IUT de l'Université de Provence Site de Digne-les-Bains Département GB

Morenne Audrey Promotion 2010-2012

2ème année de DUT Génie Biologique option Génie de l'Environnement
A l'IUT de Digne les Bains

Aide à la compréhension des flux d'eau dans les sols prairiaux.

Maîtres de stage:
Noëlle Guix
VetAgro Sup
Campus agronomique
89, av. de l'Europe, BP 35
63370 Lempdes

Frédérique Louault
Institut National de la Recherche Agronomique
Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial
Site de Crouel
5, Chemin de Beaulieu
63039 CLERMONT FERRAND cedex 2

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier Noëlle Guix et Frédérique Louault qui ont encadré ce stage pour leurs nombreuses explications, leurs conseils et pour le temps qu'elles m'ont consacré.

Je voudrais également remercier Stéphane Sauvat qui a manié la tarière durant ce stage et sans qui je n'aurais pas pu prélever tous les échantillons.

SOMMAIRE

Remerciements 3
Sommaire 4
Introduction 1
1 Contexte 3
1.1 présentation de la structure d'accueil 3
1.2 Contexte scientifique 4
2 objectifs du stage 6
3 Matériel et méthodes 7
3.1 présentation du dispositif expérimental SOERE ACBB de Theix 7
3.2 La calibration des sondes 9
3.3 Détermination des humidités volumiques 9
4 Résultats 12
4.1 Texture et propriétés hydrodynamiques des sols 12
4.2 Aspect méthodologique : calibration des sondes 13
4.3 Les pratiques de gestion génèrent-elles des humidités différentes ? 15
5 Discussion 20
5.1 Protocole de calibration 20
5.2 résultats expérimentaux 22
Conclusion 23
5.3 Calibration des sondes 23
5.4 Résultats 23
Index des illustrations 25
Glossaire 26
Bibliographie 27
Annexe 28
Résumé 35
Abstract 35

INTRODUCTION

Depuis les années 90, on parle souvent de service rendu par les écosystèmes. Les écosystèmes prairiaux sont d'excellents réservoirs de biodiversité. Leur fonction première est la production de nourriture pour les animaux mais au-delà de ce rôle agricole, les prairies présentent des atouts environnementaux et paysagers importants comme le stockage de carbone, la lutte contre le ruissellement, ou l'épuration des eaux de drainage.

Dans le but de mieux évaluer les services rendus par les prairies, il est important de mieux connaitre leur fonctionnement. Ces prairies étant des écosystèmes gérés il est nécessaire de prendre en compte les différentes pratiques de gestion et les effets qu'elles peuvent entrainer sur les états et les propriétés de ces écosystèmes.

La compréhension des flux d'eau dans les écosystèmes prairiaux est un objectif de recherche dans la mesure où ils déterminent les cycles et les propriétés des écosystèmes. Pour les étudier des dispositifs de long terme appareillés pour mesurer les flux constituent des outils privilégiés pour créer des séries de longue durée, à même de rendre compte de dynamiques qui opèrent dans l'écosystème à différents pas de temps.

La valeur des suivis de long terme tien cependant à la qualité des mesures qui sont faites. Concernant l'aspect hydrique, l'enregistrement en continu des humidités de sol représente un atout. Cependant il requiert des procédures de calibration des appareils chargés de la collecte de ces données. C'est dans ce contexte que s'est inscrit ce stage, qui s'est déroulé sur un dispositif de long terme de prairie permanente dédié à l'étude des effets de la gestion sur les cycles biogéochimiques et la biodiversité.

1 CONTEXTE

1.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Si la structure d'accueil est VetAgro Sup, nous évoquerons également l'INRA (unité UREP) du fait d'un co-encadrement du stage, par Noëlle Guix (VetAgro Sup) et Frédérique Louault (INRA UREP).

VetAgro Sup est un Institut d'enseignement supérieur et de recherche. Cet établissement est sous la tutelle du ministère de l'Agriculture. Il résulte de la fusion en 2010 de l'Ecole Nationale d'Ingénieur Travaux Agricoles (ENITA) de Clermont-Ferrand, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon (ENVL) et de l'Ecole Nationale des Services Vétérinaires (ENSV).

Cet institut est ainsi composé de deux campus (Lyon et Clermont-Ferrand), comprenant 1200 étudiants, 300 personnels, et de plus de 750 enseignants chercheurs et intervenants.

Outre les activités d'enseignement aboutissant aux diplômes d'ingénieur et de vétérinaire, VetAgro Sup développe des activités en recherche, avec des unités de recherches qui participent à des projets de recherche et de développement en intervenant au sein d'unités dans des instituts de recherche nationaux et internationaux, comme par exemple l'Institut National de la recherche Agronomique (INRA) *(Figure 1)* (vetagro-sup.fr, s.d.).

Il existe également des cadres scientifiques en Activité Scientifique Individuelle (ASI). Il s'agit d'enseignants chercheurs et d'ingénieurs de recherche qui s'associent à des Unités de Recherche qui ne font pas partie de VetAgro Sup. C'est le cas notamment de Noëlle Guix qui réalise ses activités de recherche au sein de l'Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial (UREP), du centre INRA de Clermont-Ferrand-Theix-Lyon. Elle travaille en collaboration avec Frédérique Louault. Toutes deux sont co-encadrantes de ce stage.

L'UREP fait partie du département EFPA (Ecologie des Forêts, des Prairies, et des milieux Aquatiques) de l'INRA. Ce département regroupant plusieurs unités de recherche, a pour rôle de trouver des solutions pour gérer durablement, conserver et restaurer les écosystèmes forestiers, prairiaux et aquatiques, et les ressources physiques et biologiques qui en dépendent (clermont.inra.fr/urep, s.d.).

Cette UR étudie le fonctionnement écologique de la prairie pâturée, en relation avec la gestion agricole et avec le milieu physique. Les travaux de l'unité sont également appliqués à des objectifs de production et de protection de l'environnement: dynamique de la végétation, gestion des milieux pour la conservation de la biodiversité, préservation des stocks de carbone dans les sols et limitation des pollutions azotées.

Trois axes de recherches sont développés par l'équipe:

- Cycles du carbone et de l'azote en prairie et leurs conséquences pour l'effet de serre, axe dans lequel s'inscrit le stage.
- Dynamique de végétation et biodiversité pour le fonctionnement de l'écosystème prairial.
- Transfert et valorisation de l'écosystème prairial pour la région Auvergne.

Son objectif est donc de comprendre les bases fonctionnelles des cycles couplés C et N et des services écologiques, en lien avec la dynamique des communautés végétales et microbiennes, dans des prairies soumises à des changements globaux (climat, composition de l'atmosphère) et

Aide à la compréhension des flux d'eau dans les sols prairiaux.

locaux (modes d'utilisation des prairies par les élevages). Les interactions entre les principales composantes de l'écosystème sont analysées et modélisées numériquement.

Cette UR gère le Système d'Observation et d'Expérimentation, sur le long terme, pour la Recherche et l'Environnement, « Agro-écosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité (SOERE ACBB). Le dispositif SOERE-ACBB est constitué d'un ensemble de trois sites d'expérimentation à long terme. Ses sites sont dédiés à l'étude de la dynamique d'évolution des agro-écosystèmes sous l'action de l'homme et ses conséquences sur l'environnement.

Il existe trois plateformes qui permettent de mener à bien les expérimentations, celle de Mons-en-Chaussée en Picardie relative aux grandes cultures, celle de Lusignan en Poitou-Charentes relative aux prairies temporaires insérées dans des systèmes de cultures et celle de Theix-Laqueuille en Auvergne, relative aux prairies permanentes.

Les données des SOERE sont sauvegardées sur des bases accessibles à terme par le réseau et des échantillons (sol, poudre végétales, solution du sol) sont conservés en collections.

Le dispositif SOERE ACBB à été mis en place depuis 2003 et l'UREP est responsable des sites prairies permanentes à Theix et Laqueuille ((Louault, 2007) (Lemaire, s.d.) (AllEnvi, s.d.)). C'est sur les données acquises sur Theix (plus précisément sur la commune de St-Genès-Champanelle) que porte le travail réalisé durant ce stage.

1.2 CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Les éléments chimiques tels que le Carbone (C) ou l'Azote (N) sont perpétuellement recyclés. Ils passent de l'état organique à l'état minéral et séjournent plus ou moins longuement dans différents réservoirs comme la pédosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère. Ces flux de matières décrivent ainsi des cycles, que l'on appelle cycles biogéochimiques.

Parmi les cycles biogéochimiques existants, les cycles du carbone et de l'azote sont les plus étudiés. Si l'eau est un facteur conditionnant fortement les processus intervenant dans ces cycles C et N (REF), elle intervient également en tant que vecteur d'ions et de molécules dans les flux de C et N. Les pertes possibles en C et N par lessivage dans les écosystèmes prairiaux font l'objet de questions de recherche traitées au sein de l'UREP, en collaboration avec VetAgro Sup. Les flux d'eau sont ainsi importants à connaître, ce qui implique d'évoquer auparavant ce qu'est le sol.

Le sol est un système hétérogène car composé de trois phases, solide, liquide et gazeuse. La phase solide est constituée par les particules du sol nées d'une décomposition de la roche mère au cours du temps, de l'accumulation et de l'évolution de ces particules, associées progressivement à des particules de nature organique. La phase liquide est composée par l'eau appelée solution du sol car elle contient des substances dissoutes. Et enfin la phase gazeuse est représentée par l'air du sol. L'air et la solution du sol sont contenus dans les pores, qui sont des cavités remplies ou non, formées par la géométrie complexe des différents agrégats solides (Hillel, 1974, pp. 11-13). La répartition granulométrique des constituants minéraux du sol est appelée texture ; l'agencement des particules du sol est appelée la structure. Nous évoquerons par la suite ces deux notions.

L'eau dans le sol répond à la loi de conservation de la matière. Elle n'est ni crée, ni détruite, elle passe d'un état à un autre et passe d'un endroit/compartiment à un autre. Ceci est réalisé grâce à des phénomènes créant des mouvements ascendants, tels que les remontées capillaires et l'évapotranspiration (EP), des mouvements descendants, tels que l'infiltration (I), ou encore le drainage. Il faut noter qu'il existe également des flux latéraux *(Figure 2).* Les gradients de potentiel hydrique sont responsables en grande partie de ces flux, dans les sols cultivés non

saturés (et non salins). Les conditions atmosphériques et les plantes, par leur activité d'absorption d'eau, génèrent ces évolutions dans le temps et dans l'espace. Aussi, l'humidité du sol (qui est la quantité d'eau contenue dans le sol) est-elle variable dans le temps et dans l'espace.

Ces flux d'eau peuvent être comptabilisés sous forme d'un bilan, appelé bilan hydrique.
Le bilan hydrique est calculé à profondeur arbitraire, et il est donné par la formule suivante :

$$\Delta H = Win - Wout$$

Avec : ΔH : bilan hydrique ;

W_{in} : l'eau entrante comprenant les précipitations atmosphériques P, et/ou l'irrigation I_r , les remontées capillaires RC.

W_{out} : l'eau sortante comprenant les eaux de ruissellement R, le drainage D, et l'évapotranspiration (E + T). Les flux latéraux sont fréquemment négligés (comme les remontées capillaires).

