



HAL
open science

Mesures in situ de la lixiviation des nitrates et pesticides en situations agricoles : fiabilité et ergonomie

Marc Benoit, Richard Cherrier, Marina Pitrel, Arnaud Gobillot

► To cite this version:

Marc Benoit, Richard Cherrier, Marina Pitrel, Arnaud Gobillot. Mesures in situ de la lixiviation des nitrates et pesticides en situations agricoles : fiabilité et ergonomie. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2017, 7 (2), pp.41-47. hal-02617588

HAL Id: hal-02617588

<https://hal.inrae.fr/hal-02617588>

Submitted on 25 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Décembre 2017
volume n°7 / numéro n°2
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Les ateliers Terrain,
Pour une démarche participative
en agronomie clinique



Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : afa@supagro.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication

Marc BENOÎT, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial

Pierre-Yves LE GAL, chercheur Cirad

Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra
- Gérard CATTIN, retraité de la chambre d'agriculture de la Marne
- Joël COTTART, agriculteur
- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech
- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Yves FRANCOIS, agriculteur
- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole
- Laure HOSSARD, ingénieure de recherche Inra Sad
- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice
- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier
- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais
- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea
- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche
- Marc MIQUEL, consultant
- Bertrand OMON, Chambre d'agriculture de l'Eure
- Thierry PAPILLON, enseignant au lycée agricole de Laval
- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro
- Philippe PRÉVOST, Chargé des coopérations numériques à Agreenium
- Guy TREBUIL, Cirad
- Anne VERDENAL, agricultrice
- Jean-Marie VINATIER, Responsable Agro-Environnement, Chambre d'agriculture Auvergne-Rhône Alpes

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément

(voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

Avant-propos

P7 - O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) et M. BENOÎT (Président de l'Afa)

Éditorial

P9 - PREVOST, A. MICHEL, P.Y. LE GAL, G. CATTIN (coordonnateurs du numéro)

Les ateliers Terrain : pour une agronomie en situation

P13 – Une brève histoire de l'agronomie clinique depuis le XIX^{ème} siècle. Trois pratiques de l'observation in situ : les conférences agricoles, les tours de plaine et les ateliers Terrain

M. BENOIT et F. KNITTEL

P19 - Les ateliers Terrain de l'Afa : objectifs, méthodes et mise en pratique

A. MICHEL et G. CATTIN

La gestion des ressources naturelles

P23 - Biodiversité tellurique et pratiques culturelles

J.R. MORONVAL

P29 - Les pratiques de gestion de l'activité biologique du sol en viticulture méditerranéenne

P. PREVOST

P33- Gérer la biodiversité dans les espaces agricoles : quelles connaissances utiles pour l'action ?

H. GROSS

P41 – Mesures in situ de la lixiviation des nitrates et pesticides en situation agricole : fiabilité et ergonomie

M. BENOIT, M. PITREL, R. CHERRIER et A. GOBILLOT

P49- Enjeux et défis de l'irrigation en France : points de vue de l'Association Française pour l'Eau, l'Irrigation et le Drainage (AFEID)

S. BOUARFA, G. BELAUD, A. BOUTTHIER, J.Y. GROSCLAUDE, B. LACROIX, B. MOLLE, D. ROLLIN, J. TOURNEBIZE, C. SERRA WITTLING et B. VINCENT

L'évolution des techniques culturales et des systèmes de culture

P57 - Le semis direct sur couverture végétale

P. POINTEREAU

P65 - Evolution des techniques d'implantation des cultures

C. LECLERCQ et V. CORFDIR

P75 - Pratiques culturales pour la réduction des intrants phytosanitaires en vigne périurbaine

F. MACARY

P85 - Diminution de la part d'azote minéral dans les systèmes de culture champenois

G. CATTIN

P91 - Evolution des systèmes de culture en région céréalière : exemple de deux exploitations agricoles dans la Vienne

J.L. FORT et S. MINETTE

P97 - La reconception d'un système de culture en arboriculture fruitière

P. PREVOST

P107 - Intérêts agronomiques des associations productions animales-productions végétales : réflexions à partir d'une étude de cas d'une exploitation en polyculture-élevage de l'Ouest de la France

J. BOIFFIN, B. DROUIN, A. MICHEL et T. PAPILLON

P115 - Evolutions récentes des pratiques de grande culture en France métropolitaine : techniques de raisonnement et usages des intrants

R. REAU, V. DEYTIEUX, L. GUICHARD, C. MIGNOLET, M.S. PETIT, C. SCHOTT

La relation agricultures-territoires

P129 - La prise en compte des potentialités agronomiques des terres dans les logiques d'acteurs : l'atelier Terrain « un pour tous, tous autour du sol »

A. GOSSELIN

P141 - Réaménagement foncier territorial et agro-écologique dans la vallée de la Bruche : le paysage au cœur des enjeux comme outil et projet

R. AMBROISE, M. BENOIT et J.S. LAUMOND

P149- Agricultures et territoires : parcours insolites et permanences inattendues

S. LARDON

Note de lecture

P159 - Comprendre et accompagner l'évolution des stratégies de conduite des vergers dans les exploitations arboricoles. Application à la protection phytosanitaire de la pomme en France

S. PISSONNIER et P.Y. LE GAL



Mesures in situ de la lixiviation des nitrates et pesticides en situations agricoles : fiabilité et ergonomie

Marc BENOÎT* - Richard CHERRIER**
Marina PITREL*** - Arnaud GOBILLOT*

*Inra SAD unité Aster, Mirecourt

**Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine et actuellement Chambre d'Agriculture de Meurthe-et-Moselle, Laxou

***Agence de l'eau Rhin-Meuse, Rozérieulles
Contact auteur : marc.benoit@inra.fr

Introduction

Le projet des ateliers Terrain de l'Association française d'agronomie a été validé en septembre 2011 pour concrétiser un lien et un dialogue entre agronomes de différents métiers (agriculteurs, conseillers, enseignants, chercheurs, etc.). Ces ateliers sont l'occasion d'échanger des points de vue et des connaissances sur les nouveaux enjeux agricoles et les questions qu'ils posent à l'agronomie et pour avancer conjointement dans la compréhension de défis locaux. La mutualisation des connaissances permet à chacun d'enrichir son activité quotidienne. Les ateliers Terrain visent enfin à renforcer les actions reliant la discipline et sa mise en œuvre pratique.

