

Pierre BRILLOU

Mémoire de stage

Soutenu le 2 Juillet 2007

INSTRUMENTATION EMBARQUEE SUR LES BOVINS



Licence professionnelle Gestion de la Production Industrielle
Option Instrumentation et essais des systèmes industriels et embarqués

Stage effectué du 19 Mars au 6 Juillet 2007
Au Centre d'Ingénierie des Systèmes de Télécommunication,
d'Electromagnetisme et d'Electronique

The logo for CISTEME features a stylized blue signal icon above the word "CISTEME" in a bold, black, sans-serif font.

Encadré par : Sébastien Sahuguède



Enseignant chargé du suivi du stage : Bruno Beillard

I.U.T du Limousin
Département Mesures Physiques
Année 2006-2007

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je souhaite remercier M. Jean-Pierre Breuil, directeur de CISTEME, pour m'avoir donné l'opportunité de participer à ce stage.

Je tiens également à remercier tous les encadrants, M. Sébastien Sahuguède, M. Bruno Beillard ainsi que M. Serge Mazon pour avoir répondu à mes questions et pour les conseils qu'ils ont pu m'apporter pendant le déroulement du stage.

Merci aussi à toutes les personnes présentes avec moi en stage.

SOMMAIRE

Introduction et contexte	4
1-Mesure des courants parasites	6
1.1-Principe de fonctionnement	6
1.2-Mesure de la résistance corporelle de la vache	6
1.3-Choix des électrodes	8
2-Développement d'une carte amplificatrice.....	10
2.1-Schéma structurel du prototype	10
2.2-Synoptique de la carte d'amplification	11
2.3-Schéma structurel de la carte d'amplification	12
2.4-Typon de la carte d'amplification.....	15
2.5-Carte en 3D.....	17
3-Mesures et essais.....	18
3.1-Intérêt d'une mesure ECG	18
3.2-La chaîne de mesure	18
3.3-Résultats.....	20
Conclusion et perspectives.....	21
Annexes.....	22
Lexique	24
Bibliographie.....	25

INTRODUCTION ET CONTEXTE

Mon stage au sein de la licence professionnelle « Essais et instrumentation des systèmes embarqués et industriels », s'est déroulé à CISTEME (Centre d'Ingénierie des Systèmes en Télécommunication Electromagnétisme et Electronique). La demande de RTE (Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité français) pour mon stage était de développer un système embarqué sur les bovins étant capable de mesurer les courants parasites qui les traversent mais aussi de localiser leurs sources dans les fermes. En effet, des recherches ont montré que les courants parasites présents dans les exploitations laitières peuvent avoir des effets sur la physiologie et le comportement des vaches.

Ce problème serait qu'aujourd'hui les exploitations sont munies d'une multitude d'appareillages électriques qui peuvent avoir des défauts. Ces derniers créeraient des tensions parasites dans les exploitations laitières qui peuvent affecter les vaches. De tels défauts électriques peuvent survenir en raison de mauvais raccordements électriques, de la corrosion de commutateurs, d'équipements défectueux, ou des lignes à haute tension traversant les exploitations. Puisque ces défauts n'ont pas systématiquement de conséquence sur le fonctionnement des appareils, les fermiers de laiteries ignorent souvent quelle est la source des courants parasites nuisant au bien-être de leur troupeaux.

Les effets des courants électriques sur les vaches varient en fonction de la sensibilité de chaque individu. Cependant, des études sur le sujet ont lié les effets des courants parasites chez les vaches à une diminution de leurs rendements en lait et à une augmentation de la période des traites.

D'autres effets ont été observés comme, une augmentation des mammites chez l'animal, un lait de moins bonne qualité, un énervement lors de la traite, une hésitation au moment d'entrer dans la salle de traite, mais aussi une réticence à utiliser les abreuvoirs ou mangeoires métalliques L'objectif du stage va donc être de mesurer et de localiser dans les fermes les courants qui traversent les animaux à l'aide d'un système de mesure embarqué sur la vache.

La figure 1 ci-dessous présente le système de mesure dans son ensemble composé :

- de deux électrodes
- d'une carte d'amplification et de filtrage des signaux (mesure de tension)
- d'une carte d'acquisition
- d'un module radio
- d'un Logiciel de traitement sur PC

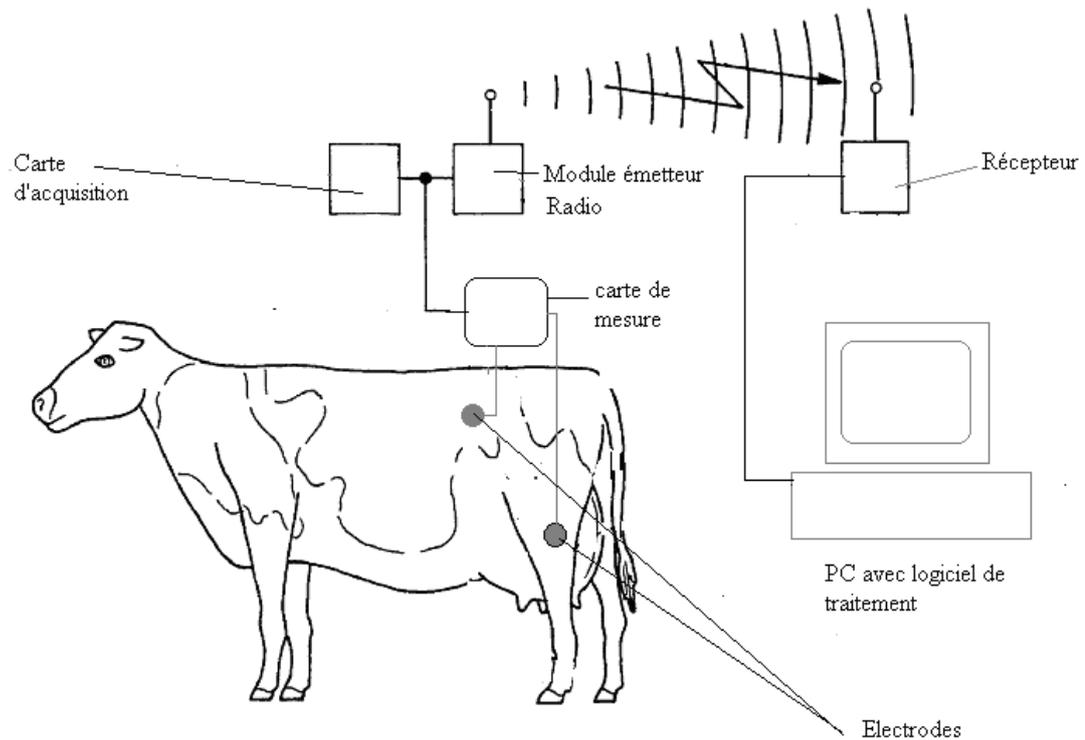


Figure 1 : Schéma du dispositif de mesure de courant parasite embarqué

Les objectifs du projet ont été de choisir des électrodes pour relever les signaux, de réaliser une carte d'amplification car ces signaux sont de faibles niveaux (de l'ordre du millivolt) avec des étages de filtres pour visualiser le signal qui nous intéresse mais aussi une carte d'acquisition avec un module radio ainsi qu'une chaîne de traitement pour récupérer les informations sur un PC.

Ce document sera composé de trois parties. La première traite de la mise au point du dispositif et de son principe de fonctionnement ainsi que les directions prises. La deuxième du choix d'une carte d'acquisition. Enfin, la troisième partie présentera les premiers essais du dispositif via une mesure d'électrocardiogramme (ECG) et les mesures réalisés à l'INA.

