

Rapport de stage

Évaluation des moyens de protections pour la réduction des parasites émis par les équipements électriques.

Soutenu par : Nicolas VIOLET

Sous la direction de :

M. Sébastien Sahuguède responsable CISTEME
M. Bruno Beillard correspondant Licence Professionnelle

UNIVERSITE DE LIMOGES

Licence Professionnelle Gestion de la Production Industrielle

Option Essais et Instrumentation des Systèmes Industriels Embarqués

5 juin 2007

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu l'association CISTEME qui ma permis de réaliser mon stage. Stage nécessaire pour l'obtention de la licence professionnelle « Essais et Instrumentation des Systèmes Industriels et Embarqués ».

Je tiens à remercier M. Sébastien Sahuguède, responsable de mon stage au sein de l'entité CISTEME, pour l'ensemble de ses conseils et du suivi de son bon déroulement tout au long de cette période.

Je tiens également à remercier M. Bruno Beillard ainsi que M. Edson Martinod, correspondants de la Licence EISIE, pour leur aide technique et leur soutien pédagogique qu'ils m'ont apporté au cours de mon stage.

Je remercie, M. Alain Madore, responsable de la société GERAC, pour son apport technique d'un point de vue CEM ainsi que pour le prêt de matériel de mesure.

Enfin, je remercie l'ensemble des étudiants de la salle CEM de l'IUT qui ont su apporter bonne humeur et rigueur afin de contribuer au bon déroulement de mon stage.

SOMMAIRE

1 – INTRODUCTION	5
2 – CONTEXTE	6
3 – OBJECTIFS	9
4 – CAHIER DES CHARGES	10
5 – LES PERTURBATIONS ELECTRIQUES CONDUITE SUR LE CONDUCTEUR DE PROTECTION EQUIPOTENTIEL	11
5-1 Inventaire des équipements électriques perturbateur	11
5-2 La mesure des perturbations	11
<i>5.2.1 La chaîne de mesure</i>	11
<i>5.2.2 Mesures sur site (exploitations agricoles)</i>	12
5.2.2.1 Exemple de relevés de perturbations mesuré dans l’exploitation	13
<i>5.2.3 Mesure en laboratoire</i>	16
5.2.3.1 Les matériels utilisés	16
5.2.3.2 Mesures sur tubes fluorescents	16
5.2.3.3 Mesure sur un variateur de vitesse	18
5.2.3.4 Mesure sur une clôture électrique	19
5-3 Explication du phénomène :	
(Pourquoi retrouve t’on ces parasites sur le conducteur PE ?)	21
5-4 Les moyens de protection	21
<i>5.4.1 Respect de la conformité électrique en matière d’équipotentialité (NF C 15-100)</i>	21
<i>5.4.2 Les différents moyens de protection</i>	23
5.4.2.1 Les selfs	23
5.4.2.2 Les ferrites	24
5-5 L’emplacement du dispositif réducteur de parasites HF	25
5-6 Exemple de quelques dispositifs	25
<i>5.6.1 Le « GTF »</i>	26
<i>5.6.2 Self de terre Schaffner</i>	26
<i>5.6.3 Les selfs sur tore ferrite</i>	26

5-7 La caractérisation des différents dispositifs et les essais	27
5.7.1 Vérification de la méthode de caractérisation sinus point à point	27
5.7.2 Essais en courant fort	30
5.7.2.1 Objectifs des essais	30
5.7.2.2 Schéma électrique du dispositif d'essais	30
5.7.2.3 Principe de la caractérisation	31
5.7.2.4 Résultat des essais	31
5-8 Exemple d'essais sur des matériels perturbateurs	33
5.8.1 Essais du dispositif « GTF »	
<i>sur le conducteur de protection d'un tube fluorescent</i>	33
5.8.2 Essais sur un variateur de vitesse	34
5.8.3 Essais sur une clôture électrique	35
5.8.3.1 Emplacement de la mesure	35
5.8.3.2 essais avec une self	35
6 – METHODOLOGIE DE DIAGNOSTIQUE DES PARASITES HF.....	36
7 – CONCLUSIONS, PERSPECTIVES & AMELIORATIONS	37
8 – ANNEXES	38

1 - INTRODUCTION

Ce stage s'inscrit dans la continuité du projet intitulé « Etat de l'art et évaluation des moyens de protections pour la réduction des parasites HF émis par les équipements électriques » effectué dans le cadre de la licence professionnelle EISIE (Essais et Instrumentation des Systèmes Industriels & Embarqués) que s'inscrit ce sujet de stage.

C'est dans un contexte de recherche et de développement que l'entreprise RTE en collaboration avec l'association CISTEME, m'ont placés dès le début de ce stage.

Filiale d'EDF, RTE le Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité Français, exploite, entretient et développe le réseau électrique. L'étude qui m'a été confiée se situe dans le cadre d'élevage bovin, où l'on a observé différents symptômes comme :

- une plus faible production de lait par intermittence,
- de troublants comportements pendant la traite,
- des animaux refusant de s'alimenter,
- ...

CISTEME (Centre d'Ingénierie des Systèmes en Télécommunication, Electromagnétisme et Electronique) est une association de loi 1901, fondée en 1995 par M. Bernard JECKO. CISTEME fait l'interface entre des industriels de toutes tailles comme RTE et l'université de Limoges et ses laboratoires de recherches associés tel que Xlim, unité mixte (UMR) du CNRS.



L'objectif de cette étude est de répondre à la question : Existe-t-il des moyens de protection contre les courants de fuite émis par les machines électriques présentes dans les exploitations agricoles ? Il sera abordé dans ce stage aussi l'aspect réduction des perturbations harmoniques ainsi qu'une partie liée à l'expertise de terrain.

2 – CONTEXTE

Que sont les courants de fuite ?

Les courants de fuite se réfèrent à des courants électriques, émis par les machines électriques, présentes dans notre cas dans des exploitations agricoles. Ces matériels peuvent être, des systèmes de ventilation et de traitement de l'air, des systèmes de traite automatisés, des éclairages de type tubes fluorescents, la liste n'est pas exhaustive mais je parle effectivement de tous les appareils raccordés au réseau électrique 230V alternatif monophasé ou 380V triphasé suivant leur type d'alimentation.

La définition des courants de fuite d'après la norme électrique française NF C15-100¹ qui a ses équivalences internationales tels que le CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est la suivante : Courant électrique qui, dans des conditions normales de fonctionnement, s'écoule à la terre ou dans des éléments conducteurs.

Nous parlons donc bien ici des courants qui s'écoulent par le conducteur de protection² vers la terre ou par tout élément conducteur tel une structure métallique.

Quelles sont les causes des courants de fuite ?

Les courants de fuite peuvent avoir plusieurs causes :

1 - Les raccordements électriques ou des appareils défectueux dans l'habitation ou dans les locaux de stabulation.

Les installations électriques doivent être réalisées avec le plus grand soin en effet elles doivent respecter les normes en vigueur dans le pays d'utilisation des matériels, il est préconisé de respecter la norme NF C15-100, norme en vigueur en France. Inévitablement nous trouvons des malfaçons du type, raccordements de câblages (boîtes de dérivations brisées ou non étanches) ou des défauts d'isolement ou des appareils défectueux (moteurs électriques mal isolés, brûleurs de chauffage insuffisamment protégés contre les pertes de courant et les inductions, systèmes de

¹ La norme électrique NF C15-100 est homologuée par l'Afnor et prend effet à compter du 5 décembre 2002, traite de la conception, de la réalisation, de la vérification et de l'entretien des installations électriques alimentées sous une tension au plus égale à 1000 Volts efficaces en courant alternatif et 1500 V en courant continu.

² NF C15-100 Def. Conducteur de protection (PE) : conducteur prescrit dans certaines mesures de protection contre les chocs électriques et destiné à relier électriquement certaines des parties suivantes : masses, éléments conducteurs, bornes principales de terre, prise de terre, point de l'alimentation relié à la terre ou au point neutre artificiel. Un conducteur de protection peut être commun à plusieurs circuits.

ventilation, trapeuses, pompes à vide et compresseurs, système d'éclairage...) peuvent être la source de courants se propageant par le conducteur de protection qui est parfois relié aux structures métalliques dans l'exploitation agricole. Nous verrons par la suite les conséquences de ces courants.

2 – Une mauvaise conception de l'installation d'un réseau de clôtures électriques.

La clôture électrique se compose d'un générateur de courants pulsés, d'une clôture et d'une terre de retour. Très souvent, des fermiers peu informés des problèmes liés à ce type d'installation raccordent le générateur à l'intérieur d'une étable et réalisent la mise à la terre également à l'intérieur de l'exploitation. Parfois la clôture est destinée à fonctionner dans l'étable même, afin de délimiter les zones de circulation du bétail. Il va de soi que le courant peut circuler sur les structures métalliques, si la clôture est raccordée elle aussi aux barrières en métal tout en pensant faire une mise à la terre correcte. Ceci fait l'objet d'une norme particulière la NF C 15-140.

Voici les points les plus observés dans les exploitations agricoles.

Quels sont les effets des courants de fuite ?

Lorsque les courants de fuite atteignent un niveau suffisant (quelques milli ampères), ils peuvent traverser le corps d'un homme, d'une vache ou de tout autre être vivant et affecter fâcheusement son état de santé et son comportement. De plus la résistance électrique des animaux³ est généralement plus faible que celle de l'homme. En effet, l'animal est souvent sur un sol humide qui est donc conducteur du courant. De plus, il est souvent en contact des structures métalliques présentes dans les étables, ce qui crée un nouveau passage possible du courant. L'homme dans les mêmes conditions est souvent muni de bottes en caoutchouc qui sont isolantes donc parfaitement isolé du sol. La vache, le porc ou le chien peuvent donc être affectées par de faibles courants que l'éleveur ne percevrait même pas.

Pour la vache, la voie allant du museau aux sabots est la plus sensible car la résistance est minimale. Il est généralement admis que pour les vaches, le seuil d'inconfort apparaît aux environs de 5 mA pour des courants transitoires⁴. Des courants plus élevés provoquent un inconfort plus important. Il faut noter que même lorsque le seuil est dépassé, tous les animaux d'une même espèce et d'une même race ne répondent pas toujours à ce facteur de stress en manifestant les mêmes symptômes. Mais, lorsque les courants sont suffisamment élevés, les symptômes observés sur

³ Résistance électrique d'une vache : voir tableau en annexe.

⁴ La valeur de ce courant fait référence, à une publication « Response of dairy cattle to transient voltages and magnetic fields » de Douglas J. Reinemann, La Verne E. Stetson, membres de l'IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering) et Nellie K. Laughlin. Publié en 1995.

l'ensemble de l'élevage sont plus homogènes et apparaissent sur un plus grand nombre d'individus. Aucun signe isolé ne peut être retenu comme spécifique. De nombreux signes sont observés sur des vaches exposées à différents niveaux et durées de courants de fuite de type transitoires. On constate :

- de nombreuses périodes intermittentes de faibles performances laitières,
- de faibles descentes de lait, de traite incomplète, fluctuante voire de lactation supprimée,
- un comportement anormal durant la traite,
- des temps de traite augmentés,
- un refus de la nourriture ou de l'eau,
- l'augmentation du nombre de cellules somatiques dans le lait,
- l'augmentation du nombre de mammites,

Mais ces signes peuvent aussi être attribués à d'autres causes que les courants de fuite.

C'est donc notamment suite à ces problèmes de courant de fuite que RTE en collaboration avec CISTEME, m'a confié l'étude de moyens de protections. Ceux-ci permettraient de réduire les courants de fuites qui se retrouvent sur le conducteur de protection (conducteur de terre) lié aux machines électriques présentes dans les exploitations agricoles.

Je chercherai à caractériser les éléments électriques pollueurs dans un premier temps afin de pouvoir par la suite mettre en place des solutions adaptées, pour palier aux désagréments que peuvent subir les animaux dans les fermes.

3 – OBJECTIFS

- Dans un premier temps, il sera abordé une partie relative à la caractérisation des courants de fuite présents sur le conducteur de protection à l'aide de méthodes mises au point dans le précédent projet, entre autres des mesures à l'aide de pinces ampèremétriques adaptées.
 - explication de la provenance de ces courants de fuite,
 - explication et valorisation d'une chaîne de mesure adaptée ainsi que la méthodologie à appliquer en présence de courants parasites,
 - essais et mesures de terrain, relevés de perturbations dans des exploitations agricoles,
 - étude de l'aspect normatif (NF C 15-100) lié au conducteur de protection,
 - validation des mesures effectuées en exploitations, sur des matériels perturbateurs (essais de laboratoire), évaluation des signaux, en temporel et fréquentiel (encombrement spectral).

- Dans un deuxième temps, il sera évoqué les moyens de protection choisis ainsi que les caractéristiques de chacun d'entre eux, les différentes méthodologies de caractérisation des dispositifs et les vérifications de conformités électriques
 - état de l'art des dispositifs réducteurs de parasites,
 - explication des méthodes de caractérisations des matériels,
 - vérification de la conformité électrique,
 - essais de laboratoire in situ sur des matériels électriques perturbateurs,
 - conclusions.

- D'autre part, il sera aussi abordé dans ce mémoire de stage, la mise au point d'une méthodologie de diagnostic électrique des perturbations présentes sur le conducteur de protection.
 - il sera explicité, une méthodologie de diagnostic et l'application réelle de tous les différents points vus précédemment, afin de diagnostiquer, évaluer, et mettre en place des solutions adaptés afin de réduire les phénomènes de type perturbations électriques présentes sur le réseau d'équipotentialité.

- Enfin, pour conclure, il sera donné des axes d'améliorations possibles.

4 – CAHIER DES CHARGES

Aux regards des études précédentes, les études des protections anti-parasite pour le conducteur de protection devront se limiter à la bande DC – 100KHz. Mais suite à certaines expérimentations et connaissances, la bande d'étude sera élargie, à savoir jusqu'à 30MHz.

Les limites matérielles :

- La caractérisation des dispositifs sera faite selon certaines méthodes au vu des matériels disponible durant ce stage. La bande de fréquence d'étude imposée ne nous permet pas de pouvoir utilisé un analyseur de réseau vectoriel.
- La vérification de la conformité électrique ne se fera que jusqu'à 2A sous 230V~. (Limite de l'amplificateur)

5 - LES PERTURBATIONS ELECTRIQUES CONDUITE SUR LE CONDUCTEUR DE PROTECTION EQUIPOTENTIEL

5-1 Inventaire des équipements électriques perturbateur

En premier lieu, il a été intéressant de faire un état de l'art des équipements présents dans des exploitations agricoles pouvant présenter des problèmes électriques, afin d'orienter au mieux les études qui seront effectuées en laboratoire. Effectivement on trouve divers type de matériels, par exemple : des systèmes réfrigérant pour conserver le lait, des robots automatisés pour la traite, des compresseurs, des surpresseurs, des pompes à eau, des systèmes d'éclairage de type tubes fluorescent, des systèmes de ventilation...

La liste n'est pas exhaustive mais dans cette étude, nous prendrons pour matériels d'essais : un compresseur à air, un variateur de vitesse de moteur électrique et un éclairage de type tubes fluorescents.

5-2 La mesure des perturbations

5.2.1 La chaîne de mesure

C'est suite au précédent projet, qu'il a été décidé de mesurer les perturbations conduites sur le conducteur de protection à l'aide d'une pince ampèremétrique. Pince qui a été choisie en premier lieu dans un but de détection des parasites, ce qui implique par rapport au cahier des charges de ne mesurer que dans une bande passante comprise du continue à 100 KHz. Il n'a jamais été remis en question que les perturbations ne se trouvent pas dans une bande passante plus élevée que celle définie dans le cahier des charges et c'est suite à l'intervention très appréciée de M. Alain Madore⁵, que l'on a pu se permettre d'élargir la bande de détection jusqu'à 30 MHz grâce au prêt d'une autre pince ampèremétrique.

⁵ Alain Madore : Responsable de la société GERAC - Limoges, spécialisée dans les essais normatifs CEM, l'ingénierie CEM et différents types d'essais dans le domaine de l'électromagnétisme.

La chaîne de mesure est donc la suivante :

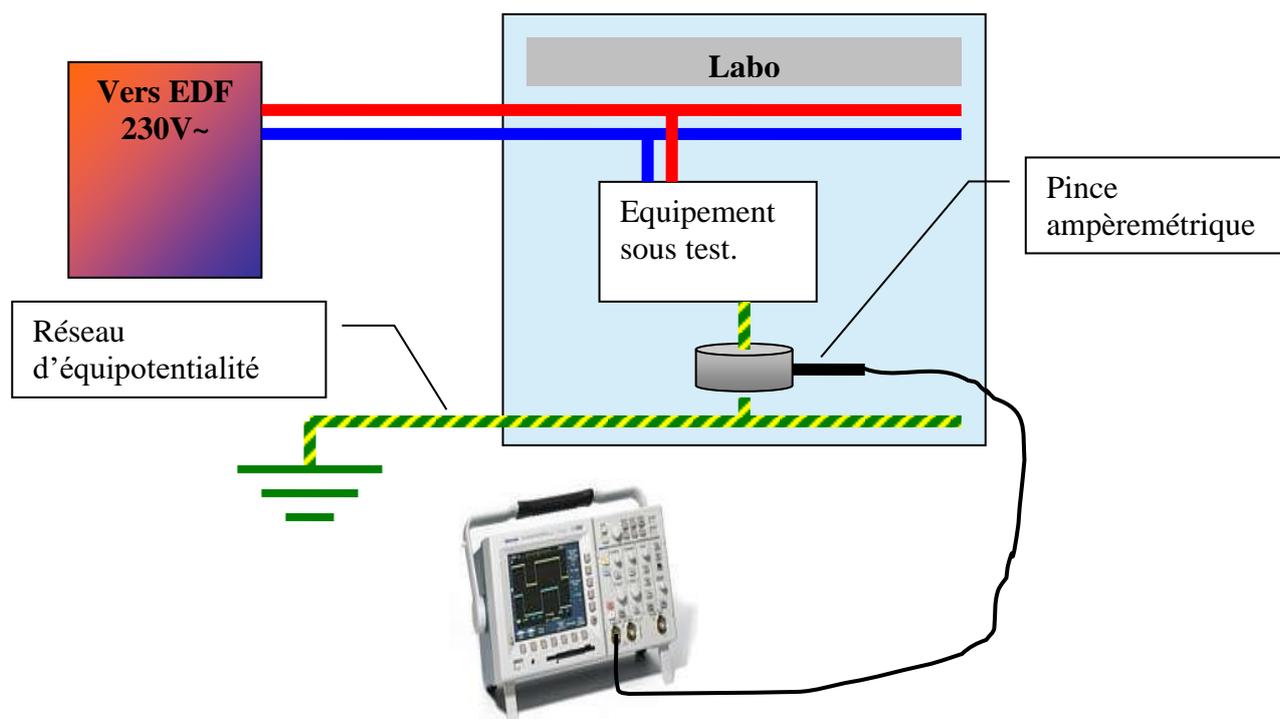


Figure 1 : La chaîne de mesure

D'un point de vue praticité, il a paru plus avantageux de faire des mesure à l'aide de pinces ampèremétriques, autant en phase de détermination des équipement électrique pollueurs sur site (exploitations agricole) que sur un point de vue laboratoire, la mesure par adjonction d'un shunt en série sur le conducteur de protection est quand à elle remise en cause. Le fait de rajouter une résistance type $\frac{1}{4}$ W de 1 Ohm dont on ne connaît pas réellement ces caractéristiques change les caractéristiques du réseau d'équipotentialité, de même il y a une augmentation du risque électrique, si un courant de défaut survenait durant la phase de mesure. Il est aussi important de veiller à minimiser l'impédance de terre.

5.2.2 Mesures sur site (exploitations agricoles)

Le but premier de ce stage étant de réduire les courant de fuite présent sur le conducteur PE, il a paru intéressant de faire des essais concret dans une exploitation agricole. Le cas échant s'étant présenté au cour de ce stage, nous nous sommes donc rendu dans une ferme laitière de Normandie ou certains problèmes comportementaux des bovins pourraient être corrélé à des problèmes d'origine électrique. Missionnés par un expert agricole, nous sommes allé le 24 avril 2007, effectuer une expertise électrique dans l'exploitation selon la méthodologie mise au point par M. Sahuguède.

Mon rôle étant de vérifier la présence de parasite HF sur le conducteur PE, nous avons suite à cette expertise pu confirmer la présence de parasites HF du à des matériels électrique présents dans l'exploitation et avoir confirmation des mesures effectuées en laboratoire.

Les mesures effectuées dans le cadre de cette expertise on révélé d'autre sources et problèmes électriques tel que des courant de fuite harmonique 50Hz du à des moteurs de mauvaise qualités, courants que l'on retrouvé essentiellement sur le conducteur PE. C'est pourquoi il sera abordé en annexe 4 de ce rapport une partie relative aux perturbations harmoniques. Les détails de ce rapport d'expertise sont donnés en annexe 5.

5.2.2.1 Exemple de relevés de perturbations mesuré dans l'exploitation :

Ces mesures comprennent des relevés de tension de pas (fig. 2 et 3), des mesures à l'aide de pince sur le conducteur de protections (fig. 6 et 7). Les matériels utilisés lors de ces mesures sont quelques peut différents de ceux qui seront utilisé en laboratoire. Utilisation d'un oscilloscope différentiel Métrix OX7042, d'une pince ampèremétrique Chauvin Arnoux B102 (Calibre 1V/A), de plaques de contact en acier.

Mesures tensions de pas :

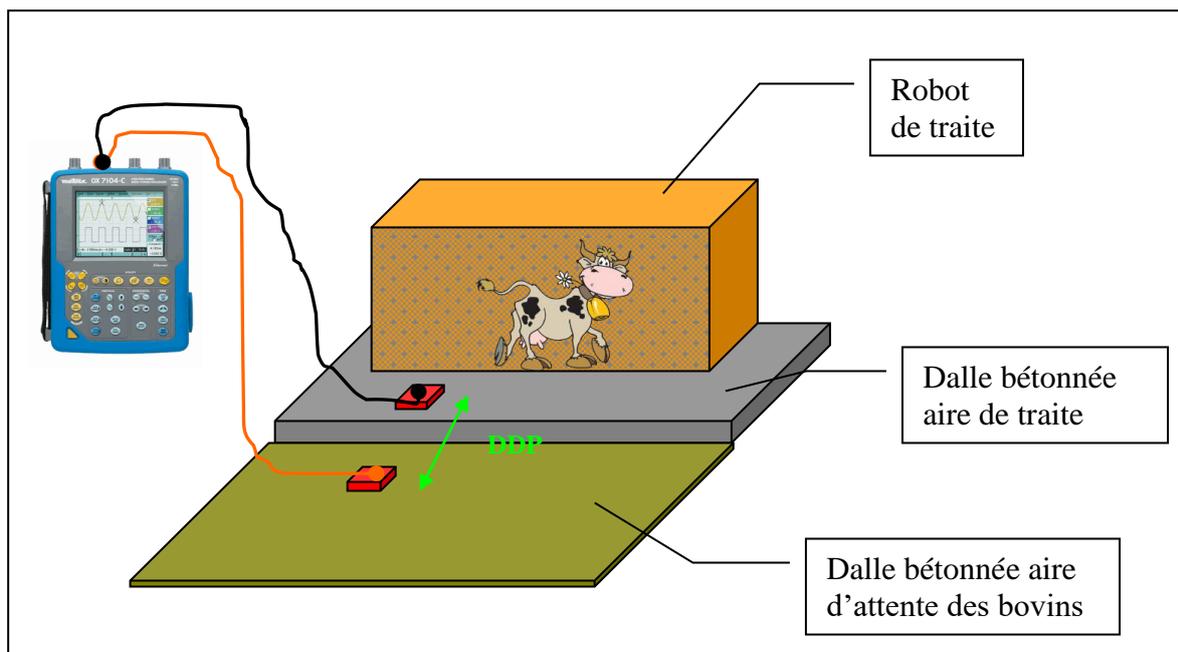


Figure 2 : Schéma mesure tension de pas



Figure 3 : Photo mesure de tension de pas

Exemple des signaux relevés lors de la mesure de tension de pas :

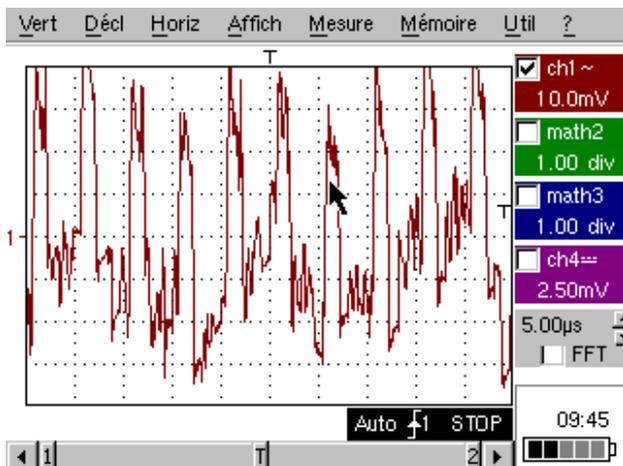


Figure 4 : Fonctionnement robot de traite

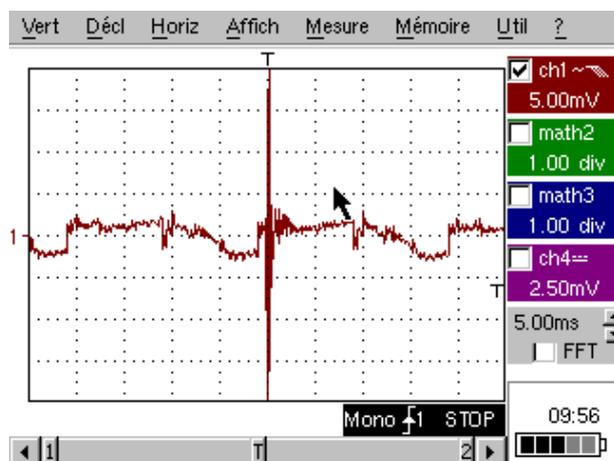


Figure 5 : Fonctionnement tank à lait

Sur la figure 4 on peut voir des commutations d'électronique de puissance du au fonctionnement du robot de traite, commande de certains automates.

Sur la figure 5 on observe l'appel de courant du au démarrage des moteurs qui servent au refroidissement du lait.

Comme ont peut le voir sur ces deux relevés, il apparaît que des signaux de type transitoire parfois répétitif peuvent effectivement se retrouver au pieds des animaux lors de cette mesure de tensions de pas. Ce qui incite à localiser au mieux la fuite de ces courants et ainsi cibler la future zone à protéger.