On obtient donc :

$$\Delta H = P + Ir + RC - R - D - (E + T)$$

(Hillel, 1974)

On peut se demander si différentes pratiques de gestion ou différents types de sol, ont un impact sur les flux d'eau en sol prairial.

Des chercheurs Allemands ont testé deux hypothèses concernant le bilan hydrique des sols prairiaux. La première est qu'une augmentation de fertilisation en azote fait augmenter l'évapotranspiration et diminue le taux d'infiltration à cause d'une biomasse aérienne supérieure. Et la seconde est que des coupes fréquentes diminuent l'évapotranspiration et augmentent l'infiltration à cause d'une biomasse moyenne inférieure. Il s'avère que les coupes répétées couplées à une augmentation de la fertilisation, ont la capacité d'altérer nettement le bilan hydrique, à travers des effets sur la régulation des flux d'eau. En effet, une augmentation de la production de la biomasse aérienne de 50-70% a été associée à une augmentation d'évapotranspiration de 10 à 15% et à une réduction d'autant de la recharge par infiltration profonde d'eaux souterraines. (Rose, et al., 2011).

Les processus liés au système sol-végétation qui déterminent les flux vers l'atmosphère et vers l'hydrosphère ont des constantes de temps qui s'évaluent à l'échelle de plusieurs décades et la gestion des surfaces en prairie par l'activité anthropique (modes d'occupation du sol, pratiques agricoles, …), s'effectue à des pas de temps courts (annuels et intra-annuels). Et à l'inverse, toute intervention anthropique visant à restaurer les milieux ne pourra être évaluée dans ses effets sur l'environnement que sur les temps relativement longs. Ainsi l'analyse du rôle et de l'impact des surfaces de prairies et de leur mode de gestion sur l'environnement ne peut être entreprise que dans des systèmes expérimentaux de longue durée.

Le dispositif SOERE ACBB est donc un dispositif ad hoc pour le suivi et l'analyse des flux de C, N et d'eau.

2 OBJECTIFS DU STAGE

L'objectif de ce stage s'inscrit dans un but plus général qui est de mieux connaitre la dynamique de l'eau au sein des prairies permanentes et plus particulièrement sur un dispositif expérimental de suivi de longue durée, le dispositif SOERE ACBB de Theix. En effet, une meilleure compréhension et quantification des flux d'eau permettrait à terme de savoir s'il y a drainage ou non sur ces parcelles dans l'optique d'évaluer d'éventuelles pertes de carbone et d'azote par lessivage, et de rechercher le lien avec les pratiques de gestion appliquées.

Le stage a eu comme objectif de démarrer ce travail d'analyse et s'est déroulé en trois temps.

Dans un premier temps, nous avons analysé le dispositif au niveau de ses caractéristiques de sol dans le but d'en évaluer l'homogénéité et éventuellement de définir les répercutions possibles sur les résultats obtenus.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés aux sondes capacitives qui permettent de mesurer l'humidité des sols. Ces sondes, installées sur le dispositif depuis 2007, nécessitaient une calibration. Le stage a eu pour but de définir et commencer de mettre en œuvre et tester une procédure de calibration. Cette étape à comporté tout d'abord une approche technique visant à faire un lien entre le signal émis par les sondes in situ et les humidités volumiques mesurées sur le terrain, puis une approche méthodologique visant à évaluer le protocole et éventuellement le modifier.

Et enfin dans un troisième temps, il a été fait l'hypothèse que les différentes pratiques de gestions sont un facteur affectant les cinétiques de l'eau au sein de ces prairies. Pour tester cela, nous avons analysé statistiquement les humidités des sols.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 PRESENTATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL SOERE ACBB DE THEIX

3.1.1 *LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL*

Le site de Theix est situé dans le Massif Central. Il a été choisi pour représenter les zones herbagères de demi-montagne. Il se trouve à une altitude de 880m, le climat est semi-montagnard, caractérisé par une température annuelle moyenne de 8,7°C et des précipitations de 800 mm (clermont.inra.fr/urep, s.d.)

Le site est composé de deux blocs, le Bloc 1 Blatière et le Bloc 2 Moine. Ces deux Blocs sont divisés en deux répétitions appelées Rep 1 et Rep 2. Chaque répétition comporte sept parcelles qui sons soumises à différents traitements. On compte donc vingt-huit parcelles sans oublier une parcelle Sol Nu (témoin) par bloc, ce qui fait un total de trente parcelles sur les deux blocs *(figure 3).*

3.1.1.1 Les différents traitements expérimentaux

L'objectif du dispositif est de tester de façon indépendante les effets des deux principaux facteurs qui sont manipulés par les pratiques de gestion des prairies : d'une part, le niveau d'utilisation de la production prairiale (ou niveau de perturbation) qui peut être fort, faible ou nul (témoin non utilisé laissé en abandon), et d'autre part le niveau de disponibilité des nutriments qui est manipulé via la fertilisation. Le premier facteur est testé en condition de pâturage, en faisant varier le niveau de chargement animal. Le second facteur est testé dans des parcelles conduites en fauche, avec trois fauches par an pour toutes les parcelles, mais avec des niveaux de fertilisation différents.

Au niveau des traitements il y a ainsi dans chaque répétition une parcelle sans apport anthropique externe, c'est le traitement Nul et deux autres parcelles avec apport de fertilisation appelées NP et NPK (pour N: Nitrate, P : Phosphate, et K: Potassium), qui sont toutes des parcelles fauchées. Le degré de fertilisation est déterminé grâce aux indices de nutrition, il s'agit du rapport entre la teneur en élément dans la plante sur la teneur en élément potentiel). L'objectif de la fertilisation est d'assurer des conditions de nutrition non limitantes. Se trouvent par ailleurs, des parcelles non fertilisées, avec différents chargements animal, bovins : BO+ (4 génisses), BO- (2 génisses) et ovins : OV- (5 brebis) qui sont des parcelles pâturées, et enfin une parcelle abandonnée (Ab). Les traitements sont mis en place depuis 2005.

3.1.1.2 Les sols sur le dispositif :

Le dispositif SOERE ACBB est localisé sur la commune de St Genès Champanelle, dans la région naturelle de la Chaîne des Puys. Elle est constituée par un plateau granitique et métamorphique, d'une altitude moyenne de 800 m, dominant le bassin de la Limagne correspondant à un bassin d'effondrement (failles orientées nord-sud, à l'Est de la Chaîne des Puys). Parallèlement à ce système de failles, et consécutivement aux mouvements tectoniques en œuvre dès le Tertiaire lors de l'orogénèse alpine, se trouvent de nombreux volcans, dont les plus

Aide à la compréhension des flux d'eau dans les sols prairiaux.

récents datent du Quaternaire. Le dispositif est ainsi dans un contexte géologique complexe du fait des événements volcaniques qui ont pu recouvrir le substratum granitique et métamorphique. La carte géologique de Clermont-Ferrand (1971) permet de savoir que le site se localise sur des matériaux géologiques différents *(voir Figure 4)* :

- Sur le versant du Puy de Berzet (966 m), présentant ainsi une pente d'orientation Nord Est – Sud Ouest ;
- Le substratum géologique comprendrait :
  - Sous le bloc 1, se trouve une roche de type Thufs rhyodacitiques et rhyodacites à amphibole et pyroxène, correspondant à des granites métamorphisés à texture grenue ;
  - Sous le bloc 2, se trouve un granite monzonitique porphyrique à biotite, typique des roches éruptives hercyniennes, comportant des filons de granite leucocrate à deux micas. L'ensemble est souvent fortement altéré ;

La carte volcanologique de la Chaîne des Puys (2004) indique que les éruptions des volcans de La Vache et Lassolas, localisés à 11km dans la direction Est-Sud ESt auraient projeté des cendres trachy-basaltiques sur la zone.

Le dispositif se trouve donc dans un contexte géologique et volcanologique complexe.

Du point de vue de ces sols, le bloc 1 présente un sol de type Brunisol luvique. Le Bloc 2 présente un sol de type Colluviosol caillouteux. Le tableau en *(Figure 5)* présente les analyses granulométriques par couches de sol (et non horizons pédologiques), ainsi que leurs propriétés hydrodynamiques déterminées à l'aide de fonctions de pédo-transfert, la littérature proposant des équations permettant de calculer à partir de la texture les propriétés telles que capacité au champ, humidité au point de flétrissement et à saturation (Campbell, G., S., 1985). Ce tableau permettra de faire un bilan concernant l'état initial des sols et de mettre en évidence leurs similitudes ou leurs différences. La *Figure 6* montre la répartition des argiles et les sables pour le bloc 1 et 2, par profondeur.

On constate que les deux blocs ont une composition bien distincte. Le bloc 1 est plus sableux que le bloc 2, plus argileux. De plus il y a un gradient de granulométrie pour le bloc 1, avec un pourcentage de sables croissant de la surface vers la profondeur, ce qui peut entrainer une dynamique de l'eau différente par rapport au bloc 2.

3.1.2 *DANS LE CADRE DU STAGE:*

Ici sont étudiées, six parcelles de fauche, dont trois dans la Rep 1 du Bloc 1, dont les identifiants parcelles (ID) sont les suivant : 4 (Nul), 6 (NPK) et 7 (Ab), et trois parcelles dans la Rep 1 du Bloc 2 : 18 (Nul), 20 (NPK), 21 (Ab). Ces parcelles ont été retenues sur la base d'une première observation simple des données fournies par les sondes capacitives (séries complètes sur une longue période).

3.2 LA CALIBRATION DES SONDES

3.2.1 *LE FONCTIONNEMENT*

Les sondes capacitives ECH2O, de la firme Decagon, permettent de mesurer l'humidité volumique du sol en mesurant la constante diélectrique du sol, qui dépend de la teneur en eau, en émettant un signal en mV collecté par des boîtiers EM50.

Le constructeur fournit une équation, permettant de transformer le signal en mV en humidité volumique. Dans le cas des sondes présentes, l'équation est linéaire :

θ = 0,000571*(signal en mV) - 0,376

Il est donc possible d'admettre que la régression à réaliser entre les humidités mesurées et les humidités fournies par les sondes est également linéaire.

Chaque parcelle est équipée d'une sonde à -20 cm et -60 cm de profondeur. (Douglas, et al., 2010). Pour les parcelles d'intérêt dans le cadre de ce stage, ces sondes ont été installées en 2007, après ouverture d'une fosse. Elles sont couplées à des thermocouples, permettant de suivre instantanément la température du sol aux deux profondeurs 20 et 60cm.

3.2.2 *UNE CALIBRATION NECESSAIRE:*

L'hétérogénéité de la sphère d'influence (cavités d'air, cailloux, ...) autour de la sonde, peut affecter la relation entre le signal de la sonde et l'humidité volumique du sol. Des facteurs comme la texture, la structure, la température, la salinité, … peuvent influencer les résultats. A l'échelle de la parcelle, il est possible de suivre l'humidité du sol avec une à trois sondes capacitives selon l'hétérogénéité possible du milieu et ce, malgré la forte disparité d'humidité à l'échelle de la sphère d'influence de la sonde. Des résultats moyens peuvent être obtenus par quelques sondes, avec une mise en relation de l'humidité dans la sphère et l'humidité moyenne aux alentours dans le champ (Chanzy, et al., 1998).