1 -PRESENTATION

1.1- CISTEME

CISTEME (Centre d'Ingénierie des Systèmes en Télécommunication, Électromagnétisme et Électronique) est une association de loi 1901. Cette association est un centre technologique fondé en 1995 par le professeur Monsieur Bernard JECKO. Le bureau de CISTEME est constitué :

- D'un président : J.P. BREUIL, PDG de A NOVO TELECOM SERVICES
- de deux vice-présidents :
 - D. DOUNIES, ingénieur R&D COVIMAG
 - T. MONEDIERE, professeur à l'université de Limoges
- d'une trésorière : M. LALANDE, professeur à l'université de Limoges
- □ d'un secrétaire : M. FAVAREILLE : de TEAM PROJECT à Limoges
- d'une trésorière adjointe : F. JECKO, anciennement professeur à l'université de Limoges
- □ d'un secrétaire adjoint : P. VAUDON, professeur à l'université de Limoges

Actuellement, le personnel employé par CISTEME comprend trois ingénieurs en CDI, plus un ingénieur en CDD, d'un technicien en CDI, plus deux technicien en CDD et d'une secrétaire.

Ces bureaux sont basés sur le parc d'Ester Technopole, à Limoges (Figure 2).



Figure 2: Ester technopole de Limoges

CISTEME se situe au carrefour des technologies et profite à la fois des moyens techniques et des résultats de la recherche de l'université. C'est un centre de transfert de technologie dans le domaine

des antennes, des radars et des systèmes de télécommunication. CISTEME est associé à l'université de Limoges au travers du laboratoire XLIM, unité mixte de recherche du CNRS.

La recherche appliquée d'XLIM et en particulier du département OSA (Ondes et Systèmes Associés) est valorisée via le centre de transfert CISTEME.

CISTEME permet également la formation par la recherche, d'étudiant en école d'ingénieur ainsi que des étudiants en Licences Professionnelles et en deuxième année d'IUT.

Les clients de CISTEME peuvent être des entreprises comme Axon, Legrand ou encore Cegetel.

L'organigramme (Figure 3) monte la position de CISTEME au sein du système de recherche.

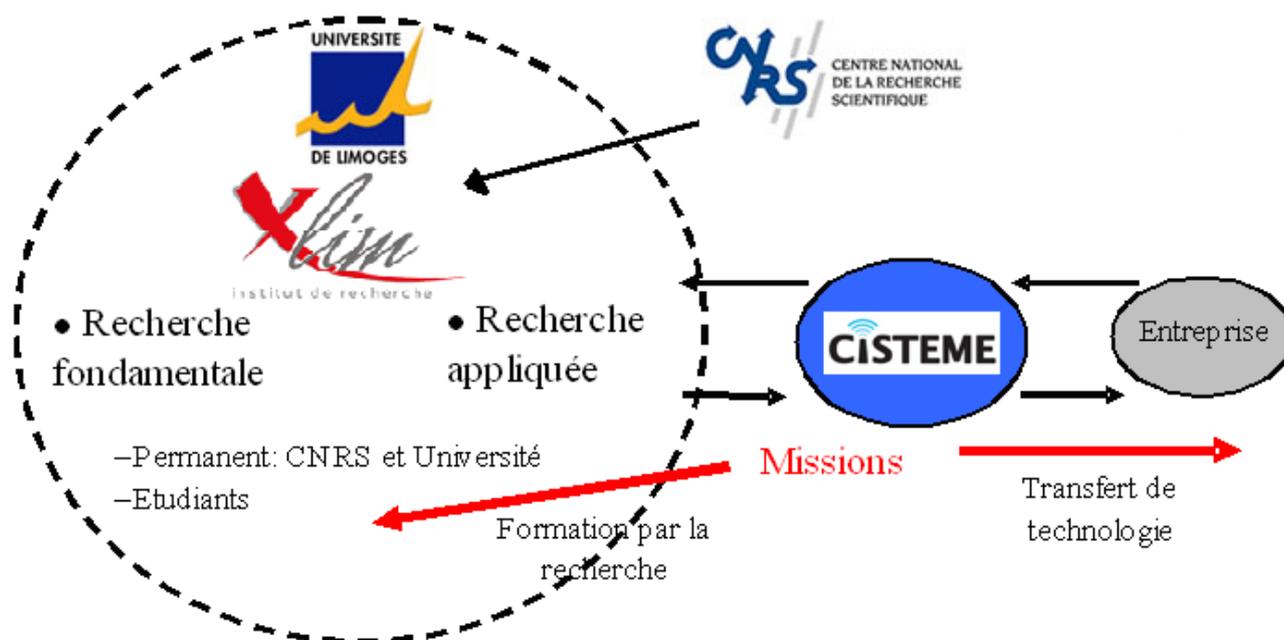


Figure 3 : positionnement de CISTEME

RTE (Réseau français de Transport d'Electricité) est une entreprise cliente de CISTEME et leur collaboration a permis la création de mon stage, ainsi que de nombreux autres, concernant deux secteurs d'activités et comprenant plusieurs tâches :

- amélioration des connaissances des phénomènes électriques et des méthodes de réduction ;
 - simulations des phénomènes électriques en exploitations agricoles ;
 - systèmes passifs et/ou actifs pour la réduction des courants électriques émis par des machines électriques ;

- développement de solutions d'équipotentialité et définition des règles de construction des bâtiments agricoles exposés à des courants vagabonds dans le sol ;
- amélioration des moyens de mesures et des méthodes de diagnostic ;
 - développement d'un réseau de capteur sans fil pour la mesure et l'acquisition des signaux parasites en milieu perturbé ;
 - méthodes de tomographie électrique et électromagnétique appliquée au sous-sol ;
 - premières applications de l'expertise environnementale. Optimisation de la méthode.
 - ...

1.2- RTE

RTE est le gestionnaire du réseau français de transport d'électricité (de 63 à 400 kV). Il a été créé le 1er juillet 2000, sous la forme d'un service indépendant sur le plan du management, financier et comptable au sein d'EDF. Depuis le 1er septembre 2005, en application de la loi du 9 août 2004 relative au service public de l'électricité et du gaz et aux entreprises électriques et gazières, RTE est une société anonyme à capitaux publics, filiale du groupe EDF.

Par cette loi, RTE doit remplir trois missions essentielles :

- gérer les infrastructures de réseau;
- gérer les flux d'électricité sur le réseau;
- contribuer au bon fonctionnement du marché de l'électricité.

Ces missions sont assurées par 8 313 agents, dont plus de 3 300 cadres.

Le réseau RTE transporte plus de 500 milliards de kWh sur plus de 100 000 Km lignes: 47% sont des lignes très hautes tensions et 53% sont des lignes hautes tensions. Au vu de la densité du réseau électrique, des procédures contre RTE ont été engagées par des éleveurs, mettant en cause une éventuelle influence des lignes électriques sur leurs élevages.

1-MESURE DES COURANTS PARASITES

Au cours de ce chapitre nous décrirons le principe de fonctionnement du dispositif qui sera installé sur l'animal pour mesurer les courants parasites.

1.1- Principe de fonctionnement

Le dispositif de mesure qui va être mis au point va permettre, de mesurer une élévation de potentiel du au courant parcourant la vache à l'aide de deux électrodes. Avec ces mesures, il est possible de déterminer les valeurs des courants parasites à partir de la loi d'Ohm $V_e/R_{\text{vache}} = \text{courant qui traverse}$. Pour ce faire, il est nécessaire de déterminer la valeur de la résistance du corps de la vache entre les deux points de mesure.

