

## sols et fondations

# SUIVI *IN SITU* DE LA VARIABILITÉ DES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES DE SOLS ARGILEUX PAR INSTRUMENTATION GÉOTECHNIQUE- GÉOPHYSIQUE

**Marie CHRÉTIEN\*, \*\*, Jean-François LATASTE\*, Richard FABRE\***

\*Laboratoire GHYMAC – Université Bordeaux 1  
Bâtiment B18, avenue des Facultés  
33405 TALENCE

\*\*Bureau d'études géotechniques AIS GRAND SUD  
28 avenue de Grange Noire  
33708 MERIGNAC

## 1. INTRODUCTION

La reconnaissance géotechnique reste un outil indispensable lors d'aménagements afin de prendre en compte la variabilité spatiale des sols et les aléas géotechniques d'un projet. Toutefois elle implique souvent une multiplication des sondages, induisant un coût financier non négligeable. L'intérêt de l'étude est de pouvoir mieux appréhender la variabilité lithologique et ses mécanismes, afin d'optimiser le choix et les profondeurs d'ancrage des fondations. Une des solutions consisterait à utiliser les méthodes géophysiques associées à des données géotechniques obtenues *in situ* et en laboratoire. Jusqu'à présent, ce couplage était limité par la difficulté à relier les paramètres géotechniques aux propriétés électriques des sols (résistivité électrique et permittivité diélectrique), ainsi qu'à l'existence de peu

d'approches dans la bibliographie visant à les relier. Les développements récents en matière d'acquisition et traitement des données électriques (imagerie 2D et 3D) permettent de relancer cette problématique. L'étude proposée ici repose sur le couplage de mesures géotechniques et physiques *in situ* à différentes profondeurs (déplacements verticaux, teneurs en eau, température du sol, analyses en laboratoire, lithologie) associées à de la tomographie de résistivité électrique. Plusieurs auteurs cherchent à caractériser le phénomène de retrait dans les sols argileux naturels ou dans des remblais argileux par un suivi continu de l'évolution hydrique (Plat *et al.*, 2008, Kurdyka *et al.*, 2007). Le travail présenté dans cette étude est le résultat d'une instrumentation en continue sur un site expérimental situé sur la commune de Pessac (Gironde), dont le but est le suivi annuel du comportement mécanique et hydrique

d'une formation argileuse sensible aux tassements différentiels liés au phénomène de retrait-gonflement. Les résistivités obtenues à partir d'un dispositif géophysique à demeure permettront à moyen terme d'analyser le comportement d'un sol en fonction de la variation naturelle de la teneur en eau et de la température des sols.

Une première partie expose l'instrumentation mise en place sur le site expérimental de Pessac, ainsi que les spécificités des capteurs de mesure. Une seconde partie présente les premiers résultats obtenus en terme d'amplitude de déplacements verticaux des sols et de variations de teneurs en eau jusqu'à 3 m de profondeur, reliés aux variations de résistivités électriques mesurées.

## 2. PRÉSENTATION DU SITE ET DE L'INSTRUMENTATION

### 2.1. Caractérisation du site

Le site d'étude est localisé au sud-ouest de la commune de Pessac, à proximité de Bordeaux dans le département de la Gironde (33). Le climat y est océanique avec une pluviométrie moyenne de 984 mm/an pour la période 1971-2000 (source Météo-France). Ce terrain est un pré herbacé sub-horizontale, recouvert par des arbustes et buissons plus ou moins denses avec la présence de quelques arbres en bordure du terrain. La parcelle instrumentée correspond à la formation géologique des *Argiles de Brach* (Thierry *et al.*, 2006), constituée d'argiles bariolées gris-bleu à marbrures oranges plus ou moins oxydées et datant du Pléistocène supérieur (Platel et Astruc, 2000). Les nombreuses campagnes de reconnaissance de sol réalisées entre décembre 2006 et août 2008 ont montré une importante variabilité lithologique des sols sur la même parcelle et la présence de passées silteuses à sableuses au sein des argiles bariolées présentant des fissures (anciennes fissures de dessiccation remplies par du sable ou des racines de végétaux) (Chrétien *et al.*, 2008). Ces lentilles sableuses peuvent être le siège de venues d'eau temporaires entre 2 m et 5 m de profondeur.

Les données géotechniques collectées sur l'ensemble de la parcelle au sein de cette formation indiquent la présence de sols limono-argileux très sensibles aux variations hydriques sur les deux premiers mètres à des sols devenant argileux en profondeur. Ces sols présentent des valeurs de bleu élevées avec des VBS allant de 6 à 12 et des indices de plasticité de l'ordre de 35 à 57 %, traduisant une certaine hétérogénéité sur l'ensemble de la parcelle. Les potentiels de retrait et de gonflement ont été réalisés sur des échantillons intacts prélevés entre 0,50 m et 3 m de profondeur. Les limites de retrait varient globalement entre 11 et 13 % pour des densités sèches  $\gamma_d/\gamma_w$  de l'ordre de 1,60 et un indice des vides  $e$  moyen de 0,60. Le coefficient de gonflement indique la présence de sols moyennement gonflants ( $C_g$  compris entre 0,05 et 0,07) à localement très gonflants ( $C_g > 0,11$ ) pour les argiles à faciès gris-vert à noirâtre.