Il est nécessaire de réaliser une calibration sonde par sonde. La calibration consiste à relier par une droite de régression le signal de la sonde à l'humidité volumique donné par une méthode référencée, comme une méthode gravimétrique, à l'échelle de la parcelle (ou tout autre surface selon le dispositif) (Chanzy, et al., 1998).

Cependant, tous les sols n'ont pas des propriétés électriques identiques. En raison des variations de texture et de salinité de sol, Decagon recommande aux utilisateurs de sonde ECH2O de réaliser une calibration sol-spécifique pour une meilleure exactitude des mesures volumétriques de teneur en eau (Decagon, s.d.).

3.3 DETERMINATION DES HUMIDITES VOLUMIQUES

3.3.1 *PRINCIPE*

La détermination de l'humidité volumique du sol implique de déterminer d'une part l'humidité pondérale par la méthode gravimétrique et, d'autre part, la densité apparente du sol, aux profondeurs correspondant à la profondeur de présence des sondes.

Déterminer l'humidité pondérale implique de réaliser des prélèvements de terre à plusieurs dates, permettant de couvrir la gamme de valeurs des humidités volumiques, depuis une humidité élevée à une humidité faible.

3.3.2 *LES PRELEVEMENTS DE SOL SUR LE TERRAIN*

On réalise avec une tarière cinq trous autour d'une sonde à six dates pour obtenir des humidités différentes. Durant ce stage il n'aura été possible de réaliser que deux dates de prélèvements, la première les 23, 25 et 26 Avril 2012, et la seconde les 14 et 15 Mai 2012.

Les prélèvements sont effectués à -20 et -60 cm de profondeur, à hauteur des sondes et sont réalisés selon le protocole général *(Annexe 1).* La localisation précise des trous sur une grille de 1,5m de côté permet entre deux dates de répartir de manière régulière et sans risque de recoupement les prélèvements dans un périmètre proche de la sonde.

3.3.3 *LE TRAITEMENT DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE*

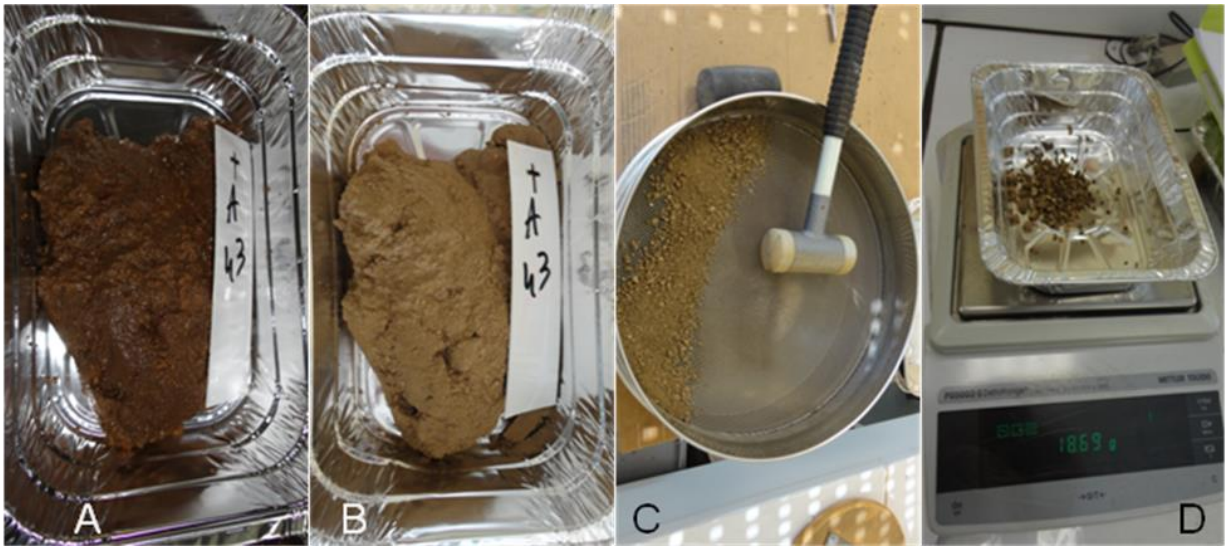


Figure 6 : Illustrations des étapes du protocole.

La première étape est la pesée des échantillons humides (A), puis on place les échantillons à l'étuve 48h à 105°C. On les pèse ensuite séché (B). Viens l'étape du tamisage des éléments grossiers (C). Enfin on pèse le refus de grille 2mm.

Les « éléments grossiers » (EG) sont tous les constituants minéraux présents dans le sol dont la taille est supérieure à 2 mm (INRA, 2000). La proportion d'éléments grossiers présents dans les échantillons donne une information concernant la structure du sol, ainsi que la variabilité de la pierrosité. Le tamisage des échantillons et les pesées des éléments grossiers ne seront pas systématiques. Il sera réalisé sur deux dates pour évaluer la proportion des éléments grossiers dans une parcelle.

3.3.4 *CALCULS*

Le calcul de l'humidité volumique est effectué selon la relation suivante :

$$Humidité\ volumique = \frac{mH - mS}{mS} \times da$$

Avec mH : la masse humide de l'échantillon ;

mS : la masse sèche de l'échantillon ;
Et la densité apparente : da = Masse de sol sec / Volume total de l'échantillon

Les densités apparentes ont été déterminées lors d'une campagne de prélèvement de sols sur le dispositif SOERE ACBB en 2008. Pour chacune des parcelles, 8 carottes ont été réalisées (en des points prédéfinies au préalable, référencées). Chacune a été scindée en 3 couches : 0-20cm ; 20-40cm ; 40-60cm. Il convient ici d'affecter une valeur de da aux profondeurs 20 et 60cm. Compte tenu de la différence de texture et de structure entre 0 et 40cm, il a été décidé d'affecter à la profondeur de 20cm la moyenne des da pour les deux couches 0-20 et 20-40cm (et non seulement la valeur de la da sur 0-20cm). A la profondeur de 60cm a été affectée la da obtenue pour la couche 40-60cm.

3.3.5 *TRAITEMENT DES RESULTATS*

Les données disponibles ont fait l'objet d'analyses de variance (ANOVA), à l'aide du logiciel Statgraphics Plus 5.0 ©. Préalablement, des tests de normalité et d'homogénéité des variances avaient été effectués.

Il faut classer les données en plusieurs catégories. On appelle « variable à expliquer », la série de données dont on souhaite analyser la variabilité. Cette variabilité est analysée en fonctions de « facteurs ». Ces facteurs sont dit explicatifs s'ils sont significatifs et ce lorsque la valeur p est inférieur à 0,05.

Selon les séries de données, les facteurs testés ont été les facteurs bloc, traitements, profondeur et date. L'effet des facteurs bloc et traitement a été testés sur les variables décrivant les sols des parcelles expérimentales. L'effet des facteurs bloc, traitement, date et profondeur a été testé sur les variables d'humidité mesurées dans le cadre de la procédure de calibration. L'effet des facteurs bloc et traitement et de l'interaction bloc * traitement ont également été testé sur les humidités issues des enregistrements des sondes.

On peut également tester les interactions entre les facteurs. Une interaction signifie que deux facteurs réagissent ensemble pour expliquer la variabilité. Par exemple une interaction bloc * traitement voudrait dire que la variabilité des données testées n'est pas la même dans les différents traitements et eux-mêmes dans les différents blocs. C'est aussi la valeur p qui indique si l'interaction explique une partie de la variabilité de la variable à expliquer de façon significative ($p < 0,05$).

4 RESULTATS

Les résultats présentés ci-dessous sont de deux natures, des résultats méthodologiques visant à améliorer le protocole général et des résultats expérimentaux. Dans un premier temps, on intéressera au dispositif expérimental. On a vu en partie 3.1.1.2 que les sols présentent une hétérogénéité de texture. Les densités apparentes traduisent une différence de structure. Il apparait donc utile d'analyser les caractéristiques des sols et de tester si elles sont différentes notamment entre blocs, afin de ne pas attribuer aux résultats qui suivront de fausses interprétations. Ensuite, on traitera de la calibration des sondes. Enfin, grâce à la valorisation des humidités volumiques mesurées dans le cadre de la calibration des sondes et grâce à la valorisation des profils hydriques obtenus par les sondes sur une période de 2 ans, on analysera l'impact possible des pratiques de fertilisation et de fauche sur l'humidité du sol.

4.1 TEXTURE ET PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES SOLS

Le tableau *(Figure 5)* présente les caractéristiques de sol pour trois couches de 20 cm d'épaisseur sur les six parcelles (0 à 20cm ; 20 à 40cm ; 40 à 60cm).

Avec seulement une parcelle par traitement dans chacun des deux blocs (donc, une seule répétition par bloc), l'analyse permet de tester les effets bloc et traitement mais pas les interactions. On constate que les blocs présentent des différences significatives pour certaines des variables mais qu'en revanche, l'effet traitement n'est jamais significatif.

On voit pour la couche 0-20 cm que la teneur en argiles est significativement différente entre les blocs (p=0.0058), Pour la couche 20-40 cm les teneurs en sables, en éléments grossiers et la conductivité hydraulique à saturation (Ks) sont aussi significativement différentes entre les blocs (p=0.0339 p=0.0279 et p=0.0139, respectivement). Enfin pour la couche 40-60 cm, les teneurs en argiles, sables, le Ks et la capacité au champ sont également significativement différentes entre les blocs (p=0.0145, p=0.0036, p=0.0114, p=0.0118, respectivement).

On peut en conclure que le bloc 1 est plus sableux que le bloc 2, qui est plus argileux. Le bloc 1 est aussi plus caillouteux notamment dans la couche 20-40cm, avec une charge en cailloux de 17% alors qu'elle n'est que de 9% dans le bloc 2. Les propriétés hydrodynamiques apparaissent aussi différentes selon les blocs et selon les profondeurs. En particulier, la capacité au champ du bloc 1 est significativement plus faible que celle du bloc 2 dans les couches profondes, et la conductivité hydraulique à saturation (Ks) apparaît elle significativement plus élevée dans le bloc 1 en comparaison du bloc 2.

On constate qu'il y a une variabilité du sol en fonction de la profondeur car plus l'on descend dans les couches de sol, plus il y a de critères pédologiques (argiles, sables, Ks…) significativement différents d'un bloc à l'autre.

Le milieu n'est pas homogène. Dans les tests statistiques qui seront conduits, et dans la mesure où un effet significatif des traitements apparaissait, il faudra s'assurer qu'il s'agit bien d'un effet traitement et non d'un effet « parcelle » ou « milieu », lié à la variabilité des caractéristiques de sol.

4.2 ASPECT METHODOLOGIQUE : CALIBRATION DES SONDES

4.2.1 *DESCRIPTION DES RESULTATS*

- L'ensemble des résultats sont présentés dans un tableau *(Annexe 2).* Les *Figures 7 a et 7b* donnent par profondeur (-20 et -60 cm), les humidités volumiques constructeur enregistrées au moment des échantillonnages de sol sur le terrain, et la moyenne des humidités volumiques mesurées des 5 prélèvements, et cela aux deux dates de prélèvement. La valeur d'humidité mesurée est une valeur moyenne par sonde et par profondeur, assortie de son écart-type.