Mesures pince ampèremétrique :

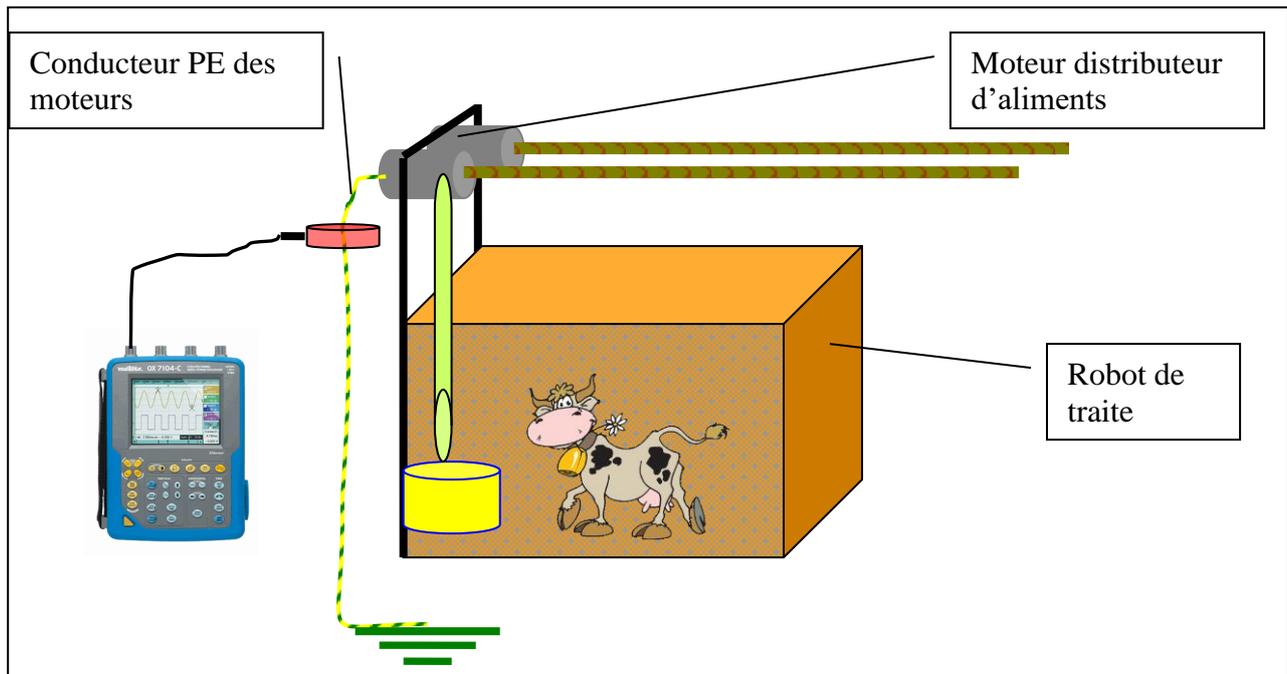


Figure 6 : Schéma mesure à l'aide d'une pince ampèremétrique

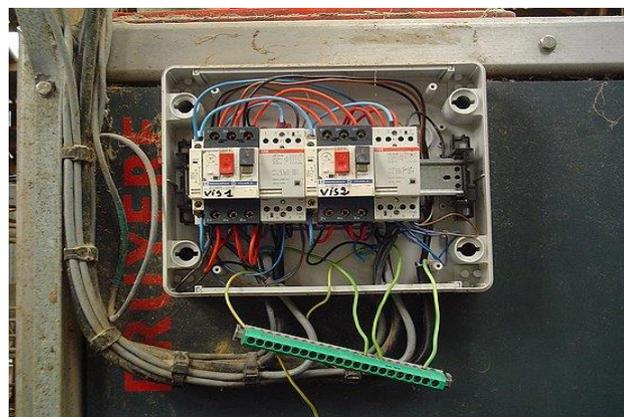


Figure 7 : Coffret électrique des moteurs du distributeur d'aliments

Exemple des signaux relevés lors d'une mesure avec une pince ampèremétrique :

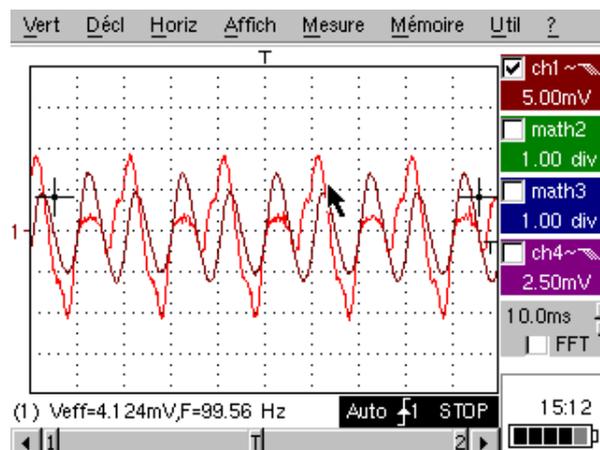


Figure 8 : Moteurs vis à grain

Sur la figure 8 on voit la déformation du sinus 50Hz due à des harmoniques (courant de fuite relevé sur le conducteur PE de ces mêmes moteurs). Les deux signaux correspondent respectivement aux fonctionnements de l'un ou l'autre moteur du distributeur d'aliments.

Conclusions partielles :

Suite à ces mesures de terrain on observe deux grand type de perturbations : des problèmes de type transitoire et/ou impulsional répétitif ou non, et des phénomène de type déformation harmonique. Il sera donc intéressant par la suite de retrouver ces phénomènes en testant plusieurs appareils perturbateurs en laboratoire.

5.2.3 Mesure en laboratoire

5.2.3.1 Les matériels utilisés

Toutes les caractéristiques des matériels utilisés ainsi que l'ensemble des relevées sont en annexe 6 de ce mémoire.

La mesure effectuée ci-dessous a été réalisée avec :

- Oscilloscope : Tektronix TDS3032B BP = DC-300MHz 2.5GEch/S
- Pince ampèremétrique : ETS-LINDGREN 93686-1 (10Khz – 30Mhz) $Z_t=2$ Ohms dans la bande 100KHz ->10MHz)
- Impédance d'entrée de l'oscilloscope 50 Ohms

5.2.3.2 Mesure sur un tube fluorescent

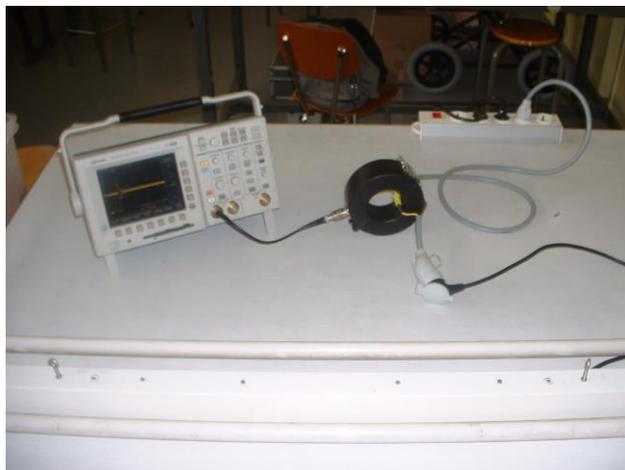


Figure 9 : Photo de la chaîne de mesure

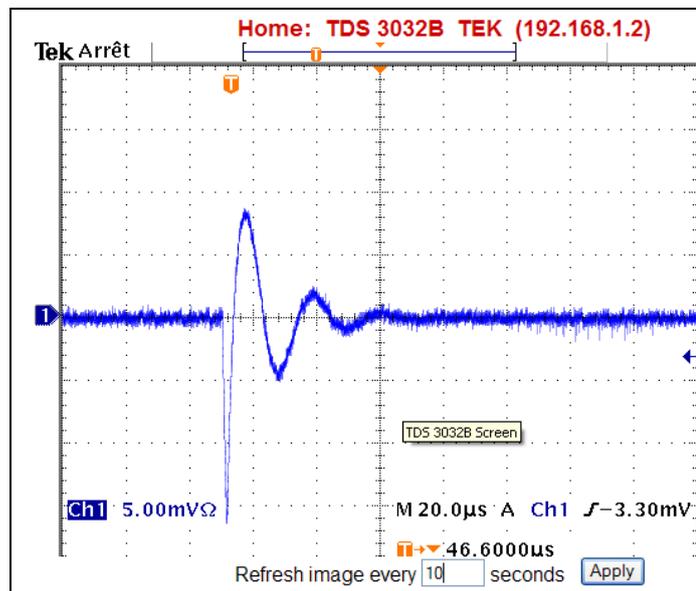
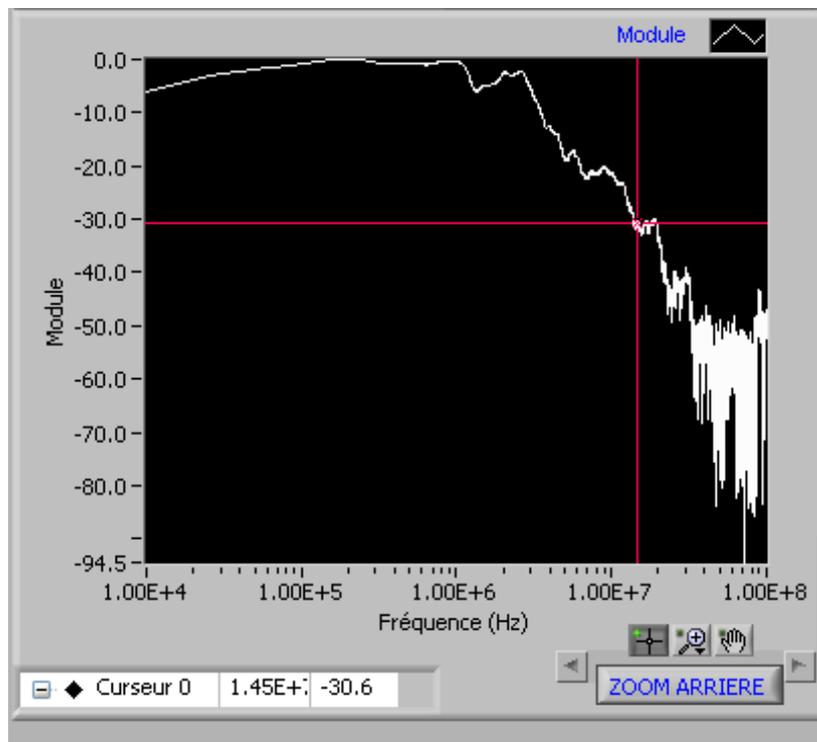


Figure 10 : Parasite émis par un « néon »



Echelle :
Module en dB
normalisé

Figure 11 : Spectre du signal parasite « néon »

Sur la figure 11, on observe la chaîne de mesure constitué d'un Tube fluorescent raccordé au réseau 230V par le biais d'une rallonge électrique afin d'accéder au conducteur de protection, sur celui-ci est placé la pince ampèremétrique qui est reliée par l'intermédiaire d'un câble BNC à l'oscilloscope.

Sur la figure 10, on voit en temporel un signal transitoire impulsionnel, de type sinus amorti avec pour valeur de courant crête-crête, $I_{cc} = 12.5 \text{ mA}$.

La figure 11, est le spectre du transitoire (fig. 10) ci-dessus, on peut observer sa couverture spectrale qui est approximativement de l'ordre du MégaHertz.

5.2.3.3 Mesure sur un variateur de vitesse

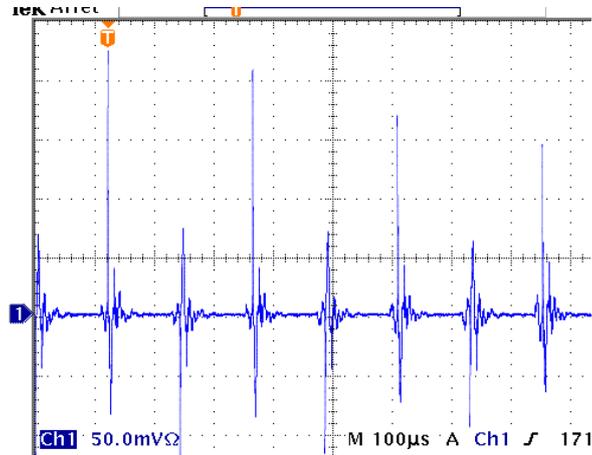


Figure 12 : Oscillogramme commutation de l'électronique de puissance d'un variateur de vitesse

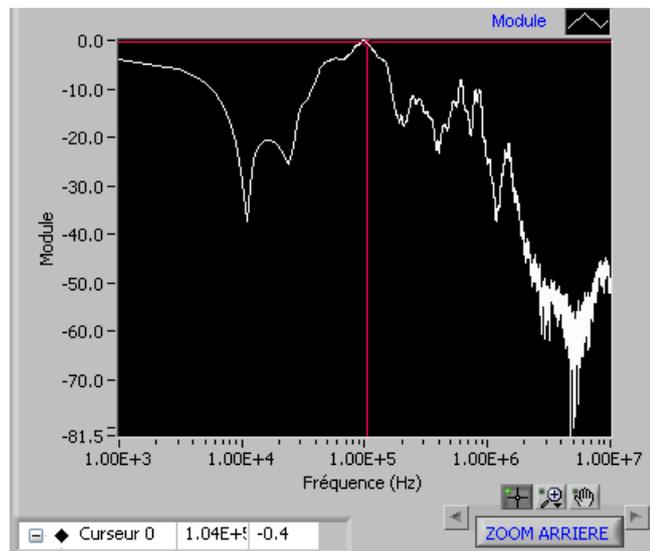


Figure 13 : Spectre d'une des commutations du variateur de vitesse

Sur la figure 12, on relève en moyenne, sur les impulsions, un courant $I_{cc} \# 100 \text{ mA}$.

La figure 13 est le spectre d'une des impulsions (fig.12), on observe une couverture spectrale de l'ordre du MégaHertz.

5.2.3.4 Mesure sur une clôture électrique

a) - La chaîne de mesure

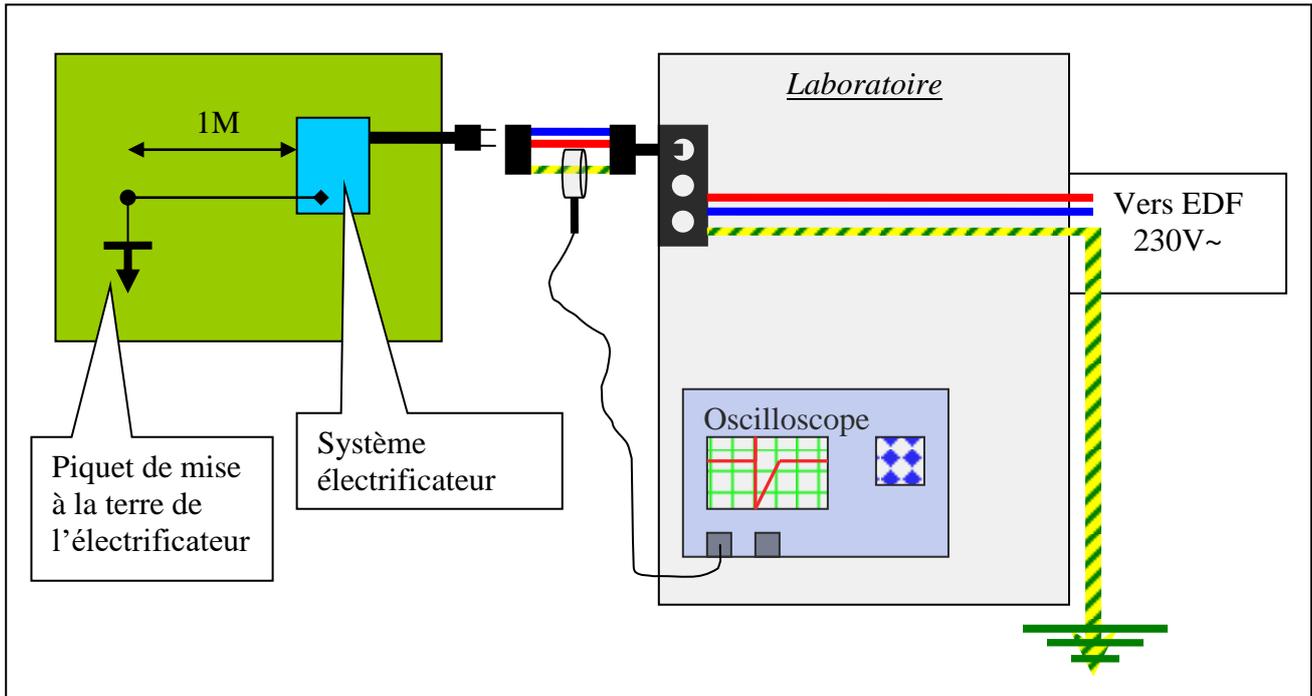


Figure 14 : la chaîne de mesure



Figure 15 : Photos clôtures électrique

b) – Le matériel de mesure

Pince ampèremétrique ETS-LINDGREN 93686-1 :
BP (10Khz – 30Mhz)
 $Z_t = 2$ Ohms dans la bande (100KHz ->10MHz)

Oscilloscope Tektronix TDS3032B :
BP = DC-300MHz 2.5GEch/S

Electrificateur de cloture LACME :

c) – Les parasites relevés

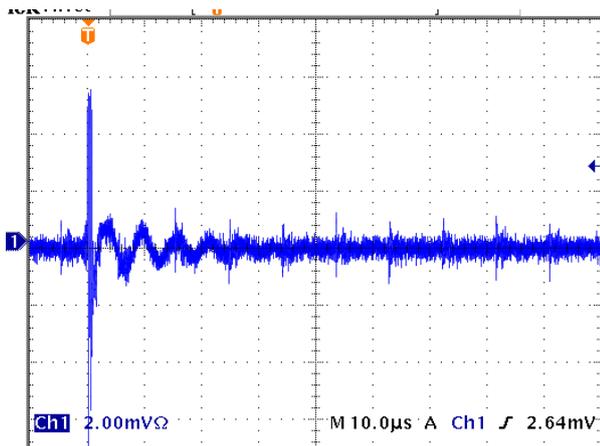


Figure 16 : mesure 1 sur PE

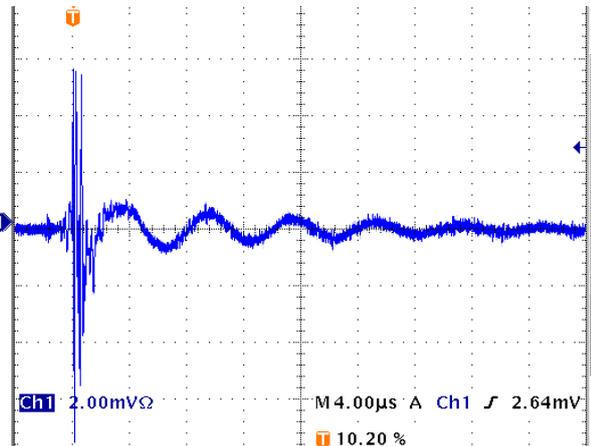


Figure 17 : mesure 2 sur PE

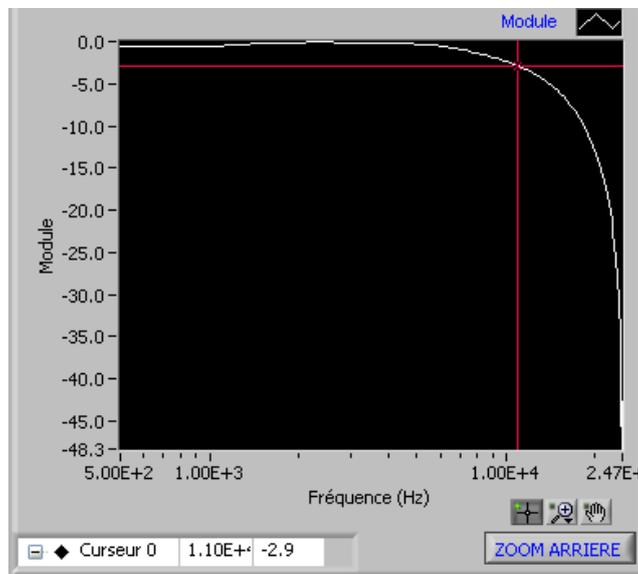


Figure 18 : spectre du signal mesure 2 (figure 3)

On observe :

1 - *En temporel*

Un courant $I_{cc} = 7\text{mA}$

2 - *En fréquentiel*

Un encombrement spectral du signal observé de +/- 11 KHz à -3dB

Il est difficile de conclure sur la provenance de ce signal transitoire, effectivement est il du à un phénomène de couplage aux niveaux des branchements ou bien est il du à un vrai courant vagabond qui par le sol remonte vers la terre équipotentielle du bâtiment. Il sera effectué d'autres essais complémentaires par la suite afin de mieux comprendre ce phénomène.

5-3 Explication du phénomène (Pourquoi retrouve t'on ces parasites sur le conducteur PE⁶ ?)

Ces parasites sont dus à des phénomènes de couplage galvanique, qu'ils soient inductifs du au champ magnétique du rotor d'un moteur par exemple ou bien capacitif lors des commutations des thyristors qui commande la vitesse des moteurs... Il est souvent très difficile de faire la différence entre l'un et l'autre et surtout de savoir qui est le plus prépondérant. Toujours est-il que tous ces phénomènes sont dus à des couplages, il peut parfois aussi intervenir un phénomène de couplage par impédances communes.

5-4 Les moyens de protection

5.4.1 Respect de la conformité électrique en matière d'équipotentialité (NF C 15-100)

Comme vu précédemment, nous allons chercher à caractériser les courants de fuite des machines électriques, véhiculés par le conducteur de protection souvent appelé par abus de langage conducteur de terre⁷, pour cette étude il faut respecter plusieurs conditions. Car nous seront amenés à manipuler ce conducteur.

Des conditions de sécurité : effectivement, il est important de s'assurer que les normes prévues en matière de sécurité électrique soit respectées (respect de la norme NF C 15-100). Il faut donc veiller à ce que le système de mesure ne vienne pas changer les caractéristiques du conducteur de protection.

⁶ PE : Protection Equipotentielle

⁷ NFC15-100 Def : Conducteur de terre : Conducteur de protection reliant la borne ou barre principale de terre à la prise de terre.

Def : prise de terre : Partie conductrice, pouvant être incorporée dans le sol ou dans un milieu conducteur particulier, par exemple, béton ou coke, en contact électrique avec la Terre.

D'après la norme il faut :

A - Respecter la section du conducteur : Nous retiendrons que cette section est liée à la section du conducteur de phase associé. Certaines dispositions spécifiques admettent une réduction du conducteur de protection (voir NFC15-100 partie 543).

B - Respecter un certain type de conducteur : Peuvent être utilisés comme conducteurs de protection : des conducteurs dans des câbles multiconducteurs ; des conducteurs isolés ou nus passant dans une enveloppe commune avec les conducteurs actifs ; des conducteurs séparés isolés ou nus.

Les canalisations métalliques (eau, gaz...), les câbles porteurs, les éléments conducteurs appartenant à la structure du bâtiment, ne sont pas admis comme conducteurs de protection ou d'équipotentialité. Ils doivent être reliés au réseau de Terre.

C – Conserver la continuité électrique : Les conducteurs de protection doivent être convenablement protégés contre les détériorations mécaniques et chimiques et les efforts électrodynamiques. Les connexions doivent être accessibles pour vérification et essais.

L'article 543-3-3 de la norme NF C 15-100 va être primordial dans notre projet je cite :

« Aucun appareillage ne doit être inséré dans le conducteur de protection, mais des connexions qui peuvent être démontées à l'aide d'un outil peuvent être utilisées pour des essais »

Cela ne remet pas en cause l'avancement du projet, nous restons bien ici dans le cadre d'essais.

D - Avoir la plus faible résistance possible :

On retiendra la formule suivante d'après la norme.

$$\mathbf{R_a < U_l / \Delta I_n}$$

Où : R_a = résistance de la prise de terre des masses.

U_l = tension conventionnelle limite.

ΔI_n = Calibre nominal du différentiel.

En général la tension limite de sécurité est de 50V en courant alternatif.

En effet le phénomène électrique qui peut tuer l'homme est le courant traversant la région du cœur (risque de fibrillation cardiaque) : aucun effet grave en dessous de 10 mA, risques mortel à partir de 50 mA. Ce courant est fonction de la tension à laquelle la personne est soumise et de résistance électrique (qui dépend de la nature des contacts : peau humide, bottes ou gants de caoutchouc, nature du sol...) elle varie de 5000 Ω (pour des mains sèches) à 1000 Ω (dans les conditions les plus défavorables).

$$\Rightarrow UI = R * I = 1000 * 50.10^{-3} = 50 \text{ Volts.}$$

Dans le cas d'une exploitation agricole alimentée par exemple sous un schéma TT, 230V monophasé, en présence d'un disjoncteur différentiel EDF d'une sensibilité de 500 mA. La résistance Ra sera de : 50 V / 500 mA = 100 Ω maximum.

5.4.2 Les différents moyens de protection

Suite à la précédente étude menée dans le cadre du projet, il à été choisi plusieurs types de matériels protecteurs, pour reprendre succinctement, les meilleurs dispositifs qui pourraient convenir à ce problème sont, soit des selfs qui seront insérées sur le conducteur de protection, tout en veillant à respecter la section du conducteur PE, soit des ferrites à placer sur le conducteur. Il est donc important de connaître au mieux le spectre couvert par le parasite afin d'adapter la ou les protections à placer au près de la source perturbatrice.

5.4.2.1 Les selfs

La self, système passif à faible coût est l'élément idéal, elle peut être placé en série sur le conducteur PE, ses propriétés de dissipation en font un élément clé pour cette problématique. L'essentiel des dissipations (pertes) d'une bobine sont dues au circuit magnétique. Les pertes dans le noyau magnétique dissipent une certaine quantité de chaleur si l'enroulement est traversé par un courant alternatif. Nous pouvons distinguer trois types principaux de pertes, par hystérésis ou par courants de Foucaults et par effet Joules. Les pertes par hystérésis sont liées à l'existence "d'un frottement" de particules dû aux changements continuels du sens de l'aimantation. Les pertes par courants de Foucault sont liées à l'existence de courants électriques induits dans les masses métalliques du circuit magnétique. Les pertes par effet Joules sont dues à la résistance du fil qui constitue la bobine. Le choix d'une self se fait grâce à une caractéristique qui associe la variation de

l'impédance de la self en fonction de la fréquence. En effet, plus la valeur de l'impédance sera importante à la fréquence désirée plus l'atténuation du courant de fuite qui en résulte sera meilleure.

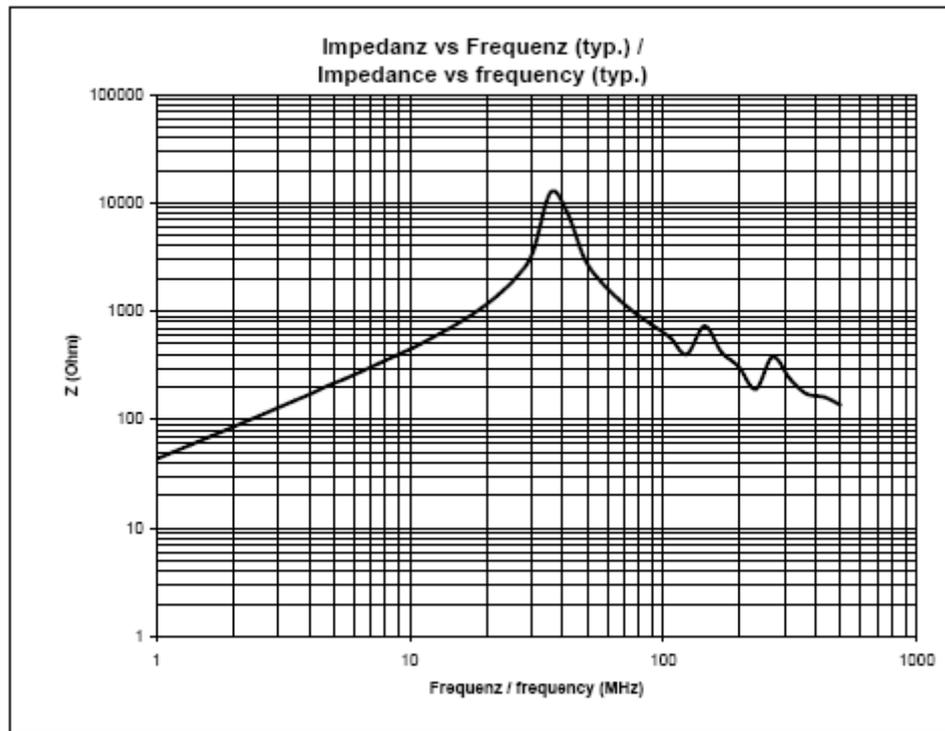


Figure 19 : Exemple de la caractéristique d'une self

5.4.2.2 Les ferrites

Les ferrites CEM sont particulièrement efficaces pour l'atténuation de parasites conduits dans les fréquences hautes, les ferrites agissent en tant que filtre pour des fréquences supérieures à 10MHz. L'efficacité en filtre passe bas est réalisée uniquement par le passage à travers la ferrite, de plus le déparasitage couvre une large bande de fréquence. Afin de déterminer la bonne ferrite, il est normalement important de connaître l'impédance de transfert. Le matériau le plus efficace dans la bande de fréquence que l'on souhaite couvrir et le noyau en poudre de fer (Fe) : utilisable en tant qu'inductance pure jusqu'à environ 400 KHz, après domine la partie perte (R) qui reste jusqu'à 10 Mhz, au dessus de 20 MHz le noyau n'est plus efficace. La courbe de choix d'une ferrite est identique à celle de la self, il sera retenu qu'il faut la choisir en fonction de l'impédance que l'on veut apporter à la fréquence d'atténuation désirée.

5-5 L'emplacement du dispositif réducteur de parasites HF

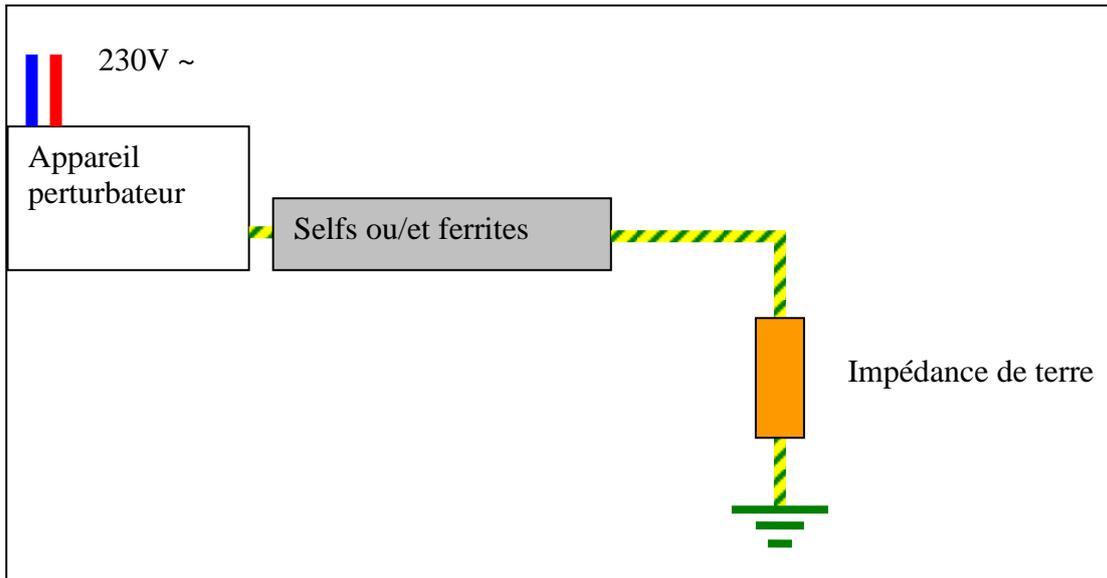


Figure 20 : Schéma emplacement dispositif

Sur le schéma (fig. 20) l'adjonction d'une self, va créer un filtre LR, filtre passe bas de fréquence de coupure $F_c = Z_{\text{terre}} / (2 * \pi * L)$. Il faut donc tenir compte de la bande passante à atténuer et de la valeur de l'impédance du réseau d'équipotentialité.

