Analyse documentaire et synthèse des conclusions de la recherche sur l'effet de la tension perdue sur les exploitations agricoles

Douglas J. Reinemann, Ph.D.
Professeur d'ingénierie des systèmes biologiques
Université du Wisconsin-Madison

1. Cadre de ce rapport

- Analyse documentaire
- Voies par lesquelles la tension perdue peut avoir un effet sur les animaux
- Symptômes indiquant une tension perdue
- Seuil de tension (ou courant) minimal à partir duquel on peut s'attendre à des effets.
- Mesures pour atténuer la tension perdue
- Survol des mesures réglementaires

Façons dont la tension perdue, ou le picotement, peut avoir un effet sur les exploitations agricoles

- Effets directs :
  - Légères réactions comportementales = sensation
  - Contraction musculaire involontaire = secousses musculaires
  - Réactions comportementales intenses = douleur
- La gravité dépend :
  - de la quantité de courant électrique (milliampères) qui traverse le corps de l'animal;
  - du chemin suivi dans le corps de l'animal;
  - de la sensibilité de chaque animal.

Effets indirects

- Les animaux évitent certains endroits où ils sont exposés :
  - les animaux boiront moins d'eau s'ils doivent s'exposer pour avoir accès aux dispositifs d'approvisionnement en eau;
  - les animaux mangeront moins s'ils doivent s'exposer pour avoir accès aux emplacements et aux dispositifs prévus pour l'alimentation.
- Il est difficile de faire bouger ou de déplacer les animaux dans les zones où ils sont exposés à la tension ou au courant
- Des hormones de stress sont sécrétées à la suite de stimulus douloureux

Tension, courant et résistance : concepts de base

- Loi d'Ohm = relation entre la tension, le courant et la résistance
  - Si la tension (dans l'ensemble des points de contact de l'animal) augmente, le courant qui traverse l'animal augmentera
  - Si la résistance (des points de contact) augmente, le courant qui traverse l'animal diminuera
    - 1 milliampère = 1/1 000e d'un ampère

$$Current\ (Amps) = \frac{Voltage\ (Volts)}{Resistance\ (Ohms)}$$

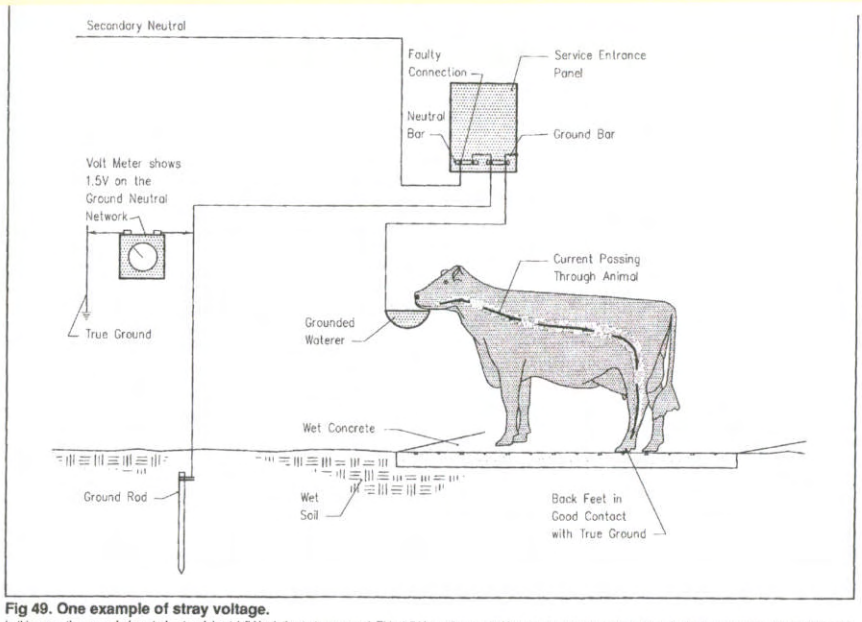
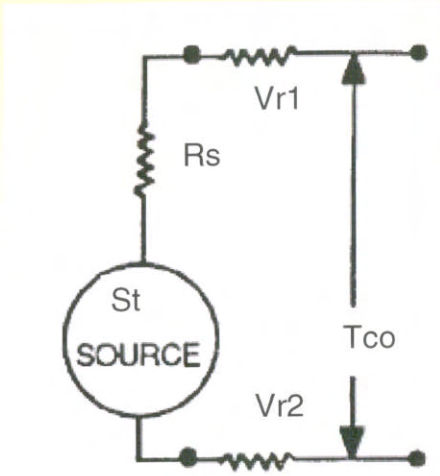


Fig 49. One example of stray voltage.
In this case, the grounded neutral network is at 1.5 V relative to true ground. This 1.5 V may be created by one or more sources such as the faulty connection shown here. The 1.5 V is accessible to the cow through the waterer, because it is part of the grounded neutral network. When the cow touches the waterer and the wet concrete, she provides a path for current flow.

Éléments du circuit source

- St = source de tension (I*R sur un fil neutre)
- Rs = résistance de la source
- Vr1 = voie de résistance 1
- Vr2 = voie de résistance 2
- Tco = tension du circuit ouvert ou de la source



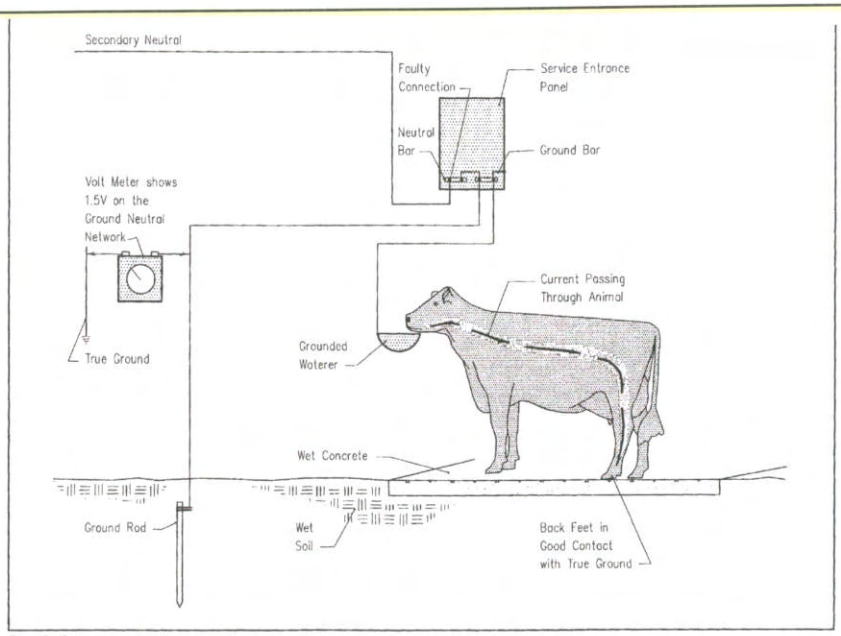
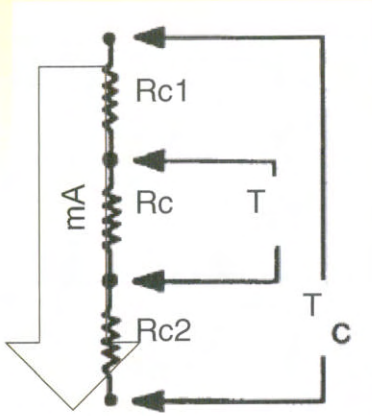


Fig 49. One example of stray voltage.
In this case, the grounded neutral network is at 1.5 V relative to true ground. This 1.5 V may be created by one or more sources such as the faulty connection shown here. The 1.5 V is accessible to the cow through the waterer, because it is part of the grounded neutral network. When the cow touches the waterer and the wet concrete, she provides a path for current flow.

