



Mécanismes et dynamique des écoulements préférentiels dans les sols non saturés. Application au transport préférentiel de polluants.

L. Pietro

► To cite this version:

L. Pietro. Mécanismes et dynamique des écoulements préférentiels dans les sols non saturés. Application au transport préférentiel de polluants.. PNRH-09-97, 1998. hal-02836305

HAL Id: hal-02836305

<https://hal.inrae.fr/hal-02836305>

Submitted on 7 Jun 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.

Rapport d'Activités 1998

Projet PNRH 09 -97

Titre du Projet : Mécanismes et dynamique des écoulements préférentiels dans les sols non saturés.
Application au transport préférentiel de polluants

Coordinateur du Projet : Liliana DI PIETRO

OCTOBRE 1998

RAPPORT D'ACTIVITE 1998**DU PROGRAMME PNRH-09/97****Titre du projet :**

Mécanismes et dynamique des écoulements préférentiels dans les sols non saturés : Application au transport préférentiel de polluants

Décision no : 97 -PNRH 09

du 07/07/97 et 02/04/98

Fin du Projet : 09/99

Montant attribué (HT) : 500 000 FF

Autres financements (HT) : NON

Laboratoire coordinateur :
Unité de Science du Sol , INRA Avignon

Adresse : Domaine St. Paul,
Site Agroparc, 84914 Avignon
Cedex 9

No Unité (pour CNRS) : ____

Directeur : Laurent BRUCKLER

Tel : 04.90.31.61.22

Fax : 04.90.61.62.44

Email : bruckler@avignon.inra.fr

Responsable(s) du Projet :

Liliana DI PIETRO

Personnes participant à la recherche :

Nom	Organisme/ Labo	Qualité	Temps Consacré %
Di Pietro L.	INRA Avignon	CR1 INRA	50 %
Bertuzzi, P.	INRA Avignon	IR2 INRA	20 %
Bruckler, L.	INRA Avignon	DR2 INRA	5 %
Mohrath, D.	INRA Avignon	AI INRA	50 %
Angulo, R.	LTHE Grenoble	CR1 CNRS	30 %
Haverkamp, R.	LTHE Grenoble	DR2 CNRS	10 %
Schiavon, M.	INRA Nancy	Professeur	10 %
Perrin, C.	INRA Nancy	Maître de Conf.	50 %
Florentin, L.	INRA Nancy	Ingénieur	25 %
Colin, B.	INRA Nancy	Technicien	50 %
Sanchez J.	CEREG Strasbg	CR1 CNRS	20 %
Ambroise, B.	CEREG Strasbg	DR2 CNRS	10 %
Auzet, V.	CEREG Strasbg	CR1 CNRS	10 %
Trautmann, M.	CEREG Strasbg	T3 CNRS	10 %
Andrieux, P.	INRA Montpellier	IR2 INRA	25 %
Huttel, O.	INRA Montpellier	TR INRA	20 %
Voltz, M.	INRA Montpellier	DR2 INRA	10 %
Germann, P.	Univ. Berne	Professeur	20 %
Etudiants :			
Sauvetre, J.	INRA Avignon	DESS Grenoble 1	100 %
Garrigues, E.	INRA Avignon	Maîtrise Paris XII	100 %
Alishabi, O.	LTHE Grenoble	DEA INP Grenoble	100 %
Lutz, P.	LTHE Grenoble	DEA Grenoble 1	100 %
Bohy, M.	CEREG Strasbg.	DEA ULP Strasbg	100 %
Flammer, I.	Univ. Berne	Thèse U. Berne	100 %
Buness, A.	Univ. Berne	Post Doctorant	100 %

Mots Clés : Ecoulements Préférentiels – Sols non saturés – Propriétés hydrodynamiques et hydrodispersives-Transport rapide de polluants - Modélisation

RAPPORT D'ACTIVITE 1998 DU PROGRAMME PNRH 09/97

OBJECTIFS ET PRODUITS ATTENDUS DE L'ETUDE :

Le projet est structuré en trois axes de travail, dont les objectifs fixés sur deux années sont respectivement:

Axe I : Dynamique et mécanismes des écoulements rapides dans les sols structurés :

- I. 1 Analyser le domaine d'application et les limites de deux approches différentes de modélisation des écoulements préférentiels : l'approche darcienne multimodale et la théorie des ondes cinématiques.
- I. 2 Développer ou mettre au point de nouvelles méthodes expérimentales permettant d'obtenir les fronts d'humectation rapides à des pas de temps courts, pour mieux caractériser les écoulements rapides et pour valider les approches théoriques.

Axe II : Estimation des propriétés hydrodynamiques et hydrodispersives au voisinage de la saturation :

- II. 1 Développer des méthodes pour estimer les propriétés hydrodynamiques et hydrodispersives au voisinage de la saturation.
- II. 2 Comparer des protocoles divers sur des échantillons communs.
- II. 3 Caractériser la porosité fonctionnelle au voisinage de la saturation en fonction de l'intensité de l'apport d'eau.
- II. 4 Interpréter les résultats par l'approche darcienne et par la théorie des ondes cinématiques.

Axe III : Transport Préférentiel des Substances Polluantes :

- III. 1 Etudier la dynamique des transferts rapides des pesticides à une échelle locale dans deux sols typiques du plateau lorrain.
- III. 2 Appliquer l'approche de modélisation la mieux adaptée à l'interprétation des pertes rapides des pesticides.

Les principaux produits attendus de l'étude sont :

- L'obtention d'un protocole de caractérisation des propriétés hydrodynamiques au voisinage de la saturation,
- L'obtention d'une méthode de mesure des écoulements préférentiels en temps réel,
- La détermination des limites des approches théoriques existantes en vue du développement d'un modèle de prédiction des écoulements rapides,
- La caractérisation des mécanismes des pertes rapides d'eau au fond de la couche labourée d'un sol de Roujan (Montpellier) et de pesticides dans deux sols typiques du plateau lorrain (Nancy).

