5, 303-318.
- Bourget M., Brugère H., Gallouin F., Lemeray P., Picou P., Vauge C., EDF, 2000. Mieux connaître les risques des courants électriques parasites dans les exploitations d'élevage. Plaquette préparée par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, EDF-RTE, PROMOTELEC, l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture et GROUPEAMA, Publicum (Ed), Paris-La Défense, France.
- Brugère H., 1993. La sensibilité des bovins aux tensions parasites. *Bull. Soc. Vét. Prat. Fr.*, 77, 183-191.
- Brugère H., 2002. Effets du courant électrique sur les animaux d'élevage. *Bull. Soc. Vét. Prat. Fr.*, 86, 182-196.

- Brugère H., 2006. Phénomènes électriques et magnétiques en élevage : mythe ou réalité ? Journ. Nat. Groupements Techniques Vétérinaires, Dijon, France, 435-455.
- Churchward R.E., 1948. A note on the occurrence of electric shock from milking machines and their possible effect on development of mastitis. *Austr. Vet. J.*, 24, 150.
- Craine L.B., 1975. Effects on mammals of grounded neutral voltages from distribution power lines. *Inst. Elec. Eng.*, 75-303-3-IA.
- Deschamps F., 2002. L'électricité dans l'environnement et les exploitations agricoles. *Bull. Soc. Vét. Prat. Fr.*, 86, 174-181.
- Désiré L., Boissy A., Veissier I., 2002. Emotions in farm animals: a new approach to animal welfare in applied ethology. *Behav. Proc.*, 60, 165-180.
- Duvaux-Ponter C., Roussel S., Deschamps F., 2005. Determination of a stray voltage threshold leading to aversion in sheep. *Proc. 39th Int. Congr. Int. Soc. Applied Ethol.*, Août 2005, Sagamiyama, Japon, 130.
- Duvaux-Ponter C., Roussel S., Ennifar M., Fortin F., Louyot T., 2006. It is easier to define the aversiveness threshold of stray voltage when animals are allowed to avoid it. *Proc. 40th Int. Congr. Int. Soc. Applied Ethol.*, Bristol, Royaume-Uni, 221.
- Friend T.H., 1991. Behavioral aspects of stress. *J. Dairy Sci.*, 74, 292-303.
- Galan F., Dolle J.B., Charroin T., Ferrand M., Hiet C., 2007. Consommation d'énergie en élevage bovin - Des repères pour se situer et progresser. *Renc. Rech. Rum.*, 14, 29-32.
- Gallouin F., 2002. Le Groupe Permanent sur la Sécurité Électrique (GPSE) dans les élevages agricoles et aquacoles, après deux ans de fonctionnement. *Bull. Soc. Vét. Prat. Fr.*, 86, 197-204.
- Gallouin F., 2009. Expertise scientifique et concertation pour les élevages agricoles. *Sciences et Pseudo Sciences*, 285, 54-56.
- Geddes L.A., Baker L.E., 1967. The specific resistance of biological material - a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 5, 271-293.
- Godcharles L., Robert S., Matte J.J., Bertin-Mahieux J., Martineau G.P., 1993. Transient stray voltage: is it detrimental to growth performance, health status and welfare of market pigs? *Vet. Res. Commun.*, 17, 41-53.
- Gorewit R.C., Scott N.R., 1986. Cardiovascular responses of cows given electrical current during milking. *J. Dairy Sci.*, 69, 1122-1127.
- Gorewit R.C., Scott N.R., Czarniecki C.S., 1985. Responses of dairy cows to alternating electrical current administered semi-randomly in a non-avoidance environment. *J. Dairy Sci.*, 68, 718-725.
- Gorewit R.C., Aneshansley D.J., Ludington D.C., Pellerin R.A., Zhao X., 1989. AC voltages on water bowls: effects on lactating Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 72, 2184-2192.
- Gorewit R.C., Aneshansley D.J., Price L.R., 1992a. Effects of voltages on cows over a complete lactation. 1. Milk-yield and composition. *J. Dairy Sci.*, 75, 2719-2725.
- Gorewit R.C., Aneshansley D.J., Price L.R., 1992b. Effects of voltages on cows over a complete lactation. 2. Health and reproduction. *J. Dairy Sci.*, 75, 2726-2732.
- Greiveldinger L., Veissier I., Boissy A., 2007. Emotional experience in sheep: Predictability of a sudden event lowers subsequent emotional responses. *Physiol. Behav.*, 92, 675-683.
- Gustafson R.J., Brennan T.M., Appleman R.D., 1985. Behavioral studies of dairy cows sensitivity to AC and DC electric currents. *Trans. ASAE*, 28, 1680-1685.
- Gustafson R.J., Appleman R.D., Brennan T.M., 1986. Electrical current sensitivity of growing/finishing swine for drinking. *Trans. ASAE*, 29, 592-596, 600.
- Halvorson D.A., Noll S.L., Bergeland M.E., Cloud H.A., Pursley R., 1989. The effects of stray voltage on turkey poults. *Avian Dis.*, 33, 582-585.
- Henke Drenkard D.V., Gorewit R.C., Scott N.R., Sagi R., 1985. Milk production, health, behavior, and endocrine responses of cows exposed to electrical current during milking. *J. Dairy Sci.*, 68, 2694-2702.
- Hopster H., Blokhuis H.J., 1994. Validation of a heart-rate monitor for measuring a stress response in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 74, 465-474.
- Hultgren J., 1990. Small electric currents affecting farm animals and man: a review with special reference to stray voltage. I. Electric properties of the body and the problem of stray voltage. *Vet. Res. Commun.*, 14, 287-298.