Ainsi, s'est concrétisée en Lorraine l'idée de réunir des agronomes de divers métiers pour échanger sur les atouts, les enjeux, les intérêts et les limites de différents dispositifs de mesure de la qualité



Photo 1 : Mesurer la qualité des eaux en parcelles agricoles pour aider les agronomes à imaginer des solutions innovantes de protection des ressources en eau de Lorraine

L'enjeu traité est celui de la mesure in situ, en parcelles agricoles, des qualités des eaux produites par diverses situations agronomiques : systèmes de culture-sols-climats. Les dispositifs sont discutés tant sur leur fiabilité que sur leur ergonomie, en particulier sur l'articulation entre la mise en œuvre de pratiques agricoles usuelles et les mesures des qualités des eaux répétables sur un temps long.

Sous un ciel encore clémente, dans une ambiance détendue grâce au café et aux viennoiseries, Marc Benoit, chercheur à l'INRA Aster à Mirecourt et représentant de l'Afa, a inauguré la journée en présentant à tous le programme et les objectifs de cet atelier Terrain : *communiquer entre agronomes*

des eaux. De nombreuses discussions ont émergé sur cette thématique à travers les visites de plusieurs sites (en place depuis plusieurs décennies pour certains, ou depuis l'an dernier pour d'autres) ; l'enjeu étant de faire plus largement connaître les dispositifs existants et leur capacité à répondre aux défis qui relient agriculture et qualité de la ressource.

Cet article reprend successivement (i) la question traitée et le déroulement de l'atelier, (ii) les sites visités et les échanges entre les participants, (iii) une courte synthèse sur l'histoire et l'efficacité des dispositifs de mesures in situ des pertes nitriques et en pesticides, (iv) enfin, une conclusion sur les enjeux qu'ouvre cet atelier pour les agronomes.

Présentation de la problématique de l'atelier et de son déroulement

Trente-deux participants, acteurs de la recherche, du développement et de l'enseignement, se sont retrouvés le 2 mai 2012 pour participer au premier atelier Terrain de l'Afa en Lorraine. Cet atelier itinérant a permis aux agronomes d'échanger sur la thématique de la qualité des eaux en territoires agricoles, autour des dispositifs de mesure et d'amélioration de la qualité des eaux (visites de sites de drainage équipés, de sites à bougies poreuses, et de zones humides de remédiation). Cette journée « déambulatoire » de Laxou à Villey-Saint-Etienne, et de Courcelles-Chaussy à Jallaucourt, permit des échanges poursuivis de site en site. Elle était co-organisée par Richard Cherrier (CRAL), Marina Pitrel (AERM) et Marc Benoît (Afa et INRA Aster à Mirecourt).

Ce rendez-vous sur le terrain proposa donc un échange autour d'une question agronomique d'intérêt régional : les actions agronomiques collectives d'amélioration de la qualité de l'eau dans l'Est de la France, quels enjeux, résultats et perspectives pour les agronomes ?

afin de s'enrichir mutuellement des expériences de chacun et favoriser un partage des savoirs le plus riche possible. S'en est suivi un tour de présentation des différents participants, issus des Chambres d'Agriculture, d'Agences de l'eau, de coopératives, instituts, de l'INRA, ou simplement agronomes passionnés, y compris jeune retraité !

Les sites visités et les échanges entre les participants

Première étape : les sites à bougies poreuses de Villey-Saint-Etienne

Richard Cherrier et Nathaël Leclech de la Chambre Régionale, gestionnaire de l'installation, se sont ensuite relayés pour présenter l'historique et les particularités de ces parcelles équipées de sites à bougies poreuses.



Photo 2 : site à bougies poreuses, vue d'ensemble (Villey-saint-Etienne, 54) ; CRAL

Quel est l'impact des pratiques agricoles sur l'évolution de la qualité de l'eau et sur les transferts de produits phytosanitaires dans les eaux ? Ces deux problématiques ont guidé la réflexion du programme régional d'études sur les sites à bougies poreuses (de 1999 à 2005 pour les pratiques de fertilisation et depuis 2005 pour les travaux sur les produits phytosanitaires).

Le principe de la bougie poreuse consiste à faire passer, à l'aide d'une dépression, la solution du sol à l'intérieur d'un tube en PVC munie d'une tête en porcelaine poreuse. Cette bougie est positionnée horizontalement à 1 m de profondeur sous le système racinaire. Ce dispositif permet de ne pas pénaliser les interventions culturales et de ne pas modifier le profil pédologique. Des prélèvements d'eau sont réalisés tous les 40 mm de précipitations ou toutes les deux semaines. L'eau extraite de la bougie est ensuite analysée (dosage des nitrates et/ou produits phytosanitaires).