METHODES

Axe I :

- Analyse du front d'infiltration rapide et des hydrogrammes de drainage en fonction de la profondeur à des pas de temps courts sur des colonnes de sols non remaniés.
- Analyse des solutions numériques des modèles de gaz sur réseau.
- Utilisation et développement des méthodes d'imagerie tridimensionnelle (tomographie électrique et tomographie acoustique) pour caractériser les fronts d'infiltration.

Axe II :

- Test et/ou développement de diverses méthodes d'estimation des propriétés hydrodynamiques au voisinage de la saturation en laboratoire, et comparaison avec une méthode in situ (infiltrométrie TRIMS).

Axe III :

- Utilisation combinée de l'infiltration de l'eau et de traceurs dans des colonnes de sols non remaniés.
- Analyse des courbes d'élution et des hydrogrammes de drainage.
- Application et test de deux approches de modélisation.

RAPPORT D'ACTIVITE 1998 DU PROGRAMME PNRH 09/97

PRINCIPAUX RESULTATS ACQUIS

Les principaux résultats acquis pendant la première année du présent projet sont décrits succinctement ci-dessous pour chaque axe du projet :

Axe I : Dynamique et mécanismes des écoulements rapides dans les sols structurés

On décrit les activités réalisées en fonction des objectifs fixés :

I. 1 Domaine d'application et limites de deux approches de modélisation des écoulements préférentiels

Cette année on a concentré les efforts sur l'étude du domaine d'application de la théorie des ondes cinématiques. L'application de l'approche darcienne multimodale est envisagée en deuxième année.

THEORIE DES ONDES CINEMATQUES (INRA AVIGNON – UNIVERSITE DE BERNE) :

La validité de l'approche des ondes cinématiques a été testée, d'une part, sur des données obtenues en expériences d'infiltration dans des colonnes de sol non remanié (Université de Berne) et, d'autre part, sur des données numériques obtenues par la méthode de gaz sur réseau (INRA Avignon).

Différentes simulations d'infiltration ont été réalisées sur des milieux poreux à double porosité avec un modèle de gaz sur réseau 3D. Les solutions numériques pour la teneur en eau et le flux ont été obtenues pour différentes intensités de l'apport d'eau en surface. Ces solutions ont été comparées à la solution analytique du modèle des ondes cinématiques pour les mêmes conditions aux limites. Les solutions numériques obtenues par la méthode du gaz sur réseau montrent que le front d'humectation se distord au fur et à mesure qu'il avance dans le milieu et que cet effet est plus marqué pour les intensités de pluie les plus faibles (Figure 1).

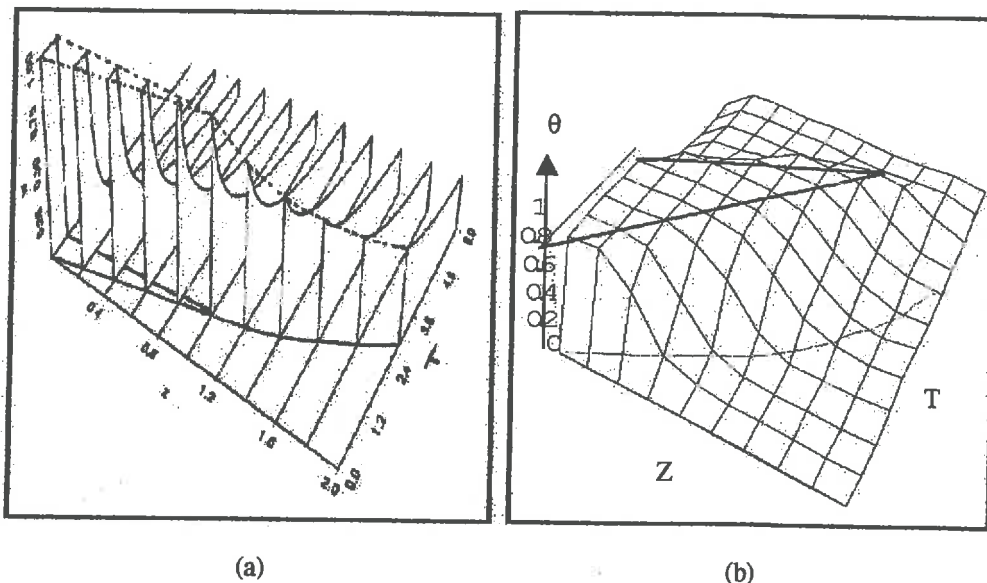


Figure 1. Evolution du front d'humectation en fonction de la profondeur et du temps pour un pulse carré d'eau appliqué à la surface. Solution analytique des ondes cinématiques (a) et solution numérique du modèle de gaz sur réseau (b), (INRA Avignon).

Les données des expériences réelles sur des sols non remaniés montrent le même effet. L'approche des ondes cinématiques ne considère pas les effets dispersifs dus à la prédominance des forces capillaires aux faibles vitesses d'écoulement. L'analyse des courbes caractéristiques sur les solutions numériques nous a permis de formuler l'hypothèse qu'un modèle cinématique – dispersif peut décrire le front d'humectation

pour toutes les intensités de pluie. La démarche consiste à ajouter un terme diffusif au modèle des ondes cinématiques. La validité de cette hypothèse sera testée pendant la deuxième année du projet.