Éléments du circuit animal

- mA = courant qui traverse l'animal
- Rc1 = résistance de contact (museau ou sabots avant)
- Rc = résistance du corps
- Rc2 = résistance de contact (tous les sabots ou les sabots arrière)

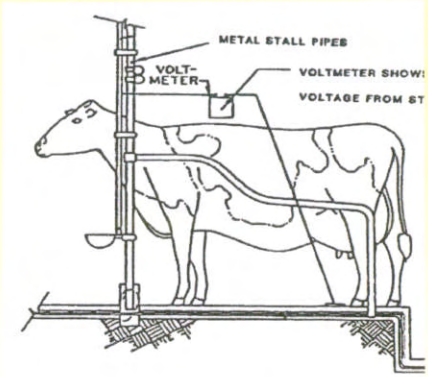


Importance de l'identification adéquate du circuit

V(source)	R(Source)	R(animal + contact)	Animal Contact voltage	Animal contact current
1 volt	100 Ohms	500 Ohms	0.8 Volts	1.7 milliAmps
1 volt	100 Ohms	1000 Ohms	0.9 Volts	0.9 milliamps
1 volt	1000 Ohms	1000 Ohms	0.5 Volts	0.5 milliamps

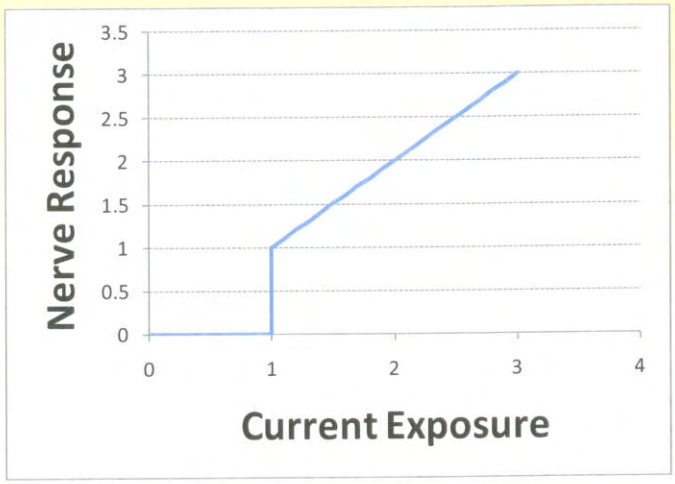
Le problème de la résistance de contact

- C'est la partie du circuit électrique qui varie le plus
- Les résistances de contact augmentent selon :
  - la petitesse de la surface de contact;
  - la diminution de la pression sur la surface de contact;
  - la sécheresse des surfaces de contact;
  - la quantité de débris sur le point de contact;
  - la valeur de la résistance des débris à la limite de contact.
- La pratique acceptée par les chercheurs et les organismes de réglementation a consisté à envisager la pire éventualité (valeurs pratiques les plus faibles) pour les résistances de contact.



contact. For evaluation purposes, it is often sufficient to consider the worst case resistance, i.e., the lowest resistance likely to be encountered. We consider 500 Ω for the sum of contact and body resistances to be a very conservative estimate of the worst case, or minimum, resistance that is likely to be encountered.

Stimulation et réaction du nerf sensoriel et du nerf moteur



Seuil de réaction
(afin qu'elle ne soit pas déclenchée en tout temps)

Biomécanique de la stimulation électrique

- Lorsque les niveaux d'intensité de courant augmentent
  - Il n'y a pas de réaction sous le seuil
  - Il y a des réactions sensorielles juste au-dessus du seuil
    - Picotement, chaleur, sursaut
  - Réaction motrice
    - Contraction musculaire involontaire, secousse musculaire élémentaire
  - Douleur

Réactions comportementales

- Pour une voie de contact donnée, chaque animal présentera un seuil de réaction comportementale à l'exposition au courant
- Les études ont utilisé différents seuils de réaction comportementale
- Indicateurs comportementaux de perception les plus sensibles
  - Variabilité élevée, accoutumance rapide à l'inconnu
- Mécontentement ou aversion
  - Modification des comportements en matière d'alimentation et d'hydratation
- Courant appliqué de manière périodique
  - Séries répétées de comportements de « sursaut »
- Contraction musculaire involontaire
  - La plus reproductible, le seuil du courant est plus élevé que pour la sensation

Analyse documentaire de 1962 à 2008

- 61 études portant sur l'application d'une tension ou d'un courant chez les vaches
- 26 études sur l'application d'une tension ou d'un courant chez d'autres espèces d'élevage
- 8 études sur les tableaux électriques et les électrificateurs de clôtures pour les vaches
- Les études ont été examinées pour :
  - recueillir des données;
  - analyser les données;
  - déceler la reproductibilité.

Groupes de recherche sur les animaux d'élevage et les expositions à l'électricité

États-Unis
Université du Minnesota : Gustafson, Cloud, Brennan, Appleman et Henke-Drenkard
Cornell : Aneshansley, Gorewit, Price, Wilson, Ludington et Southwick
Michigan : Surbrook, Kirk, Althouse et Fick
Université du Missouri : Currence, Winter, Stevens et Dick
Johns Hopkins : Reilly
Purdue : Albright
UWEX : Hendrickson et Kammel
USDA Beltsville : Lefcourt Kammel
Washington : Lee et coll.
USDA ARS : Stetson
Université du Wisconsin : Reinemann, Scheffield, Wiltbank, LeMire, Armentano, McGuirk et Laughlin
PSCW : Dasho, Cook et Reines
DATCP : Kasper, Roberts, Hansen et Ryder
Minnesota PUC : Hendrickson et Patoch
Quigley
Halvorson
Godcharles

Canada
Ontario : Rushen
Alberta : Thorne
McGill : Burchard, Rodriquez,
New Liskeard : Gumprich
Australie
Damask
Nouvelle-Zélande
Phillips, Whittlestone,
Woolford, Salisbury
Allemagne
Bergsten
Oswald
Suède
Algers
Hultgren
Pehrson
France
AroParisTech - Roussel, Ragalma

29 groupes, plus de 70 personnes

Nouvelle-Zélande : Phillips, 1962

- Première étude publiée portant sur les vaches
- Les tensions dans les installations de traite en Nouvelle-Zélande variaient de 0 à 20 V (la plupart allaient de 3 à 10 V)
- Sources de tension : charges non symétriques et conducteurs neutres à résistance élevée
- Tension appliquée du trayon vers les sabots arrière
- À la suite de ces expériences, un seuil de **3 volts** a été choisi comme seuil minimal probable pour l'obtention d'une réaction

Nouvelle-Zélande : Woolford, 1972

- Utilise l'exposition au courant dans une tentative pour diminuer la variabilité des réactions
  - des sabots avant vers les sabots arrière
  - du flanc mouillé vers les 4 sabots
- modifications dans le comportement de la vache lorsque les courants atteignaient de 3 à 8 milliampères
- les courants de 4,5 à 12 milliampères ont été jugés inconfortables

Nouvelle-Zélande : Whittlestone, 1975

- Un système de conditionnement opérant a été utilisé comme une méthode plus objective pour mesurer les réactions comportementales
  - les vaches activaient un courant électrique en appuyant sur un deuxième levier afin d'obtenir de l'orge broyé.
- les comportements étaient modifiés avec des courants de :
  - 6 mA pour la mamelle, 7 mA pour un trayon;
  - 6 mA pour la croupe, 4 mA pour le poitrail.

USDA 1991 : sommaire

- Opinion unanime de 15 chercheurs crédibles
- *Nous sommes peinés que les résultats de notre recherche aient été faussement interprétés*
- *Les seuils d'intervention recommandés varient de **2 à 4 volts***
  - *Ils sont aussi prudents que possible pour tenir compte des pertes causées par les problèmes entraînés par la réaction inappropriée des agriculteurs face aux modifications du comportement des animaux*

USDA 1992 : sommaire

- *Afin d'établir un rapport entre les mesures de tension et le courant, on a utilisé une résistance illustrant la pire situation (500 Ohms) et une autre plus réaliste (1 000 ohms).*
- *Les tentatives pour faire passer les tensions de contact des vaches en dessous de 0,5 à 1 V sont injustifiées et non nécessaires*
- L'examen du NRAES de 2003 ne contredit pas ces conclusions.

