



Teneur en eau mesurée à l'échelle locale, quelle utilité pour les applications

Andre Chanzy

► To cite this version:

Andre Chanzy. Teneur en eau mesurée à l'échelle locale, quelle utilité pour les applications. 34. Journées du GFHN, Nov 2009, Aix-en-Provence, France. hal-02752234

HAL Id: hal-02752234

<https://hal.inrae.fr/hal-02752234>

Submitted on 3 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.

34 èmes journées.....34 èmes journées..... 34 èmes journées

Groupe **F**rancophone d'**H**umidimétrie et des **TraN**sferts en Milieux Poreux

GFHN 2009

25-26 Novembre

AIX-EN-PROVENCE / LE THOLONET

**TENEUR EN EAU ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX :
MESURES ET STATISTIQUES
À L'ÉCHELLE STATIONNELLE**

organisées par le Cemagref, la SCP, le CEREGE



et avec le concours de la SHF



Sommaire

page

5	Programme : horaires et Communications orales
10	Liste des Posters
12	Résumés des communications du thème Mesures et méthodes ponctuelles et distribuées
28	Résumés des communications du thème Méthodes d'analyse statistique
44	Résumés des communications du thème Changements d'échelle
54	Résumés des communications du thème Applications aux milieux agricole, urbain, périurbain et naturel
62	Résumés des posters
82	Renseignements pratiques
83	Plan d'accès
84	Plan de situation
85	Horaires bus

Programme

Déroulement des journées

<u>Mardi 24 après-midi</u>	<i>Visite optionnelle</i>
-----------------------------------	----------------------------------

13:00	départ gare TGV d'Aix pour visite de la station du domaine du Merle
17:30	retour à Aix

<u>Mercredi 25 matin</u>	<i>Accueil et communications</i>
---------------------------------	---

8:30 - 9:30	<i>Accueil café</i>
9h30 - 10:15	Discours introductifs (SCP, CEREGE, Cemagref, GFHN)
10:15	1ère session Mesures et méthodes ponctuelles et distribuées - capteurs, sondes, méthodes non intrusives - validation /critique, incertitudes, valeurs aberrantes...
10:15 - 10:55	Conférence introductive Panorama des techniques utilisées en humidimétrie et mesures des transferts en milieux poreux <i>J.-P. Laurent (LTHE, Grenoble)</i>
10:55 - 11:15	Pause posters et exposants
11:15 -12:40	1ère session (suite) : 4 communications Modélisation et simulation en routine de la diffusivité massique dans le bois par méthode inverse à partir de la mesure conductimétrique <i>T. Kermezli, S. Hanini, A. Bensmaili (LBPT, Univ. Médéa ; LRC, Alger)</i> Proposition d'explication sur les ondulations régulières observées à l'aide des sondes capacitives en continu (EnviroSCAN, EnviroSMART et EasyAG) utilisées en irrigation de précision <i>J.-F. Berthoumieu (ACMG)</i> Suivi de l'état hydrique de formations superficielles argileuses par techniques TDR (capteurs «WCR»). Mesures in-situ et corrections des effets de température. <i>E. Garel et al.(Univ. Avignon)</i> Retrait-gonflement des sols argileux : suivi des variations hydriques et des déformations sur le site expérimental de Mormoiron <i>S. Le Roy, E. Plat, M.Vincent (BRGM Marseille)</i>

12:40-13:20

2^{ème} session

Méthodes d'analyse statistique

- plans d'expériences : répartition spatiale, fréquence des mesures, répétitions, échantillonnage...
- exploitation des mesures : géostatistique, variabilité spatiale et temporelle, extrapolation spatio-temporelle, statistique des valeurs extrêmes...

Conférence introductive

Les objets vagues et leur traitement dans une base de données spatiales ou un entrepôt de données spatiales

F. Pinet (Cemagref, Clt-Fd), M. Schneider (LIMOS, Clt-Fd)

13:20 - 14:20

Repas au restaurant d'entreprise de la Société du Canal de Provence (7 mn à pied)

Mercredi 25 après-midi

Visites techniques et communications

14:25 - 16:15

Visites techniques (3 groupes tournants):

- laboratoire de recherche sur les matériels d'irrigation (Cemagref) ;
- plateforme d'expérimentation pour l'érosion interne et les écoulements dans les ouvrages hydrauliques, Peerine, (Cemagref) ;
- Centre de Gestion et de Télé-Contrôle du Mouvement des eaux (SCP).

16:15 - 16:40

Pause posters et exposants

16:40 - 18:20

Reprise des communications

1^{ère} session (Mesures, fin) : 4 communications

Cartographie digitale de la teneur en eau de surface du sol par GPR

J. Minet, S. Lambot, M. Vanclooster (UC Louvain)

Caractérisation de la distribution spatiale de l'humidité du sol sous un champ de maïs

L. Beff, M. Javaux (UC Louvain)

Mesure de la teneur en eau des matériaux cimentaires par Imagerie par Résonance Magnétique

P. Faure (UR Navier, Univ. Paris Est, LCPC)

Modélisation intégrée 3D des signaux GPR et d'induction électromagnétique pour la caractérisation non destructive du sol et de matériaux

F. André et al. (Agrosphere (ICG-4), Jülich)

18:30

Départ en bus (ligne 3) et voitures pour Aix

19:40

RDV devant la Mairie pour une courte visite d'Aix

20:00

Dîner au restaurant La Mado en Centre ville.

<u>Jeudi 26 matin</u>	<i>Communications et AG</i>
8:15-8:30	Accueil
8:30-10:30	2 ème session (Méthodes d'analyse statistique, suite) : 6 communications Caractérisation de la variabilité spatiale de l'humidité de surface des sols nus sur un petit bassin péri-urbain <i>I. Braud et al. (Cemagref)</i> Interpolation de données piézométriques sur le BV de l'Orgeval. Utilisation des réseaux de neurones. <i>G. Tallec et al. (Cemagref)</i> Analyse de l'évolution spatio-temporelle des paramètres hydrodynamiques du sol : application à l'irrigation goutte-à-goutte <i>I. Mubarak et al. (LTHE/ENTPE)</i> Traitement des signaux piézométriques dans un canal à houle (hydrodynamique côtière/plage) <i>Y. Wang, R. Ababou, M. Marcoux (IMFT)</i> Utilisation d'un dispositif de mesures tensiométriques et de teneur en eau pour estimer le bilan de la zone non saturée en milieu urbain – Cas du Site Atelier Pluridisciplinaire à Nantes. <i>L. Letellier et al. (LCPC Div. Eau et Envir. Bouguenais)</i> Plans d'expériences appliqués aux modèles numériques <i>Th. Faure (LISC, Cemagref, Clt-Fd)</i>
10:30 - 10:50	Pause posters et exposants
10:50 - 11:30	3 ème session Changements d'échelle - bases de données et leur traitement, SIG, - agrégation et intégration, - paramétrisation... Conférence introductive Approches Statistiques Multi-échelles en Hydro-Géosciences <i>R. Ababou (IMFT, Toulouse)</i>
11:30 -12:30	3 communications Évaluation de la réserve en eau à l'échelle des pédopaysages de Bourgogne <i>C. Lamy et al. (Alterre Bourgogne)</i> Évaluation de la réponse des sols aux changements climatiques - Exemple des sols de Bourgogne <i>C. Lamy et al. (Alterre Bourgogne)</i>

Modélisation, couplage, intégration spatiale, processus hydrologiques dans un petit BV agricole drainé

H. Hénine, Y. Nédélec (Cemagref, Antony)

12:30-13:10 **Assemblée Générale du GFHN** : rapports moral et financier, thèmes et villes d'accueil pour les futures Journées. Vous y êtes tous conviés.

13:10-14:05 **Repas** sur place (traiteur) dans la salle attenante

Jeudi 26 après-midi

Communications et conclusion

14:10- 15:30

4^{ème} Session

Applications aux milieux agricole, urbain, périurbain et naturel

- agriculture de précision, pilotage de l'irrigation...
- aide à la gestion des crises, risques, aléas...
- aide à la décision, planification...

Conférence introductive

Teneur en eau mesurée à l'échelle locale, quelle utilité pour les applications ?

A. Chanzy (INRA, Avignon)

2 communications

Étude des relations hydrosalines entre l'étang du Vaccarès et les nappes superficielles voisines. Impact du climat et de l'irrigation.

V. Vallès et al. (UMR EMMAH, Avignon)

Caractérisation et simulation du mouvement de l'eau et du transfert des sels dans la région de Bou Hajla

S. Kanzari et al. (INRGREF Tunis)

15:30

Conclusion des Journées

16:00

Retour à la gare TGV pour ceux qui l'ont demandé, (de là possibilité de navette vers l'aéroport)

Liste des Posters

Comparaison des mesures réalisées à la sonde à neutrons et avec le Diviner (mesure FDR)

Ramel Jean-Pierre et Martinez Anne-Marie (CIRAME, Carpentras)

Utilisation de l'outil Diviner® 2000 à la Société du Canal de Provence

Jean-Vincent Heckenroth (SCP, Aix)

Vélocimétrie IRM pour l'écoulement d'eau en milieu poreux

Didier STEMMELEN, Wassim SALAMEH, Sébastien LECLERC, Jean-Marie ESCANYÉ (LEMTA et UMR 7036, CNRS, Nancy)

Détection des fuites à travers une géomembrane par thermométrie distribuée le long d'une fibre optique

Paul Royet, Guillaume Nunes (Cemagref, Aix)

Transfert de TCE au travers d'un milieu bicouche : sable et béton

Marion Musielak, M. Marcoux, M. Quintard (IMFT, Toulouse)

Identification et potentialités hydriques des aquifères par l'outil géophysique : Cas de la région de Guerrara (Sud Algérien)

A. Zeddouri, S. Hadj-Said, B.Hamdi Aissa (Univ. Kasdi, Algérie)

Impact du niveau de la nappe phréatique sur les sols des palmeraies des Ghouts à Oued Souf (Sahara Septentrional algérien).

Mustapha DADDI BOUHOUN, Mohamed Lakhdar SAKER, Mohamed Didi OULD EL HADJ (Univ. Kasdi, Algérie)

Impact du niveau de la nappe phréatique sur la dégradation édaphique des oasis de l'Oued Righ (Sahara Septentrional algérien).

Mohamed Lakhdar SAKER, Mustapha DADDI BOUHOUN, Mohamed Didi OULD EL HADJ (Univ. Kasdi, Algérie)

Gestion économe de l'eau en verger de pommiers : Comparaison de systèmes de pilotage

Myriam BERUD (EPLEA Louis Giraud, Carpentras)

Résumés des communications du thème

Mesures et méthodes ponctuelles et distribuées

Conférence introductive

Panorama des techniques utilisées en humidimétrie et mesures des transferts en milieux poreux

Jean-Paul Laurent

LTHE

jean-paul.laurent@hmg.inpg.fr

Modélisation et simulation en routine de la diffusivité massique dans le bois par méthode inverse à partir de la mesure conductimétrique.

Tayeb KERMEZLI¹, Salah HANINI¹, Aicha BENSMAILI²

¹ LBPT, Université de Médéa, BP 164, 26000, Médéa

t_kermezli@yahoo.fr

² LRC, USTHB, BP 32, El-alia 16111 Bab Ezouar Alger, Algérie

L'étude de l'effet de la concentration sur le phénomène de la diffusion d'une espèce chimique dans un milieu poreux anisotrope 'Bois' a fait l'objet d'importants travaux de recherche en raison de son importance pratique dans divers domaines de l'ingénierie tels que l'hydrologie et la géophysique, mais uniquement pour la vapeur d'eau pure. Le but du présent travail consiste à suivre le comportement de la cinétique de l'espèce chimique sous l'effet de la concentration de l'eau chargée dans le bois. L'objet de la présente contribution est de modéliser le transport diffusionnel et le calcul du coefficient de diffusion expérimentalement pour différentes concentrations.

Mots clés : Coefficient de diffusion, modélisation, bois hêtre, concentration.

Proposition d'explication sur les ondulations régulières observées à l'aide des sondes capacitatives en continu (EnviroSCAN, EnviroSMART et EasyAG) utilisées en irrigation de précision.

Jean-François Berthoumieu

Association Climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest (ACMG)
acmg@acmg.asso.fr

Depuis le début des années 90 la société australienne Sentek développe des outils de mesure pour le pilotage fin de l'irrigation basés sur des sondes capacitatives (www.sentek.com.au). Depuis 2003 l'ACMG (www.acmg.asso.fr) et sa société commerciale Agralis services (www.agralis.fr) utilisent et proposent ce matériel dans l'espace francophone. C'est un outil de terrain qui possède de nombreux avantages, lorsque tout est parfaitement bien installé, pour suivre directement la quantité d'eau là où les racines prélèvent dans le sol. En suivi relatif il permet d'analyser et de comprendre le fonctionnement hydrique du sol et sert à prévoir les situations de stress, aussi bien celles par manque d'eau que celles par manque d'air, la mesure étant possible dans n'importe quel type de sol de l'état de saturation au point de flétrissement.

Cependant, nous sommes nombreux à observer, dans certaines situations, des fluctuations régulières, comme des vagues qui apparaissent le long de l'évolution du dessèchement du sol avec généralement vers l'horizon 10 cm de profondeur un maximum en fin de matinée ou milieu de journée. Il a rapidement été évident que ces fluctuations régulières, de l'ordre de 3% au maximum de la réserve hydrique, sont associées aux flux de chaleur dans le sol.

Au départ nous avons supposé que c'était un phénomène électrique mais une expérience nous a confirmé que le capteur n'est pas influencé par la température à laquelle la mesure se fait. Ensuite nous avons émis l'hypothèse que nous mesurons le débit de sève dans le système racinaire qui se retrouvait dans un sol asséché et qui faisait transiter de la sève venant d'horizons plus profonds où il y avait encore de l'eau disponible. Mais une expérience simple avec un isolant sur le sol l'a infirmée.