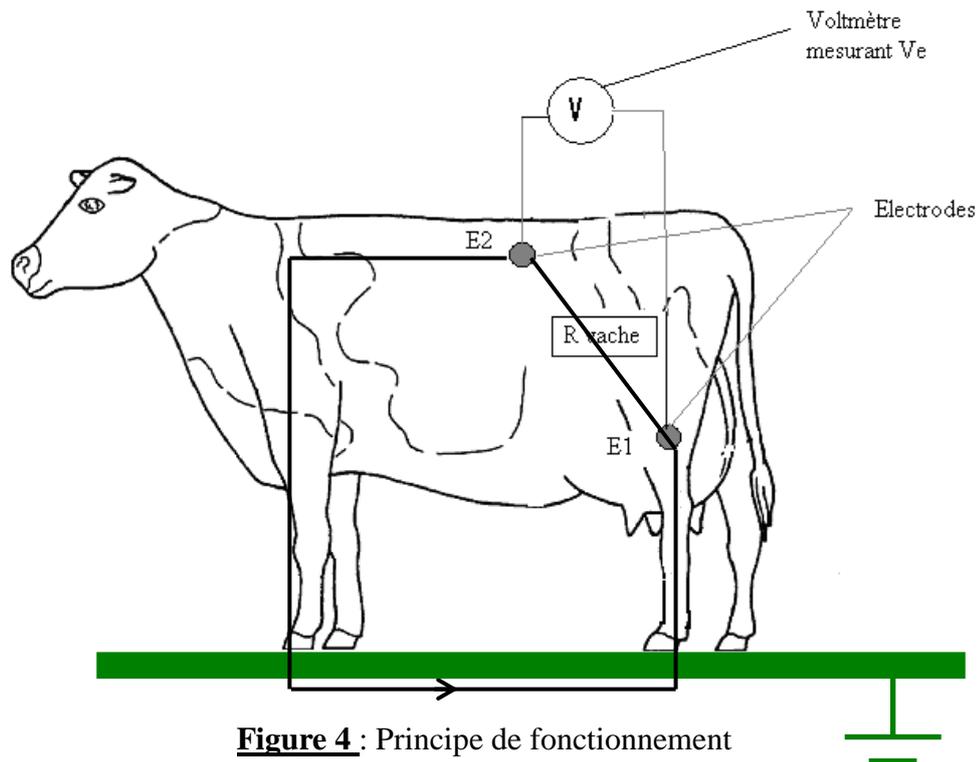


Figure 4 : Principe de fonctionnement

Il est possible de mesurer l'électrocardiogramme parasité (ECG) de la vache (tension de quelques millivolts) à l'aide d'électrodes disposées sur l'animal. La carte permet grâce aux filtres de ne garder que le signal ECG ou que les signaux à 50Hz. La mesure de l'ECG n'est qu'une étape.

1.2- Mesure de la résistance corporelle de la vache

Avant de pouvoir calculer les courants parasites parcourant la vache, il faut préalablement définir la valeur de la résistance corporelle de la vache entre les deux électrodes de mesure. Les calculs suivants ne sont valables que si les résistances de contacts sont négligeables, en lui mettant des bottes avec un système particulier pour diminuer cette résistance.

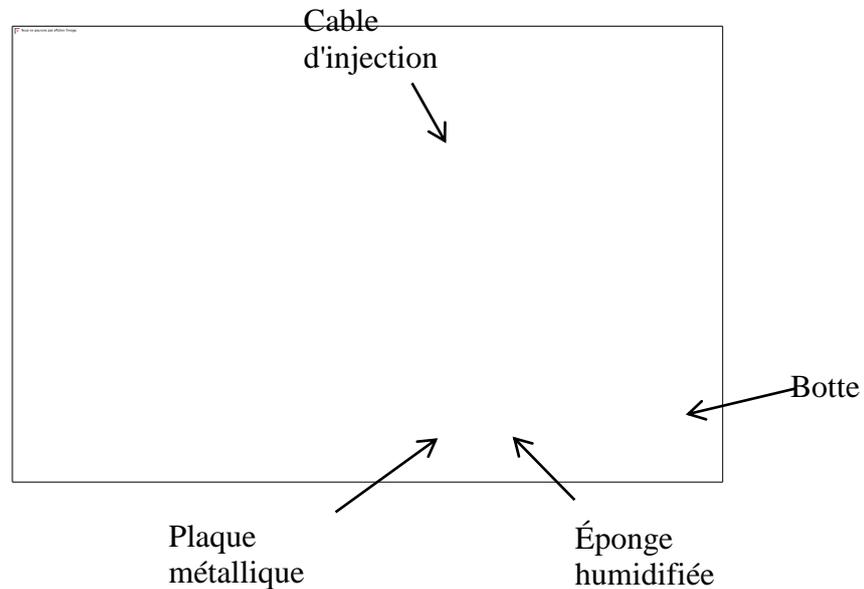


Figure 5 : Principe des bottes d'injection

Comme le montre la Figure 6 la résistance R_{vache} peut être calculée en appliquant un courant d'étalonnage I^e dans la patte sur laquelle est fixée l'électrode E1. Le courant I^e va circuler dans le corps de l'animal (et donc entre les deux électrodes) et va ressortir par les trois autres pattes. Ainsi, on obtient la tension d'étalonnage V^e observée avec le voltmètre quand le courant circule dans la vache. A partir de la valeur V^e obtenue et du courant I^e (connue), la valeur de la résistance R_{vache} est déduite d'après la loi d'Ohms telle que :

$$R_{vache} = \frac{V^e}{I^e}$$

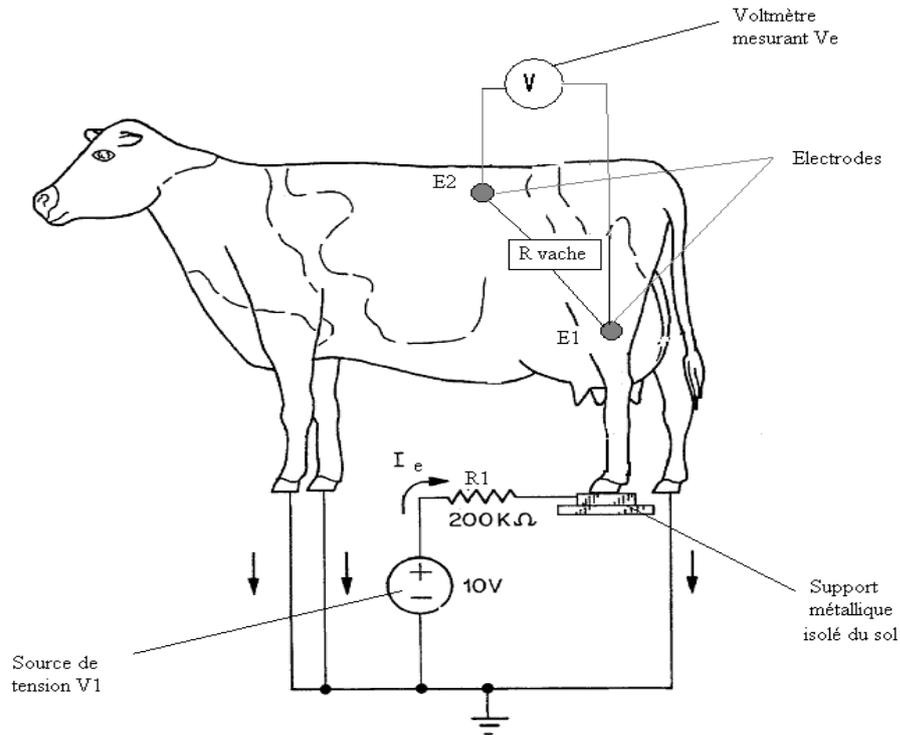


Figure 6 : Dispositif de mesure de la résistance corporelle de la vache

La figure ci-dessus montre le schéma du montage permettant la mesure de R^{vache} entre les deux électrodes de mesure. Le matériel utilisé est un voltmètre relié aux deux électrodes, une source de tension V^1 délivrant 10 V crête et de fréquence 50Hz. Une des bornes est reliée à la terre et l'autre à une résistance R^1 de $200\text{ k}\Omega$. La résistance R^1 est reliée à un support métallique isolé du sol sur lequel repose la patte de la vache reliée à l'électrode E1. De cette manière, on injecte dans la vache un courant I^e connu tel que :

$$I^e = \frac{V_1}{R_1} = \frac{10V}{200\text{k}\Omega} = \underline{0.05\text{ mA}}$$

Remarque : On peut noter que la valeur de cette résistance (R^{vache}) dépend de chaque bovin. En effet, R^{vache} peut varier suivant le taux gras de l'animal ou encore de son pourcentage hydrique. De plus, une même vache peut voir sa composition corporelle évoluer au fil du temps, il serait donc judicieux de faire un étalonnage régulier du dispositif afin d'obtenir des mesures d'une plus grande justesse.