- Hydro-Québec, 2005. Guide Pratique. Les tensions parasites à la ferme, page consultée en septembre 2009, http://www.hydroquebec.com/publications/fr/autres/pdf/tension_parasite.pdf
- INRS, 2007. Introduction au risque électrique. Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, février 2007, http://www.inrs.fr/htm/introduction_au_risque_electrique.html#references
- Jussiau R., Montméas L., Parot J.C., 1999. L'élevage en France 10 000 ans d'histoire. *Educagri éditions* (Ed), Dijon, France, 550p.
- Kirk J.H., Reese N.D., Bartlett P.C., 1984. Stray voltage on Michigan dairy farms. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 185, 426-428.
- Lasseret V., 2001. Courants parasites électriques. A surveiller...sans s'alarmer ! *Jeunes Agriculteurs*, 558.
- Lauber M.C.Y., Hemsworth P.H., Barnett J.L., 2006. The effects of age and experience on behavioural development in dairy calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 99, 41-52.
- Lefcourt A.M., 1982. Behavioral responses of dairy cows subjected to controlled voltages. *J. Dairy Sci.*, 65, 672-674.
- Lefcourt A.M., 1991. Effects of electrical voltage/current on farm animals: How to detect and remedy problems. U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Handbook*, 696, 142p.
- Lefcourt A.M., Akers R.M., 1982. Endocrine responses of cows subjected to controlled voltages during milking. *J. Dairy Sci.*, 65, 2125-2130.
- Lefcourt A.M., Akers R.M., Miller R.H., Weinland B., 1985. Effects of intermittent electrical shock on responses related to milk ejection. *J. Dairy Sci.*, 68, 391-401.
- Lefcourt A.M., Kahl S., Akers R.M., 1986. Correlation of indices of stress with intensity of electrical shock for cows. *J. Dairy Sci.*, 69, 833-842.
- Matte J.J., Robert S., Godcharles L., Bertin-Mahieux J., Martineau G.P., 1992. Factors affecting the electrical impedance of growing-finishing pigs. *Can. Agric. Eng.*, 34, 189-194.
- McFarlane J.M., Curtis S.E., Shanks R.D., Carmer S.G., 1989. Multiple concurrent stressors in chicks. I. Effect on weight gain, feed intake, and behavior. *Poult. Sci.*, 68, 501-509.
- Mormède P., Andanson S., Auperin B., Beerda B., Guemene D., Malmkvist J., Manteca X., Manteuffel G., Prunet P., Reenen C.G.v., Richard S., Veissier I., 2007. Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiol. Behav.*, 92, 317-339.
- Norell R.J., Gustafson R.J., Appleman R.D., Overmier J.B., 1983. Behavioural studies of dairy cattle sensitivity to electrical currents. *Trans. ASAE*, 26, 1506-1511.
- Przekop F., Stupnicka E., Wolinska-Witort E., Mateusiak K., Sadowski B., Domanski E., 1985. Changes in circadian rhythm and suppression of the plasma cortisol level after prolonged stress in the sheep. *Acta Endocrinol.*, 110, 540-545.
- Reinemann D.J., Sheffield L.G., LeMire S.D., Rasmussen M.D., Wiltbank M.C., 1999a. Dairy cow response to electrical environment - final report - part III. Immune function response to low-level electrical current exposure Report to the Minnesota Public Utilities Commission, June, 30 1999, 19p.
- Reinemann D.J., Stetson L.E., Reilly J.P., Laughlin N.K., 1999b. Dairy cow sensitivity to short duration electrical currents. *Trans. ASAE*, 42, 215-222.
- Reinemann D.J., Rasmussen M.D., LeMire S.D., 2002. Milking performance of dairy cows subjected to electrical current and induced milking machine problems. *Trans. ASAE*, 45, 833-838.
- Reinemann D.J., Wiltbank M.C., Rasmussen M.D., Sheffield L.G., LeMire S.D., 2003. Comparison of behavioral to physiological response of cows exposed to electric shock. *Trans. ASAE*, 46, 507-512.
- Reinemann D.J., Stetson L.E., Laughlin N.E., LeMire S.D., 2005. Water, feed, and milk production response of dairy cattle exposed to transient currents. *Trans. ASAE*, 48, 385-392.
- Rigalma K., Roussel S., Oliveira A., Louyot T., Duvaux-Ponter C., 2007. Détermination du seuil de réaction aux tensions électriques parasites, influence de la prévisibilité et de l'expérience sur les réponses comportementales et physiologiques de génisses Holstein. *Renc. Rech. Rum.*, 14, 314.
- Robert S., Matte J.J., Bertin-Mahieux J., Martineau G.P., 1991. Effects of continuous stray voltage on health, growth and welfare of fattening pigs. *Can. J. Vet. Res.*, 55, 371-376.
- Robert S., Matte J.J., Bertin-Mahieux J., Martineau G.P., 1992. Stray voltage: its influence on swine production during the fattening period. *Can. J. Anim. Sci.*, 72, 467-475.
- Robert S., Godcharles L., Matte J.J., Bertin-Mahieux J., Martineau G.P., 1993. Les tensions parasites chez le porc d'engraissement. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, Paris, France, 25, 83-90.
- Robert S., Matte J.J., Bertin-Mahieux J., Martineau G.P., 1994a. Stray voltage: effects of voltage frequency, floor materials and wetness on electric currents through swine. *Can. Agric. Eng.*, 36, 37-43.