Nous pensons aujourd'hui que, dans les sols compactés où les échanges gazeux sont difficiles, ces fluctuations sont le résultat du processus alterné d'évaporation, quand le front d'onde de chaleur arrive, et de condensation, quand le sol se refroidit. Ainsi l'utilisation des capteurs capacitifs tels que ceux proposés par Sentek pour analyser le comportement hydrique de la réserve du sol sont également utiles pour suivre le comportement gazeux du sol et en déduire des conseils agronomiques pertinents.

Mots clés : *irrigation de précision, mesure de l'humidité du sol, sonde capacitive, aération du sol, vapeur d'eau dans le sol, transferts de chaleur dans le sol, compactage, échanges gazeux.*

Suivi de l'état hydrique de formations superficielles argileuses par techniques TDR (capteurs « WCR »). Mesures in-situ et corrections des effets de température

¹Emilie Garel, ²Anne-Laure Cognard-Plancq, ³Michel Esteves, ⁴Nicolle Mathys, ⁵Sébastien Klotz, ⁶Stéphane Ruy, ⁷Dominique Renard, ⁸Camille Moulard, ⁹Vincent Marc

^{1, 2, 8, 9} Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, UMR 1114 INRA/UAPV
emilie.garel@univ-avignon.fr, anne-laure.cognard-plancq@univ-avignon.fr,
camille.moulard@avignon.inra.fr, vincent.marc@univ-avignon.fr

³IRD, Laboratoire d'Étude des Transferts en Hydrologie et Environnement, Grenoble
michel.esteves@hmg.inpg.fr

^{4, 5} Cemagref Grenoble, Unité de Recherche Erosion Torrentielle Neige et Avalanche «ETNA»
nicolle.mathys@cemagref.fr, sebastien.klotz@orange.fr

^{6, 7} INRA Avignon, UMR 1114 INRA/UAPV
ruy@avignon.inra.fr, drenard@avignon.inra.fr

Les méthodes diélectriques sont couramment employées pour le suivi de la teneur en eau des sols. Les sondes basées sur le principe de Réflectométrie dans le Domaine Temporel (TDR) sont largement utilisées pour le suivi de la teneur en eau in situ. Parmi ces capteurs, Campbell Scientific a développé des sondes de type WCR (Water Content Reflectometer), nommée CS615 pour la première génération et CS616 pour la seconde. Nous avons utilisé ces deux versions de sondes sur deux sols à forte teneur en argile. Le suivi en continu effectué sur deux années à pas de temps de 10 à 15 min révèle deux points critiques :

- les teneurs en eau sont fortement surestimées lorsqu'est utilisée la formule d'étalonnage proposée par le constructeur
- les mesures montrent des oscillations journalières du signal très marquées et fortement corrélées aux variations de température du sol.

Dans le but d'améliorer l'évaluation de la teneur en eau, nous proposons :

- 1/ Une calibration en laboratoire pour les WCR CS616,
- 2/ Une correction des effets de la température basée uniquement sur les enregistrements de terrain (enregistrements des sondes WCR et de capteurs de températures dans le sol).

Les premiers résultats de l'étalonnage en laboratoire, effectué à saturation, ont permis d'évaluer les effets de la température sur la mesure des sondes WCR et ainsi d'évaluer de manière plus correcte la teneur en eau à saturation. Toutefois la correction des effets de température ne gomme pas totalement les oscillations journalières, les tests en laboratoire ne permettant sans doute pas une correction suffisamment précise des effets de température. Nous confirmons aussi que la correction de température proposée par le constructeur sous-estime fortement la thermo-dépendance du signal constatée sur les sites suivis dans le cadre de notre étude. Ce phénomène s'explique très certainement par les caractéristiques minéralogiques particulières de nos sols où les teneurs en argiles peuvent atteindre 40 %. Des travaux récents (Stangl et al, 2009) ont montré des difficultés métrologiques similaires pour des sols argileux et la nécessité alors d'effectuer un étalonnage spécifique des sondes.

Réf. : Stangl R, Buchan G, Loiskandl W. Field use and calibration of a TDR-based probe for monitoring water content in a high-clay landslide soil in Austria. GEODERMA. 2009 Avr 15;150(1-2):23-31.

Mots-clés : sol argileux, sondes de mesures de teneur en eau, TDR, WCR, mesures in-situ, erreur de mesures, effet de la température.

Retrait-gonflement des sols argileux : suivi des variations hydriques et des déformations sur le site expérimental de Mormoiron

Le Roy S., Plat E., Vincent M.

BRGM, service Risques naturels et sécurité du stockage du CO₂, Marseille
s.leroy@brgm.fr ; e.plat@brgm.fr ; m.vincent@brgm.fr

Les sinistres imputés au retrait-gonflement des sols argileux étant très coûteux pour la collectivité, il est important de mieux comprendre les mécanismes de déclenchement de ce phénomène et les causes de vulnérabilité des bâtiments exposés. Dans le cadre de divers projets de recherche (dont le projet ARGIC, cofinancé par l'Agence Nationale de la Recherche), le BRGM a instrumenté deux sites expérimentaux, dont un situé à Mormoiron (Vaucluse), pour un suivi en continu de l'humidité et des déformations du sol.

Ce site a été équipé d'un pluviomètre, de 24 capteurs capacitifs jusqu'à 7 m de profondeur, ainsi que de 6 capteurs de déplacement enregistrant les mouvements du sol à différentes profondeurs, le tout étant relié à une centrale d'acquisition. Malgré des difficultés liées à la maintenance et à l'étalonnage des capteurs, les résultats obtenus montrent de nettes corrélations entre les précipitations et l'humidité du sol, d'une part, et entre l'humidité du sol et ses déformations d'autre part. Ainsi, des variations rapides de l'humidité ont pu être enregistrées en surface lors d'épisodes pluvieux, alors que les horizons plus profonds montrent plutôt des variations saisonnières plus lentes, jusqu'à au moins 2,5 m de profondeur.

Les phases d'humidification s'accompagnent d'un gonflement généralisé du sol, alors que les périodes de dessiccation induisent des tassements, mouvements surtout significatifs près de la surface mais encore perceptibles jusqu'à une profondeur d'au moins 1,70 m. Les étés 2007 et 2008 ont ainsi donné lieu à des tassements similaires, de l'ordre de 4,7 cm à 0,2 m de profondeur, mais avec des vitesses et des périodes de réhumidification différentes. Entre ces deux phases de dessiccation du sol, un gonflement total de 6,4 cm a été enregistré, à la même profondeur. Par ailleurs, la cinétique des phénomènes observés *in situ* montre que les vitesses de gonflement sont rapides (pouvant dépasser les 2 mm/h) par rapport à celles du tassement (0,1 mm/h au maximum), ce qui confirme les ordres de grandeur obtenus par modélisation.

Une villa, située sur la même formation géologique que la station expérimentale et sinistrée du fait du retrait-gonflement, a été équipée de fissuromètres électroniques en avril 2008. L'évolution des fissures montre de nettes corrélations avec l'état du sol enregistré sur le site, les périodes de sécheresse s'accompagnant généralement d'une ouverture des fissures et les phases pluvieuses induisant plutôt leur fermeture.

L'intérêt d'un réseau national de stations similaires à celles de Mormoiron est actuellement envisagé, afin non seulement d'acquérir davantage de données expérimentales permettant d'améliorer la compréhension des facteurs de déclenchement du retrait-gonflement, mais aussi de disposer d'un réseau de suivi et d'alerte à l'usage des pouvoirs publics et des assurances.

Mots clés : *argile, retrait-gonflement, sinistre sécheresse, capteurs capacitifs, déformations, Mormoiron, Vaucluse.*

Cartographie digitale de la teneur en eau de surface du sol à l'échelle du champ par Ground Penetrating Radar

Minet Julien^a, Lambot Sébastien^{a,b}, Vanclooster Marnik^a

^a *Département des Sciences du Milieu et de l'Aménagement du Territoire, Université catholique de Louvain, Belgique.*

julien.minet@uclouvain.be, vanclooster@geru.ucl.ac.be

^b *Agrosphere (ICG-4), Institute of Chemistry and Dynamics of the Geosphere, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich, Allemagne.*

La teneur en eau de surface est une variable-clé pour de nombreuses recherches et applications en hydrologie et en environnement. Plusieurs techniques hydrogéophysiques ont été développées pour caractériser cette variable à différentes échelles du temps et de l'espace, depuis des instruments de mesures locaux et invasifs (TDR, ThetaProbe, sonde à neutron, ...) jusqu'à des méthodes de télédétection, aéroportée ou spatiale. Ces techniques se basent sur la relation pétrophysique entre la permittivité diélectrique et la teneur en eau d'un sol. L'utilisation du Ground Penetrating Radar (GPR), reposant sur les mêmes principes géophysiques, permet la mesure de la teneur en eau du sol de manière non-invasive et à haute résolution spatiale à l'échelle du champ.

Nous avons développé un nouveau système de GPR basé sur l'utilisation d'un analyseur vectoriel et d'antennes non-invasives opérant sur une large bande de fréquences. La modélisation exacte du système radar par une solution tridimensionnelle des équations de Maxwell pour un milieu multicouches et par un modèle d'antenne permet la modélisation inverse du signal radar mesuré pour retrouver les paramètres électromagnétiques du sol (permittivité diélectrique et conductivité électrique). L'utilisation d'une large bande de fréquences et la modélisation inverse de l'ensemble de l'onde radar maximise l'extraction de l'information du signal radar.

La technique a été largement testée et validée dans plusieurs expériences en laboratoire et sur le terrain. La modélisation rapide du signal radar, l'usage d'antennes non-invasives et de l'analyseur vectoriel montés sur un véhicule permet de cartographier rapidement et en temps-réel la teneur en eau de surface à l'échelle du champ. En outre, la modélisation inverse de configurations multicouches et l'utilisation de différentes parties de la bande de fréquences radar permet d'investiguer la réponse du signal radar en fonction de la profondeur de pénétration de sondes, et donc de retrouver des profils d'humidité, particulièrement pour des milieux où de forts contrastes en teneur en eau du sol sont présents dans la couche superficielle du sol (0-20 cm). L'acquisition d'un grand nombre de signaux radar à haute résolution (~1 m) à l'échelle du champ conduit alors à une caractérisation tridimensionnelle de la teneur en eau du sol. Nous présentons les cartes de teneur en eau du sol issues de plusieurs campagnes de terrain effectuées sur des sols agricoles nus. Ces résultats permettent d'analyser la répartition et la dynamique spatio-temporelle de la teneur en eau à l'échelle du champ, en fonction d'autres facteurs spatiaux. La technique est particulièrement pertinente pour l'amélioration et la validation des outils de télédétection, la modélisation hydrologique et des applications en agriculture de précision.

Mots-clés : *ground penetrating radar, teneur en eau du sol, modélisation inverse, cartographie digitale des sols, agriculture de précision*

[illegible]

Caractérisation de la distribution spatiale de l'humidité du sol sous un champ de maïs

Laure Beff et Mathieu Javaux

Université catholique de Louvain,

Département des Sciences du Milieu et de l'Aménagement du Territoire.

laure.beff@uclouvain.be; mathieu.javaux@uclouvain.be

La distribution spatio-temporelle de l'eau est une caractéristique importante pour la prédiction des flux d'eau et de solutés dans la zone non saturée du sol. Dans un champ, cette distribution est affectée par l'interception et la redistribution de l'eau par la canopée, par l'état de surface du sol qui peut générer du ruissellement, par la prise d'eau racinaire, par la distribution des propriétés hydrauliques du sol et par les conditions aux limites du système. L'objectif de cette étude est, grâce à l'utilisation de la Tomographie par Résistivité Electrique (ERT), de caractériser la distribution spatiale de la teneur en eau au cours d'une saison culturale dans un champ de maïs. Pour ce faire, une surface de 4 m² couvrant deux rangs et deux inter-rangs de maïs a été équipée avec 98 électrodes de surface et 56 électrodes de profondeur. Des mesures hebdomadaires ont été effectuées. Par ailleurs, des tensiomètres, des sondes TDR et des capteurs de températures étaient installés à proximité de l'essai à différentes profondeurs. Les premiers résultats montrent l'importance de l'utilisation d'électrodes de profondeur pour appréhender la distribution verticale de la teneur en eau de façon précise. La comparaison entre TDR et ERT révèle une bonne corrélation sur tout le profil. Il apparaît que la distribution de la teneur en eau en fin de saison culturale est influencée de façon importante par la structure rang/inter-rang et donc par la prise d'eau racinaire.

Mots-clés : *teneur en eau du sol, culture, distribution spatiale, tomographie par résistivité électrique*

Modélisation intégrée 3D des signaux GPR et d'induction électromagnétique pour la caractérisation non destructive du sol et de matériaux

André F¹, Lambot S^{1,2}, Moghadas D¹, Slob EC³, Vereecken H¹

¹Agrosphere (ICG-4), Institute of Chemistry and Dynamics of the Geosphere, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Allemagne.

f.andre@fz-juelich.de, s.lambot@fz-juelich.de, d.moghadas@fz-juelich.de, h.vereecken@fz-juelich.de

²Department of Environmental Sciences and Land Use Planning, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique.

sebastien.lambot@uclouvain.be

³Geotechnology Department, Delft University of Technology, Delft, Hollande.

e.c.slob@tudelft.nl

Les technologies GPR et d'induction électromagnétique (EMI) sont très intensivement utilisées dans des domaines aussi variés que l'agriculture de précision, l'archéologie ou l'ingénierie civile. Toutefois, les systèmes commerciaux actuellement disponibles présentent plusieurs lacunes. Tout d'abord, leur calibration est souvent empirique et imprécise, limitant la reproduction des mesures et leur interprétation quantitative. De plus, ces systèmes considèrent des modèles électromagnétiques (EM) unidimensionnels (1D) et les effets des antennes sont généralement négligés, induisant de grandes imprécisions lors de l'analyse des signaux. Enfin, la reconstruction de profils verticaux des propriétés EM du sol ou de matériaux par modélisation inverse à partir de mesures GPR ou EMI présente souvent des problèmes de non-unicité, suite à un manque d'information dans ces données lorsqu'elles sont considérées de manière indépendante. Toutefois, de par leur complémentarité, l'analyse conjointe de telles données permet de palier dans une certaine mesure à ces problèmes. Le développement d'approches de fusion de données combinant les techniques GPR et EMI s'avère dès lors indispensable pour la caractérisation quantitative détaillée du sol et de matériaux.