1.3- Choix des électrodes

Afin de choisir les électrodes les plus appropriées pour nos mesures sur les bovins, nous pensions dans un premier temps utiliser des électrodes cutanées. Par la suite nous avons appelé les écoles vétérinaires de Lyon et de Nantes où leurs services de cardiologie nous ont fortement conseillé d'utiliser des électrodes sous cutanées.

La méthode pour placer une électrode sous cutanée consiste à faire une légère incision sur l'animal après avoir fait une anesthésie locale sur la zone concernée, puis de placer l'électrode sous la peau et de faire un point de suture pour que celle-ci tienne. Bien entendu, ces manipulations seront effectuées par une personne compétente, probablement un vétérinaire.

Ces électrodes permettront une meilleure tenue dans le temps, un meilleur prélèvement des signaux, et éviteront les effets indésirables de transpiration de l'animal. En effet, les électrodes à application cutanée ont le défaut de se décoller au cours du temps. De ce fait, leur utilisation pourrait faire varier sensiblement la valeur de la résistance R^{vache} et par conséquent fausser les résultats des mesures.

Lors du stage l'emplacement des électrodes a été défini en réalisant une série de tests en positionnant les électrodes à différent endroit sur l'animal. Ce qu'il en ressort c'est que pour obtenir la meilleur différence de potentiel, il faut placer les électrodes en « diagonale » en les positionnant par exemple sur une patte avant et l'autre au niveau du grasset. Néanmoins un autre emplacement reste possible comme de les placer sur une même patte. Les mesures ayant prouvé que les résultats obtenus avec cet emplacement été tout à fait cohérent.

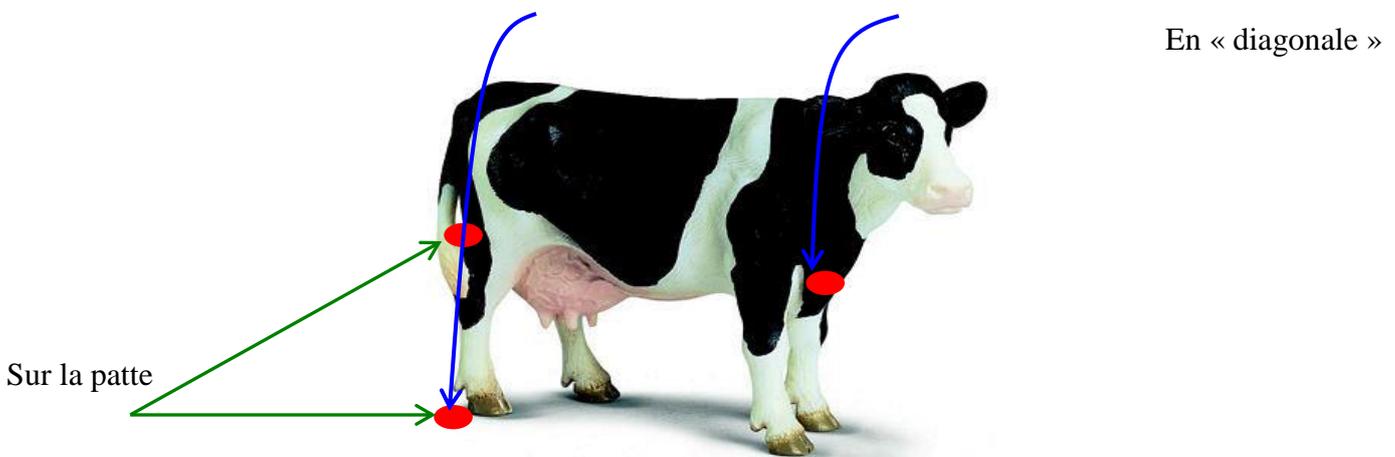


Figure 7 : Emplacements possible des électrodes

1.3- Choix d'une carte d'acquisition

Après avoir travaillé sur une carte amplificatrice lors du projet j'ai essayé de réaliser un filtre actif, les résultats n'étant pas concluant, rapidement je me suis dirigé vers la suite qui était de trouver une carte d'acquisition. L'idée d'une carte d'acquisition simple n'était pas possible, alors il a fallu déterminer le cahier des charges. La carte devait être capable dans un premiers temps d' :

- Avoir une acquisition rapide (500-1000Hz)
- Avoir une faible consommation (système embarqué)
- Avoir une capacité mémoire ou un système radio qui permette de transmettre les données
- Avoir une voie différentiel

Après la recherche d'une telle carte il est apparu que les cartes qui pouvaient répondre au cahier des charges ne fonctionnaient pas en alternatif. Cette contrainte a donc fait sont apparition dans le cahier des charges. Il fallait qu'elle soit capable de relever des signaux alternatifs mais aussi de faibles niveaux (de l'ordre de 100mV) pour éviter d'avoir plusieurs cartes. Plusieurs entreprises tels que NEOMORE, SM2I, ANICIA, DPS, AOIP, ARMEXEL, ASTROMED, DIMELCO, DISTRADE ou encore GOULD INSTRUMENT par exemple ont été sollicité pour voir si leurs produits pouvaient correspondre à nos besoins. Plusieurs produit ce sont avérait répondre au cahier des charges mais trop coûteux comme par exemple le CAP 2 de chez ANICIA(environ 7500 euros). Pour valider le fonctionnement et le principe de la mesure nous avons choisi le SG-LINK de MICROSTRAIN revendu en France par DPS(environ 2500 euros avec logiciel d'exploitation). Cette dernière carte est une carte « clef en main », il ne reste qu'à l'utiliser. La solution qui risque d'être retenu est une solution peu coûteuse(environ 110 euros) mais il faut programmer la carte et faire un logiciel pour l'acquisition des données. La partie développement peut être réaliser par DPS (annexe) ou directement par CISTEME lors d'un prochain stage.



Figure 8 : Carte d'acquisition CAP 2 (ANICIA)



Figure 9 : Carte d'acquisition SG-LINK (MICROSTRAIN)

Carte d'acquisition SG-LINK :

Les caractéristiques principales de cette carte sont les suivantes:

- Mesures temps réel sur plusieurs modules.
- Stockages des données jusqu'à 2048Hz.
- Temps réel jusqu'à 768Hz.
- Mémoire permettant 1 000 000 de mesures.
- Distances maximale de 70m à vue.
- Accepte la plupart des capteurs analogique
- Résistance shunt incluse
- Consommation très faible
- Batterie rechargeable

3-MESURES ET ESSAIS

Dans ce chapitre les premiers essais réalisés sont présentés dans le cadre d'une mesure d'ECG. Les essais qui suivent ont été réalisés avec la carte amplification.

3.1 Mesures préalable:

3.1.1 – Intérêt d'une mesure ECG

L'ECG consiste en la mesure, d'une tension de quelques millivolts générée par les battements du cœur, mesuré à l'aide d'électrodes. Ainsi, en réalisant une telle mesure, le fonctionnement du système et plus particulièrement la partie « électrodes /amplification » sera validé.