Trois éléments sont à noter :

- On constate que globalement pour chaque parcelle et aux deux profondeurs, l'humidité volumique constructeur est inférieure à l'humidité volumique mesurée (exception pour la parcelle 20 à -60cm).
- Pour les humidités mesurées l'écart-types autour de la moyenne peuvent être importants, atteignant jusqu'à 0,28 pour une moyenne de 0,46 (parcelle 4 à 60 cm). Cela témoigne de la grande variabilité de l'humidité du sol à l'échelle de la zone de prélèvement pourtant réduite (moins d'un mètre de distance entre tous les prélèvements) ;
- En comparant les graphiques, on observe qu'à une même date il existe une variabilité spatiale des humidités, ceci sera traité dans la partie 4.3.

- Analyse de la variabilité des humidités volumiques mesurées :

De façon à comparer la variabilité de l' humidité volumique à l'échelle des placettes de prélèvement, on calcule et analyse les coefficients de variation des humidités volumiques mesurées.

Le coefficient de variation est calculé de la manière suivante :

$CV = \frac{sd}{\overline{X}}$ Avec CV= coefficient de variation ; sd= écart type et $\overline{X}$ = moyenne.

Il s'agit donc d'un pourcentage de variation autour de la moyenne des cinq mesures effectuées.

Les résultats sont contenus dans le tableau *en Annexe 3*. On voit que ces CV varient de 2% pour la parcelle 6 à -20 cm pour la date 2, à 60% pour la parcelle 4 à -60cm pour la date 2. Ceci correspond respectivement aux plus petits et plus grands écarts types sur les *Figure 7a te 7b.*

L'analyse de variance a été menée pour tester les effets des facteurs bloc, date, profondeur et traitement, ainsi que leurs interactions. On remarque que le CV est significativement différent pour les facteurs traitement (p=0,0375) et profondeur (p=0 ,0068), avec des valeurs significativement plus élevées à 60 cm de profondeur (CV moyen de 22.6%) qu'à 20 cm de profondeur (CV moyen de 11%) *Figure 8* En revanche, le CV n'est pas significativement différent entre les deux blocs ni entre date de mesure.

Il y a cependant des interactions significatives entre bloc et traitement (p=0,0344), entre bloc et profondeur (p=0,0077) et entre traitement et profondeur (p=0,0249). Ainsi, on constate que le classement des traitements est différent selon les blocs: dans le bloc 1. Le CV le plus faible est celui de la parcelle Abandon, puis on trouve NPK et Nul (avec respectivement des CV de 10%, 12,6% et 30,9%). Dans le bloc 2, le CV est également le plus faible dans la parcelle Abandon,

mais c'est dans la parcelle NPK qu'il prend les valeurs les plus élevées (avec respectivement 10,4%, 14,9% et 22,7%).

Il apparaît donc que l'humidité volumique du sol est relativement homogène dans l'espace restreint autour de la sonde dans l'horizon de surface (20 cm) et on peut penser que la mesure de l'humidité pondérale va être représentative de l'humidité du sol aux abords de la sonde. En revanche, en profondeur (60 cm) la variabilité de l'humidité entre prélèvements est plus grande, conduisant à penser que l'établissement de la relation entre humidité mesurée et humidité enregistrée par le capteur sera fait avec moins de précision. En effet, le fait que certains CV soient élevés (jusqu'à 62%), peut laisser penser que l'hétérogénéité du milieu et par conséquent la moyenne des cinq prélèvements effectuées ne permet pas de rendre compte d'une valeur représentative de l'humidité mesurée par la sonde et ce malgré la zone étroite de prélèvement à proximité de la sonde.

Une recherche de corrélation entre le CV et les caractéristiques du sol (texture, propriétés hydrodynamiques) a été menée. Une seule corrélation significative a été trouvée indiquant un lien négatif entre le CV et la capacité au champ ($r=-0.56$, $n=24$, $p=0.004$). Ceci pourrait s'expliquer ainsi : les sols qui présentent les teneurs en eau à capacité au champ les plus faibles sont les plus sableux. Les flux de drainage dans ces sols peuvent être élevés, ce qui peut varier localement selon la charge en éléments grossiers ou la texture. Or, les prélèvements de sol ont été réalisés dans des conditions de sol très humides (voir parfois saturés). Dans les sols sableux, il est donc possible que dans ces conditions d'humidité, il y ait une plus grande variabilité de l'humidité entre les prélèvements.

Les caractéristiques des sols en profondeur, et notamment leur plus faible capacité au champ (*Figure 5)* permettrait donc d'expliquer la plus grande variabilité de l'humidité dans cette strate, et conduit, là aussi à penser que la relation entre humidité mesurée et humidité enregistrée par le capteur sera plus difficile à établir.

Ces résultats montrent de par la variabilité des coefficients de variation que la réalisation de cinq prélèvements dans le cadre de la calibration est bien nécessaire.

- Est-il possible de réaliser d'ores et déjà une calibration simplifiée ?

L'observation des humidités mesurées et constructeur montrant une sous estimation quasi systématiques des humidités volumiques constructeur vis-à-vis des humidités volumiques mesurées *(Figures 7a et 7b)* conduit à calculer le ratio entre ces valeurs, pour chacune des dates *(Annexe 4).*

L'analyse de ces ratios devrait permettre de savoir si l'écart relatif entre les valeurs est constant entre les deux dates. Si cela est démontré, cela pourrait laisser penser à une relation simple dans la calibration des sondes qui pourrait être appliquée dans le cadre d'une correction.

On pourrait également savoir si ce ratio est différent d'une sonde à une autre. Ceci pourrait confirmer la nécessité de calibrer toutes les sondes.

Cet écart est calculé par le ratio :

$$ratio = \frac{\textbf{humidité volumique constructeur}}{\textbf{humidité volumique mesurée}}$$

.

Un ratio supérieur à 1 montre que l'humidité constructeur est supérieure à l'humidité mesurée, c'est le cas pour une seule valeur qui correspond à la parcelle 20 à -60 cm. Un ratio inférieur à 1 montre que l'humidité constructeur est inférieure à l'humidité mesurée ce qui est majoritairement le cas.

Une analyse de variance est réalisée avec le ratio comme variable à expliquer. Dans une première analyse, les variables explicatives testées sont les blocs, les traitements, les dates, la profondeur et dans une seconde les sondes une par une.

Il apparait que le ratio n'est pas différent entre les dates de mesures ce qui tend à montrer que le comportement de la sonde est stable d'une date à l'autre. Ce ratio n'apparait pas différent non plus entre les profondeurs ni les traitements. On note seulement qu'ils sont différents entre bloc (bloc 1, 0,62 et bloc 2, 0,72, avec p=0.04). On constate une interaction entre deux facteurs explicatifs, il s'agit du bloc et du traitement (p=0.0094) ainsi qu'une interaction entre traitement et profondeur (p=0.0191). Une autre analyse de variance montre que le facteur sonde est significatif (p=0.0194), ainsi les sondes sont différentes entre elles, mais il ne faut pas oublier que leur fonctionnement et réponse peut être affectée par le type de sol (effet bloc)*(Figure 9).*

Cela montre que le ratio est différent pour chaque sonde et que l'on ne peut pas calculer un coefficient unique pour corriger l'humidité volumique constructeur. Une calibration sonde par sonde est nécessaire.

Dans l'objectif d'alléger la procédure globale de calibration, on pourrait espérer qu'une simplification soit faite en réalisant des groupes de sondes présentant des réactivités identiques. Compte tenu du fait que leur signal dépend des conditions locales, on peut supposer qu'il y ait des groupes de sondes par type de sol, éventuellement par type de traitement, ceux-ci induisant éventuellement des structures différentes. On voit qu'il existe des groupes de sondes (sept en tout). On pourrait donc se demander si une calibration par groupe serait pertinente. Mais mis à part un effet bloc, il n'y a aucun lien apparent entre ces sondes ni au niveau du traitement, ni de la profondeur.

La calibration par groupe de sonde ne semble pas envisageable.

On a précédemment observé un décalage entre les humidités volumiques mesurées et les humidités volumiques constructeur. En faisant l'hypothèse que l'humidité du sol est régie par une équation linéaire comme l'équation constructeur, il peut paraitre pertinent de corriger l'humidité volumique donnée par l'équation constructeur par l'humidité volumique mesurée.

Pour cela il s'agit d'appliquer un coefficient à l'humidité constructeur, correspondant au ratio Humidité volumique constructeur/ humidité volumique mesuré. Nous les décrirons dans la partie suivante.

4.3 LES PRATIQUES DE GESTION GENERENT-ELLES DES HUMIDITES DIFFERENTES ?

Nous avons vu précédemment qu'il existe une variabilité spatiale de l'humidité volumique pour une même date. La plus grande variation observée étant pour la parcelle 6 à –60cm en date 2, les humidités parmi les cinq prélèvements allant de 0.24m3/m3 à 0.50m3/m3. On souhaite à présent savoir si les traitements engendrent des flux d'eau différents.

Pour vérifier cette hypothèse, on s'intéresse d'une part aux humidités mesurées dans la calibration des sondes et d'autre part aux humidités mesurées par les sondes depuis 2008. Le but est de vérifier dans les deux cas si la variabilité des humidités est expliquée par les traitements, sachant que l'on a une forte variabilité des sols entre les blocs.

Interactions		Moyenne
Bloc 1	Ab	0,30
	Nul	0,38
	NPK	0,42
Bloc 2	Ab	0,36
	Nul	0,28
	NPK	0,40

Figure 11: Valeurs moyennes pour les interactions bloc x traitement.

4.3.1 *ANALYSE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES HUMIDITES VOLUMIQUES A UNE DATE : VALORISATION DES DONNEES DE TERRAIN*

- Le tableau en *Figure 10* propose un récapitulatif des valeurs des humidités volumiques mesurées, pour la date 2. On s'intéresse à cette date car il n'y a pas eu de pluie entre les deux jours de prélèvement. Les données acquises peuvent alors être utilisées pour tester si, à une date donnée, les humidités sont affectées par les traitements appliqués aux parcelles.

On réalise une analyse de variance des humidités mesurées soit 56 valeurs (6 parcelles x 2 sondes x 5 répétitions = 60 – 4 prélèvements non réalisées à 60cm suite à un blocage de la tarière). Les facteurs testés sont : le bloc, le traitement et la profondeur.

On constate qu'à cette date il existe une différence significative de l'humidité volumique mesurée en fonction de la profondeur (p=0,0007). L'humidité est en moyenne moins élevée à 20cm qu'à 60cm (0,31 m^3/m^3 vs 0,40 m^3/m^3). Il y a également un effet significatif du traitement (p=0,0192), avec le traitement NPK qui présente une moyenne supérieure aux deux autres (0,41 m^3/m^3 vs 0,33 m^3/m^3). Ces résultats sont surprenants car ce devrait être le traitement abandon qui devrait être plus élevé. Ce traitement n'est ni fertilisé ni fauché, la consommation par les plantes devrait être moindre conformément à Rose, et al. (2011). Enfin, on observe une interaction bloc x traitement (p=0,0423) où pour le bloc 1 Ab < Nu l < NPK et pour le bloc 2 Nul < Ab < NPK *(Figure 11).* On constate que les traitements abandon et Nul ne sont pas classés de la même manière en fonction des blocs.

