

Licence Professionnelle **G**estion de la **P**roduction **I**ndustrielle

Option Instrumentation et essais des systèmes industriels et embarqués

RAPPORT DE STAGE

Sujet :

**Etude de la propagation des courants dans le sol et
amélioration de l'équipotentialité des sites agricoles**

Réalisé par Guillaume DUBOIS

Du 19 mars au 6 juillet 2007

CISTEME

Tuteur : Sébastien SAHUGUEDE
ESTER Technopole - B.P. 6913
87 069 Limoges Cedex
Tél : 05 55 42 60 50
Fax : 05 55 42 60 55

IUT (Mesures Physiques)

Tuteur : Bruno BEILLARD
Allée André MAUROIS
87065 Limoges cedex
Tél : 05 55 43 43 55

Date de la soutenance : 3 juillet 2007

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier l'association CISTEME en particulier **Monsieur le Professeur Bernard JECKO** son responsable scientifique pour m'avoir accueilli afin de réaliser mon stage dans le cadre de ma licence professionnelle.

Je remercie mon maître de stage **Monsieur Sébastien Sahuguède**, pour son encadrement, ses conseils, et la confiance qu'il m'a accordée.

Je remercie aussi **Monsieur Bruno Beillard**, ainsi que **Monsieur Julien Fougeyrollas** pour l'aide et les informations qu'ils m'ont m'apportées.

J'exprime enfin mes sincères remerciements et salutations à tout le personnel de l'association CISTEME qui m'a permis d'approfondir mes connaissances techniques et de me familiariser avec le monde du travail.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
SOMMAIRE	3
LISTE DES FIGURES	4
INTRODUCTION	5
RAPPELS et OBJECTIFS	6
1. Présentation de la société CISTEME.....	7
2. Amélioration de l'équipotentialité des sites agricoles	9
2.1 Immunisation des entrées et sorties des bâtiments	9
2.1.1 Rappels	9
2.1.2 Utilisation d'un plan incliné à 45°	9
a) Méthode.....	9
b) Résultats de la simulation sous Capeline	9
c) Résultats expérimentaux et conclusion	11
2.1.3 Utilisation de drains métalliques	12
a) Méthode.....	12
b) Résultats de la simulation sous Capeline	12
c) Résultats expérimentaux et conclusion	14
2.2 Réduction des différences de potentiel à l'intérieur des bâtiments.....	14
2.2.1 Rappels	14
2.2.2 Rainurage	15
a) Méthode.....	15
b) Résultats expérimentaux et conclusion	16
3. Immunisation des sols autour des bâtiments agricoles	17
3.1 Etude de l'influence de la profondeur d'une boucle en fond de fouille.....	17
3.1.1 Introduction	17
3.1.2 Simulation de l'influence de la profondeur d'une boucle en fond de fouille.....	17
3.1.3 Résultats expérimentaux et conclusion	18
3.2 Remplacement de la boucle en fond de fouille par des piquets métalliques.....	19
3.3 Comparaison boucle en fond de fouille et piquets métalliques	19
4. Etude de cas : mise en place de solutions multiples	20
4.1 Méthode	20
4.2 Résultats expérimentaux et conclusion	21
5. Etude de la propagation des courants	23
5.1 Changement du mode d'injection des courants	23
5.2 Etude de faisabilité d'une maquette mesurant l'effet des zones à conductivité variable sur la propagation des courants dans le sol	23
5.2.1 Introduction	23
5.2.2 Objectif technique de la maquette	23
5.2.3 Présentation de la maquette pour la création de zone humide conductrice.....	24
5.2.3 Résultats expérimentaux et conclusion	24
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	27
LISTE DES ANNEXES	30
Prise de terre et équipotentialité	3

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photographie du banc d'essais	6
Figure 2 : Photographie aérienne de la technopole	7
Figure 3 : Organigramme	7
Figure 4 et 5 : Schéma et photographie du plan incliné	9
Figure 6 : Face avant du logiciel Capeline	10
Figure 7 : Résultats de la simulation sous Capeline	11
Figure 8 : Résultats expérimentaux du plan incliné	11
Figure 9 : Résultats expérimentaux du plan incliné	12
Figure 10 : Face avant du logiciel Capeline	13
Figure 11 : Face avant du logiciel Capeline	13
Figure 12 : Résultats expérimentaux des drains métalliques	14
Figure 13 : Photographie du rainurage de deux dalles bétonnées	15
Figure 14 : Schéma d'implantation des éléments	15
Figure 15 : Résultats expérimentaux du rainurage	16
Figure 16 : Simulation de l'influence de la profondeur des boucles en fond de fouille	17
Figure 17 : Simulation de l'influence d'une boucle en fond de fouille	18
Figure 18 : Influence de la profondeur d'une boucle en fond de fouille	18
Figure 19 : Comparaison boucle en fond de fouille et piquets métalliques	19
Figure 20 : Schéma d'implantation des éléments	20
Figure 21 : Résultats expérimentaux de la mise en place de solutions multiples	21
Figure 22 : Effet des solutions mises en place	21
Figure 23 : Schéma de la maquette pour la création de zone humide et zone conductrice	24
Figure 24 : Répartition des zones humides	24
Figure 25 : Cartographie des tensions de pas sur le sable sec	25
Figure 26 : Cartographie des tensions de pas sur le sable avec des zones humides	25
Figure 27 : Répartition des niveaux des tensions de pas	26
Figure 28 : Coupe transversale des tensions de pas	26
Figure 29 : Effet des courants sur la production laitière	31
Figure 30 : Cartographie des courants avec injection à l'aide d'un câble	33
Figure 31 : Cartographie des courants avec injection à l'aide d'un câble	34
Figure 32 : Cartographie des courants avec injection à l'aide de piquets	35
Figure 33 : Cartographie des courants avec injection à l'aide d'un câble	35
Figure 34 : Schéma de câblage pour la mesure de résistivité	37

INTRODUCTION

Au cours de notre licence professionnelle, nous sommes amenés à effectuer un stage dans le but de nous familiariser avec le monde du travail et de mettre en pratique les différents enseignements reçus. Lors de ce stage, nous réalisons un projet, où nous devons mettre en œuvre une démarche rigoureuse et structurée répondant à un problème posé.

Mon choix s'est porté sur l'association CISTEME située à Ester Technopôle à Limoges pour une durée de quatre mois. CISTEME travaille en collaboration avec RTE Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité afin d'améliorer :

- le protocole de diagnostic électrique dans les exploitations agricoles du Groupement Permanent de la Sécurité Electrique (GPSE)
- les connaissances scientifiques pour essayer d'expliquer certaines pathologies encore inexpliquées sur des animaux chez lesquels une influence de phénomènes électriques comme les courants vagabonds est suspectée. Ces pathologies se traduisent par :
 - des périodes intermittentes de faibles performances laitières
 - traite incomplète, fluctuante voire lactation supprimée
 - comportement anormal durant la traite
 - refus de la nourriture ou de l'eau

Que sont les courants vagabonds ?

L'expression « courants vagabonds » se réfère à des courants électriques, souvent faibles, qui peuvent circuler dans une habitation ou dans une étable et sont détectables sur des objets métalliques fixés au mur, au sol ou simplement déposés sur le sol. Ces courants sont en général alternatifs, de la fréquence du réseau (50 Hz).

Ces courants, lorsqu'ils atteignent un niveau suffisant, 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.

Dans les conditions habituelles d'élevages, la résistance électrique des animaux (500 Ω) est généralement plus faible que celle de l'homme (1500 Ω). En effet, l'animal est maintenu sur un sol humide (conducteur du courant), alors que l'homme dans les mêmes conditions est muni de bottes en caoutchouc ou de chaussures à semelles isolantes. Il est donc parfaitement isolé du sol. La vache peut alors être affectée par des courants très faibles que l'éleveur ne percevrait même pas.

Il est généralement admis que pour les vaches, le seuil d'inconfort apparait aux environs de **1 Volt** en courant alternatif 50 Hz comme le montre **l'annexe 1**.

RAPPELS et OBJECTIFS

Afin de définir le chemin que parcourt les courants et de réduire les différences de potentiels qu'ils engendrent, nous modélisons des parties d'installations agricoles sous forme de maquette. Nous testons ensuite différentes solutions afin de réduire voire annuler ces différences de potentiels, nous permettant d'améliorer l'équipotentialité. Cette maquette est constituée d'un bac rempli de sable comme le montre la **Figure 1** et parcourue par un courant connu.

Les mesures qui sont effectuées sont en générale des différences de potentiels réalisées entre deux parties de l'installation que peut toucher un animal simultanément.



Figure 1 : Photographie du banc d'essais

Lors du projet nous avons étudié la propagation des courants dans le sol et entrevu quelques solutions pouvant réduire les tensions de pas parasites créent par ces courants. Nous allons maintenant approfondir les connaissances sur la propagation des courants dans le sol suivant sa nature. Nous verrons également de nouvelles solutions visant à améliorer l'équipotentialité des sites agricoles. Lors de ce stage nous verrons également une approche simulation pour confirmer les mesures expérimentales et voir si les solutions d'immunisation envisagées peuvent être appliquées sur une exploitation.

Le présent rapport synthétise le travail ayant permis d'établir :

- les chemins des courants se propageant dans le sol,
- une proposition de solutions visant à réduire les niveaux de tension ou de courant mesurés qui peuvent être à l'origine de problèmes rencontrés dans les fermes,
- une approche par des simulations afin de voir si les solutions utilisées dans le banc d'essais sont applicables sur une exploitation.

1. Présentation de la société CISTEME

Mon stage s'est déroulé au sein de l'association CISTEME (Centre d'Ingénierie des Systèmes en Télécommunication, Electromagnétisme et Electronique). Cette association a été fondée en 1995 par M. le professeur Bernard JECKO. CISTEME est basée sur le parc d'Ester Technopole cf. **Figure 2**



Figure 2 : Photographie aérienne de la technopole

Afin de mieux situer l'association CISTEME voici un organigramme **Figure 3**

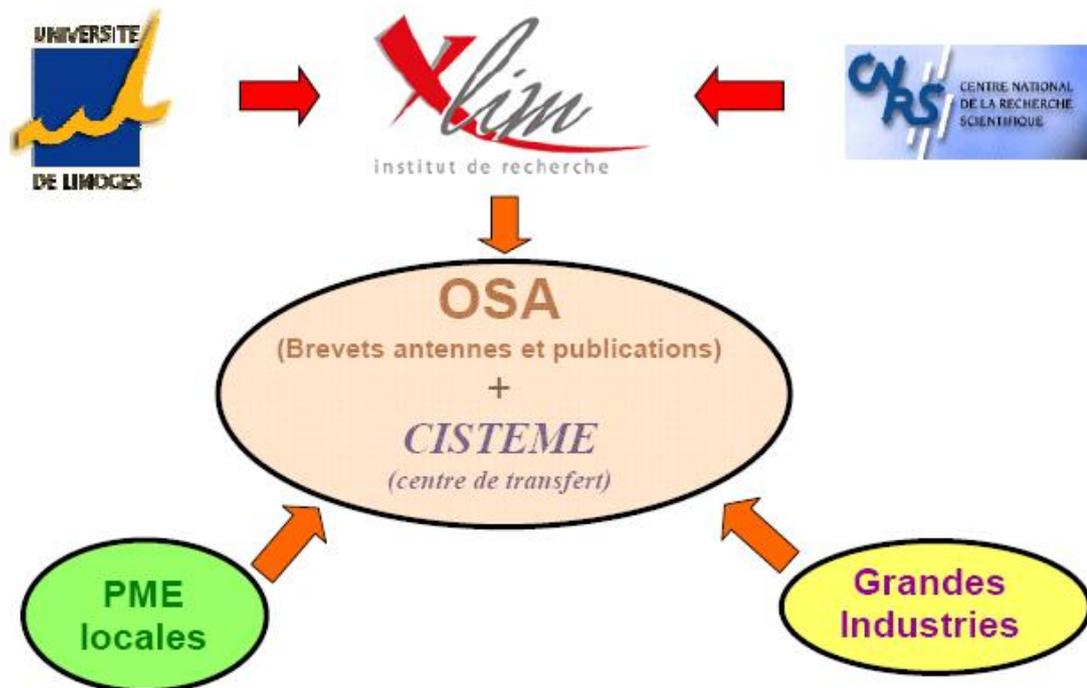


Figure 3 : Organigramme

Dans un cadre et des locaux favorisant le travail et la recherche CISTEME se situe au carrefour des technologies et profite à la fois des moyens techniques et des résultats de la recherche de l'université et du CNRS. Son but est de créer et de promouvoir des solutions pour les entreprises issues des découvertes des laboratoires de recherche de XLIM qui est une Unité Mixte de Recherche (UMR) du CNRS. Cette unité de recherche regroupe plusieurs départements issus de l'université de Limoges.

Le département OSA (Ondes et Systèmes Associés) est chargé, au sein de XLIM, de la recherche dans le domaine des ondes et de la santé, de la compatibilité électromagnétique, des antennes, des radars et des réseaux sans fils. Son responsable est également M. le professeur Bernard JECKO.

CISTEME travaille actuellement en collaboration avec RTE Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité.