Nous proposons une méthode de modélisation intégrée pour la modélisation 3D des signaux GPR et EMI pour des milieux multicouches. Les deux systèmes, implémentés avec un même analyseur vectoriel, opèrent à distance avec les mêmes antennes jouant à la fois le rôle d'émetteur et de récepteur. Les antennes GPR et EMI ainsi que leurs interactions avec le matériau à caractériser (par ex., le sol) sont modélisées dans le domaine fréquentiel sur base d'un système linéaire de fonctions de transfert. La propagation des ondes et les effets d'induction dans le milieu multicouche sont modélisés au moyen de fonctions de Green 3D. Les résultats d'expériences en laboratoire et au champ ont démontré la grande précision des modèles GPR et EMI et s'avèrent très prometteurs pour l'application de ces techniques pour la caractérisation non destructive et non invasive du sol et de matériaux.

Mots-clés : radar de pénétration du sol (GPR), induction électromagnétique (EMI), milieu multicouche, fonction de Green, modélisation inverse intégrée, fusion de données

Résumés des communications du thème

Méthodes d'analyse statistique

Conférence introductive

Les objets vagues et leur traitement dans les bases et les entrepôts de données spatiales

François Pinet*, Michel Schneider**

**Cemagref, centre de Clermont Ferrand*
francois.pinet@cemagref.fr

***LIMOS, Université Blaise Pascal, Aubière*
schneider@isima.fr

Les bases de données « traditionnelles » permettent de stocker efficacement des objets géographiques aux limites spatiales connues. Or, les formes de certains objets géographiques environnementaux sont mal-connues, vagues ou ne font pas l'objet d'un consensus. Lorsque l'on a accès à plusieurs sources de données, plusieurs représentations géographiques différentes d'un même objet peuvent se présenter.

Le présent exposé fera le tour des principaux modèles de représentation des objets géographiques vagues (c'est-à-dire incertains) dans les bases de données environnementales. Les modèles dits du jaune d'œuf et les modèles basés sur la logique floue seront décrits. La modélisation des relations topologiques entre les objets vagues seront aussi présentée. Il sera indiqué comment tirer profit de ces modèles pour intégrer au sein d'une seule base de données, différentes sources de données géographiques existantes. Un panorama des principales techniques de contrôle de la qualité des données dans les bases de données intégrées sera réalisé. La notion d'entrepôts de données géographiques, technologie permettant le stockage et l'analyse d'un grand volume d'information provenant de sources diverses, sera aussi introduite.

L'exposé fera donc référence à la logique floue, aux modèles de données géographiques, à l'expression des relations topologiques entre objets spatiaux, aux contraintes d'intégrité, aux bases de données géographiques transactionnelles et décisionnelles.

Mots-clés : *objet géographique vague, base de données, entrepôt de données, intégration de sources*

Caractérisation de la variabilité spatiale de l'humidité de surface des sols nus sur un petit bassin péri-urbain

Braud, I. ⁽¹⁾, Gonzalez-Sosa, E. ^(1, 2), Leblois, E. ⁽¹⁾, Mastachi-Loza, C. ^(1, 2), Aubert, M. ⁽³⁾, Jankowsky, S. ⁽¹⁾, Baghdadi, N. ⁽³⁾,

(1)Cemagref, UR HHLY, Lyon

isabelle.braud@cemagref.fr

(2)DEFI-CIAQ, Université de Querétaro, Mexique

(3)Cemagref, UMR TETIS, Maison de la Télédétection, Montpellier

La très haute résolution des nouveaux capteurs radar SAR (Synthetic Aperture Radar) permet d'accéder à différents paramètres physiques des sols (humidité et rugosité), indispensables pour les modèles hydrologiques. La haute périodicité de ces nouveaux satellites offre la possibilité d'acquérir de nombreuses données spatialisées, et ainsi de limiter les extrapolations spatio-temporelles en entrée des modélisations. Afin d'évaluer le potentiel d'estimation de l'imagerie radar, une image TerraSAR-X (longueur d'onde ~ 3 cm) d'une résolution de 1m (HH, 23°) a été acquise le 12 Mars 2009 sur le bassin versant de l'Yzeron (150 km²), situé dans les Monts du Lyonnais en périphérie de Lyon. La partie amont de ce bassin versant péri-urbain présente de fortes pentes. Cette caractéristique complexifie les processus de traitements des données satellitaires. Afin de calibrer/valider les algorithmes d'extraction de l'humidité de surface, deux campagnes de terrain ont été menées sur une quinzaine de parcelles de sol nu, situées sur une zone d'environ 10 km² (sous-bassins du Mercier et du Ratier). Ces données ont été acquises consécutivement les 12 et 13 Mars, à l'aide de sondes TDR (type ThetaProbe -DeltaT Device) mesurant l'humidité de surface (profondeur $\sim 0-5$ cm).

Afin de mettre en évidence les variabilités spatiales, deux protocoles de mesures ont été mis en place. Le premier protocole, basé sur l'échantillonnage de 3 transects linéaires (pas de 20m), a été réalisé sur toutes les parcelles. Le second, effectué sur quatre parcelles, repose sur un échantillonnage plus fin en trois endroits de la parcelle. Ces prélèvements sont effectués, avec un pas d'un mètre, suivant une croix dont chaque branche couvre une longueur de 20m. Une comparaison spatialisée entre données radar et mesures in situ d'humidité est possible grâce à la géolocalisation des mesures in situ par GPS (précision de 1 et 10m). Toutes les sondes TDR ont été calibrées pour les sols échantillonnés. L'écart par rapport à la relation standard proposée par le constructeur (sols minéraux) est inférieur à 5%.

La communication proposée présentera les résultats de l'analyse de la variabilité spatiale des mesures obtenues aux différentes échelles: locale, parcellaire et inter-parcellaire. Différentes méthodes d'analyses géostatistiques seront utilisés, afin d'étudier la répartition et la variation spatiale d'humidité.

Mots clés : RADAR, TerraSAR-X, Humidité, Variabilité spatiale, Géostatistique.

[illegible]

Caractérisation des contributions de surface et hydrogéologique du BV de l'Orgeval, site expérimental du GIS ORACLE, par interpolation de données piézométriques. Comparaison de méthodes géostatistiques.

G. Tallec^a, N. Flipo^b, B. Kurtulus^b, G. Vilain^c, J. Tournebize^a, J. Garnier^d, G. Billen^d

a) Cemagref

gaelle.tallec@cemagref.fr

b) MINES ParisTech, c) UPMC, d) UMR Sisyphe

Le GIS ORACLE (Groupement d'Interêt Scientifique autour d'un observatoire de recherche) créé en 2008 a pour objectif de coordonner les recherches en hydrologie, hydrogéologie, biogéochimie sur des bassins sédimentaires du bassin parisien. GIS ORACLE s'appuie notamment sur le suivi expérimental du bassin versant de l'Orgeval, dont l'acquisition des données a commencé dès les années 60. Il comprend à ce jour, 7 stations débitmétriques, 8 pluviomètres, 9 piézomètres, 3 sites de mesure d'humidité des sols (TDR) et 7 stations de qualité des eaux. Les enjeux scientifiques portent sur les 3 axes de recherche du GIS : 1) les transferts d'eau et de polluants, 2) la gestion des risques liés aux événements hydrologiques extrêmes, 3) les stratégies de mesures et les systèmes de représentations.

Nous présentons ici un des aspects scientifiques clefs dans la compréhension des échanges eaux de surface – eaux souterraines, étroitement lié aux deux premiers axes de recherche du GIS.

Le bassin de l'Orgeval, d'une superficie de 104km² est constitué à 80% de surface en culture, artificiellement drainées, de 18% de couvert forestier et de 2% urbanisée. À l'amont, les écoulements sont temporaires essentiellement alimentés par les eaux de drainage hivernales, et à l'aval (ordre de Strahler 3 et 4), les écoulements deviennent permanent soutenus par la nappe des calcaires de Brie.

En parallèle des suivis continus sur le bassin versant, des suivis ponctuels de relevés de cote piézométrique (50 puits sur 40 km²) et des analyses qualités ont été mis en place en hautes eaux (avril 2009) et en basses eaux (à venir).

Lors d'études précédentes, les deux systèmes (assainissement agricole des limons des plateaux et nappe sous jacentes des calcaires de Brie) étaient pris séparément. Or il apparaît après analyse des données piézométriques et des chroniques de débit de drainage, une forte interaction entre les deux systèmes aussi bien en hiver que pendant l'été. A terme la quantification de celle-ci nécessitera de construire un modèle des écoulements. A ce stade de compréhension, spatialiser les données à l'échelle du bassin versant, incluant les zones de plateau, les cours d'eau incisés et les discontinuités du paysage, est une première étape d'importance. A partir du jeu de données acquis sur site, trois méthodes d'interpolation sont comparées afin de cartographier la surface piézométrique des hautes eaux 2009 : Adaptive Neuro Fuzzy based Inference System (ANFIS) (Pratihari, 2008), Ordinary Kriging (OK) (Chilès and Delfiner, 1999) et kriging with an external drift (KED) (Wackernagel, 2003).

Références

Chilès, J.-P., Delfiner, P., 1999. Geostatistics: modeling spatial uncertainty. Wiley, New York.

Pratihari, D. K., 2008, Soft Computing. Alpha Science International Ltd. 229p.

Wackernagel, H., 2003. multivariate Geostatistics: An introduction with applications. Springer, Berlin.

Mots-clés : *bassin versant expérimental, piézométrie, drainage, spatialisation, interpolation, nappe souterraine*

Analyse de l'évolution spatio-temporelle des paramètres hydrodynamiques du sol : application à l'irrigation goutte-à-goutte

Ibrahim Mubarak^{1,2,3*}, Rafael Angulo-Jaramillo^{2,4}, Jean Claude Mailhol³, Pierre Ruelle³,
Mohammadreza Khaledian^{3,5}

¹ AECS, Department of agriculture, BP 6091, Damascus, Syria.

iimubarak@maktoob.com

² Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement, LTHE (UMR 5564, CNRS, INPG, UJF, IRD), Grenoble.

³ Cemagref, Montpellier

jean-claude.mailhol@cemagref.fr, pierre.ruelle@cemagref.fr.

⁴ Université de Lyon, ENTPE, Laboratoire des Sciences de l'Environnement, Rue Maurice Audin, 69518 Vaulx en Vélain, France.

rafael.angulo@entpe.fr

⁵ Guilan University of Iran.

La gestion de parcelles agricoles irriguées nécessite des informations fiables sur les propriétés hydrodynamiques du sol et leur variabilité spatio-temporelle. On présente ici les résultats de l'analyse de ces variabilités à la station expérimentale du Cemagref à Montpellier, sur une sous-parcelle de maïs, au sol limoneux, irrigué en goutte à goutte. L'irrigation a été conduite à l'ETM (évapotranspiration maximale). Les paramètres hydrodynamiques du sol ont été estimés à l'aide de la méthode de l'infiltration Beerkan. L'impact de la variabilité spatio-temporelle sur le transfert d'eau, a été analysé au moyen de la modélisation numérique avec Hydrus2D. L'objectif est de répondre à la question : est-il, oui ou non, opportun de tenir compte de ces variabilités dans le but d'améliorer le pilotage du système goutte à goutte ?

Nos résultats expérimentaux ont montré que les paramètres hydrodynamiques du sol évoluent tout au long du cycle cultural sous l'effet de l'irrigation (restructuration du sol après travaux, génération de microfissurations par les cycles humidification-dessèchement) et de la croissance racinaire. L'analyse géostatistique a identifié la structure spatiale des paramètres hydrodynamiques du sol, caractérisée par une distance d'autocorrélation allant de 20 à 30m.

La modélisation numérique a fait apparaître que l'impact des variabilités spatiale et temporelle des paramètres du sol sur l'évolution des profils de teneur volumique en eau est négligeable dans notre contexte agro-pédoclimatique. Le rôle hydrodynamique du sol semble ainsi limité à un simple facteur d'échange entre la source (le gouteur) et le puits (les racines) sans variation de stock d'eau. Une explication possible est liée à la bonne adéquation entre l'apport d'eau quasi-quotidien et le besoin de la plante, qui permet d'atténuer l'influence de la variabilité spatio-temporelle des propriétés du sol.

Mots clés : Caractérisation hydrodynamique du sol, variabilité spatio-temporelle, irrigation goutte-à-goutte, modélisation, infiltration, sol limoneux.

[illegible]

Traitement des signaux piézométriques dans un canal à houle (hydrodynamique côtière / plage)

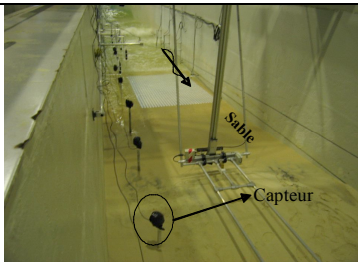
Yunli Wang, Rachid Ababou, Manuel Marcoux

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT),
wang@imft.fr, ababou@imft.fr, marcoux@imft.fr

Le propos de ce papier est de présenter les résultats expérimentaux et les analyses réalisées sur un grand canal à houle (CIEM, Barcelone, Espagne) en collaboration avec le groupe OTE de l'IMFT, dans le cadre du projet européen Hydralab-Sands. L'objectif est d'étudier et de donner une interprétation du comportement d'un milieu poreux in situ, partiellement et variablement saturé soumis à des oscillations hydrodynamiques à fortes variabilités temporelles et fréquentielles (zone de « swash » avec la déformation du fond sableux). Dans ce but, les résultats expérimentaux ont été analysés en utilisant différentes méthodologies du traitement du signal notamment :

- une analyse de Fourier (fréquentielle),
- une Ondelettes discrètes multirésolution (approximation + résidu),
- et une analyse corrélatoire (temporelle).