### 2.2. Description du dispositif expérimental

Le dispositif de suivi en continu a été mis en place par le GHYMAC entre mars et décembre 2008, il a pour but :

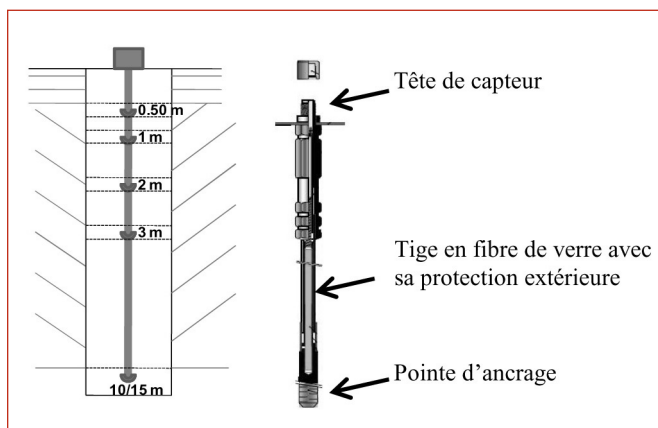
- le suivi géotechnique grâce à des capteurs extensométriques de forage, ancrés à différentes profondeurs (0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m, 10 m à 15 m de profondeur) ;
- le suivi hydrique à l'aide d'une station météorologique, d'une chaîne de cinq sondes de température disposées à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m et 5 m de profondeur dans le sol, et de dix sondes de mesure de teneurs en eau volumique à 0,50 m, 1 m, 2 m et 3 m ;
- le suivi géophysique en implantant deux panneaux : l'un de 72 électrodes, l'autre de 48 électrodes, installés à demeure sur le site.

La station météorologique, un des deux extensomètres et la plupart des sondes de teneur en eau sont reliés à des centrales d'acquisition automatique de données autonomes, avec des pas d'enregistrement des mesures choisis entre 1 h et 3 h. Les résultats sont téléchargeables soit en se connectant avec un ordinateur portable directement sur la centrale, soit par transmission quotidienne via un modem GPRS sur un serveur Internet. Les caractéristiques des différents systèmes de mesure sont décrites dans les paragraphes suivants.

### 2.3. Les déplacements du sol : capteurs extensométriques

Le suivi en continu *in situ* des déplacements du sol est assuré par la mise en place de deux systèmes extensométriques placés dans des forages verticaux, l'un à enregistrement automatique avec un ancrage fixe à 15 m et l'autre à lecture manuelle ancré en profondeur à 10 m. Des capteurs intermédiaires sont placés et ancrés (pour les deux systèmes) à 0,50 m, 1 m, 2 m et 3 m de profondeur au sein de l'argile en place (Fig. 1) afin de déterminer l'amplitude des déplacements des couches de sol.

Le principe de ces capteurs est de mesurer les déplacements verticaux cumulés ( $\Delta h$  en mm) entre la base de l'extensomètre (point d'ancrage) et la tête du capteur (surface de référence) pour les différentes profondeurs. Afin de garantir la validité des mesures de déplacements, nous avons choisi d'ancrer les extensomètres à 10 m et 15 m, soit suffisamment en profondeur au sein de l'argile pour s'assurer qu'ils sont ancrés dans une couche pas sollicitée et donc que l'on peut considérer comme le « point fixe de référence ». Les données sont enregistrées automatiquement toutes les 3 h pour l'extensomètre relié à une centrale d'acquisition, et elles sont collectées une fois par semaine manuellement pour l'autre système. Ces systèmes ont été choisis pour leur fiabilité dans le temps en fonction de l'environnement, pour leur précision sur la mesure de l'ordre de 0,001 mm et pour leur capacité de mesurer des déplacements en allongement et/ou raccourcissement (dans la gamme +/- 250 mm).



**Figure 1. Schéma de principe des mesures de déplacements par système extensométrique et de leur disposition en forage.**

## 2.4. Les mesures *in situ* de teneur en eau

Trois différentes méthodes sont implantées sur le site afin de suivre et mesurer les variations de teneurs en eau volumique, par la caractérisation de la constante diélectrique des sols argileux en place :

- des sondes capacitatives type  $ECH_2O$ ,
- des sondes TDR (Time Domain Reflectometry) type TRIME-FM3,
- des sondes FDR (Frequency Domain Reflectometry) type ThetaProbe ML2x.