3.1.2 – La chaîne de mesure

La chaîne de mesure utiliser pour effectuer l'ECG (cf. figure 16) se compose :

- d'une alimentation $\pm 15\text{V}$
- de 2 électrodes jetables
- de la carte amplificatrice
- d'un oscilloscope numérique

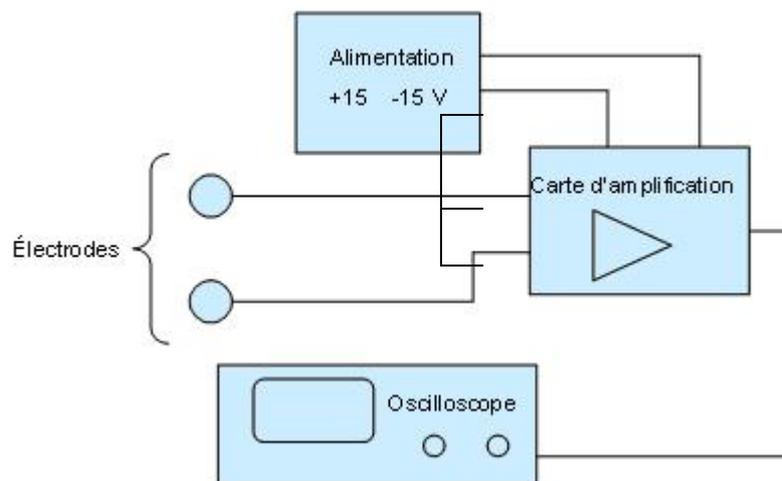


Figure 10 : Chaîne de mesure ECG

Le montage fonctionne de la manière suivante :

Tout d'abord il faut disposer les deux électrodes, une au niveau du cœur et l'autre au niveau de la hanche qui servira de potentiel de référence. Le signal du cœur ainsi capté, va être amplifié par la carte et pourra ainsi être visualisé sur l'oscilloscope. L'alimentation quant à elle, sert à fournir une tension de fonctionnement à l'amplificateur AD620 (cf. figure 10).

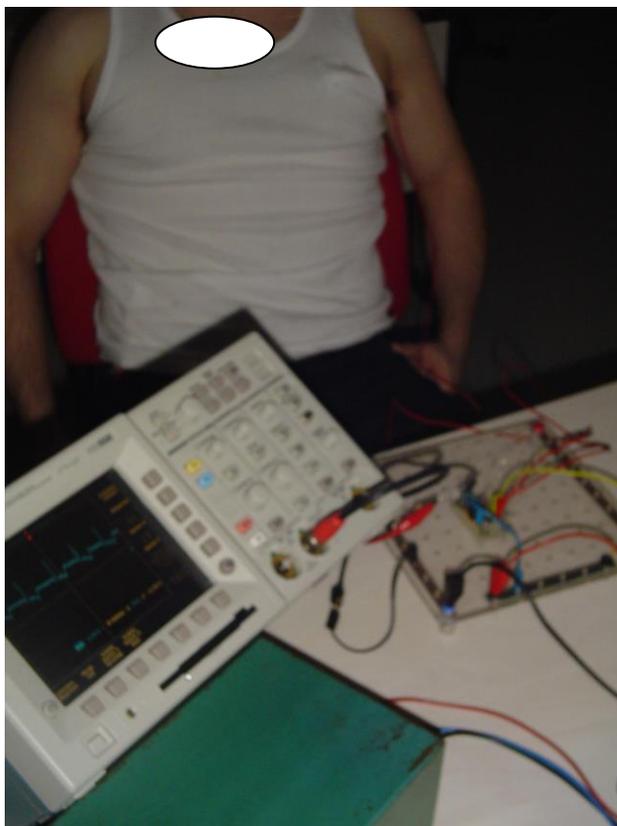


Figure 11 : Dispositif de mesure ECG en situation

La figure 11 montre une photographie de la chaîne de mesure électrocardiogramme en fonctionnement avec la carte prototype.

On peut noter que pour améliorer le contact et donc la qualité de la mesure un gel conducteur a été appliqué sur chacune des deux électrodes.

3.1.3- Résultats

Ce chapitre présente les résultats de mesure obtenus avec le dispositif ECG.

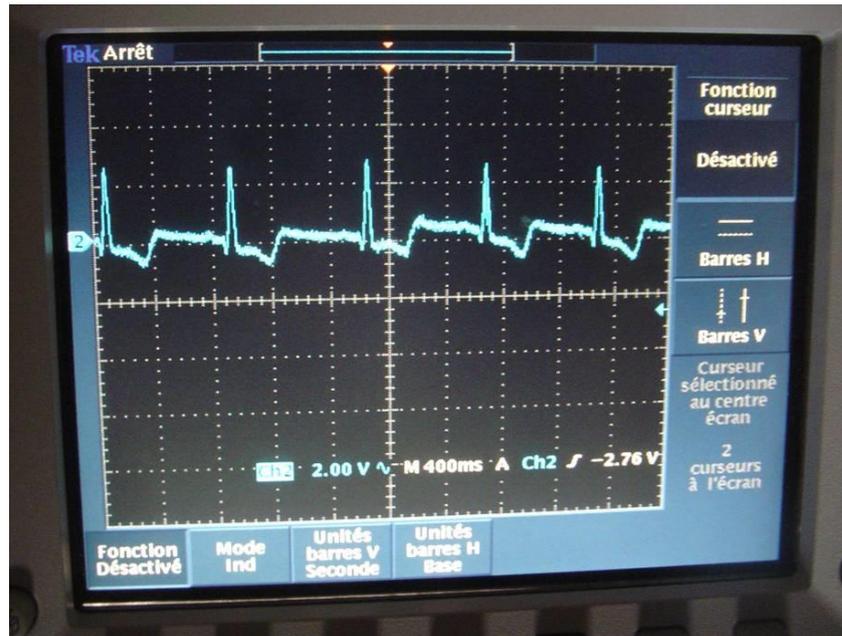


Figure 12 : L'ECG d'un étudiant sur un oscilloscope

La figure 12 montre l'électrocardiogramme d'un étudiant obtenu avec la carte prototype. Cette trace ECG est visualisée sur un oscilloscope numérique qui présente en abscisse l'axe des temps avec un balayage de 40 ms par division et en ordonnée l'amplitude des battements cardiaques pour un calibre de 2 V par division.

On remarque que les impulsions sont espacées de 80ms soit environ 75 battements par minute correspondant au rythme cardiaque d'un homme au repos.

L'amplitude des battements en sortie de la chaîne d'amplification est d'environ 2 V.

La carte utilisée ayant un gain de 989, l'amplitude d'un battement cardiaque est par conséquent de 2,02 mV. La conclusion est qu'il est bien possible, avec un amplificateur d'instrumentation et deux électrodes de mesurer des signaux de l'ordre du mV.

3.2- Mesures à l'INA

3.2.1-Objectif des essais

Les essais qui ont été réalisés le 15 mai 2007 à l'INA (Thiverval Grignon) ont pour but de :

- Connaître la résistance corporelle de la vache
- Réaliser une cartographie des tensions résultantes des courants qui parcourent la vache
- Situer le meilleur emplacement pour les électrodes
- Mesurer les différentes résistances de contact

3.2.2-Description du dispositif d'essai

dispositif d'injection:

Pour réaliser l'essai nous avons fait appel à la ferme expérimentale de l'INA PG. Une vache nous a été mise à disposition par la ferme pour mener à bien les essais décrits par la suite et en particulier la mise en place des bottes d'injection à la vache, (figure 13) le rasage des parties qui accueillent les électrodes de mesures (figure 14).



Figure 13: Mise en place des bottes d'injection



Figure 14: Rasage des parties de l'animal

Le principe de l'injection est montré sur Figure 15.