FIGURES

		
Photo 1 : Mesures de capteurs capacitifs (piézométriques) de niveau d'eau	Photo2: Capteur capacitif (piézométrique) No.2	Photo3: Ecran des mesures en temps réel

REFERENCES

- Wang Y., R. Ababou, M. Marcoux, 2008: Oscillatory Flows through Porous Media: Free Surface Hydraulics, Wave Propagation, and Capillarity. Présenté à *IAHR-GW2008, Internat. Assoc. Hydraulics Research – Ground Water Symposium*, Istanbul, Turkey, June 2008.
- Wang Y., R. Ababou, M. Marcoux, 2008: Etude Expérimentale et Numérique des Oscillations Hydrodynamiques en Milieux Poreux Partiellement Saturés. Poster à *GFHN*, Avignon, 2008

Mots clés : eau souterraine, surface libre, milieux poreux, interfaces, oscillations, ondes, hydrodynamique côtière, analyse de Fourier, ondelettes discrètes multirésolution, analyse corrélatoire.

**Utilisation d'un dispositif de mesures tensiométriques et de teneur en eau pour estimer le bilan de la zone non saturée en milieu urbain.
Cas du Site Atelier Pluridisciplinaire à Nantes.**

Letellier L., Rodriguez F., Lassabatere L., Ledellou AL.

LCPC Division Eau et Environnement, France

laetitia.letellier@lcpc.fr,

Un suivi à long terme d'un petit bassin versant séparatif péri-urbain de 31 ha a démarré en janvier 2006 à Nantes (France) dans le cadre d'un réseau fédératif de recherche regroupant plusieurs laboratoires (IRSTV). L'objectif de cette étude est d'établir un bilan des flux d'eau, de polluants et d'énergie de ce bassin versant sur plusieurs années, pour contribuer à l'évaluation de modèles intégrés en milieu urbain, intégrant les compartiments sol et atmosphère. Les différents dispositifs expérimentaux mis en place permettent un suivi en continu de la pluie, du débit et de la qualité à l'exutoire des deux réseaux d'assainissement, un suivi détaillé de paramètres météorologiques, ainsi qu'un suivi de la nappe. Un site de mesures hydrodynamiques a été installé sur un espace vert en mai 2007 afin de mieux connaître les flux hydriques dans la zone non saturée ; il comprend deux profils tensiométriques verticaux et un profil de sondes de teneur en eau entre la surface et une profondeur de 1,50 mètres. Les mesures sont enregistrées en continu au pas de temps de 20 minutes sur une centrale d'acquisition et validées régulièrement. Un piézomètre situé dans cet espace vert permet également de connaître la position du niveau de saturation. L'utilisation de ces mesures hydrodynamiques permet de réaliser un bilan de la zone saturée sur les périodes valides, et d'estimer les flux verticaux ascendant et descendant en fonction des sollicitations météorologiques. Une analyse conjointe des résultats expérimentaux et des résultats d'une modélisation numérique menée sur un cas d'école est réalisée dans cette étude. Cette analyse montre que l'utilisation d'un tel dispositif peut, sous certaines conditions, donner des informations concernant les flux d'évaporation du sol et le bilan hydrique de la zone non saturée (ZNS) mais tombe aussi sur certains écueils en raison de la nature du sol anthropique (sol urbain non uniforme contenant plusieurs horizons, etc.) et selon les conditions météorologiques considérées (intensité de pluie, période estivale / hivernale, etc.).

Mots-clés : mesure, tensiométrie, bilan hydrique, sol urbain, zone non saturée, flux d'évaporation

Plans d'expériences appliqués aux modèles numériques

Thierry Faure

Cemagref LISC Clermont-Ferrand

thierry.faure@cemagref.fr

Pour mieux comprendre les écosystèmes ou les systèmes économiques et sociaux, les chercheurs développent des modèles de plus en plus complexes. Explorer ces modèles par simulation est indispensable, car les interactions entre de nombreux composants dynamiques engendrent souvent des effets inattendus.

Les plans d'expériences ont été originellement développés dans le cadre de la recherche agronomique (Fisher), puis se sont ensuite étendus vers la mise au point de nouveaux produits ou de procédés industriels. Il s'agit d'utiliser les outils développés pour les appliquer à l'expérimentation numérique sur les modèles.

L'analyse de sensibilité globale est une méthode qui permet

- de quantifier l'influence des différentes variables et paramètres sur la variabilité de la réponse d'un modèle ;
- détecter des interactions entre les différentes entrées ;
- résumer un modèle complexe sous la forme d'un méta-modèle plus facilement manipulable.

Avec l'analyse d'incertitude, elle constitue ainsi une étape indispensable pour dimensionner un modèle, le valider ou orienter les efforts de recherche. Leur utilisation explicite est devenue incontournable dans de nombreux projets de modélisation mais reste souvent difficile à mettre en œuvre par des modélisateurs.

Le Cemagref développe le logiciel SimExplorer pour aider les modélisateurs à analyser leurs modèles. SimExplorer est donc un outil permettant l'exploration et l'analyse de modèles de simulation. Il se compose d'un module d'exploration (client) des simulations permettant notamment de définir des plans d'expérience, d'un module (serveur) permettant de lancer sur un réseau local ou une grille de calcul (cluster) les simulations correspondantes, et d'un module de récupération et de traitement et d'affichage synthétique des résultats de simulation.

Le réseau **MEXICO (Méthodes d'EXploration Informatique de modèles Complexes)** regroupe des chercheurs du département Mathématiques et Informatique Appliquées de l'INRA et des scientifiques de divers organismes dont le CEMAGREF, l'ULCO, le CIRAD et l'IFREMER. Il a notamment pour ambition d'initier les modélisateurs au traitement statistique de leurs simulations et à une exploration raisonnée du comportement de leurs modèles. Il propose donc de transmettre son expertise aux modélisateurs au travers de cette école-chercheurs.

Mots-clés : plans d'expérience, modèle, simulation, analyse de sensibilité

Résumés des communications du thème

Changements d'échelle

Conférence introductive

Approches Statistiques Multi-échelles en Hydro-Géosciences

Rachid Ababou

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse
ababou@imft.fr

Cette conférence présente les problèmes de mise à l'échelle et de prise en compte des incertitudes, des variabilités spatiales et des fluctuations temporelles.

Celles-ci sont dues à la variabilité des milieux (sols, bassins, aquifères) et des forçages hydrologiques ($Q(t)$, $H(t)$, $P(t)$), mais sont aussi influencées par les instruments de mesure (volume et 'inertie' des mesures).

On présente quelques exemples d'approches statistiques ou probabilistes permettant d'analyser et de traiter certains de ces problèmes en Hydrologie, Hydrogéologie, Sciences des sols, et plus généralement, en 'Géosciences'.

Mots-clés : *échelles spatio-temporelles, fluctuations, incertitudes, variabilité spatiale, oscillations, milieux hétérogènes, changements d'échelles, approches statistiques, champs aléatoires, processus aléatoires, estimation, filtrage, fonctions de covariances, analyse spectrale, analyse ondelettes, hydrologie, hydrogéologie, sciences des sols, géosciences...*

[illegible]

Évaluation de la réserve en eau à l'échelle des pédopaysages de Bourgogne

C. Lamy¹, M. Ubertosi², A. Vautier³, P. Curmi², T. Castel⁴, Yves Richard⁴,
H. Toussaint¹, P. Amiotte-Suchet⁵

¹ Alterre Bourgogne, 9 bd Rembrandt, 21000 Dijon,
h.toussaint@alterre-bourgogne.org

² Département Agronomie et Environnement, AgroSup Dijon,
m.ubertosi@agrosupdijon.fr, p.curmi@agrosupdijon.fr

³ Chambre d'Agriculture de la Nièvre, Nevers,
arnaud.vautier@nievre.chambagri.fr

⁴ Centre de Recherche en Climatologie, UMR 5210 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon,
thierry.castel@u-bourgogne.fr

⁵ Biogéosciences, UMR 5561 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon,
philippe.amiotte-suchet@u-bourgogne.fr

Cette étude a pour objet de définir la sensibilité de la ressource en eau sur les sols bourguignons au regard des changements climatiques de demain, et de zoner les secteurs pouvant être impactés par la sécheresse à l'échelle des unités de paysage.

A partir du référentiel pédologique de Bourgogne aux 1/250000^{ème} la Réserve Utile des sols est déterminée selon des fonctions de pédotransfert à partir de la texture, du taux de matière organique, de la teneur en éléments grossiers, de la profondeur d'enracinement et de l'épaisseur des strates des différentes unités typologiques de sol. La spatialisation de cette réserve à l'échelle régionale s'effectue sur la base des Unités Cartographiques de Sol (UCS) du référentiel pédologique de Bourgogne. Ces UCS représentent des pédopaysages composés de plusieurs Unité Typologiques de Sol (UTS) dont on connaît les proportions relatives dans l'unité cartographique. Des classes de réserve utile ont ensuite été réalisées afin de spatialiser et de discrétiser à la maille de 1 km la donnée pour l'introduire dans un modèle de bilan hydrique. Dans un premier temps, celui-ci permet d'estimer l'état de la réserve utile au cours d'un cycle climatique annuel sur l'ensemble du territoire bourguignon. Dans un second temps, la recharge des nappes est également estimée.

Cette approche est appliquée au contexte climatique particulier de l'année 2003, reflétant une évolution possible des températures sur la période végétative (mars à septembre), et dont les résultats sont comparés à ceux de 1991, considérée comme représentative du climat de la fin du 20^{ème} siècle. On met alors en évidence les conséquences d'un changement climatique sur les volumes d'eau disponibles dans la réserve utile pour la plante et pour la recharge des nappes à l'échelle du territoire bourguignon.

Mots-clés : base de données IGCS, réserve utile, recharge des nappes, bilan hydrique, changement climatique, Bourgogne

Évaluation de la réponse des sols aux changements climatiques - Exemple des sols de Bourgogne

C. Lamy¹, P. Amiotte-Suchet², T. Castel³, Yves Richard³, M. Ubertosi⁴,
P. Curmi⁴, A. Vautier⁵, H. Toussaint¹

¹ Alterre Bourgogne, 9 bd Rembrandt, 21000 Dijon,
h.toussaint@alterre-bourgogne.org

² Biogéosciences, UMR 5561 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon,
philippe.amiotte-suchet@u-bourgogne.fr

³ Centre de Recherche en Climatologie, UMR 5210 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon,
thierry.castel@u-bourgogne.fr

⁴ Département Agronomie et Environnement, AgroSup Dijon,
m.ubertosi@agrosupdijon.fr, p.curmi@agrosupdijon.fr

⁵ Chambre d'Agriculture de la Nièvre, Nevers,
arnaud.vautier@nievre.chambagri.fr

Cette étude a pour objet de définir la sensibilité de la ressource en eau sur les sols bourguignons au regard des changements climatiques de demain, et de zoner les secteurs pouvant être impactés par la sécheresse ou des ruissellements excessifs à l'échelle des unités de paysage.

Le modèle de bilan hydrique que nous avons conçu comprend les paramètres Précipitations (P), Evapotranspiration (E), Infiltration (I), la variation du stock d'eau de la réserve utile et les excédents d'eau. L'évapotranspiration a été modélisée à partir de la formule de Turc, à partir des paramètres de rayonnement dérivée de la base de donnée SoDa et de température simulée par une modèle climatique régional WRF (Weather Research & Forecasting). Les ré-analyses ERA-INTERIM de l'ECMWF sont utilisées pour le forçage atmosphérique. Le modèle résout les équations de la dynamique à la maille fine (5 km) en prenant explicitement en compte les interactions entre les basses couches de l'atmosphère et la surface (végétation, sol, plan eau) via un couplage *in line* avec le modèle NOAH. Outre la température, le modèle est utilisé pour produire les cartes de pluie nécessaires au calcul du bilan. En parallèle, la carte des Réserves Utiles est réalisée par Unités Cartographiques de sol. Un maillage à l'échelle d'un kilomètre a été effectué sur les jeux de données afin de générer les couches de paramètres climatiques et pédologiques.

Notre modèle de bilan hydrique a permis de visualiser sous forme de cartes les variations de réserves en eau à l'échelle régionale. L'analyse de ces résultats a révélé des périodes d'assèchements estivaux et de recharges hivernales pour les deux années étudiées (2003, reflétant une évolution possible du climat, et 1991, considérée comme une année représentative du climat de la fin du 20^{ème} siècle). Ces phénomènes arrivent relativement au même moment pour les deux années, mais avec des intensités variables. Les sorties du modèle montrent un assèchement de la réserve paradoxalement plus marqué en été 1991 et une recharge hivernale plus efficace en hiver 2003-2004.

La conception d'un modèle de bilan hydrique spatialisé à l'échelle de la Bourgogne, nous a permis d'observer des tendances intéressantes quant à l'impact d'un changement climatique sur la ressource en eau des sols. Ce travail a notamment permis d'apprécier les différences de sensibilité entre les territoires, face aux changements climatiques.

Mots-clés : base de données IGCS, réserve utile, recharge des nappes, bilan hydrique, changement climatique, Bourgogne

Modélisation, couplage, intégration spatiale de processus hydrologiques dans un petit bassin versant agricole artificiellement drainé.

H.Henine, Y. Nédélec

Cemagref d'Antony, UR Hydrosystèmes et Bioprocédés
hocine.henine@cemagref.fr, yves.nedelec@cemagref.fr

Aménagement particulier de certains territoires agricoles, le drainage artificiel des sols par tuyaux enterrés représente en France près de 3 millions d'hectares, soit 10 % de la S.A.U (Surface Agricole Utile). En outre, les parcelles drainées couvrent parfois des superficies importantes au sein du bassin versant (jusqu'à 80% dans les bassins versants amont de la Brie par exemple). En période de crue, le rejet des réseaux de drainage par tuyaux enterrés peut être perçu comme une cause possible d'inondations. Cependant, lors des épisodes de crue les plus intenses, plusieurs processus internes aux réseaux de drainage et d'assainissement agricoles se sont révélés atypiques vis-à-vis du fonctionnement supposé idéal au moment de leur dimensionnement. Il s'agit notamment de la submersion du point de rejet du réseau ou la mise en charge des tuyaux. Ces deux phénomènes conduisent à la limitation de la capacité d'évacuation du réseau, et ainsi au ralentissement dynamique des crues.