5-6 Exemple de quelques dispositifs

5.6.1 Le « GTF⁸ »

Ground Transient Filter (fig. 21), filtre de provenance des USA, fabriqué par la société Lowell, le « filtre de transitoire de terre » traduction de l'anglicisme « Ground Transient Filter » correspondrait avec son nom, à notre application. Nous allons détailler un peu plus ses spécifications à l'aide de la datasheet.



Figure 21 : photo GTF du constructeur Lowell.

⁸ GTF : Datasheet donnée en annexe de ce rapport.

Cet appareil se place en série sur le conducteur de terre, il présente une faible impédance ($0,06 \Omega$ à 60 Hz), encore moins à 50 Hz (fréquence de notre réseau), il est donc « transparent » sur le conducteur de protection. Il réduit les courants transitoires haute fréquence, atténuation de -25 dB à 1 MHz d'après la datasheet (impédance de $1K\Omega$ à 1MHz), la section du conducteur de ce dispositif est de $2,5\text{mm}^2$.

5.6.2 Self de terre Schaffner

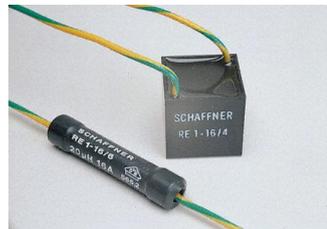


Figure 22 : photo self de terre constructeur Schaffner.

La self de choc peut aussi être appelée self de terre (fig. 22) dès lors qu'elle sert à filtrer des parasites sur le conducteur de protection. Cette self respecte couleur et section du conducteur par rapport à la norme. Ces bobines branchées en série sur le fil de terre amortissent les parasites asymétriques qui se propagent par ce conducteur. Les bobines dites basse fréquence: atténuent les parasites $<300 \text{ KHz}$ tels que ceux créés par les thyristors. Les bobines haute fréquence: atténuent les parasites $<30 \text{ MHz}$ qui se rencontrent sur les fils de terre de réseaux d'alimentation, ainsi que ceux provoqués par les contacteurs, les relais, etc. Leurs impédances étant comprise entre 13 et $30 \text{ m}\Omega$ à leurs fréquences de résonance respectives (300 kHz et 30 MHz).

5.6.3 Les selfs sur tore ferrite

Les produits précédents et d'autres détaillés en annexe de ce rapport ne convenant pas parfaitement à nos spécifications, il a été décidé de fabriquer des selfs sur des tores ferrite (fig. 23 et 24), l'avantage majeur de cette réalisation est de respecter la section du conducteur tout en adaptant aisément la valeur de la self en fonction de la bande de fréquence que l'on veut atténuer. Il suffit de bobiner quelques tours du conducteur PE sur le tore, tore ferrite qui aura été choisi en fonction de la bande de fréquence que l'on désire atténuer. La méthode sera détaillée en annexe 7.

Exemples :



Figure 23 : Self sur tore 10trs



Figure 24 : Self sur tore 31trs

5-7 La caractérisation des différents dispositifs et les essais

Afin de connaître l'atténuation apporté par l'adjonction du système, il a été nécessaire de caractériser l'ensemble du filtre LR (filtre passe bas du 1^{er} ordre). Pour cela et au vu du matériel disponible et de la bande de fréquence dans laquelle il à été défini de travailler, nous avons dû caractériser les dispositifs à l'aide de la méthode que nous appellerons sinus point à point. En effet pour plusieurs points de fréquence à partir d'un sinus injecté en entrée, il à été tracé la courbe d'atténuation du dispositif.

La deuxième méthode quant à elle sera appelée méthode impulsionnelle, une impulsion rectangle de largeur définie (la plus étroite possible est injecté en entrée du filtre), suite à cela le rapport des transformées de Fourier, nous donne la courbe d'atténuation du filtre en fonction de la fréquence. On retiendra que la méthode sinus est plus simple à mettre en œuvre ce qui implique que la majorité des fonctions de transfert seront réalisé sur la base de cette méthode.

5.7.1 Vérification de la méthode de caractérisation sinus point à point

Afin de valider la méthode de caractérisation sinus « point à point » par rapport à la théorie, la méthode a été vérifié a l'aide d'une self à air dont les caractéristiques sont connues.

Caractéristiques de la self à air utilisée

Inductance # 0.23mH

Capacitance # 1.67nF

Impédance # 0.85 Ω

Application : Le dispositif de filtrage des courants de fuite placé sur le conducteur de terre peut être par analogie comparé à un circuit LR (fig. 25) avec L inductance de lissage du courant et R l'impédance du réseau de terre

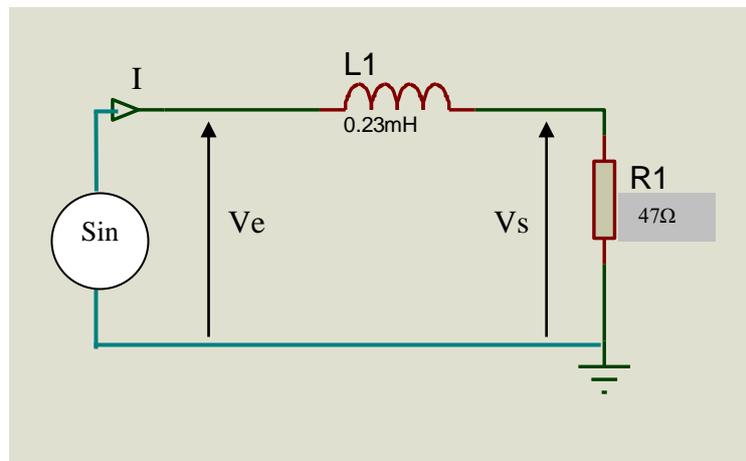


Figure 25 : Circuit LR

J'ai utilisé deux principales valeurs d'impédance 10 ohms et 47 ohms. Tout en sachant que l'impédance du réseau de terre (conducteur de protection + conducteur de terre) doit avoir la plus faible impédance possible.

Par la théorie nous devrions retrouver en fréquence de coupure :

$$F_0 = R1 / (2 * \pi * L1)$$

on néglige le R interne de la self

Pour la valeur de la self ci-dessus nous obtenons une fréquence de coupure de :

$$F_0 = 47 / (2 * \pi * 0.23mH) \# 32.5KHz.$$

Comparaison avec la méthode sinus. On injecte un sinus en entrée du filtre LR puis on fera varier la fréquence, et on relève la tension efficace en entrée et en sortie du filtre pour plusieurs fréquences. On fera le rapport logarithmique de la tension de sortie sur la tension d'entrée ($20 \times \text{LOG}_{10} (V_s/V_e)$) afin d'avoir une image du gain (qui dans notre cas sera une atténuation) effectivement c'est un filtre passe bas. On obtiendra alors la courbe d'atténuation (fig. 25) en tension en fonction de la fréquence, effectivement on gardera un courant I constant durant la phase de ces essais.

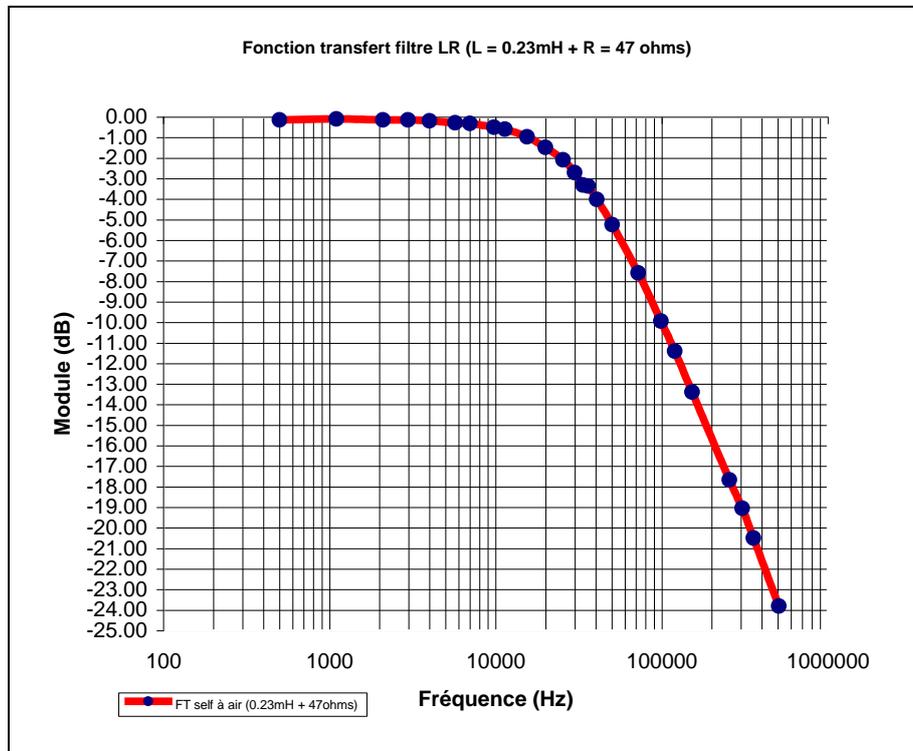


Figure 26 : caractéristique self à air méthode sinus point à point

On peut observer sur cette courbe (fig. 26) la fréquence de coupure a -3dB proche de 30 KHz, ce qui correspond bien à notre théorie la méthode de caractérisation par sinus point à point est donc validée.

5.7.2 Essais en courant fort

Afin de vérifier la tenue en courant des matériels de réductions des parasites HF, il s'est avéré nécessaire de considérer qu'ils peuvent supporter un courant plus élevé que celui débité en laboratoire de l'ordre du milliampère. De plus, le fait de passer plusieurs ampères a permis de tracer la fonction de transfert des composants bobiné sur tore ferrite, en effet il faut un minimum de courant pour que les matériaux ferromagnétiques jouent leurs rôles. Les exigences de ces essais étant de vérifier que pour un courant de défaut 50 Hz de plusieurs ampères, le courant n'endommage pas le dispositif.

5.7.2.1 Objectifs des essais

Vérification conformité NF-C15100

- On cherche à vérifier la conformité électrique des dispositifs de filtrage suite à un courant de défaut 50Hz de quelques ampères (<2A) sous tension nominale 220V.

Caractérisation des dispositifs en puissance

- Caractérisation des dispositifs de filtrage en sinus point à point dans la bande passante DC-30KHz (Limites de l'amplificateur). Courbe de l'atténuation du courant en fonction de la fréquence.

5.7.2.2 Schéma électrique du dispositif d'essais

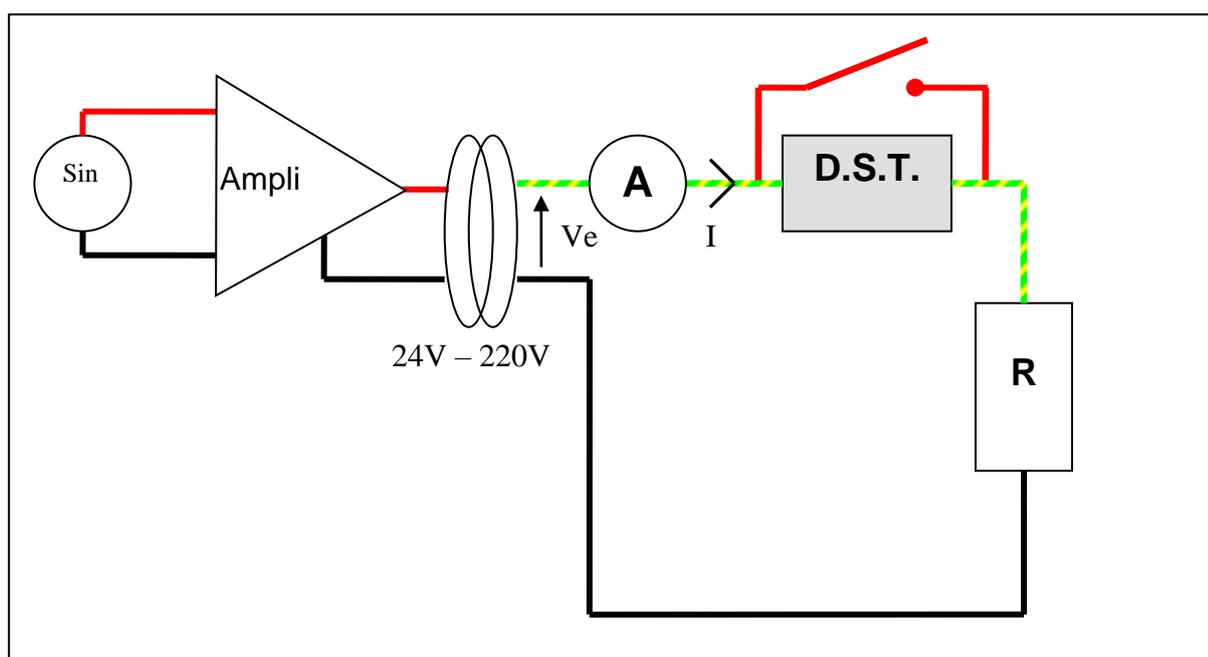


Figure 27 : schéma électrique essais courant fort

Sin : Générateur sinus

Ampli : Ampli audio (sortie 24V)

Transfo : 24V – 220V

A : Ampèremètre (contrôle le courant injecté dans le dispositif)

D.S.T. : Dispositif Sous Test

R : Zterre (impédance modélisant l'impédance du circuit d'équipotentialité)

5.7.2.3 Principe de la caractérisation

Pour tracer la caractéristique d'atténuation du courant en fonction de la fréquence on veillera à ce que la tension en sortie du transformateur soit égale dans les deux cas suivants : 1^{er} cas sans le dispositif sous test (on court-circuitera le dispositif), 2^{ème} cas avec le dispositif sous test. On relève dans ces deux configurations pour la même valeur de tension (Ve) le courant I pour plusieurs points de fréquence. On fera ensuite le rapport des courants dans les 2 configurations que l'on exprimera en dB. On peut ainsi tracer la réponse d'atténuation du courant en fonction de la fréquence des différents dispositifs de protection.

5.7.2.4 Résultat des essais

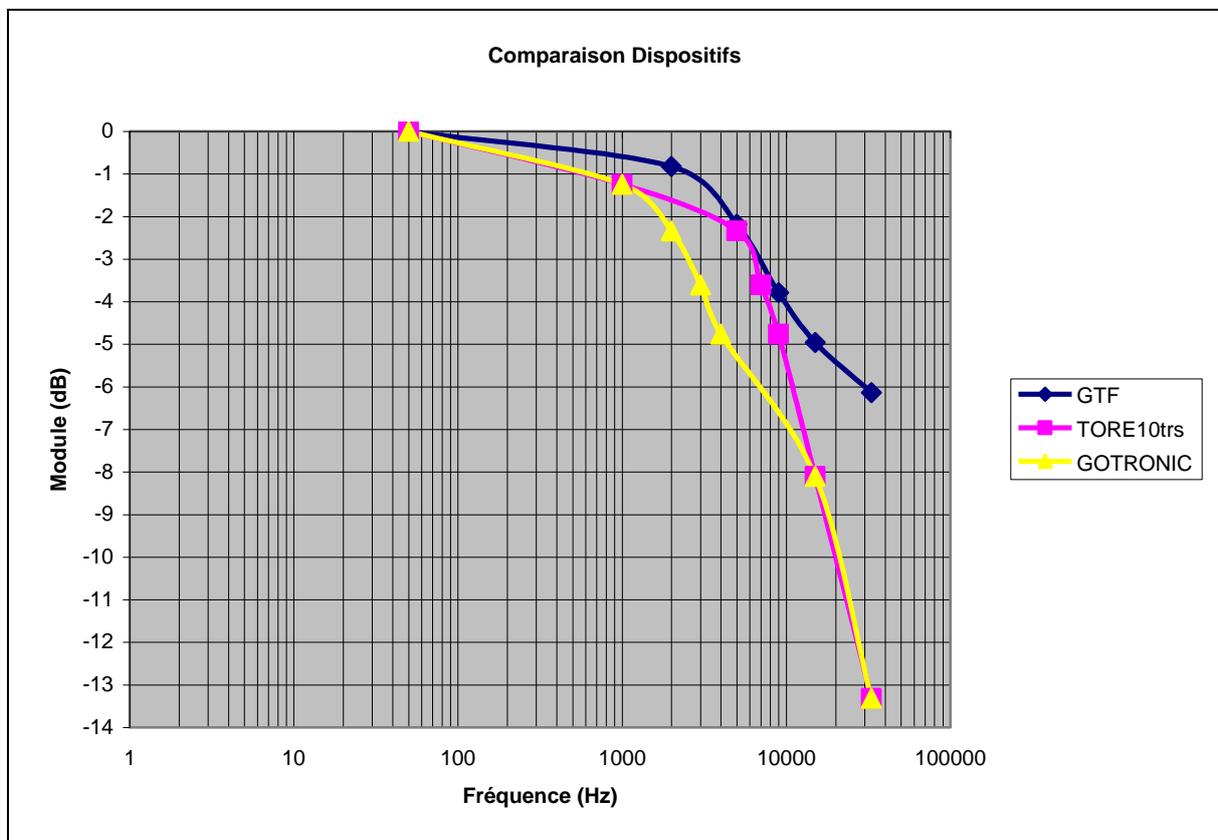


Figure 28 : Fonction de transfert de plusieurs dispositifs sous un courant de 2A - 230V~ (#500W)

On peut observer sur ces courbes les fréquences de coupure à -3db pour les différents dispositifs :

1 - GTF <<	FC = 7 KHz	Ifc # 0.7 A
2 - Self sur tore feritte 10trs <<	FC = 6.5 KHz	Ifc # 1 A
3 - Self déparasitage (Gotronic) <<	FC = 2.5 KHz	Ifc # 0.8 A

Tous les dispositifs sont conformes à notre cahier des charges et laissent passer un courant de défaut 50Hz sans atténuation avec une valeur de courant au moins égale à 1A.

1 - Self bobinée sur tore (tore philips).



Matériaux du tore 3E25 Al= 3820nH
Nombre d'enroulement 10 tours (fils électrique de section 1.5mm²)

2 - GTF (ground transient filter).



3 - Self de déparasitage (Gotronic)

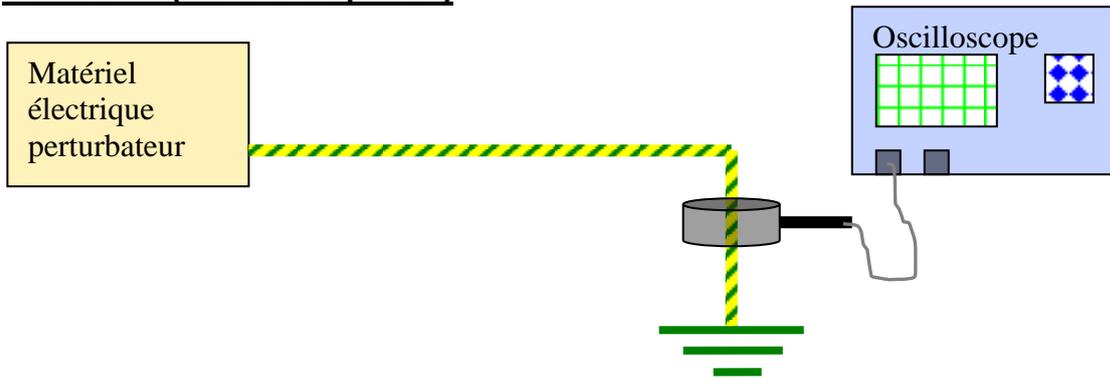


L = 0.2mH ; R = 0.1Ω

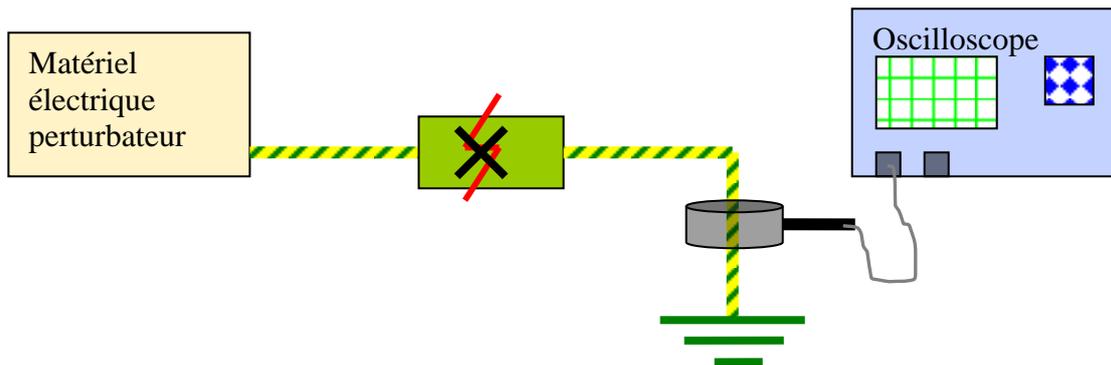
5-8 Exemple d'essais sur des matériels perturbateurs

Le but premier de ce projet étant de réduire l'amplitude des perturbations présentes sur le réseau d'équipotentialité, il parait évident de tester ces dispositifs sur des matériels électrique présentant des perturbations électriques connues. Dans ces essais la chaîne de mesure ce présente sous cet aspect.

Mesure 1 : (sans le dispositif)



Mesure 2 : (avec le dispositif)



5.8.1 Essais du dispositif « GTF » sur le conducteur de protection d'un tube fluorescent :

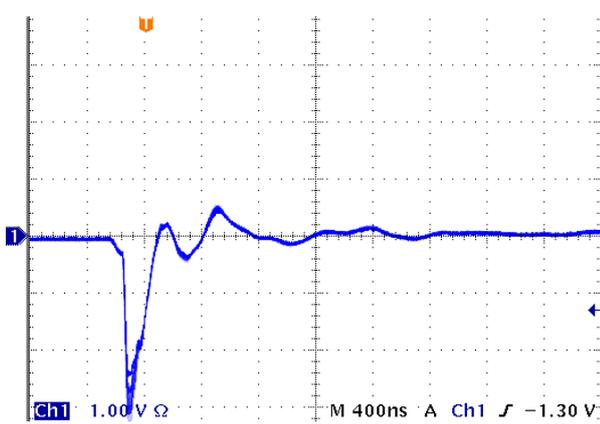


Figure 29 : essais sur « néon » sans GTF

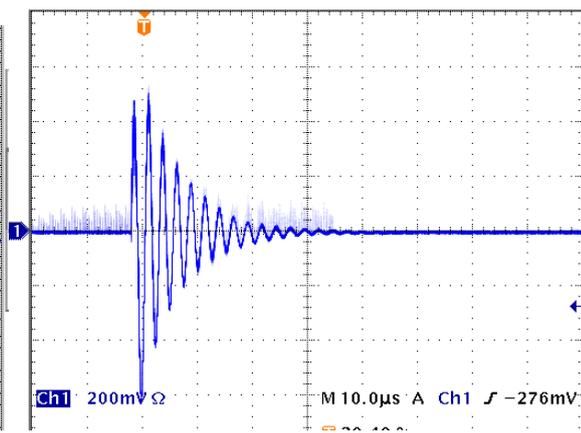


Figure 30 : essais sur « néon » avec GTF

Vcc # 3 V
Icc = 3000000 μV / 2 = 1,5 V

Vcc # 1 V
Icc = 1000000 μV / 2 = 500 mA

On peut voir sur la figure 30 : un rapport d'atténuation en courant de 3 fois inférieur par rapport à la figure 29 suite à l'adjonction du dispositif du dispositif GTF sur le conducteur de protection, mais on observe suite au parasite (fig. 29), une mise en oscillation (filtre RLC du aux capacités parasites entre spires du GTF).

5.8.2 Essais sur un variateur de vitesse :

- En gris sans le dispositif réducteur
- En bleu avec la self bobinée 10trs sur le tore ferrite

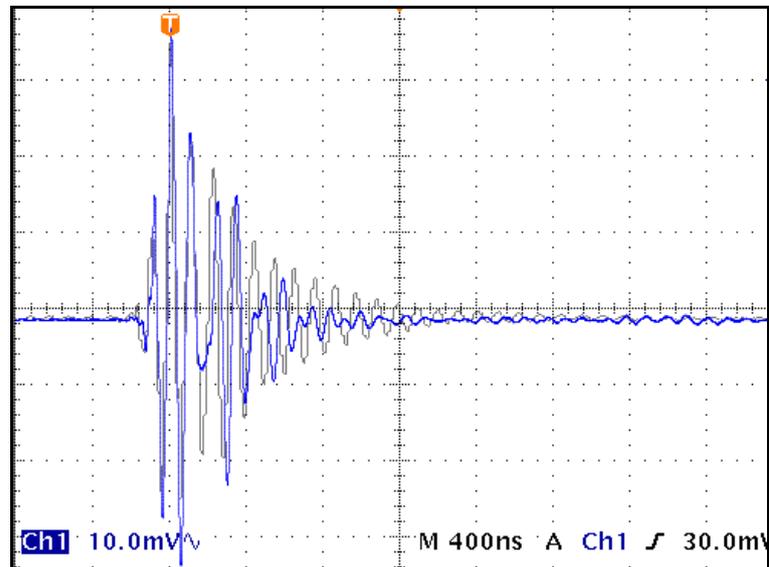


Figure 31 : Essais sur variateur de vitesse avec une self bobinée sur tore ferrite 10trs

Sur la figure 31 on peut observer suite au rajout du dispositif GTF sur le conducteur PE une atténuation de certaines fréquences, mais l'efficacité ici n'est pas flagrante car le GTF n'est pas bien adapté à la bande de fréquence.