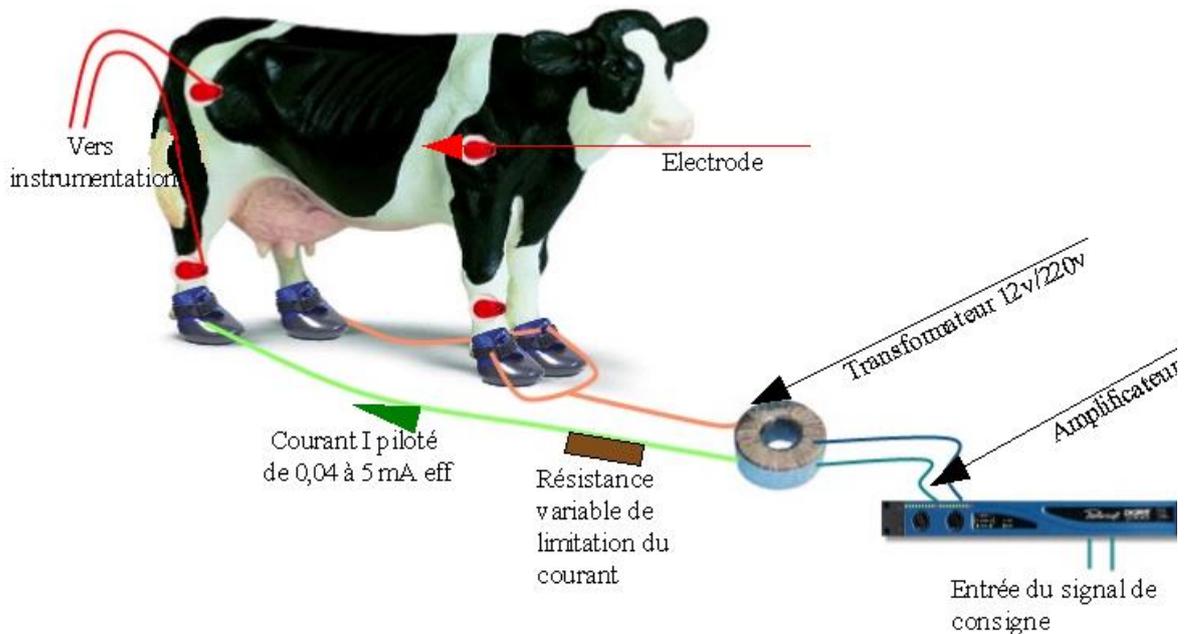


Figure 15: Principe de l'injection

La caractéristique du signal (forme d'onde, fréquence) est fixé par un logiciel développé sous Labview (National Instrument). Un convertisseur numérique-analogique (IOTECH PersonalDAQ300) génère le signal de consigne (sinusoïdal 50 Hz) qui est appliqué aux bornes d'entrée de l'amplificateur (Powersoft LD3004). L'amplificateur permet la transformation de puissance car le convertisseur numérique-analogique ne débite pas de courant.

En sortie de l'amplificateur de puissance, un transformateur 12v/220V permet l'adaptation de l'impédance. En effet, l'amplificateur utilisé travaille que sur des charges faiblement impédantes ($< 8\text{ohms}$), l'animal présente une impédance supérieure à 8 ohms. Il faut en conséquence, adapter les impédances. D'où l'utilisation d'un transformateur.

La tension de sortie du transformateur est appliquée à la vache aux travers des bottes. Une résistance en série (33kohms) avec l'animal permet de limiter le courant circulant dans l'animal.

L'intensité du courant est mesuré par un ampèremètre (METRIX MTX3282). Les différentes tensions sont visualisées par un oscilloscope différentiel (METRIX OX7042C)

Par ailleurs, afin de réduire les résistances de contact entre les points d'entrée du courant (sabots) et le système d'injection (plaque métallique dans les bottes), des éponges imbibées d'eau recouvrent les plaques métalliques.

Les Figures 16 et 17 montrent la vache équipée du système d'injection.



Figure 16: vache équipée des bottes

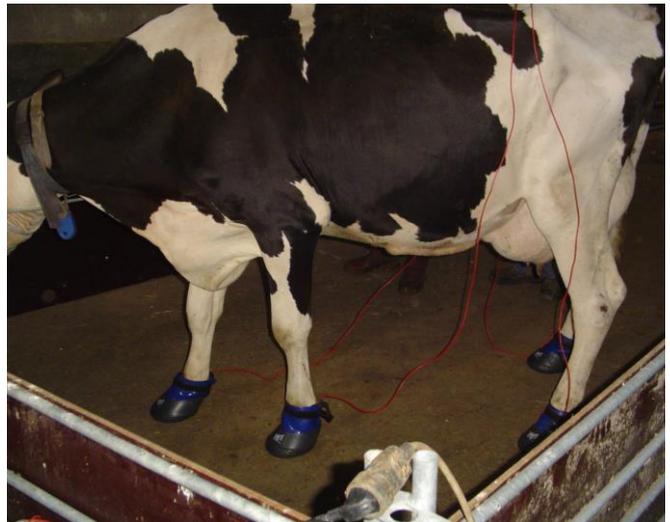


Figure 17: 4 sabots équipés des bottes d'injection

3.2.3-Résultats de mesures

Pour les deux premiers essais, la première borne d'injection est constitué d'une des pattes. Les trois autres pattes sont reliées entre elles et constituent ainsi la deuxième borne d'injection. Les bottes ne servent pas seulement à injecter le courant mais aussi à rendre la résistance de contact Sabots/éléments sous tension négligeable. Ainsi, nous pourrions déterminer la résistance que présente l'animal.

Emplacements des électrodes de mesure:

Sur chaque côté de l'animal, 4 électrodes sont installées pour la mesure de tensions résultantes du courant qui parcourt l'animal (Figure 18)

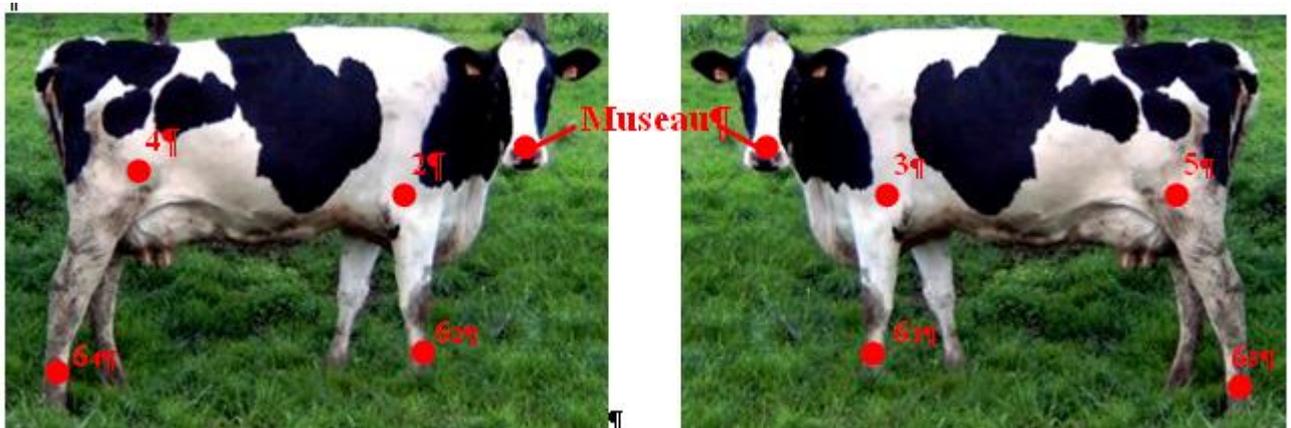


Figure 18: Emplacement/référencement des 8 électrodes

Nous avons commencé par relever les tensions entre les différentes électrodes.

Deux tests sont réalisés. Le premier sera avec une injection par la patte arrière gauche (essai n°1) et le second par la patte avant droite (essai n°2).

3.2.4-Essai n°1- Injection patte arrière gauche

La résistance calculée de l'animal dans la configuration présentée précédemment (1 patte/3 pattes) est

- 509 Ω avec une injection de 227 μ A et une tension de 141mV aux bornes de l'animal,
- 482 Ω avec une injection de 1,04mA et une tension de 502 mV aux bornes de l'animal.