2. Amélioration de l'équipotentialité des sites agricoles

2.1 Immunisation des entrées et sorties des bâtiments

2.1.1 Rappels

Lors du projet, nous avons mis en évidence la présence d'une tension de pas importante qui peut entraîner une gêne sur les animaux lorsqu'ils entrent ou sortent d'un bâtiment agricole. Cette tension importante est due à un changement de résistivité entre deux milieux différents (voir **Annexe 2**). Nous avons vu que plusieurs dispositifs pouvaient réduire cette importante différence de potentiel, notamment l'utilisation d'une ou plusieurs boucles en fond de fouille ceinturant le site à protéger. Les boucles en fond de fouille superposées peuvent aussi être remplacées par un grillage.

Dans cette partie nous allons voir d'autres solutions mises en place pour protéger les entrées et sorties des bâtiments agricoles.

2.1.2 Utilisation d'un plan incliné à 45°

a) Méthode

Une des solutions pour remédier au problème des fortes différences de potentiel liée au changement de milieu, est d'enterrer un plan incliné (grillage métallique) à 45° par rapport à la surface du sol comme le montre la **Figure 4 et 5**. Le plan incliné devra être relié électriquement à la dalle (dans le cas d'une dalle ferraillée, le plan incliné devra être relié au ferrailage de la dalle). La figure ci-dessous montre l'utilisation du plan incliné.

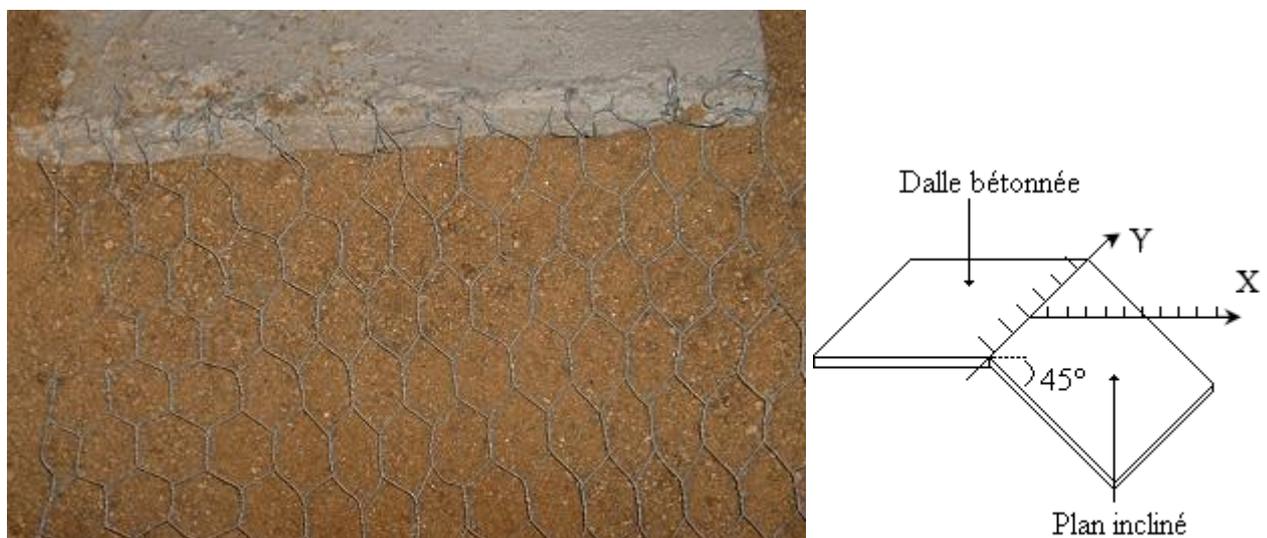


Figure 4 et 5 : Schéma et photographie du plan incliné

b) Résultats de la simulation sous Capeline

Avant de réaliser l'expérience sur le banc d'essais, cette solution a été simulée à l'aide du logiciel Capeline comme le montre la **Figure 6**.

Capeline est un programme de simulation de la propagation des courants dans le sol. Ce logiciel est un peu âgé et par conséquent nous sommes un peu limités pour les simulations. Seul des éléments simples comme des piquets métalliques, une boucle en fond de fouille, un drain métallique ou encore un plan incliné peuvent être représentés grâce à ce logiciel. Ainsi nous ne pourrions pas simuler les essais faisant intervenir l'utilisation d'une dalle bétonnée. De plus l'injection du courant contrairement au banc d'essais ne se fera que par l'intermédiaire d'un seul piquet ce qui ne nous permettra que d'obtenir la simulation que de la moitié de notre banc d'essais. L'intérêt de ce logiciel est qu'il pourra nous fournir des indications sur l'efficacité des solutions à une échelle plus importante (rapport X10 afin de se rapporter au plus de la réalité).

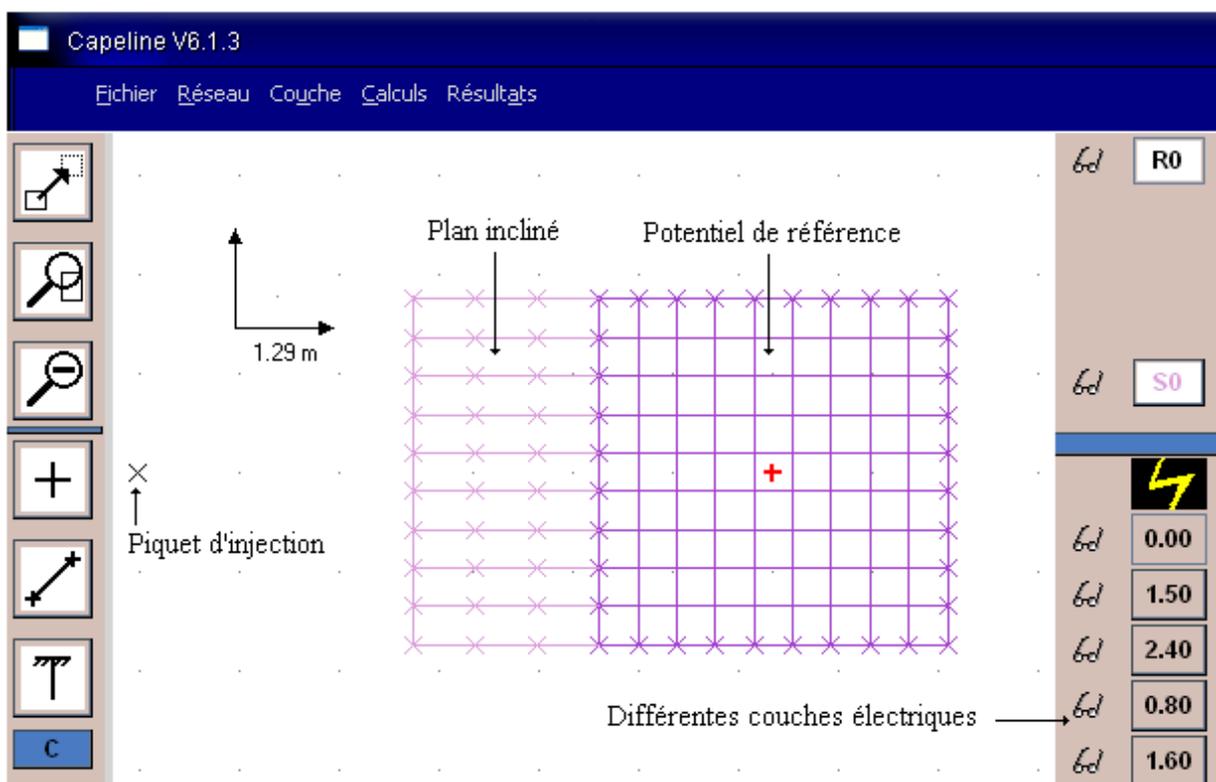


Figure 6 : Face avant du logiciel Capeline

Le logiciel Capeline permet d'obtenir différents résultats, soit le potentiel en un point soit directement une tension de pas. Nous opterons pour le potentiel en un point afin de traiter les résultats avec Excel pour une meilleure interprétation. En faisant la soustraction de deux potentiels en un point, nous pourrions remonter à la tension de pas.

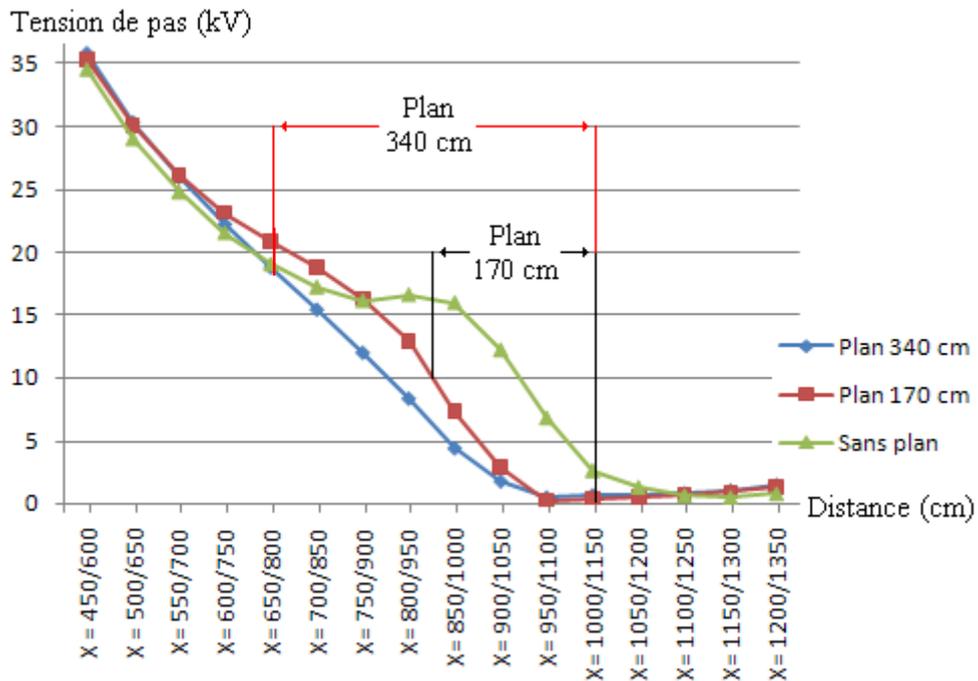


Figure 7 : Résultats de la simulation sous Capeline

On constate sur la **Figure 7** que le plan incliné diminue les tensions de pas au niveau de la transition entre le sol et le potentiel de référence. La grandeur du plan incliné influe sur la diminution des tensions de pas au niveau de la transition entre le sol et le potentiel de référence.

c) Résultats expérimentaux et conclusion

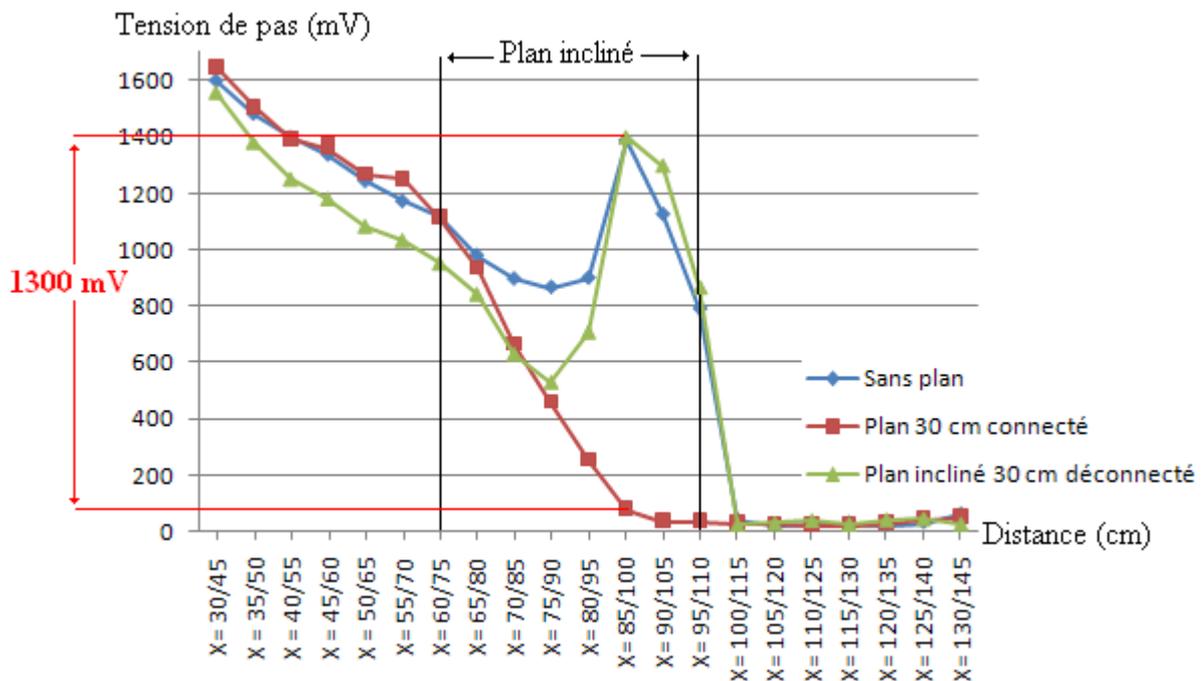


Figure 8 : Résultats expérimentaux du plan incliné

On constate sur la **Figure 8** que la tension de pas au niveau de la transition entre le sable et la dalle qui correspondrait à une entrée ou à une sortie de bâtiment est diminuée de 93 %. Le plan incliné semble être une bonne solution pour réduire la forte tension de pas au niveau des entrées et sorties des bâtiments. Nous voyons aussi sur les courbes ci-dessus qu'il est impératif de relier électriquement le plan incliné à la dalle bétonnée afin qu'il ait une efficacité.