Dans une même parcelle, cinq fosses mitoyennes ont été équipées de sept bougies en étoile afin d'étudier les effets de cinq pratiques différentes (intensive, raisonnée, intégrée, etc.). Les effets de la dose, de la date d'application, du travail du sol et du système de culture ont été évalués. Afin de disposer de références dans plusieurs contextes pédo-climatiques, la CRAL possède trois sites pérennes équipés de bougies poreuses depuis 1999 et 2005 pour le dernier : Villey-Saint-Etienne (54), sol superficiel argilo-calcaire ; Rolainville (88), sol argilo-limoneux profond ; et Ludelange (57), sol limoneux battant profond.

Ces résultats bougies poreuses confirment que le raisonnement de la fertilisation azotée pratiquée depuis le début des années 90 permet de limiter les flux d'azote dans les eaux de lessivage. En ce qui concerne les produits phytosanitaires, on se rend compte que le devenir des produits après application est un processus complexe, dépendant des caractéristiques du produit (nature chimique des molécules), mais aussi des conditions du milieu (travail du sol, date et dose d'application, lame drainante, etc.). Ces résultats d'expérimentation seront complétés par les expérimenta-

tions du programme Eau'bjectif 2015 (partenariat CRA Lorraine - Agence de l'eau RM).

Marc Benoît a ensuite fait un rapide historique de ce type d'installation, initiée par le travail de Ballif et Féodoroff en 1969 à l'INRA de Châlons-sur-Marne, et présenté les travaux bougies poreuses de l'INRA de Mirecourt, acteur pionnier de ces dispositifs. Un temps d'échanges informels s'est installé autour de la parcelle puis l'ensemble du groupe est remonté en voiture pour se diriger vers le lycée agricole de Courcelles-Chaussy, où un buffet bienvenu a été servi. Les participants ont pu profiter de ce moment de détente pour discuter en petits groupes de leurs différentes activités, des problèmes qu'ils y rencontraient, ou de leurs passions. L'après-midi a ensuite commencé par une présentation par Colette Kieffer d'un site de drainage équipé d'appareils de mesure de débit et de prélèvement d'eau asservi au débit.



Photo 3 : site à bougies poreuses, sortie des capillaires de prélèvements des eaux en bordure de parcelle (Villey-saint-Etienne, 54) ; CRAL

Deuxième étape : les parcelles drainées du lycée agricole de Courcelles-Chaussy

L'objectif de ce site, présenté par Colette Kieffer, est de mesurer l'incidence de la modulation de l'IFT herbicide sur la qualité des eaux de drainage dans le but de fournir des références aux conseillers pour contractualiser des MAE « réduction des herbicides » auprès des agriculteurs dans de bonnes conditions. Sont mises à disposition pour ce projet quatre parcelles agricoles (15 ha) drainées individuellement. Les drains de chacune des parcelles rejoignent des collecteurs spécifiques permettant de diriger les eaux vers la « cabane qualité des eaux ».

Deux parcelles sont conduites en itinéraire technique conventionnel et deux parcelles en itinéraire raisonné. Les eaux de drainage arrivent dans quatre bacs de prélèvement pour être collectées (prélèvement asservi au débit) puis réfrigérées avant analyse. En parallèle, des comptages d'adventices et l'évaluation des composantes du rendement sont réalisés dans les parcelles.

On retrouve globalement plus de produits phytosanitaires dans les eaux des parcelles conventionnelles que dans les eaux des parcelles raisonnées. La flore adventice y est cependant plus présente, sans que cela influe fortement sur le rendement.

Pour conclure, on retrouve de nombreux produits phytosanitaires dans les eaux de drainage, ainsi que leurs produits de dégradation (rémanence variant de quelques mois à plusieurs années). La diminution de l'IFT est possible en jouant sur différents leviers tels que : le choix des variétés, la pratique du faux-semis, le décalage de la date de semis, la densité de semis, le désherbage mécanique, le traitement phytosanitaire localisé, la réduction de dose, etc... ; certains de ces leviers étant très dépendants des conditions climatiques. La réduction de l'IFT n'a eu que peu d'impact sur les rendements jusqu'à présent.

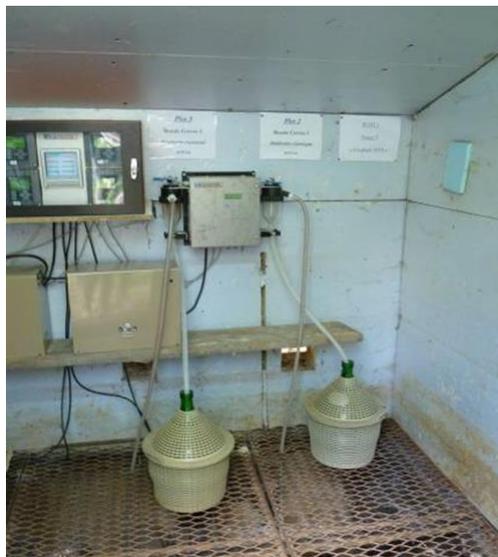


Photo 4 : équipement de mesure des débits et prélèvement des échantillons d'eau du réseau de drainage ; EPLEA Courcelles-Chaussy (57)

Troisième étape : les zones humides de remédiation, le cas de Jallaucourt

La journée s'est achevée par la visite du dernier site au programme : un dispositif filtrant en sortie de drainage agricole. Nicolas Chartier, de la Chambre Régionale, a tout d'abord présenté les objectifs de cette expérimentation.