La modélisation du transfert des crues de drainage doit mettre en jeu non seulement les différents processus d'écoulement dans la nappe et dans le réseau de drainage, mais aussi les interactions entre les milieux où ils se produisent. La première interaction se situe entre le réseau enterré et le réseau de fossés. La modélisation du ralentissement des crues par de multiples ouvrages répartis le long d'un fossé d'assainissement agricole a montré que ceux-ci peuvent influencer les rejets. La deuxième interaction concerne l'écoulement dans la nappe et le transfert dans le réseau enterré surchargé. La mise en charge des drains conduit à la remontée de la nappe vers la surface du sol. Durant cette phase, la nappe joue ainsi un rôle tampon supplémentaire. Sa remontée favorise également le stockage de surface puis le transfert par ruissellement de la pluie qui ne peut s'infiltrer.

Notre objectif consiste à présenter un modèle couplé associant un modèle classique de réseau monodimensionnel où s'appliquent les équations de Saint-Venant et un modèle bidimensionnel où s'applique l'équation de nappe de Boussinesq, permettant de représenter ces processus extrêmes et de faire ressortir leur forte hétérogénéité spatiale : points de rejet plus ou moins influencés par le fossé, réseaux enterrés ou nappes partiellement en charge. Cette hétérogénéité spatiale introduit une complexité à ne pas négliger dans une démarche de changement d'échelle.

Le couplage a été réalisé au moyen de la plateforme LIQUID. Le traitement des données du modèle se fait au moyen d'une base de données PostgreSQL avec la possibilité d'enregistrement et de traitement de données géométriques (extension PostGIS). Cela nous a ouvert la voie à l'utilisation des différents outils et méthodes de traitement de données offerts par les SIG.

Mots clés *Drainage agricole, ralentissement dynamique, mise en charge, modélisation, couplage, SIG*

Résumés des communications du thème

**Applications au milieu agricole, urbain,
périurbain, naturel**

[illegible]

Conférence introductive

Teneur en eau mesurée à l'échelle locale, quelle utilité pour les applications ?

André Chanzy

UMR INRA/UAPV EMMAH, Site Agroparc Avignon.

achanzy@avignon.inra.fr

La teneur en eau est la résultante de processus de transferts tels que l'évaporation, la partition entre l'infiltration et le ruissellement ou encore les transferts dans le sol. Ces transferts dépendent du forçage climatique et des propriétés hydrodynamiques du sol qui peuvent varier fortement sur de courtes distances. Des mesures montrent un effet pépité important et qu'une bonne part de la variabilité se réalise sur de courtes distances (<20 cm).

Les méthodes de mesure de la teneur en eau sont souvent très locales avec des volumes de mesure confinés à quelques centimètres autour de la partie sensible du capteur. Ceci est particulièrement vrai avec les capteurs basés sur la mesure de la constante diélectrique des sols (TDR, sonde capacitive) qui sont maintenant très largement utilisés du fait qu'ils soient facilement automatisable. Ceci pose un réel problème de représentativité spatiale des mesures par rapport aux applications qui nécessitent souvent d'appréhender des surfaces de tailles plus importante (la parcelle par exemple).

Nous discuterons de l'intérêt de faire des mesures locales pour une application qu'est la prévision des jours disponibles pour réaliser une intervention agricole (travail du sol, semis, récolte) sans risquer de tasser le sol. On montrera la valeur ajoutée de mesures de teneur en eau pour prévoir l'état hydrique du sol et ainsi décider de la date de l'intervention.

Mots clés : teneur en eau, mesure, jours disponibles, assimilation

**Étude des relations hydrosalines entre l'étang du vaccarès
et les nappes superficielles voisines.
Impact du climat et de l'irrigation.**

V. Vallès^{(1)*}, R. Simler*, M. Daniel*, D. Belkhir*, E. Trolet**, A. Olios**

* UMR EMMAH, INRA-UAPV 33 rue Louis Pasteur 84000 Avignon

** UMR EMMAH, INRA-UAPV Domaine Saint Paul Site Agroparc 84914 Avignon Cédex 9

(1) auteur correspondant

vincent.valles@univ-avignon.fr

roland.simler@univ-avignon.fr

michel.daniel@univ-avignon.fr

olioso@avignon.inra.fr

belkhiridjemaa@yahoo.fr

elodie.trolet@hotmail.fr

Une série de piézomètres équipés de sondes Cera Diver, CTD Diver, Baro Diver et de puits ont été installés dans la nappe superficielle selon un axe allant de la rive nord de l'étang du Vaccarès jusqu'au marais de la GrandMar. Ce dispositif recoupe ainsi la totalité d'un ancien bourrelet alluvial du Rhône.

Le suivi des données piézométriques montre une réactivité de la nappe aux basculements de l'étang, basculements générés par les alternances de vent de Mistral et de vent marin. Le temps de réponse de la nappe à ces basculements est de l'ordre de 7 heures et l'amplitude des variations piézométrique est importante (plus de 20 cm en quelques heures). L'impact du vent sur la piézométrie est donc important et original.

Les mesures ont par ailleurs confirmé l'impact important de la riziculture sur la recharge et la dilution de la nappe, phénomène déjà étudié.

Les pompages d'essais ont permis de caractériser la transmissivité de la nappe. Les valeurs variant de $5 \cdot 10^{-4}$ à $9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Compte tenu du gradient généré en période de submersion pour la riziculture et de la transmissivité mesurée, le flux moyen journalier d'eau souterraine de la nappe vers le Vaccarès peut être estimé à $1\,500 \text{ m}^3/\text{jour}$ pour la seule façade nord de l'étang. Cette donnée est moins facilement accessible que les débits entrant par les différents canaux qui alimentent l'étang du Vaccarès.

Mots clés: hydrogéologie de surface, vent, irrigation, mesures, échanges nappe-étang

[illegible]

Caractérisation et simulation du mouvement de l'eau et du transfert des sels dans la région de Bou Hajla (Kairouan). Évaluation du risque de salinisation

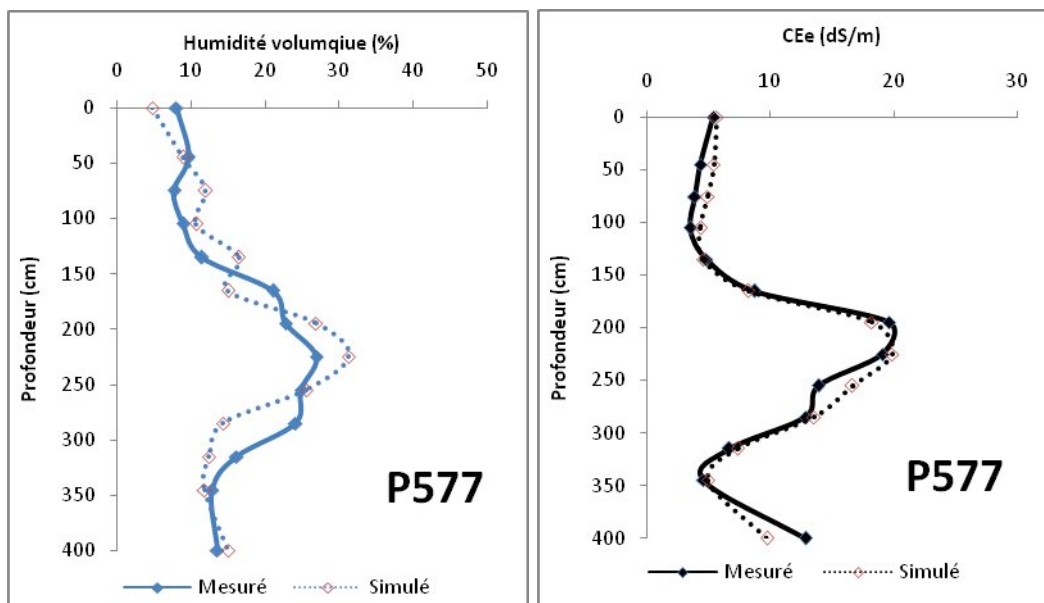
Kanzari S.^{1,2}, Hachicha M.¹, Bouhlila R.², Battle Sales J.³

¹ Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, Ariana, Tunisie, hachicha.mohamed@iresa.agrinet.tn, sabri.kanzari@gmail.com

² École Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Laboratoire de Modélisation en Hydraulique et Environnement, bouhlila.rachida@enit.rnu.tn

³ Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Valencia, Burjassot, Espagne jorge.battle@uv.es

Une étude du mouvement de l'eau et du transfert des sels a été menée dans une parcelle de la région de Bou Hajla au Sud de Kairouan dans la Tunisie Centrale. Le suivi jusqu'à 4 m de profondeur de la dynamique de l'eau a été réalisée par des sondes TDR et celui des sels par des prélèvements d'échantillons de sol (Avril 2006 – Juillet 2008). Les profils hydriques et salins mettent en évidence le rôle d'une couche argilo-limoneuse dans l'infiltration de l'eau et le transfert des sels. Cette couche réduit l'entraînement des sels mais ne les arrête pas ce qui augmente le risque de salinisation de l'aquifère. Ces processus sont simulés à l'aide du code HYDRUS-1D. Le calage du modèle a été effectué à court terme sur un essai d'irrigation mené sur la parcelle. L'estimation de la variation du stock d'eau a montré une infiltration en profondeur d'une grande quantité d'eau. La simulation à moyen terme des profils hydriques et salins a été effectuée avec succès. Elle a permis l'analyse de l'effet d'un évènement très pluvieux (>50 mm/j) sur la dynamique des sels. Ce type d'évènement permet le lessivage d'une importante quantité de sels accumulés auparavant dans la zone arable et favorise leur entraînement en profondeur ce qui réduit le risque de salinisation du sol mais augmente celui de l'aquifère.



Profils hydriques et salins mesurés et simulés au dernier jour de la simulation.

Mots clés : Salinisation – Sol – Aquifère – TDR – HYDRUS-1D – Tunisie Centrale.

Résumés des Posters

Comparaison des mesures réalisées avec la sonde à neutrons et avec le Diviner 2000

Martinez Anne-Marie, Ramel Jean-Pierre

CIRAME : Centre d'Information Régional AgroMÉtÉorologique, Carpentras
martinez-am@agrometeo.fr, ramel-jp@agrometeo.fr

Le CIRAME effectue depuis le début des années 80 des mesures de teneur en eau des sols à l'aide de la sonde à neutrons. Les parcelles sont essentiellement des vignes de cuve, généralement non irriguées. Cet historique, acquis depuis près de trente ans, permet de voir si, à une période donnée, les sols sont exceptionnellement humides ou secs. Les mesures sont effectuées, selon la période et la parcelle, entre 1 et 4 fois par mois.

Les contraintes administratives liées à l'utilisation de la sonde à neutrons ont poussé le CIRAME à rechercher un outil de substitution. En 2005, nous nous sommes donc équipés d'une sonde Diviner 2000 (mesure FDR). Depuis, nous avons 10 tubes d'accès à la sonde à neutrons auprès desquels ont été implantés des tubes d'accès à la sonde Diviner 2000 et pour lesquels nous avons à chaque fois les mesures avec les deux sondes.

Le but pour le CIRAME est d'obtenir avec la nouvelle sonde des mesures comparables à celles de la sonde à neutrons, afin de pouvoir exploiter tout l'historique acquis.

La sonde Diviner 2000 donne, à la base, des valeurs d'humidité volumique du sol obtenues d'après une droite d'étalonnage par défaut. Nous recherchons donc, en corrélant les mesures obtenues par les deux outils, à obtenir de nouvelles droites d'étalonnage, adaptées à chacune de nos parcelles.

Nous pouvons voir que sur la majorité des sites, de bonnes corrélations sont obtenues entre les mesures des deux sondes, mais on observe parfois des écarts notables, pour lesquels on se pose de nombreuses questions...

Il y a plusieurs avantages à l'utilisation de la sonde Diviner 2000 par rapport à la sonde à neutrons : pas de contrainte administrative, rapidité de la mesure, mais la profondeur de mesure est limitée à 160 cm, alors que l'on pouvait localement aller jusqu'à plus de 300 cm avec la sonde à neutrons.

Les tubes Diviner du CIRAME ne sont pour l'instant implantés que sur des terrains peu caillouteux, où une tarière manuelle suffit à l'installation des tubes. Sur les terrains plus difficiles (Châteauneuf du Pape, Châteauneuf de Gadagne...), les tubes d'accès à la sonde à neutrons n'ont pas encore été « doublés » de tubes Diviner, ce qui est regrettable car la sonde à neutrons doit être prochainement restituée...

Mots-clés : *humidité volumique du sol, sonde à neutrons, Diviner 2000.*

Utilisation de l'outil Diviner® 2000 à la Société du Canal de Provence

Jean-Vincent Heckenroth

Société du Canal de Provence, Le Tholonet

jean-vincent.heckenroth@canal-de-provence.com

La SCP en tant que société d'aménagement régionale spécialisée dans le service de l'eau, accompagne sa clientèle agricole pour garantir une utilisation économe de la ressource. A cette fin des bulletins de conseil sont produits par son équipe agronomie et diffusés dans les journaux, sur le site Internet de la société où directement sur la boîte mail de ses clients. Ces bulletins informent la clientèle agricole sur l'état hydrique des sols, et apportent des préconisations en matière d'irrigation.

Le contenu des bulletins est élaboré à partir de mesures de terrain effectuées sur des parcelles agricoles de références. Différents outils de mesure sont utilisés dont le Diviner®.

Le Diviner® 2000 est une sonde capacitive mobile qui permet de mesurer la teneur en eau des sols. La sonde est introduite dans des tubes implantés dans le sol de la parcelle. Chaque parcelle est équipée de 2 tubes. Quinze parcelles de références sont actuellement suivies en 2009, celles-ci sont réparties sur le réseau hydraulique de la concession de la SCP. Les cultures concernées sont pérennes (vigne et cerisier). Bien qu'implantés sur des parcelles agricoles, les tubes Diviner® sont hors d'influence de l'irrigation. La fréquence des mesures est mensuelle ou bimensuelle en période d'irrigation. Pour chaque tube, une mesure d'humidité est obtenue tous les 10 cm de profondeur, sur une profondeur maximale de 160 cm.