5.8.3 Essais sur une clôture électrique

5.8.3.1 Emplacement de la mesure

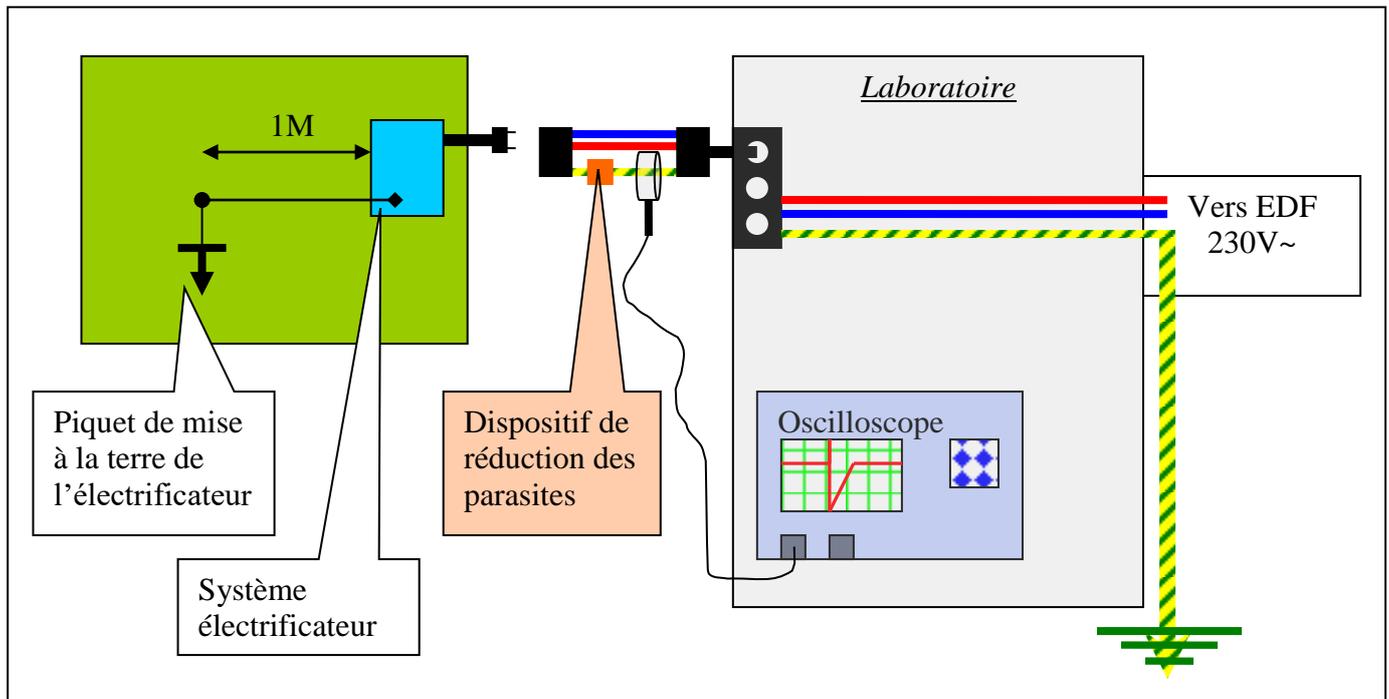


Figure 32 : emplacement dispositif réducteur de parasites

5.8.3.2 essais avec une self

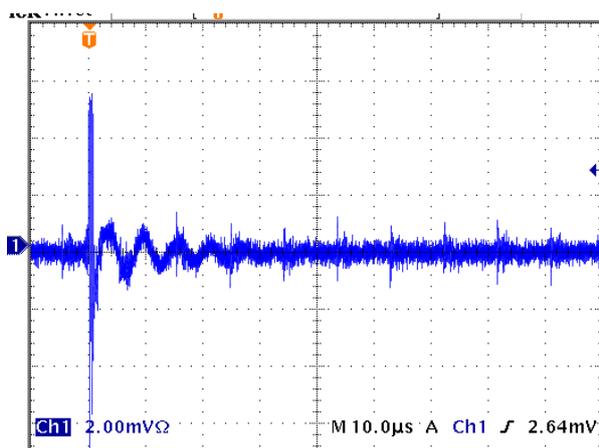


Figure 33 : Mesure sur PE avec clôture sans dispositif

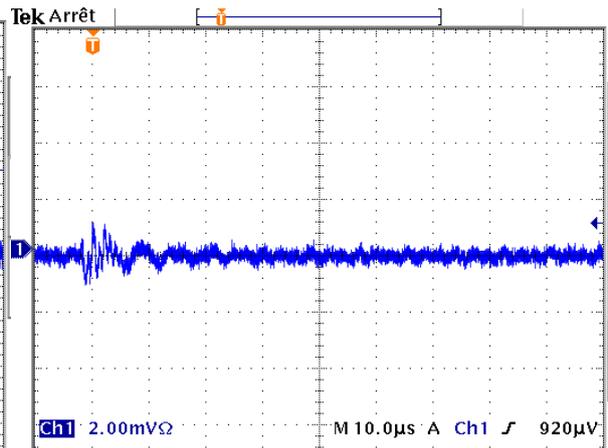


Figure 34 : Essais sur PE avec clôture avec une self bobinée sur tore ferrite 30 tours sur PE

Sur la figure 33 on observe le parasite retrouvé sur le conducteur PE alors que l'électrificateur de clôture électrique est branché sur le réseau 230V~ sans connexion à la terre (classe II). La mise à la terre de la clôture et elle faite à une dizaine de mètres du bâtiment du laboratoire. On relève alors sur le conducteur PE les impulsions caractéristiques d'une clôture.

Sur la figure 34 on observe les éventuels parasites qui se retrouvent sur le réseau d'équipotentialité après avoir inséré une self bobinée sur tore ferrite voir figure 32. Il y a un rapport d'atténuation de 7 fois le courant ce qui n'est pas négligeable, on trouve ici une réelle efficacité du dispositif. Les autres résultats des essais avec différents dispositifs se trouvent en annexe 2.

6 – Méthodologie de diagnostic des parasites HF

Préambule

Appliquer en premier lieu la méthodologie de diagnostic électrique proposée par Sébastien Sahuguède, si dans l'éventualité où il apparaîtrait des lors de l'expertise des signaux électrique de type transitoire ou impulsional suivre la dérogation suivante.

1 – Etat des lieux de l'exploitation

Faire un tour de l'exploitation avant toute mesure afin d'avoir une idée du parc de matériels électrique présent sur le site. Référencer chaque matériels, positions dans la ferme, état (marche ou arrêt), vétusté...

2 – Couper l'alimentation électrique générale du bâtiment d'exploitation

3 – Allumer un à un les matériels

Cette démarche a pour but de déterminer dans un premier lieu l'appareil perturbateur. Pour cette mesure on l'effectuera à l'aide d'une pince ampèremétrique sur le conducteur de terre de l'exploitation. La pince sera adaptée à la section du conducteur (Chauvin Arnoux B102 ou LEM PR30). On allumera un à un les matériels présents dans la ferme afin de déterminer le ou les éventuels protagonistes. On relèvera les signaux présents sur l'oscilloscope en temporel.

Suite à cette mesure si rien n'a été mesuré ou même s'il y a eu détection d'un ou plusieurs matériels générateurs de courants de fuite, effectuer des mesures de tension de pas dans le bâtiment, afin de déterminer si l'on retrouve les signaux précédemment visualisés dans des zones dite à risque pour l'animal (franchissement de dalles en béton, logettes, salle de traite...).

4 – Phase de détermination de l'origine du problème électrique

Après avoir déterminé le ou les matériels perturbateurs, s'attarder sur le problème en effectuant des mesures au plus près de la source perturbatrice. C'est-à-dire dans un premier temps à l'aide d'une pince ampèremétrique, relever les signaux sur le conducteur de protection du matériel ensuite effectuer des tensions de contact entre la carcasse du matériel et le sol.

5 – Etudes des signaux

Les mesures effectuées à l'aide d'une pince de courant peuvent être réalisées avec la sonde de courant ETS LINDGREN 93636-1 qui a une bande passante plus élevée 30MHz, tout dépendra de la source sur laquelle on applique la mesure.

Le signal temporel sera mesuré, de plus on relèvera aussi le fichier de point de ce même signal afin de réaliser la transformée de Fourier discrète du signal transitoire afin de connaître l'étendue du spectre occupé par ce signal (la TFD peut être réalisée à l'aide de Labview ou tout autre logiciel capable de traiter un nombre de points important, Matlab déconseillé car les temps de traitement sont longs)

6 – Les solutions à apporter

Après avoir caractériser les signaux en temporel et fréquentiel, adapter un dispositif selfique ou de type ferrite ou association des deux au plus près de la source perturbatrice (on placera le réducteur de parasite sur le conducteur de protection du matériel posant problèmes) La self ou la ferrite sera dimensionnée afin de couvrir le spectre du signal transitoire. Si la perturbation est d'origine harmonique étudier le spectre du signal 50 Hz déformé, utiliser le système de correction adapté tels que des filtres secteur ayant un faible courant de fuite.

7 – Vérification du bon fonctionnement

Il sera vérifié par la suite l'efficacité du dispositif en ré effectuant les mesures d'identification précédente.

8 – Autres cas

Parfois il n'est pas forcément nécessaire de placer un dispositif de correction, il se peut que les matériels soient vieillissants ou comportent des défauts, dans ce cas il est préférable de vérifier leur conformité électrique. Si le cas échéant se présente, pour une perturbation harmonique se référer à la norme en vigueur (CEI 61000-3-2) par exemple. Dans le cas ou le présent matériel dépasserait la norme le renvoyer au constructeur pour vérification et/ou le changer. Il arrive parfois que se soient les connexions au réseau d'équipotentialité qui ne sont pas ou mal effectuées, dans ce cas, vérifier les connexions (ferraillage dalles bétonnées, bon état du réseau d'équipotentialité...)

**La partie 6 (méthodologie...) n'est pas terminée elle sera
détaillée dans la semaine.**

7 – Conclusions, Perspectives & Améliorations

Au terme de ce stage, il a été observé et étudié différents types de perturbations électrique, présentes sur le réseau d'équipotentialité, caractérisé plusieurs dispositifs de réduction des parasites HF selon diverses méthodes, le stage a aussi fait l'objet de plusieurs déplacements dans des exploitations agricoles afin de cibler et de mieux connaître les problèmes électriques. Suite à ces différentes investigations il a été abordé le problème de pollution harmonique afin de parer à la plus large gamme de perturbations et de dépolluer au mieux le réseau de terre. Toutes les investigations et les essais auront été abordés avec le souci de toujours rester en conformité électrique.

En termes de perspectives et d'améliorations, les points qui seraient intéressants d'aborder dans le cadre d'une continuité de ce stage sont :

- ⊕ En premier lieu d'effectuer des essais sur le vivant, injecter dans l'animal les différentes perturbations que l'on retrouve sur le conducteur PE. Dans le but de mieux connaître et de vérifier les réactions et l'influence de tels problèmes.
- ⊕ Effectuer dans son ensemble des essais de conformité électrique des différents produits.

⊕ ... Suite à définir suivant l'avancement final du stage.....

	Nom du stagiaire	  	  	  
Projet 2005/2006	Mickaël Omer Cyril Patrouilleau	 		
Stage 2005/2006	Yannick Collet	  		
Projet 2006 -2007	Violet Nicolas Mandonnet Bruno	  		
Stage 2006 -2007	Violet Nicolas	  	  	

8 - ANNEXES

ANNEXE n°1

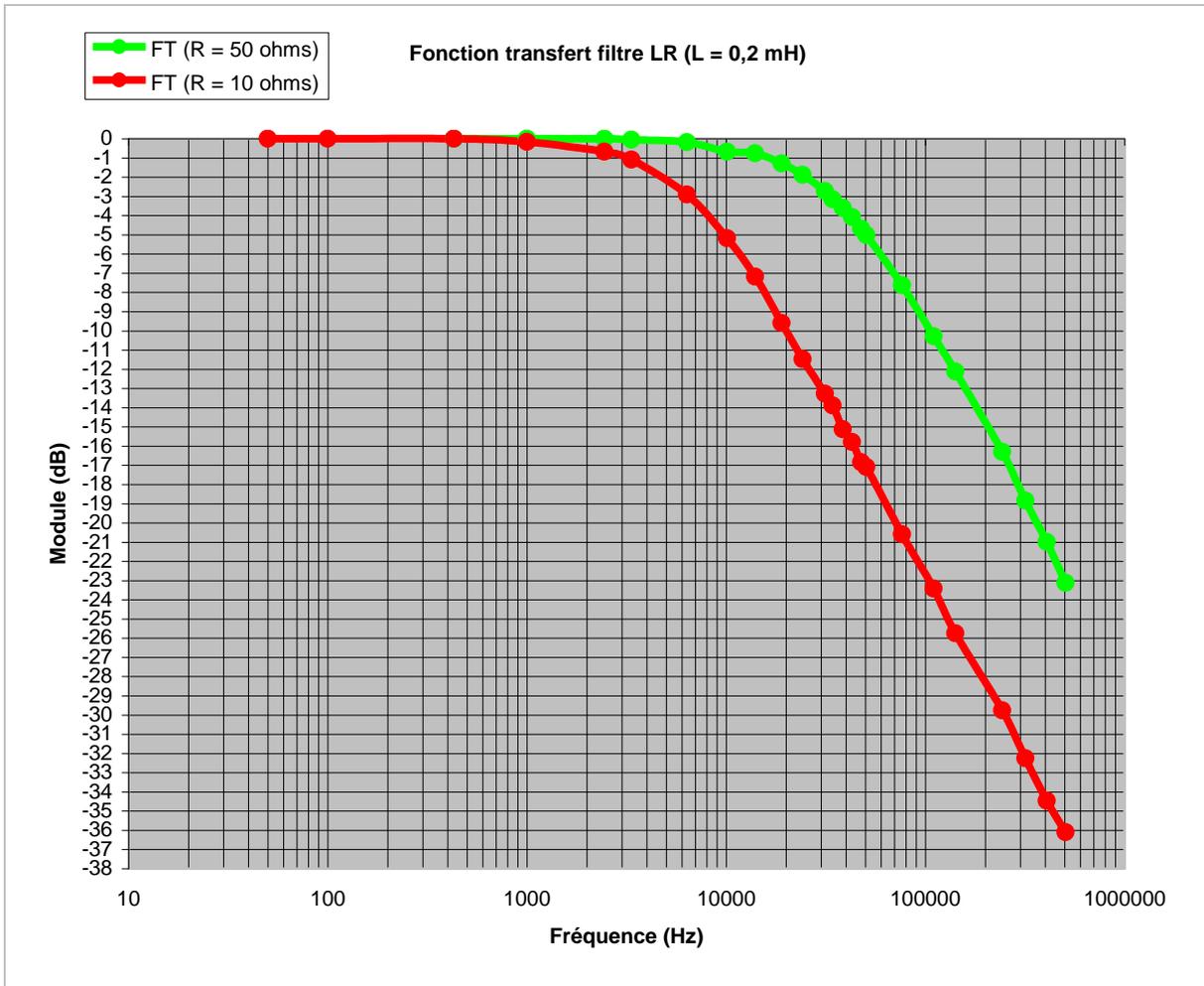
Méthodes de caractérisation des dispositifs réducteurs de parasites & Vérification conformité électrique des matériels

Les Différents résultats pour d'autres dispositifs de filtrage (self de choc, selfs bobinées sur tore ferrite, GTF...):

Self de déparasitage (Gotronic)

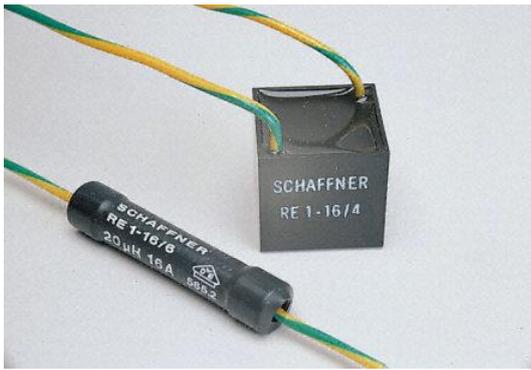


$L = 0.2\text{mH}$; $R = 0.1\Omega$

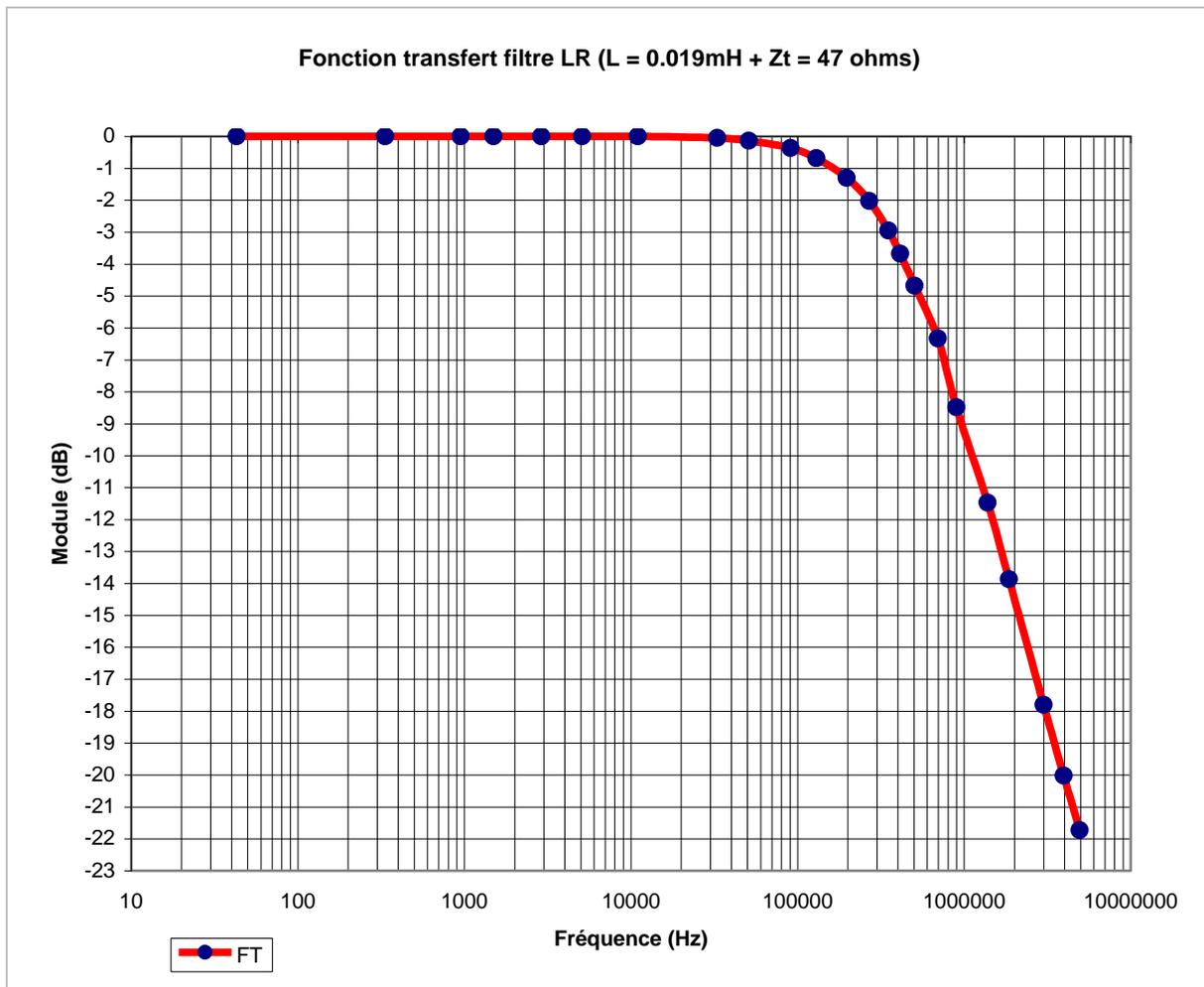


Fc # 33 KHz pour $R = 47\Omega$
Fc # 6.5 KHz pour $R = 10\Omega$

Self de terre (Schaffner)

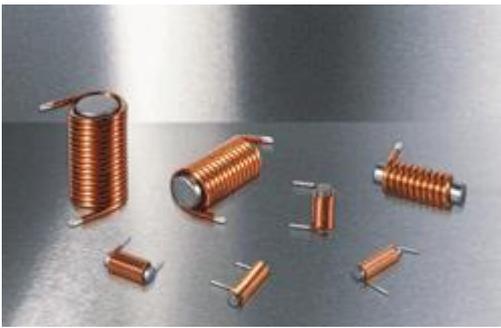


$L = 0.019\text{mH}$; $R = 0.08\Omega$

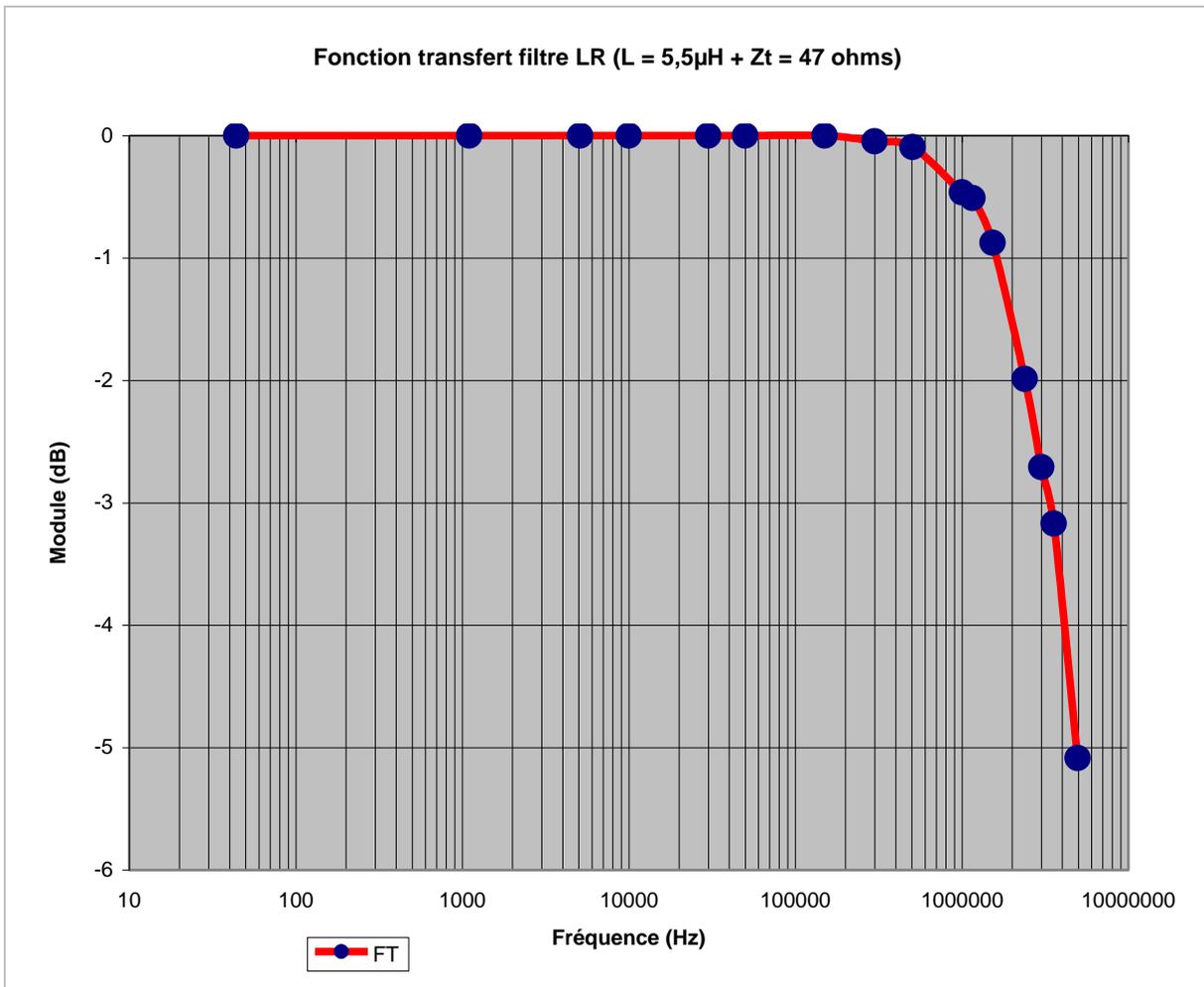


Fc # 352 KHz

Self de choc (radialex)



$L = 5.5\mu\text{H}$; $R = 0.09\Omega$



Fc # 3.5 MHz

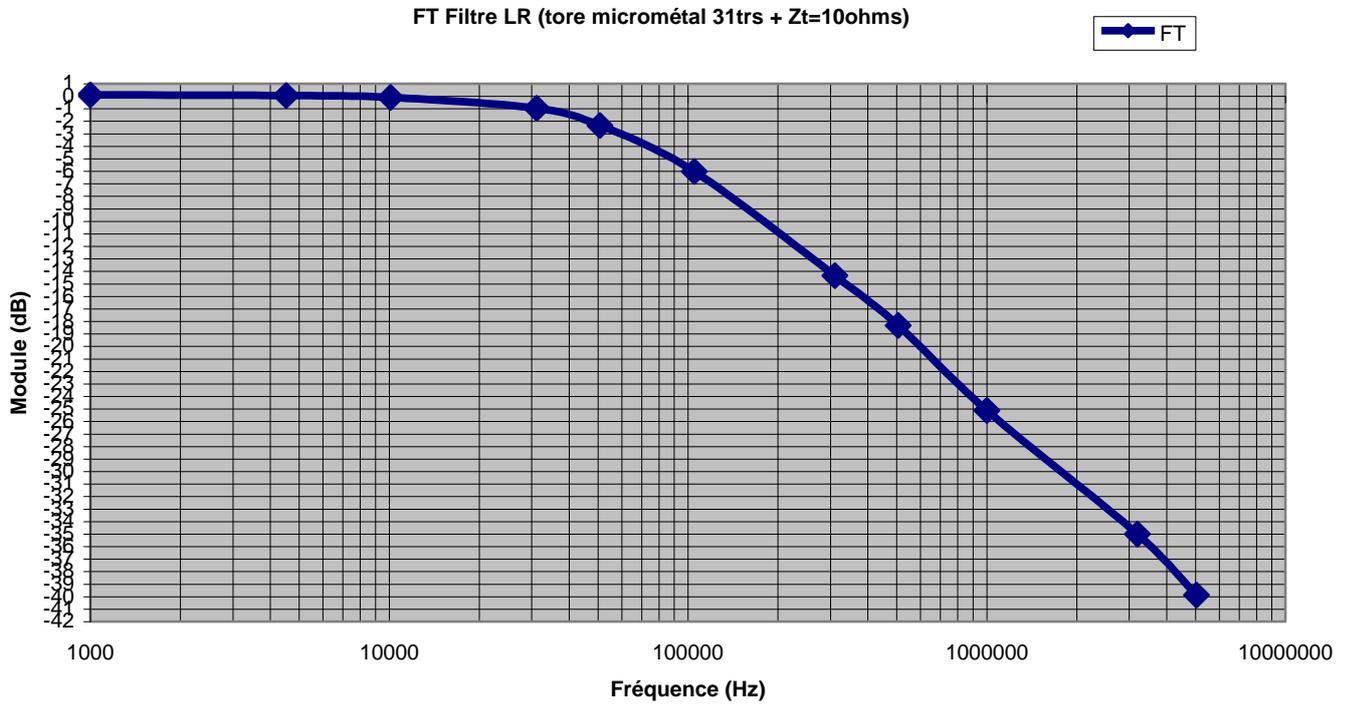
Self bobinée sur tore (tore micrometal)



Tore Micrométal

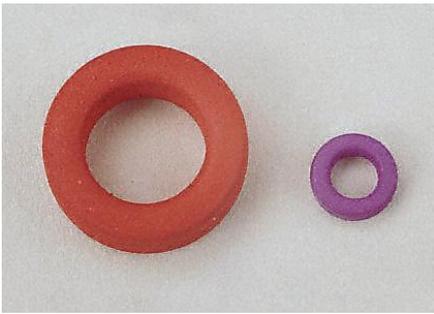
Al = 250uH

Nombre d'enroulement 31 tours (fils électrique de section 1.5mm²)

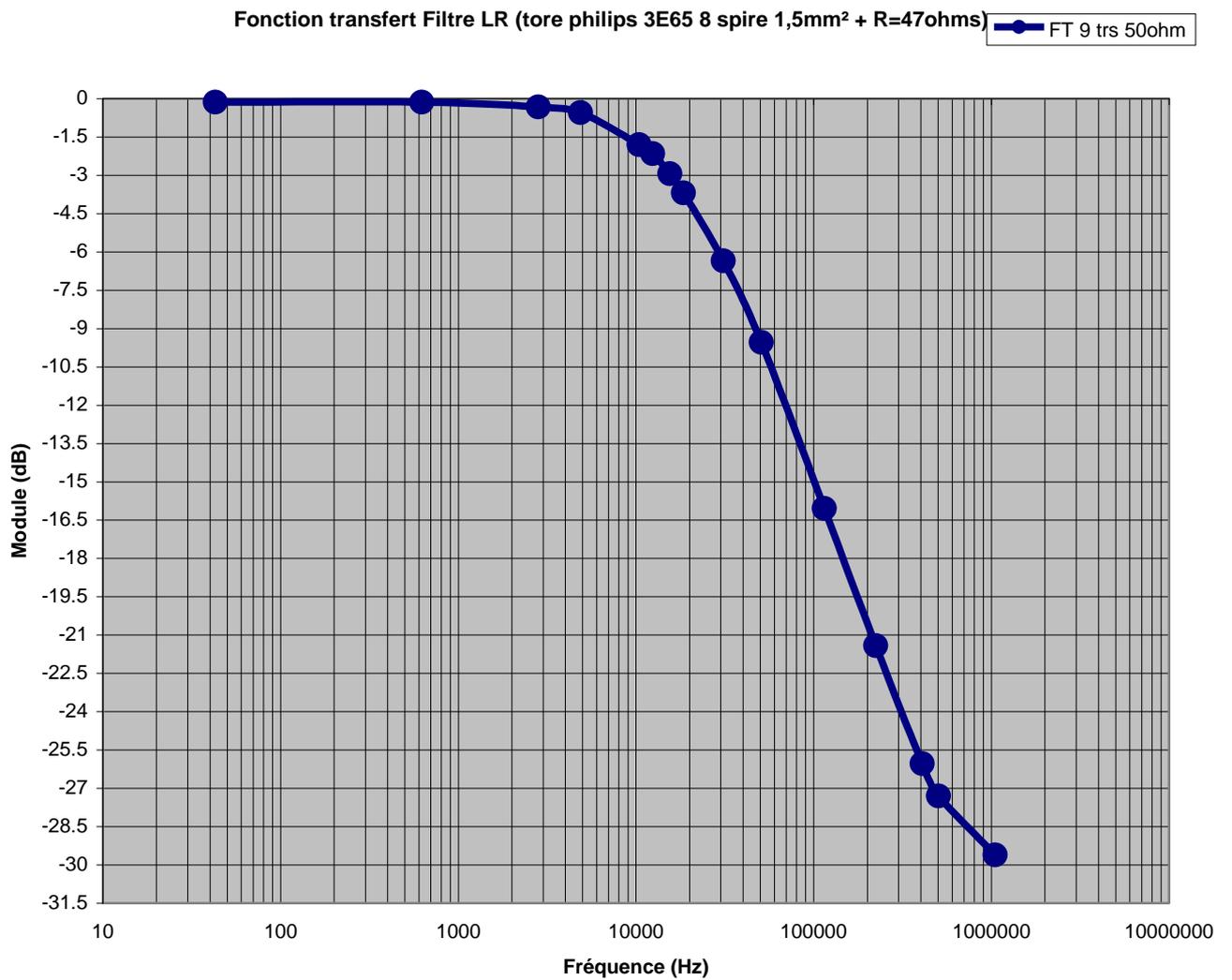


Fc # 60 KHz

Self bobinée sur tore (tore philips)