Le principe de la méthode capacitive consiste à mesurer la capacité d'un sol assimilé à un condensateur, quand deux électrodes sont introduites dans les sols et qu'un champ électrique sinusoïdal  $y$  est appliqué. Les méthodes TDR et FDR sont basées sur la mesure du temps de parcours et de l'atténuation d'une impulsion électromagnétique lancée le long d'une ligne de transmission d'une longueur connue jusqu'au capteur placé dans le sol. Il est alors possible de mesurer le teneur en eau volumique  $\theta_v$  (en %) en utilisant la réflectométrie dans le domaine temporel et fréquentiel reliée par des relations établies avec la constante diélectrique des sols. Avant l'installation de l'ensemble de ces sondes, des prélèvements d'échantillons de sols ont été effectués à intervalles réguliers en profondeur afin de déterminer en laboratoire les teneurs en eau gravimétriques des sols en place et leur poids volumique sec ( $\gamma_d = 1,55 \text{ kN/m}^3$ ). Cette procédure permet de réaliser une calibration spécifique pour chaque type de sondes installées sur le site expérimental, améliorant ainsi la précision des mesures avec une fourchette de  $\pm 3$  à  $5 \%$  pour les méthodes TDR, et FDR à  $\pm 5$  à  $10 \%$  pour les capacitatives (dépendantes de la température du sol). Le suivi hydrique des sols argileux est donc assuré de façon automatique par quatre sondes type  $ECH_2O$  (disposées à 0,50 m, 1 m, 2 m et 3 m, avec enregistrement toutes les heures depuis décembre 2008) et trois sondes type ThetaProbe, placées à 1 m, 2 m et 3 m de profondeur avec un relevé toutes les 3 h depuis fin février 2009. La méthode TDR utilisée sur site est de type TRIME-FM3, impliquant la mise en place de trois tubes-sondes de 3 m de longueur ; la mesure est réalisée

chaque semaine depuis juin 2008 avec un pas de mesure vertical de 0,10 m.

## 2.5. La tomographie de résistivité électrique à demeure

L'intérêt de cette méthode est de préciser le comportement des sols argileux entre périodes humides et sèches et la cinétique des tassements différentiels des sols au cours du temps, en suivant leur évolution hydrique plus ou moins développée en fonction de la variabilité spatiale des sols rencontrés. La méthode retenue est l'utilisation de la tomographie de résistivité électrique qui permet de mesurer les variations de résistivité électrique des sols  $\rho$  (en  $\Omega.m$ ). Elle est fonction de la nature des sols, de leur teneur en eau, de la conductivité de l'eau dans le sol et de la température du sol. Préalablement à l'installation du dispositif à demeure, deux prospections électromagnétiques utilisant l'EM-31 ont été menées courant septembre et novembre 2007 afin de définir les variations de résistivités électriques en surface (les 5 premiers mètres) sur la globalité du terrain et identifier les zones de transitions lithologiques. Un premier panneau électrique a été également réalisé en octobre 2008, avec un espacement entre électrodes de 1 m à proximité de la zone instrumentée. Ces premières mesures nous ont permis d'identifier la géométrie globale du site, qui présente de larges variations dans les propriétés électriques des sols, avec une nette transition entre sols argileux et sols granulaires de types sablo-graveleux. Afin d'observer le comportement hydrique au sein des sols argileux, nous avons mis en place le dispositif décrit ci-après pratiquement au droit du premier panneau réalisé. Ce dispositif permettra également d'observer la cinétique de comportement entre sols argileux au contact de sols plus compacts, cas à l'origine d'importants tassements différentiels sur fondations.

Les résistivités électriques sont obtenues à l'aide de deux dispositifs perpendiculaires (un de 72 électrodes, l'autre de 48 électrodes) (Fig. 2) avec des électrodes espacées 0,50 m. Ils sont installés à demeure et les mesures sont effectuées à intervalles de temps réguliers (mensuellement) depuis décembre 2008. Pour chacun des panneaux, trois configurations sont utilisées afin d'obtenir des cartes de résistivités optimisant une bonne résolution à la profondeur d'investigation souhaitée : les configurations Wenner-Schlumberger, Dipôle-dipôle, Pôle-dipôle. L'inversion des données brutes est réalisée à l'aide du logiciel RES2DINV (Loke et Barker, 1996) afin de fournir mensuellement des cartes en 2D des résistivités inversées issues des résistivités apparentes mesurées. La variation relative entre deux dates est un outil qui permettra, à partir de résistivités inversées, d'analyser les variations temporelles de résistivité en chaque point de la zone investiguée. Les résistivités électriques sont comparées avec celles obtenues expérimentalement en laboratoire sur des échantillons intacts. L'intérêt est de tenter de relier les résistivités  $\rho$  à la variation de teneur en eau pour un même type de sol, et dans le temps.



Figure 2. Dispositif de tomographie de résistivité électrique installé à demeure sur le site expérimental de Pessac.

### 3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

La figure 3 présente les mesures de température du sol à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m et 5 m de profondeur depuis l'installation des sondes en avril 2008, superposées au cumul journalier des précipitations mesurées par la station météorologique sur site. Ces courbes montrent qu'après chaque période pluvieuse hivernale importante ( $P > 20$  mm à partir de novembre 2008), on constate une augmentation de la température des sols jusqu'à 2 m de profondeur et par conséquent une certaine diffusion dans le sol. De plus, on retrouve un décalage identique dans le temps entre les pluies et l'augmentation de température jusqu'à 2 m de profondeur.

