

## MONITORING 4-D DES FLUX DE SUBSURFACE PAR TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE AUTONOME

COPPO N.<sup>1</sup>, GIOT G.<sup>2</sup>, GOURRY J.-C.<sup>1</sup>, GRANDJEAN G.<sup>1</sup> ET  
FRANCOIS B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BRGM, 3 av. Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex, n.coppo@brgm.fr.

<sup>2</sup> INRA, 2163 avenue de la Pomme de Pin - CS 40001 - Ardon 45075 Orléans Cedex 2, Guillaume.Giot@orleans.inra.fr

### RESUME

*La gestion et la protection des ressources en eaux souterraines tant à l'échelle locale que régionale nécessite la compréhension et la caractérisation d'un paramètre fondamental: l'évaluation de la recharge. Celle-ci résulte d'une interaction multi-paramètres de sub-surface, contrôlée principalement par l'intensité, la durée des précipitations et la nature des sols. Afin de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle des flux de sub-surface et par conséquent d'évaluer la recharge dans les sables de Loire, un dispositif d'acquisition 4-D de tomographies électriques alimenté par panneaux solaires et interrogeable à distance a été conçu et mis en place sur le site de l'INRA à Ardon (45) en 2009. Les paramètres climatiques pluviométrie, température de l'air, du sol ainsi que l'humidité du sol à trois profondeurs (15, 30 et 45 cm) sont également enregistrés. Les résultats montrent d'une part une très forte hétérogénéité spatiale et temporelle des propriétés électriques des terrains investigués (>50% sur 150 m<sup>2</sup>) et d'autre part, des fluctuations de courte et longue périodes interrompues par des changements drastiques de résistivité (jusqu'à 10%) pendant les évènements pluviométriques majeurs.*

**Mots clés :** Tomographie électrique 4-D, résistivité, sables de Loire, flux de subsurface

### ABSTRACT

#### 4-D MONITORING OF SUBSURFACE FLUXES USING ERT

*Management and protection of groundwater resources at small and large scale require a full understanding and characterization of a key-parameter: the recharge assessment. Recharge results of a multi-parametric interaction and is strongly controlled by rainfall intensity, length and soil properties. In order to highlight the spatio-temporal variations of subsurface fluxes on Loire sands, a 4-D electric resistivity tomography powered by solar panels and remote-controlled has been designed and set up at the INRA site (Ardon, 45) in 2009. Climatic parameters such as rainfall, air and ground temperature, ground moisture at 3*

*depths (15, 30 and 45 cm) have been measured together. Results indicate, on the one hand, that Loire sands show a strong spatio-temporal heterogeneity of the resistivity parameter (>50 % over 150 m<sup>2</sup>) and, on the other hand that resistivity signal is characterized by long and short period fluctuations interrupted by abrupt changes (10%) during the main rainfall events.*