Photo 5 : zone humide de remédiation de Jallaucourt (57) ; vue paysagère ; CRAL



Photo 6 : zone humide de remédiation de Jallaucourt (57) ; vue du dispositif de mesure ; CRAL

Le drainage agricole, s'il offre la possibilité de cultiver des terres lourdes dans un climat lorrain difficile, présente un important inconvénient environnemental : il connecte la solution du sol avec les cours d'eau, facilitant ainsi la fuite de nitrate, phosphate et molécules phytosanitaires dans le milieu naturel. La mise en place de dispositifs épuratoires en sortie de drainage représente donc un levier potentiellement intéressant pour limiter les rejets des polluants dans le milieu, en complément d'une politique de réduction de leur utilisation.

La capacité épuratrice a été évaluée sur divers systèmes rustiques de filtration, afin d'identifier les meilleurs compromis efficacité/acceptabilité pour les exploitants.

Le site visité est muni d'un dispositif dit « botte de paille », mais il existe également des « mare-tampon », des fossés courts re-végétalisés ou non. Territorialement, ces dispositifs s'insèrent dans les bandes enherbées. Une mesure continue du débit est assurée grâce à un débitmètre enregistreur hauteur-débit. Des prélèvements sont effectués, asservis au débit, afin d'avoir un échantillon représentatif de la qualité de l'eau de drainage.

Cette première année a permis de faire un état des lieux des molécules retrouvées mais a surtout été l'année de la mise en place du dispositif (conditions de faisabilité), d'ajustement du protocole, tant au niveau des prélèvements (fréquence, quantité) que des analyses. Les résultats appellent donc à beaucoup de prudence dans leurs interprétations, mais nous notons que certaines molécules, telles que l'AMPA, sont retrouvés dans près d'un tiers des prélèvements. La capacité des ouvrages à diminuer la quantité de produits entre l'entrée et la sortie du dispositif reste pour l'instant limitée, avec des résultats très variables en fonction des molécules, des sites, de la période, etc. On ne peut donc pas encore conclure à un fort bénéfice environnemental de ces dispositifs, même si les résultats sont encourageants en ce qui concerne les nitrates.

Brève histoire et fonctionnement des méthodes de mesures in situ des pertes nitriques et en pesticides : fiabilité, ergonomie pour les agronomes

En accord avec Titus et Mahendrappa (1996) qui ont proposé une définition qui englobe l'ensemble des modèles, nous définissons un dispositif lysimétrique comme étant un dispositif implanté in situ servant à mesurer des flux volumé-

triques d'eau avec ou sans l'application de tension, ou à collecter des échantillons d'eau pour fins d'analyses d'éléments dissous et/ou en suspension d'origine naturelle ou anthropique. Pour chacune des méthodes lysimétriques, il existe de nombreuses variantes et définitions (Aboukhaled *et al.*, 1986).

Pour construire ces références in situ, de nombreuses méthodes de mesure des concentrations et des flux de nitrates lixiviiés d'un profil de sol peuvent être utilisées. Ainsi, niveau de précision des mesures, reproductibilité, coût, sont des exemples de critères (Addiscott, 1990) régissant le choix du système de mesure qui sera le mieux adapté à ses objectifs d'études. Depuis les comparaisons réalisées par Addiscott en 1990, quelques auteurs ont confronté différents systèmes de mesure (Grossman et Udluft, 1991 ; Hendershot et Courchesne, 1991 ; Weihermüller *et al.*, 2005).

Nous exposerons successivement les lysimètres, les sites à bougies poreuses, les parcelles drainées ; et pour chacun des dispositifs, une brève histoire de leur apparition dans le monde des agronomes, et les principales caractéristiques lors de leurs usages in situ en parcelles agricoles.

Les lysimètres

Brève histoire

Les premières recherches introduisant la technologie du lysimètre dans des études des composants du sol et des flux d'eau remontent au 17^{ème} siècle par De La Hire mathématicien et météorologue de Louis XIV (De la Hire, 1703 ; Dalton, 1802). Celles-ci ont connu un développement rapide seulement au cours des cinq dernières décennies. Le premier lysimètre à sol non remanié (Monolith) fut établi à Rothamsted (Angleterre) en 1870 (Lawes *et al.*, 1881a et 1881b). Le rapport de la séance de l'académie de l'agriculture du 4 avril 1995 montre trois périodes principales d'installations de lysimètres en France. La première entre 1879 et 1950 voit seulement la réalisation de trois dispositifs, dont le premier fut implanté en Lorraine sous la houlette de Nicolas Grandeau. Cinq sont installés entre 1950 et 1960. A partir de 1960 jusqu'à 1995 quarante-six dispositifs ont vu le jour. Depuis, de nombreuses versions existent (ouvert, fermé, par gravité, par succion, etc.) (Muller, 1996).

Fonctionnements des lysimètres : intérêts et limites pour les agronomes

Dans sa conception la plus simple, la lysimétrie, c'est la mesure volumétrique de toutes les entrées et sorties d'eau d'un récipient qui contient une masse de sol isolée à surface nue ou végétalisée (Aboukhaled *et al.*, 1986). Ainsi, une case lysimétrique s'apparente à un dispositif qui isole une colonne de sol et comporte à sa base un système de récupération des eaux qui percolent. La face supérieure est exposée à l'action des agents atmosphériques, tandis que la face inférieure, drainée permet de déterminer les caractéristiques de la solution évacuée par drainage (Goss *et al.*, 2010). Les dimensions sont très variables d'un dispositif à l'autre (entre 0.27 m² et 20 m²). Ces cuves permettent de réaliser un bilan complet des composés minéraux et organiques par la mesure directe des entrées et des sorties sur une colonne verticale de sol (Muller&Bolt, 2009). Le volume d'eau drainé est estimé par la collecte au niveau de la partie inférieure du lysimètre. Les collecteurs d'eau peuvent être installés sous

le lysimètre ou au niveau des bordures des parcelles où ils sont implantés (Bergström, 1996 ; Baker et Timmons, 1994 ; Bergström et Jarvis, 1993). Le cumul de ce volume couplé aux analyses de chaque échantillon permet de déterminer la quantité d'élément lixiviié sur la période de mesure. Du rapport de ces deux variables découle la concentration annuelle moyenne en azote nitrique.