La figure 4 traduit d'importantes variations mensuellement de teneur en eau des sols mesurées par les sondes TDR entre août 2008 et mars 2009. De plus, on peut distinguer, en ne tenant pas compte des premiers 0,80 m de sol sableux humifère, que les teneurs en eau forment deux populations bien distinctes suivant les saisons : sols secs entre août et début novembre 2008, sols humides entre novembre 2008 et mars 2009. En effet, on peut noter une augmentation

significative de la teneur en eau volumique à partir de décembre 2008 de l'ordre de 10 % vers 1,30 m de profondeur et environ 5 % entre 2 m et 3 m. En période hivernale, les teneurs en eau sont de l'ordre de 36 à 38 % et diminuent en période estivale à des valeurs de l'ordre de 22 à 25 %. Ces augmentations de teneur en eau font suite à des mois de novembre 2008 et janvier 2009 très pluvieux par rapport aux moyennes statistiques. Ce constat met en évidence un comportement non imperméable des argiles et une importante infiltration de l'eau à la faveur de fissures et de passées plus silteuses au sein de la formation argileuse. Ces fortes variations d'humidité des sols entre 1 m et 2 m, constatées pour une année pluvieuse, peuvent être ainsi suffisantes pour entraîner des tassements sous fondations superficielles. Ces observations confirment également la pertinence de travailler avec des teneurs en eau moyennées sur des périodes mensuelles.

Avant tout, nous précisons que les premiers résultats fournis par les capteurs capacitifs sont uniquement comparés aux données des sondes TDR, sachant le peu de recul à ce jour sur ces premières mesures (sondes capacitives en place depuis décembre 2008). Les résultats des sondes FDR ne sont pas présentés compte tenu de leur installation que depuis fin février 2009.

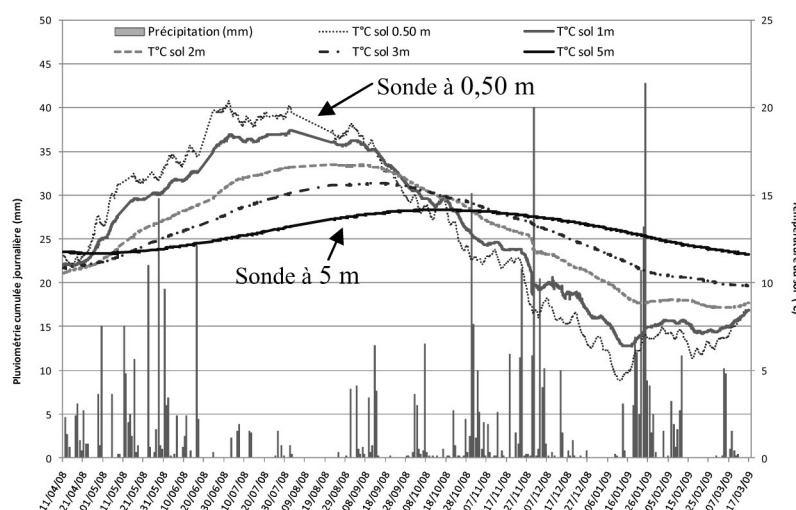
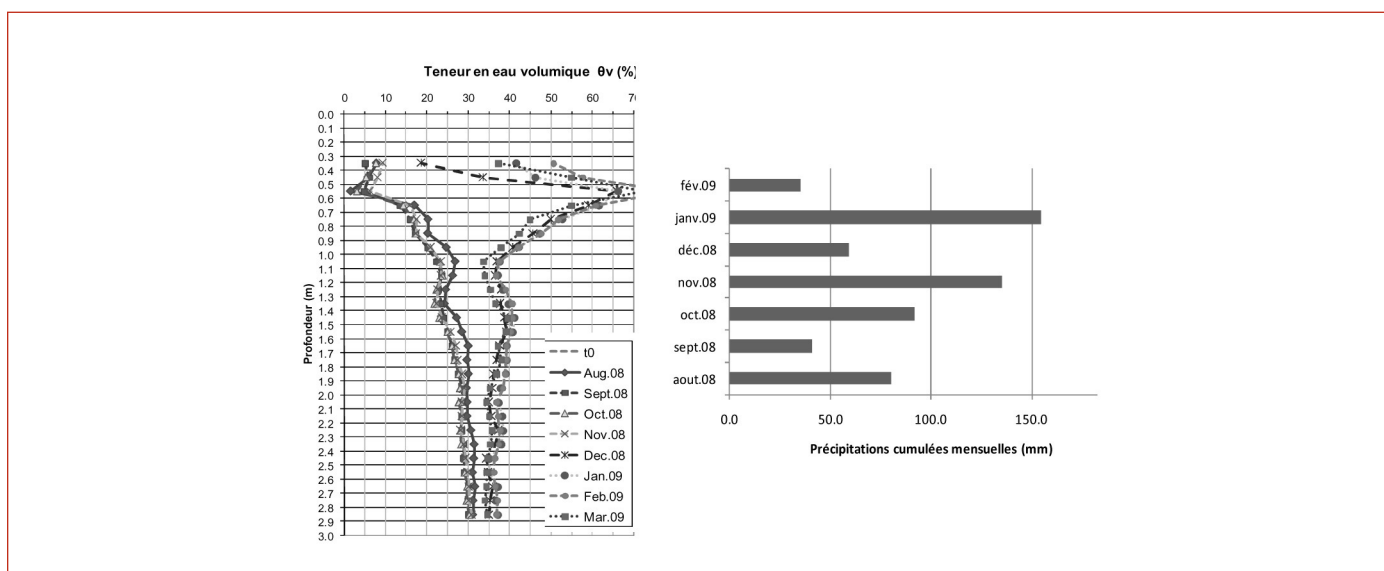