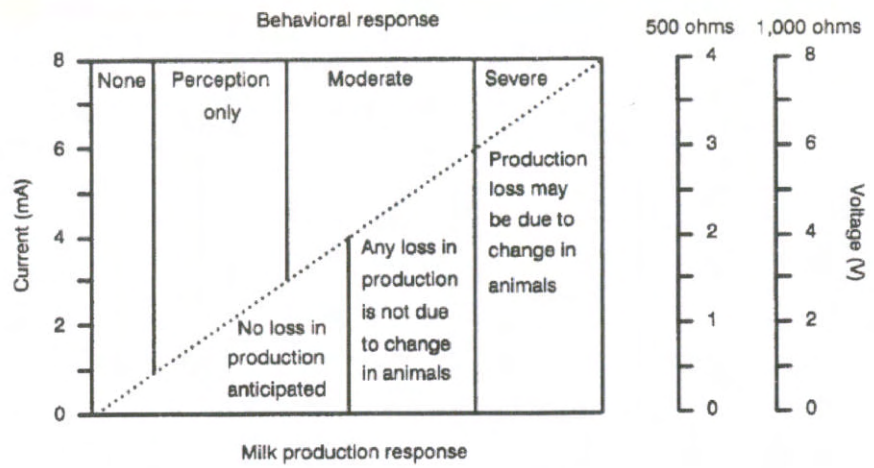
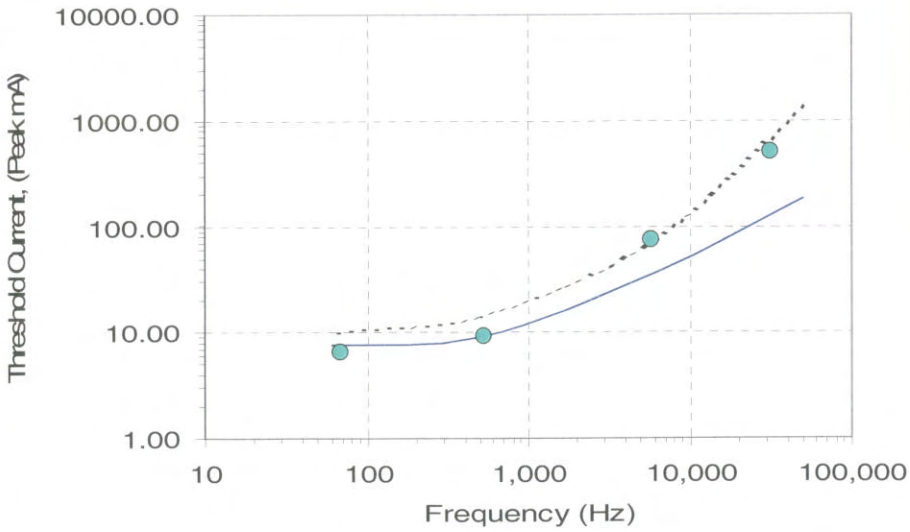
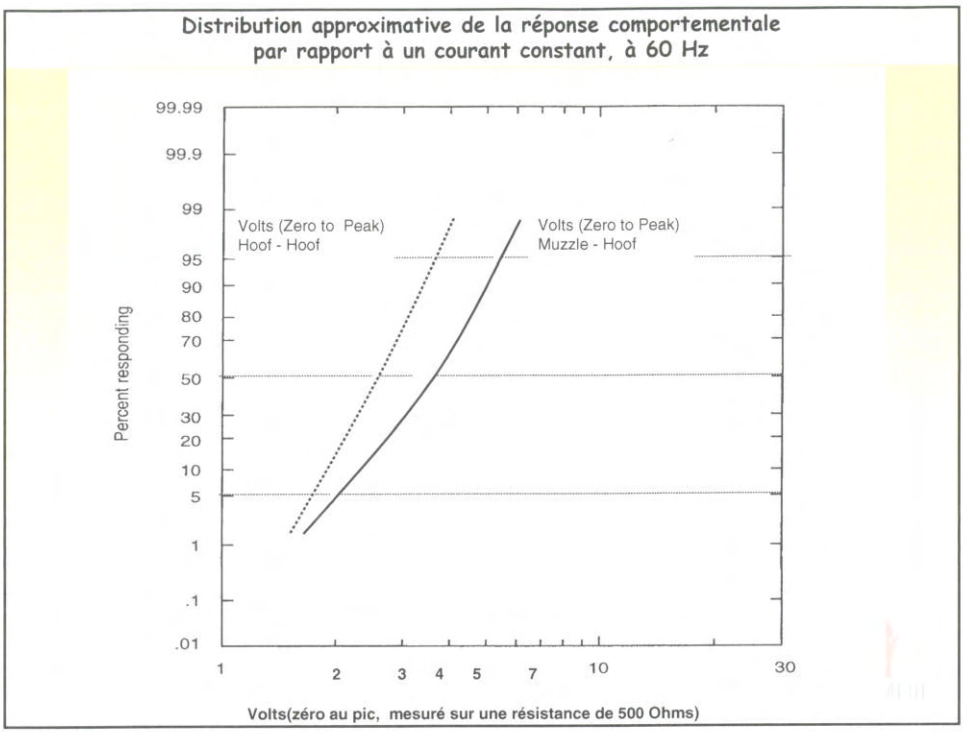


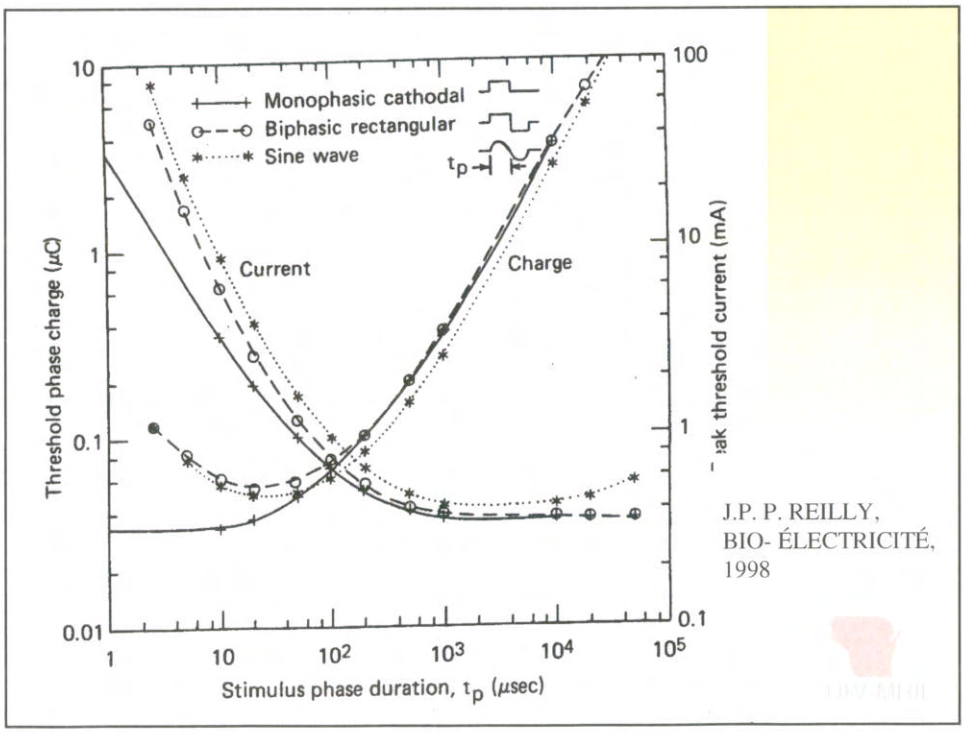
Figure 7-2. Behavioral and milk production responses to increasing current levels. Voltages, on the right, were estimated using a worst case circuit impedance and a more realistic impedance.

Although cows do not respond uniformly to electrical currents, 97 percent of cows tested showed a general uniformity in their behavioral responses to currents of different intensities (fig. 7-2).