2.1.3 Utilisation de drains métalliques

a) Méthode

Nous allons maintenant changer le plan incliné par l'implantation de drains métalliques interconnectés au ferrailage de la dalle. Nous allons utiliser 5 tiges métalliques de 40 cm de longueur. Lors des essais nous regarderons l'influence de la profondeur et de l'angle entre les drains métalliques sur l'éventuelle diminution de la forte ddp au niveau des entrée et sorties des bâtiments. La **Figure 9** montre l'implantation des drains métalliques.

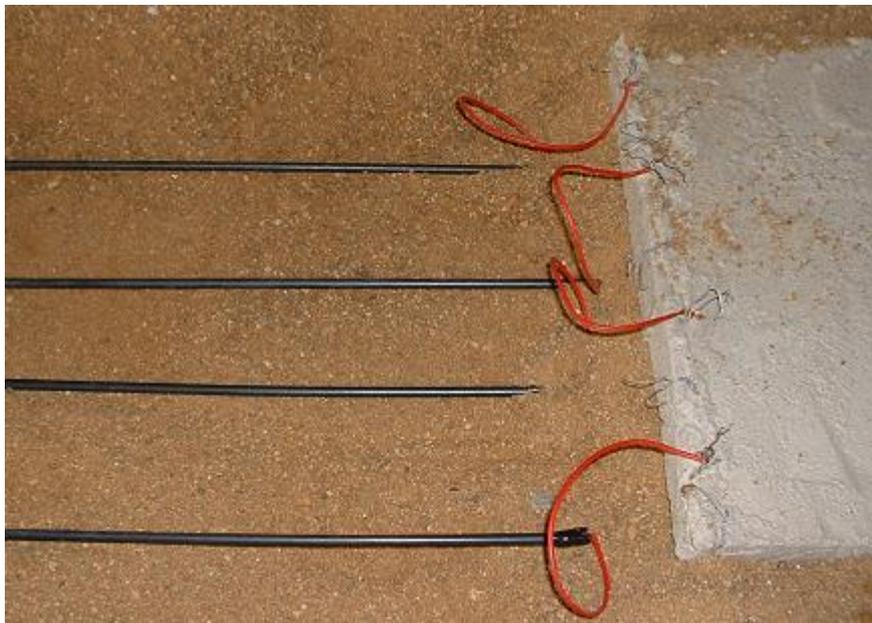


Figure 9 : Résultats expérimentaux du plan incliné

b) Résultats de la simulation sous Capeline

On réalise à nouveau la simulation de l'essai à l'aide du logiciel capeline. Le rapport d'échelle entre les essais en simulation et le bac est de 10. La **Figure 10** nous montre la face avant du logiciel Capeline.

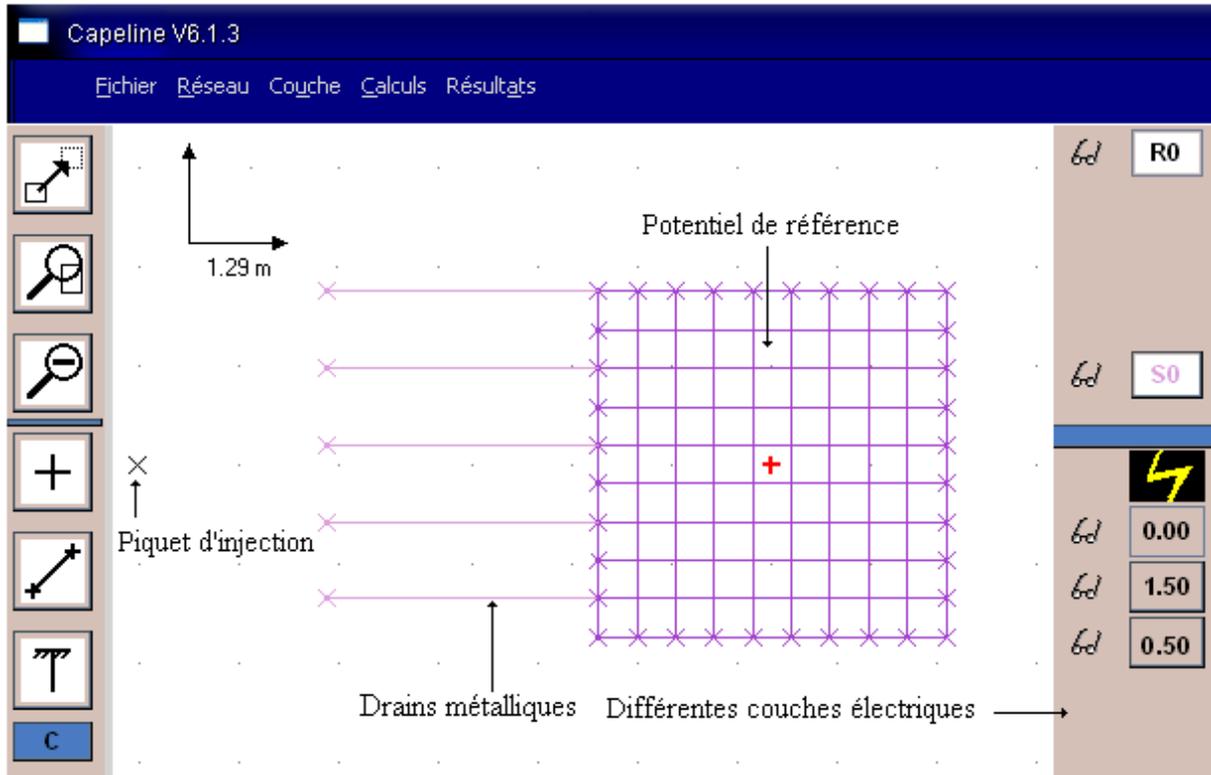


Figure 10 : Face avant du logiciel Capeline

La **Figure 11** montre les essais de simulation qui ont été réalisés (simulation avec drains et simulation sans drains).

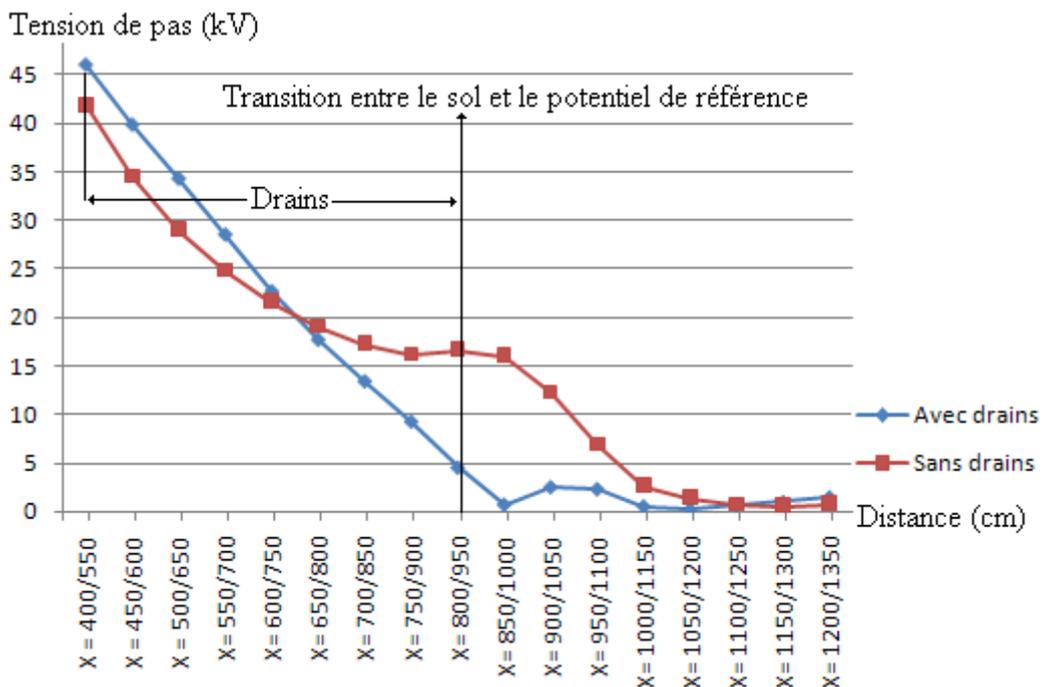


Figure 11 : Face avant du logiciel Capeline

Nous pouvons constater qu'en présence de drains métalliques, les tensions de pas ont diminuées au niveau de la transition entre le sol et le potentiel de référence. Au cours de la simulation nous avons fait varier l'angle entre les drains métalliques. Aucune influence sur les tensions de pas n'a été remarquée.

c) Résultats expérimentaux et conclusion

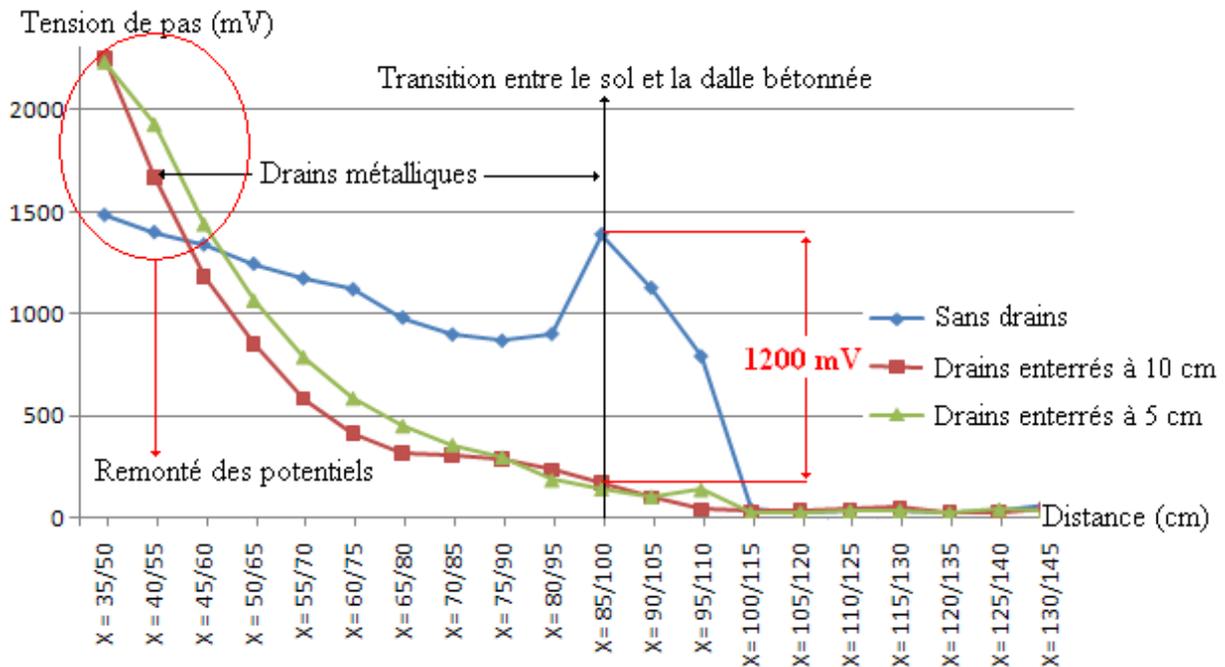


Figure 12 : Résultats expérimentaux des drains métalliques

On constate sur la **Figure 12** que la tension de pas au niveau de la transition entre le sable et la dalle qui correspondrait à une entrée ou à une sortie de bâtiment est diminuée de (90 %). Les drains métalliques semblent être une autre solution pour réduire la forte tension de pas au niveau des entrées et sorties des bâtiments. Comme pour le plan incliné, il est impératif de relier électriquement les drains métalliques à la dalle pour que cette solution soit efficace. L'inconvénient de cette méthode contrairement au plan incliné est que l'on observe une remonté des potentiels à l'endroit où les drains métalliques s'arrêtent.

2.2 Réduction des différences de potentiel à l'intérieur des bâtiments

2.2.1 Rappels

Lors du projet, nous avons mis en évidence la présence d'une forte différence de potentiel au niveau des transitions entre deux dalles bétonnées distinctes. Cette forte ddp est due à un mauvais contact entre les dalles qui implique une forte résistance de contact. Nous avons vu que plusieurs dispositifs pouvaient réduire cette importante différence de potentiel, notamment l'utilisation d'une ou plusieurs boucles en fond de fouille ou encore d'un grillage ceinturant le site à protéger.

Dans cette partie nous allons voir d'autres solutions mises en place pour supprimer les différences de potentiel au niveau de la transition entre deux dalles ou liées à une discontinuité d'une dalle (fissure).

2.2.2 Rainurage

a) Méthode

La cause de cette forte différence de potentiel est la mauvaise résistance de contact qu'il peut y avoir entre deux dalles bétonnées. L'une des solutions pour réduire cette résistance de contact est de lier électriquement les dalles bétonnées. Cette opération consiste à réaliser des rainures dans les deux dalles bétonnées afin d'insérer des tiges métalliques qui serviront à les relier électriquement. Il faudra ensuite reboucher les rainures comme le montre la Figure 13.