I. 2 Développement de nouvelles méthodes de mesure des fronts rapides d'humectation

Les instruments utilisés couramment ne permettent pas d'évaluer correctement les flux préférentiels, leur hétérogénéité et leur vitesse étant l'objet des mesures. Les sondes TDR ayant une fréquence de mesure d'environ 60 s, certains écoulements trop rapides ne sont pas détectables. Par ailleurs, leur volume de mesure est trop grand pour pouvoir distinguer les voies de circulation de l'eau. Les sondes capacitatives ont une fréquence de mesure de l'ordre d'une seconde, temps adapté pour le suivi des fronts rapides. Cependant leur volume de mesure étant très local il est alors nécessaire d'insérer un grand nombre de sondes pour réaliser une cartographie de l'eau sur un plan donné ce qui n'est pas possible sans distordre tout le milieu. Conformément aux objectifs prévus nous avons exploré des systèmes d'imagerie tridimensionnelle en temps réel.

TOMOGRAPHIE RESISTIVE ELECTRIQUE (INRA AVIGNON – UNIVERSITE DE LANCASTER – INRA NANCY)

Des expériences d'infiltration sur une colonne de sol non remanié (sol brun de La Bouzule, Nancy) ont été réalisées, en collaboration avec l'Université de Lancaster, pour tester l'efficacité de la méthode de tomographie électrique à détecter les chemins préférentiels. L'apport d'eau a été réalisé par un simulateur de pluie construit à ces fins. On a mesuré les hydrogrammes de drainage et on a estimé les profils de résistivité électrique à l'intérieur de la colonne durant l'infiltration et le drainage. La résistivité électrique étant fonction de l'humidité du sol, celle-ci peut être estimée après étalonnage de l'appareil. La figure 2 montre le dispositif expérimental et une reconstruction du champ d'humidité avant l'infiltration. Les profils horizontaux de résistivité obtenus à différentes profondeurs durant l'infiltration et durant le drainage montrent l'adaptabilité de la méthode à détecter l'hétérogénéité du front d'humectation. Le tomographe utilisé peut atteindre une bonne résolution spatiale mais au détriment de la fréquence temporelle de mesures et viceversa. Ces limitations ne sont pas inhérentes à la méthode mais à l'instrument utilisé. Le développement d'un système n'ayant pas ces contraintes est donc envisagé dans l'avenir.

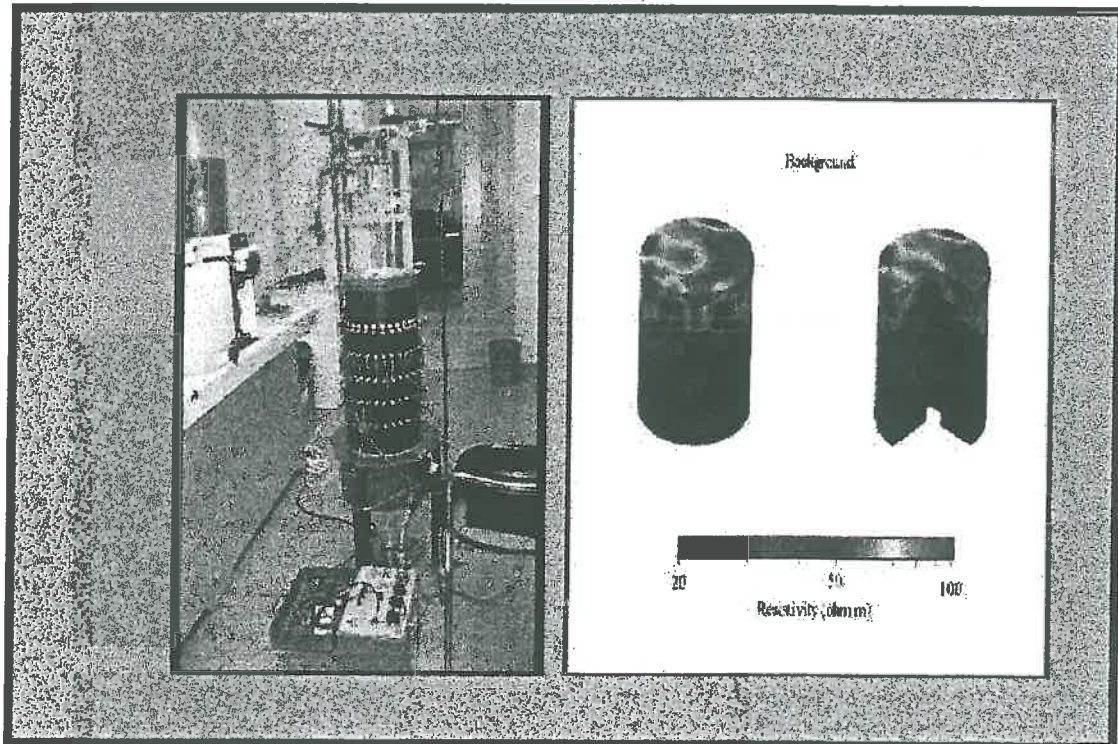


Figure 2: Dispositif expérimental d'estimation de l'infiltration par tomographie électrique. Reconstruction 3D de la humidité du sol avant l'infiltration (INRA Avignon – Université de Lancaster – INRA Nancy)

TOMOGRAPHIE ACOUSTIQUE (UNIVERSITE DE BERNE) :

Un système de tomographie acoustique par transmission a été développé. La performance du système pour détecter des écoulements rapides est actuellement à l'étude. Le système est très sensible à l'impédance acoustique des électrodes de contact, phénomène à l'origine de problèmes de reproductibilité des mesures.

Axe II : Estimation des propriétés hydrodynamiques au voisinage de la saturation

Les activités développées pendant la première année correspondent principalement à l'objectif II. 1 fixé et en partie à l'objectif II. 3. L'atteinte des objectifs II. 2 et II. 4 dépend de la complète réalisation du premier et fera l'objet des activités de la deuxième année du projet.