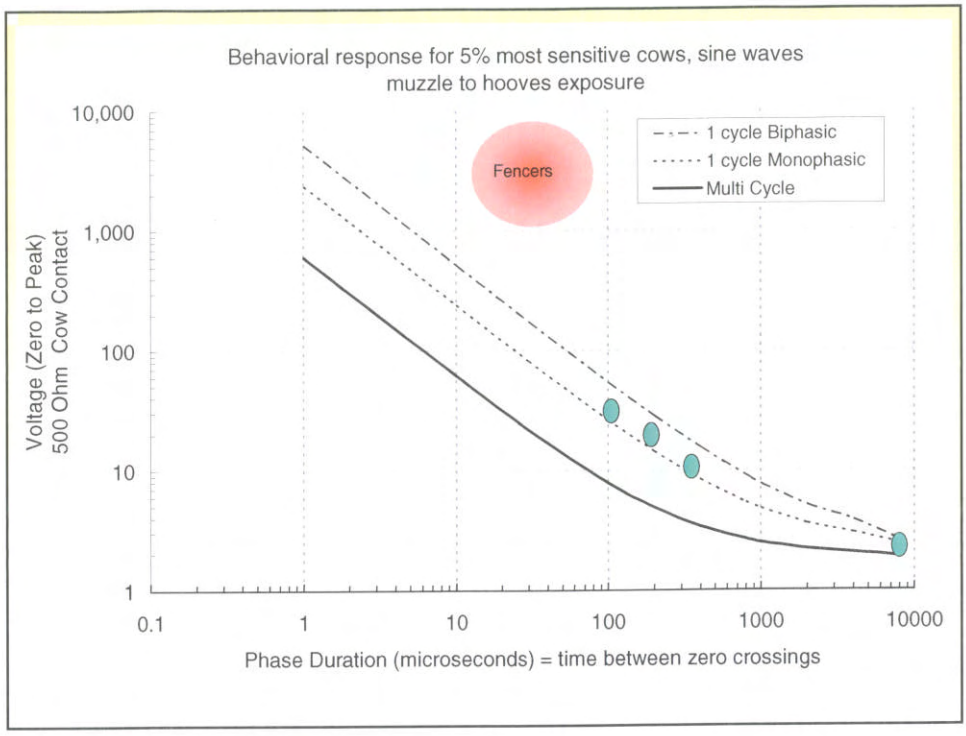
Cornell et Wisconsin : comparaison des données