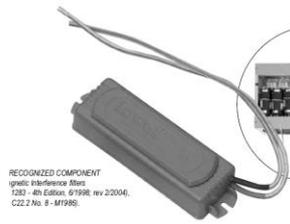


Matériaux du tore 3E25 Al= 3820nH
Nombre d'enroulement 8 tours (fils électrique de section 1.5mm²)



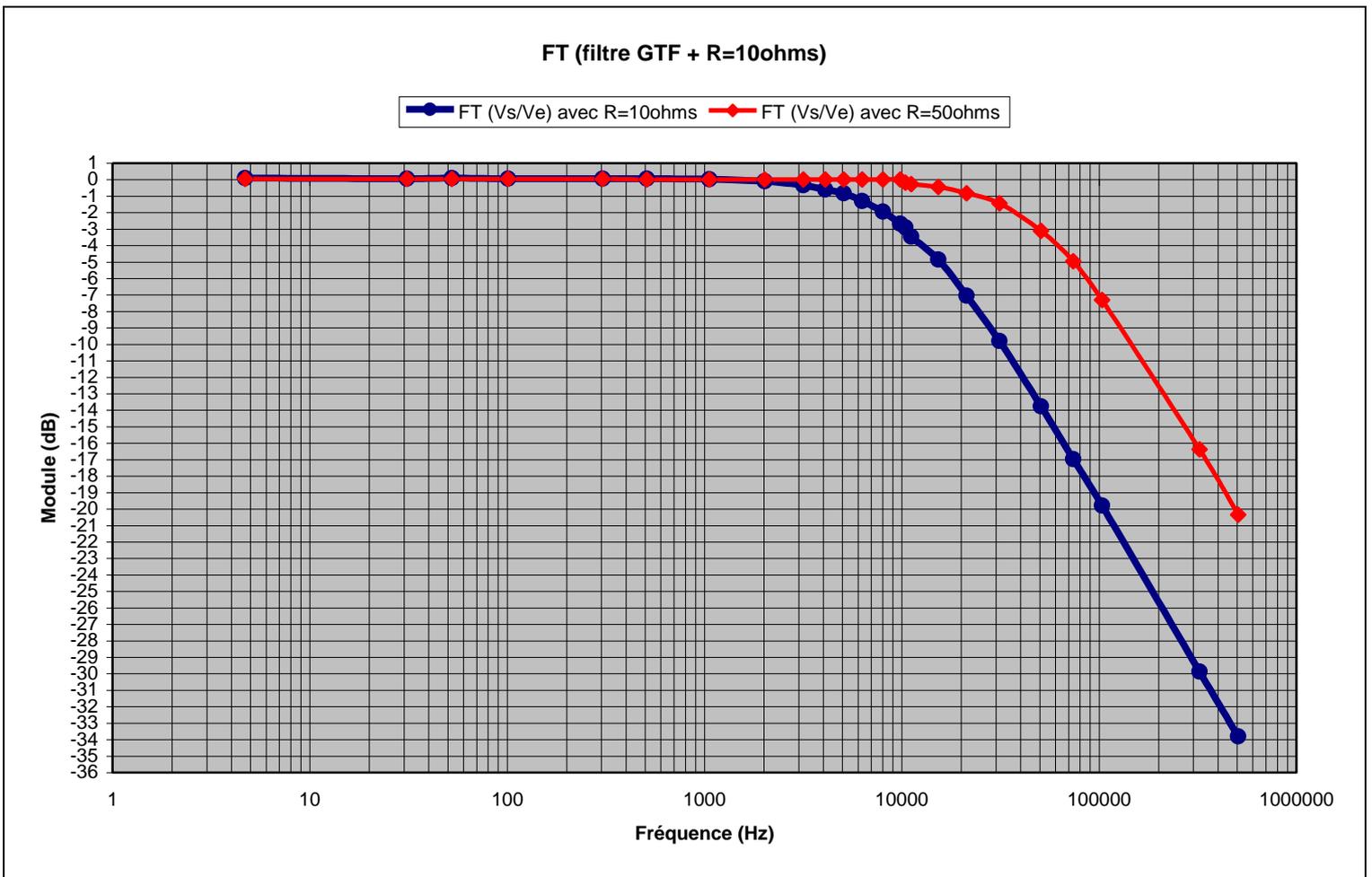
Fc # 15 KHz

GTF (ground transient filter).

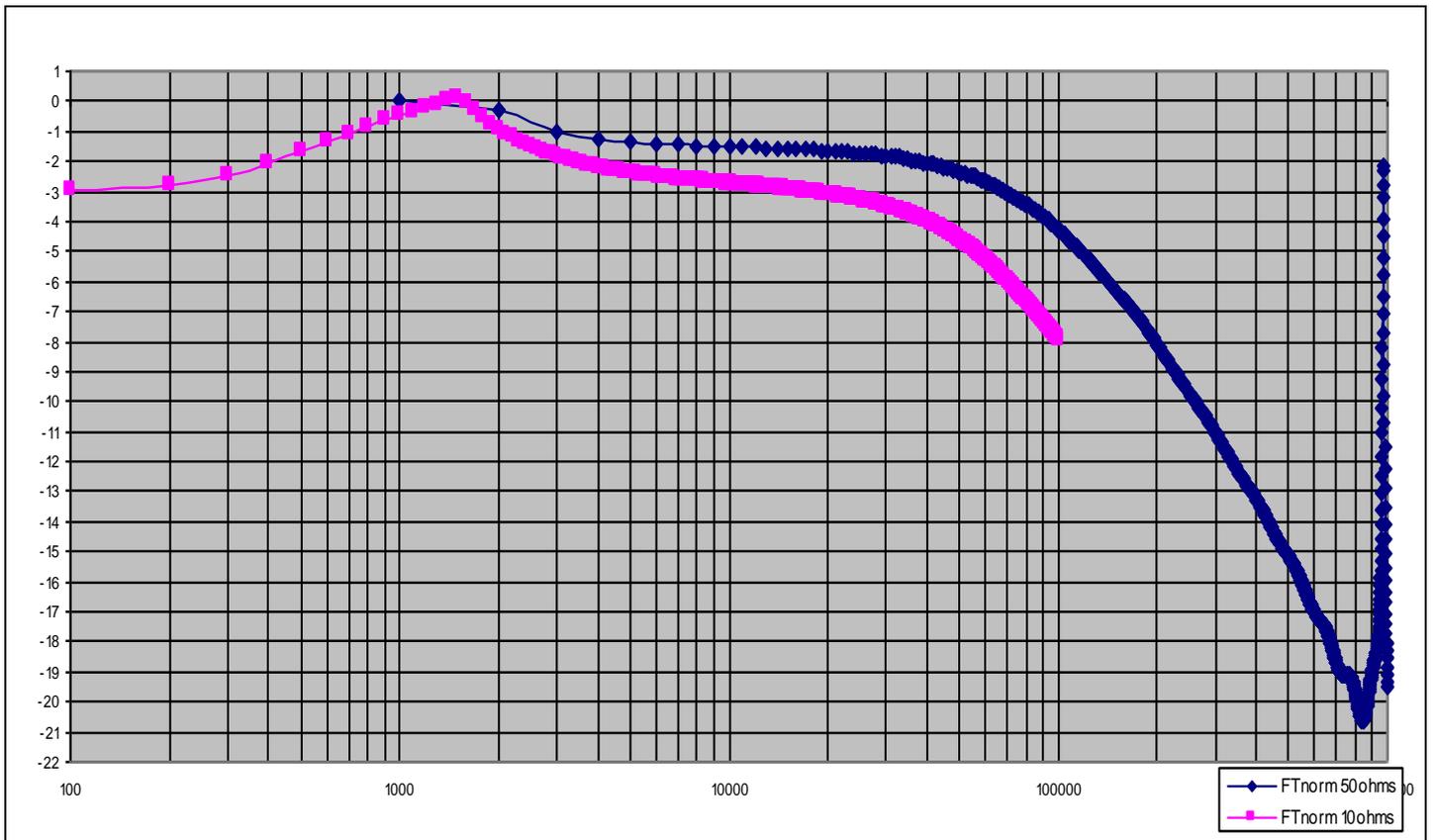


Méthode sinus :

Fo # 10 KHz pour Zt = 10 ohms
Fo # 50 KHz pour Zt = 50 ohms



Méthode impulsionnelle :



ANNEXE n°2

Réduction des parasites émis par un système électrificateur de clôture électrique

Date : 6 juin 2007

4-2 Les Oscillogramme relevés pour différents dispositifs

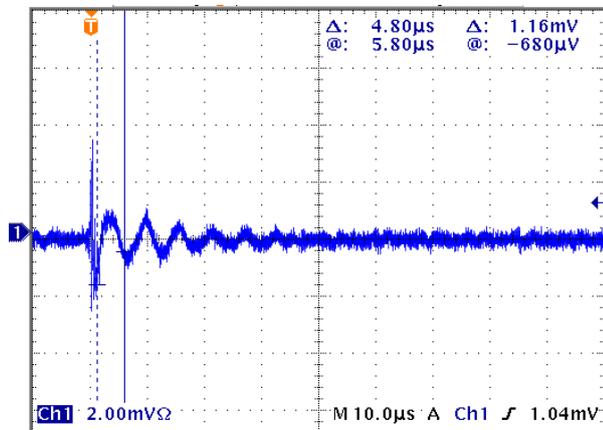


Figure 35 : Plusieurs ferrites sur le conducteur de terre

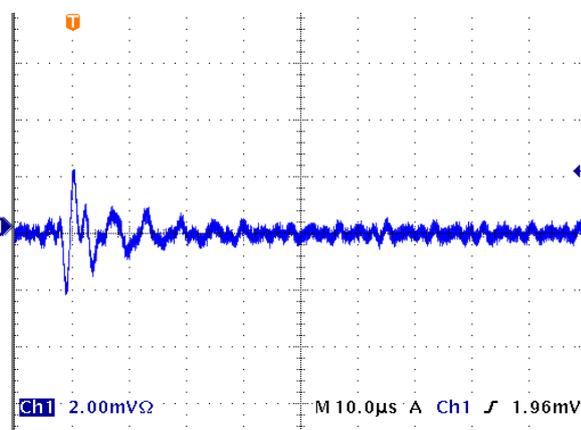


Figure 36 : Le GTF

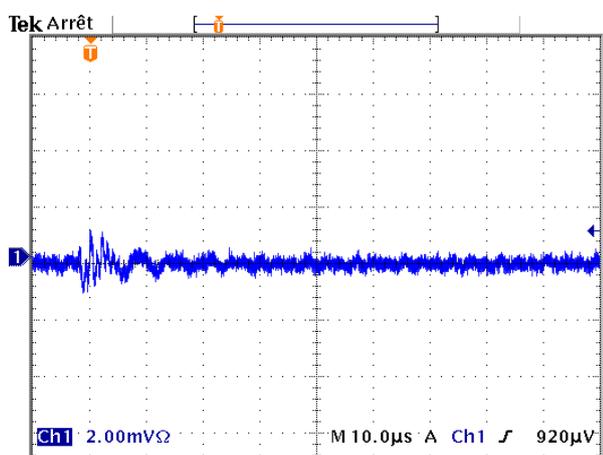


Figure 37 : Self sur tore ferrite bobiné 30 tours

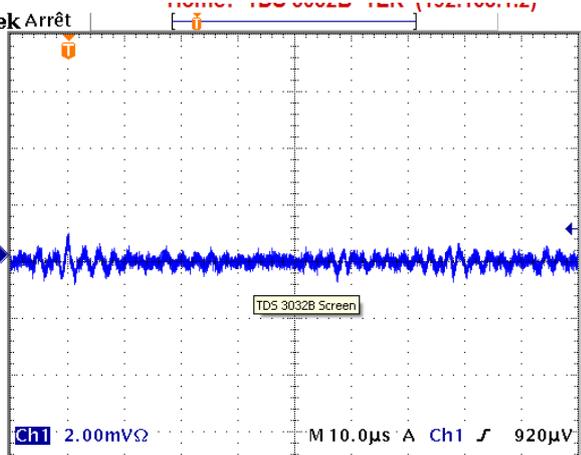


Figure 38 : Self de terre Schaffner

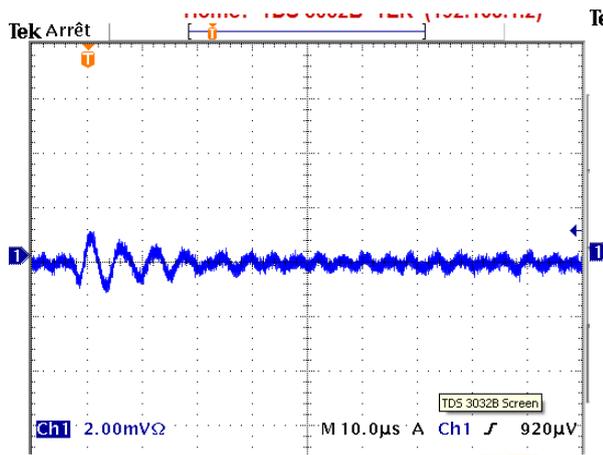


Figure 39 : Self sur tore ferrite bobiné 10 tours

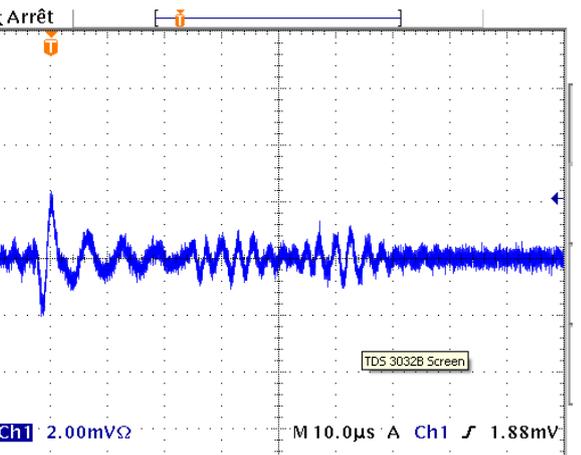


Figure 40 : Self déparasitage gotronic

Conclusion :

On remarque que le courant transitoire crée par l'électrificateur de clôture est le mieux atténué par le dispositif selfique bobiné sur tore ferrite (figure 7) et la self de terre Schaffner. Rapport 7 de réduction de I_{cc} . Nous noterons aussi que l'atténuation se fait vers le réseau d'équipotentialité du bâtiment.

ANNEXE n°3

Rapport d'essais

Mesure sur des appareils électriques perturbateurs & Essais des différents dispositifs de protection.

1 - Matériel utilisé

Pince ETS-LINDGREN 93686-1 (10Khz – 30Mhz) $Z_t=20\text{Ohms}$ dans la bande 100KHz - >10MHz)

Pince ampèremétrique LEMPR30 BP = DC-100KHz

Oscilloscope Tektronix TDS3032B BP = DC-300MHz 2.5GEch/S

Si pince PR30 impédance d'entrée de l'oscilloscope 1 MOhms

Si pince ETS-LINDGREN impédance d'entrée de l'oscilloscope 50 Ohms

2 – Schéma emplacement de la mesure

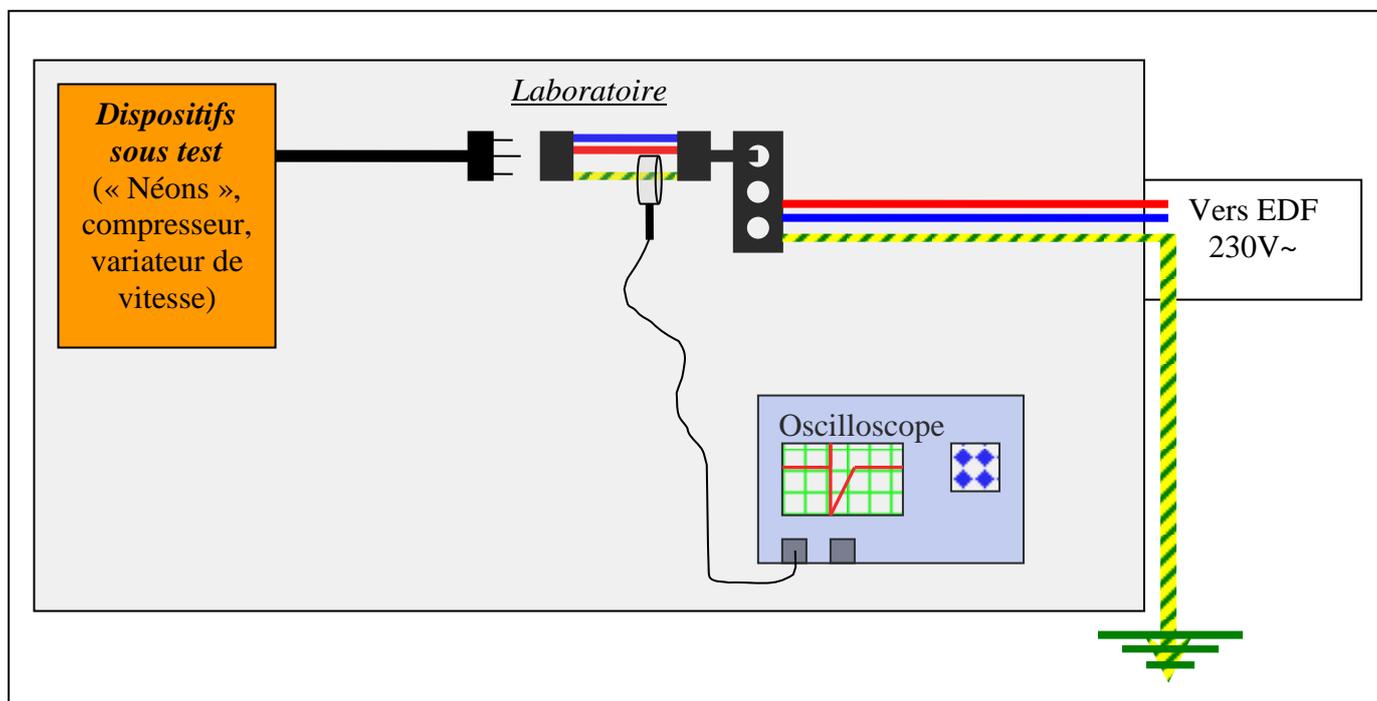


Figure 1 : Schéma chaîne de mesure

2 – Essais sur Tubes Fluorecents 2x36W (régime de fonctionnement normal)

Pince ETS-LINDGREN 93686-1

Impédance entrée oscilloscope 50ohms

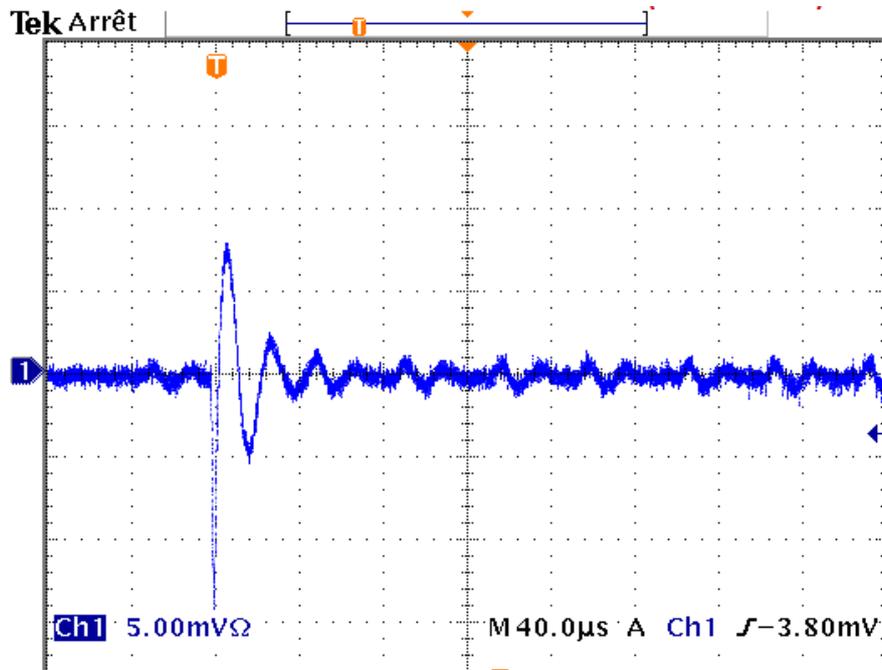


Figure 2 : Oscillogramme « néon »

$V_{cc} \# 25,5\text{mV} \rightarrow 25500\mu\text{V}$

$I_{cc} = 25500\mu\text{V} / 2 = 12,75\text{mA}$

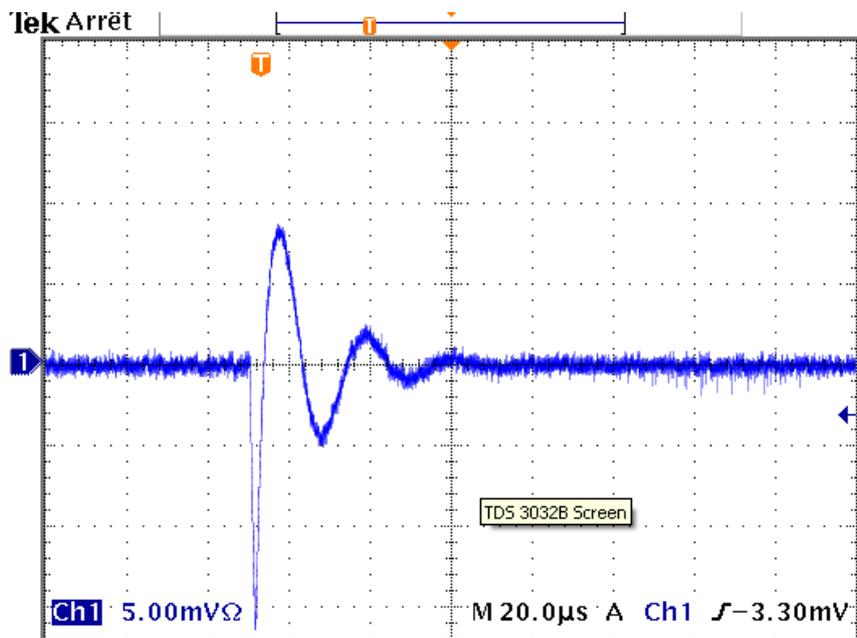


Figure 3 : Oscillogramme 2 « néon »

module
normalisé
/max en dB

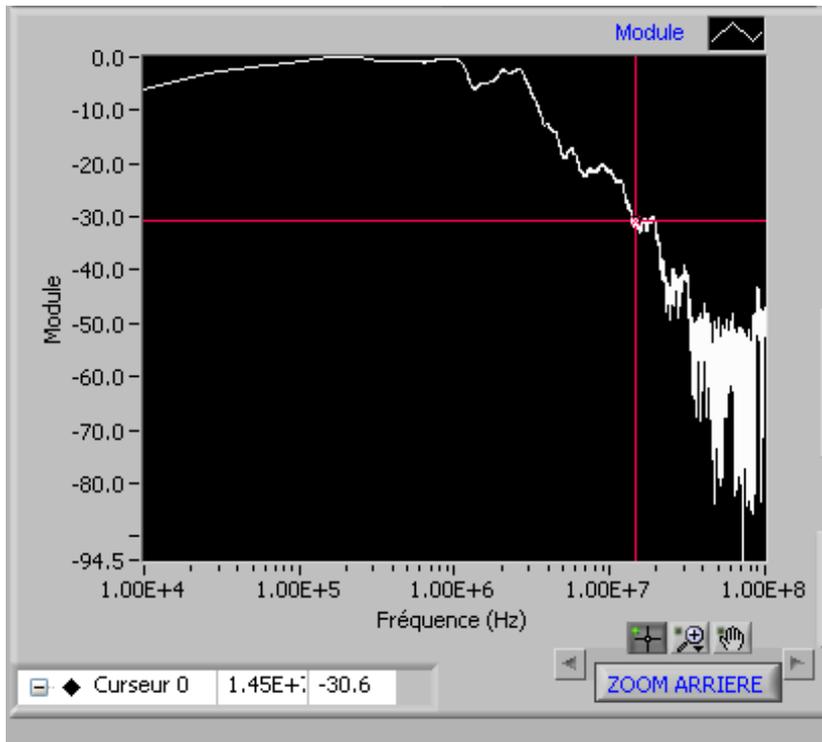


Figure 4 : Spectre oscillogramme 2 « néon »

Petite résonance à 2.5MHz
Mesure dans la bande 100K-10MHZ
Occupation de la bande jusqu'à 10MHz (-30dB)

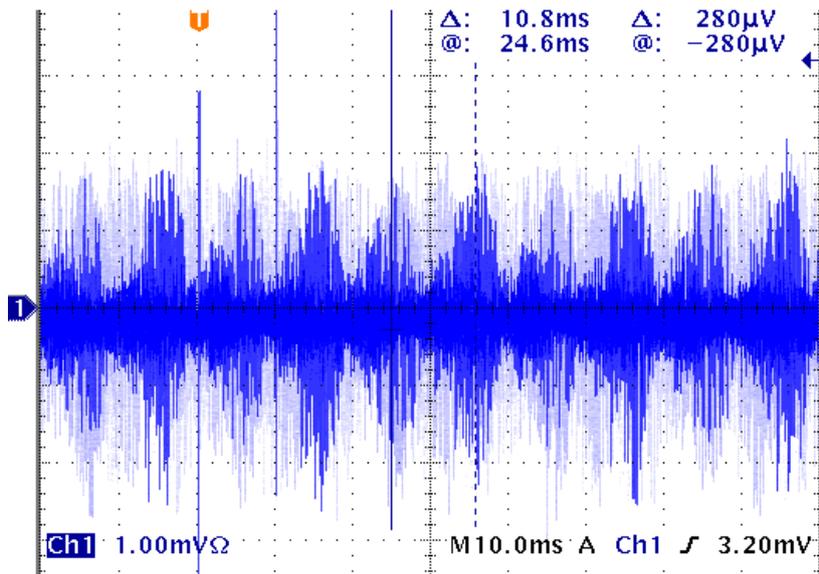


Figure 5 : Oscillogramme (porteuse du signal transitoire « néon »)

On peut voir une porteuse sinus (enveloppe) fréquence 200 Hz, le signal transitoire se superpose à cette porteuse.