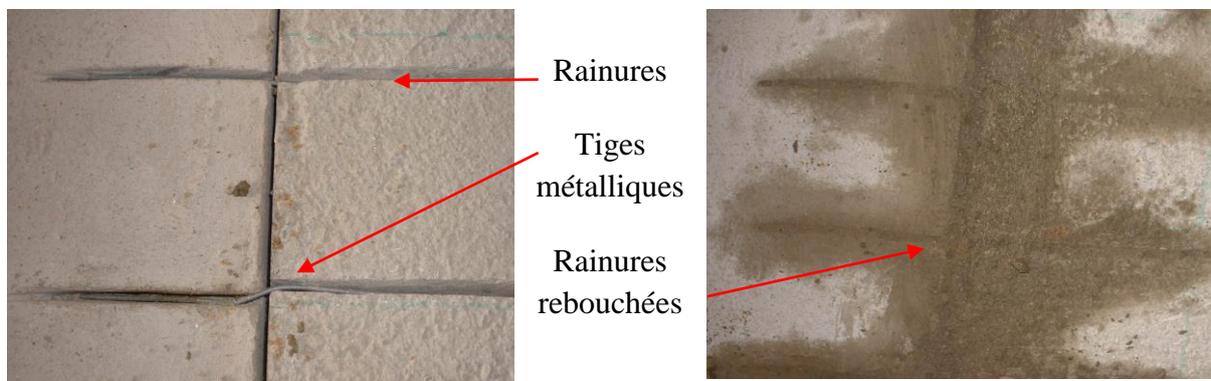


Figure 13 : Photographie du rainurage de deux dalles bétonnées

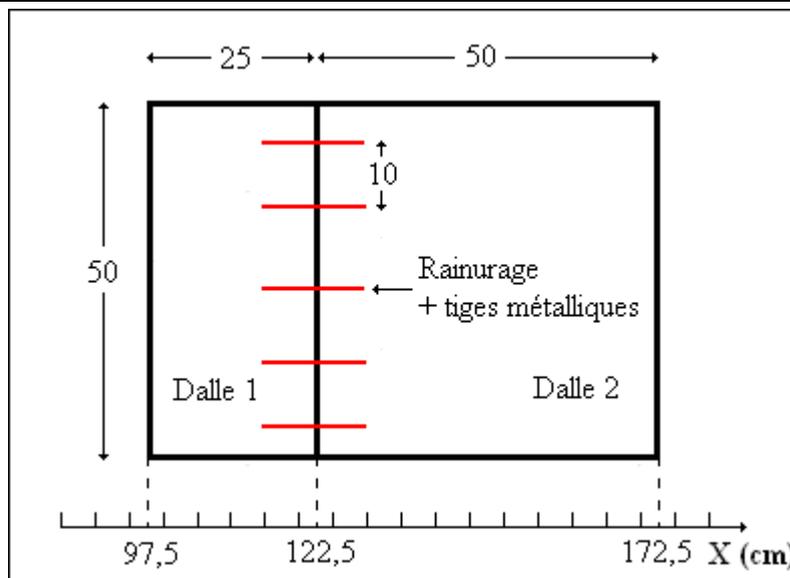


Figure 14 : Schéma d'implantation des éléments

Les mesures seront effectuées dans un premier temps lorsque les deux dalles ne sont pas connectées électriquement et dans un second temps lorsqu'elles seront connectées via le

rainurage et l'insertion de tiges métalliques. La **Figure 14** montre le schéma d'implantation des éléments.

b) Résultats expérimentaux et conclusion

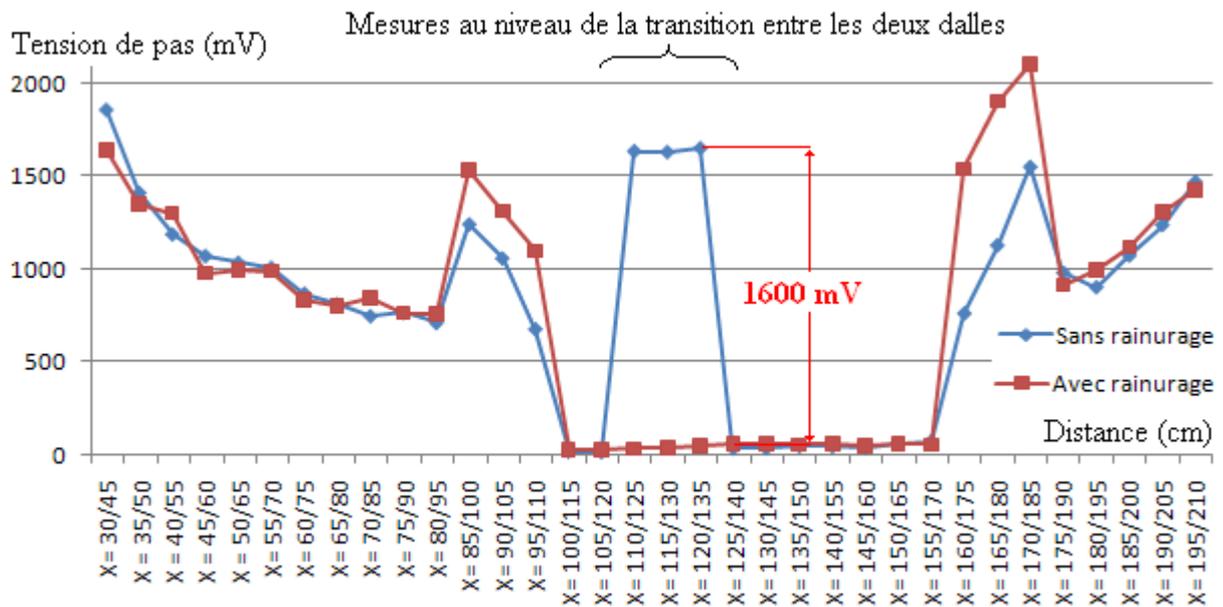


Figure 15 : Résultats expérimentaux du rainurage

A la transition on remarque, une très forte atténuation lorsque les deux dalles sont reliées électriquement comme le montre la **Figure 15**. Cela s'explique de la façon suivante, lorsque les fils métalliques ont été introduits dans cette dalle, celle-ci a plus ou moins été ferrillée. La résistance de contact entre les deux dalles bétonnées est fortement diminuée. Les courants se propagent dans ces fils, par conséquent les niveaux de tensions de pas mesurés au niveau des transitions sont faibles. On peut toutefois remarquer une augmentation des tensions de pas au niveau des transitions sable / dalle et dalle / sable. Ce problème pourra être corrigé comme nous l'avons vu par l'utilisation d'un plan incliné.

3. Immunsation des sols autour des bâtiments agricoles

3.1 Etude de l'influence de la profondeur d'une boucle en fond de fouille

3.1.1 Introduction

Dans le banc d'essais, la profondeur d'injection des courants est de 15 cm. Nous avons mis en évidence notamment lors du projet que certain dispositif comme une boucle en fond de fouille pouvait canaliser les courants vagabonds dans le sol. L'inconnue est de savoir à quelle profondeur la boucle en fond de fouille est la plus efficace.

Avant de réaliser les essais sur le banc d'essais, nous allons les simuler à l'aide du logiciel Capeline.

3.1.2 Simulation de l'influence de la profondeur d'une boucle en fond de fouille

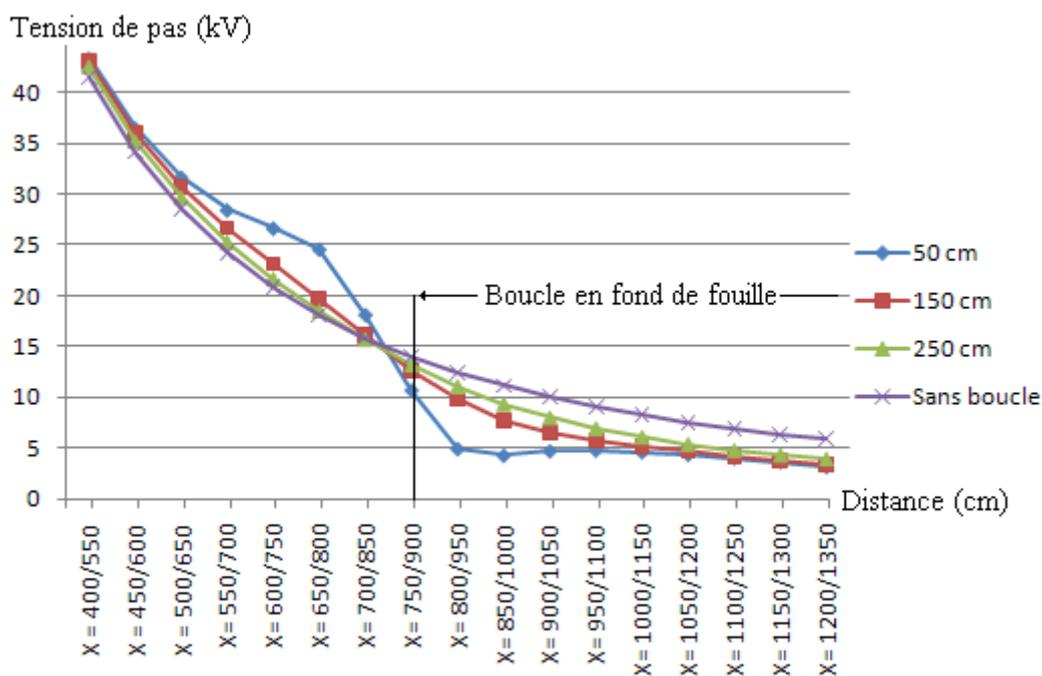


Figure 16 : Simulation de l'influence de la profondeur des boucles en fond de fouille

Comme nous le montre la **Figure 16** nous ne pouvons obtenir la simulation que de la moitié du banc d'essais (l'autre moitié étant symétrique par rapport à la position X= 1200 cm).

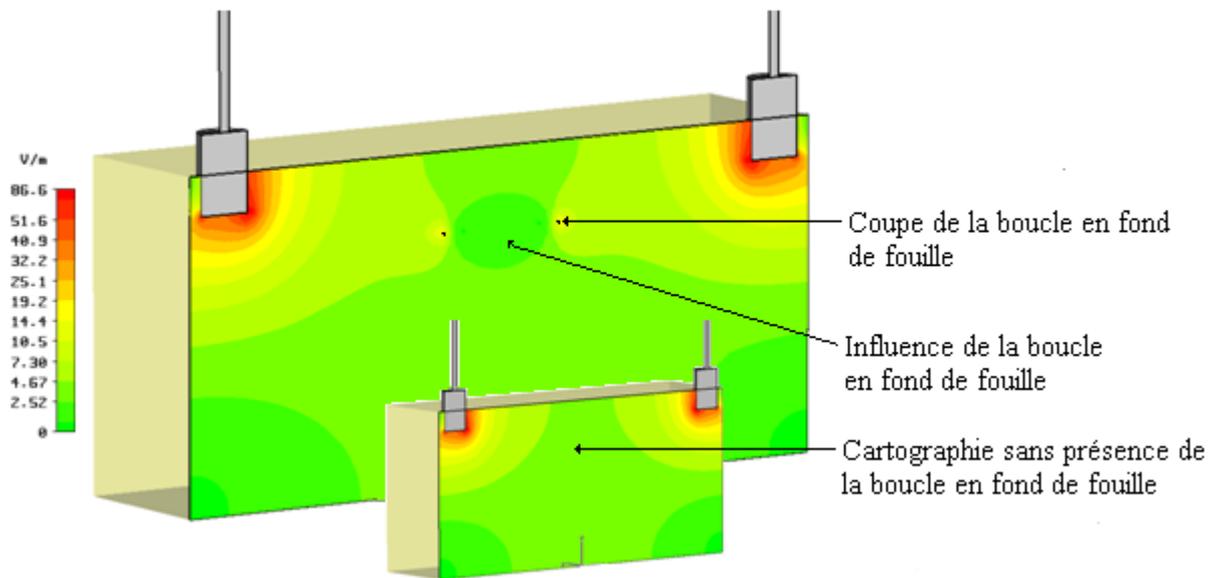


Figure 17 : Simulation de l'influence d'une boucle en fond de fouille

Sur la simulation effectuée sur le logiciel EM Studio de la **Figure 17** nous pouvons observer la zone d'influence d'une boucle en fond de fouille. Si la boucle en fond de fouille est enterrée trop profond, elle n'aura pas d'effet en surface. En revanche si elle est enterrée juste en surface, des tensions de pas plus importantes seront mesurées à l'endroit où le câble est enterré. Ceci est confirmé par la **Figure 18**.