**Keywords :** 4-D ERT, resistivity monitoring, Loire sands, subsurface fluxes.

## 1. INTRODUCTION

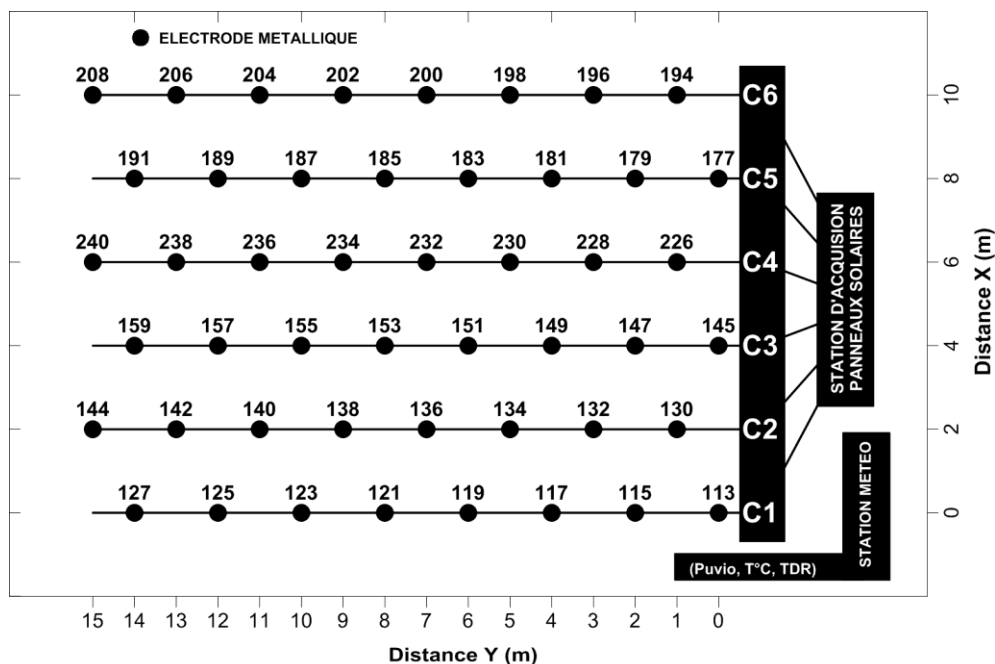
Les résultats présentés dans cet article émergent de l'opération SpatioFlux intégré au Programme RESONAT du CPER 2007-2013. Cette dernière vise à une meilleure caractérisation et compréhension des flux gazeux et hydriques à l'interface sol-air au travers de développements et mises en œuvre de nouvelles techniques. L'approche géophysique présentée ici vise à démontrer la pertinence de la tomographie électrique pour caractériser les flux hydriques dans le premier mètre de sol (zone non-saturée) et notamment la recharge. Cette expérience illustre également la très forte dépendance de la résistivité aux paramètres température et humidité du sol largement relatée dans la littérature (notamment: Rein et al., 2005; Musgrave and Binley, 2011; Samouëlian et al., 2005).

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Paramètres géophysiques

Le paramètre résistivité électrique a été choisi pour mettre en évidence les flux hydriques de sub-surface. Un réseau de 48 (6\*8) électrodes métalliques a été implanté sur le site de l'INRA (Fig. 1). L'acquisition (injection/mesure) est réalisée par un Syscal (Iris-Instruments) et pilotée par ordinateur. Afin d'éliminer toute perturbation électrique qui pourrait être générée par les différents instruments, l'alimentation des trois appareils consommateurs d'énergie (ordinateur portable, Syscal et bi-RS232) a été découplée. Trois batteries rechargées par panneaux solaires sont donc nécessaires au fonctionnement du dispositif. En outre, un modem GSM, permet, via une interface logicielle (PCAnywhere), de piloter et contrôler le dispositif ainsi que récupérer les données à distance.

L'acquisition des données de résistivité électrique s'est effectuée selon le dispositif dipôle-dipôle, et pour des espacements de  $n=1, 2$  et  $3$ . Les données présentées dans cet article concernent les dispositifs  $n=1$ , et investiguent le premier mètre de sol. La fréquence d'acquisition programmée est de 4 à 6 par jour. La période de mesure s'est étendue de 2009 à 2011 avec des interruptions.