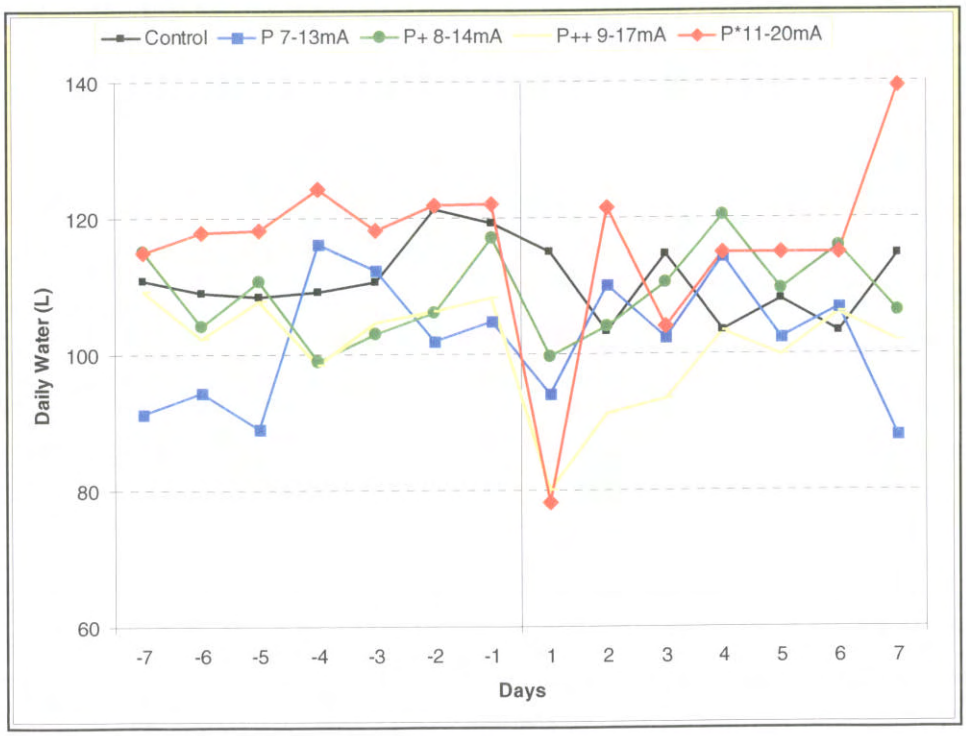


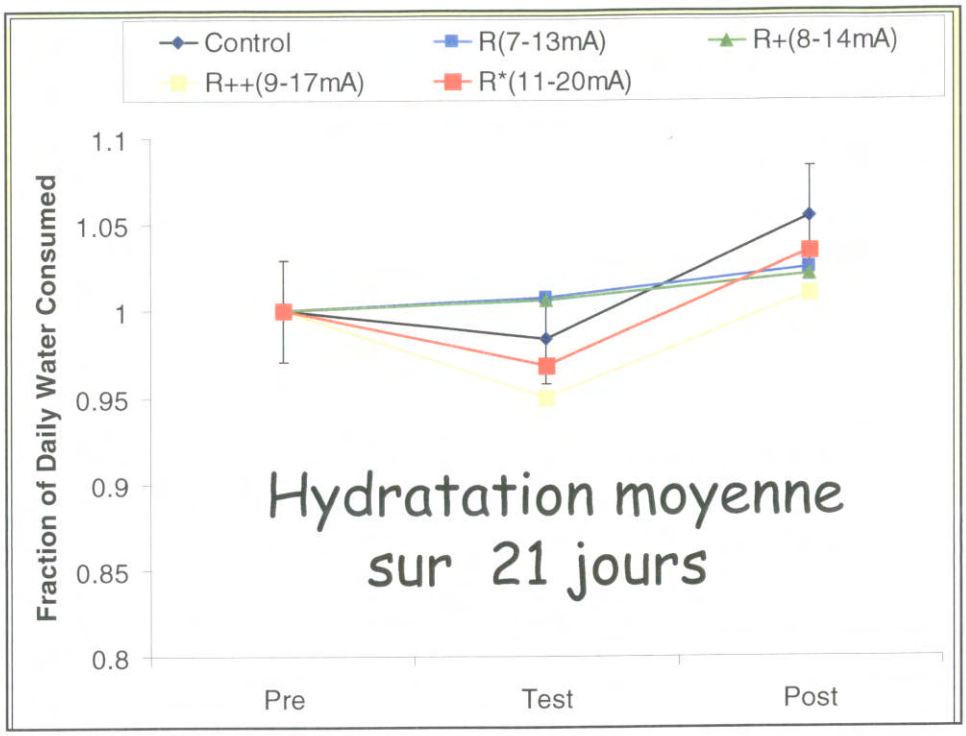


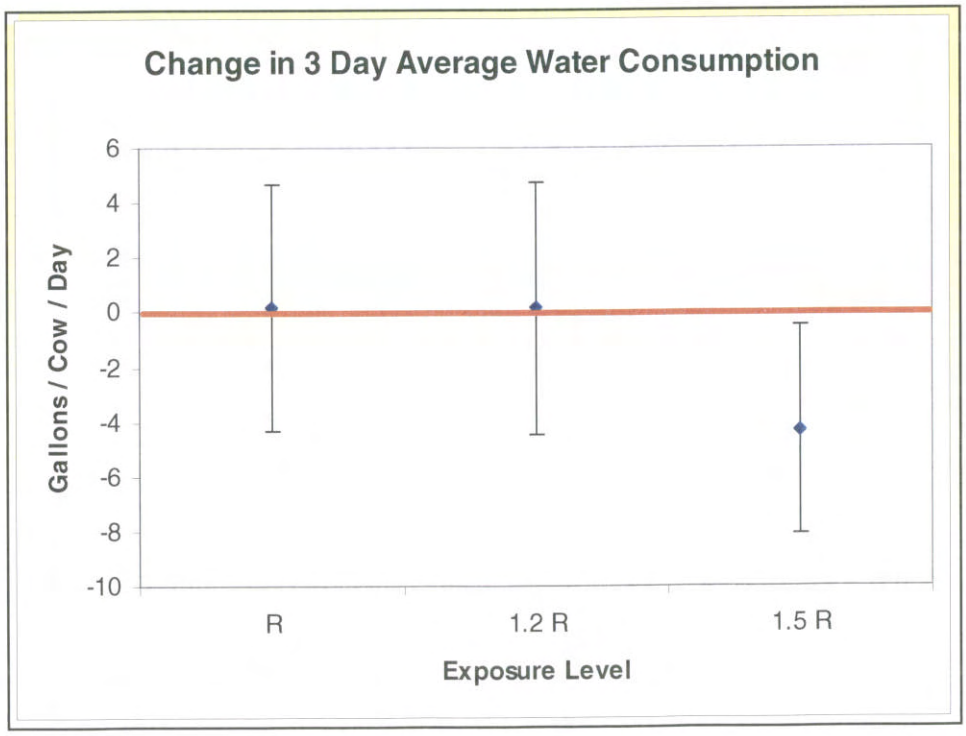


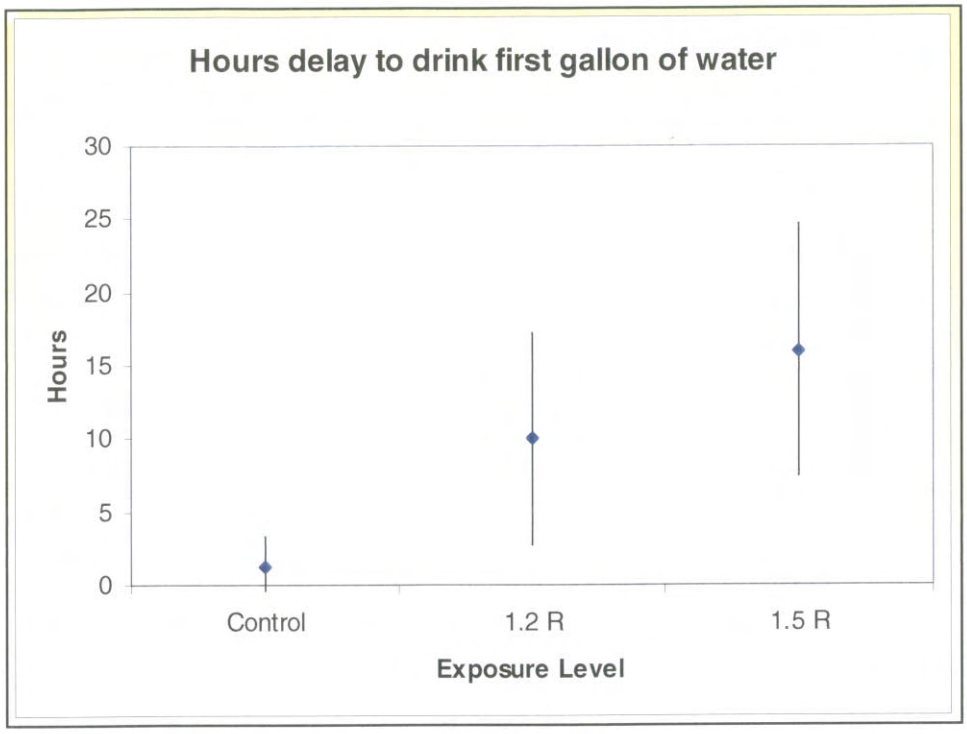
J.P. P. REILLY,
BIO- ÉLECTRICITÉ,
1998


Behavioral response for 5% most sensitive cows, sine waves
muzzle to hooves exposure
Voltage (Zero to Peak)
500 Ohm Cow Contact
10,000
1,000
100
10
1
0.1
1
10
100
1000
10000
Phase Duration (microseconds) = time between zero crossings
Fencers
1 cycle Biphasic
1 cycle Monophasic
Multi Cycle


Control
P 7-13mA
P+ 8-14mA
P++ 9-17mA
P*11-20mA
Daily Water (L)
140
120
100
80
60
-7
-6
-5
-4
-3
-2
-1
1
2
3
4
5
6
7
Days


Control
R(7-13mA)
R+(8-14mA)
R++(9-17mA)
R*(11-20mA)
Fraction of Daily Water Consumed
1.1
1.05
1
0.95
0.9
0.85
0.8
Hydratation moyenne sur 21 jours
Pre
Test
Post

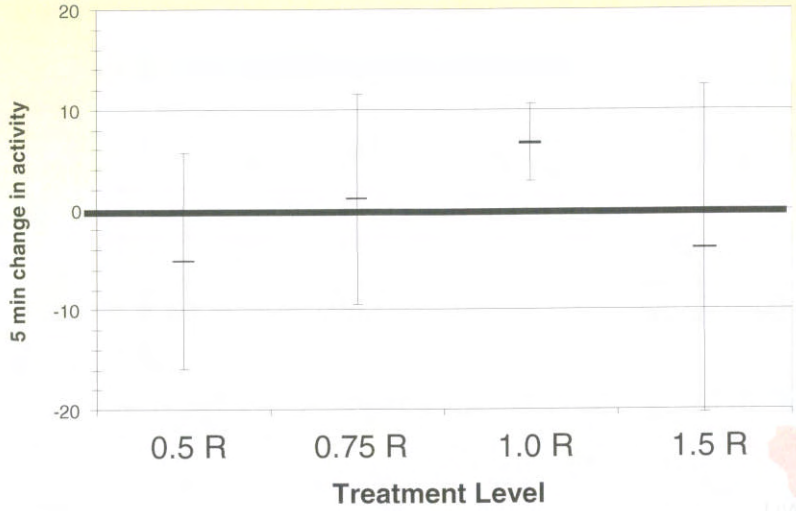

Change in 3 Day Average Water Consumption
Gallons / Cow / Day
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
R
1.2 R
1.5 R
Exposure Level



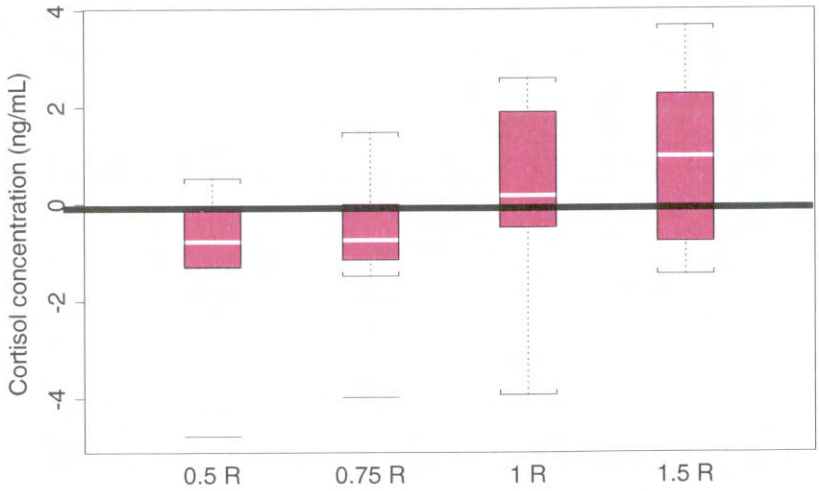
Exposition continue c. exposition intermittente

Hrs Delay	Ave Diff.	P-value	Significant
Control vs. One shock	-0.4	.14	No
Control vs. Intermittent	-0.4	.21	No
Control vs. Continuous	+5.6	<.01	Yes

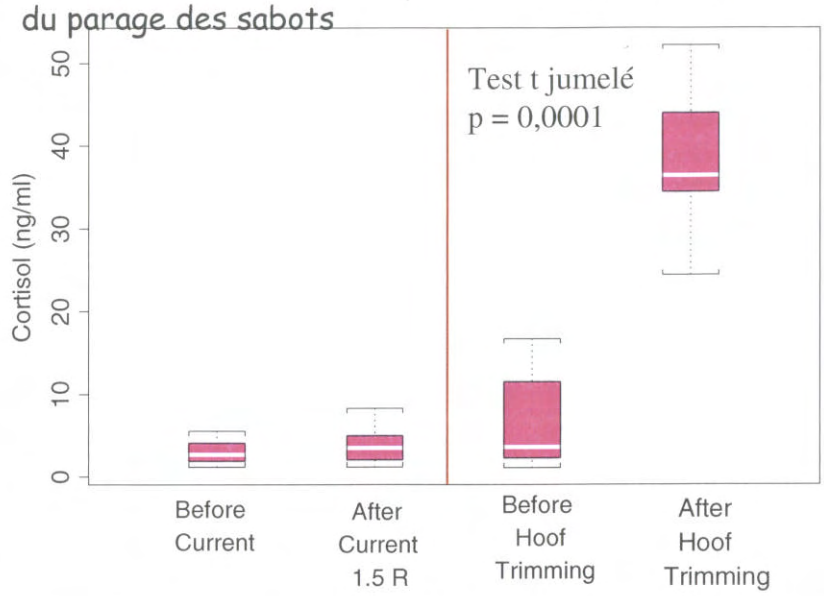
Modification de l'activité de la vache en réaction à une exposition au courant