3.1.3 Résultats expérimentaux et conclusion

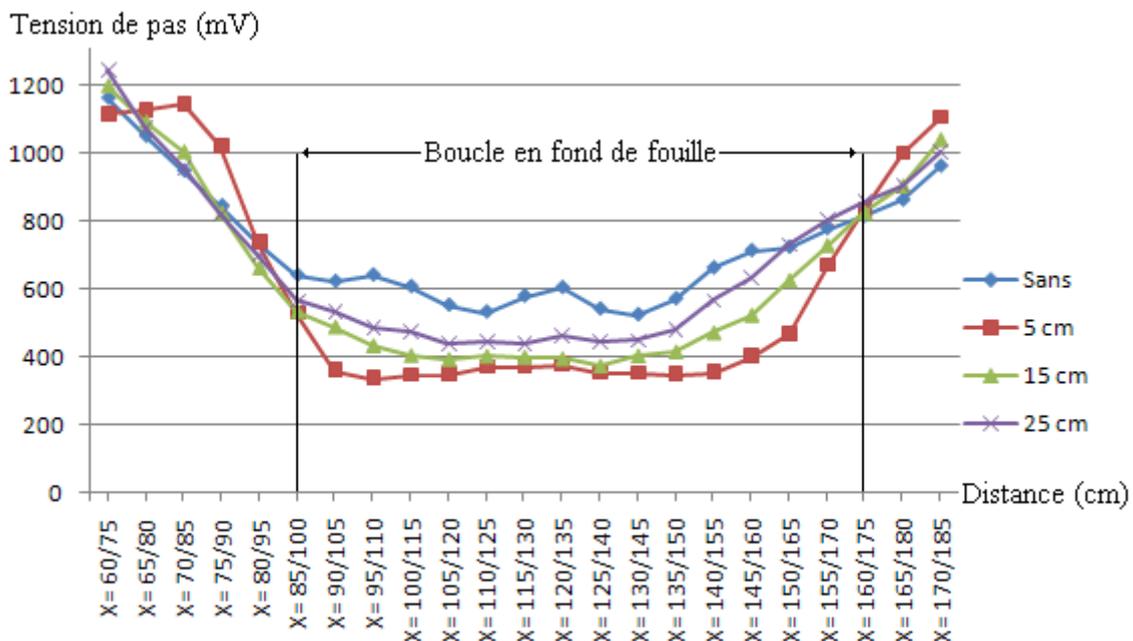


Figure 18 : Influence de la profondeur d'une boucle en fond de fouille

Nous pouvons constater que les résultats expérimentaux sont tout à fait cohérents avec les résultats de la simulation. Une boucle en fond de fouille enterrée à 5 cm est la plus efficace

pour protéger le site qu'elle entoure, cependant elle provoque des tensions de pas plus importantes à l'endroit où le câble est enterré.

Dans le cas du banc d'essais la meilleure profondeur d'enfouissement de la boucle en fond de fouille est comprise entre 5 et 10 cm. Il sera important pour la suite de ce sujet de réaliser des simulations pour connaître la profondeur la plus efficace pour le cas réel.

3.2 Remplacement de la boucle en fond de fouille par des piquets métalliques

Dans cette expérience, nous allons remplacer la boucle en fond de fouille par des piquets métalliques enfoncés dans le sol et espacés de 15 cm. Nous observerons l'influence de la profondeur des piquets sur la diminution des tensions de pas. Les résultats de cette expérience se trouvent en **annexe 3**.

3.3 Comparaison boucle en fond de fouille et piquets métalliques

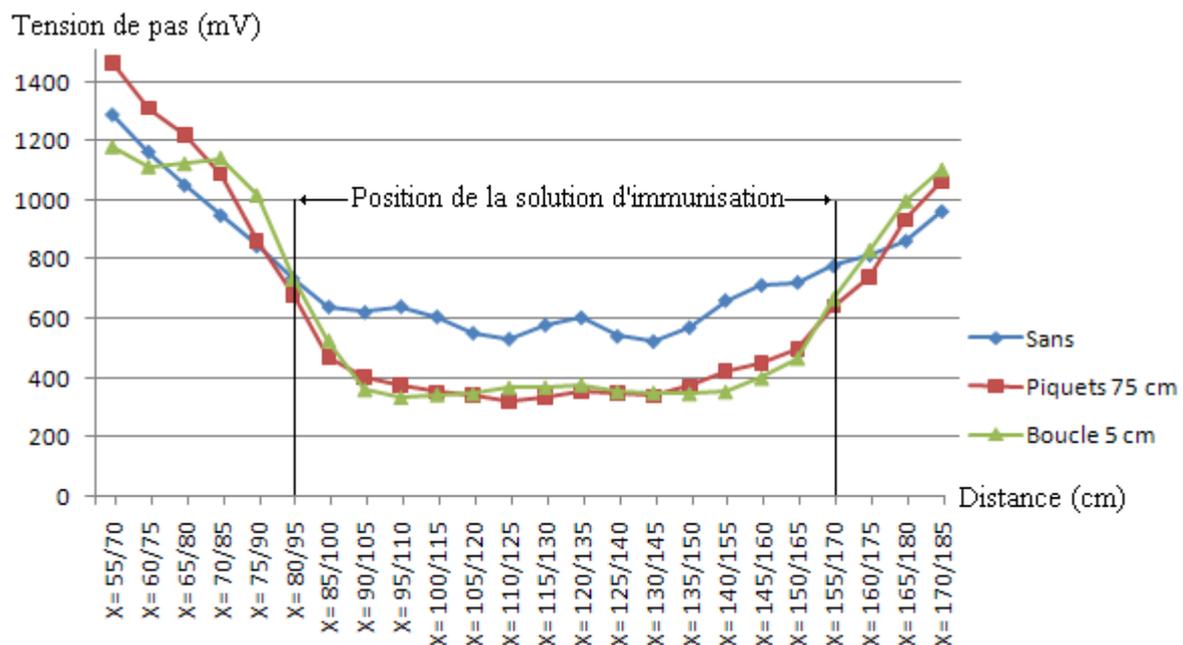


Figure 19 : Comparaison boucle en fond de fouille et piquets métalliques

Nous pouvons constater sur la **Figure 19** que pour avoir le même effet qu'une boucle en fond de fouille enterrée à 5 cm il faut enfoncer des piquets espacés de 15 cm à une profondeur de 75 cm. D'un point de vue faisabilité (coût, nature du sol) il est plus intéressant d'utiliser la solution de la boucle en fond de fouille que celle des piquets métalliques.

4. Etude de cas : mise en place de solutions multiples

4.1 Méthode

Dans cet essai nous allons mettre en place simultanément les diverses solutions vues précédemment. Dans le banc d'essais sera disposées deux dalles différentes de 35x35 cm. Le but de la manipulation sera de réduire les différences de potentiels au niveau de la transition entre les deux dalles (solution du rainurage) au niveau des transitions sable / dalle (solution des plans inclinés) et aussi de canaliser les courants autour des dalles bétonnées (utilisation d'un grillage ceinturant le site à protéger). La **Figure 20** montre l'implantation des divers éléments.

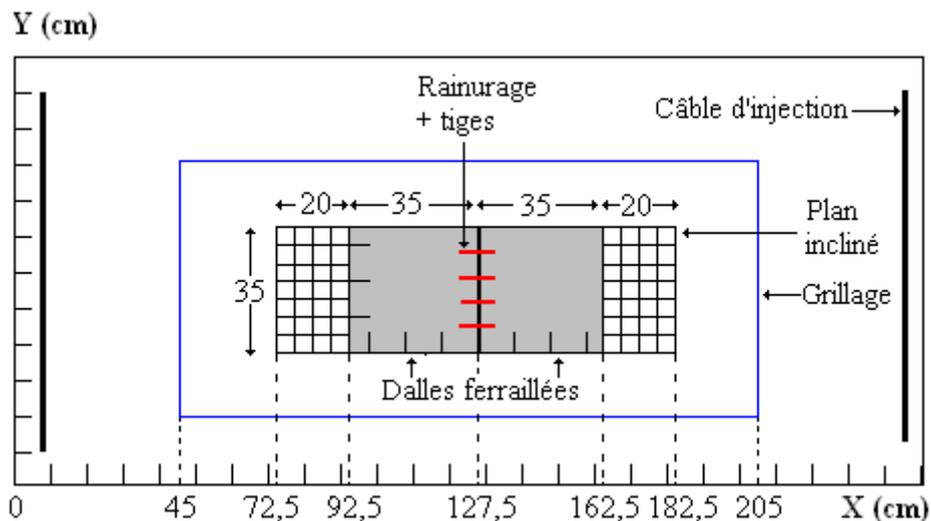


Figure 20 : Schéma d'implantation des éléments

4.2 Résultats expérimentaux et conclusion

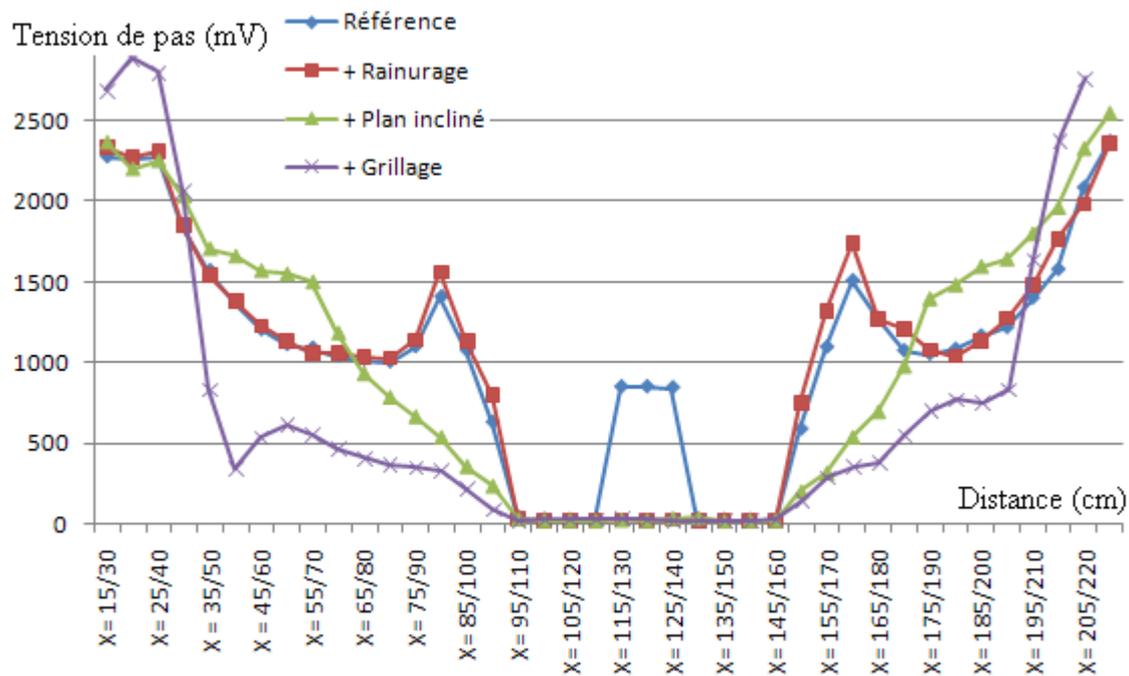


Figure 21 : Résultats expérimentaux de la mise en place de solutions multiples

Sur les différentes courbes de la **Figure 21** nous pouvons observer l'évolution des tensions de pas en fonction des solutions mises en place pour limiter la propagation des courants dans le sol.

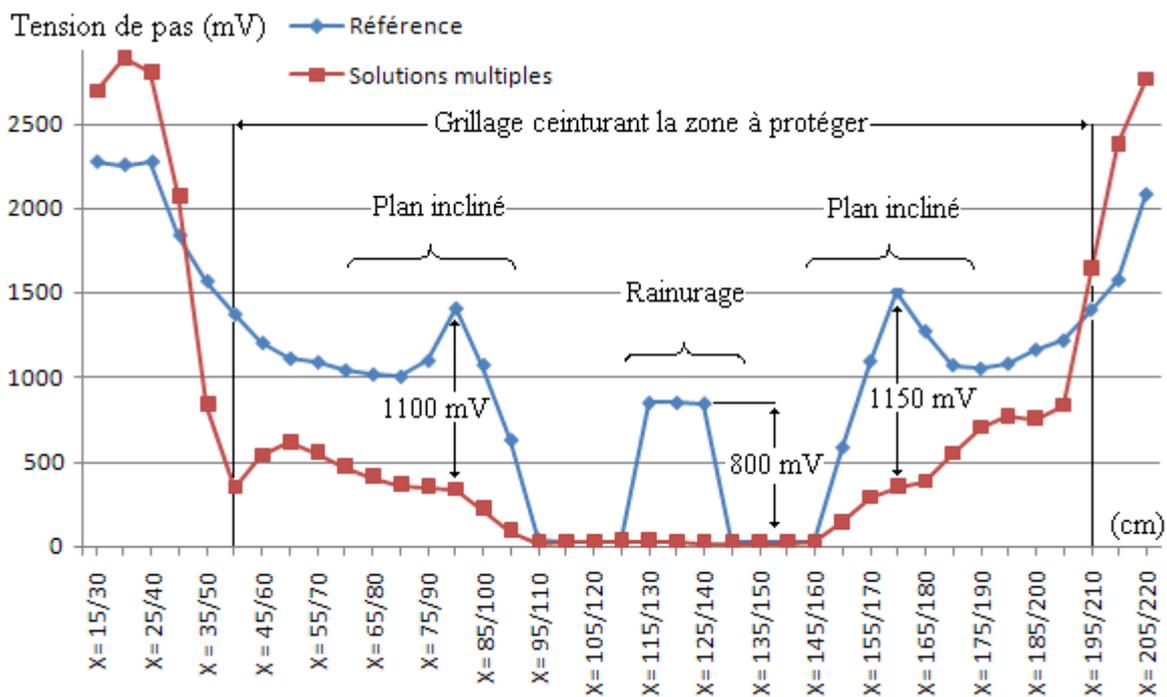


Figure 22 : Effet des solutions mises en place

Sur les courbes de la **Figure 22** nous pouvons observer les effets des solutions mises en place. Le rainurage supprime la différence de potentiel au niveau de la transition entre les deux dalles. Les plans inclinés permettent quant à eux de réduire fortement les ddp au niveau des transitions sable / béton et béton / sable correspondant aux entrées et sortie des bâtiments agricoles. Pour finir le grillage permet de réduire les niveaux de courants dans la zone qu'il entoure. Cependant nous pouvons remarquer des niveaux de tensions de pas importants à l'endroit où le grillage est enterré. Le grillage est une solution de canalisation des courants afin de les guider dans des « secteurs poubelles ». Les « secteurs poubelles » sont des zones non dérangeantes où l'on va repousser un problème (dans notre cas des forts courants vagabonds).