II. 1 Développement et/ou test de méthodes pour estimer les propriétés hydrodynamiques et hydrodispersives au voisinage de la saturation et II. 3 Caractérisation de la porosité fonctionnelle au voisinage de la saturation.

Conformément au cahier des charges, chacune des équipes a pris en charge le développement d'une méthode d'estimation des propriétés hydrodynamiques au voisinage de la saturation. Les principaux résultats obtenus à l'issue de cette première année par rapport aux objectifs fixés sont les suivants :

METHODE DE WIND - CYCLE EVAPORATION / INFILTRATION (INRA AVIGNON)

L'équipe d'Avignon devait étendre une technique de caractérisation des propriétés hydrodynamiques par une méthode d'évaporation à un dispositif en infiltration. En particulier, les points à étudier concernaient plus particulièrement :

- a- la mise au point d'un dispositif en laboratoire permettant de contrôler les expériences en infiltration,
- b- l'utilisation d'une même base de données expérimentales pour une estimation par inversion (équation de Richards) ou par la méthode de Wind,
- c- l'aptitude de la méthode de Wind à caractériser les propriétés hydrodynamiques de milieux présentant une double porosité (courbe de rétention bimodale).

a- Mise au point d'un dispositif de laboratoire : Un dispositif expérimental a été monté et testé (Figure 3). Il est basé sur une adaptation du dispositif existant à un système d'alimentation par micro-goutteurs. L'ensemble est actuellement fonctionnel, bien que l'utilisation d'une pompe à pulsation plus précise que la pompe péristaltique utilisée soit maintenant recommandée.

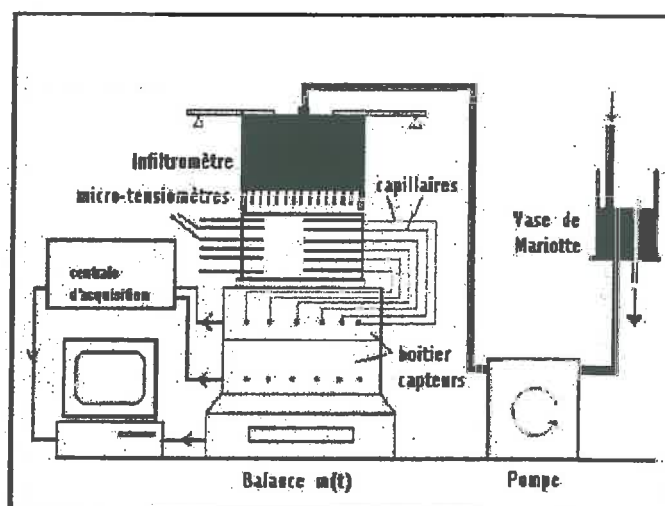


Figure 3 : Dispositif expérimental en infiltration (INRA Avignon)

Le montage expérimental permet d'obtenir des données reproductibles. Il met également en évidence l'hétérogénéité de la colonne en conditions d'infiltration rapide, alors que cette hétérogénéité n'est plus

visible sur le même échantillon conduit en évaporation lente. Enfin, le système permet de réaliser successivement des phases d'évaporation et d'infiltration sur le même échantillon.

b- Estimation par inversion et par la méthode de Wind : Ce point a été réalisé, et le même jeu de données peut être utilisé en inversion ou selon la méthode de Wind. Le système est opérationnel pour les estimations de conductivité hydraulique dans le domaine non saturé en évaporation. La comparaison entre les deux méthodes (inversion ou méthode de Wind) reste délicate car l'inversion suppose une forme à priori de la relation conductivité - teneur en eau, alors que la méthode de Wind fournit des couples conductivité-teneur en eau sans choix à priori sur la forme de cette relation.

c- Aptitude de la méthode Wind en milieux à double porosité : Ce point a également été abordé sur les plans théoriques et expérimentaux. Les principaux résultats montrent que :

- quelle que soit la méthode, l'estimation des courbes de rétention bimodales reste difficile à réaliser, compte tenu du nombre important de paramètres à estimer (6 à 10 selon les options)
- que la méthode de Wind est théoriquement capable d'estimer une courbe de rétention bimodale, sous réserve que le caractère bimodal soit bien localisée dans la gamme de mesure tensiométrique et que la valeur initiale des paramètres à estimer soit approximativement connue.
- qu'en l'absence de caractère bimodal marqué, les estimations mono ou bimodale convergent vers une valeur unique correspondant au modèle monomodal.

METHODE PAR DRAINAGE INTERNE DE MONOLITHES DE SOL (CEREG STRASBOURG) :

L'équipe avait pour tâche de normaliser un protocole Wind en évaporation pour obtenir les courbes de conductivité hydraulique dans toute la gamme d'humidité en établissant la jonction des données obtenues par cette méthode et par infiltrométrie TRIMS. Il avait été donc prévu d'implanter au CEREG le dispositif WIND en évaporation tel qu'il a été développé à l'INRA Avignon. Après la visite de J.M. Sanchez-Perez et Martine Trautmann à Avignon il est apparu que le dispositif ne pouvait pas être implanté de manière simple, notamment à cause de problèmes de logiciels à acquérir.