Robert S., Matte J.J., Bertin-Mahieux J., Martineau G.P., 1994b. Sensitivity of sows, weaned piglets and fattening pigs to stray voltage: some factors of variation. In : ASAE International Winter Meeting, ASAE (Ed), Atlanta, Georgia, USA, 14p.

Robert S., Matte J.J., Martineau G.P., 1996. Sensitivity of reproducing sows and suckling pigs to stray voltage. *Am. J. Vet. Res.*, 57, 1245-1249.

Rodenburg J., 1998. Stray voltage problems in livestock production, page consultée en avril 2007, <http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/strayvol.htm>

Roussel S., Rigalma K., Oliveira A., Louyot T., Duvaux-Ponter C., 2007. Determination of a stray voltage threshold using behavioural measurements in Holstein heifers. *Proc. 41st Int. Cong. Int. Soc. Applied Ethol.*, Merida, Mexique, 232.

Salisbury R.M., Williams F.M., 1967. The effect on herd production of free electricity on a milking plant. *N. Z. Vet. J.*, 15 206-210.

Sanders D.E., Sanders J.A., Sangenario J., 1981. Low milk production associated with tran-

sient environmental voltage. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 179, 69.

Southwick, L.H., Wilson, D.J., and Sears, P.M., 1992. Milk production, water consumption, and somatic cell count responses of cows subject to one or two volts of alternating current. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 201, 441-444.

Valiquette S., Bergeron R., Geoffroy J.L., Martineau G.P., Robert S., Matte J.J., 1994. Current and impedance in fattening pigs: effects of biological and environmental parameters. In: ASAE International Winter Meeting, ASAE (Ed), Atlanta, Georgia, USA, 10p.