Le cortisol n'augmente pas en cas d'exposition à un courant sous le seuil entraînant une réaction comportementale



Aucune réaction du cortisol lors d'une exposition au courant et réaction importante du cortisol lors du parage des sabots



Conclusions relatives à la fonction immunitaire

- De petits sous-ensembles de régulateurs du système immunitaire ont présenté des modifications possibles
  - la plupart des processus pathogéniques touchent plusieurs régulateurs
  - Les erreurs de type I comprennent l'importance du nombre testé(?)
- Les effets possibles sur le système immunitaire dus à une exposition à l'électricité sont relativement peu importants et difficiles à déceler
- Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent qu'une exposition à un courant de 1 mA pendant deux semaines n'a entraîné aucun effet important sur la fonction immunitaire des vaches laitières

Étude sur le terrain au Wisconsin

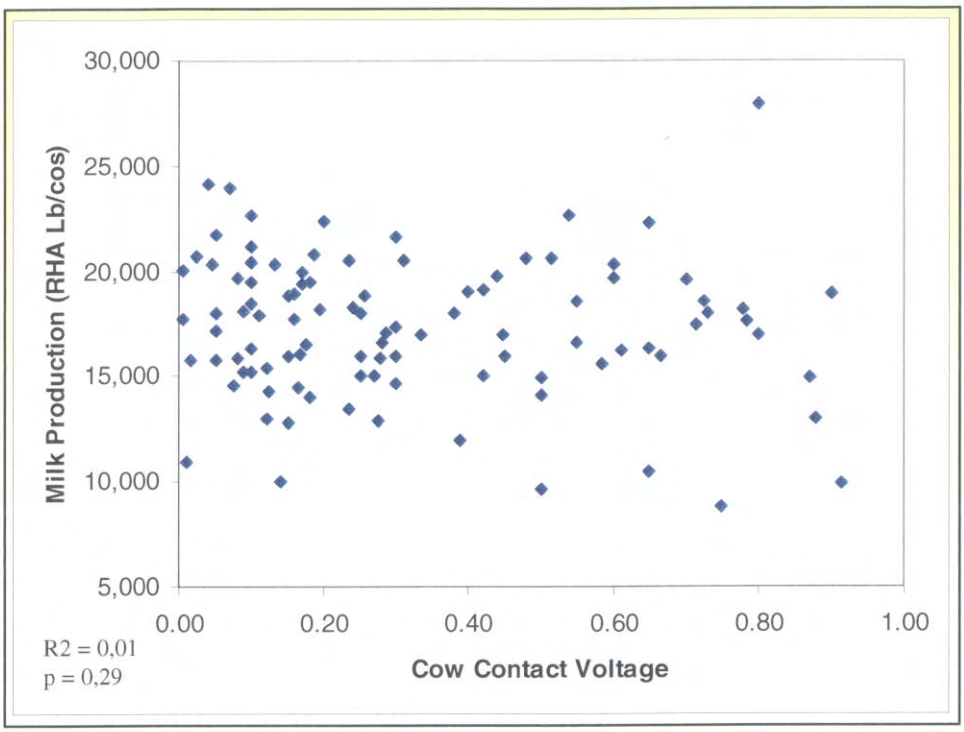
- Stray Voltage Analysis Team (SVAT)
  - Public Service Commission of Wisconsin (PSCW)
  - Wisconsin Department of Agriculture Trade and Consumer Protection (WDATCP)
  - > 360 enquêtes de 1988 à 1998
- Services publics d'électricité
  - 8 000 premières enquêtes agricoles de 1993 à 2007