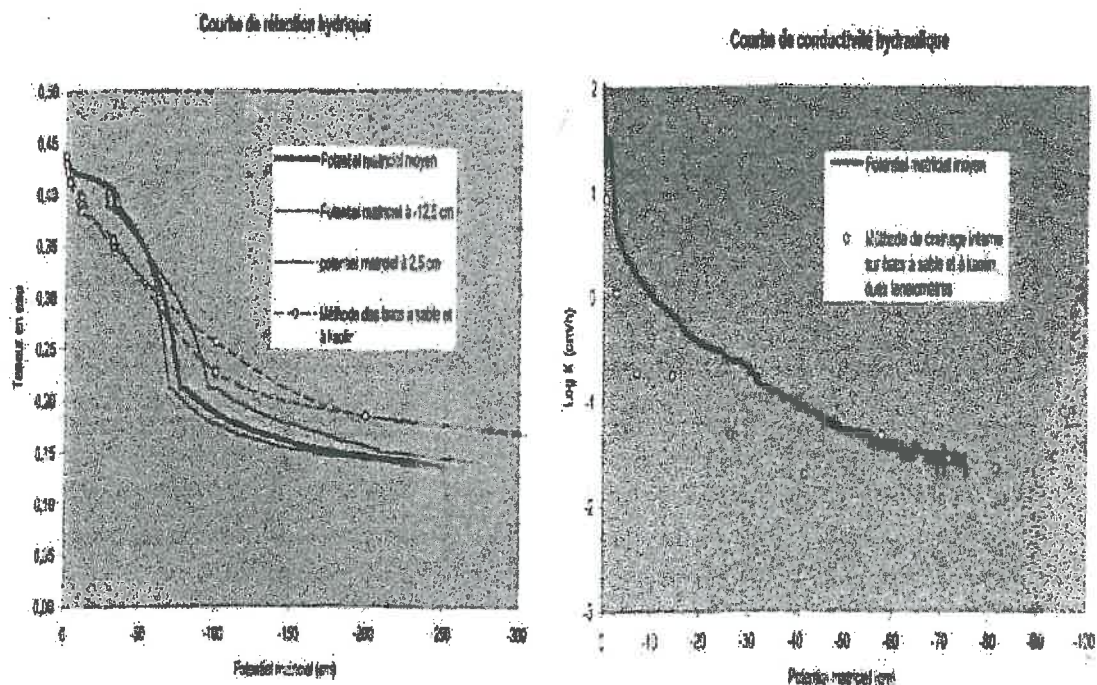


Figure 4. Courbes de rétention hydrique établies à partir de mesures à saturation et sur bacs à sable et kaolin (aux pF 1, 1.5, 2, 2.3 et 2.7). Estimation des relations $K(h)$ par ajustement à partir du code RETC (logiciel UNSODA).

Il a paru intéressant d'implanter un système automatisé de caractérisation par drainage interne de l'échantillon, en s'inspirant d'une méthode manuelle qui avait déjà fait l'objet d'expérimentations (Reutenauer et al., 1992). Le dispositif a été monté et les premiers tests effectués sur un matériel calibré et sur un échantillon de Rhinau dans le cadre d'un stage de maîtrise (Bohy, 1998).

L'échantillon (monolithe de sol de diamètre intérieur = 92 mm, hauteur = 150 mm) placé sur une plaque de céramique poreuse est progressivement saturé, puis équipé de microtensiomètres (deux tensiomètres par niveau à -2,5, -5, -7,5, -10 et -12,5 cm par rapport au sommet du monolithe). Il est ensuite mis en dépression en appliquant une succion de 500mbar. L'acquisition des données (succion, masse, température) est faite à pas de temps choisi à partir d'un exécutable rédigé sous HpVee (collaboration J.P. Laurent, LTHE). A partir des données collectées une courbe de rétention hydrique moyenne peut être établie en faisant l'hypothèse que la teneur en eau moyenne du monolithe est comparable au potentiel moyen mesuré avec l'ensemble de microtensiomètres. Une courbe de conductivité hydraulique a également été construite à partir des mesures de microtensiomètres placés à -5 et -12,5 cm de profondeur et de la variation de masse. Ces deux courbes sont présentées dans la figure 4.

METHODE WIND COMBINEE A INFILTROMETRIE PAR SUCCION CONTROLEE (LTHE GRENOBLE) :

L'objectif, fixé pendant la première année du présent projet, consistait en la caractérisation hydrodynamique de deux matériaux de référence en absence ou en présence de macropores artificiels de géométrie connue. En utilisant deux dispositifs expérimentaux complémentaires (infiltrométrie sous pression contrôlée et le dispositif type WIND modifié, Figure 5), il s'agissait d'étudier l'effet de la présence des macropores sur l'hystérésis de la courbe de rétention d'eau ainsi que les propriétés d'infiltration au voisinage de la saturation.

Afin de contrôler la géométrie du milieu d'étude ainsi que les conditions initiales et aux limites expérimentales, il a été convenu de travailler sur des échantillons reconstitués au laboratoire : un sable fin appelé S31 (granulométrie 0 à 200µm, Silice & Kaolin, 26300 Barbières) et la fraction tamisée à 3 mm du sol de surface (Alfisol) de La Côte Saint André, CSA (sol structuré en agrégats). Les matériaux étudiés ont été préparés en laboratoire sous forme d'échantillons selon deux géométries différentes : soit dans une boîte de 15x15x18 cm³ (essais d'infiltration), soit dans une colonne de 10 cm de diamètre et 10 cm de hauteur (méthode WIND).

Des macropores artificiels, de 2 mm de diamètre, et espacés de 1.5 cm ont été réalisés sur les échantillons à l'aide d'un dispositif original fabriqué au LTHE. Il permet d'obtenir une macroporosité représentant 0.89 % du volume total de l'échantillon. Selon la loi de Laplace, les macropores deviennent hydrauliquement actifs pour une pression capillaire de l'ordre - 15 mm de colonne d'eau.