A chaque tournée de mesure, un bulletin par parcelle est produit. Quatre parties composent le bulletin : -1- une description pédologiques, culturales, topographiques et hydrologiques de la parcelle. -2- une courbe annuelle du pourcentage de remplissage de la réserve utile (moyenne des cumuls des deux tubes). -3- des courbes de profils hydriques qui indiquent la répartition verticale de l'eau au sein du sol. -4- un commentaire succinct à la date du relevé.

Ces données sont intégrées dans les bilans hydriques en sortie d'hivers. Elles permettent de caractériser une année et de faire des comparaisons interannuelles. Elles peuvent également constituer un indicateur complémentaire à la pluviométrie pour évaluer les besoins en eau d'irrigation en début de campagne dans un secteur donné.

Plusieurs axes de travail ont été identifiés suite à l'utilisation de l'outil Diviner® depuis la date de son acquisition par la SCP en janvier 2007 :

- Les techniques de poses et le développement d'outil manuels spécifiques aux conditions pédologiques du sud est de la France (sol superficiels caillouteux).
- L'étalonnage du Diviner® pour obtenir des mesures absolues de teneur en eau exprimées en millimètres,
- L'utilisation d'un historique de dix ans de mesures neutroniques effectuées sur 5 des parcelles du réseau, pour les intégrer au calcul de la réserve utile.
- L'automatisation de la saisie des données Diviner® et l'élaboration de bulletins
- La spatialisation des données et la définition de critères pour le choix de nouvelles parcelles de référence.
- La valorisation des données auprès d'autres organismes dans d'autres domaines d'application.

Mots clés : mesure, teneur en eau, FDR, irrigation, pilotage

[illegible]

Vélocimétrie IRM pour l'écoulement d'eau en milieu poreux

Didier STEMMELEN¹, Wassim SALAMEH¹, Sébastien LECLERC^{1,2}, Jean-Marie ESCANYÉ²

¹ Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Théorique et Appliquée, LEMTA (UMR 7563 CNRS – Nancy Université), Vandoeuvre-Les-Nancy
didier.stemmelen@ensem.inpl-nancy.fr, wassim.salameh@ensem.inpl-nancy.fr

² Cristallographie, Résonance Magnétique et Modélisations – Equipe de Méthodologie RMN CRM² (UMR 7036 CNRS – Nancy Université), Vandoeuvre-Les-Nancy

L'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) est une technique attrayante pour visualiser la structure interne, mesurer l'humidité ou encore observer les écoulements de fluide à l'intérieur des milieux poreux. Elle est largement utilisée en imagerie médicale pour examiner *in vivo* les tissus mous et organes, mais aussi pour estimer les flux sanguins dans les vaisseaux (angiographie par résonance magnétique). Cependant l'obtention de mesures quantitatives précises pour des milieux poreux plus conventionnels (billes de verre, sable, roches, sol...) se heurte à de nombreuses difficultés.

Nous présentons dans cette étude des mesures faites par IRM dans des colonnes de billes de différentes granulométries. Les billes sont soit en polymère pour éviter l'influence des éléments paramagnétiques, soit plus classiquement en verre mais avec des traces de Fe_2O_3 en surface des billes propres à créer de nombreux artefacts dans les mesures. Les billes sont disposées dans un tube central, placé lui-même dans un tube de plus grand diamètre afin de délimiter un espace annulaire (voir schéma). Le milieu poreux ainsi que l'espace annulaire sont ensuite saturés d'eau. La zone annulaire est utilisée pour étalonner le signal RMN de l'eau et pour vérifier par IRM la qualité des mesures de débit (le fluide étant incompressible, le débit d'eau dans une section poreuse doit être identique au débit d'eau dans une section de l'annulaire). Un écoulement purement gravitaire entre deux cuves à niveau d'eau constant est réalisé au travers du dispositif précédent.

Les images sont réalisées sur un imageur IRM travaillant à 100 MHz (Biospec Bruker 24/40). Nous utilisons une séquence d'écho de spin pour obtenir la structure du milieu poreux (intensité du signal) et une séquence PGSE (Pulsed Gradient Spin Echo) pour mesurer le champ de vitesse de l'eau dans l'espace des pores. L'étalonnage en vitesse des séquences d'imagerie a été préalablement effectué à partir d'un écoulement de Poiseuille dans un tube.

Les mesures IRM sont faites d'abord sur un empilement de billes de gros diamètre (3 mm) avec une sélection de tranche de faible épaisseur (1,5 mm). Cette situation permet d'observer les écoulements interstitiels entre les grains de l'empilement et de minimiser les effets de volume partiel (voxels incluant simultanément une phase liquide et une phase solide). Ensuite des mesures sont réalisées sur un lit de billes de faible diamètre (250 μm) avec une large sélection de tranche (20 mm) de façon à accéder à des valeurs moyennes et notamment des vitesses de Darcy. Les mesures par IRM des vitesses moyennes dans le milieu poreux et dans l'espace annulaire sont comparées aux vitesses débitantes mesurées par pesée de façon à apprécier la qualité des mesures par vélocimétrie IRM en milieu poreux.

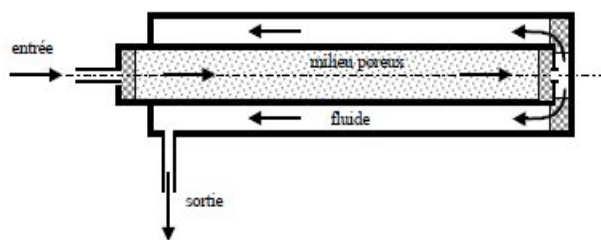


Schéma du dispositif annulaire

Mots-clés : vélocimétrie IRM, colonnes de billes, champ de vitesse

Détection des fuites à travers une géomembrane par thermométrie distribuée le long d'une fibre optique

Paul Royet, Guillaume Nunes

Cemagref, Aix-en-Provence

paul.royet@cemagref.fr

guillaume.nunes@cemagref.fr

Les mesures de température sont utilisées depuis 20 ans pour la détection d'écoulements dans le domaine des barrages en remblai. Le principe de la mesure est la détection de l'anomalie thermique provoquée par un écoulement dans le corps de l'ouvrage. L'utilisation plus récente de la fibre optique permet d'avoir une mesure distribuée de la température le long de celle-ci. La fibre optique est à la fois capteur et vecteur du signal de mesure. Nous pouvons retenir les deux principales approches, pouvant être complémentaires :

- la méthode passive qui analyse les variations naturelles de température de l'ouvrage en fonction du temps ;
- la méthode active (avec chauffe du sol au voisinage de la fibre optique), applicable même s'il n'existe pas un gradient thermique suffisant entre les températures de l'eau du réservoir et le point de mesure de la température dans le corps de l'ouvrage.

La plateforme PEERINE construite au Cemagref d'Aix en Provence permet de tester tout dispositif de détection des fuites à travers un remblai ou à travers un masque amont (géomembrane par exemple). Les fuites à travers l'étanchéité (corps du remblai ou masque) sont contrôlées à l'amont par des vannes manuelles et des débitmètres électroniques.

Le projet mené en partenariat entre le Cemagref, Tencate et EDF, avec un financement de VNF, consiste à reproduire en semi-vraie grandeur une variante d'étanchéité du futur canal Seine Nord-Europe au moyen d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG).

Après une phase de mise en place du dispositif (en particulier pour la chauffe) et de tests du système de mesures à débits nuls, les expérimentations ont consisté à ouvrir séquentiellement des fuites contrôlées en débit et à examiner la capacité du système à les détecter et les localiser.

Pour chacune des deux méthodes, les principales conclusions de ces expérimentations sont présentées.

Avec la méthode passive il a été possible de détecter et localiser des fuites de 0,2 l/mn/ml.

Pour la méthode active, la puissance du courant injecté et la durée d'injection pour chauffer le câble testé ont été optimisées pour chaque câble afin d'obtenir une différence de température maximale entre les températures mesurées avant la chauffe et celles relevées après la période de chauffe, et donc une meilleure sensibilité à un écoulement. La détection d'une fuite de 0,2 l/mn/ml semble être possible ; néanmoins, un travail sur la définition du seuil de détection doit être mené pour obtenir un système de détection réactif adapté aux conditions in-situ.

La quantification du débit de fuite, une fois celle-ci détectée, par la mesure de température par fibre optique est actuellement étudiée, mais ce sujet reste à ce jour du domaine de la recherche.

Mots-clés : *détection de fuite, mesure distribuée de température, fibre optique*

Transfert de TCE au travers d'un milieu bicouche : sable et béton

Marion Musielak, M. Marcoux, M. Quintard.

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, Groupe d'Etude des Milieux Poreux.
musielak@imft.fr

Le transfert de polluant, et plus particulièrement de COV, du sol à l'air intérieur des bâtiments est un problème très important pour la gestion des sites pollués, et notamment leur reconversion. Plusieurs modèles sont proposés afin d'estimer les concentrations en polluant que l'air intérieur des bâtiments est susceptible de contenir, mais à l'heure actuelle, les valeurs trouvées à l'aide de ces modèles et pour une même configuration sont très divergentes. Il s'avère donc nécessaire d'établir un meilleur modèle, reproductible et facilement applicable afin de prévoir les concentrations susceptibles d'être mesurées dans les bâtiments, mais également le temps mis pour les atteindre, ce qui n'a pas encore été fait jusqu'ici.

D'autre part, le traitement de ce problème comporte la compréhension et description des transferts de polluants au travers de la dalle du bâtiment, donc généralement, du béton, qui est un milieu poreux très particulier et difficile à étudier de par sa grande hétérogénéité, et notamment la multiplicité des échelles qu'il englobe, ainsi que sa réactivité peu connue.

Nous nous intéressons ici en particulier au Trichloréthylène (TCE), composé très utilisé par le passé dans le milieu industriel et rencontré fréquemment sur les sites pollués. Epandu accidentellement sur le sol sous forme liquide, le TCE va alors s'infiltrer par effet de gravité. Il se volatilise alors en grande quantité dans l'air du sol et, moins dense que l'air, il remonte à la surface par des phénomènes de diffusion et convection au travers des milieux poreux que sont le sol et le béton.

Pour réaliser cette étude, nous menons des analyses numériques et théoriques, ainsi que des expérimentations à l'échelle du laboratoire, sur une colonne en verre, de 7 cm de diamètre pour une hauteur de 60 cm, représentant un bâtiment ventilé sur un sol de type sableux (sable moyen H2F), et une dalle de béton, en prolongement des travaux réalisés par S. Cotel au CEA (2008) sur sable uniquement, en rajoutant une dalle de béton et en prenant en compte le gradient de pression induit par les bâtiments.

Les objectifs sont de modéliser les transferts de TCE afin d'estimer la concentration dans la colonne et le temps nécessaire à l'obtention d'un régime permanent (dimensionnement des manipulations), en parallèle avec la caractérisation du béton (perméabilité, coefficient de diffusion du TCE).

Nous nous sommes intéressés jusqu'ici à l'influence de différents paramètres caractérisant le problème, afin de dimensionner les expériences sur colonne, et de mieux comprendre les mécanismes complexes en jeu : gradient de pression (lié au taux de ventilation du bâtiment), teneur en eau, épaisseur et perméabilité du béton (usure et fracturation), etc.

Nous avons ainsi mis en évidence la forte influence de l'épaisseur de béton et de sa perméabilité sur les concentrations atteignables dans la colonne. Nous constatons également que la présence du gradient de pression de quelques Pascal, modifie considérablement le transfert de polluant et donne des concentrations plus élevées que celles estimées jusqu'ici.

Nous projetons de comparer ces résultats de modélisation avec les résultats expérimentaux de mesure sur colonne à venir (dispositif en fin de validation)

Mots clés : Pollution, modélisation, diffusion, convection, TCE, sol, béton.

Identification et potentialités hydriques des aquifères par l'outil géophysique : Cas de la région de Guerrara (Sud Algérien)

A. Zeddouri, S. Hadj-Said, B.Hamdi Aissa

*Laboratoire de Biogéochimie des Milieux Désertiques.
Université Kasdi Merbah BP 511, Ouargla (30000). Algérie
samia_h2001@yahoo.fr*

L'Oasis de Guerrara qui fait partie de la région de Ghardaïa située au Sud Algérien, renferme un important potentiel aquifère dans les formations hétérogènes du Complexe Terminal (CT). Une étude géophysique par sondages électriques (SE) a été réalisée pour mieux reconnaître le sous-sol de cette région et de préciser, par la même occasion, ses potentialités hydriques. L'interprétation des résultats obtenus montre que la zone prospectée est caractérisée par la succession de plusieurs terrains à résistivités contrastées. Du point de vue hydrogéologique, deux niveaux géoélectriques peuvent constituer deux aquifères. Le niveau conducteur représenté par les formations terrigènes du Mio-pliocène et un niveau relativement résistant qui correspond aux calcaires du Sénonien qui pourrait contenir une eau de bonne qualité.

Mots clés : *Eau souterraine, Zone aride, Potentialités hydriques ; Méthode géoélectrique, Oasis de Guerrara*

**Impact du niveau de la nappe phréatique
sur les sols des palmeraies des Ghouts à Oued Souf
(Sahara Septentrional algérien).**

Mustapha DADDI BOUHOUN, Mohamed Lakhdar SAKER, Mohamed Didi OULD EL HADJ

*Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides. Université
KASDI Merbah-Ouargla, Route de Ghardaïa, Algérie
daddibm@yahoo.fr*

L'oasis de Oued Souf souffre depuis quelques années de la remontée des eaux phréatiques à cause de la mauvaise gestion des eaux d'assainissement, de drainage et du faible écoulement des eaux de la nappe, résultant de la situation topographique de l'oasis. L'étude réalisée vise à mesurer l'humidité et la salinité des sols par rapport au niveau de la nappe phréatique. Les résultats obtenus montrent un changement des caractéristiques physico-chimiques par rapport au niveau du drainage naturel des eaux dans les Ghouts. Ces derniers forment des dépressions artificielles dans les dunes de l'Oued Souf, plantées de palmiers dattiers. L'élévation du niveau de la nappe favorise la dynamique ascendante de l'humidité et de la salinité dans les sols sableux des Ghouts. Cela a conduit à l'engorgement, la salinisation et le dépérissement des palmeraies.