Le lysimètre peut être installé en parcelle cultivée sans gêne pour les pratiques agricoles. Les critères influençant principalement son utilisation concernent le remaniement ou non du sol étudié. Les systèmes en sol non remanié aussi nommé bloc monolithe sont mis en place par enfouissement vertical du cylindre lysimétrique, à l'aide d'un bras de pelle hydraulique (Müller & Bolte, 2009 ; Ballif & Muller, 1993). La plaque de fond est ensuite insérée horizontalement. Trois tuyaux perforés percent le bas de la cuve et sont interconnectés pour l'évacuation des percolats du fond de la cuve lysimétrique vers une chambre de visite en bordure de champ, où un bidon récolte les eaux de percolation (Fonder *et al.*, 2010). Au sein des systèmes de sols repositionnés, la cuve est remplie des couches successives de sol, soigneusement séparées lors du creusement, sur base des observations du profil pédologique, le remplissage doit ensuite être très soigneux pour diminuer les artéfacts pédologiques internes au lysimètre (Scholl et Hibert, 1973 ; Vertès et Simon, 1992 ; Johnson *et al.*, 1995 ; Troxler *et al.*, 1998 ; Weihermuller *et al.*, 2007).

Il est difficile d'estimer les moyens humains associés à la mise en place et au suivi de telle infrastructure. Close *et al.* (2004) indique qu'une installation de trois lysimètres de 50 cm de diamètre coûtent environ 23 000 euros (25 000 US \$). Corwin *et al.* (1994) l'estime comme étant inférieur à 3700 euros par unité installée (4000 \$US). Le type de lysimètre choisi va fortement influencer sur les coûts d'achat et de suivi. Par exemple, un lysimètre pesable hydraulique peut coûter deux fois plus qu'un lysimètre à drainage libre (Aboukhaled *et al.*, 1986). Les versions avec dispositif de pesée intégrée peuvent facilement dépasser les 50.000 \$US. De même, le temps nécessaire à la construction et à l'installation peut atteindre plusieurs mois et nécessite l'intervention d'un personnel spécialisé. En général, les dispositifs simples à drainage libre sont moins coûteux que des dispositifs à succion contrôlée (Weihermüller, 2007).

La charge de travail et le coût associé à la mise en place de tels dispositifs (Bergström *et al.*, 1990) obligent à une utilisation de longue durée. En conséquence, de telles installations sont principalement utilisées dans des dispositifs expérimentaux de longue durée. Par exemple, d'importants champs d'étude lysimétriques sont nécessaires pour étudier les effets à long termes de pratiques de labour (Goss *et al.*, 1993), de gestion de pâturage (Scholefield *et al.*, 1993). Cette technique permet souvent d'apprécier les pertes en nitrates sur des systèmes de manière pluriannuels et donc d'évaluer les conséquences d'effets cumulatifs.

Les sites à bougies poreuses

Brève histoire

Le principe des bougies poreuses a été décrit pour la première fois par Briggs et McCall en 1904. Utilisée depuis plus de 50 ans maintenant (Wagner, 1962), la bougie poreuse est une technique qui permet la collecte de flux d'eau sous raci-

naire. Ce système a donc déjà prouvé son efficacité à mesurer la lixiviation du nitrate sous l'horizon sous racinaire (Féodoroff et Ballif, 1969 ; Poss et al., 1995 ; Benoît et al., 1995, Heydel et al., 1998).

Fonctionnements des sites à bougies poreuses : intérêts et limites pour les agronomes

La mise en place de bougies poreuses reste relativement simple en comparaison des autres moyens de mesure. Elles peuvent être installées au sein du sol dans plusieurs orientations (Mitchell et van Genuchten, 1993) : à l'horizontale, à la verticale, avec un angle de 45° par rapport à la surface ou strictement verticale (Mitchell et al., 2001). Une comparaison des deux dispositifs horizontaux et verticaux montre que les résultats sont semblables entre les deux dispositifs ($P \geq 0.05$) (Mitchell et al., 2001). Cependant, l'implantation horizontale à 90 cm de profondeur est préconisée. Cet agencement, bien que nécessitant de plus importants travaux de terrassement dans les parcelles, a l'avantage de ne pas entraver l'exécution de toutes les pratiques agricoles (travail du sol, pâturage, etc.). De plus, un dispositif de type horizontal évite d'endommager le couvert végétal lors des prélèvements. De même, la disposition horizontale des bougies limite les écoulements préférentiels le long du tube et la contamination par de la terre issus de l'horizon de surface (Benoit et al., 1995). Cependant, une année de stabilisation est parfois nécessaire à l'obtention de résultats représentatifs (Benoit, 2014).

La qualité des résultats va dépendre du nombre de bougies implantées par site et de la précision d'installation. Pour le premier critère, il est nécessaire d'installer plusieurs bougies poreuses pour mieux représenter la variabilité spatiale; de bons résultats étant obtenus avec 6 à 8 bougies par parcelle (Vos et al., 2004). Pour le second critère, le contact entre la céramique et le sol environnant, de nombreux auteurs montrent que l'utilisation d'un pralin (issus de la terre extraite de l'emplacement visé), préalablement tamisé, autorise le passage de l'eau entre les deux milieux (Wood, 1973 ; Quin & Forsythe, 1976). Grossmann et Udluft (1991) montrent, par exemple, que le bon contact sol/céramique est d'autant plus important à construire si le sol est sableux ou à forte pierrosité.