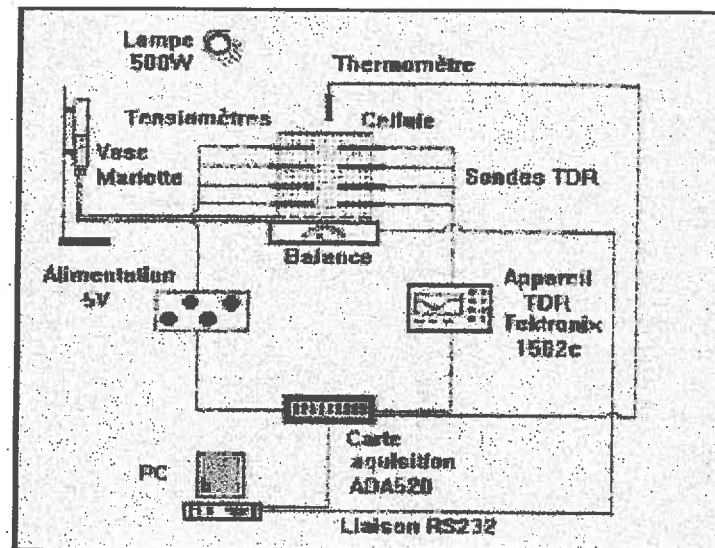


Figure 5. Schéma de montage du Dispositif WIND modifié. (LTHE Grenoble)

Caractérisation de l'hystérésis de la courbe de rétention d'eau :

Le dispositif type WIND a été amélioré de sorte qu'il était possible de soumettre l'échantillon à des cycles : évaporation à partir de l'état saturé, puis humidification par remontée capillaire. De plus la mesure de la teneur volumique en eau par TDR y a été incorporée aux mêmes niveaux que les tensiomètres. Les résultats expérimentaux montrent comment l'amplitude des boucles d'hystérésis des

courbes de rétention d'eau diminue en présence des macropores, accompagnée d'une augmentation moyenne de la pente. L'allure des branches d'humidification ne change pas après réalisation des macropores. La forme des branches d'humidification a pu être prédite pour le sol CSA à partir de la distribution des rayons de pores déterminée à l'aide de la porosimétrie au mercure et le modèle capillaire de Laplace. La comparaison entre les branches d'évaporation des deux milieux indique un comportement multi-modal du sol CSA par rapport au sable S31.

Caractérisation de l'infiltration :

L'infiltration d'eau a été étudiée dans la boîte à l'aide de l'infiltromètre à quart de disque sous pression contrôlée (rayon = 6 cm). Ce dispositif permet de mesurer la lame d'eau infiltrée au cours du temps. L'évolution de la teneur volumique en eau du sol, à 2 cm de profondeur, a été obtenue pendant l'infiltration, et durant la phase de redistribution après arrêt de celle-ci, à l'aide de la TDR (Time Domain Reflectometry). La présence de macropores au sein des deux milieux n'influence pas l'infiltration pour une pression d'eau appliquée inférieure ou égale à -20 mm et provoque une augmentation du flux d'infiltration à -5 mm et à la saturation. Les paramètres hydrodynamiques (conductivité hydraulique et sorptivité capillaire) équivalants du milieu avec macropores, obtenus à partir de l'analyse inverse du régime d'infiltration, présentent une augmentation sensible au voisinage de la saturation. Ils traduisent ainsi l'activation hydraulique des macropores.

Axe III : Transport Préférentiel des substances polluantes

En accord avec le calendrier prévu, les résultats obtenus correspondent à l'objectif III. 1. Le deuxième objectif sera abordé en deuxième année.

III. 1 Dynamique des transferts rapides de pesticides dans deux sols du plateau lorrain

Six colonnes de 30 cm de diamètre et 50 cm de profondeur ont été prélevées dans le site expérimental de La Bouzule (Nancy) : 3 correspondent à un sol brun lessivé et les trois autres à un pelosol. Des expériences d'infiltration d'eau et de deux pesticides (atrazine et trifluoraline) ont été réalisées. Le front d'humectation en fonction de la profondeur a été suivi avec 3 batteries de sondes capacitatives et des microtensiomètres (Figure 7).