Interactions		Moyenne
Bloc 1	Ab	25,40
	Nul	20,8
	NPK	15,5
Bloc 2	Ab	11,5
	Nul	16,7
	NPK	15,20

Figure 12: Valeurs moyennes pour les interactions bloc x traitement.

Ces résultats conduisent à prendre en compte les éléments grossiers dans les analyses suivantes car nous avons constaté dans la partie 4 .1 que leur proportion est significativement différente d'un bloc à l'autre, et sur le terrain lors des prélèvements nous avons constaté des différences même entre les cinq répétitions réalisées dans une parcelle. Considérer les éléments grossiers apparait aussi comme pertinent puisque la présence de cailloux pourrait augmenter la porosité du sol, en particulier par une augmentation de la proportion de pores de grosse taille, favorisant une infiltration de l'eau plus rapide que dans la terre fine.

- On réalise l'analyse de variance des éléments grossiers mesurés (en %) lors de la campagne de prélèvement de la date 2. On teste les facteurs blocs, traitements et profondeurs. Tester l'effet traitement ici n'a de sens que pour tester un éventuel effet milieu présent au sein d'un même traitement (*Annexe 5).*

On constate que les facteurs bloc (p=0,0002) et profondeur (p=0,0060) expliquent significativement une part de la variabilité des éléments grossiers, mais pas le facteur traitement. Le bloc 1 présente une moyenne supérieure en éléments grossiers que le bloc 2 (20,6% vs 14,5%), ce qui confirme les résultats du 4.1. En moyenne la profondeur 20cm est plus caillouteuse que la profondeur 60cm (19,7% vs 15,4%). Il y a aussi une interaction significative entre bloc et traitement (p=0,0008), cela veut dire que la variabilité du pourcentage d'éléments grossiers n'est pas la même pour un traitement donné entre les deux blocs. On voit que dans le

bloc 1, il y a plus d'éléments grossiers tous traitements confondus que dans le bloc 2. Dans le bloc 1 Ab > Nul > NPK et dans le bloc 2 Nul > NPK > Ab *(Figure 12)*.

En reprenant l'analyse bloc par bloc on constate un effet traitement et un effet profondeur, mais il y a une interaction entre les deux, ces résultats sont donc partiels.

On constate que l'effet sol déterminé en 4.1 s'exprime au niveau de l'humidité : le bloc 1 est le moins humide et le plus caillouteux. Le fait qu'il y a un effet sol du aux éléments grossiers, sur les humidités est vérifié par une corrélation négative entre les deux ($r=-0.49$, $n=56$, $p<0.0001$). C'est-à-dire que lorsque le pourcentage d'éléments grossiers diminue, l'humidité augmente. De ce fait il est difficile de trouver un effet traitement.

- On refait donc les tests d'analyse de variance des 56 valeurs d'humidité volumique mesurée avec les mêmes facteurs explicatifs que précédemment mais avec les éléments grossiers en covariable.

On observe que l'humidité volumique mesurée est significativement différente entre blocs ($p=0.022$) et entre profondeurs ($p=0.017$). Il n'y a plus d'effet traitement ni d'interaction significative, pour la date 2.

L'analyse de la variabilité spatiale des humidités volumiques mesurées à la date 2 témoigne d'un effet bloc et d'un effet profondeur. A cette date l'effet milieu est supérieur à l'effet traitement. Les résultats montrent également qu'il est important de considérer les éléments grossiers en covariable des analyses statistiques, afin de ne pas conclure à un effet traitement, qui provient en fait d'un effet sol.

4.3.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES HUMIDITES VOLUMIQUES A UNE DATE : VALORISATION DES DONNEES DE TERRAIN

- Description des profils hydriques corrigés par le ratio établi en 4.2:

La *figure 13,* présente pour la période allant du 05/12/2008 au 10/12/10 les profils hydriques corrigés obtenus par la multiplication entre les profils hydriques constructeurs et le ratio calculé en 4.2,. Les profils donc corrigés sont en *Annexe 6*.

Globalement à 20 cm de profondeur les courbes au sein d'un bloc et tous traitements confondus présentent d'assez fortes similitudes. En revanche à 60 cm les écarts entre les courbes sont plus importants.

Si on conduit une analyse visuelle des courbes, à une profondeur donnée et au sein d'un bloc, nous pouvons identifier des différences entre les traitements. On privilégie une description par profondeur et par bloc.

- A 20 cm de profondeur, bloc 1 : les courbes des trois traitements se superposent, avec une nuance pour le traitement abandon. Pour ce traitement, deux aspects se dégagent : un palier à saturation, alors que les autres traitements présentent des pics ; une teneur en eau plus élevée que les deux autres traitements aux périodes plus sèches. Lors de la diminution de l'humidité, on observe une cinétique de dessèchement rapide avec des amplitudes élevées, puis cette diminution ralentie, formant une courbe en creux, que l'on appellera convexe. La valeur atteinte après cette diminution pourrait être l'humidité à capacité au champ. On aurait donc ici une valeur de capacité au champ d'approximativement de 0,22 m^3/m^3.

- A 20 cm de profondeur, pour le bloc 2 : On observe ici que ce qui pourrait être la capacité au champ, est différente pour certain traitements (0,3 m^3/m^3 pour Nul et NPK, 0,16 m^3/m^3 pour Abandon). Le caractère plus argileux déjà démontré pour le bloc 2 pourrait se traduire par des formes de courbes concaves, lors de dessèchement, c'est-à-dire une diminution de l'humidité plus lente, la courbe étant en forme de bosse. Contrairement au bloc 1, c'est le traitement abandon qui montre une humidité plus faible. Une explication à cela pourrait être la proportion en éléments grossiers qui est la plus élevée à cette profondeur (11%) *(Annexe 2)*
- A 60 cm de profondeur, pour le bloc1: Les courbes sont hétérogènes. On voit que le traitement NPK a globalement des humidités inférieures au traitement NUL ce qui confirmerait les résultats de Rose, et al (2011), avec une consommation supérieure de l'eau pour les parcelles fertilisées. Il y a également des paliers, qui sont un phénomène commun pour les trois traitements: l'humidité à saturation perdure dans le temps, sur une plus longue période qu'à 20 cm (à cette dernière profondeur, palier pour le traitement abandon seulement). Tout comme à -20 cm, c'est le traitement abandon qui est le plus humide pour les faibles valeurs d'humidité, et c'est aussi pour ce traitement que des humidités élevées se maintiennent sur une longue période. On retrouve pour les trois traitements la convexité des courbes.
- A 60 cm de profondeur, pour le bloc 2 : Ici aussi les courbes sont hétérogènes. Le traitement Nul ne présente pas de palier comme les traitements NPK et Abandon, et comme on a pu le constater sur le bloc 1. La position des parcelles dans le paysage pourrait expliquer que le traitement NPK soit plus humide en moyenne que le traitement Abandon. En effet, les parcelles sont situées sur une pente (environ 5%) dans cet ordre, du haut vers le bas : Ab, NPK et Nul. Ainsi il pourrait y avoir des flux latéraux de l'une vers l'autre. Le problème est que la parcelle Nul ne présente ni palier, ni humidité élevée (à relativiser toutefois compte tenu de la correction des courbes constructeur par le ratio). On pourrait donc supposer qu'une faille soit présente sous la base de la parcelle Nul. On sait que le substratum contient des failles (voir description faite en partie 3.1.1.2). Tout comme pour le bloc 2 à 20 cm de profondeur, on retrouve la concavité des courbes lorsque l'humidité diminue.

On retient les éléments suivants :

- Les profils hydriques présentent des similitudes au sein de chaque bloc et toutes profondeurs confondues, reliées aux propriétés hydrodynamiques des sols : les courbes sont de forme convexe en bloc 1 et de forme concave en bloc2.
- Les profils hydriques présentent des similitudes par profondeur tous blocs confondus. En effet, les profils hydriques à 20 cm de profondeur présentent des pics, qui témoignent d'un drainage rapide, avec une capacité au champ qui semble être supérieure en bloc 1 qu'un bloc 2 ce qui confirme les éléments précédemment décrits. Les profils hydriques à 60 cm de profondeur, présentent un palier aux humidités les plus fortes. Ce palier traduit une accumulation de l'eau, par drainage lent et/ou par flux latéraux. De plus, l'utilisation de l'eau par les plantes à cette profondeur est moindre.
- Le traitement Abandon présente dans tous les cas les humidités les plus fortes sur la période la plus sèche, ce qui confirmerait une utilisation moindre de la réserve en eau par le couvert végétal.

- Analyse : un effet traitement apparaît-il sur le long terme ?

Cette analyse commence par la recherche d'indicateurs pertinents pour décrire et simplifier les cinétiques observées dans la partie précédente.

Nous avons choisi et calculé un certain nombre de variables pour synthétiser ces cinétiques d'humidité enregistrées pendant deux ans, susceptibles d'expliquer ces variations. Il s'agit de la moyenne, du minimum, du maximum des humidités constructeur observées sur la totalité de la période, des moyennes par saisons (Printemps, Eté, Automne, Hiver) et du ratio (Moyenne Hiver– Moyenne Eté) / Moyenne Eté, calculé pour les années 2009 et 2010. Dans le cas où les humidités mesurées par deux sondes auraient la même amplitude entre les valeurs minimum et maximum, il serait impossible de comparer leur différence ni un ratio seul. Le ratio ici calculé permet d'obtenir une valeur qui situe l'évolution dans le temps des humidités, entre deux saisons contrastées.

Une analyse de variance a été réalisée pour chacun des descripteurs, en testant les facteurs bloc, traitement et leurs interactions, par profondeur. Les données sont regroupés dans un tableau *(Annexe 7).*

Concernant les variables explicatives, moyenne totale, minimum, maximum, et moyennes par saisons, les analyses de variance n'ont pas révélé de facteurs explicatifs à la variabilité.

Concernant le ratio (Moyenne Hiver– Moyenne Eté / Moyenne Eté) présenté, il est le même pour les humidités constructeurs et les humidités constructeurs corrigées.

L'analyse de variance montre qu'à 20cm de profondeur, il y a un effet bloc (p=0,0.179) avec un ratio plus élevé dans le bloc 1 que le bloc 2 (9% vs 3.6%). Il n'y a pas d'effet traitement significatif. En revanche, à 60 cm de profondeur, il n'y a pas d'effet bloc ni traitement significatif *(Figure14).*

L'analyse visuelle des profils hydriques sur la période 05/12/2008 au 10/12/2012 fait ressortir des différences de propriétés hydrodynamiques entre les blocs et témoignent de cinétiques différentes (attendues) entre 20 et 60 cm de profondeur. La difficulté est d'identifier un possible effet traitement. On a ainsi proposé des indicateurs descriptifs simplifiés, tels que des moyennes, qui ne permettent pas d'identifier de quelconque facteur explicatif aux différences pourtant observées. On a ainsi été amené à construire un ratio, pouvant synthétiser des écarts d'humidité entre hiver et été, saisons contrastées. Dans ce cas, c'est le bloc qui explique une partie de la variabilité ainsi synthétisée. Et aucun effet traitement n'est révélé.