Mêmes mesures avec la pince ampèremétrique LEMPR30 BP = DC-100KHz

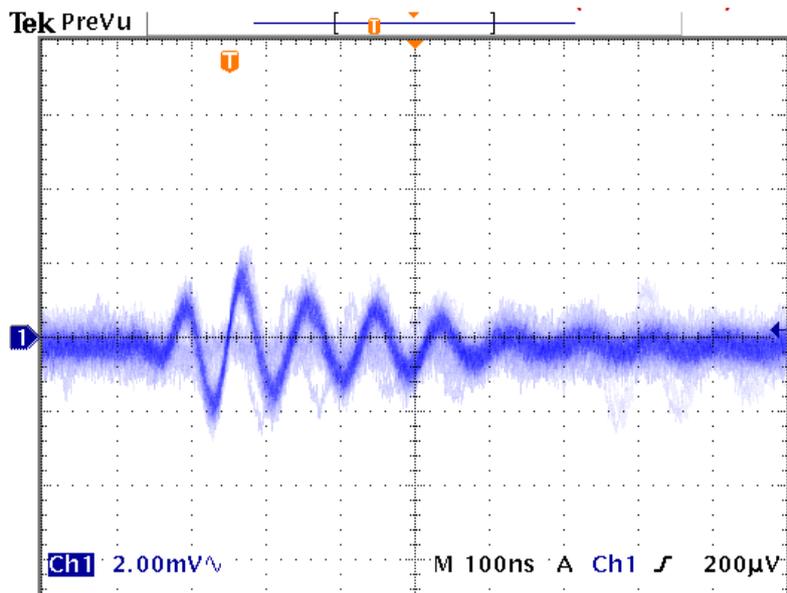


Figure 6 : Oscillogramme « néon » avec pince PR30

Vcc # 4mV

Rapport transformation pince : 100 mV / 1 A

$$I_{cc} = 4\text{mV} * 1\text{A} / 100 \text{ mV} = 40\text{mV}$$

2 – Essais lors du démarrage d'un Compresseur à air (SPRAYIT Monophasé 50Hz, 400W, 230V)

Mesures avec pince ampèremétrique LEMPR30

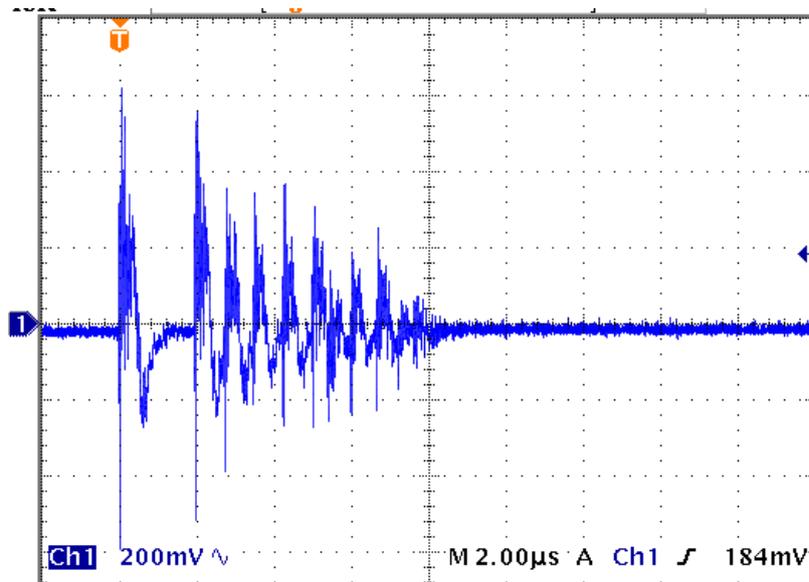


Figure 7 : Oscillogramme démarrage du compresseur

Mesure avec pince ETS-LINDGREN 93686-1

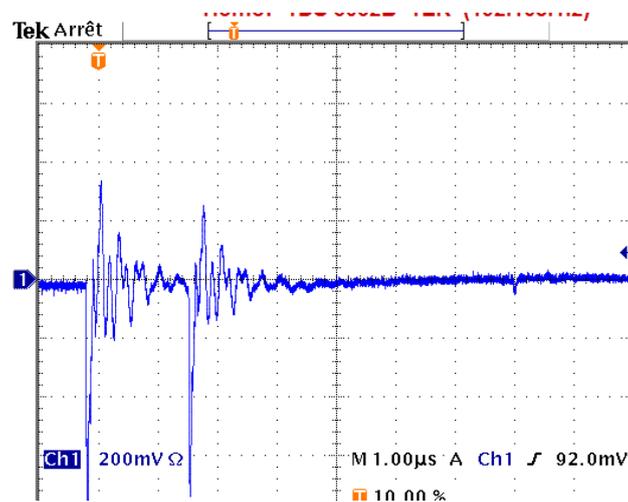


Figure 8 : Oscillogramme démarrage du compresseur avec pince ETS-LINGREN

3 – Essais en régime de fonctionnement normal du compresseur à air (SPRAYIT Monophasé 50Hz, 400W, 230V)

Pince ETS-LINDGREN 93686

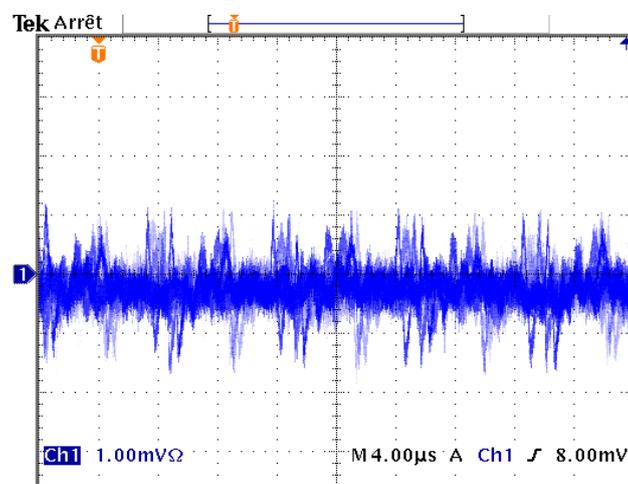


Figure 9 : Oscillogramme fonctionnement normal du compresseur

4 – Essais variateur de vitesse Hitachi L100-002NFE (Vitesse rotation du moteur entraîné 4,1Hz)

Mesures avec Pince ETS-LINDGREN 93686-1

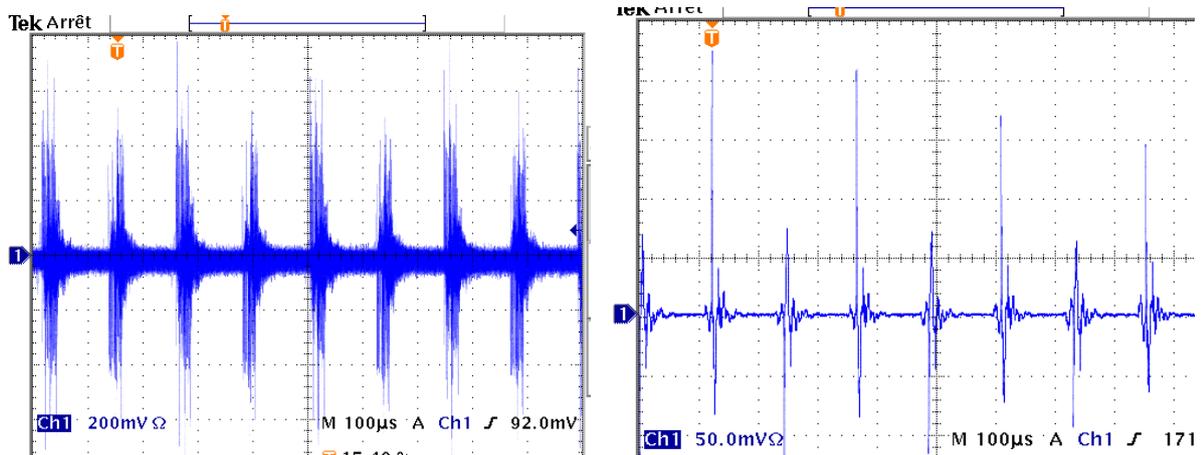


Figure 10 & 11: Oscillogramme fonctionnement du variateur de vitesse

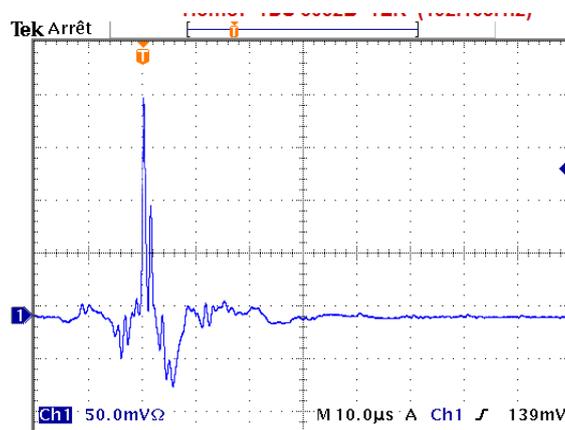


Figure 12 : Oscillogramme zoom d'une des commutations de l'électronique de commande du variateur de vitesse

Échelle
Verticale

module
normalisé en
/max en dB

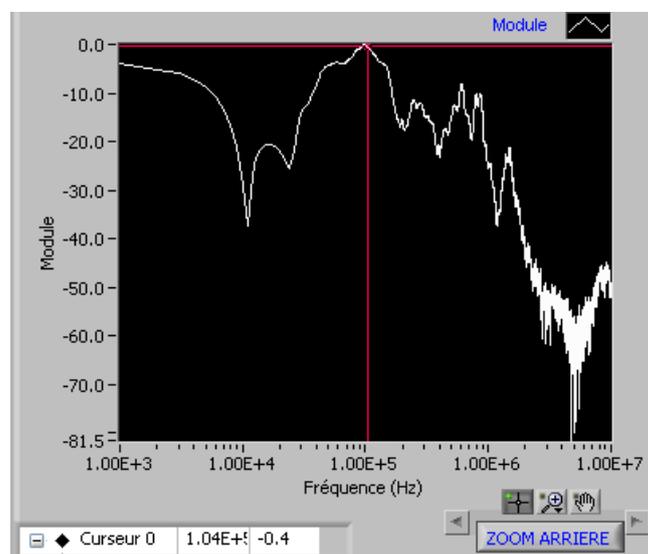


Figure 13 : Spectre de la commutation (figure 12)

Même mesures avec pince ampèremétrique LEMPR30

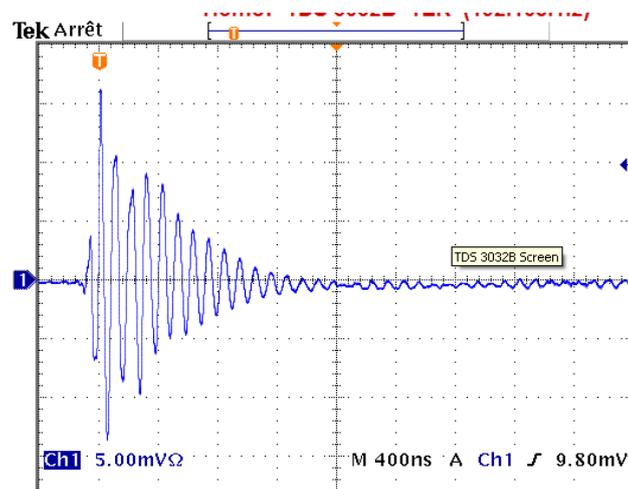


Figure 14 : Oscillogramme d'une des commutations (thyristors)

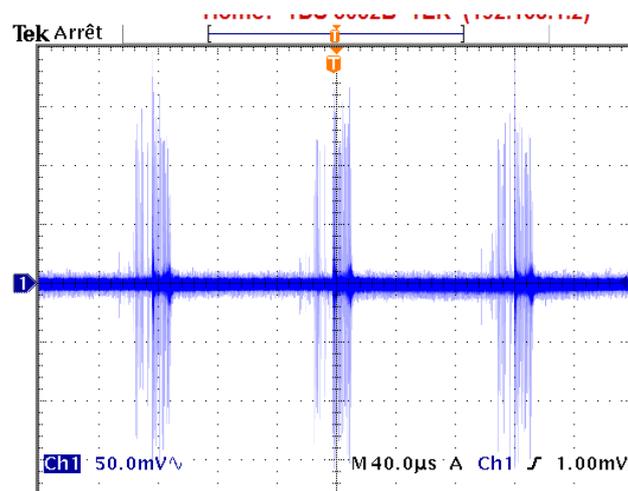


Figure 15 : Oscillogramme répétition des commutations

Pour le variateur de vitesse on observe une occupation du spectre jusqu'au MégaHertz, ainsi q'une résonance à #100 KHz.

5 - ESSAIS DES DISPOSITIFS DE PROTECTION SUR LE VARIATEUR DE VITESSE HITACHI.

Mesures avec Pince ampèremétrique LEMPR30

En gris le signal de la perturbation d'origine.

En bleu le signal en sortie du dispositif réducteur (vers la terre du bâtiment)

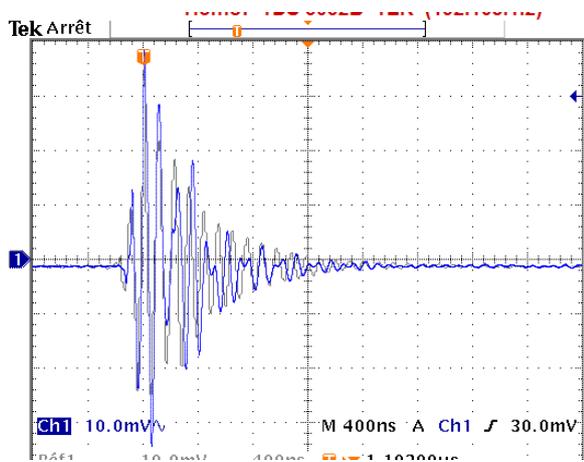


Figure 16 : GTF

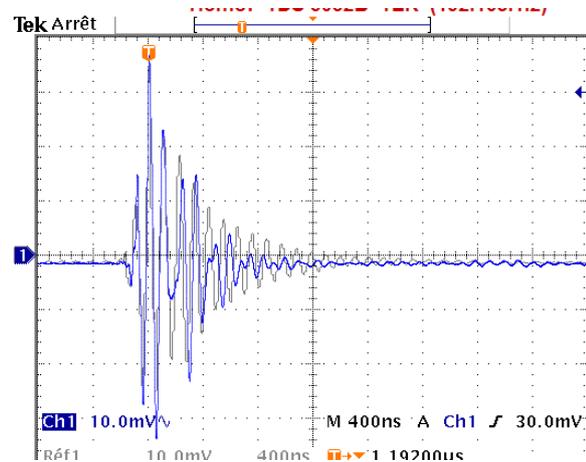


Figure 17 : SELF sur tore ferrite 10trs

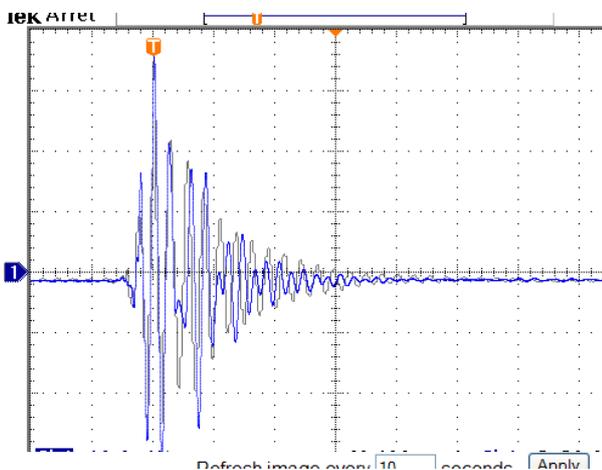


Figure 18 : Self sur tore 31 trs

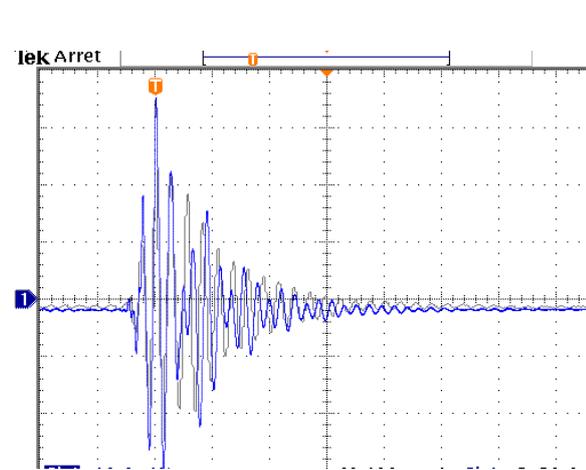


Figure 19 : Self déparasitage (Gotronic)

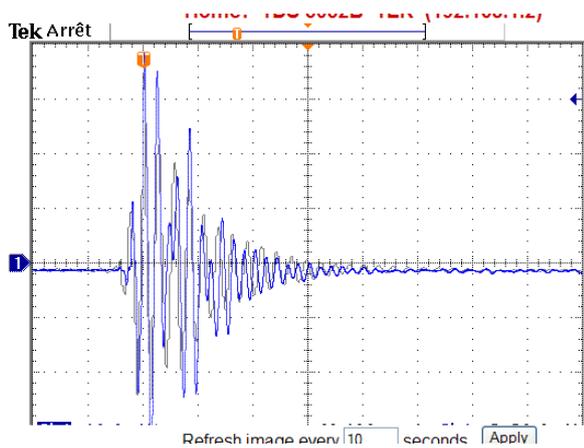


Figure 20 : Self de terre Schaffner

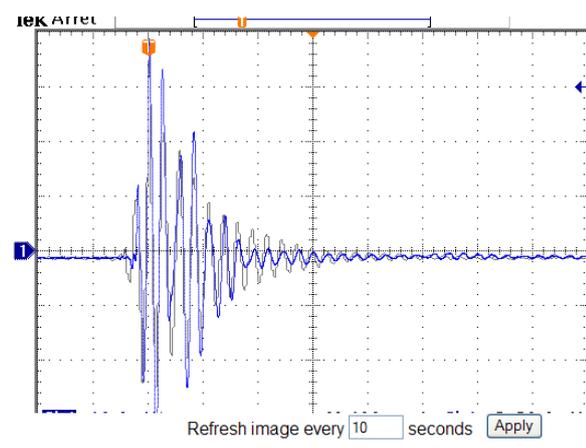


Figure 21 : Self de choc VK200

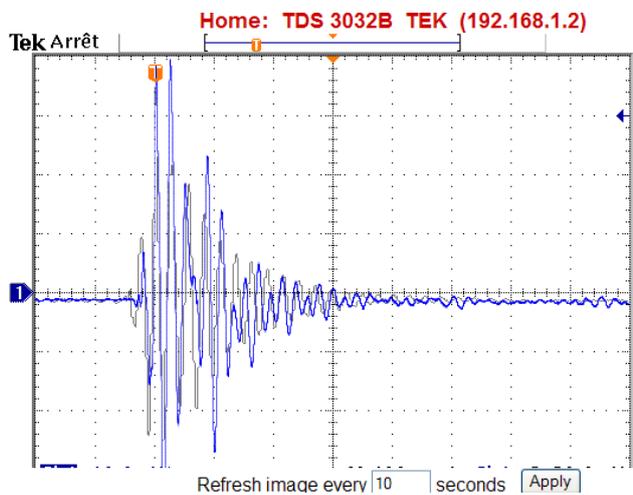
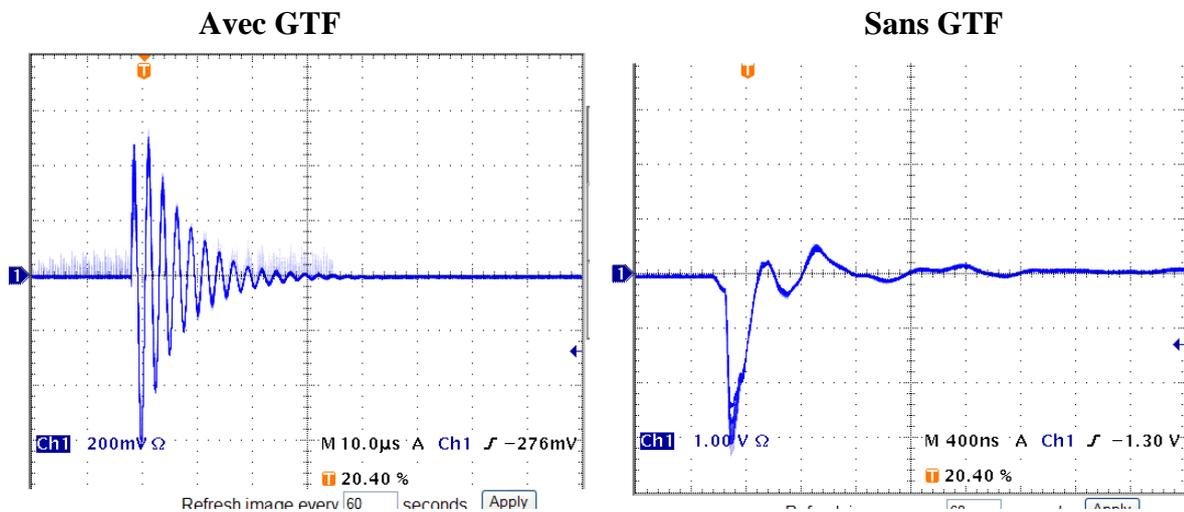


Figure 22 : Plusieurs dispositifs en série (Ferrite sur câble x2 + Self de terre + Self sur tore 10trs)

6 - ESSAIS DU DISPOSITIF GTF SUR LE TUBE FLUORESCENT

Mesure avec Pince ETS-LINDGREN 93686-1



Vcc # 1 V
 $I_{cc} = 1000000 \mu V / 2 = 500 \text{ mA}$

Vcc # 3 V
 $I_{cc} = 3000000 \mu V / 2 = 1,5 \text{ V}$

Rapport 3 de réduction de l'amplitude du courant de fuite entre avec le dispositif GTF et sans le dispositif GTF. Mais on observe suite au parasite la mise en oscillation du au dispositif selfique du GTF (prédominance des capacités inter spires du dispositif GTF) afin d'avoir un filtre de type RLC et donc une mise en oscillation.

LES PERTURBATIONS HARMONIQUES SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION ELECTRIQUE

Comme vu précédemment il apparaît que dans certaines exploitations agricoles, les matériels électriques utilisés étant parfois de mauvaise qualité, on retrouve des courants de fuite harmonique du 50Hz sur le conducteur d'équipotentialité. C'est pourquoi il m'a paru intéressant d'évoquer les phénomènes de distorsion harmonique et les effets engendrés par ces problèmes.

5-7 Préambule

La variation en fonction du temps, des grandeurs électriques courants et tensions des réseaux industriels alternatifs, s'éloigne significativement de la sinusoïde pure 50Hz, la variation est en fait composée d'un certain nombre de sinusoïdes de fréquences différentes appelées « harmoniques », comprenant entre autres, une sinusoïde dite fondamentale. L'amplitude de l'harmonique est généralement de quelque pour cent de celle du fondamental.

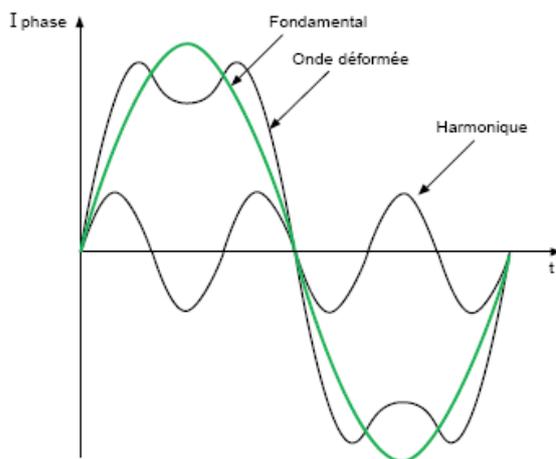


Figure 41 : image d'une onde déformée

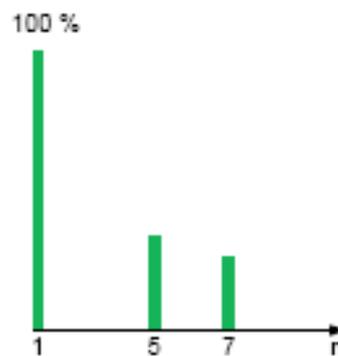


Figure 42 : Spectre des harmoniques

5-8 Les effets instantanés

Sur les systèmes électroniques, les tensions harmoniques peuvent perturber les dispositifs de régulation. Elles peuvent influencer les conditions de commutation des thyristors lorsqu'elles déplacent le passage à zéro de la tension. Les compteurs d'énergie à induction présentent des erreurs supplémentaires en présence d'harmoniques : par exemple un compteur classe 2 donnera une erreur supplémentaire de 0,3 % avec un taux de 5 % d'harmonique 5 sur le courant et la tension.

Les récepteurs de télécommande centralisée à fréquence musicale utilisée par les distributeurs d'énergie peuvent être perturbés par des tensions harmoniques de fréquence voisine de celle utilisée par le système. Vibrations, bruit. Par les efforts électrodynamiques proportionnels aux courants instantanés en présence, les courants harmoniques généreront des vibrations, des bruits acoustiques, surtout dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances). Des couples mécaniques pulsatoires, dus aux champs tournants harmoniques, donneront des vibrations dans les machines tournantes.

5-9 Les effets à terme

Hormis la fatigue mécanique des matériaux due aux vibrations, l'effet à terme est l'échauffement.

Echauffement des condensateurs. Les pertes, causes de l'échauffement, sont dues à deux phénomènes : conduction et hystérésis dans le diélectrique. Elles sont en première approximation proportionnelles au carré du courant efficace. Les condensateurs sont donc sensibles aux surcharges, qu'elles soient dues à une tension fondamentale trop élevée ou à la présence de tensions harmoniques.

Echauffement dû aux pertes supplémentaires des machines et des transformateurs. Pertes supplémentaires dans les machines, dans leur stator (cuivre et fer), et principalement dans leurs circuits rotoriques (cages, amortisseurs, circuits magnétiques) par suite des différences importantes de vitesse entre les champs tournants inducteurs harmoniques et le rotor. Pertes supplémentaires des transformateurs dues à l'effet de peau (augmentation de la résistance du cuivre avec la fréquence), à l'hystérésis et aux courants de FOUCAULT (dans le circuit magnétique).

Echauffement des câbles et des équipements. Les pertes des câbles traversés par des courants harmoniques sont majorées, d'où une élévation de température. Parmi les causes des pertes supplémentaires on peut citer : une augmentation de la valeur efficace du courant pour une même puissance active consommée ; l'élévation de la résistance apparente de l'âme avec la fréquence, phénomène dû à l'effet de peau ; l'élévation des pertes diélectriques dans l'isolant avec la fréquence, si le câble est soumis à une distorsion de tension non négligeable.

5-10 Les normes

La série des normes de compatibilité électromagnétique (CEI 61000) définissent certaines limites concernant les harmoniques, notamment :

- CEI 61000-3-2 qui définit des limites d'émission de courant harmonique par les appareils consommant moins de 16 A par phase (sauf certaines catégories d'appareils - voir la norme). Le cas des appareils consommant au-delà de 16 A est examiné dans le rapport technique CEI 61000-3-4 et devrait être précisé par une norme CEI 61000-3-12 en préparation.

- CEI 61000-2-2 qui définit les niveaux de compatibilité de tensions harmoniques sur les réseaux publics basse tension.

- CEI 61000-2-4 qui définit les niveaux de compatibilité dans les réseaux d'installations industrielles.

Rappelons qu'un niveau de compatibilité n'est pas une limite absolue ; il peut être dépassé avec une faible probabilité.

5-11 Les filtres

Il existe trois classes de filtres permettant de réduire les tensions harmoniques :

- le shunt résonant,
- les filtres amortis,
- les filtres actifs.

7-5-1 Le shunt résonant

Le filtre shunt résonant est constitué par la branche L-C dont la fréquence d'accord ($f_r = 1 / (2\pi \cdot \sqrt{LC})$) est placée sur la fréquence de la tension harmonique que l'on veut éliminer. Le shunt résonant présente, à f_r , une impédance minimale réduite à la résistance r de l'inductance. Il dérive donc en lui-même la presque totalité des courants harmoniques injectés de fréquence f_r , avec un taux de tension harmonique de fréquence f_r faible, car proportionnel au produit de la résistance r par le courant traversant le filtre. En principe, il y a autant de shunts résonants que d'harmoniques à traiter, à raccorder au jeu de barres où la réduction des tensions harmoniques est spécifiée. Leur ensemble constitue une batterie.

7-5-2 Les filtres amortis

Le filtre amorti d'ordre deux. Sur four à arc ou variateur de vitesse de moteur, le shunt résonant doit être amorti. En effet, le spectre continu traduit une probabilité d'un courant injecté de fréquence égale à celle de l'antirésonance. Alors il ne faut plus se contenter de réduire les tensions harmoniques de rang caractéristique, mais également réduire les antirésonances, les amortir. D'autre part, le montage d'un nombre élevé de shunts résonants en batterie n'est pas économique, la solution est de faire appel à un filtre de large spectre qui possède les propriétés suivantes :

- amortir les antirésonances,
- réduire les tensions harmoniques de fréquences égales ou supérieures à son accord, d'où le nom de « filtre amorti passe-haut »,
- amortir rapidement le régime transitoire à la mise sous tension du filtre.

Le filtre amorti d'ordre deux est constitué d'un shunt résonant auquel est adjointe, aux bornes de l'inductance, une résistance d'amortissement R.

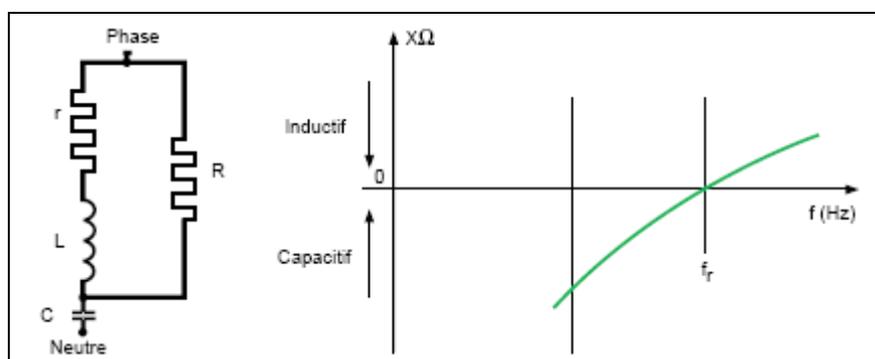


Figure 43 : filtre amorti d'ordre 2

7-5-2 Les filtres actifs

Le filtre actif permet de neutraliser l'effet d'une perturbation en injectant une grandeur égale à la perturbation mais de phase opposée. Les filtres actifs sont souvent utilisés en complément des filtres passifs décrits dans cette partie formant ainsi un filtrage hybride.

Un compensateur actif est un dispositif qui exploite au moins un convertisseur statique pour satisfaire la fonction de « dépollution harmonique ». Ce vocable générique regroupe donc en fait une multitude de systèmes, qui se différencient par :

- le nombre de convertisseurs utilisés, et leur mode d'association,
- leur type (source de tension, source de courant),
- les lois de régulation globales (compensation en courant ou en tension),
- l'association éventuelle avec des composants passifs (voire même de filtres passifs).

Le seul trait d'union entre ces systèmes actifs reste le fait que tous génèrent des courants qui s'opposent aux harmoniques créés par les charges non linéaires.