Figure 3. Suivi de la température du sol à différentes profondeurs en fonction de la pluviométrie du site sur Pessac (période du 11/04/08 au 17/03/09).





**Figure 4. Suivi de l'évolution mensuelle de la teneur en eau du sol (sondes TDR) depuis août 2008 jusqu'à 3 m de profondeur en fonction de la pluviométrie.**

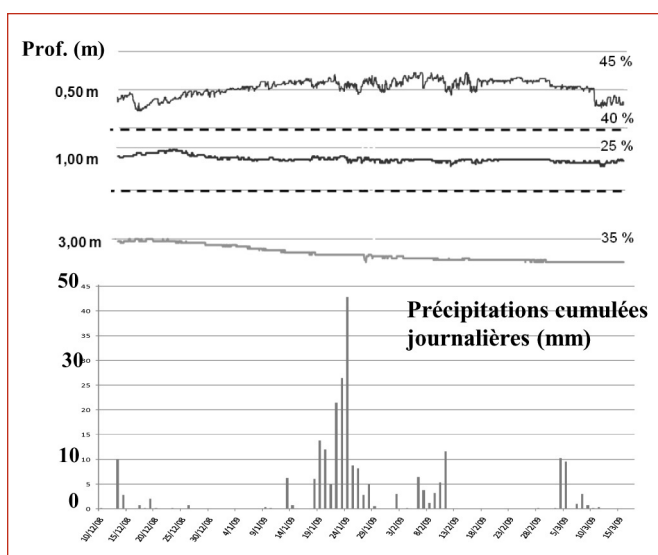
Si on compare les résultats des sondes TDR avec ceux des capteurs capacitifs illustrés à la figure 5, on note de petites variations des teneurs en eau volumique à 0,50 m et 1 m de profondeur, alors que celui implanté à 3 m montre une nette diminution de la teneur en eau de l'ordre de 2 % entre décembre 2008 et mars 2009. Compte tenu du principe de la mesure capacitive, ces résultats sont très dépendants des variations de température dans le sol si on les superpose aux courbes de la figure 3. En comparant l'allure de la courbe des teneurs en eau à 3 m de profondeur à celle de température à la même profondeur (Fig. 3), on note que les deux montrent la même tendance à la baisse. Il semblerait pour le moment (à vérifier l'influence de la température à la suite d'une période d'observation plus longue) que ces sondes ne permettront que de donner une tendance générale de l'évolution de la teneur en eau volumique avec une précision médiocre dans les sols argileux.

Concernant les mesures de déplacements verticaux du sol par les deux systèmes extensométriques, la figure 6 pré-

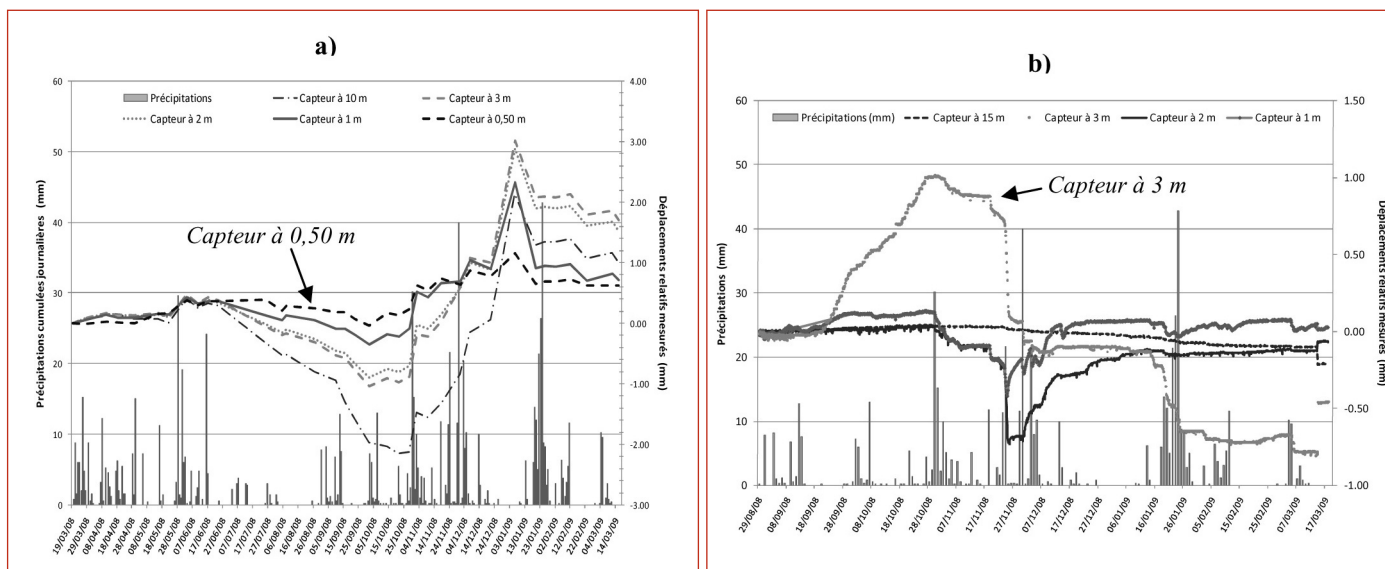
sente leur évolution dans le temps (entre mars 2008 et mars 2009). Il s'agit des déplacements relatifs mesurés à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m, 10 m et 15 m de profondeur en fonction de la pluviométrie. La figure 6-a illustre les relevés manuels hebdomadaires des mouvements verticaux entre 0,50 m et 10 m de profondeur depuis fin mars 2008 et jusqu'à ce jour (dernier relevé du 18/03/09).