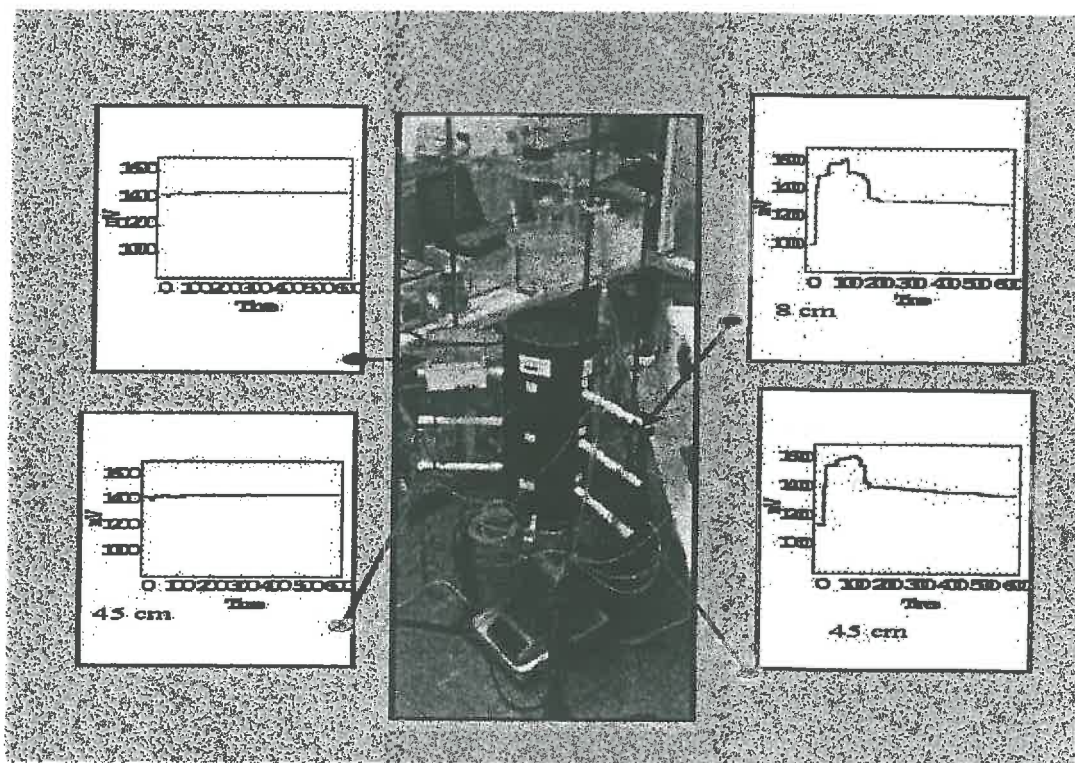


Figure 7 : Dispositif expérimental. Infiltration d'eau et de pesticides sur un sol brun de Nancy. Humidité estimée par des sondes capacitatives. Les courbes montrent l'hétérogénéité du front d'humectation durant et après l'infiltration (INRA Avignon, INRA Nancy)

Simultanément on a mesuré les hydrogrammes de drainage et la courbe d'élution de pesticides. Deux méthodes ont été utilisées pour mesurer la concentration de pesticides dans les eaux drainées et pour doser les résidus dans la colonne, un radioactif (marquage au C^{14}) et l'autre à froid.

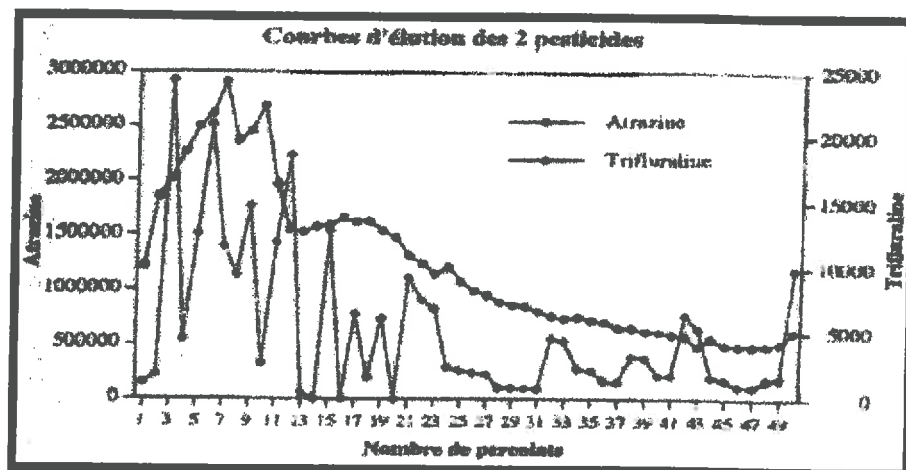


Figure 8. Courbes d'élution de trifluoraline et de l'atrazine pour le sol brun. Sol traité avec les produits marqués (INRA Nancy)

L'ensemble de ces résultats est en cours d'analyse. La méthodologie utilisée s'est avérée adaptée pour le sol brun lessivé mais pas pour le pelosol, du à des problèmes de contact des sondes et des microtensiomètres.

DIFFICULTES RENCONTREES

Axe I : Aucune difficulté majeure ne s'est faite jour lors de la réalisation de cet axe de travail.

Axe II :

Certains problèmes de caractère expérimental pour la mise en œuvre des différents protocoles d'estimation des propriétés hydrauliques ont été rencontrés par les équipes chargées de cette partie du projet. Notamment,

- des difficultés avec les programmes d'acquisition de données et le traitement du signal TDR (LTHE Grenoble),

- la nécessité d'un contrôle plus fin du flux en infiltration et de contrôler l'hétérogénéité de la répartition du flux en surface (INRA Avignon).

Sur le plan théorique, et pour la méthode utilisée par l'équipe d'Avignon, beaucoup des points abordés méritent des approfondissements notamment :

- l'adaptation définitive du logiciel Wind pour l'estimation de la conductivité en infiltration, la version actuelle n'étant pas opérationnelle
- la vérification de la capacité de la méthode Wind à mettre en évidence l'hystéresis de la relation potentiel/teneur en eau sur des expérimentations infiltration/évaporation
- la vérification de l'équivalence entre les méthodes d'inversion Wind dans le cas ou l'application des 2 méthodes à un même échantillon est sans biais.
- l'amélioration des techniques d'inversion pour l'estimation de 6 à 10 paramètres d'une courbe de rétention bimodale avec erreur sur les données d'entrée.

Une réunion de travail est prévue au mois de janvier pour que chaque équipe puisse échanger ses expériences et pour définir les meilleures modalités à adopter.

Axe III :

La principale difficulté rencontrée est la non adaptabilité des méthodes expérimentales utilisées pour mesurer la teneur en eau dans le sol pelosol. Sur ce type de sol on envisage d'utiliser la tomographie électrique.

CONCLUSIONS/PERSPECTIVES

Axe I :

Nous avons abordé la totalité des activités prévues pour la première année, à l'exception des expériences de laboratoire et de terrain sur les sols de Roujan (Montpellier). Celles-ci, initialement prévues pour le troisième trimestre de la première année seront conduites au mois de Mars 1999. En effet, elle sera conduite sur une parcelle cultivée (vigne désherbée mécaniquement avec une houe rotative). Un infiltromètre par aspersion produisant une pluie avec une intensité constante sur des placettes de 1 m², permettra d'obtenir un ruissellement de surface et un écoulement hypodermique sur une semelle de labour créée par le travail du sol. Un contrôle des paramètres hydrodynamiques de la couche travaillée et de l'horizon sous-jacent à la semelle de labour sera effectué avec des sondes capacitatives et des microtensiomètres, avec le protocole mis au point pour les colonnes du sol de Nancy.