5 DISCUSSION

Le premier objectif du stage était la mise en œuvre d'un protocole expérimental pour la calibration des sondes capacitives en vue de le tester voire de l'améliorer.

Le second objectif du stage était d'amorcer une analyse du fonctionnement hydrique du dispositif expérimental dans le but de rechercher si les traitements de gestion induisaient des différences de ce fonctionnement.

5.1 PROTOCOLE DE CALIBRATION

La méthode mise en œuvre, basée sur le travail de Chanzy et al (1998), a été choisie car elle doit permettre de calibrer des sondes déjà installées dans le sol, et produire une équation de calibration qui permettra, en l'appliquant à des données enregistrées par chacune des sondes depuis leur mise en place, d'avoir des valeurs d'humidité corrigées, qui devraient être fidèles aux humidités volumiques des sols des parcelles où elles ont été installées.

Dans le cadre du stage, la méthode a été expérimentée sur seulement 6 des 28 parcelles du dispositif et deux dates de mesures effectuées en avril et mai 2012.

- Méthode gravimétrique :

La méthode utilisée pour obtenir les humidités du sol, qui est la méthode gravimétrique, requiert beaucoup de rigueur dans sa mise en œuvre, pour éviter les erreurs lors de l'échantillonnage (compte tenu du plan de prélèvement défini, à suivre scrupuleusement), du traitement, du transport et des pesées répétées. La méthode séchage (105°C, 48h) est arbitraire car il s'avère qu'à 105°C certaines argiles contiennent des quantités non négligeables d'eau. Certaines matières organiques qui peuvent s'oxyder et se décomposer à cette température, ce qui implique donc une perte de poids qui n'est pas liée à l'évaporation de l'eau. Enfin il s'agit d'une méthode destructive qui altère la parcelle expérimentale (Hillel, 1974). On peut se demander quels peuvent être les effets sur la circulation de l'eau (et donc sur l'humidité du sol) de l'ensemble des prélèvements. Au terme de la calibration, ce sont 30 prélèvements par sondage à la tarière (6 dates et 5 prélèvement / date – voire plus en cas d'échec du sondage) qui auront été réalisés à moins d'un mètre de chaque sonde.

Cette méthode présente des inconvénients, comme le temps important à passer pour le traitement des échantillons, le fait que cette méthode ne soit pas applicable en contrôle automatique, et enfin le fait de devoir connaitre la dentité apparente dans le but de transformer les données en humidité voumique. Elle présente également quelsques avantages comme, le fait que l'on obtienne des mesures précises et que les calculs sont simples. (Zazueta & Xin, 1994)

- Densités apparentes :

L'affectation des densités apparentes peut être discutée car elle a été réalisée à partir de prélèvements fait en 2008. Huit prélèvements avaient été réalisés par parcelle. Ces densités apparentes ont été réalisées sur des strates (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) et non à des profondeurs définies, c'est pourquoi elle à du être calculée pour la profondeur 20 cm. En effet le calcul pour ces deux profondeurs n'est pas le même car pour 20cm, c'est la moyenne entre les strates 0-20 et 20-40 qui à été retenue, dans le but d'avoir une densité plus représentative de cette profondeur, et pour 60cm c'est la valeur unique de la strate 40-60 qui a été choisie.

Les densités apparentes auraient pu être mesurées lors de l'ouverture des fosses quand les sondes ont été installées.

Il pourrait être suggéré que lors d'une prochaine date de prélèvement de sol pour la mesure des humidités pondérales, la prise d'échantillon soit faite avec un préleveur permettant de contrôler le volume de sol prélevé, de façon à mesurer à la fois l'humidité mais aussi la densité apparente du sol dans la proximité de la sonde.

- Déterminer des groupes de sondes :

On constate que les sondes ne montrent pas toutes le même ratio entre humidité constructeur et humidité mesurée. En plus, les tests statistiques ont montré que, si des groupes de sonde existent, il est difficile de les construire en tenant compte de facteurs simples (comme le bloc ou le traitement). Cela conduit à valider qu'il est nécessaire de réaliser une calibration individuelle par sonde.

- Nombre de prélèvements par date :

Le protocole prévoit de réaliser des prélèvements à 6 dates, de façon à couvrir la gamme des humidités. On peut noter qu'il n'y a pas eu d'effet significatif de la date sur ce ratio, ce qui pourrait vouloir dire que la relation entre la valeur de l'humidité constructeur et la valeur de l'humidité mesurée est linéaire. Cependant, les conditions expérimentales ont fait que les mesures bien que séparées d'un mois, se sont faites alors que les sols se trouvaient dans des états hydriques assez proches (humides à saturés). Ces résultats ne permettent donc pas de savoir si ce lien de proportionnalité sera maintenu tout au long de la gamme allant de conditions très sèches à très humides. C'est seulement en réalisant les 5 à 6 dates de mesures positionnées sur la gamme que l'on pourra disposer des éléments nécessaires pour construire une régression et déterminer les paramètres de calibration des sondes. Il faut donc maintenir ce nombre.

Le fait que les CV soient élevés montre que la variabilité de l'humidité mesurée entre chaque prélèvement pour une parcelle est élevée. Ceci nous informe de la nécessité de réaliser au moins cinq prélèvements par parcelle et par profondeur.

- Les éléments grossiers :

Nous avons constaté que la présence d'éléments grossiers de façon variable dans les parcelles a eu un effet sur la variabilité des humidités mesurées. C'est pourquoi il parait important de connaitre la proportion de ces éléments grossiers dans le but d'avoir une information supplémentaire quant à l'hétérogénéité des sols (ce qui n'était pas prévu dans le protocole initial). De plus cette donnée à été utilisée dans le cadre des analyses de variance et à permis d'observer de leur part un impact sur les flux.

C'est pourquoi lors des prélèvements de sols pour la calibration des autres sondes, le tamisage ainsi que les pesées des éléments grossiers, et le calcul de leur taux sera primordial. Il suffirait de réaliser cela sur une ou deux dates.

- Température :

Un autre paramètre pourrait être pris en compte quant à la calibration des sondes et la production de paramètres de correction. En effet, nous savons qu'il existe un grand nombre de facteurs qui peuvent influencer la mesure d'une sonde capacitive, tels que la structure du sol, la salinité, le contact sol-capteur (qui est certainement le plus important), mais aussi la température. La littérature indique une sensibilité du signal des sondes à la température. (Gaudu, et al., 1993)

5.2 RESULTATS EXPERIMENTAUX

- Une répétition par bloc testée :

Les résultats obtenus lors des analyses statistiques peuvent être remis en question sur plusieurs points. Tout d'abord, on s'intéresse à une seule répétition par bloc (il en existe deux), c'est-à-dire deux fois un même traitement. On peut se demander si en ayant effectué les deux répétitions de chaque bloc et, par conséquent, en ayant quatre jeux de données pour un même traitement, cela aurait pu permettre d'observer un effet traitement. Ceci sera démontré lorsque toutes les parcelles seront étudiées.

- Un ratio des humidités constructeur / humidités mesurées plutôt stable

On observe que les ratios sont plutôt stables entre les deux dates. Ceci veut dire qu'il y a une stabilité de l'écart entre les humidités mesurées. C'est possible car les deux dates de prélèvements on été réalisées dans une gamme d'humidité proche. On à donc tuilisé ce ration dans une première approximation comme paramètre de calibration pour transformer des humidités constructeur en humidité corrigées. A terme, lorsque les mesures d'humidité auront été faite de façon à couvrir des situations allant de sol sec à très humide, on disposera des éléments pour savoir si ce ratio reste constant sur toute la gamme et pourra être maintenu comme paramètre de calibration. Si le ratio n'est pas constant il faudra établir la régression ad hoc.

CONCLUSION

5.3 CALIBRATION DES SONDES

Les résultats obtenus nous permettent de fixer des éléments du protocole. En effet, on sait à présent que la calibration se fera sonde par sonde et que la réalisation de cinq prélèvements par parcelle est nécessaire. De plus, les mesures de densités apparentes pourront être effectuées lors des prochains prélèvements à l'aide d'un matériel spécial. Et enfin le calcul de la proportion d'éléments grossier est indispensable pour identifier un éventuel fonctionnement hydrique particulier (drainage très rapide) et se fera sur une à deux dates.

Il conviendra d'envisager aussi, une correction en fonction de la température, déjà pratiquée dans certains laboratoires.

5.4 RESULTATS

L'analyse s'est d'une part attachée à mieux décrire les caractéristiques de sols qui sont déterminantes pour les propriétés hydrodynamiques des sols : d'autre part les effets des traitements expérimentaux de gestion ont été recherchés à travers l'analyse des d'humidité volumiques ponctuelles et enregistrées via les sondes sur une période de 2 ans.

Les résultats expérimentaux nous conduisent à faire plusieurs constats. Tout d'abord, des différences entre bloc et entre profondeur apparaissent comme facteur explicatif de la variabilité des humidités, aussi bien ponctuelle qu'au niveau des profils hydriques. Ceci prouve la différence de milieux au sein du dispositif.

L'humidité est toujours plus forte à 60 cm de profondeur qu'à 20cm. Il en va de même pour les coefficients de variations. De plus la lecture des profils hydriques nous suggère l'existence de flux latéraux.

La recherche d'effets des traitements n'a pas aboutie. Le dispositif étant installé depuis 7 ans a en effet pour but de mieux comprendre l'effet des pratiques sur l'évolution des états et des propriétés des écosystèmes prairiaux. Des effets nets des traitements ont déjà été mesurés sur la production fourragère (F. Louault, com pers) et les compositions botanique et fonctionnelle de la végétation (Clément, 2010).

Pourtant nous n'avons pas observé d'effet traitement lors des premières tentatives de calibration de ces sondes. Il faudra certainement attendre d'avoir les résultats sur toutes les répétitions du dispositif pour confirmer s'il y a effet traitement ou non.

On peut aussi s'interroger sur la représentativité de l'humidité de la parcelle via une sonde par profondeur, dans un milieu aussi fortement variable compte tenu du contexte volcanique et géologique (et donc, pédologique). Des choix expérimentaux avaient du être pris lors de la mise en place du dispositif, dans un budget défini.

Ce travail a donc permis d'amorcer la réflexion quant à la dynamique de l'eau au sein du dispositif SOERE ACBB, afin de pouvoir estimer par la suite, les impacts possibles sur les flux de lessivage du carbone et de l'azote. Les travaux sont à poursuivre quant à la calibration des sondes et les analyses statistiques réalisées pour comprendre la variabilité spatiale des humidités des sols pourront être reprises. Il apparaît d'ores et déjà nettement que l'effet bloc est important, lié à des sols contrastés.