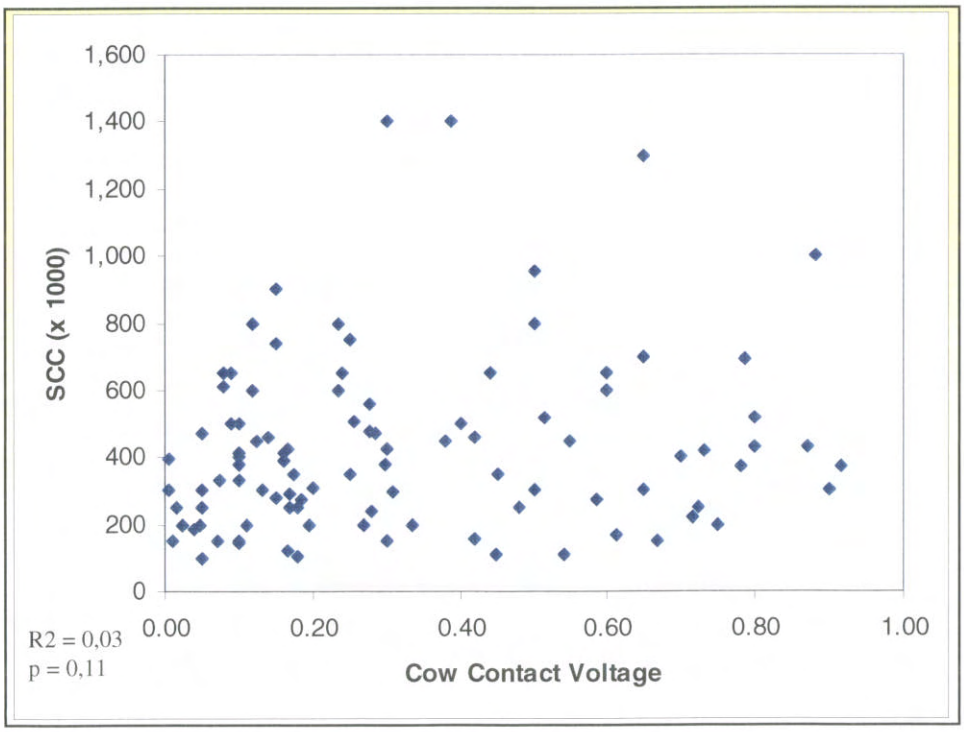
Étude sur le terrain de la PSCW

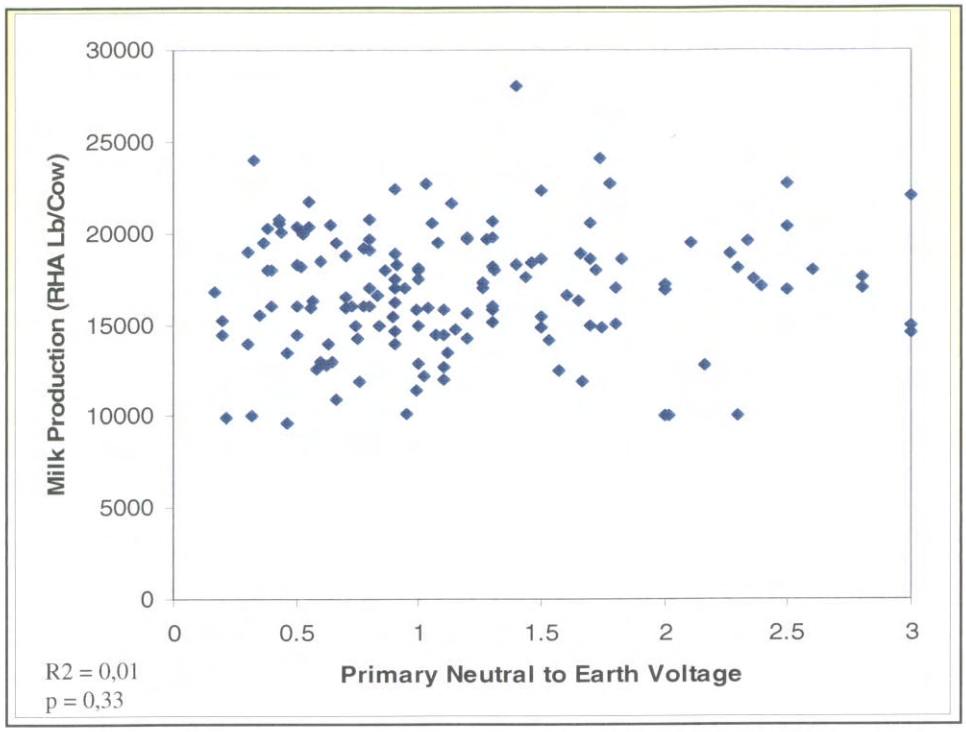
+ de 8000 exploitations agricoles

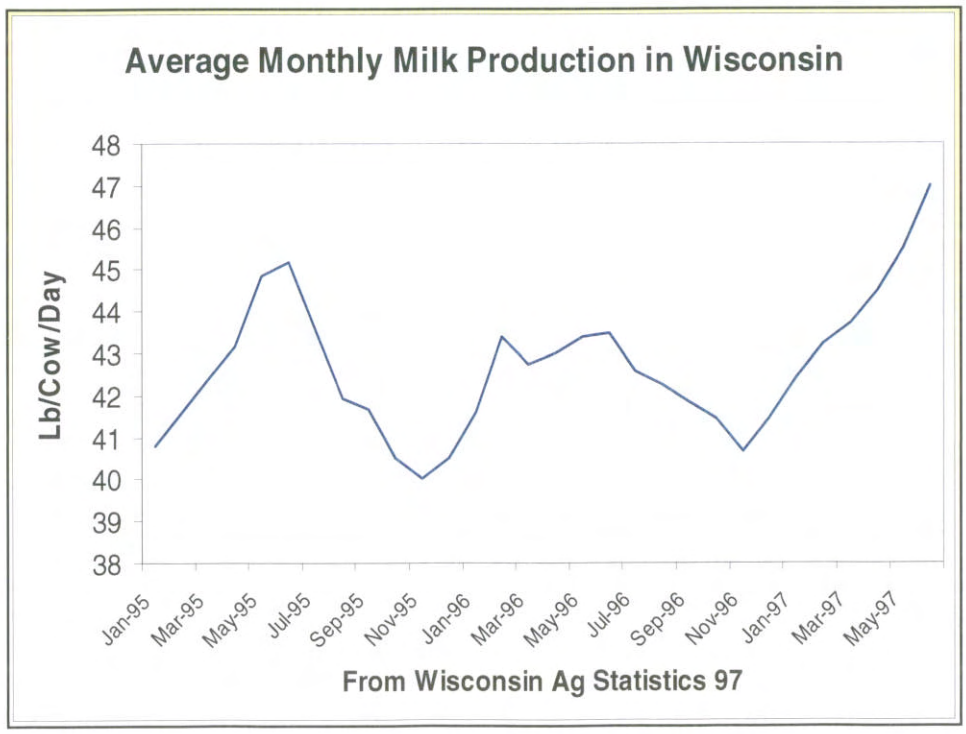
Aucune corrélation entre...

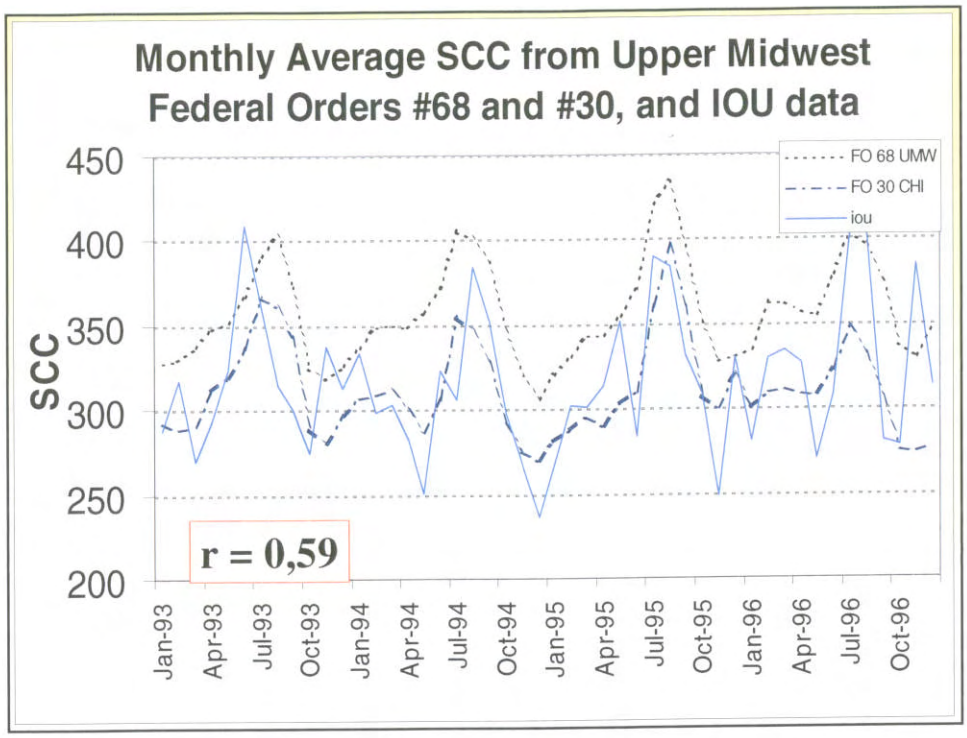
- la production laitière ou la numération des cellules somatiques et :
  - la tension primaire de déplacement du point neutre
  - la tension secondaire de déplacement du point neutre
  - la tension de contact d'une vache
  - le courant du piquet de terre


30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
Milk Production (RHA Lb/cos)
0.00
0.20
0.40
0.60
0.80
1.00
Cow Contact Voltage
R2 = 0,01
p = 0,29


1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
SCC (x 1000)
0.00
0.20
0.40
0.60
0.80
1.00
Cow Contact Voltage
R2 = 0,03
p = 0,11


30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
Milk Production (RHA Lb/Cow)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Primary Neutral to Earth Voltage
R2 = 0,01
p = 0,33


Average Monthly Milk Production in Wisconsin
48
47
46
45
44
43
42
41
40
39
38
Lb/Cow/Day
Jan-95
Mar-95
May-95
Jul-95
Sep-95
Nov-95
Jan-96
Mar-96
May-96
Jul-96
Sep-96
Nov-96
Jan-97
Mar-97
May-97
From Wisconsin Ag Statistics 97



Examen des sensibilités d'autres espèces

- Porc
  - Un courant supérieur à 3,0 mA était nécessaire pour avoir un effet sur la durée d'hydratation et un courant supérieur à 4,0 mA était nécessaire pour avoir un effet sur l'alimentation
  - La quantité d'aliments ingérés et l'engraissement par jour d'un animal étaient plus faibles chez le groupe de 5 V que celui de 2 V et le groupe témoin
  - Jusqu'à 8 V, la tension ne nuit pas au bien-être, à la performance de reproduction ou à la santé des truies et des cochons de lait
  - Une tension inférieure à 8 V n'entraîne aucun effet sur les activités liées à l'alimentation, à l'hydratation, sur le fait de s'asseoir ou de se coucher. Légère augmentation des crises d'enfouissement avec une tension de 5 à 8 V et des coups de tête avec une tension de 2 à 5 V

Examen des sensibilités d'autres espèces

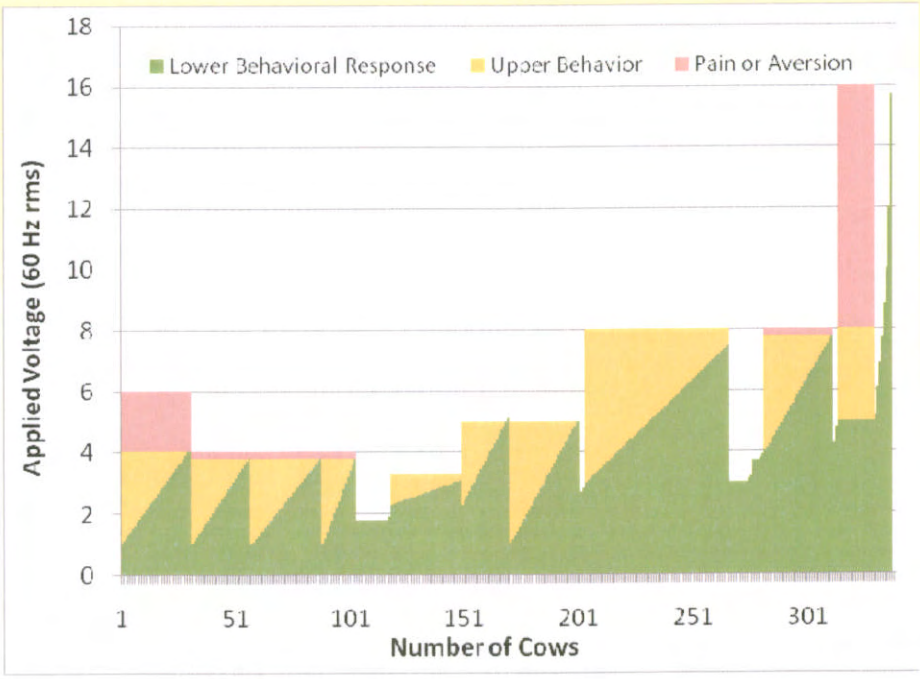
- Mouton
- Au-dessus de 5,5 V, les brebis ont tendance à passer plus de temps à manger et à s'alimenter davantage au distributeur d'aliments non électrifié
- Lorsque la tension est supérieure ou égale à 5 V, les agneaux passent moins de temps à manger au distributeur d'aliments électrifié