En relation à l'objectif I. 1 fixé, nous nous proposons, en deuxième année, de tester un modèle cinématique – dispersif sur les données existantes (colonnes de sol Univ. Berne, sol brun de Nancy) et sur des données à acquérir sur Montpellier). L'étude du domaine de validité des approches darcien multi-modales dépend de la réussite des objectifs de l'axe II. L'application de ces modèles nécessite une correcte caractérisation des propriétés hydrodynamiques au voisinage de la saturation. En ce sens, nous avons été contactés par une équipe du BRGM Orléans (C. Mouvet et B. Normand). Cette équipe possède de l'expérience en l'application des approches darcien (modèle MACRO) et présentent un projet au PNRH cette année. Ils se sont manifestés intéressés par la possibilité d'ancrer leur projet avec le notre, ce que ne peut qu'être positif pour les deux parties.

En relation à l'objectif II.2, nous sommes en avance par rapport au calendrier prévu, puisque nous avons pu réaliser des expériences avec la tomographie résistive grâce à la collaboration établie avec l'Université de Lancaster. Nous sommes enthousiastes par les premiers résultats obtenus et le développement de cette méthode est un objectif pour l'année prochaine.

Axe II:

Nous maintenons nos perspectives dans l'axe de ce projet, en améliorant plus précisément les différents points théoriques et expérimentaux évoqués. Les méthodes testées doivent encore faire l'objet de tests et d'étalonnages. Un aspect central est d'intensifier les échanges d'expériences entre les équipes intervenantes, afin de déterminer, d'une part, le meilleur protocole expérimental, et d'autre part, d'unifier une méthode et un logiciel d'estimation des propriétés hydrauliques. Le CEREG développera un code permettant de construire la courbe K(h) par méthode inverse en collaboration avec François Lehmann et Philippe Ackerer de l'IMF à Strasbourg. La comparaison de cette méthode avec celle utilisée à Avignon fait partie des objectifs. Les diverses méthodes doivent par ailleurs être testées sur des échantillons communs.

Sur ce point le coordinateur s'engage à favoriser ces échanges.

Axe III :

Nous maintenons les objectifs dans cet axe du projet.

PUBLICATIONS/PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. Revues à comité de Lecture

Angulo-Jaramillo, R., C. Zammit, R. Haverkamp, F. Bouraoui, et J. Y. Parlange. 1998. *Assesment of soil hysteresis modeling of soil water retention curve*. Article en préparation.

Di Pietro L. 1998. *Strategies for describing preferential flow : the continuum approach and cellular automaton fluids*. In : (H.M. Selim and L. Ma eds.), *Physical non equilibrium in soils, Modeling and Applications*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan.

Di Pietro L. et P. Germann. *Evaluation of the kinematic wave approximation to describe soil-water preferential flow*. Article invité numéro spécial Soil Sci. Soc. Am. J (à paraître 1999).

Germann P. et L. Di Pietro. 1998. *Scales of momentum dissipation during flow in soils*. Water Resources Research. Sous Presse.

2. Communications à des Congrès à Comité de Lecture et Actes

Auzet A.V., Angulo R., Damiron H., Pluymys M., Ambroise B., Vauclin M. 1997. *Tension disk infiltrometry evaluation of the hydraulic conductivity near saturation of organic and coarsed texture soils on granites.* Colloque « Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media », Riverside, Californie 22-24 Octobre 1997. Soumis pour publication dans les Actes du Congrès.

Di Pietro L. *Effects of heterogeneities on soil water flow assesed by 3D lattice-gas simulations.* Congrès de l' American Soil Science Society, Baltimore 18-22 Octobre 1998. Conférence Invitée. Résumé dans les Actes du Congrès.

3. Autres Articles et Communications

Di Pietro L. 1998. *Modeling approaches to soil water flow in heterogeneous soils.* Séminaire. Department of Environmental Sciences. The State University, Rutgers, New Jersey, Octobre 23, 1998. Invité.

4. Rapports et Mémoires

Alishabi, O. 1998. *Mesure de l'effet des macropores sur l'hystérésis de la courbe de rétention d'eau des sols. Caractérisation hydrodynamique à l'aide de la TDR et des minitensiomètres.* DEA Mécanique de Fluides et Transferts, Institut National Polytechnique de Grenoble, Juin 1998. 48 p.

Bohy M. 1998. *Etude des caractéristiques hydrodynamiques des sols non saturés au moyen d'un système automatisé de caractérisation par drainage interne de l'échantillon.* Mémoire de Maîtrise, ULP Strasbourg, CEREG ERS 1747 CNRS, 50 p.

Fiegel F. 1997. *Evaluation de l'infiltrabilité des sols dans le domaine non saturé : application de la méthode TRIMS à quelques sites de la Plaine d'Alsace.* Mémoire de Maîtrise, ULP Strasbourg, CEREG URA 95 CNRS, 38 p.

Garrigues, E. 1998. *Estimation de la courbe de rétention d'un sol : cas d'un matériau à double porosité.* Rapport de Stage de Maîtrise de Sciences et Techniques « Génie Sanitaire et Environnement », Université Paris XII, Val de Marne.

Lutz, P. 1998. *Influence des macropores sur l'infiltration d'eau dans les sols non saturés : caractérisation hydrodynamique par infiltrométrie sous pression contrôlée.* DEA Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, Juin 1998, 46 p.

Sauvêtre, J. 1998. *Estimation des propriétés hydrodynamiques d'un sol en régime d'infiltration. Etude de Laboratoire.* DESS « Eaux souterraines – Hydrogéologie chimique et physique », Université Joseph Fourier, Institut Dolomieu, Grenoble 1.