La figure 6-b présente les déplacements verticaux enregistrés automatiquement toutes les 3 h entre 1 m et 15 m de profondeur depuis fin août 2008 à aujourd'hui.

Ces figures montrent que les déplacements verticaux sont bien corrélés aux précipitations jusqu'en décembre 2008, les mouvements se font ressentir jusqu'à 3 m de profondeur et les courbes peuvent être décomposées en différentes phases. En effet, suite à la mise en place des extensomètres ancrés en profondeur, une période de latence avec de très légers gonflements et retraits est observée. Cette phase de déplacements restreints, à relier avec un état hydrique antérieur du sol relativement constant, est suivie par une phase de retrait à partir de début juin 2008 d'abord de quelques dixièmes de millimètre en surface puis se propageant en profondeur avec un retrait maximum de 2,50 mm au 25/10/2008 sur la tranche de sol comprise entre 0,50 m et 10 m de profondeur. On s'aperçoit également que les mouvements les plus importants sont observés entre les capteurs placés à 1 m et 2 m de profondeur. Les sols situés à 3 m de profondeur peuvent subir des mouvements de l'ordre du millimètre (noté sur les deux systèmes de mesures) en période estivale pour des années 2007 et 2008 relativement pluvieuses par rapport à la moyenne statistique de référence locale. Les premières pluies intenses de novembre 2008 provoquent un important et rapide phénomène de gonflement sur toute la hauteur de sol instrumentée avec une amplitude de 2 à 4 mm. En observant la figure 6-b, on constate que les phases de gonflement sont suivies immédiatement par de petites phases de retrait entre 1 m et 2 m, et par des phases de stabilisation pour le capteur à 3 m. À partir du 03/01/09, il semble que les couches de sol présentent un comportement différent et déphasé par rapport à la pluviométrie (par



**Figure 5. Suivi de l'évolution de la teneur en eau du sol par sondes capacitives jusqu'à 3 m de profondeur en fonction de la pluviométrie du site depuis le 11/12/08 au 18/03/09.**

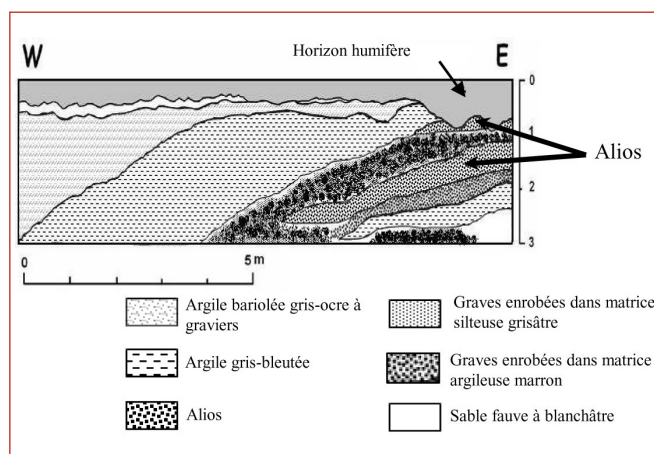


**Figure 6 a et b. Evolution comparée des déplacements mesurés de façon hebdomadaire (a) et automatique (b) à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m et 10/15 m de profondeur et de la pluviométrie enregistrée sur site entre mars 2008 et mars 2009.**