TABLE DES MATIERES

Introduction 1
1 Contexte 3
1.1 Présentation de la structure d'accueil 3
1.2 Contexte scientifique 4
2 objectifs du stage 6
3 Matériel et méthodes 7
3.1 présentation du dispositif expérimental SOERE ACBB de Theix 7
3.1.1 Le dispositif expérimental 7
3.1.2 Dans le cadre du stage: 8
3.2 La calibration des sondes 9
3.2.1 Le fonctionnement 9
3.2.2 Une calibration nécessaire: 9
3.3 Détermination des humidités volumiques 9
3.3.1 Principe 9
3.3.2 Les prélèvements de sol sur le terrain 10
3.3.3 Le traitement des échantillons au laboratoire 10
3.3.4 Calculs 10
3.3.5 Traitement des résultats 11
4 Résultats 12
4.1 Texture et propriétés hydrodynamiques des sols 12
4.2 Aspect méthodologique : calibration des sondes 13
4.2.1 Description des résultats 13
4.3 Les pratiques de gestion génèrent-elles des humidités différentes ? 15
4.3.1 Analyse de la variabilité spatiale des humidités volumiques à une date : valorisation des données de terrain 16
4.3.2. Analyse de la variabilité spatiale des humidités volumiques à une date : valorisation des données de terrain 17
5 Discussion 20
5.1 Protocole de calibration 20
5.2 Résultats expérimentaux 22
6 Conclusion 23
6.1 Calibration des sondes 23
6.2 Résultats 23
Index des illustrations 25
Glossaire 26
Bibliographie 27
Annexe 28
Résumé 35
Abstract 35

INDEX DES ILLUSTRATIONS

GLOSSAIRE

C: Carbone.

CO2: Dioxyde de carbone.

CV : Coefficient de variation.

EG : Eléments grossiers.

EFPA: Écologie des Forêts, des Prairies, et des milieux Aquatiques.

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique.

N: Azote.

UR: Unité de Recherche.

UREP: Unité de Recherche sur l'Écosystème Prairial.

BIBLIOGRAPHIE

AllEnvi, A. N. d. R. p. l., s.d. *Dossier pour une labellisation d'un "Système d'Observation et d'Expérimentation sur le long terme, pour la recherche en environnement" (SOERE)*, s.l.: s.n.

Anon., s.d. [En ligne] Available at: http://www.vetagro-sup.fr/

Anon., s.d. [En ligne] Available at: https://www1.clermont.inra.fr/urep/

Campbell, G., S., 1985: Soil *Physics with Basic*. Elsevier, Amsterdam, 150 pp.

Carte géologique à 1/50000 Clermont-Ferrand. XXV – 31.BRGM.

Chanzy, A. et al., 1998. Soil moisture monitoring at the field scale using automatic capacitance probes. *European Journal of Soil Science.*

Clément Frédéric (2010) *Réponse à moyen terme des communautés végétales de prairies permanentes suite à une modification de chargement ou de fertilisation*. Master 1, EFCE, UFR Sciences de la Vie et de l'Environnement, U. Rennes 1, 15 p.

Decagon, s.d. [En ligne] Available at: http://www.decagon.com/education/calibrating-ech2o-soil-moisture-sensors-13393-04-an/

Douglas, R., Chambers, C. & Chambers, C., 2010. *Calibrating ECH2O Soil Moisture Sensors*, s.l.: s.n.

Gaudu, JC; Mathieu, JM; Fumanal, JC; Bruckler, L; Chanzy, A; P Bertuzzi, P; Stengel, P; Guennelon, R 1993. *Mesure de l'humidité des sols par une méthode capacitive : analyse des facteurs influençant la mesure*. Elsevier / INRA.

Hillel, D., 1974. *L'eau et le sol. Principes et processus physiques.*. s.l.:Vander.

INRA, 2000. Chapitre 2 - Les éléments grossiers. Dans: *Guide des analyses en pédologie.* s.l.:s.n., p. 25.

Lemaire, G., s.d. *Prairies, Cycles biogéochimiques et Biodiversité - Effets des prairies et de leurs modes d'utilisation sur les cycles biogéochimiques, et sur la biodiversité à l'échelle locale. Analyses des impacts environnementaux.*, s.l.: s.n.

Louault, F., 2007. *Procédure ORE Theix Dispositif-Traitements-Gestion-Suivis de base*, s.l.: s.n.

Rose, L., Coners, H. & Leuschner, C., 2011. *Effects of fertilization and cutting frequency on the water balance of a temperate grassland. ECOHYDROLOGY.*

Volcanologie de la Chaîne des Puys, quatrième édition, 2004. Parc Naturel des Volcans d'Auvergne.

Zazueta, Fedro S., Xin, Jiannong. 1993. *Soil Moisture Sensor*. University of Florida - Florida Cooperative Extention Service.

ANNEXE

Annexe1 : Protocole général modifié.

Annexe 2 : Tableau récapitulatif des résultats (Humidité constructeur, humidité mesurée, sur les dates 1 et 2, pour chaque parcelle et profondeur).

ID Parcelle	Profondeur	Bloc	Traitement	mV min	Humidité constructeur min	mV max	Humidité constructeur max	DATE 1	Moyenne mV J1	Ecart type mV J1	Moyenne humidité constructeur	Moyenne humidité J1 terre totale	Ecart type humidité J1 terre totale	Moyenne humidité J1 terre fine	Ecart type humidité J1 terre fine	DATE 2	Moyenne mV J2	Ecart type mV J2	Moyenne humidité constructeur	Moyenne humidité J2 terre totale	Ecart type humidité J2 terre totale	Moyenne humidité J2 terre fine	Ecart type humidité J2 terre fine
4	20	1	5	691	0,019	1280	0,355		1030	0,5	0,212	0,347	0,020	0,437	0,013		1016	4,7	0,204	0,327	0,030	0,433	0,032
	60	1	5	780	0,069	1243	0,334		1183	0,5	0,300	0,441	0,209	0,552	0,203		1025	0,0	0,209	0,456	0,280	0,528	0,326
6	20	1	7	732	0,042	1230	0,326		942	0,0	0,162	0,304	0,021	0,356	0,022		944	0,0	0,163	0,324	0,007	0,387	0,006
	60	1	7	862	0,116	1226	0,324		1116	0,5	0,261	0,476	0,101	0,564	0,105		1081	0,0	0,241	0,508	0,102	0,593	0,100
7	20	1	4	810	0,087	1262	0,345		1053	0,0	0,225	0,334	0,017	0,423	0,026		1028	0,0	0,211	0,311	0,024	0,404	0,020
	60	1	4	894	0,134	1209	0,314		1116	0,0	0,261	0,369	0,066	0,503	0,080		1112	0,0	0,259	0,285	0,021	0,393	0,034
18	20	2	5	814	0,089	1242	0,333		1042	0,5	0,219	0,292	0,035	0,342	0,026		1038	0,0	0,217	0,255	0,025	0,315	0,012
	60	2	5	758	0,057	1286	0,358		912	0,4	0,145	0,355	0,044	0,402	0,032		915	0,0	0,146	0,294	0,075	0,348	0,097
20	20	2	7	842	0,105	1293	0,362		1154	0,0	0,283	0,300	0,028	0,369	0,023		1128	0,0	0,268	0,378	0,150	0,442	0,185
	60	2	7	832	0,099	1298	0,365		1289	0,4	0,360	0,334	0,026	0,448	0,026		1178	0,0	0,297	0,415	0,141	0,498	0,150
21	20	2	4	794	0,077	1257	0,342		941	0,5	0,162	0,279	0,028	0,338	0,037		913	0,0	0,145	0,256	0,037	0,321	0,044
	60	2	4	1017	0,205	1384	0,414		1370	0,4	0,406	0,499	0,023	0,508	0,023		1302	0,0	0,367	0,472	0,058	0,485	0,060

Annexe 3: Coefficients de variation (%) des humidités volumiques mesurées, calculés pour chacune des parcelles aux deux profondeurs et aux deux dates de prélèvement sur le terrain.

date	ID Parcelle	Profondeur	Bloc	Traitement	CV %
1	4	20	1	5	5,669
1	4	60	1	5	47,3
1	6	20	1	7	6,834
1	6	60	1	7	21,28
1	7	20	1	4	5,066
1	7	60	1	4	17,91
1	18	20	2	5	11,92
1	18	60	2	5	12,43
1	20	20	2	7	9,375
1	20	60	2	7	7,692
1	21	20	2	4	10,19
1	21	60	2	4	4,698
2	4	20	1	5	9,186
2	4	60	1	5	61,48
2	6	20	1	7	2,234
2	6	60	1	7	20,03
2	7	20	1	4	7,887
2	7	60	1	4	7,496
2	18	20	2	5	9,675
2	18	60	2	5	25,62
2	20	20	2	7	39,63
2	20	60	2	7	33,95
2	21	20	2	4	14,42
2	21	60	2	4	12,23

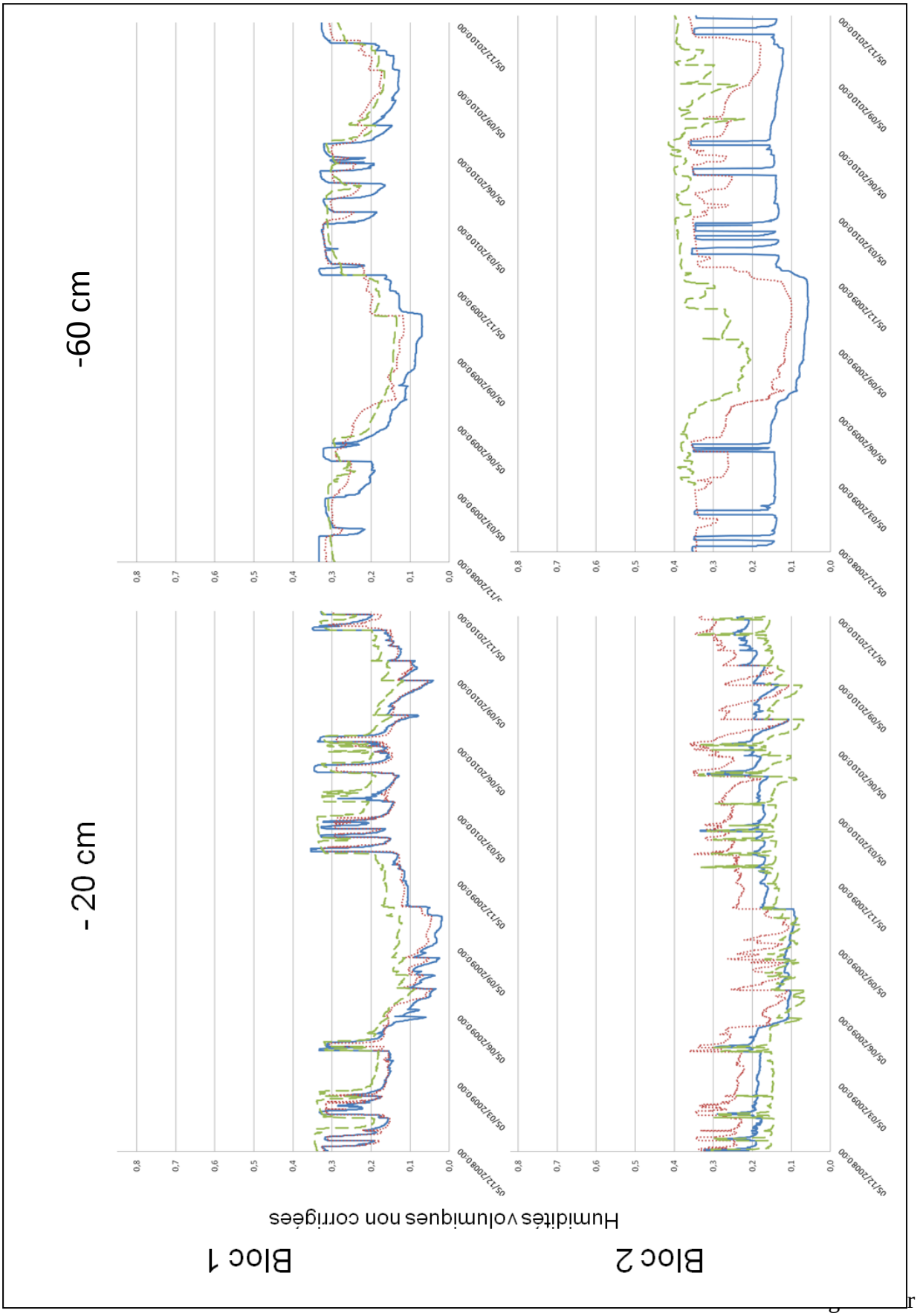
Annexe 4 : Ratios (%) des humidités volumiques constructeur sur les humidités volumiques mesurées, calculés pour chacune des parcelles et des profondeurs aux deux dates de mesures sur le terrain.