Contrairement aux mesures avec un lysimètre fermé, il reste nécessaire d'estimer le drainage pour accéder aux flux (volume d'eau percolée ou poids d'azote nitrique lixivié par unité de temps). Pour cela, un modèle de bilan hydrique élaboré à partir de données météorologiques ou de dispositif lysimétrique permet de calculer les flux d'eau à partir d'une estimation de tous les autres termes du bilan (apport d'eau, évapotranspiration, variation de stock d'eau dans le sol et flux de ruissellement éventuel).

Les auteurs concluent pour la plupart que les dispositifs comportant des bougies poreuses restent faciles d'installations, de suivis et présentent un coût relativement faible (Hansen & Harris 1975 ; Webster et al., 1993). Le coût de ce type de dispositif reste fortement dépendant de la technique d'implantation des bougies définies. En effet, une pose horizontale comprend des opérations de terrassement et des besoins en matériel plus conséquent. Ledgard et al. (1996) estiment le coût d'installation et de suivi de 60 bougies poreuses à 38 000 euros (41 600 \$US).

Le drainage agricole

Brève histoire

Selon la littérature (G. Trouche, in le site *Les mots de l'agronomie*), le drainage souterrain est connu et pratiqué depuis 2.200 ans, et ce, dans plusieurs régions du monde. En Amérique du Nord, il fait son apparition aux États-Unis vers la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. Ce terme, issu du verbe anglais to drain, apparaît en français au milieu du XIX^e siècle (Dauzat, 1954 ; Perrey, 1981 ; Centre National de Ressources Textuelles et Linguistiques, 2012). Le terme drainage regroupe l'ensemble des aménagements hydro-agricoles à l'échelle de la parcelle destinés à désengorger les sols qui sont en excès d'eau au moins une partie de l'année. En France, presque 3 millions d'hectares sont actuellement drainés, essentiellement par tuyaux enterrés. Les surfaces drainées représentent ainsi 12 % de la Surface Agricole Utile (SAU) (d'après le Recensement Général Agricole, RGA, en 2010) avec des taux qui peuvent atteindre 90% de surface drainée au niveau des petits bassins agricoles amont. Le principe du drainage est la création d'un exutoire artificiel pour évacuer gravitairement les eaux (Billy, 2008). Ces dispositifs d'évacuations des excès d'eaux peuvent être assimilés à des lysimètres géants (Arlot, 1999 ; Kladvikvo et al., 2004). On considère alors que le réseau de drainage capte la majorité des flux de percolations (Henine et al., 2010) ou à tout le moins que les flux drainés sont représentatifs de l'ensemble de l'infiltration.

Fonctionnements des prélèvements à partir de drains agricoles : intérêts et limites pour les agronomes

L'installation d'un réseau de drainage est en général longue et coûteuse. La majorité des études actuelles sont donc réfléchies sur des systèmes déjà existants. Le fonctionnement hydraulique des parcelles drainées se caractérise par des débits de pointe brefs suivis par des phases de tarissement de longue durée. De tels systèmes de mesure paraissent plus adaptés à des dispositifs d'études de longue durée. Difficile à installer dans le cadre d'une expérimentation, ils ont l'avantage d'être présents dans de nombreuses parcelles. Cela permet ainsi un suivi dynamique des pertes à l'échelle de la parcelle et au sein de zones diverses d'un territoire composé de parcelle drainée.

Comme pour les autres systèmes de mesures, il convient de réaliser les mesures des débits et des concentrations pendant la période de drainage, pour représenter au mieux les divers épisodes de drainage. L'étude conjointe de la qualité de l'eau et des transferts hydrauliques permet de comprendre la chronologie et l'intensité des exportations d'azote par les eaux de drainage agricole. Une étude comparant lysimètre et drainage (Bergström, 1984) recommande l'utilisation du lysimètre pour estimer les flux d'eau au sein d'une parcelle. En effet, la moindre dynamique de l'eau de drainage au sein des réseaux de drainage semble expliquer cette différence. Il confirme ainsi d'anciens travaux (Hood, 1977) montrant que 20% du volume des précipitations est mesuré en sortie de drain contre 38% pour des mesures sous lysimètres.

Bien que les opérations pour la mise en place de réseaux de drainage soit conséquentes, ces dispositifs sont intéressants car ils sont installés pour une longue durée. Leur installation

est la plupart du temps davantage motivée par la nécessité d'améliorer les conditions de culture d'une parcelle que par l'envie de réaliser un suivi expérimental. En effet, cette installation reste coûteuse pour l'expérimentateur (1500 – 2000 €/ha). Il est donc plus intéressant de valoriser le suivi de parcelles drainées existantes, par des échantillonnages d'eau répétés sur la campagne, que de mettre en place un réseau de drainage dans une parcelle précise. La cartographie des parcelles drainées sur un territoire et leur suivi présente ainsi un moyen efficace pour les agronomes, ergonomique et économique de suivre différentes pratiques.