5. Etude de la propagation des courants

5.1 Changement du mode d'injection des courants

Lors du projet nous avons utilisé deux piquets métalliques afin de réaliser l'injection du courant dans le banc d'essais (injection ponctuelle). Nous allons maintenant réaliser l'injection du courant grâce à deux câbles d'injection occupant toute la largeur du bac. Nous verrons si la propagation des courants se fait de manière plus diffuse. Le résultat de cet essai se trouve en **Annexe 4**

5.2 Etude de faisabilité d'une maquette mesurant l'effet des zones à conductivité variable sur la propagation des courants dans le sol

5.2.1 Introduction

Des travaux menés sur le banc d'essais de dimensions 250x140x100 cm pour la préconisation de liaisons et surfaces équipotentielles ont permis de mettre en évidence les meilleures solutions d'équipotentialité. Au fur et à mesure de l'avancement de ce projet, de nouvelles perspectives de recherches sont apparues, comme l'étude de « poche de conductivité » ou l'étude de sols à strates verticales possédant des conductivités différentes.

5.2.2 Objectif technique de la maquette

Les expériences ne seront plus réalisées sur le banc d'essais de dimensions 250x140x100 mais sur une petite maquette de 60x35x30.

Les objectifs techniques de la maquette sont :

- comprendre si des zones de résistivités différentes influencent sur la propagation des courants dans le sol,
- comparer les niveaux des courants électriques en surface avec et sans présence de zones humides.

5.2.3 Présentation de la maquette pour la création de zone humide conductrice

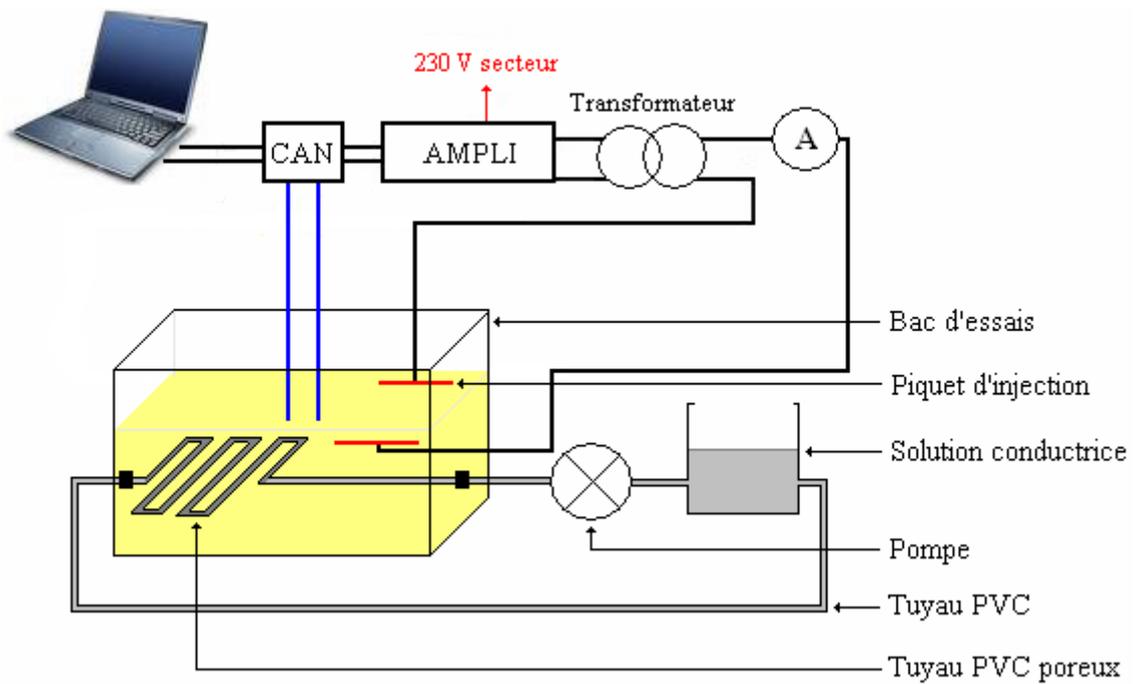


Figure 23 : Schéma de la maquette pour la création de zone humide et zone conductrice

Ce nouveau banc d'essais (voir **Figure 23**) a été réalisé dans le but de simuler une nappe d'eau souterraine ou une source afin de voir comment se propagent les courants vagabonds.

5.2.3 Résultats expérimentaux et conclusion

Deux cartographies ont été réalisées, l'une sans présence de zones humides et l'autre en présence de zones humides. La **Figure 24** montre la répartition des zones humides.

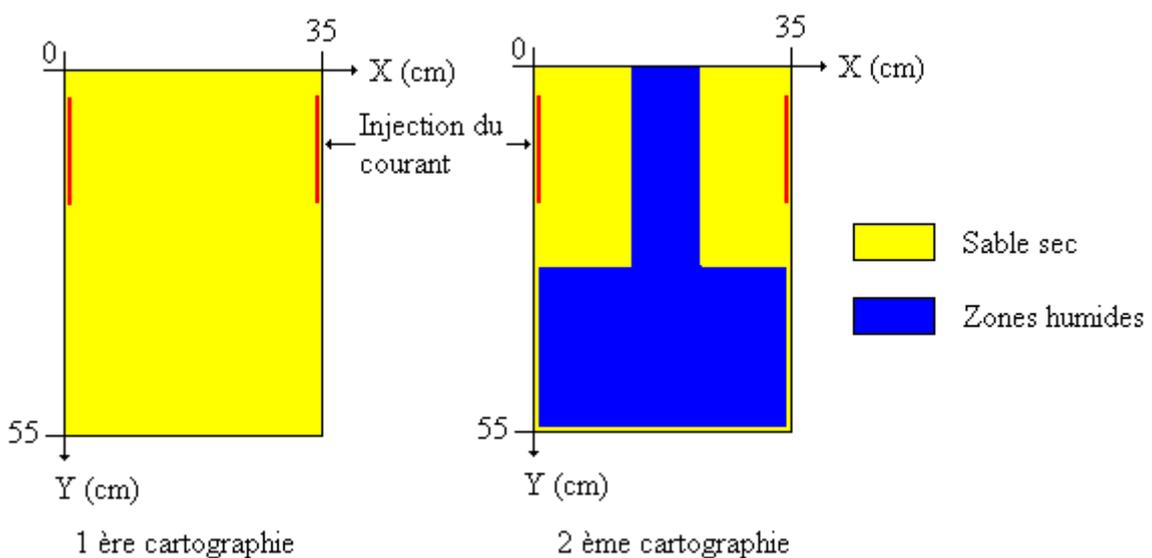


Figure 24 : Répartition des zones humides

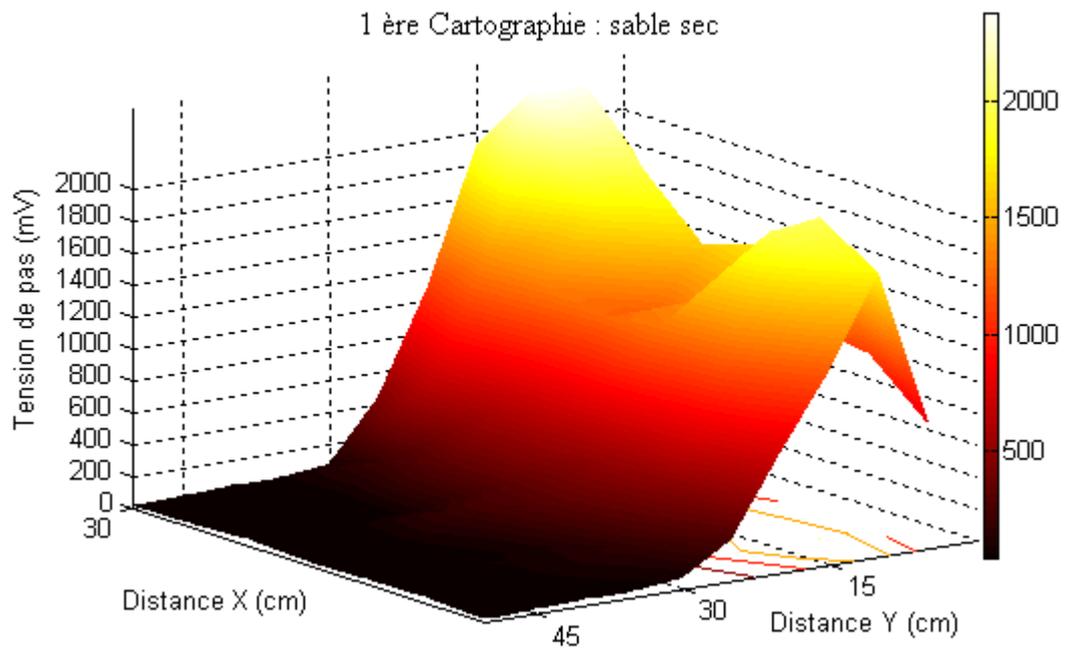


Figure 25 : Cartographie des tensions de pas sur le sable sec

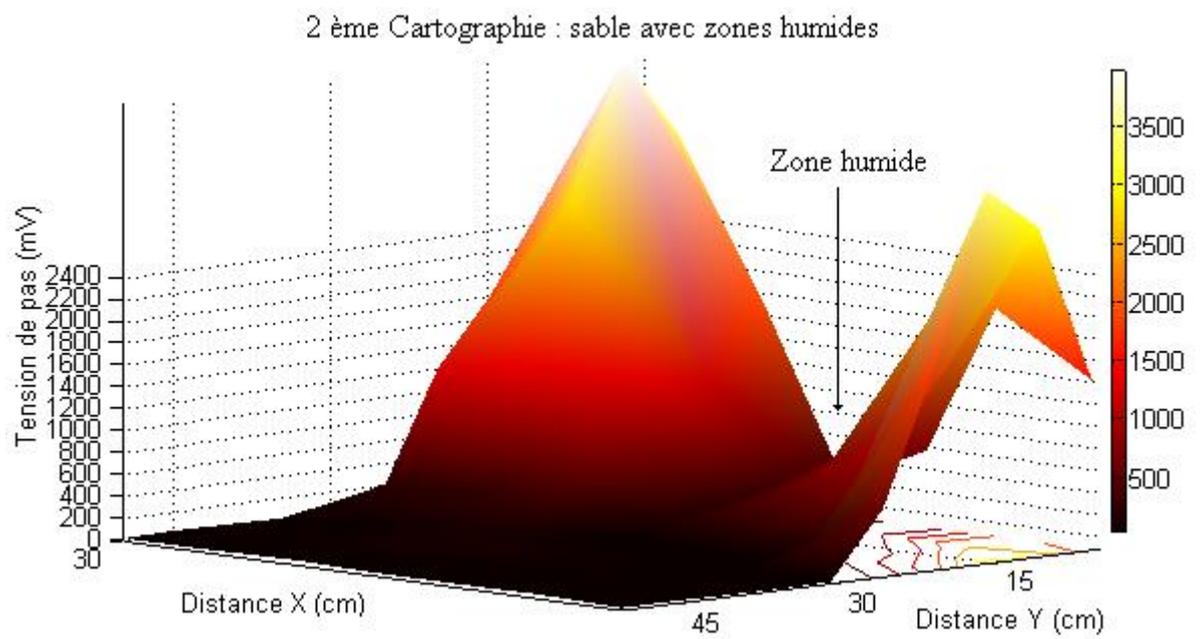


Figure 26 : Cartographie des tensions de pas sur le sable avec des zones humides

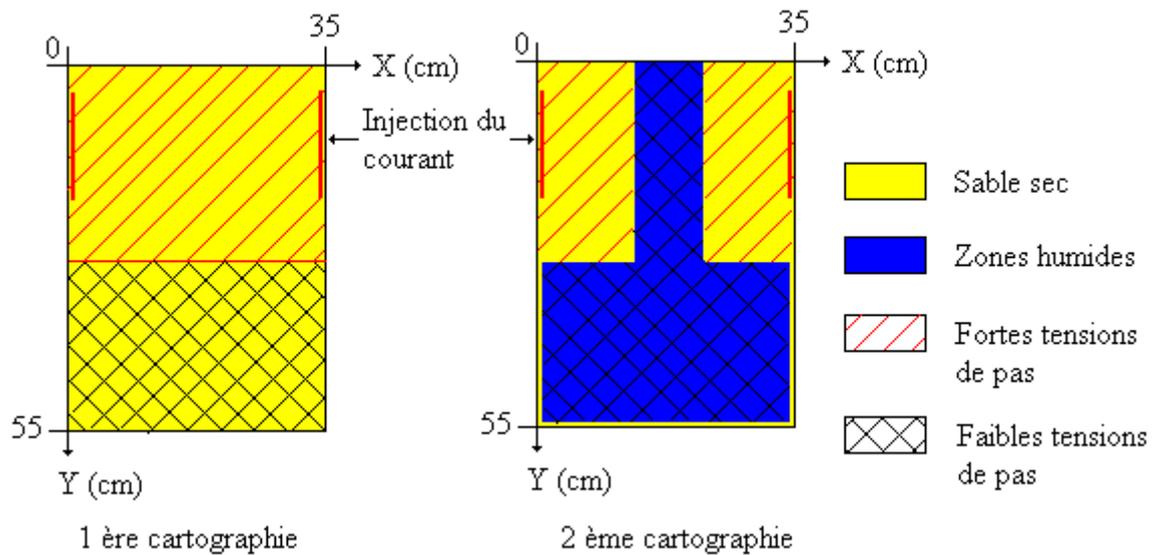


Figure 27 : Répartition des niveaux des tensions de pas

Nous pouvons constater sur les cartographies que les courants ne sont pas déviés malgré la présence de zones humides. Cependant nous avons relevés des tensions de pas beaucoup plus faibles à l’endroit des zones humides. En effet la résistivité du sable est diminuée par la présence d’eau par conséquent les tensions de pas sont moins élevées. Pour mieux voir l’effet des zones humides, une coupe transversale des tensions de pas se trouve sur la **Figure 28**.