La tableau suivant indique les valeurs de tensions obtenues.

Patte Arrière GAUCHE		
INJECTON	277 μ A	1,04mA
Mesure de la tension entre	Tension efficace	Tension efficace
2 et 4		7,5mV
2 et 6234		56mV
3 et 5	4mV (p4)	
3 et 6234	16mV	
3 et 65	40mV	
4 et 6234		55mV (p5)
5 et 6234	19mV	
5 et 65	37mV	
U Injection	141mV	502mV

L'acquisition p4 (Figure19) a été obtenue entre les électrodes placées sur le flan du coté gauche. L'autre a été relevée (Figure 20) entre l'électrode située au niveau du grasset coté gauche et les trois pattes avant droite, avant gauche et arrière droite.

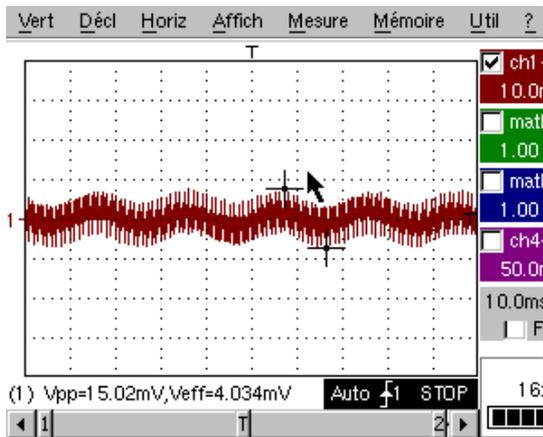


Figure 19: oscillogramme de tension aux bornes des électrodes 3 et 5

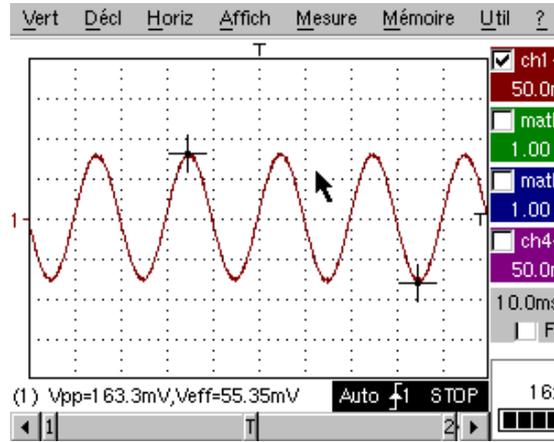


Figure 20: oscillogramme de tension aux bornes des électrodes 4 et 6234

3.2.5-Essai n°2- Injection patte avant droite

La résistance calculée de l'animal dans la configuration présentée précédemment (1 patte/3 pattes) est 549 Ω avec une injection de 227 μ A et une tension de 150mV aux bornes de l'animal.

La tableau suivant indique les valeurs de tensions obtenues.

Patte Avant DROITE		
INJECTON	273 μ A	1,04mA
Mesure de la tension entre	Tension efficace	Tension efficace
3 et 5	11(bruit)	5
3 et 6345	15 (p1)	56 (p3)
5 et 6345	14	53
U Injection	150mV	

L'acquisition p1 (Figure 21) a été prise entre l'électrode située au niveau de la première cote, coté gauche et les trois pattes avant droite, arrière gauche et arrière droite.
 L'acquisition p3 (Figure 22) a été obtenue entre les mêmes électrodes mais le niveau d'injection est plus élevé. Il passe de $273\mu\text{A}$ à $1,04\text{mA}$.

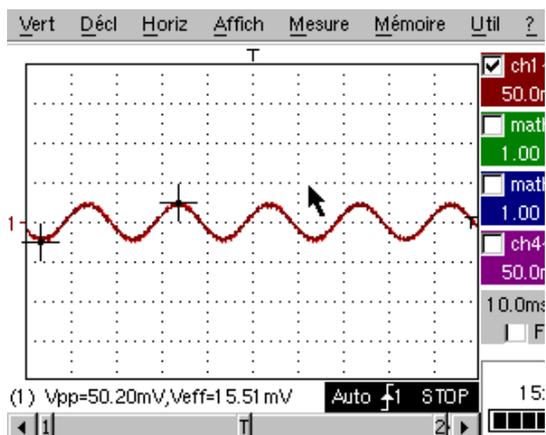


Figure 21: oscillogramme de tension aux bornes des électrodes 3 et 6345

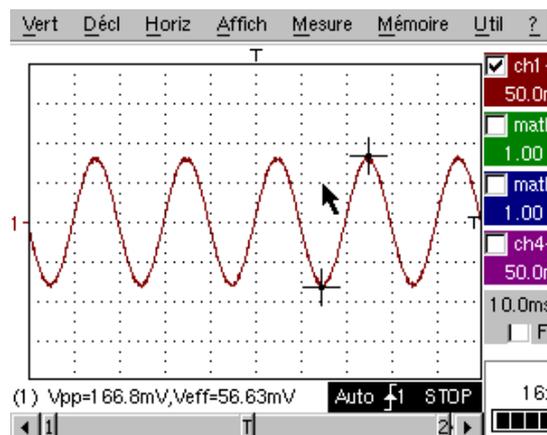


Figure 22: oscillogramme de tension aux bornes des électrodes 3 et 6345

3.2.6-Essai n°3- Tension de pas

Cet essai a été réalisé en reliant électriquement les deux pattes avant entre elles et les deux pattes arrière entre elles. L'injection se fait toujours par les pattes. Cet essai simule la présence d'une tensions de pas. Les résistances de contact sabots/bottes étant négligeables.

La tableau suivant indique les valeurs de tensions obtenues.

TENSION DE PAS	
AVEC BOTTES ($I=1\text{mA}$)	
Mesure de la tension entre	Tension efficace
2 et 3	1mV
2 et 4	10mV
2 et 5	10mV
2 et 623	100mV
2 et 645	90mV
3 et 4	8mV
3 et 5	7,5mV
3 et 623	104mV
3 et 645	88mV
4 et 5	6mV
4 et 623	115mV
4 et 645	80mV
5 et 623	110mV
5 et 645	80mV
Injection	555mV
Museau et 623	105mV

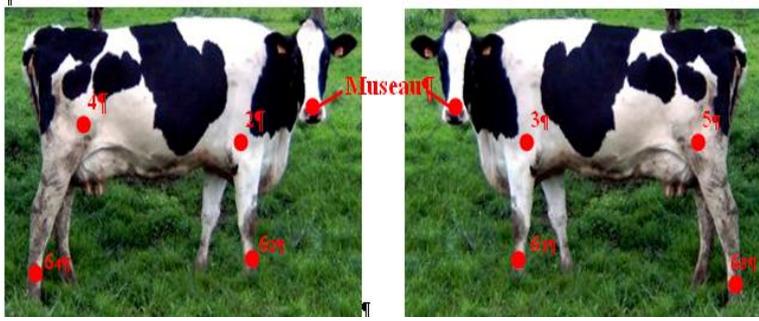


Figure 23:

Rappel de la position des électrodes

Conclusions et commentaires

Conclusions sur le comportement de l'animal

Au cours des essais, le comportement de l'animal a été surveillé. Aucun comportement brutal n'a été remarqué. Par ailleurs, l'animal n'a pas semblé être nerveux au vu de son ruminement permanent au cours de l'application du courant atteignant parfois les 2,5 mA efficace (essai ponctuel pour détecter un modification comportementale).