date	ID Parcelle	Profondeur	Bloc	Traitement	Ratio %
1	4	20	1	5	61,23
2	4	20	1	5	62,45
1	6	20	1	7	53,21
2	6	20	1	7	50,37
1	7	20	1	4	67,47
2	7	20	1	4	67,92
1	18	20	2	5	75,03
2	18	20	2	5	85,07
1	20	20	2	7	94,17
2	20	20	2	7	70,87
1	21	20	2	4	57,83
2	21	20	2	4	56,69
1	4	60	1	5	67,96
2	4	60	1	5	45,92
1	6	60	1	7	54,96
2	6	60	1	7	47,48
1	7	60	1	4	70,76
2	7	60	1	4	91
1	18	60	2	5	40,78
2	18	60	2	5	49,82
1	20	60	2	7	107,7
2	20	60	2	7	71,56
1	21	60	2	4	81,51
2	21	60	2	4	77,81

Annexe 5: Tableau présentant les pourcentages d'éléments grossiers par parcelle et profondeur, ainsi que les humidités volumiques correspondantes.

ID Parcelle	Profondeur	Bloc	Traitement	Humidité volumique mesu	EG%	ID Parcelle	Profondeur	Bloc	Traitement	Humidité volumique mesu	EG%
4	20	1	5	0,300	26,91	18	20	2	5	0,225	24,12
4	60	1	5			18	60	2	5	0,188	9,16
4	20	1	5	0,334	22,39	18	20	2	5	0,244	21,65
4	20	1	5	0,287	29,08	18	60	2	5	0,367	10,90
4	20	1	5	0,360	26,36	18	20	2	5	0,283	11,01
4	60	1	5	0,258	13,29	18	60	2	5	0,309	14,66
4	20	1	5	0,358	20,75	18	20	2	5	0,277	15,97
4	60	1	5			18	60	2	5		
4	20	1	5	0,321	22,38	18	20	2	5	0,244	23,33
4	60	1	5	0,654	13,77	18	60	2	5	0,312	24,17
6	20	1	7	0,328	16,06	20	20	2	7	0,310	15,17
6	60	1	7	0,356	18,24	20	60	2	7	0,301	28,39
6	20	1	7	0,330	14,35	20	20	2	7	0,643	16,62
6	60	1	7	0,609	10,54	20	60	2	7	0,355	15,01
6	20	1	7	0,324	14,16	20	20	2	7	0,343	10,18
6	60	1	7	0,456	19,43	20	60	2	7		
6	20	1	7	0,311	20,32	20	20	2	7	0,276	15,28
6	60	1	7	0,572	14,94	20	60	2	7	0,619	14,36
6	20	1	7	0,326	16,54	20	20	2	7	0,319	12,55
6	60	1	7	0,546	10,65	20	60	2	7	0,383	10,96
7	20	1	4	0,278	29,75	21	20	2	4	0,242	20,30
7	60	1	4	0,319	25,39	21	60	2	4	0,500	3,73
7	20	1	4	0,332	20,04	21	20	2	4	0,259	18,65
7	60	1	4	0,279	27,32	21	60	2	4	0,508	2,55
7	20	1	4	0,300	20,48	21	20	2	4	0,233	18,81
7	60	1	4	0,263	27,90	21	60	2	4	0,492	2,21
7	20	1	4	0,338	21,43	21	20	2	4	0,228	24,14
7	60	1	4	0,274	24,09	21	60	2	4	0,492	2,52
7	20	1	4	0,305	24,47	21	60	2	4	0,492	2,52
7	60	1	4	0,289	32,82	21	60	2	4	0,492	2,52

Annexe 6 : Graphiques humidité volumique non corrigée en fonction du temps sur la période 05/12/08 à 10/12/10. (Courbe bleue trait plein Nul, courbe rouge pointillés NPK, et courbe verte en tirets Abandon)



Aide à la compréhension des flux d'eau dans les sols prairiaux.

Annexe 7: Tableau des analyses de variance des descripteurs des profils hydriques.

-20cm

Constructeur

	Traitements	Ab	Nul	NPK	Bloc	Blatière	Moine
Moyenne	NS	0,177	0,161	0,193	NS	0,171	0,183
Médiane	NS	0,167	0,165	0,195	NS	0,161	0,189
Printemps 2009	NS	0,173	0,17	0,2	NS	0,178	0,484
Eté 2009	NS	0,119	0,088	0,123	NS	0,09	0,129
Automne 2009	NS	0,136	0,104	0,14	NS	0,15	0,15
Hiver 2009/2010	NS	0,218	0,186	0,23	NS	0,22	0,203
Printemps 2010	NS	0,203	0,194	0,225	NS	0,206	0,209
Eté 2010	NS	0,149	0,152	0,169	NS	0,145	0,169

Constructeur corrig

	Traitements	Ab	Nul	NPK	Bloc	Blatière	Moine
Moyenne	NS	0,207	0,273	0,257	NS	0,242	0,25
Médiane	NS	0,195	0,28	0,259	NS	0,23	0,26
Printemps 2009	NS	0,202	0,287	0,268	NS	0,253	0,251
Eté 2009	NS	0,139	0,15	0,162	NS	0,125	0,175
Automne 2009	NS	0,159	0,178	0,184	NS	0,145	0,202
Hiver 2009/2010	NS	0,256	0,314	0,308	NS	0,309	0,276
Printemps 2010	NS	0,239	0,328	0,299	NS	0,291	0,286
Eté 2010	NS	0,175	0,259	0,225	NS	0,205	0,234

-60cm

Constructeur

	Traitements	Ab	Nul	NPK	Bloc	Blatière	Moine
Moyenne	NS	0,29	0,179	0,246	NS	0,229	0,248
Médiane	NS	0,311	0,167	0,255	NS	0,232	0,257
Printemps 2009	NS	0,314	0,193	0,272	NS	0,247	0,271
Eté 2009	NS	0,201	0,098	0,15	NS	0,142	0,158
Automne 2009	NS	0,236	0,082	0,139	NS	0,152	0,163
Hiver 2009/2010	NS	0,336	0,245	0,309	NS	0,288	0,304
Printemps 2010	NS	0,34	0,217	0,295	NS	0,278	0,29
Eté 2010	NS	0,276	0,156	0,238	NS	0,2	0,249

Constructeur corrig

	Traitements	Ab	Nul	NPK	Bloc	Blatière	Moine
Moyenne	NS	0,423	0,347	0,43	NS	0,373	0,427
Médiane	NS	0,455	0,323	0,447	NS	0,377	0,44
Printemps 2009	NS	0,458	0,374	0,475	NS	0,402	0,469
Eté 2009	NS	0,291	0,191	0,256	NS	0,229	0,264
Automne 2009	NS	0,336	0,16	0,23	NS	0,228	0,256
Hiver 2009/2010	NS	0,492	0,475	0,544	NS	0,474	0,534
Printemps 2010	NS	0,5	0,422	0,519	NS	0,457	0,504
Eté 2010	NS	0,399	0,308	0,423	NS	0,324	0,429

RESUME

Le Système d'Observation et d'Expérimentation en Recherche en Environnement, Agro-écosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité (SOERE-ACBB) est un dispositif expérimental qui est constitué d'un ensemble de trois sites expérimentaux de long terme dont celui de Theix (Auvergne, Puy de Dôme) et qui est dédié à l'étude de la dynamique d'évolution des écosystèmes prairiaux de moyenne montagne.

Le but de ce stage était de participer à l'amélioration des connaissances des flux d'eau en sol prairial. C'est pourquoi le stage comporte deux aspects qui sont 1) la contribution à l'élaboration d'un protocole expérimental, dans le cadre de la calibration de sondes capacitives ; 2) l'analyse des humidités volumiques données par les sondes et des humidités volumiques mesurées pour essayer de mettre en évidence un éventuel effet des pratiques de gestions sur ces flux.

Les travaux ont porté sur les données acquises en six parcelles réparties en deux blocs et en trois traitements (Abandon, fertilisation nulle ou fertilisation NPK en parcelle fauchées). La calibration des sondes capacitives implique d'établir une régression entre des valeurs d'humidité mesurées et les valeurs données par les sondes. Dans le cadre de cette calibration, on a effectué des prélèvements de sol (cinq par parcelle), à 20 cm et 60 cm de profondeur (profondeurs des deux sondes par parcelle) pour déterminer à proximité des sondes l'humidité volumique du sol. Deux dates de prélèvements ont pu être réalisées sur la période du stage.

Nous avons d'abord caractérisé l'hétérogénéité du sol, qui différencie les blocs. Nous savons à présent qu'elle implique une calibration sonde par sonde, avec au moins cinq prélèvements par sonde. La correction des données collectées par les sondes n'est pas aboutie mais le protocole a pu être modifié.

Les valeurs d'humidité ont été analysées par analyses de variance. Si la variabilité des humidités s'explique en partie par l'effet bloc, il n'a pas pu être montré d'effet des traitements sur ces humidités avec le jeu de données que nous possédons actuellement. Il faut donc aller au bout de la calibration (toutes les sondes et toutes les dates) pour conclure sur un possible effet traitement.

Mots clés: Ecosystème prairial, Humidité du sol, Sonde capacitive, Propriétés hydrodynamiques.

ABSTRACT

The SOERE-ACBB experimental design aims to study the grassland ecosystem dynamics in uplands (Auvergne, Puy de Dôme).

The study concerns the analysis of soils moisture under the grassland subjected to different grassland management. The study was conducted i) to initiate a procedure of capacity probe calibration, and ii) to analyse soil water content profils collected during 2 years under 6 plots, in order to detect management effect on soil humidity.

Data were collected on 6 plots, belonging to 2 blocs and representing 2 repetitions of 3 management treatments (Abandon, No fertilisation under cutting regime, NPK fertilisation under cutting regime). Soil moisture measured with five soil sample collected at 20 and 60 cm in the 6 plots at 2 dates was compared to probe signal. Probes display individual sensitivity which leads to make a probe by probe calibration.

Soil moisture was mainly influenced by soil characteristics (bloc effect). Large soil heterogeneity among plots doesn't allow to show any treatment effect.

Keywords: Grassland ecosystem, Soil moisture, Capacity probe, Hydrodynamic properties.