Mots-clés : *nappe phréatique, sol, palmeraies, Ghouts, Oued Souf, Algérie.*

**Impact du niveau de la nappe phréatique
sur la dégradation édaphique des oasis de l'Oued Righ
(Sahara Septentrional algérien).**

Mohamed Lakhdar SAKER, Mustapha DADDI BOUHOUN, Mohamed Didi OULD EL HADJ

*Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides. Université KASDI
Merbah-Ouargla, B.P. 511 Route de Ghardaïa Algérie
sakermohamedlakhdar@yahoo.fr*

La région de l'Oued Righ évolue sous le poids d'une diversité de contraintes environnementales, particulièrement les effets de la remontée des eaux phréatiques, à travers ses trois principales zones, respectivement, le haut, le moyen et le bas Oued Righ. Notre étude vise à mesurer le niveau de dégradation par rapport à la variation topographique et le niveau de la nappe phréatique. Les résultats montrent une dégradation accentuée en allant du sud vers le nord de la vallée de l'Oued Righ, à savoir le moyen et le bas de celle-ci. La dégradation édaphique est exprimée par deux phénomènes intimement liés qui sont l'engorgement et la salinisation des sols. En l'absence d'aménagement hydro-agricole adapté, c'est tout le patrimoine oasien de cette région qui risque de disparaître.

Mots-clés : *nappe phréatique, dégradation, sol, oasis, Oued Righ, Algérie.*

[illegible]

Gestion économe de l'eau en verger de pommiers : Comparaison de systèmes de pilotage

Myriam BERUD

EPLEA Louis Giraud – Exploitation Agricole, Carpentras
exploit.stvictor@orange.fr

Le pilotage des irrigations en verger est couramment réalisé par relevé de sondes tensiométriques qui donnent une indication sur la disponibilité de l'eau dans le sol.

Des outils nouveaux basés sur des mesures capacitatives permettent d'évaluer des teneurs en eau du sol à différentes profondeurs.. Ces nouvelles mesures sont actuellement mises en comparaison avec les outils déjà à disposition pour piloter l'arrosage en arboriculture fruitière.

Un verger de pommier d'1.40 ha de l'exploitation de l'EPLEA Louis Giraud à Carpentras est support de deux zones de pilotage différencié pour les arrosages en micro-aspiration :

- une zone pilotée à partir des données enregistrées par des sondes tensiométriques (type Watermark – Monitor),
- une zone pilotée à partir des données enregistrées par des sondes capacitatives (sonde fixe Enviroscan – tubes Diviner 2000).

Les deux types de matériel sont également présents dans chacune des zones, ainsi que des enregistreurs mesurant des variations micro-morphométriques sur branche (système Pépista). Des compteurs d'eau permettent de quantifier les doses réellement apportées à chaque arrosage. Des mesures sur le grossissement des fruits, le rendement, les calibres et la coloration des fruits permettent d'évaluer la qualité de la récolte.

Un groupe de travail rassemblant l'EPLEA Louis Giraud à Carpentras , la station d'expérimentation la Pugère, le Cirame, l'ARDEPI et le GRCETA Basse Durance a été créé autour de cette action. Dès le mois d'avril, le groupe analyse chaque semaine des données enregistrées et décide collectivement du déclenchement de l'irrigation et de la dose à apporter. En 2007, 1^{ère} année d'étude, des seuils ont été définis pour les sondes capacitatives. En 2008 et 2009, les doses apportées dans les 2 secteurs sont très comparables. Suite à l'analyse des données 2008, il est apparu que, dans la zone à pilotage par sondes capacitatives, les seuils pourraient être abaissés sans stress sur la plante et permettre des économies d'eau plus prononcées. Ainsi en 2009, une zone supplémentaire avec restriction des arrosages a été installée et équipée d'une nouvelle sonde capacitive à enregistrement continue.

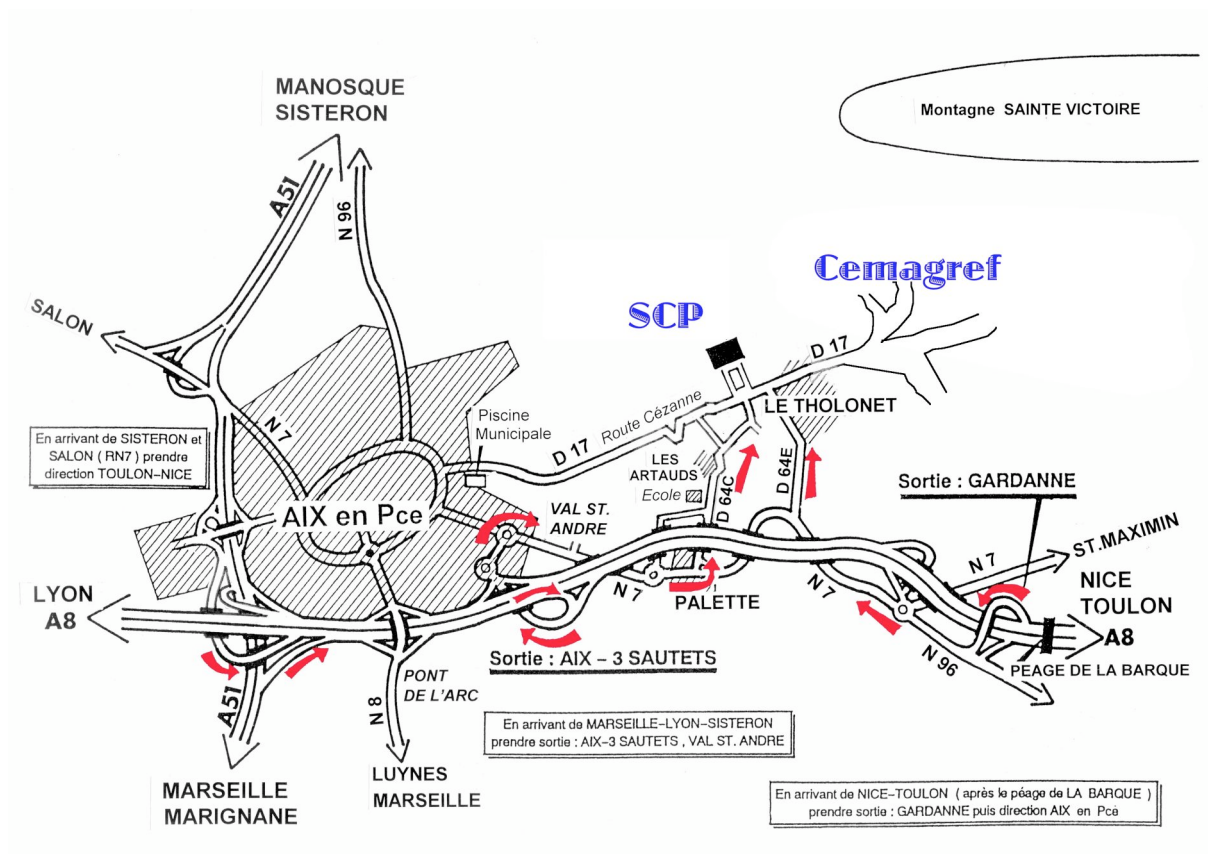
Partenariat

- Station d'expérimentation La Pugère – 13370 MALEMORT
- EPLEA Louis Giraud – Exploitation agricole – BP 274 – 84200 CARPENTRAS
- ARDEPI – Association Régionale pour la Maîtrise des Irrigations - Maison des Agriculteurs – 22 avenue Henri Pontier – 13626 AIX EN PROVENCE
- CIRAME – Centre Inter-régional Agrométéo – Chemin de l'Hermitage – 84200 CARPENTRAS
- GRCETA Basse Durance – Route de Mollèges – 13210 ST-REMY DE PROVENCE
- France Agrimer 12 rue Rol Tanguy 93555 Montreuil-sous-bois
- CRIPT PACA / DRAF-SRFD PACA - 10 Boulevard Ralli - 13008 MARSEILLE

Mots-clés : Irrigation localisée, sondes capacitatives, tensiométrie, pommier, pilotage, arrosage

Renseignements pratiques

Plan d'accès



Plan de situation



Horaires de bus

Aéroport-gare TGV-Aix

Une desserte de l'Aéroport Marseille Provence et de la gare d'Aix-en-Provence TGV toutes les 30 minutes.

Aix-en-Provence • Aix TGV • Aéroport Marseille Provence du lundi au dimanche et jours fériés														
Aix-en-Provence Gare Routière	Aix TGV	Aéroport	Aix-en-Provence Gare Routière	Aix TGV	Aéroport	Aix-en-Provence Gare Routière	Aix TGV	Aéroport	Aix-en-Provence Gare Routière	Aix TGV	Aéroport	Aix-en-Provence Gare Routière	Aix TGV	Aéroport
04h45	05h00	05h15	09h15	09h35	09h50	13h30	13h45	-	17h15	17h30	17h50	20h00	20h15	-
05h15	05h30	05h45	09h35	09h50	-	13h45	14h00	14h15	17h30	17h50	-	20h15	20h30	20h45
05h45	06h00	06h15	09h45	10h00	10h15	14h15	14h30	14h45	17h45	18h05	18h20	20h30	20h45	-
06h15	06h30	06h45	10h15	10h30	10h45	14h30	14h45	-	18h00	18h20	-	20h45	21h00	21h15
		-	10h45	11h00	11h15	14h45	15h00	15h15	18h15	18h35	18h50	21h15	21h30	21h45
06h45	07h00	07h15	11h15	11h30	11h45	15h15	15h30	15h45	18h30	18h45	-	21h45	22h00	22h15
07h15	07h30	07h45	11h45	12h00	12h15	15h45	16h00	16h15	18h45	19h00	19h15	22h00	22h15	-
07h45	08h00	08h15	12h15	12h30	12h45	16h00	16h16	-	19h00	19h15	-	22h15	22h30	22h45
08h15	08h35	08h50	12h30	12h45	-	16h15	16h31	16h45	19h15	19h30	19h45	22h45	23h00	23h15
08h25	08h45	-	12h45	13h00	13h15	16h45	17h01	17h16	19h30	19h45	-	23h30 D	23h45	-
08h45	09h05	09h20	13h15	13h30	13h45	17h00	17h20	-	19h45	20h00	20h15	23h45 V	00h00	-
												00h15 SD	00h30	

Aéroport Marseille Provence • Aix TGV • Aix-en-Provence du lundi au dimanche et jours fériés														
Aéroport	Aix TGV	Aix-en-Provence Gare Routière	Aéroport	Aix TGV	Aix-en-Provence Gare Routière	Aéroport	Aix TGV	Aix-en-Provence Gare Routière	Aéroport	Aix TGV	Aix-en-Provence Gare Routière	Aéroport	Aix TGV	Aix-en-Provence Gare Routière
05h25	05h40	05h55	09h55	10h10	10h25	13h55	14h10	14h25	-	17h55	18h15	20h25	20h40	20h55
05h55	06h10	06h25	10h25	10h40	10h55	14h25	14h40	14h55	17h55	18h10	18h30	-	21h00	21h15
06h25	06h40	06h55	-	11h00	11h15	14h55	15h10	15h25	-	18h25	18h45	20h55	21h10	21h25
06h55	07h10	07h25	10h55	11h10	11h25	-	15h25	15h40	18h25	18h40	19h00	21h25	21h40	21h55
07h25	07h40	08h00	11h25	11h40	11h55	15h25	15h40	15h55	-	18h55	19h15	21h55	22h10	22h25
07h55	08h10	08h30	11h55	12h10	12h25	15h55	16h10	16h30	18h55	19h10	19h25	-	22h30	22h45
08h25	08h40	09h00	12h25	12h40	12h55	-	16h35	17h05	-	19h35	19h50	22h25	22h40	22h55
08h55	09h10	09h25	-	12h50	13h05	16h25	16h40	17h10	19h25	19h40	19h55	22h55	23h10	23h25
-	09h15	09h30	12h55	13h10	13h25	16h55	17h10	17h40	-	20h05	20h20	23h35	23h50	00h05
09h25	09h40	09h55	13h25	13h40	13h55	-	17h35	17h55	19h55	20h10	20h25	-	23h55 D	00h10
-	-	-	-	14h00	14h15	17h25	17h40	18h00	-	20h25	20h40	-	00h15 S	01h00
													00h45 SD	00h30

Fonctionne tous les jours, toute l'année.