Sur les différents essais, l'animal a été exposé à un courant de 230 μ A à 1mA. Dans l'hypothèse d'un contact parfait avec les parties sous tension (c'est-à-dire résistances de contact négligeables devant la résistance de l'animal, hypothèse fautive dans la réalité) et permanent (animal ne peut pas éviter le défaut ou l'exposition, hypothèse fautive dans la réalité), la tension de défaut ou d'exposition qui doit exister entre les parties touchées par l'animal, doit être comprise entre 0,150 et 0,5 volt efficace (pour I=230 μ A...1mA).

Trois commentaires :

- En exploitation, l'ordre de grandeur des tensions de pas mesurées est généralement inférieur à 150mV efficace. De plus, le contact avec les parties sous tension n'est ni parfait ni permanent en exploitation, la valeur de courant n'atteindra jamais les valeurs injectées lors de l'expérimentation.
- La littérature indique (Figure 24) que l'effet sur le comportement animal pour un courant compris entre 1 et 3 mA est à peine perceptible. Cela justifie que lors de nos essais (I=230 μ A...2,5mA), aucune signe anormal n'est pu être observé.

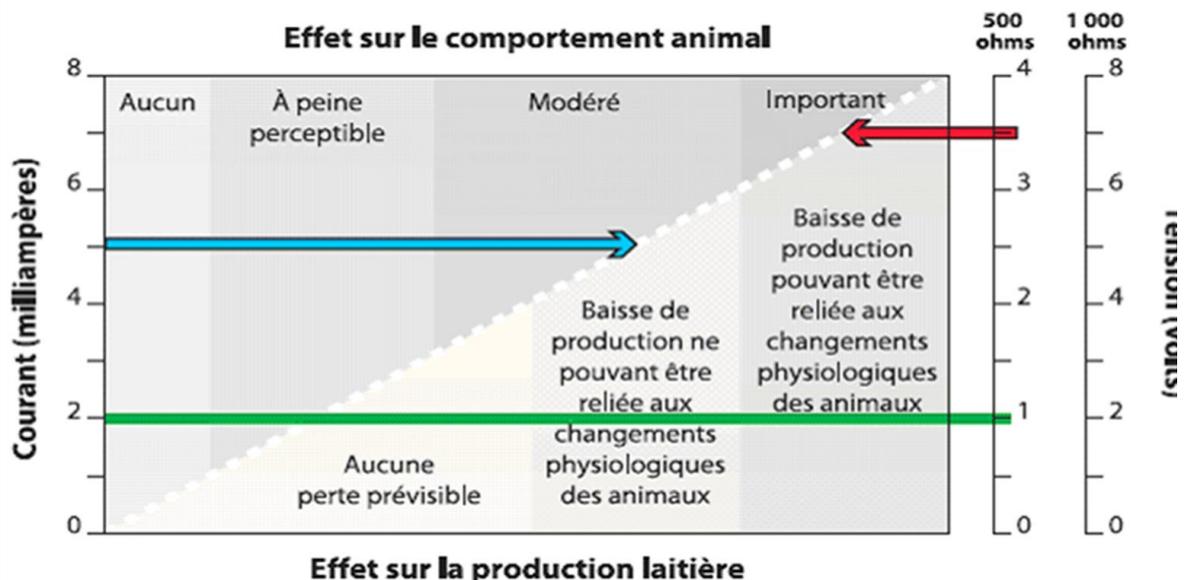


Figure 24: Effet du courant sur le comportement

Référence : Behavioral and Milk Production Responses to Increasing Current Levels, Lefcourt, 1991.

Concernant l'expérimentation qui va être engagée à l'INA : Cette expérimentation consiste à appliquer une tension entre un abreuvoir et une plaque métallique. D'après nos dernières discussions, cette tension serait comprise entre plusieurs centaines de mV et inférieure à 5 Volts. En partant de l'hypothèse que l'expérimentation exposera des animaux dans les conditions réelles (contacts non impédants et non permanents), cela qu'impliquerait que le courant qui va traverser l'animal sera faible, inférieur à ceux que nous avons manipulés le 15 mai 2005 (causes : résistances de contacts élevées), voire inexistant (causes : résistances de contacts élevées et contacts non permanents). L'inexistence de ces courants évoluerait dans le temps au cours des passages de chaque animaux. (Sol plus humide en fin de journée qu'en début du fait de l'accumulation des déjections animales). Nous prévoyons une nouvelle campagne d'essai (7 juin 2007) pour confirmer ces hypothèses au travers la détermination des résistances de contacts lors d'exposition en tension de pas et de contact (Cf. section 5 : Actions à venir). Dans le cas, où ces scénarios seraient validés, cela signifierait que les observations et paramètres surveillés au cours de l'expérimentation n'auraient pas de causalité avec l'exposition électrique.

Conclusion sur le dispositif de mesure et le principe du système

Pour un courant donné, les tensions maximales sont entre

- le haut d'une patte avant et le bas d'une patte arrière (2 et 645)
- le haut d'une patte arrière et le bas d'une patte avant (exemple : 4 et 623)
- le haut d'une patte et le bas de cette même patte (exemple : 4 et 645)

Ceux sont donc ces points de mesure que devront être équipés d'électrode pour les prochains essais.

Les tensions en ces points sont autour d'une centaine de mV pour 1mA. Dans la perspective d'une utilisation de ce dispositif de mesure dans les conditions réelles d'élevage où les résistances de contacts ne sont plus négligeables devant la résistance corporelle de l'animal, la valeur de courant susceptible de parcourir l'animal sera bien plus faible. Ce qui signifie que les tensions résultantes seront également bien plus faibles que celles mesurées lors de l'expérimentation du 15 mai 2007. En conséquence, pour une utilisation avec des résistances de contact non négligeables (Cf. section 5 : Actions à venir), le dispositif de mesure ou d'acquisition devra comporter un étage d'amplification avec un gain réglable, pouvant aller jusqu'à 4000.

Conclusion sur le système d'injection

Le dispositif d'injection a parfaitement fonctionné. En effet, il a permis une injection d'un courant alternatif constant quelque soit l'activité motrice de l'animal.

Aussi, ce dispositif d'injection permettrait si besoin de caractériser la résistance corporelle de chaque animal d'un troupeau afin d'évaluer la dose de courant reçu à exposition constante (tension constante). Les résistances corporelles déterminées (482-550 ohms) sont cohérentes à celles publiées dans la littérature (Norell, 1983 résistances sabots antérieur-postérieur = 496-1152 ohms).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les différentes mesures effectuées permettent de valider la fonction d'amplification ainsi que les électrodes. En effet les signaux de faible amplitude captés par les électrodes sont maintenant exploitables par une carte d'acquisition et reçu par un ordinateur.

Les taches restant à effectuer sont :

- Test de la carte d'acquisition et du module de communication en exploitations, tout d'abord sur des bovins non exposés au phénomène pour avoir une idée des niveaux
- Déploiement du dispositif global (carte d'acquisition + réception des données).

LEXIQUE

ECG : Abréviation utilisée pour électrocardiogramme. Il s'agit en fait du diagramme obtenu par l'enregistrement des ondes émises par les battements du cœur.

Hydrique : Qui a trait à l'eau.

INA : Institut National Agronomique de Paris-Grignon

Mammite : La mammite est une inflammation des mamelles, qui fait suite à la congestion de ces dernières. La mammite est toujours d'ordre infectieuse. L'infection peut avoir beaucoup de causes, avec un point commun, la malpropreté. Le lait n'est plus consommable par les veaux. Il vaut mieux arrêter les tétées, car la mammite s'étend généralement aux autres tétines. Il faut traire la vache et soigner les mamelles, pour éviter une mammite chronique par la suite, mammite chronique qui pourrait dégénérer en tumeur.

BIBLIOGRAPHIE

The Midwest Rural Energy Council., Université de Wisconsin [en ligne]. Madison: Disponible sur :
< <http://www.mrec.org/sv-info.html> >

Martin H Graham : Méthode quatre fils pour mesurer le courant dans une vache, Brevet 5 465 051.25
15 Avril 1994