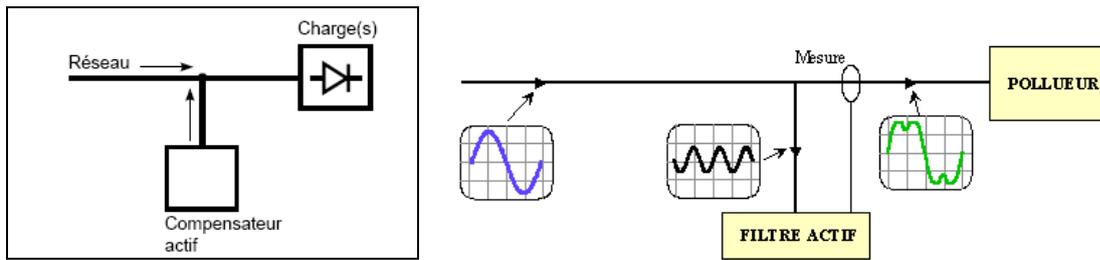


Figure 44 : Compensateur actif dit « shunt » génère un courant harmonique qui annule les harmoniques de courant coté réseau ou charge.

Il existe de nombreux fabricants de filtres passifs ou actifs afin de compenser ces problèmes d'harmoniques, pour en citer quelques uns il y a : Schneider, Merlin Gerin, UPS, Schaffner, Legrand...

ANNEXE n°5

Exemplaire compte Rendu d'expertise

<p><i>Rédacteur :</i></p> <p>Nicolas VIOLET Sébastien SAHUGUEDE</p> <p><i>Email :</i> sahuguede@cisteme.net</p> <p><i>Portable :</i> 06 86 40 71 72</p> <p><i>Bureau :</i> 05 55 42 60 59</p>	<p><i>Approbateur :</i></p> <p>Sébastien SAHUGUEDE</p>	<p><i>Référence :</i></p> <p>CR_26_04_07_*****</p> <p><i>Date d'édition :</i> 26 avril 2007</p>
<p><i>Organisme :</i></p> <p>CISTEME Centre d'Ingénierie des Systèmes en Télécommunication, Electromagnétisme et Electronique</p> <p>Ester Technopole – BP 6913 87069 Limoges Cedex</p>		

Compte rendu d'expertise

Objet : Mesures de détection et de localisation d'anomalies électriques dans le bâtiment d'élevage de l'exploitation de M. *****		Date de la visite : 24 avril 2007
Document(s) joint(s) :		
Observations :		
Confidentialité : Communication et reproduction interdites sans l'accord de l'approbateur		

Table des matières

1 Objectif de la visite	3
1.1 Informations sur l'exploitation	3
2 Mesures préliminaires de détection d'anomalie – Phase de détection	4
2.1 Localisation des points de mesure des tensions de pas	4
2.2 Mesures des tensions de pas et de contact	5
3 Mesures de localisation – Phase de localisation	9
3.1 Tensions de pas (Bâtiments Sous Tension et Hors Tension)	9
3.2 Tensions de contact	11
3.3 Mesures des courants de fuite issus des moteurs du distributeur d'aliments	13
3.4 Mesure des tensions de pas à l'entrée du robot (moteurs en fonctionnement)	16
4 Conclusions et proposition d'actions	18

Objectif de la visite

La visite du 24 avril 2007 à la demande de l'expert agricole Monsieur *****.

Informations sur l'exploitation

Adresse de l'exploitation

Type d'exploitation : Vaches laitières

Descriptifs des troubles observés par l'éleveur, et suspicions vis à vis des sources de problèmes (toujours selon l'éleveur) :

Problèmes de refus d'accès au robot de traite (taux de cellules somatiques élevé)

Les troubles précédents sembleraient avoir disparu après la déconnexion des fixations des moteurs du distributeur d'aliments au châssis du robot de traite (Illustration 1)

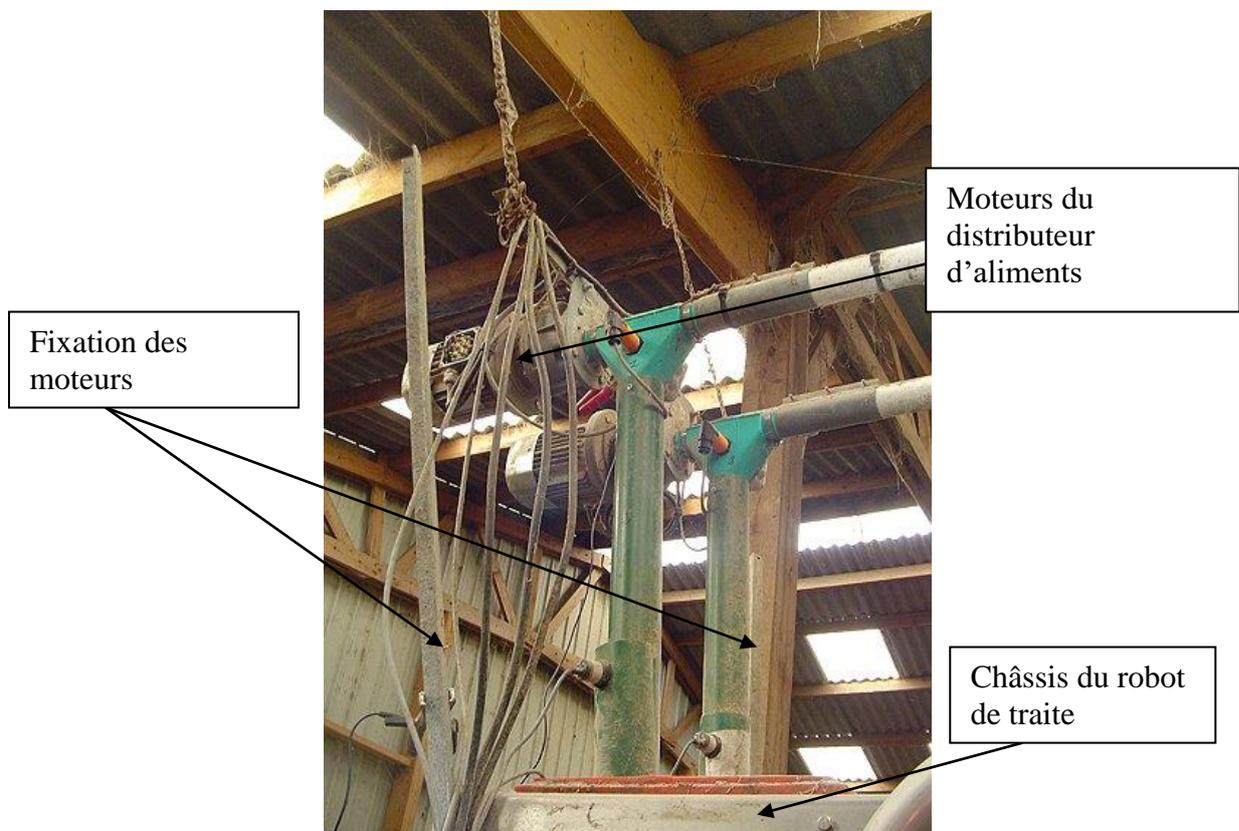


Illustration 1: Fixation des moteurs du distributeur d'aliments

Mesures préliminaires de détection d'anomalie – Phase de détection

Localisation des points de mesure des tensions de pas

Tension de pas entre le sol bétonné de l'aire d'attente et le sol bétonné de l'aire de traite



Illustration 2: Point de mesure (aire d'attente/aire de traite)

Tension de pas sur le sol bétonné des logettes



Illustration 3: Point de mesure (Logettes)

Tension de pas entre le quai métallique du robot et le sol bétonné de l'aire de traite



Illustration 4: Point de mesure (aire de traite/quai métallique du robot de traite)

Mesures des tensions de pas et de contact

Ces premières mesures rentrent dans le cadre de la phase de détection de la méthodologie de diagnostic électrique. L'objet de ces mesures est la détection des tensions de contact/pas parasites et des courants de fuite basse fréquence et haute fréquence (indicateurs d'anomalies électriques).

Pour cette phase de diagnostic, les mesures sont effectuées dans la configuration de fonctionnement nominale de l'exploitation. Aussi, les carcasses (fixations) des moteurs du distributeur d'aliments ne sont pas reliées aux châssis.

Matériels utilisés :

Oscilloscope OX7042
Plaques de contacts

Appareillage électrique en fonctionnement ou sous-tension pendant la mesure :

Robot de traite
Compresseur
Pompe de forage
Tank à lait
Moteurs du distributeur d'aliments par intermittence
Système informatique

Heure de la mesure : 9h30

Mesure des tensions de contact et de pas

<i>N°</i>	<i>Ddp entre</i>	<i>et entre</i>	<i>Forme d'onde</i>	<i>Fréq. ou période</i>	<i>Niveau Vpp (mV)</i>	<i>Commentaires</i>	<i>Mesure significatif</i>
1	Sol bétonné aire attente	Sol bétonné aire traite	Oscillo 2-1	200kHz	60	Signaux mesurés car induits sur les câbles de mesure (Rayonnement électromagnétiques des systèmes électroniques du robot)	NON car mesures faussées par le rayonnement électromagnétique
2	Sol bétonné des logettes	Sol bétonné des logettes	Oscillo 2-2	500kHz	40	Signaux mesurés car induits sur les câbles de mesure (Rayonnement électromagnétiques des systèmes électroniques du robot)	NON car mesures faussées par le rayonnement électromagnétique
3	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 2-3	200kHz	60	Signaux mesurés car induits sur les câbles de mesure (Rayonnement électromagnétiques des systèmes électroniques du robot)	NON car mesures faussées par le rayonnement électromagnétique

Conclusions partielles

Les mesures réalisées précédemment sont perturbées par le fonctionnement du robot de traite. En effet, les systèmes électroniques (commande des moteurs, dispositif sans fil d'identification des bovins, ...) rayonnent dans l'environnement de mesure. L'instrumentation ne permet pas de dissocier ces courants/tensions induit(e)s dans les câbles de mesure des courants conduits ou tensions parasites dans le sol susceptibles de perturber l'animal. Par la suite, l'instrumentation filtrera l'ensemble des signaux supérieurs à 5kHz.

Mesure des tensions de contact et de pas filtrées

<i>N°</i>	<i>Ddp entre</i>	<i>et entre</i>	<i>Forme d'onde</i>	<i>Fréq. ou période</i>	<i>Niveau Vpp (mV)</i>	<i>Commentaires</i>	<i>Mesure significatif</i>
4	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 2-4	- 50 Hz - HF	40	Deux signaux : - un périodique, 50hz probablement sinusoïdale déformée - un impulsionnel périodique haute fréquence supposé lié au fonctionnement du tank à lait	OUI
5	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 2-5	50 Hz	5	En absence du fonctionnement du tank, le signal impulsionnel n'est plus présent.	NON

Oscillogrammes

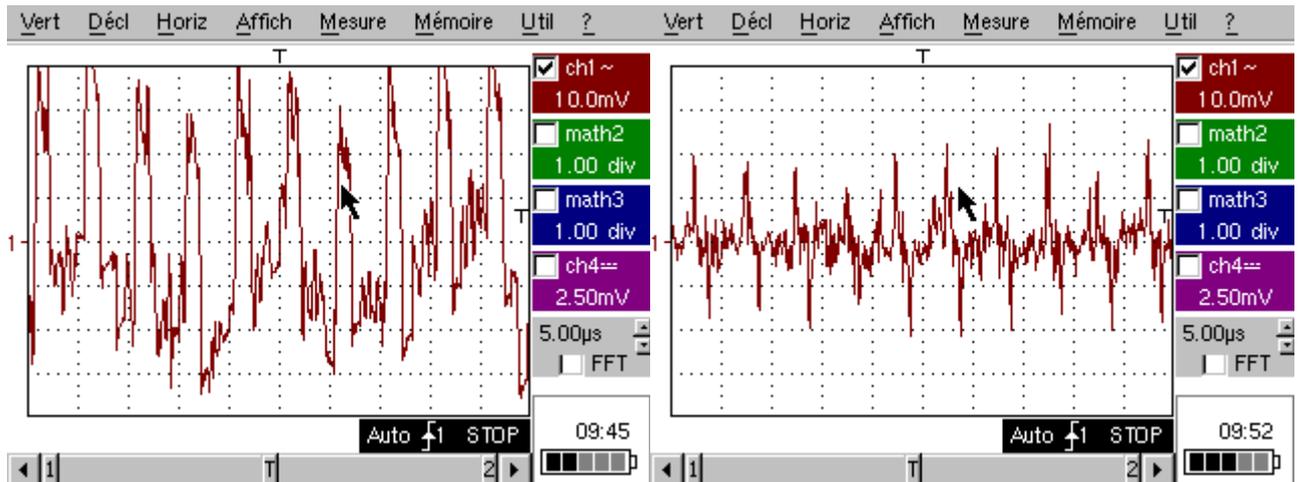


Illustration 5: Oscillogramme 2-1

Illustration 6: Oscillogramme 2-2

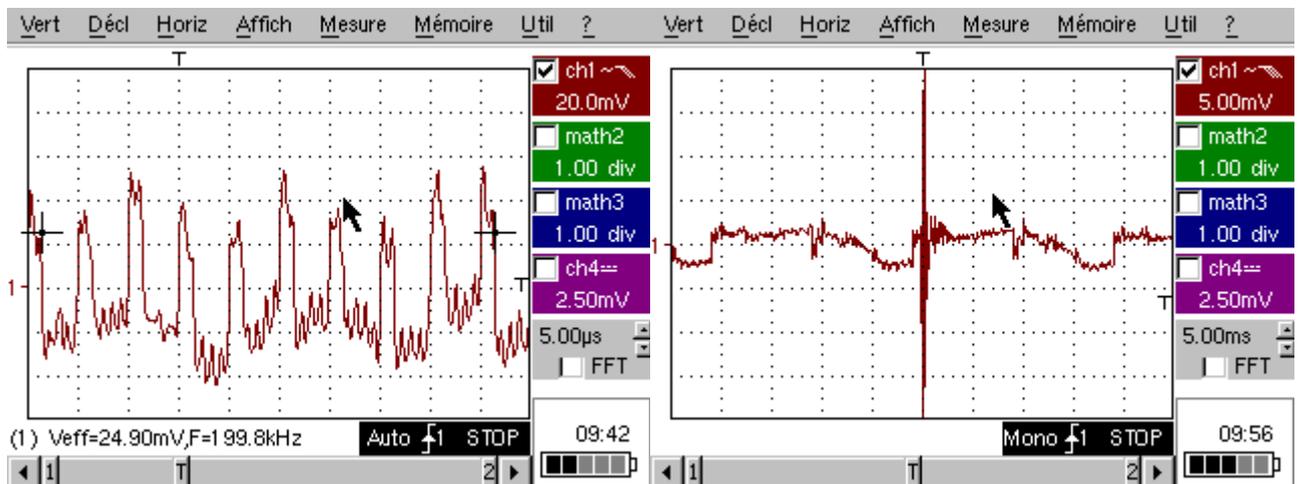


Illustration 7: Oscillogramme 2-3

Illustration 8: Oscillogramme 2-4

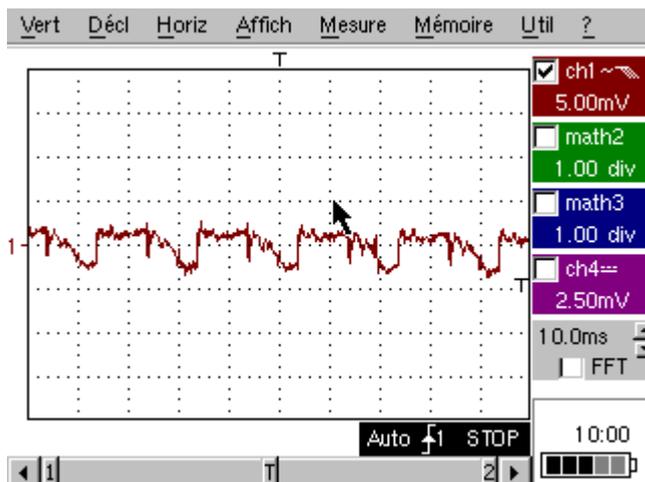


Illustration 9: Oscillogramme 2-5

Analyse et commentaires :

Les mesures sont considérées comme significatives si les deux critères suivants sont vérifiés :

- la valeur de la tension crête-crête est au minimum 20 mV,
- la forme d'onde est visuellement reconnaissable.

Le fait que la mesure soit significative indique seulement qu'il existe une anomalie électrique qui a fait naître à l'intérieur de la zone de mesure des tensions parasites. L'identification de la source n'est pas réalisée lors de cette étape de détection d'anomalie. En conséquence, les niveaux mesurés dans cette phase ne peuvent pas qualifier l'éventuel stress électrique subi par les animaux.

Analyses << Les mesures réalisées sans filtrage (point de mesure n°1,2,3) ne sont pas significatives d'une anomalie électrique. Les niveaux sont faussés par le rayonnement des systèmes électroniques

Le seul signal significatif, en configuration de fonctionnement nominale de l'exploitation, est un signal transitoire de courte durée et supposé lié au fonctionnement du tank à lait.

Mesures de localisation – Phase de localisation

La phase de localisation doit, pour chaque indicateur d'anomalies détecté (significatif) en phase préliminaire évaluer la localisation de la source de l'anomalie détectée.

L'objet de la phase de localisation est le **positionnement la source de la tension de contact/pas ou des courants de fuite comme étant**

- soit interne/externe à la zone de mesure
- soit sur/hors de l'exploitation.

La méthodologie prévoit en pratique:

- A - d'une part, de faire des mesures de localisation en supprimant l'alimentation BT de la zone de mesure afin de savoir si la source de l'anomalie est interne ou externe à la zone de mesure
- B - d'autre part, la suppression de l'ensemble des alimentations BT de l'exploitation et de l'habitation afin de savoir si la source de l'anomalie est sur ou hors de l'exploitation.

Dans le cas de l'application de la méthodologie pour l'exploitation de M. Potey, deux installations électriques sont présentes dans le périmètre de l'exploitation :

- le bâtiment d'élevage, zone de mesure,
- l'habitation de l'exploitant.

Tensions de pas (Bâtiments Sous Tension et Hors Tension)

Mesure des tensions de pas

N°	<i>Ddp entre</i>	<i>et entre</i>	<i>Forme d'onde</i>	<i>Fréq. ou période</i>	<i>Niveau Vpp (mV)</i>	<i>Commentaires</i>	<i>Mesure significatif</i>
1	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 3-1	50Hz	5	- Robot de traite en veille - Moteurs du distributeur d'aliments hors tension	NON
2	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 3-2	50Hz	<5	- Bâtiment d'élevage hors tension	NON
3	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 3-3	50Hz	<5	- Bâtiment d'élevage hors tension ainsi que l'habitation de l'exploitant	NON
4	Extérieur droit (tension de pas de 20m)	Extérieur gauche (tension de pas de 20m)	Oscillo 3-4	50Hz	10	- Bâtiment d'élevage hors tension ainsi que l'habitation de l'exploitant	NON
5	Extérieur droit (tension de pas de 20m)	Extérieur gauche (tension de pas de 20m)	Oscillo 3-5	50Hz	10	Toute installation sous tension (Bâtiment d'élevage et habitation)	NON



Illustration 10: Tension de pas hors exploitation

Oscillogrammes

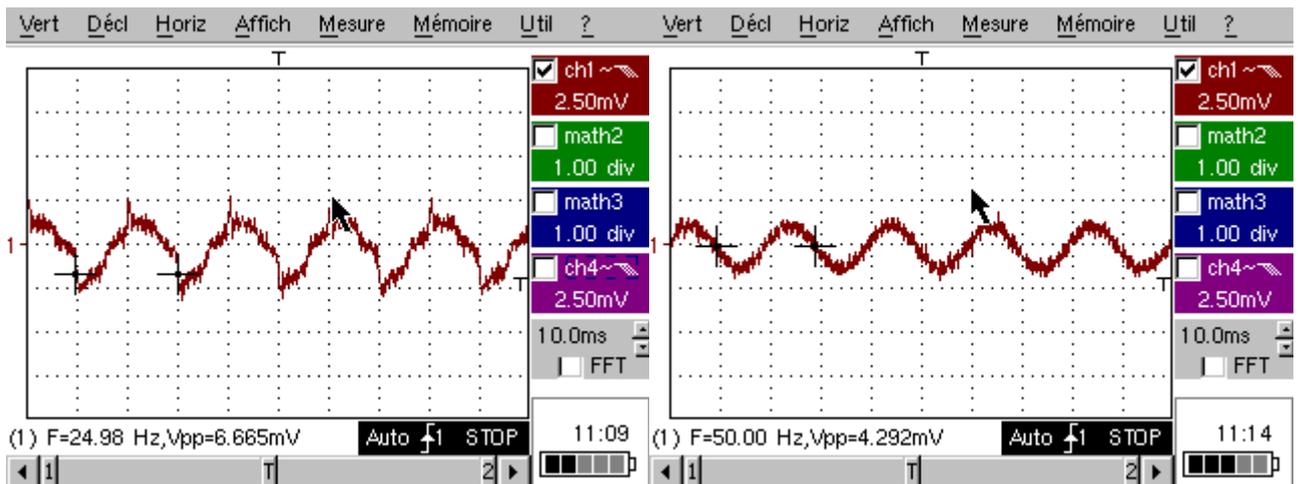


Illustration 11: Oscillogramme 3-1

Illustration 12: Oscillogramme 3-2

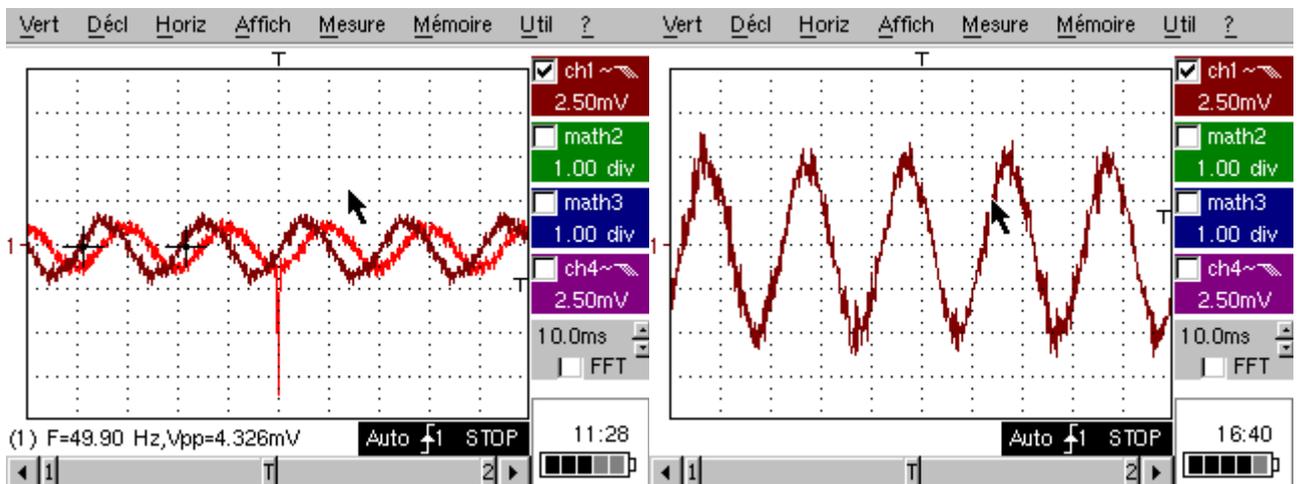


Illustration 13: Oscillogramme 3-3

Illustration 14: Oscillogramme 3-4

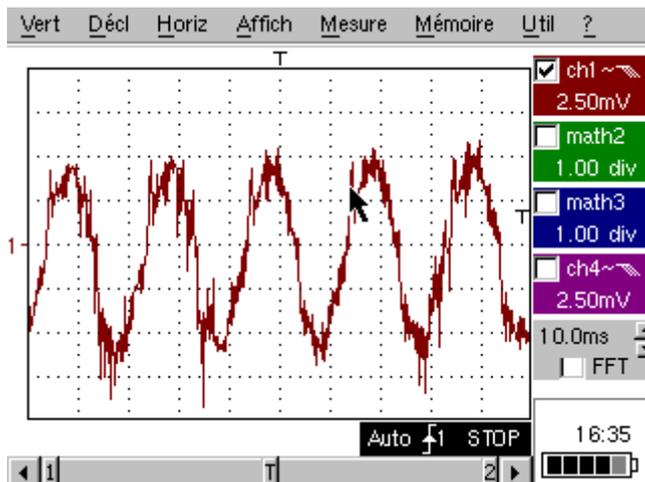


Illustration 15: Oscillogramme 3-5

Conclusions partielles

Suite à ces précédentes mesures, nous pouvons affirmer la présence d'un courant vagabond 50 Hz que l'on retrouve dans l'exploitation agricole. L'installation électrique de ce bâtiment n'est pas la cause de ce courant vagabond ainsi que l'installation électrique de l'habitation de l'exploitant. La source de ce courant vagabond est extérieure à l'exploitation. Cependant, les niveaux de tensions résultants de ce courant ne sont pas significatifs et sembleraient trop faible pour affecter la santé des animaux.

Tensions de contact.