**Fig. 1 - Schéma du dispositif d'acquisition 4-D installé à l'INRA (Ardon)**

## 2.2. Paramètres climatiques

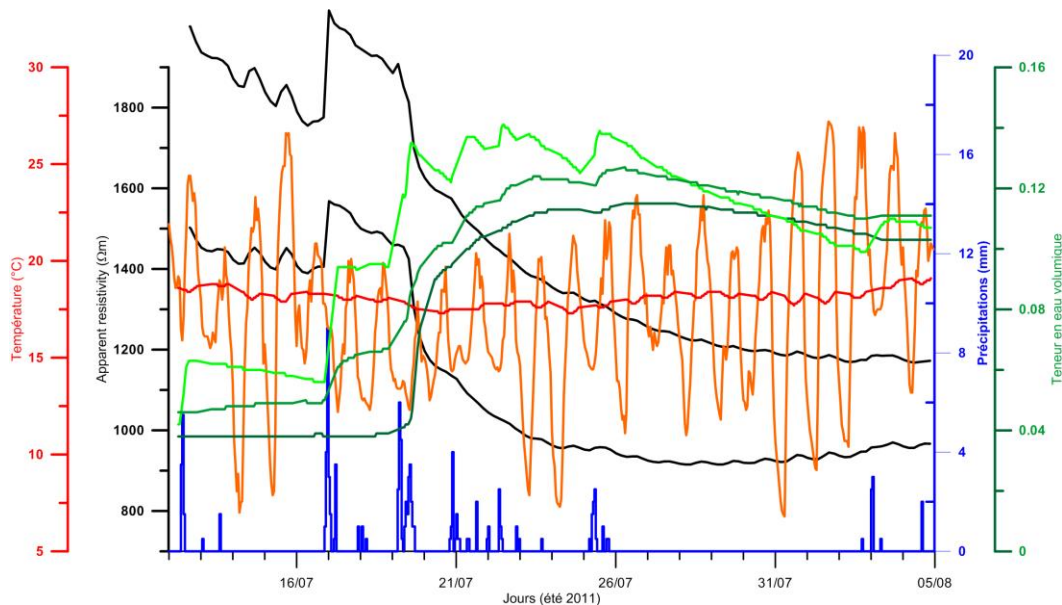
Afin d'identifier et de corréliser les variations de résistivité électrique attendues, un pluviomètre, des sondes de température de l'air et du sol et ainsi que six sondes de teneur en eau volumique TDR disposées à 15, 30 et 45 cm de profondeur ont été mises en place.

## 3. RESULTATS

Les fluctuations de résistivité observées peuvent être catégorisées en 3 groupes: les variations journalières et les variations saisonnières (non présentées ici) et les sauts de résistivité liés à des événements pluviométriques importants.

Les variations journalières s'amplifient en fonction du temps consécutivement aux événements pluviométriques. Elles présentent des amplitudes allant jusqu'à 5% et sont liées aux variations journalières de température de l'air et du sol. Sur les périodes mesurées, et selon ce dispositif de mesure, la variation journalière de l'humidité du sol ne montre aucune corrélation avec la résistivité. Les sauts de résistivité atteignent 10% et peuvent se manifester positivement ou négativement en fonction de l'historique pluviométrique et la teneur en eau volumique du sol. Les brusques augmentations de résistivité (Figure 2 - 17/07/2011 et observée en juin 2010), d'amplitude variable, sont observées durant la période estivale consécutivement à une pluie, et sont fonction de sa durée et de son intensité. Elles résulteraient de la formation d'un écran thermique induit par l'eau de pluie

sur le sol. Les fortes chutes de résistivité (période estivale) révèlent la progression du front d'humidité en profondeur et donc la recharge, de dynamique plus lente, et contrôlent l'évolution de la résistivité sur de plus longues périodes (Figure 2, 19-20/07/2011).



**Fig. 2 - Evolution de la résistivité de 2 quadripôles (sur 30) (noir), de la température du sol (rouge) et de l'air (orange), de la teneur en eau relative à 15 cm (vert clair), 30 cm (vert) et 45 cm (vert foncé) et des précipitations (bleu). Période du 12/07/2011 au 05/08/2011.**

L'épisode du 16 au 21 juillet 2011 est révélateur des potentialités des mesures électriques pour la quantification de la recharge. Les deux évènements consécutifs du 17 et 19 juillet montrent que la première pluie de 22.5 mm du 17 juillet (pendant 8h) ne suffit pas à déclencher l'humidification profonde du sol et qu'il a fallu la seconde précipitation de 28.5 mm (12h) pour déclencher la migration du front d'humidité en profondeur.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**MUSGRAVE H., BINLEY A., 2011** – Revealing the temporal dynamics of subsurface temperature in a wetland using time-lapse geophysics. *Journal of Hydrology*, 396, 258-266.

**REIN A., HOFFMANN R., DIETRICH E., 2004** – Influence of natural time-dependent variations of electrical conductivity on DC resistivity measurements. *Journal of Hydrology*, 285, 215-232.

**SAMOUELIAN A., COUSIN I., TABBAGH A., BRUAND A., RICHARD G., 2005** – Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage Research*, 83, 173-193.