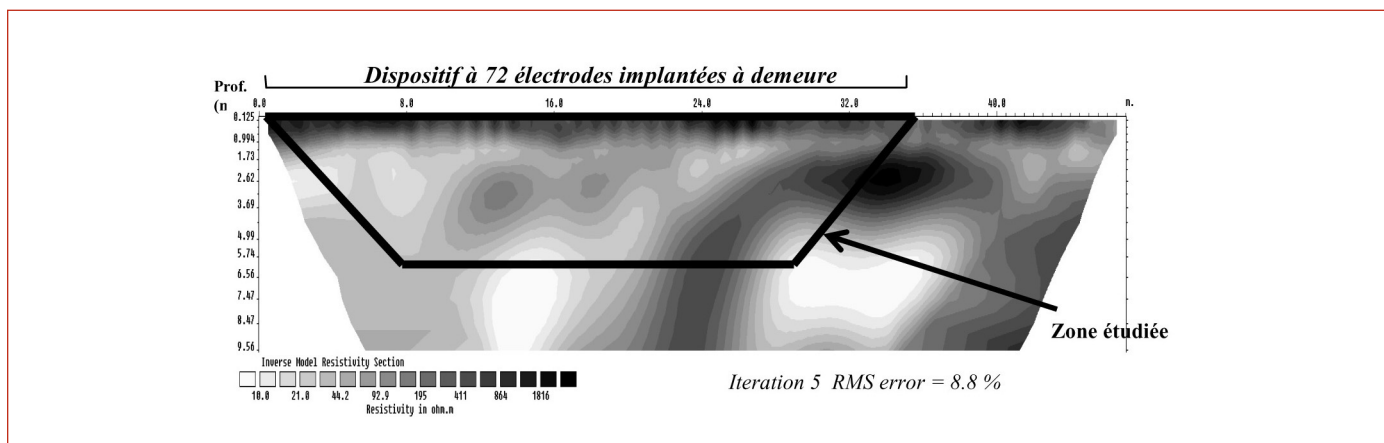
exemple le pic de gonflement du 03/01/09 à la figure 6-a). Il est intéressant de noter qu'après les fortes pluies de la tempête du 24/01/09 (70 mm de pluie en 48 h), seule la tranche superficielle de sol a été légèrement affectée par cet important épisode pluvieux, excepté le capteur situé à 3 m de profondeur sur la figure 6-b qui mesure un gonflement cumulé de 0,50 mm sur trois jours. Ce comportement observé semble atypique, mais ne peut être lié à un dysfonctionnement des appareils de mesures étant donné qu'il est observé à la même période pour les deux systèmes. Ils témoignent donc d'un comportement plus complexe du massif instrumenté. Une période plus longue d'observation permettra de voir si cette différence de comportement noté entre décembre 2008 à mars 2009 à différentes profondeurs peut être due à une hétérogénéité du sol ou à tout autre paramètre mécanique influant. Après cet épisode de janvier, le gonflement s'est stabilisé et depuis, les figures montrent que jusqu'à mi-mars 2009 le sol n'a pas retrouvé son état initial de mars 2008. Le gonflement a été jusqu'à présent pratiquement aussi important que le retrait et le sol semblerait avoir atteint son « potentiel de gonflement » maximal (cohérent avec une minéralogie des argiles pauvres en smectites).

Avant de chercher à relier les variations de résistivité électrique avec les variations saisonnières de teneur en eau des sols, une tomographie électrique initiale a été réalisée en septembre 2008 pratiquement sur l'emplacement actuel du panneau électrique à 72 électrodes, orienté ouest-est, et couplée à une fosse pédologique réalisée parallèlement au profil afin de caler les mesures de résistivités électriques avec la lithologie du site (Fig. 7). La figure 7 illustre bien le passage d'un milieu argileux compact à l'ouest vers un milieu sablo-graveleux et aliotisé vers l'est. Cette configuration correspond à des conditions propices aux tassements différentiels soit au sein de l'argile, soit à l'interaction argile-sol granulaire compact que l'on souhaite dans les deux cas tester dans le temps. Les variations de résistivités électriques obser-

vées à la figure 8 semblent bien corrélées avec la géométrie des terrains rencontrés à la figure 7, (avec un indicateur de la qualité de l'inversion numérique, la valeur de RMS, de 8,8 %). Les mesures électriques montrent des gammes variables de résistivités pour les argiles, avec des valeurs comprises entre 10 et 93 ohm.m confirmant ainsi l'hétérogénéité lithologique au sein des argiles. Ces hétérogénéités (liées à des passées plus silteuses) peuvent jouer le rôle de drain au cours des variations saisonnières, tantôt asséchant le sol et tantôt favorisant l'infiltration de l'eau en profondeur. On constate un bon contraste des résultats (Fig. 8) entre les argiles, les sables indurés aliotisés et les graves, avec des valeurs qui tendent vers 1800 ohm.m dans l'aliot. Lors de la mise en place du dispositif à demeure, un léger décapage a été réalisé pour araser le sol, éliminer les mottes d'herbes et assurer un bon contact des électrodes avec le sol. Ces dispositions ont permis de réduire les



**Figure 7. Profil d'une fosse pédologique (repositionnée en distance par rapport à la figure 8) parallèle au dispositif de tomographie placé à demeure et servant au calage des mesures géophysiques. Fosse réalisée fin août 2008 sur site.**



**Figure 8. Tomographie électrique initiale test (Pôle-Dipôle avec espacement d'1 m entre électrodes) effectuée en septembre 2008, avec la délimitation de la zone étudiée par le dispositif de mesure à 72 électrodes à demeure.**

bruits de surface que l'on pouvait observer sur les panneaux initiaux (Fig. 8).