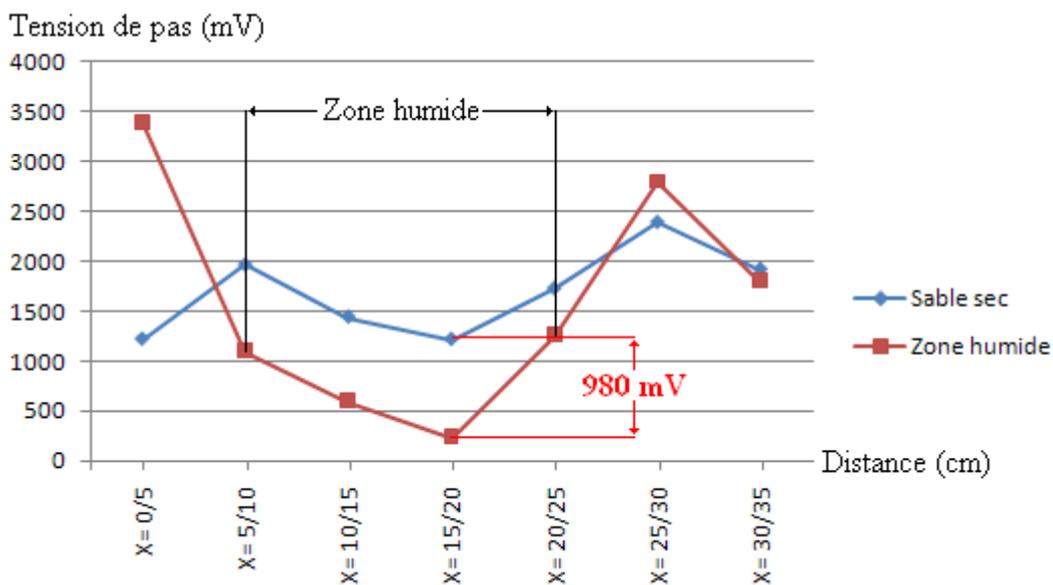


Figure 28 : Coupe transversale des tensions de pas

Sur la coupe transversale de la **Figure 28** nous constatons bien que les niveaux des tensions de pas sont diminués à l’endroit où se trouve la zone humide. Cependant les niveaux sont plus importants en amont et en aval de la zone humide.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Durant ce stage, qui s'est déroulé à CISTEME, j'ai travaillé sur l'étude de la propagation des courants vagabonds dans le sol et l'amélioration de l'équipotentialité des sites agricoles. Nous avons observé que les courants vagabonds lorsqu'ils atteignent des niveaux suffisants créent des différences de potentiel dans les exploitations agricoles. Ces différences de potentiel pouvant influencer sur le comportement des animaux sont dues à une mauvaise équipotentialité des bâtiments agricole.

En modélisant grâce au banc d'essais des parties d'exploitation agricoles nous avons pu recréer certains problèmes rencontrés en exploitation. Nous avons mis en évidence la présence d'une forte différence de potentiel au niveau des entrées et sorties de bâtiment qui s'explique par un changement de résistivité entre deux types de sol différents. Nous avons vu que la mise en place d'un plan incliné à 45° connecté au ferrailage de la dalle est l'une des meilleures solutions pour réduire cette forte ddp.

Nous avons également vu que la présence de fortes différences de potentiel est provoquée par la forte résistance de contact entre deux dalles bétonnées distinctes. Afin de corriger ce problème il faut supprimer cette résistance de contact. Pour cela l'insertion de tiges métalliques noyées dans le béton permet de faciliter la propagation des courants et par conséquent la réduction des ddp.

Dans une autre partie nous avons étudié l'effet d'une boucle en fond de fouille ou un grillage métallique enterré autour du site à protéger. Ces solutions visent à canaliser les courants afin de limiter leur propagation dans une zone délimitée et de les amener vers des « secteurs poubelles ». Nous avons essayé d'insérer dans la boucle en fond de fouille une résistance afin de dissiper les courants, mais cette solution ne semble pas avoir d'effet. Des éléments comme des ferrites pourraient peut-être dissiper une partie de ces courants. La boucle en fond de fouille sert en général de prise de terre pour le bâtiment agricole. Il serait intéressant pour la suite de réaliser une ferme à échelle réduite en connectant un objet métallique à la boucle en fond de fouille afin de simuler la mise à la terre d'une carcasse métallique et de vérifier que les courants canalisés ne se retrouvent pas sur la carcasse métallique.

Nous avons entrepris lors de ce stage une approche par des simulations afin de voir si les solutions d'immunisation envisagées peuvent être appliquées sur une exploitation. Cependant le logiciel Capeline utilisé pour réaliser les simulations est obsolète. C'est pourquoi une cette étude est poursuivie par un étudiant d'école d'ingénieur de l'ENSIL à l'aide d'un nouveau logiciel performant (CST EM studio). Ce logiciel permet contrairement à Capeline de simuler des dalles bétonnées dont nous avons déterminé la résistivité (voir **annexe 5 et 6**). Les simulations futures nous permettront de connaître les caractéristiques des solutions pour l'amélioration de l'équipotentialité (taille des éléments, profondeur, estimation de leur efficacité).

Il sera également intéressant pour la suite d'étudier la propagation des courants sur un sol multicouche ou possédant des strates de résistivité différentes afin de se rapprocher au plus du cas réel.

Pour ma part, j'ai été ravi de traiter ce sujet très intéressant. Il m'a permis d'appliquer mes connaissances en électricité et me familiariser avec le travail en équipe et d'une façon plus générale avec le monde du travail.

Tableau de progression du sujet

Date	Nom	Avancement		
Projet 2005/2006	Damien Bihel Ulrich Nicole			
Stage 2005/2006	Yannick Collet	  		
Projet 2006/2007	Aurélien Beneteau Florian Chantereau Guillaume Dubois	  	 	
Stage 2006/2007	Guillaume Dubois	  	  	 

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Effet des courants sur le comportement animal.....	31
Annexe 2 : Résistivité selon la nature du sol	32
Annexe 3 : Présentation du logiciel Capeline	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 4 : Remplacement de la boucle en fond de fouille par des piquets métalliques	33
Annexe 5 : Changement du mode d'injection.....	35
Annexe 6 : Mesure de la résistivité des bétons	37
Annexe 7 : Résultats de la mesure de la résistivité des bétons	38

Annexe 1 : Effet des courants sur le comportement animal

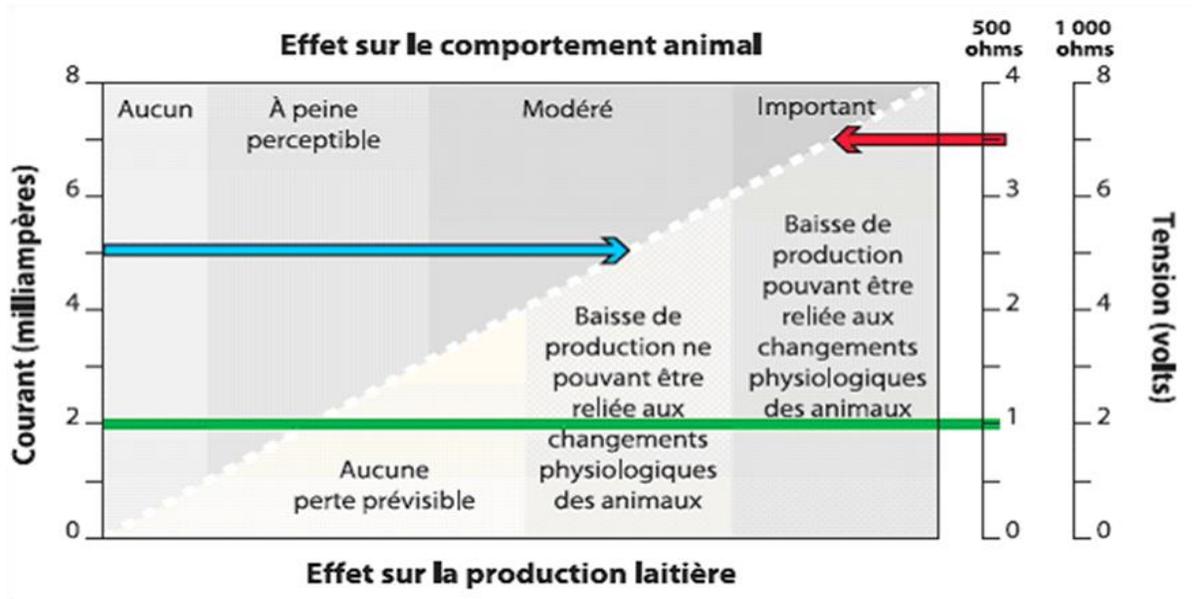


Figure 29 : Effet des courants sur la production laitière

Titre original: *Behavioral and Milk Production Responses to Increasing Current Levels*, Lefcourt, 1991.

Source: Proceeding from Stray Voltage and Dairy Farms, Conference 2003, NRAES-149.

Annexe 2 : Résistivité selon la nature du sol

Résistance d'une prise de terre selon le type de terrain et la technique d'installation

nature du terrain	résistivité moyenne ($\Omega \cdot m$)
sol marécageux	3 -30
limon	20-100
humus	10-150
tourbe humide	5-100
argile plastique	50
marnes et argiles compactes	100-200
marnes du jurassique	30-40
sable argileux	50-500
sable siliceux	200-3000
sol pierreux	1500-3000
sol pierreux et gazon	300-500
sol calcaire tendre	100-500
sol calcaire compact	1000-5000
schiste	50-300
micaschiste	800
granit et grès	1500-10000
granit et grès altérés	100-600

Résistance d'une prise de terre selon le type de terrain et la technique d'installation

technique utilisée	arables gras remblais humide	arables maigres remblais grossiers	sol pierreux sec sable sec
boucle fond de fouille	3-10 Ω	30-60 Ω	100-200 Ω
1 piquet vertical de 2 mètres	2-75 Ω	220-300 Ω	750-1500 Ω
4 piquets verticaux aux angles	6-18 Ω	60-120 Ω	300-600 Ω
tranchée de 10 mètres	3-8 Ω	23-45 Ω	120-220 Ω

Annexe 3 : Remplacement de la boucle en fond de fouille par des piquets métalliques

Introduction :

Le but de cet essai est de remplacer la boucle en fond de fouille par des piquets métalliques. Ces piquets seront espacés de 15 cm. Nous pourrions observer leur influence sur les tensions de pas mesurées en fonction de leur profondeur.

Résultats de la simulation sous Capeline :

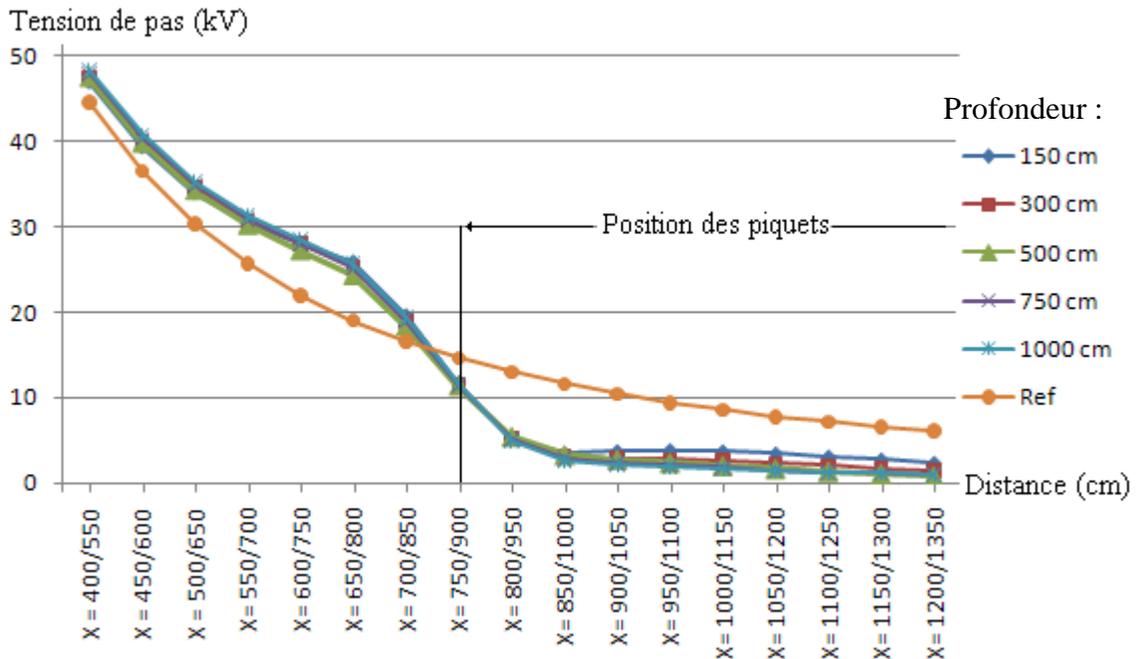


Figure 30 : Cartographie des courants avec injection à l'aide d'un câble

Sur les résultats de la simulation de la **Figure 30** on observe que les piquets ont une influence sur les tensions de pas mesurées. Comme pour la boucle en fond de fouille les tensions de pas sont diminuées dans la zone entourée par les piquets. Cependant les résultats de la simulation ne montrent pas de gros changements en fonction de la profondeur des piquets.