Mesure des tensions de contact (carcasses des moteurs du distributeur non connectées au châssis du robot)

N°	Ddp entre	et entre	Forme d'onde	Fréq. ou période	Niveau Vpp (mV)	Commentaires	Mesure significatif
1	Sol bétonné aire d'attente	Châssis robot de traite	Oscillo 3-6	50Hz	5	- Robot de traite en veille - Moteurs du distributeur d'aliments hors tension	OUI cohérent avec mesure tension de pas
2	Sol bétonné aire d'attente	Châssis robot de traite	Oscillo 3-7	50Hz	5	- Robot de traite en veille - Moteurs du distributeur d'aliments en fonctionnement.	NON
3	Carcasse moteur du distributeur d'aliments	Châssis robot de traite	Oscillo 3-8	50Hz	5	- Montée en potentiel du châssis du robot/carcasse moteur - Moteur 1 en fonctionnement	NON
4	Carcasse moteur du distributeur	Châssis robot de traite.	Oscillo 3-9	50Hz	2,5	- Montée en potentiel du châssis du robot/carcasse moteur	NON

N°	Ddp entre	et entre	Forme d'onde	Fréq. ou période	Niveau Vpp (mV)	Commentaires	Mesure significatif
	d'aliments					- Moteur 2 en fonctionnement	
5	Carcasse moteur du distributeur d'aliments	Châssis robot de traite.	Oscillo 3-10	50Hz	5	- Moteur 1 et moteur 2 en fonctionnement - carcasses de ces moteurs non connectées au châssis du robot	

Oscillogrammes

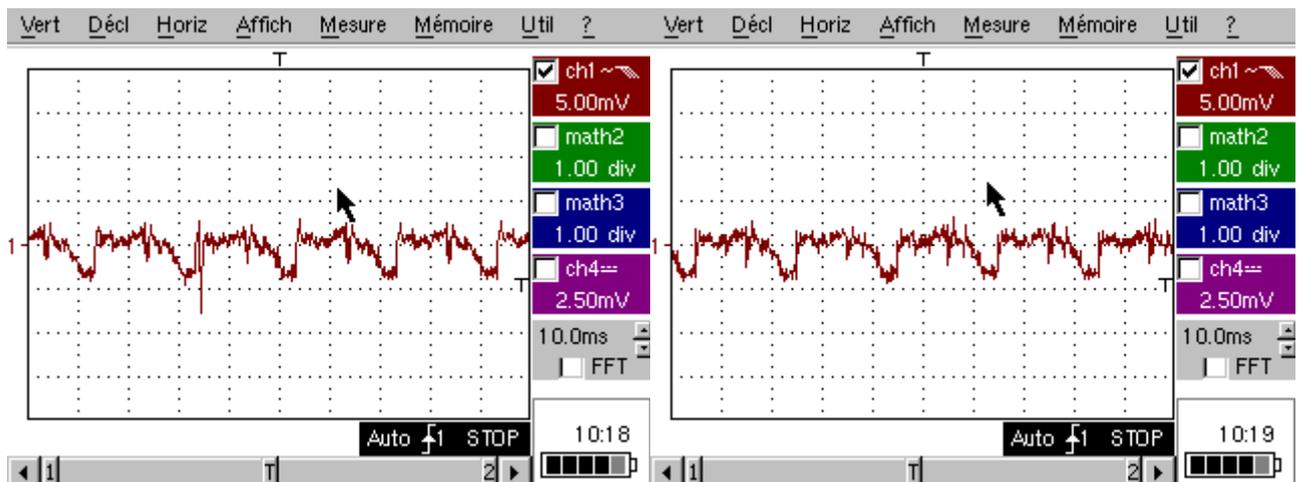


Illustration 16: Oscillogrammes 3-6

Illustration 17: Oscillogrammes 3-7

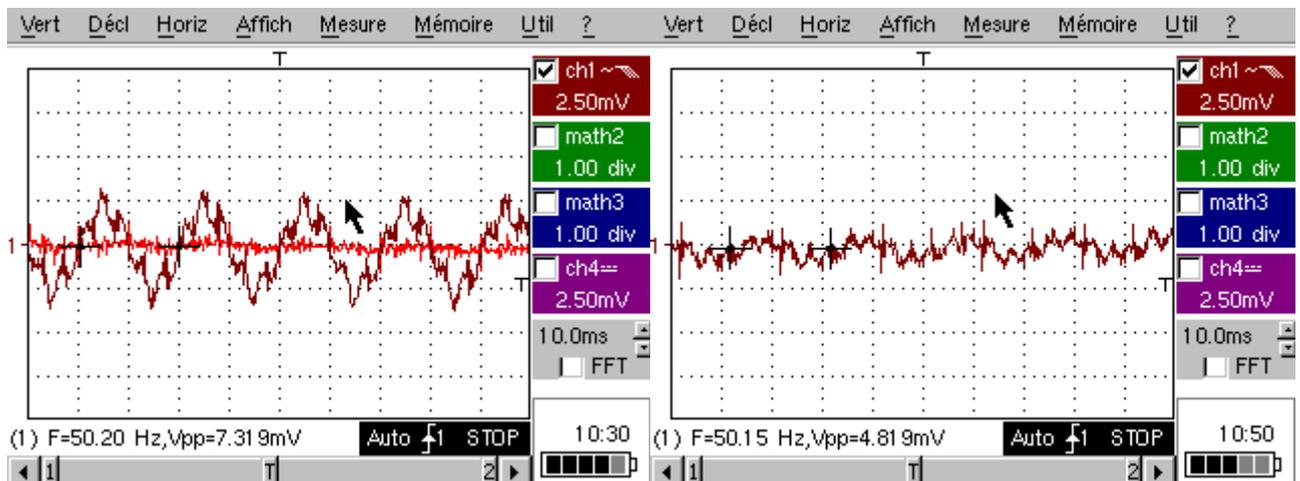


Illustration 18: Oscillogramme 3-8

Illustration 19: Oscillogramme 3-9

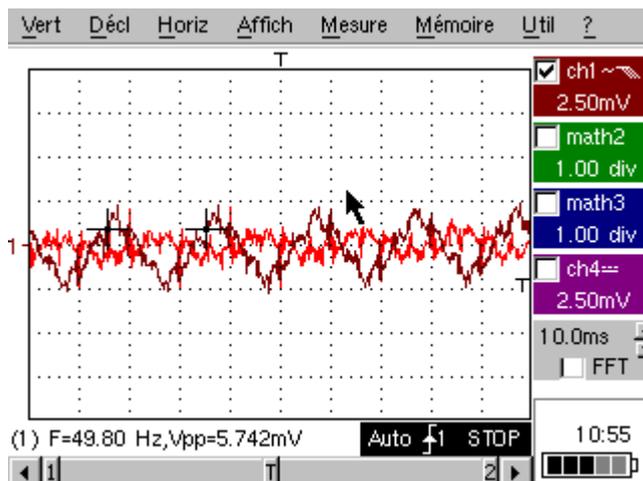


Illustration 20: Oscillogramme 3-10

Mesures des courants de fuite issus des moteurs du distributeur d'aliments



Illustration 21: Moteur du distributeur d'aliments

Matériels utilisés :

Oscilloscope OX 7042

Pince ampèremétrique Chauvin Arnoux B102 (Calibre 1V/A)

Appareillage électrique en fonctionnement ou sous-tension pendant la mesure :

Moteurs du distributeur d'aliments par intermittence suivant les essais

Mesure des courants de fuite (carcasses des moteurs du distributeur d'aliments connectées au châssis du robot)

(PE = Conducteur de protection)

N°	Courant sur	Forme d'onde	Fréq. ou période	Niveau mA max	Commentaires	Mesure significatif
1	Courant sur la liaison électrique provisoire moteur/châssis du robot	Oscillo 3-11	50Hz	20	- Moteur 1 en fonctionnement, moteur 2 hors tension - rouge clair : PE moteur ouvert - rouge foncé : PE moteur fermé	OUI
2	Courant sur la liaison électrique provisoire moteur/châssis	Oscillo 3-12	50Hz	10	- Moteur 2 en fonctionnement, moteur 1 hors tension	OUI

N°	Courant sur	Forme d'onde	Fréq. ou période	Niveau mA max	Commentaires	Mesure significatif
	du robot				- PE moteur fermé	
3	Courant sur la liaison électrique provisoire moteur/châssis métallique du robot	Oscillo 3-13	50Hz	20 (M1&M2)	- rouge clair : Moteur 1 et 2 en fonctionnement - rouge foncé : Moteur 2 en fonctionnement - PE moteur fermé	OUI
4	Courant sur la liaison électrique provisoire moteur/châssis métallique du robot	Aucun		0	Aucun courant mesuré Conducteur de protection PE des moteurs ouvert	OUI

Oscillogrammes

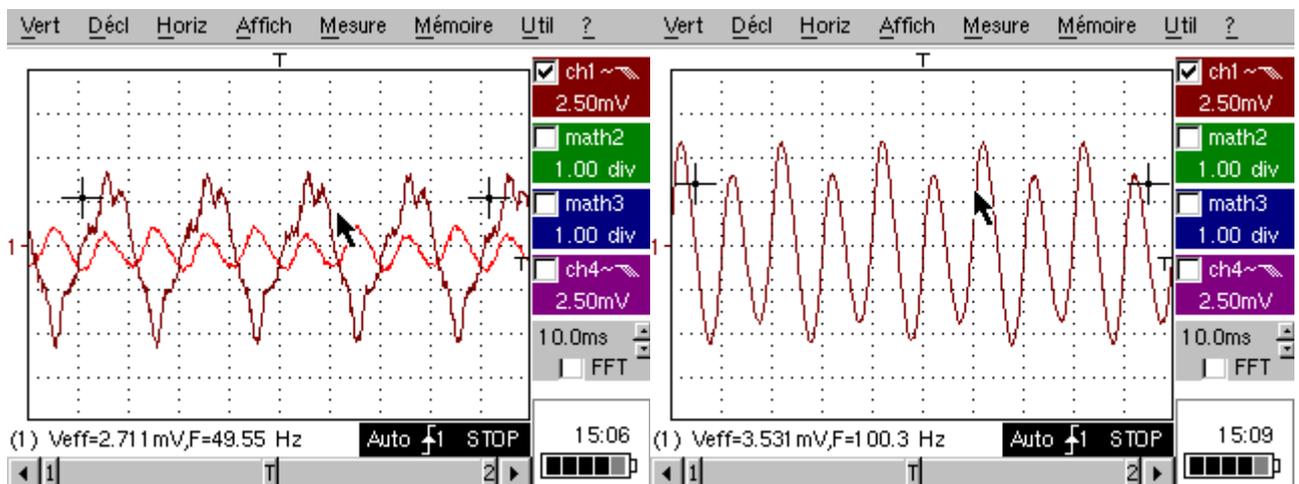


Illustration 22: Oscillogramme 3-11

Illustration 23: Oscillogramme 3-12

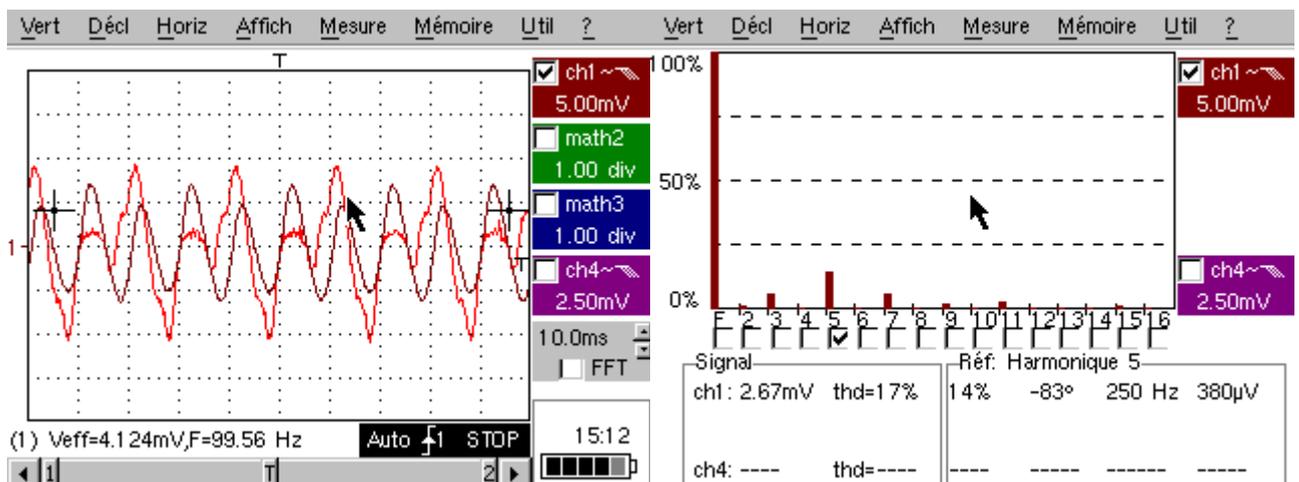


Illustration 24: Oscillogramme 3-13

Illustration 25: Analyse Harmonique moteur 2

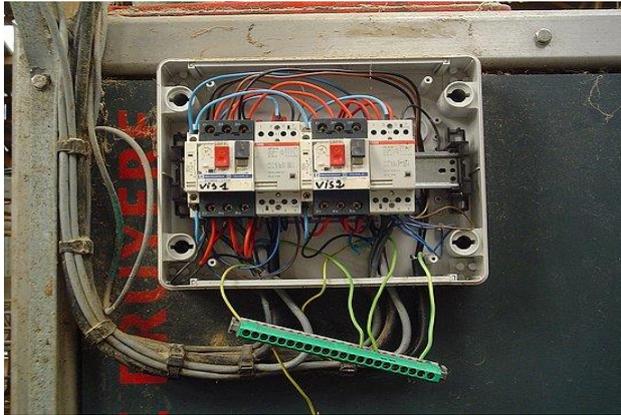


Illustration 26: Coffret électrique Moteur du distributeur d'aliments



Illustration 27: Câblette de terre (fait le raccord avec le point commun de terre du bâtiment)



Illustration 28: Point commun des conducteurs de protection et mise à la terre du bâtiment

Analyse des harmoniques des moteurs

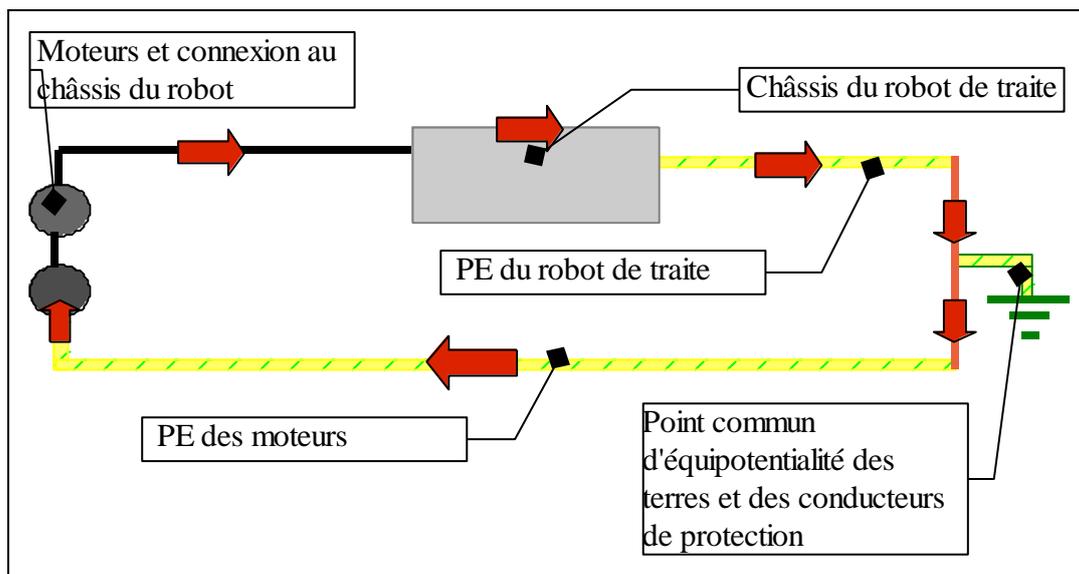
Suite à l'analyse harmonique des moteurs et sur l'illustration n°25, on peut observer des harmoniques de rang 3,5,7 pour le moteur 2 avec un rang 5 d'une valeur de 13% du fondamental (380 μ A) et pour le moteur 1, les mêmes harmoniques, avec pour le rang 5 une valeur de 33% du fondamental (1,36mA).

Conclusions partielles

Suite à ces mesures de courant de fuite sur la prétendue liaison à l'origine des anomalies électriques, nous observons que les moteurs du distributeur d'aliments ont un courant de fuite.

Effectivement la mesure du courant est égale en tout points : PE des moteurs, PE du robot, Câblote de liaison au point commun des terres, Interconnexion des moteurs au châssis du robot. Il semblerait que le courant ne quitte pas la boucle faiblement impédante (Moteur -> Carcasse moteur -> Liaisons châssis du robot -> PE du robot -> Câblote de terre -> Point commun d'équipotentialité des terres -> Câblote de terre -> PE des moteurs), nous notons aussi la non présence de ce courant si l'un des conducteur PE est ouvert (la boucle est ouverte). Nous observons de ce fait et de part la liaison des moteurs au châssis du robot que le réseau de terre joue mal son rôle dans ce cas, car il n'évacue pas le courant de fuite.

Schéma de parcours du courant de fuite des moteurs du distributeur d'aliments :



Sens de parcours du courant dans la boucle.

Actions >> Rechercher si le courant de fuite des moteurs crée une tension de pas/contact anormale et pouvant être l'origine des refus de traite des bovins :

Mesure des tensions de pas à l'entrée du robot (moteurs en fonctionnement)

Mesure des tensions de pas :

<i>N°</i>	<i>Ddp entre</i>	<i>et entre</i>	<i>Forme d'onde</i>	<i>Fréq. ou période</i>	<i>Niveau Vpp (mV)</i>	<i>Commentaires</i>	<i>Mesure significatif</i>
1	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 3-14	50Hz	<5	- Moteur 1 du distributeur d'aliments en fonctionnement - Carcasse des moteurs non connectées au châssis du robot	NON
2	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 3-15	50Hz	<5	- Moteur 2 du distributeur d'aliments en fonctionnement - Carcasse des moteurs non connectées au châssis du robot	NON
3	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 3-16	50Hz	<5	- Moteur 1 du distributeur d'aliments en fonctionnement - Carcasse des moteurs connectées au châssis du robot - courbe violette : courant du moteur 1 sur la liaison moteur/châssis robot - courbe rouge foncé : tension de pas avec moteur 1 en fonctionnement - courbe rouge clair : installation HT	NON
4	Quai métallique du robot de traite	Sol bétonné aire de traite	Oscillo 3-17	50Hz	<5	- Moteur 2 du distributeur d'aliments en fonctionnement - Carcasse des moteurs connectées au châssis du robot - courbe violette : courant du moteur 2 sur la liaison moteur/châssis robot - courbe rouge : tension de pas avec moteur 2 en fonctionnement	NON

Oscillogrammes

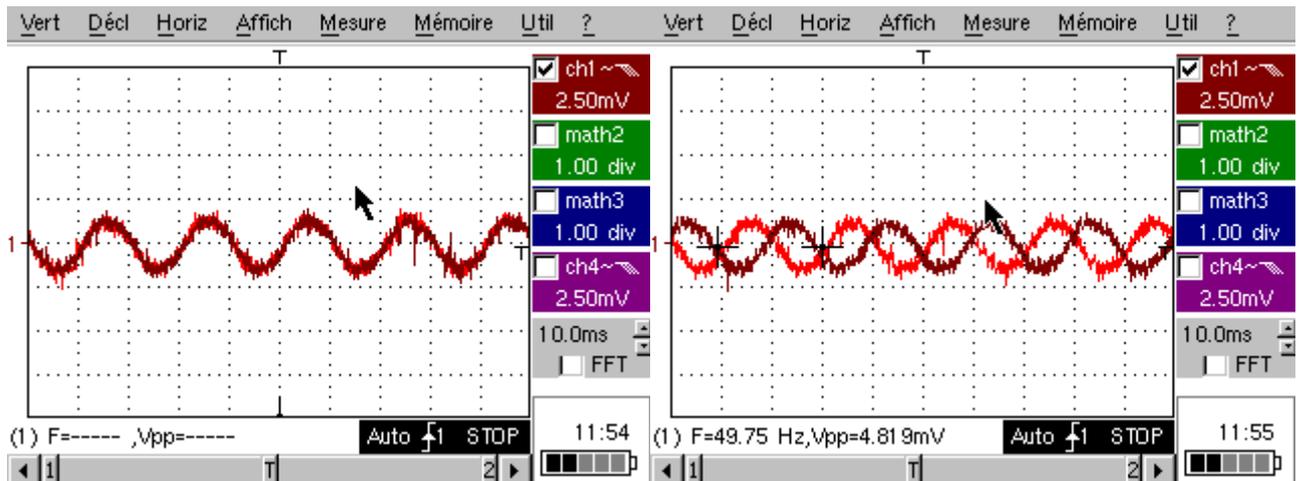


Illustration 29: Oscillogramme 3-14

Illustration 30: Oscillogramme 3-15

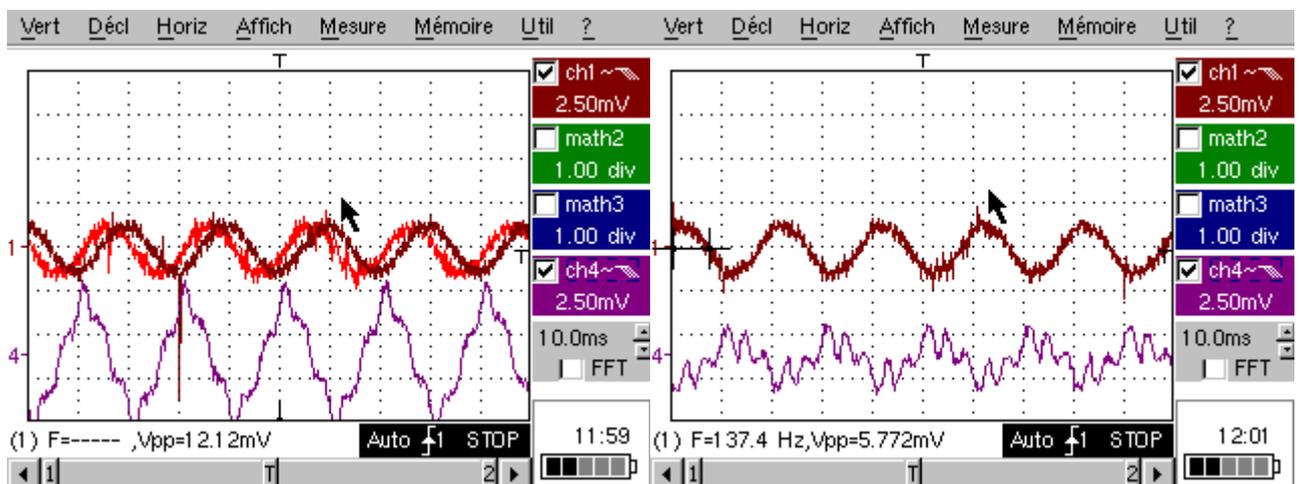


Illustration 31: Oscillogramme 3-16

Illustration 32: Oscillogramme 3-17

Analyse et commentaires :

Les mesures sont considérées comme significatives si les deux critères suivants sont vérifiés :

- la valeur de la tension crête-crête est au minimum 20 mV,
- la forme d'onde est visuellement reconnaissable.

Le fait que la mesure soit significative indique seulement qu'il existe une anomalie électrique qui a fait naître à l'intérieur de la zone de mesure des tensions parasites. L'identification de la source n'est pas réalisée lors de cette étape de détection d'anomalie. En conséquence, les niveaux mesurés dans cette phase ne peuvent pas qualifier l'éventuel stress électrique subi par les animaux.

Analyses << Suite à ces différentes mesures nous sommes en mesure d'affirmer plusieurs choses, d'une part la présence d'un courant vagabond (sinusoïdal 50Hz) qui ne provient pas de l'installation électrique de l'exploitation agricole, ni de l'habitation de l'exploitant. Courant

vagabond que l'on retrouve à l'extérieur du bâtiment, dans les logettes et à l'entrée du robot de traite.

D'autre part, nous avons observés un courant de fuite provenant des moteurs du distributeur d'aliments, courant qui circule dans une boucle et qui ne s'évacue pas par le conducteur de protection, puis la terre de l'exploitation comme il devrait le faire.

Nous pouvons conclure dans un second temps, que le courant de fuite des moteurs du distributeur d'aliment ne provoque pas de tension de pas à l'entrée du robot de traite. Par conséquent, les moteurs du distributeur sembleraient ne pas être à l'origine des problèmes.

Conclusions et proposition d'actions

On note lors des mesures du 24 avril 2007, dans la phase de détection, que l'on trouve un courant vagabond 50Hz inhérent à l'installation électrique du bâtiment agricole ainsi que l'habitation de l'exploitant. La tension provoquée par ce courant au niveau de l'entrée du robot pourraient être supprimée en réalisant une équipotentialité entre le quai métallique du robot et la dalle bétonnée de l'aire de traite. Cette équipotentialité peut être réalisée en interconnectant le quai métallique au ferrailage de la dalle bétonné si ce ferrailage existe. L'expertise menée le 24 avril ne peut confirmer la présence d'un ferrailage dans la dalle.

L'expertise conclue sur la présence d'un courant de fuite faible mais anormal sur le conducteur de protection aux moteurs du distributeur d'aliments et que la connexion des fixations des moteurs au châssis du robot de traite n'a aucune influence électrique, et l'on ne retrouve pas ce courant de fuite à l'entrée du robot de traite (courant circulant dans une boucle faiblement impédante).

Les actions pouvant être engagées sont :

- la mesure des courants de fuite sur les installations BT au voisinage et des courants dérivés aux mises à la terre du neutre du réseau de distribution BT pour identifier la source du courant vagabond 50 Hz extérieur,
- le suivi long terme de la tension de pas à l'entrée du robot de traite par un enregistreur.
- la vérification de la présence d'un ferrailage dans la dalle bétonné qui se trouve sous le robot de traite et auquel cas régler les problèmes d'équipotentialité.

ANNEXE n°6

Les selfs sur tore ferrite

1 - Les ferrites :

Le ferrite constitue avec la poudre de fer agglomérée le matériau qui permet de réaliser une grande variété de composants magnétiques utilisés en électronique et en radio (circuits sélectifs, filtrage, antiparasitage...). Le ferrite est une céramique obtenue à partir d'oxydes de fer auxquels s'ajoutent des oxydes ou carbonates de nickel, zinc, magnésium, cuivre, manganèse... moulés sous différentes formes (tube, tore, perle...) sous une très forte pression puis portés à très haute température (plus de 1000 degrés). L'objet obtenu est très dur, fragile comme du verre et peut être usiné avec une bonne précision. La densité du ferrite est d'environ 4,5 à 5. Sa couleur va du gris au noir. Ces matériaux sont aussi appelés "ferrites doux" parce qu'ils se laissent aimanter facilement. Leur perméabilité magnétique est une de leurs caractéristiques les plus importantes qui varie dans de grandes proportions sous l'influence de la température, de l'induction... La *perméabilité initiale* (μ_i) donnée dans les catalogues est celle qui est mesurable à un très faible niveau d'induction ($B=10$ gauss = 1 milli tesla), à une fréquence de 10kHz et à une température de 25°C. La valeur fournie est généralement affectée d'une tolérance de + ou - 20%. En pratique cette perméabilité initiale n'est qu'un élément de comparaison des tores, la perméabilité dans la gamme de fréquences d'utilisation est la seule intéressante. Elle dépend de nombreux facteurs (température, induction...). Le point de Curie, température à laquelle les propriétés magnétiques du matériau se détériorent fortement, est beaucoup plus basse que celle du fer. Il se situe entre 100 et 500°C. Les pertes (en W/cm³) augmentent fortement avec la fréquence et l'induction. Elles dépendent aussi étroitement du matériau utilisé. Bien qu'il soit possible de réaliser avec les éléments chimiques cités plus haut une infinité de nuances de ferrite, on ne rencontre généralement que deux types de ferrites convenant bien aux applications HF. Il s'agit des ferrites Zinc Manganèse (MnZn) et Zinc Nickel (NiZn).

2 - Réaliser des selfs sur tore ferrites :

Afin de réaliser les selfs de la valeur souhaitée :

- Choisir le matériau ferromagnétique en fonction de la bande de fréquence dans laquelle on veut travailler.
- Utiliser la formule suivante : $(\text{Nombre de tours}/100)^2 = L (\mu\text{H}) / A_L (\mu\text{H}/100 \text{ tours})$
- Bien vérifier la valeur de l' A_L du matériau, certains tores utilisent une conversion différente dans ce cas utiliser la formule jointe au tore vendu.
- Utiliser la section du fil désiré.

3 – Quelques exemples :

Mat. : 3E25
Al = 3820nH
Nbr trs : 10
Section 1.5mm²



Mat. : T200-1
Al = 250uH
Nbr trs : 31
Section 1.5mm²

ANNEXE n°7

RESISTANCE ELECTRIQUE D'UNE VACHE

Parcours du courant	Impédance (Ω)
Bouche – Pieds	361
Bouche – Trayons	433
Bouche – Pieds arrières	475
Trayons – Tous les pieds	594
Bouche – Pieds avant	624
Trayons – Pieds arrière	710
Pieds avant – Pieds arrière	734
Trayons – Pieds avant	874
Corps – Pattes	1K

Ref : Sébastien Sahuguède.

ANNEXE n°8

Spécifications des matériels de mesure utilisés

Oscilloscope Tektronix 3032B

	TDS3032B
Bandwidth	300 MHz
Channels	2
Sample rate on each channel	2.5 GS/s
Maximum record length	10 K points on all models
Vertical resolution	9 Bits on all models
Vertical sensitivity (/div)	1 mV – 10 V on all models
Vertical accuracy	±2% on all models
Max input voltage (1 M Ω)	150 V _{RMS} CAT I on all models (300 V CAT II with standard 10X probe)
Position range	± 5 div on all models
BW limit	20, 150 MHz
Input coupling	AC, DC, GND on all models
Input impedance selections	1 M Ω in parallel with 13 pF or 50 Ω on all models
Time base Range	2 ns – 10 s/div
Time base Accuracy	20 ppm on all models
Display (VGA)	Color active matrix LCD on all models

Oscilloscope Métrix OX 7042



OX 7042 - C/M

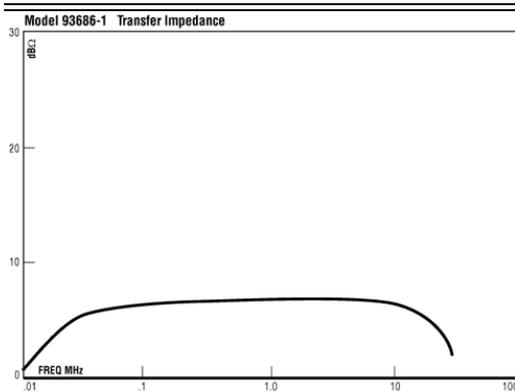
Bande passante :	40 MHz
Voies :	2 isolées
	16 calibres de 2,5 mV à 200 V / div
	Système "One Click Winzoom"
Base de temps	35 calibres de 1 ns / div à 200 s / div
	Mode Roll de 100 ms à 200 s / div
Echantillonnage/Voie	12 bits - 25 Ge / s en ETS - 1 Ge / s en monocoup
	2500 points par voies
	- Capacité mémoire > 100 courbes
Multimètre	8000 points + bargraphe min / max - TRMS

Sonde Ampèremétrique ETS LINDGREN 93686-1

Electrical Specifications



Frequency Minimum	10 kHz
Frequency Maximum	30 MHz
Load Impedance	50 +/- j0
Maximum Primary Current Amps	400 Hz: 350 DC-60 Hz: 350 Pulse: 200 RF(CW) : 200



Transfer Impedance	2 Ω
---------------------------	------------

Pince ampèremétrique LEM PR30

Spécifications techniques

Courant nominal:	20 A _{RMS}
Gamme de mesure:	0 à ± 30 A
Précision (à 25°C):	$\pm 1\%$ soit ± 2 mA
Résolution:	± 1 mA
Coefficient de température:	$\pm 0,05\%/^{\circ}\text{C}$
Sensibilité de sortie:	100 mV/A
Gamme de fréquence:	0 à 100 kHz
Temps de réponse:	$< 1 \mu\text{s di/dt: } < 20 \text{ A}/\mu\text{s}$
Impédance d'entrée:	$> 1 \text{ k}\Omega$
Alimentation:	9 V type PP3
Autonomie:	30 heures
Dimensions (mm):	183 x 54 x 25
Poids:	250 g
Température d'utilisation:	0°C à +50°C