Examen des sensibilités d'autres espèces

- Volaille
  - Une tension de 0 à 9 volts ne nuit pas à la ponte
  - Les poules ont une résistance électrique beaucoup plus élevée que les bovins et les porcs
  - Une tension aussi élevée que 18 V n'a eu aucun effet sur la ponte et le comportement des poules(2)
  - La tension perdue présente dans plusieurs poulaillers peut être en partie la cause des œufs pondus sur le sol
  - Des facteurs autres qu'une tension pouvant aller jusqu'à 9 V peuvent avoir causé la ponte d'œufs sur le sol

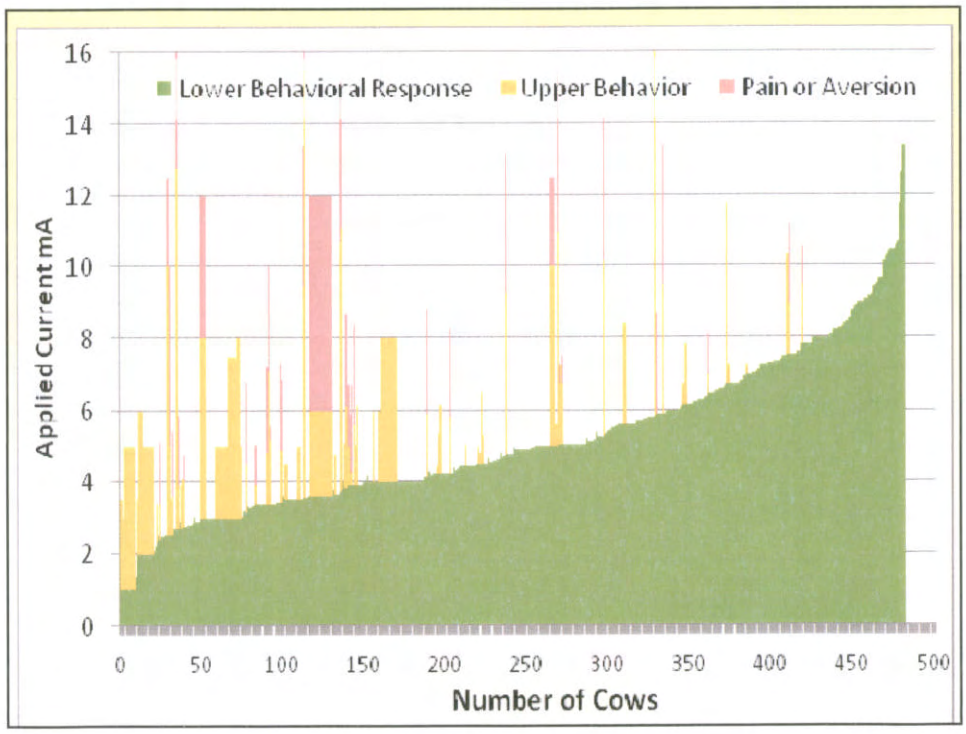
5. Synthèse des conclusions de la recherche

- Compilation de toutes les expériences connues qui ont documenté les réactions à la suite de l'exposition à une tension ou à un courant
- Les études ont été menées entre 1962 et 2007 (sur une période de 45 ans)
- On s'est servi de groupes de recherche de partout dans le monde
- Plus de 100 scientifiques sont représentés



Plus de 300 vaches exposées à une TENSION constante

- La plupart des études font état d'une moyenne de groupe plutôt que des réactions d'un seul animal
- Plusieurs études font état d'un comportement modéré avec une tension de 2 à 8 volts (60 hz rms)
  - Les études utilisant un abreuvoir métallique ou un panneau d'accès métallique ont constaté certains retards en matière d'hydratation à 1 V
  - Les études utilisant un plancher de béton n'ont pas fait état de modifications comportementales à 1 V
- Certaines études font état d'une aversion grave de quelques animaux avec une exposition de 4 à 8 volts
  - Refus de boire allant jusqu'à 36 heures
  - Ruades au poste de traite



Plus de 450 vaches exposées à un COURANT constant

- Plusieurs études font état des réactions d'un seul animal
- Les seuils de réaction comportementale varient
  - Modéré : clignement d'un œil, contraction du museau
  - Prononcé : contraction musculaire involontaire
  - Aversif : l'animal ne s'abreuve plus
- La plupart des seuils de réaction comportementale varient de 2 à 8 milliampères (60 Hz rms)
  - Une étude a fait état de réactions modérées à 1 mA lorsque le museau appuie sur un panneau métallique (concentration du courant)
- L'aversion se produit à des niveaux plus élevés que ceux qui déclenchent une réaction comportementale

- Plus de 300 vaches exposées à une TENSION constante
  - La plupart des réactions surviennent avec une tension de 2 à 8 volts
- Plus de 450 vaches exposées à un courant constant
  - La plupart des réactions surviennent avec un courant de 2 à 8 milliampères
- Plus de 750 vaches ont été analysées
  - On peut raisonnablement estimer à 1 000 ohms la résistance de la vache + la résistance de contact dans des situations réelles
  - On peut trouver des cas inhabituels à aussi peu que 500 ohms

Réaction animale à la tension perdue

Comportement d'évitement	Bien documentée
Production laitière	Seule l'exposition extrême est documentée
Cellules somatiques	Non documentée
Reproduction	Non documentée
Problèmes à sécréter du lait	Uniquement à des taux très élevés
Hormones du stress	Uniquement à des taux très élevés

Conditions d'exposition requises pour produire un effet

- Un effet indésirable exige un courant contrariant ET une exposition forcée
- Résistance de contact
  - 500 ohms est le cas le plus grave
  - 1 000 ohms est caractéristique
  - Les contacts secs ou la litière sèche augmenteront la résistance de contact
- Emplacement
  - Zones essentielles aux activités quotidiennes normales
- Moments de la journée
  - Les stimulus de contrariété doivent survenir fréquemment

Niveaux qui entravent la performance agricole

- Une exposition à un courant < 3 mA peut entraîner de légers changements dans le comportement d'un petit pourcentage de vaches
  - Correspondant à < de 2 à 3 volts
  - Comportements aversifs probablement de courte durée
  - Aucun changement physiologique
  - Les changements ne sont pas, selon toute probabilité, détectables dans la plupart des exploitations agricoles

Niveaux qui entravent la performance agricole

- Une exposition à un courant de 3 à 6 mA peut produire des changements comportementaux observables chez certaines vaches
  - Correspond à 3 à 6 volts
  - Peut produire des altérations à court terme de l'alimentation ou de l'hydratation chez certaines vaches selon le lieu et le moment de l'exposition
    - Probablement difficiles à détecter
  - Comportements aversifs probablement de courte durée
  - Peuvent entraîner une légère augmentation des hormones de « stress » chez certaines vaches

Niveaux qui entravent la performance agricole

- L'exposition à un courant supérieur à 6 mA produira probablement certains changements comportementaux chez la plupart des vaches et des comportements prononcés chez certaines d'entre elles
  - Correspond à > 6 volts
  - Produit probablement des changements de l'alimentation ou de l'hydratation chez certaines vaches selon le lieu et le moment de l'exposition
    - Peuvent être détectables dans certaines exploitations agricoles
  - Peut entraîner une augmentation des hormones de « stress » chez certaines vaches

Diagnostic

- Le comportement animal ou d'autres symptômes NE PEUVENT PAS servir à diagnostiquer des problèmes de tension perdue
  - Toutes les réactions connues à l'exposition à une tension perdue peuvent être induites par d'autres causes
- La SEULE MANIÈRE de déterminer si la tension perdue est une cause possible consiste à effectuer une analyse électrique