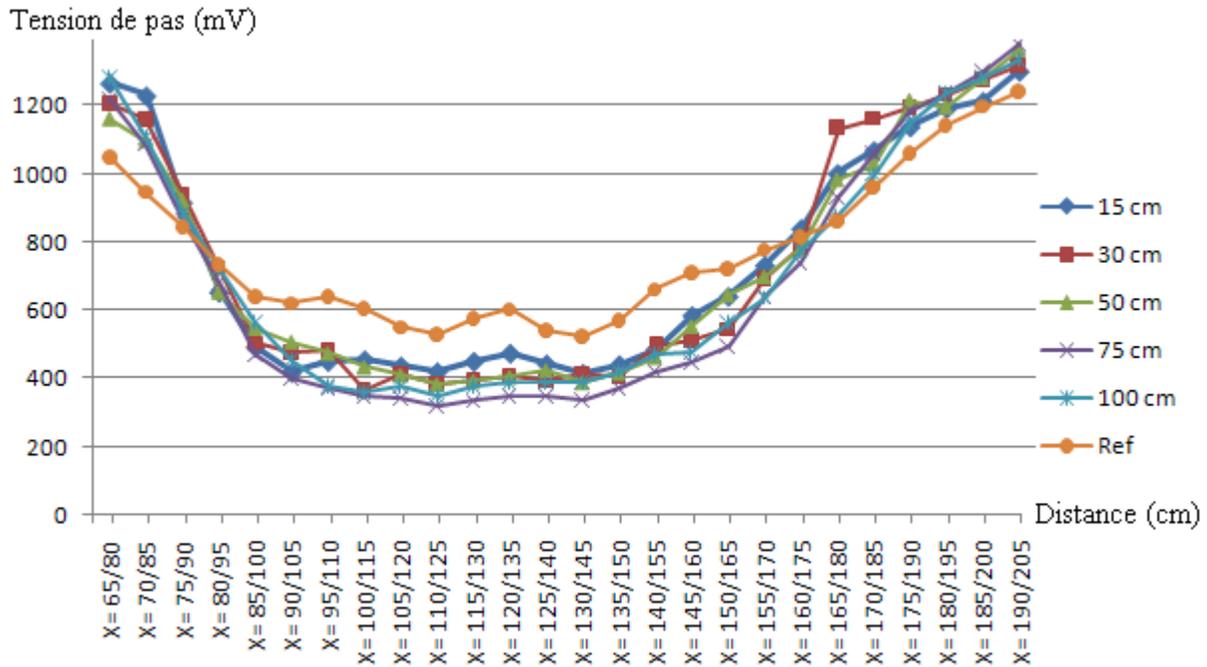
Résultats expérimentaux et conclusion :

Figure 31 : Cartographie des courants avec injection à l'aide d'un câble

Les mesures expérimentales de la **Figure 31** confirment les résultats de la simulation. Les tensions de pas sont plus faibles dans la zone entourée par les piquets. La meilleure atténuation des tensions de pas a été relevée pour des piquets enfoncés à 75 cm de profondeur.

Annexe 4 : Changement du mode d'injection

Afin d'injecter le courant, nous avons utilisé deux piquets métalliques disposés aux deux extrémités du banc d'essais. Nous allons dans cette partie remplacer les piquets d'injection par des câbles d'injection occupant toute la largeur du banc d'essais et réaliser une cartographie des courants.

Résultats expérimentaux et conclusion

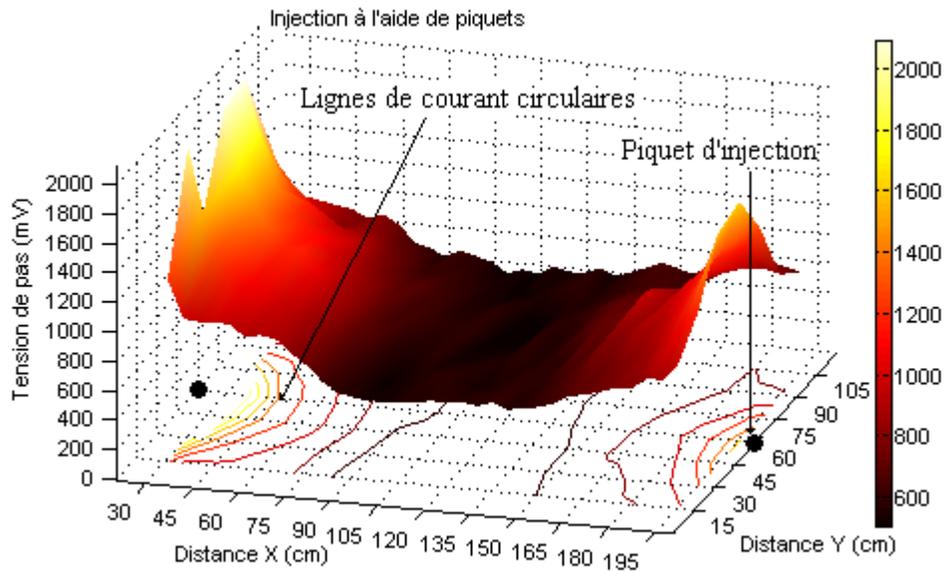


Figure 32 : Cartographie des courants avec injection à l'aide de piquets

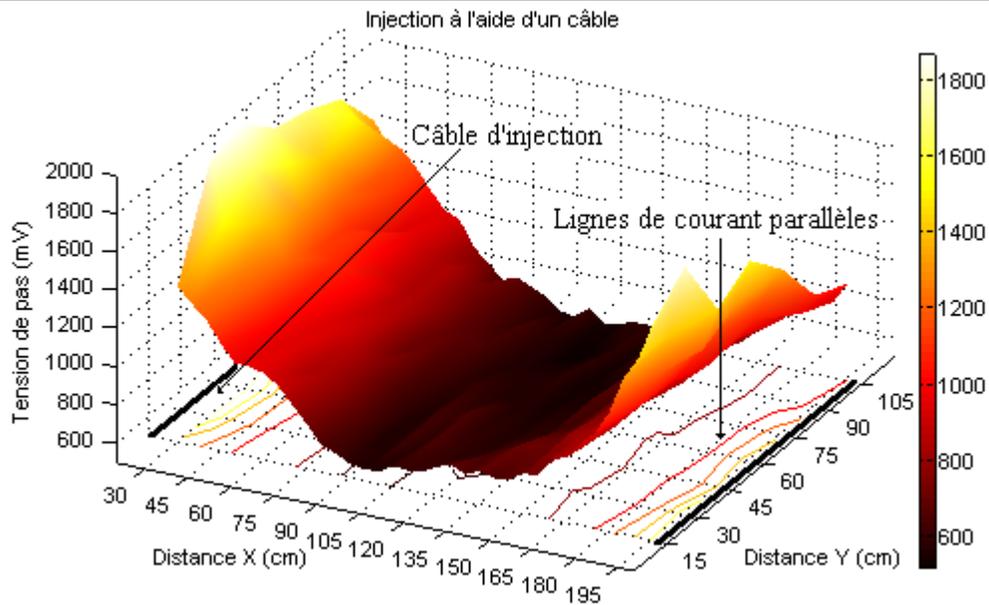


Figure 33 : Cartographie des courants avec injection à l'aide d'un câble

On observe sur la **Figure 32**, lors d'une injection ponctuelle à l'aide de piquets que les lignes de courant sont circulaires. La **Figure 33** représente la cartographie des courants lors d'une injection à l'aide de câbles. Cette fois ci les lignes de courant ne sont plus circulaires mais parallèles ce qui nous montre que les courants se propagent d'une façon plus homogène dans le banc d'essais. Le mode d'injection à l'aide de câbles est donc préférable afin de diminuer l'influence des électrodes d'injections.

Annexe 5 : Mesure de la résistivité des bétons

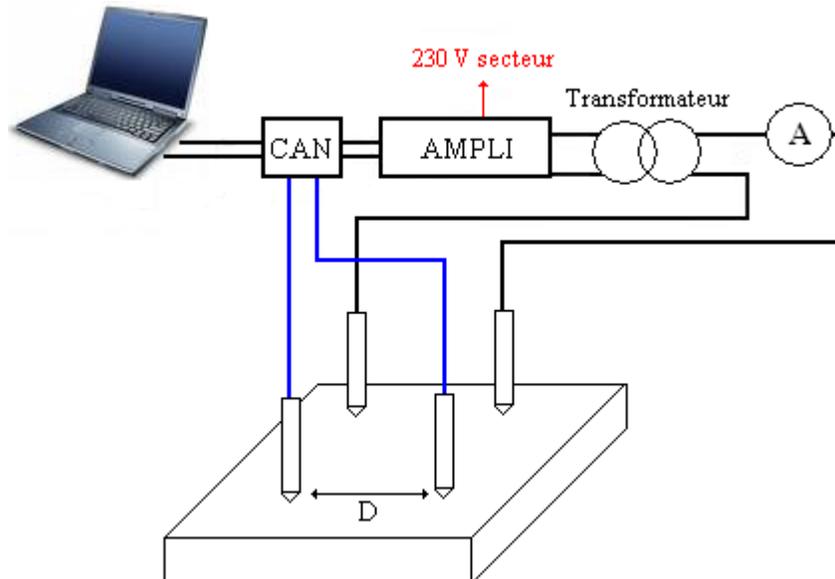


Figure 34 : Schéma de câblage pour la mesure de résistivité

La **Figure 34** représente le schéma de câblage pour la mesure de résistivité. Deux électrodes permettent d'injecter un courant connu I . La différence de potentiel créée par le passage du courant dans le béton est mesurée par les deux autres électrodes. La résistivité électrique est ensuite proportionnelle à un facteur géométrique K qui dépend de la géométrie et de la dimension du dispositif.

Electrodes disposées en carré :

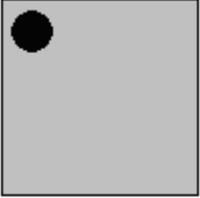
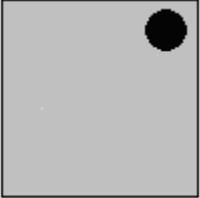
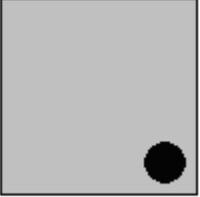
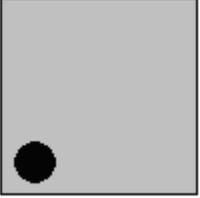
$$\rho_{app} = \underbrace{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot a}{2 - \sqrt{2}} \right)}_k \frac{\Delta V}{I}$$

Electrodes alignées :

$$\rho = 2 \pi a V / I$$

Annexe 6 : Résultats de la mesure de la résistivité des bétons

Tableau de mesure de la résistivité des dalles bétonnées :

<i>I injecté (mA)</i>	<i>U relevé (V)</i>	<i>ρ ($\Omega.cm$)</i>	<i>Endroit de la mesure</i>
1,7	9,2	116000	
2,13	11,7	117835	
2	10,8	115000	
ρ_{moy} ($\Omega.cm$)	116 278		
1,7	11	158000	
1,3	8,2	148000	
ρ_{moy} ($\Omega.cm$)	153 000		
4	32	171200	
4,1	16,1	84034	
ρ_{moy} ($\Omega.cm$)	171 000		
1,4	6	91714	
ρ_{moy} ($\Omega.cm$)	91 714		

Résumé

Dans le cadre de ma formation en Licence professionnelle à l'institut universitaire de technologie de Limoges, j'ai effectué un stage en entreprise d'une durée de seize semaines du 19 Mars au 6 Juillet 2006 dans la société CISTEME. Cette entreprise située à Ester technopôle, mène un projet pour RTE (Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité) pour essayer d'expliquer certaines pathologies encore inexpliquées sur des animaux chez lesquels une influence de phénomènes électriques comme les courants vagabonds est suspectée.

Durant ces seize semaines de stage, j'ai travaillé sur l'étude de la propagation des courants dans le sol et l'amélioration de l'équipotentialité des sites agricoles.

En modélisant grâce au banc d'essais des parties d'exploitation agricoles nous avons pu recréer certains problèmes rencontrés en exploitation. Nous avons par la suite cherché des solutions afin de réduire ou annuler ces problèmes.

Abstract

Within the framework of my education in Physical Measures of Limoges, I carried out a training course during sixteen weeks from March 19th 2006 to July 6th 2007 in the company CISTEME. This company that is located on Ester technopôle carries out a project for RTE (Manager of the Grid system of Electricity) to try to explain some still unexplained behavior on animals in which an influence of electric phenomena like the stray currents can be the origin.

During these sixteen weeks of training course, I worked on the propagation of the currents in the ground and the improvement of the equipotentiality of agricultural sites.

While modelling thanks to the test bench of the parts of farm we could recreate problems encountered in agricultural sites. Thereafter we sought solutions in order to reduce or cancel these problems.