## 4. PERSPECTIVES

Ces résultats de tomographie électrique ont permis de valider la mise en place d'un dispositif de suivi par tomographie de résistivité électrique à demeure, au vu des contrastes électriques qui ont été corrélés, par l'intermédiaire d'excavations et de sondages, avec la variabilité lithologique observée sur le site. Depuis janvier 2009, des mesures sont réalisées à intervalles réguliers de façon à effectuer une mesure mensuelle en suivant le même protocole de mesure. Jusqu'à présent, nos mesures de résistivités présentent peu de variations compte tenu d'une pluviométrie importante depuis novembre 2008. Les variations relatives des résistivités entre deux dates corrélées par rapport aux données climatiques, devraient permettre d'établir des corrélations entre des variations de la teneur en eau des sols en place, leur dynamique, et leur géométrie.

## 5. CONCLUSION

Afin de caractériser les variations saisonnières de teneur en eau des sols, les déplacements qu'elles engendrent et d'éventuelles différences de comportement des sols entre la surface et en profondeur, un site expérimental a été instrumenté fin mars 2008 sur la commune de Pessac (Gironde). Les extensomètres de forages permettent de conclure que les sols subissent des mouvements autant en retrait qu'en gonflement, et d'amplitude quasi-identique pour une année 2008 particulièrement pluvieuse. La phase de gonflement est trois fois plus rapide que celle du retrait avec des déplacements maximums de l'ordre de 4 mm sur les dix premiers mètres et de 1,50 mm à 3 m de profondeur. Les mesures de teneur en eau acquises depuis juin 2008 permettent de mettre en évidence des variations nettes de l'état hydrique des argiles entre les saisons jusqu'à 3 m de profondeur. En effet, un

gain en teneur en eau de 10 % a été constaté à 1 m de profondeur entre la période sèche et la période très humide. Leur couplage avec les mesures de déplacements verticaux des sols permet d'identifier les comportements physiques des sols à différentes profondeurs et des cinétiques de déplacements, plus importantes entre 1 m et 2 m de profondeur.

L'acquisition des mesures se poursuit ainsi que le suivi géophysique des variations saisonnières des résistivités électriques des sols. Ce qui devrait à moyen terme permettre de préciser les premières observations de relations entre conditions météorologiques locales et mouvements différentiels du site. L'instrumentation particulière et unique de ce site permettra avec le recul :

- de comparer entre elles et valider plusieurs techniques de mesures des déplacements verticaux et des teneurs en eau dans un sol argileux,
- de comprendre précisément les mécanismes de tassements et gonflements au sein des argiles moyennement sensibles de la région, mais également à l'interaction entre ces argiles et des sols granulaires compacts.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- Chrétien M, Marache A, Fabre R, « Shrinkage-swelling behaviour and spatial variability of clayey soils of Plio-quaternary geological formations in suburbs of Bordeaux (France) », *Symposium International Sécheresse et construction SEC2008*, Marne-La-Vallée, 1-3 septembre 2008, p. 63-73.
- Kurdyka M., Beck Y., Palma-Lopez S., Ferber V., Desmoutiers A.L., « Suivi de l'état hydrique d'un remblai expérimental par tomographie de résistivité électrique », 6<sup>e</sup> Colloque GEOFCAN, Bondy, 25-26 septembre 2007, p.63-66.
- Loke M. et Barker R., « Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method », *Geophysical Prospecting*, vol. 44, 1996, p. 131-152

Plat E., Vincent M., Fleureau J.-M., Le Roy S., « Couplage des mesures in situ de déformations et de teneurs en eau dans un sol argileux sujet au retrait-gonflement », *Revue Européenne de Génie Civil*. Volume x (sous presse), 2008.

Platel J.P. et Astruc J.G., « Cartographie des principales formations argileuses et marneuses affleurantes dans la région Aquitaine », *Rapport BRGM/RP-50181*, 2000.

Thierry P., Breysse D. avec la collaboration de Vanoudheusden E., Marache A., Dominique S., Rodière B., Bourguine B., Régaldo-Saint Blancard P., Piette Ch., Rivet F., Fabre R., « Le projet RIVIERA : Risques en ville : Equipements, Réseaux, Archéologie », *Rapport final BRGM/RP-55085-FR*, 2006.

## 7. REMERCIEMENTS

Ce travail a pu aboutir grâce au financement de la thèse par l'ANRT (Association Nationale de la Recherche et la Technologie) et par une subvention financée par le Conseil Régional d'Aquitaine.

Il participe également au programme de recherche ARGIC (Analyse du Retrait-Gonflement et Incidences aux Constructions), co-financé par l'Agence National de Recherche (ANR), débuté en 2006 et terminé en 2009, et réalisé sous la direction du BRGM en collaboration avec le LCPC, INRA, Météo-France, LMSSMat, LAEGO, CERMES, Armines, GHYMAC, Insavalor, INERIS, HydrASA et Fondasol.