Centre ville-Le Tholonet (arrêt Ferrageon)**Ligne 3**

HORAIRES DU LUNDI AU VENDREDI													
LA CRÉMADE	PALETTE	VAL St ANDRÉ	NIOLLON	Rd-POINT d'ÉGUILLES	FOUR D'ÉYGLUN	CENTRE AËRE	CENTRE AËRE	FOUR D'ÉYGLUN	Rd-POINT d'ÉGUILLES	ROTONDE Bonaparte	VAL St ANDRÉ	PALETTE	LA CRÉMADE
.....	.....	06:30	06:42	06:46	06:54	.....	.....	06:15	06:24	06:28	06:37	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	07:08	07:12	.....	06:25	06:34	06:38	06:47	06:52	.....
.....	.....	06:45	06:57	07:01	07:09	.....	.....	.....	06:50	06:59	07:04	07:09	.....
.....	06:55	07:00	07:12	07:16	07:24	.....	.....	06:45	06:54	06:58	07:07	.....	.....
.....	.....	07:15	07:37	07:41	07:49	.....	.....	07:05	07:15	07:20	07:32	.....	.....
07:10	07:16	07:30	07:52	07:56	08:04	08:08	07:13	07:15	07:27	07:35	07:47	07:52	.....
.....	.....	07:45	08:07	08:11	08:19	.....	.....	07:30	07:42	07:50	08:02	08:07	08:12
.....	07:55	08:00	08:22	08:26	08:34	.....	07:40	07:45	07:57	08:05	08:17	.....	.....
.....	.....	08:15	08:37	08:41	08:49	.....	.....	08:00	08:10	08:17	08:29	.....	.....
08:15	08:21	08:25	.....	.....	.....	.....	.....	08:15	08:25	08:32	08:44	08:49	08:54
.....	.....	08:30	08:52	08:56	09:06	.....	08:20	08:25	08:35	08:42	08:54	.....	.....
.....	.....	08:45	08:59	09:03	09:13	09:17	.....	08:45	08:55	09:02	09:12	09:17	.....
.....	.....	09:00	09:14	09:18	09:28	.....	.....	09:00	09:10	09:16	09:26	.....	.....
09:00	09:06	09:10	.....	.....	.....	.....	.....	09:15	09:25	09:31	09:41	09:46	09:51
.....	.....	09:15	09:29	09:33	09:43	.....	.....	09:25	09:35	09:41	09:51	.....	.....
.....	09:25	09:30	09:44	09:48	09:58	10:02	09:40	09:45	09:55	10:01	10:11	10:16	.....
.....	.....	09:45	09:59	10:03	10:13	.....	.....	10:00	10:10	10:16	10:26	.....	.....
.....	.....	10:00	10:14	10:18	10:28	.....	10:10	10:15	10:25	10:31	10:41	10:46	.....
10:05	10:10	10:15	10:29	10:33	10:43	.....	.....	10:30	10:40	10:46	10:56	.....	.....
.....	10:25	10:30	10:44	10:48	10:58	11:02	.....	10:45	10:55	11:01	11:11	11:16	.....
.....	.....	10:45	10:59	11:03	11:13	11:17	.....	11:00	11:10	11:16	11:26	11:31	11:36
.....	10:55	11:00	11:14	11:18	11:28	.....	11:10	11:15	11:25	11:31	11:41	.....	.....
.....	.....	11:15	11:29	11:33	11:43	11:47	11:25	11:30	11:40	11:46	11:56	.....	.....
.....	11:25	11:30	11:46	11:52	12:02	.....	.....	11:45	11:55	12:01	12:11	.....	.....
.....	.....	11:45	11:59	12:05	12:13	.....	11:55	12:00	12:10	12:16	12:26	12:31	12:36
11:50	11:55	12:00	12:13	12:17	12:24	12:28	.....	12:15	12:25	12:31	12:41	.....	.....
.....	.....	12:15	12:28	12:32	12:39	.....	.....	12:30	12:40	12:46	12:56	13:01	13:06
.....	.....	12:30	12:43	12:47	12:54	.....	12:40	12:45	12:55	13:01	13:11	.....	.....
.....	.....	12:45	12:58	13:02	13:10	13:14	.....	12:45	12:55	13:01	13:11	.....	.....
12:49	12:55	13:00	13:13	13:17	13:27	.....	.....	13:00	13:10	13:16	13:26	.....	.....
.....	.....	13:15	13:31	13:35	13:46	.....	.....	13:15	13:25	13:31	13:41	13:46	.....
13:20	13:25	13:30	13:46	13:50	14:01	.....	13:25	13:30	13:40	13:46	13:56	.....	.....
.....	.....	13:45	14:01	14:05	14:16	14:20	.....	13:45	13:55	14:01	14:12	14:18	.....
.....	13:55	14:00	14:16	14:20	14:31	.....	.....	14:00	14:10	14:16	14:27	.....	.....
.....	.....	14:15	14:31	14:35	14:46	.....	.....	14:15	14:25	14:31	14:42	14:48	14:53
.....	14:25	14:30	14:46	14:50	15:01	15:05	.....	14:30	14:40	14:46	14:57	.....	.....
.....	.....	14:45	15:01	15:05	15:16	.....	14:40	14:45	14:55	15:01	15:12	15:18	.....
.....	.....	15:00	15:16	15:20	15:31	.....	.....	15:00	15:10	15:16	15:27	15:33	.....
15:05	15:10	15:15	15:31	15:35	15:46	15:50	.....	15:15	15:25	15:31	15:42	.....	.....
.....	.....	15:25	15:46	15:50	16:01	.....	15:25	15:30	15:40	15:46	15:57	.....	.....
.....	.....	15:45	16:01	16:08	16:20	.....	.....	15:45	15:55	16:01	16:16	16:22	.....
.....	.....	16:00	16:18	16:25	16:37	16:41	.....	15:55	16:05	16:11	16:26	16:32	16:38
.....	.....	16:15	16:33	16:40	16:52	.....	16:10	16:15	16:25	16:31	16:46	.....	.....
.....	.....	16:30	16:48	16:55	17:07	17:11	.....	16:25	16:35	16:41	16:56	17:02	17:08
.....	16:40	16:45	17:03	17:10	17:22	17:26	.....	16:45	16:55	17:01	17:16	.....	.....
16:50	16:55	17:00	17:18	17:25	17:37	17:41	16:55	17:00	17:10	17:16	17:31	17:37	17:43
.....	.....	17:15	17:33	17:40	17:52	.....	.....	17:15	17:25	17:31	17:46	.....	.....
17:20	17:25	17:30	17:48	17:55	18:07	18:11	17:25	17:30	17:40	17:46	18:01	18:07	18:13
.....	.....	17:45	18:03	18:10	18:21	18:25	17:40	17:45	17:55	18:01	18:16	.....	.....
17:50	17:55	18:00	18:18	18:22	18:30	.....	.....	17:55	18:05	18:11	18:24	18:29	18:34
.....	.....	18:15	18:33	18:37	18:45	18:49	18:10	18:15	18:24	18:30	18:40	.....	.....
18:35	18:40	18:45	19:03	19:07	19:15	19:19	18:25	18:30	18:39	18:45	18:55	19:00	.....
18:50	18:55	19:00	19:18	19:21	19:29	.....	18:40	18:45	18:54	19:00	19:10	.....	.....
.....	19:10	19:15	19:29	19:32	19:40	.....	18:55	19:00	19:09	19:15	19:25	19:30	19:35
.....	.....	19:30	19:44	19:47	19:55	19:59	.....	19:15	19:24	19:30	19:40	.....	.....
.....	.....	19:45	19:59	20:02	20:10	.....	19:25	19:30	19:39	19:45	19:55	20:00	.....
19:55	20:00	20:05	20:19	20:22	20:30	.....	.....	19:50	19:59	20:05	20:13	.....	.....
.....	.....	20:25	20:39	20:42	20:50	.....	20:05	20:10	20:18	20:24	20:32	.....	.....
.....	.....	20:45	20:59	21:02	21:10	.....	.....	20:40	20:48	20:54	21:02	.....	.....
.....	.....	21:25	21:39	21:42	21:50	.....	.....	21:20	21:28	21:34	21:42	.....	.....
.....	.....	22:05	22:19	22:22	22:30	.....	.....	22:00	22:08	22:14	22:22	.....	.....

Arrêt : CENTRE COMMERCIAL OUEST OU FOUR D'ÉYGLUN (en heures creuses uniquement)

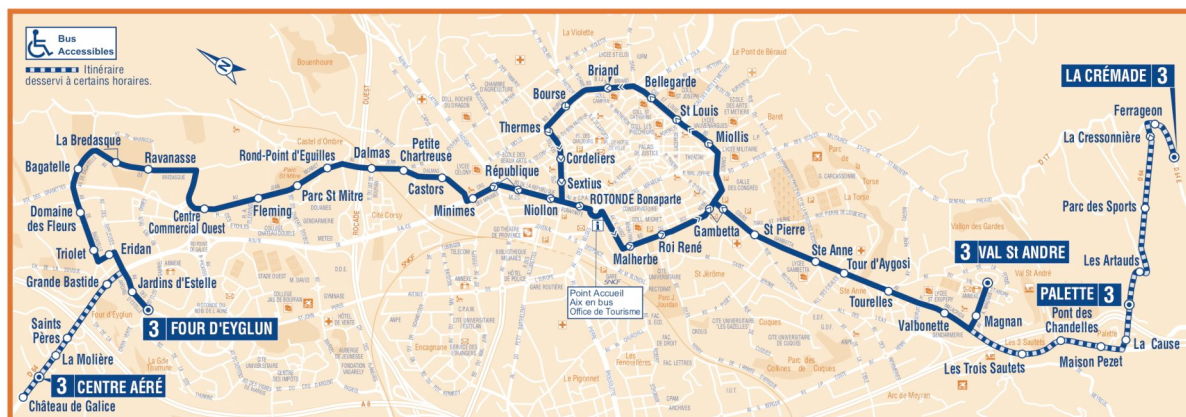
Secteur A : LES GRANETTES - LA SOUQUE

Réservations : N° Vert 0 800 526 230



ligne
3

CENTRE AERE ↔ FOUR D'EYGLUN ↔ VAL ST ANDRE ↔ PALETTE ↔ LE THOLONET
 Quartiers desservis : La Molière, Brédasque, St Mitre, Rotonde, Val St André, Palette et Le Tholonet



Où acheter vos titres de transport sur la ligne 3 :

Point Accueil AIX EN BUS :
Arrêt "ROTONDE Bonaparte"

Bar Tabac Le Thermal
39, cours Sextius :
Arrêt "SEXTIUS"

Bar Tabac Les 3 Sautets
47, av. H. Malacrida :
Arrêt "LES TROIS SAUTETS"

Tabac Presse La Provence
Tour d'Aygosi :
Arrêt "TOUR D'AYGOSI"

Tabac Presse - Val St André :
Arrêt "VAL St ANDRÉ"

Tabac Presse - Palette - Le Tholonet :
Arrêt "LA CAUSE"

Tabac Journaux Le Corona
1, bd République :
Arrêt "B. NIOLLON"

Presse Le Granet - C.C. Route de Berre :
Arrêt "DOMAINE DES FLEURS"

Kiosque Bellegarde - Cours St Louis :
Arrêt "BELLEGARDE"



Du lundi au samedi de 8h30 à 19h00
à l'Office de Tourisme
2, pl. du Gal de Gaulle - 13100 Aix en Provence
Tél : 04 42 26 37 28 - Fax : 04 42 93 26 04

www.aixenbus.com

La Victorine



sens AIX - PUYLOUBIER							
Du lundi au dimanche et jours de fêtes							
AIX Rotonde	8:15	10:30	12:00	14:15	15:55	17:25	19:15
LE THOLONET	8:25	10:40	12:10	14:25	16:05	17:35	19:25
BEAURECUEIL	8:30	10:45	12:15	14:30	16:10	17:40	19:30
BEAURECUEIL VILLAGE	*	*	12:20	*	*	*	19:35
SAINT ANTONIN	8:35	10:50	12:30	14:35	16:15	17:45	19:45
PUYLOUBIER	8:50	11:05	12:45	14:50	16:30	18:00	20:00
* arrêt non desservi à cet horaire							
sens PUYLOUBIER - AIX							
Du lundi au dimanche et jours de fêtes							
PUYLOUBIER	9:15	11:15	12:50	14:55	16:35	18:15	20:00
SAINT ANTONIN	9:25	11:25	13:00	15:05	16:45	18:25	20:15
BEAURECUEIL VILLAGE	9:35	*	*	15:15	*	*	*
BEAURECUEIL	9:40	11:30	13:05	15:20	16:50	18:30	20:20
LE THOLONET	9:45	11:35	13:10	15:25	16:55	18:35	20:25
AIX Rotonde	10:10	12:00	13:35	15:50	17:20	19:00	20:35

Ligne régulière Aix-Le Tholonet-Puylobier
**HORAIRE DE LA LIGNE REGULIERE
(PUYLOUBIER - AIX EN PROVENCE)**
PUYLOUBIER VERS AIX EN PROVENCE

	Du LUN au SAM	Du LUN au SAM	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ	Du LUN au SAM	Du LUN au SAM	TLJ	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ
PUYLOUBIER camping	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h15	14h00	16h15	17h30	19h00	19h30	20h15
ST ANTONIN SUR BAYON Maison Ste Victoire	7h10	8h10	9h10	10h10	11h10	12h20	13h25	14h15	16h25	17h40	19h10	19h40	20h25
BEAURECUEIL Gautier (centre village)	—	8h15	9h20	—	11h15	—	—	14h25	—	17h45	19h45	—	—
BEAURECUEIL Beaurecueil D17	7h15	8h15	9h25	10h15	11h15	12h25	13h30	14h30	16h30	17h45	19h45	19h45	20h30
LE THOLONET Ferrageon	7h20	8h20	9h30	10h20	11h20	12h30	13h35	14h35	16h35	17h50	19h50	19h50	20h35
AIX EN PROVENCE Gare Routière	7h40	8h45	9h55	10h40	11h45	12h55	14h00	15h00	17h00	18h15	19h15	20h15	21h00

Horaires calculés dans les conditions normales de circulation, sous réserve de modifications.

AIX EN PROVENCE VERS PUYLOUBIER

	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ	Du LUN au SAM	TLJ
AIX EN PROVENCE Gare Routière	7h50	9h15	10h15	11h15	12h30	14h15	15h15	16h40	17h40	18h40	19h30
LE THOLONET Ferrageon	8h15	9h25	10h25	11h25	12h40	14h25	15h25	16h50	17h50	18h50	19h40
BEAURECUEIL Beaurecueil D17	8h20	9h30	10h30	11h30	12h45	14h30	15h30	16h55	17h55	18h55	19h45
BEAURECUEIL Gautier (centre village)	—	9h30	—	11h30	12h50	—	—	17h55	17h55	—	19h40
ST ANTONIN SUR BAYON Maison Ste Victoire	8h25	9h35	10h35	11h35	12h50	14h35	15h35	17h00	18h00	19h00	20h00
PUYLOUBIER camping	8h35	9h40	10h40	11h40	12h55	14h50	15h50	17h15	18h15	19h15	20h15

Horaires calculés dans les conditions normales de circulation, sous réserve de modifications.

LEGENDE:

TLJ	Du Lundi au Dimanche et Jours Fériés (sauf 1er janvier, 1er mai et 25 décembre)
	Point d'arrêt non desservi à cet horaire