Veissier I., Sarignac C., Capdeville J., 1999. Les méthodes d'appréciation du bien-être des animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 12, 113-121.

Vidali G., Silversides F.G., Boily R., Villeneuve P., 1995. Effets des tensions sinusoïdales normales et des trains d'impulsions sur le comportement et la production des poules pondeuses. *Can. J. Anim. Sci.*, 75, 291-296.

von Borell E., Langbein J., Despres G., Hansen S., Leterrier C., Marchant-Forde J., Marchant-Forde R., Mínero M., Mohr E.,

Prunier A., Valance D., Veissier I., 2007. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals - a review. *Physiol. Behav.*, 92, 293-316.

Whittlestone W.G., Mullord M.M., Kigour R., Cate L.R., 1975. Electric shocks during machine milking. *N. Z. Vet. J.*, 23, 105-108.

Wilcox G.C., Jordan H.C., 1986. Stray voltage affects performance of cage layers: a field observation. *Poult. Sci.*, 65 suppl., 144.

Wilson D.J., Southwick L.H., Kaeser D.R., 1996. Improvement in milk production and udder health following correction of stray voltage on computer feeders. *Agri Practice*, 17, 24-29.

Worley J.W., Wilson J.L., 2001. Analysis of stray voltage on broiler breeder farms. *J. Appl. Poultry Res.*, 10, 394-403.

Ziecik A.J., España F., Garcia Casado P., 1993. Effect of electrical stress stimuli on luteinizing hormone, prolactin and cortisol secretion in pigs. *Invest. Agric. Prod. Sanid. Anim.*, 8, 269-280.

Résumé

L'élevage des animaux de rente implique une utilisation croissante d'équipements électriques et électroniques ainsi que le recours à du matériel et à des structures métalliques qui sont autant de facteurs favorisant l'apparition des courants électriques parasites. Les tensions à l'origine de ces courants, généralement inférieures à 10 volts, sont dues principalement à un défaut de mise à la terre et à une mauvaise équipotentialité des masses métalliques. Les animaux, en raison d'une faible résistance électrique, sont sensibles à ces faibles tensions électriques. Le contact direct du nez (mufle, groin) et des pattes avec le milieu humide diminue leur résistance au courant électrique alors que, chez l'homme, le port d'équipements de protection comme les bottes en caoutchouc augmente cette résistance.

En élevage, les tensions électriques parasites sont parfois mises en cause lorsque des modifications comportementales, une dégradation de l'état sanitaire ou des baisses de production sont observées chez les animaux. Cependant, les expérimentations menées en milieu contrôlé montrent rarement un effet direct des tensions électriques parasites sur les paramètres zootechniques bien que des modifications comportementales et physiologiques, probablement liées à la présence d'un stress, soient parfois mises en évidence.

La grande variabilité de réponse des animaux et le caractère imprévisible des tensions électriques parasites expliquent les difficultés à les diagnostiquer et à caractériser leurs effets sur les animaux en élevage.

Abstract

Stray voltage in farm animals

Modern farming techniques involve an increasing use of electrical and electronic equipment together with metallic features which can be responsible for stray-voltage. Stray-voltage, less than 10 volts, is often due to a faulty connection between the electrical circuit and the earth. Animals, due to a lower electrical resistance than humans, are more sensitive to these low voltages. Moreover, direct contact of the muzzle and hooves with often wet surroundings reduces their resistance to electric current, whereas in man, the fact of wearing protective gloves and rubber boots increases this resistance.

In farms, when animal behaviour modifications, deterioration of health status or reductions in production are observed, stray-voltage is sometimes implicated. However, experiments conducted under controlled conditions rarely show the effects of stray-voltage on production parameters. Nevertheless, some behavioural and physiological changes, probably related to the presence of stress, are often observed.

The unpredictability of stray-voltage and the great variability in the response to stray-voltage exposure make diagnosis and characterisation of its effects in farm animals difficult.

RIGALMA K., DUVAUX-PONTER C., GALLOUIN F., ROUSSEL S., 2009. Les courants électriques parasites en élevage. *Inra Prod. Anim.*, 22, 291-302.