Les conclusions de l'atelier et les perspectives

Cet atelier centré sur les suivis d'eaux issus de milieux agricoles a mobilisé des agronomes de diverses compétences et de 14 organismes différents. Cette diversité des métiers d'agronomes s'est confrontée à la diversité des dispositifs dont disposent les agronomes pour répondre à la question suivante : quelles qualités d'eau sont issues de diverses situations agronomiques « systèmes de culture-sols-climats ». Les comparaisons de méthodologies lors de cette journée de terrain ont été complétées par les arguments publiés dans la bibliographie. Ceux-ci concluent pour la plupart que les mesures réalisées à l'aide de cases lysimétriques sont les plus fiables. Juste derrière celles-ci beaucoup considèrent que le suivi à l'aide de bougies poreuses permet davantage de précision que l'étude de la lixiviation par la réalisation de prélèvement de sol, les classiques « profils azotés » des agronomes. Par contre, dès lors que les écoulements d'eau semblent complexes, les études avec les bougies poreuses sont plus fiables.

Une étude comparative sur 3 ans de ces trois mesures (Webster *et al.*, 1993) présente des différences entre méthodes lors de la première année. La cause de ces différences serait liée à la perturbation du sol autour du dispositif lors de son installation. Cependant, les années suivantes, les mesures réalisées avec les bougies poreuses et les cases lysimétriques aboutissent aux mêmes concentrations en nitrate lixivié. Seules les concentrations calculées à partir des extractions de sols présentent des valeurs significativement plus faibles. Zotarelli *et al.* (2007) confirment cette différence.

Ainsi la fiabilité d'une technique repose sur sa capacité à pouvoir réaliser des prélèvements d'eau dans le temps et l'espace.

L'ergonomie de mise en place et d'usage montre une balance favorable aux dispositifs drainés avec prélèvements asservis aux volumes écoulés, et à ceux mobilisant des bougies poreuses adossés au calcul de la lame d'eau drainante. Les situations visitées et les témoignages des pilotes de ces dispositifs ont confirmé ces acquis bibliographiques. La dimension essentielle de cette ergonomie étant de permettre tous types d'usages des parcelles par les agriculteurs, ou gestionnaires de fermes expérimentales, et ceci jusqu'à 60 cm de profondeur, évitant des interactions délicates avec des outils de travail du sol profonds. Donc, selon les conditions locales, les deux dispositifs, suivis des collecteurs de drainage et sites à bougies poreuses enterrées permettent aux agronomes de mesurer in situ la lixiviation des nitrates

et pesticides en situations agricoles, avec des niveaux satisfaisants d'ergonomie et de fiabilité.

Bibliographie

Aboukhaled A., Alfaro J.F. & Smith M., 1986. Les Lysimètres. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, n°39. Rome : FAO.

Addiscott T.M., 1990 - Measurement of nitrate leaching : a review of methods. Nitrates, Agriculture, Eau. Paris 7-8 nov. 1990. INA-PG.

Arlot, M.-P., 1999. Nitrates dans les eaux. Drainage acteur, drainage témoin ?, PhD Thesis, Paris VI, Paris, 446 p .

Baker, J.L., Timmons, D.R., 1994. Fertilizer management effects on leaching of labeled nitrogen for no-till corn in field-lysimeters. Journal of Environmental Quality 23, 305-310.

Ballif, J.L., Muller, J. (1990). Les bougies poreuses et les lysimètres. Perspectives Agricoles (144), 72-81.

Benoît M., Saintôt D., Gaury F., 1995. Mesures en parcelles d'agriculteurs des pertes en nitrates. Variabilité sous divers systèmes de culture et modélisation de la qualité de l'eau d'un bassin d'alimentation. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France 81, 175-188.

Benoit M., 2014. Nitrogen losses in arable cropping systems: nitrate leaching and nitrous oxide emissions in organic and conventional systems in the Seine basin (France). Thèse de doctorat en Environnement - Agronomie.

Bergström, L. 1987. Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. J. Environ. Qual. 16: 11-18.

Bergström, L., Jarvis, N., 1993. Leaching of dichloroprop, bentazon, and Cl in undisturbed field lysimeters of different agricultural soils. Weed Science 41, 251-261.

Billy C., 2008, Transfert et rétention d'azote à l'échelle d'un bassin versant agricole artificiellement drainé. Thèse. Université Pierre et Marie Curie.

Briggs, L. and A. McCall, 1904. An artificial root for inducing capillary movement of soil moisture. Science, 20 : 566-569.

Centre National de Ressources Textuelles et Linguistiques, 2012. Ortolang.

De la Hire, P., 1703. Remarques sur l'eau de la pluie, et sur l'origine des fontaines; avec quelques particularités sur la construction des cisternes. Mémoires de l'Académie Royale 1703, 56-69.

Dalton, J., 1802. Experiments and observations to determine whether the quantity of rain and dew is equal to the quantity of water carried off by the rivers and raised by evaporation; with an enquiry into the origin of springs. In: Memoirs of the Proceedings of the Literary and Philosophical Society of Manchester 5 Part 2, pp. 346-372.

Dauzat A, 1954. Dictionnaire étymologique de la langue française. 827 p. Larousse , 10e édition. Féodoroff A., Ballif J.L., 1969. Etude de l'infiltration in situ à l'aide de tensiomètres. Annales Agronomiques 20, 475-504.

- Fonder N., 2010. Suivi de la percolation du nitrate en terres cultivées par la technique lysimétrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(S1), 17-25.
- Goss M.J., Ehlers W. & Unc A., 2010. The role of lysimeters in the development of our understanding of processes in the vadose zone relevant to contamination of groundwater aquifers. *Phys. Chem. Earth*, 35(15-18), 913-926.
- Grossmann, J., Udluft, P., 1991. The extraction of soil water by the suction-cup method: a review. *Journal of Soil Science* 42, 83-93.
- Hansen, E.A. & Harris, A.R. 1975. Validity of soilwater samples collected with porous ceramic cups. *Soil Science Society of America Proceedings* 39, 528-536.
- Hendershot, W.H. and F. Courchesne. 1991. Comparison of soil solution chemistry in zero tension and ceramic-cup tension lysimeters. *Journal of Soil Science* 42:577-583.
- Henine, H., Nédélec, Y., Augéard, B., Birgand, F., Chaumont, C., Ribstein, P., Kao, C., 2010. Effect of Pipe Pressurization on the Discharge of a Tile Drainage System. *Vadose Zone J.* 9, 36.
- Heydel, L, 1998. Diagnostic et maîtrise des contaminations des eaux souterraines par les résidus d'atrazine. Thèse INPL, Vandoeuvre-Les-Nancy, 159 p.
- Hood, A.E.M. 1977. High fertilizer application on grassland. *Rep Welsh Soils Discuss. Group* 18 :25-42.
- Johnson, D.W., R.F. Walker, and J.T. Ball. 1995. Lessons from lysimeters: Soil N release from disturbance compromises controlled environment study. *Ecol. Appl.* 5:395-400.
- Kladivko, E.J., Frankenberger, J.R., Jaynes, D.B., Meek, D.W., Jenkinson, B.J., Fausey, N.R., 2004. Nitrate leaching to sub-surface drains as affected by drain spacing and changes in crop production system. *J. Environ. Qual.* 33, 1803-1813.
- Lawes, J.B., Gilbert, J.H., Warington, R., 1881a. On the amount and composition of the rain and drainage-waters collected at Rothamsted. Part I and II. The amount and composition of rainfall. *Journal of the Royal Agricultural Society of England* 17, 241-279.
- Lawes, J.B., Gilbert, J.H., Warington, R., 1881b. On the amount and composition of the rain and drainage-waters collected at Rothamsted. Part II cont. The amount and composition of the drainage-waters from unmanured fallow land. *Journal of the Royal Agricultural Society of England* 17, 311-350.
- Ledgard, S.F., Clark, D.A., Sprosen, M.S., Brier, G.J. & Nemaia, E.K.K. 1996. Nitrogen losses from grazed dairy pasture, as affected by nitrogen fertiliser application. *Proceedings of the New Zealand Grasslands Association*, 57, 21-25.
- Mitchell, M.J., G. McGee, P. McHale, and K. Weathers. 2001. Experimental design and instrumentation for analyzing solute concentrations and fluxes for quantifying biogeochemical processes in watersheds. p. 15-21. In *Methodology Paper Ser. of the 4th Int. Conf. on ILTER in East Asia and Pacific Region, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia*.
- Mitchell, A., van Genuchten, M.T., 1993. Flood irrigation of a cracked soil. *Soil Science Society of America Journal* 57, 490-497.
- Muller, J.C., 1996. Un point sur trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). *INRA, Comifer*, 389 p.
- Müller J. & Bolte A.. 2009. The use of lysimeters in forest hydrology research in north-east Germany / *Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research* 1 2009 (59) : 1.
- Perrey C., 1981. Historique du drainage. In : Concaret J., dir. *Le drainage agricole. Théorie et pratique. Chambre d'Agriculture de Bourgogne* : 5-12.
- Poss, R., A.D. Noble, F.X. Dunin and W. Reyenga, 1995. Evaluation of ceramic cup samplers to measure nitrate leaching in the field. *Eur. J. Soil Sci.*, 46: 667-674.
- Quin, B. & Forsythe, F. 1976. All-plastic suction lysimeters for the rapid sampling of percolating soil water. *New Zealand Journal of Soil Science* 19, 145-148.
- Scholefield D., Tyson K.C., Garwood E.A., Armstrong A.C., Hawkins J., Stone A.C. 1993. "Nitrate leaching from grazed grassland lysimeters: effects of fertilizer input, field drainage, age of sward and patterns of weather", *J. of Soil Science*, 44, 601-613.
- Scholl D.G. and Hibbert A.R. 1973. Unsaturated flow properties used to predict outflow and evapotranspiration from a sloping lysimeter. *Water resources research*. Pp. 1645-1647.
- Titus, B. D. & M. K. Mahendrapa 1996. *Lysimeter System Designs Used in Soil Research: A Review*. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. Newfoundland and Labrador Region, Information Report N-X-301, 113p.
- Troxler, J., M. Zala, A. Natsch, J. Nievergelt, C. Keel, and G. Defago. 1998. Transport of a biocontrol pseudomonas fluorescens through 2.5-m deep outdoor lysimeters and survival in the effluent water. *Soil Biol. Biochem.* 30 : 621-631.
- Vertes F. et Simon J.-C, 1992. Nitrate leaching in grazed pasture : a lysimeter experiment using N enrichment as a means of determining nitrogen fixation and animals return. BGS, third research conference, Greenmount College of Agriculture and Horticulture, (Antrim, Irlande du Nord, 2-4 septembre), Session VII, 161-162.
- Wagner, G.H., 1962. Use of porous ceramic cups to sample soil water within the profile. *Soil Sci.* (94), 387-386.
- Webster C, Shepherd M, Goulding K, Lord E 1993. Comparisons of Methods for Measuring the Leaching of Mineral Nitrogen from Arable Land. *J Soil Sci* 44:49-62.
- Weihermüller, L. 2005. Comparison of different soil water extraction systems for the prognoses of solute transport at the field scale using numerical simulations, field, and lysimeter experiments. *Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt/Environment* 55.
- Wood, W.W. 1973. A technique using porous cups for water sampling at any depth in the unsaturated zone. *Water Resources Research* 9, 486-488.