



Modèle de réponse des sols argileux à la sécheresse : application au site instrumenté de Mormoiron

Sébastien Gourdier, Gilles Grandjean

► To cite this version:

Sébastien Gourdier, Gilles Grandjean. Modèle de réponse des sols argileux à la sécheresse : application au site instrumenté de Mormoiron. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur (JNGG) 2014, Jul 2014, Beauvais, France. hal-00955252

HAL Id: hal-00955252

<https://brgm.hal.science/hal-00955252>

Submitted on 4 Mar 2014

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.

MODELE DE REPONSE DES SOLS ARGILEUX A LA SECHERESSE : APPLICATION AU SITE INSTRUMENTE DE MORMOIRON

MODELING SHRINKING AND SWELLING CLAY SOILS UNDER DROUGHTS: APPLICATION TO MORMOIRON TEST-SITE

Sébastien GOURDIER¹, Gilles GRANDJEAN¹

1 BRGM, Orléans, France

RÉSUMÉ — Pour comprendre les mécanismes du retrait-gonflement des argiles à l'origine de nombreux dommages, le BRGM mesure en continu depuis 2004, sur le site expérimental de Mormoiron (Vaucluse), les teneurs en eau à différentes profondeurs et les déplacements verticaux associés. Un modèle analytique multicouche unidimensionnel a été développé dans le but de reproduire les déplacements dus au phénomène de retrait-gonflement des argiles. Il est testé et calibré à l'aide de chroniques relevées sur le site, après traitement de ces dernières.

ABSTRACT — To understand the mechanisms of shrinking and swelling clays, causing extensive damage to houses, BRGM measures, on Mormoiron test-site and continuously since 2004, water content at different depths and associated vertical displacements. A one-dimensional multilayer analytical model was developed to reproduce ground vertical displacements due to shrinking and swelling clays. It has been tested and calibrated with time series recorded on the test-site, after appropriate data processing.

1. Introduction

Les périodes exceptionnelles de déficits pluviométriques, notamment observées dans les années 1976, 1989-1991 et 1996-1997, ont mis en évidence la vulnérabilité des maisons individuelles au phénomène de retrait-gonflement des argiles. Entre 1998 et 2010, le BRGM a réalisé puis publié une carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles, par croisement des données géologiques et d'informations sur la sinistralité. L'analyse des sinistres imputés à la sécheresse et à la réhydratation des sols, effectuée lors du programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles, a montré une grande disparité dans les réponses des sols en période de sécheresse. La sécheresse intense de 2003 a mis en évidence la nécessité de développer des connaissances plus objectives pour mieux comprendre le phénomène de retrait-gonflement des argiles. Dans ce contexte, le site de Mormoiron (84) a été instrumenté pour mesurer l'évolution des teneurs en eau des sols argileux à différentes profondeurs et les déplacements verticaux associés.

2. Présentation du site de Mormoiron

2.1. Localisation et contexte géologique

Localisé dans la commune de Mormoiron dans le Vaucluse (84) et soumis à un climat de type méditerranéen, le site expérimental est situé sur un terrain communal non bâti, dans la formation géologique des sables et argiles vertes à smectites de Mormoiron (figure 1), formation classée en aléa de niveau fort sur la carte de l'aléa retrait-gonflement (Marçot et al., 2004, 2007). Le cortège argileux est constitué essentiellement de smectites accompagnées d'attapulгите. La coupe géologique du site, obtenue à partir de sondages réalisés en septembre et décembre 2004, montre la présence d'argiles vertes plastiques sur une épaisseur de sept mètres.

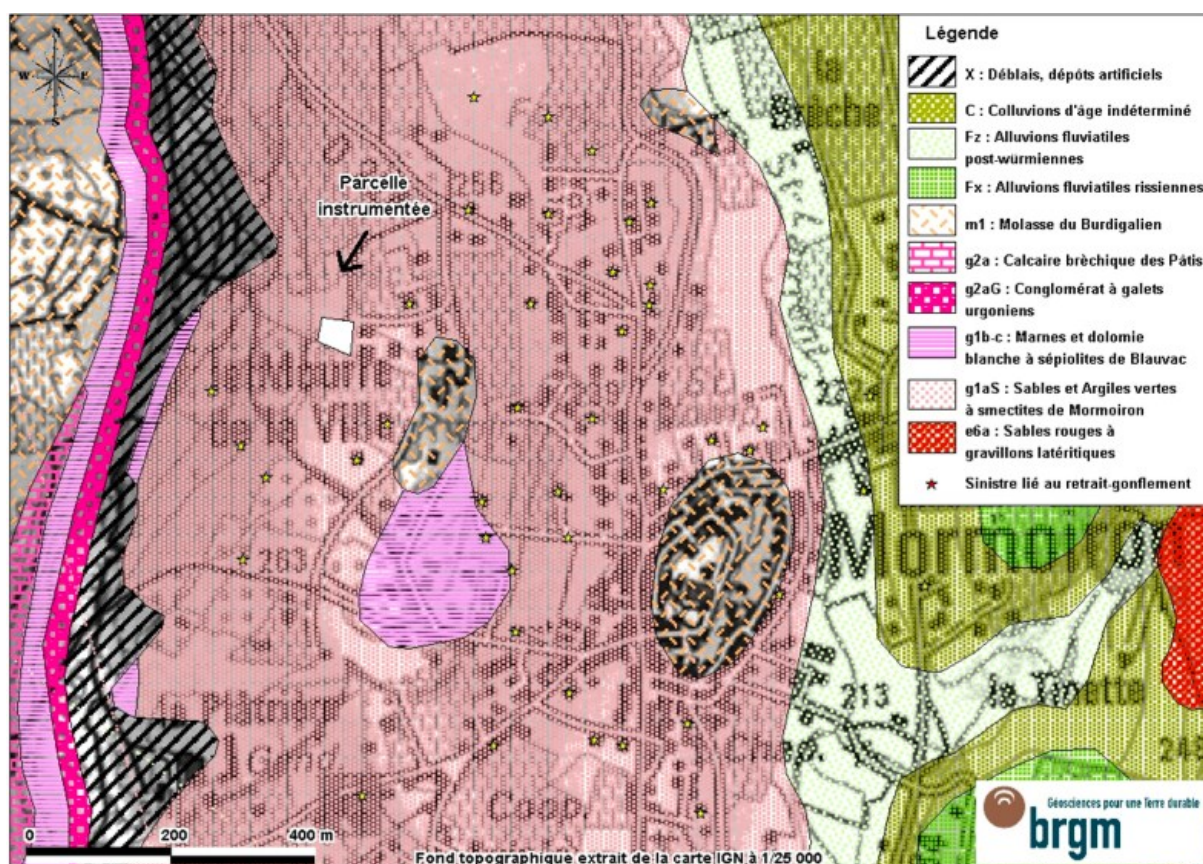


Figure 1 . Contexte géologique du site instrumenté de Mormoiron

2.2. Instrumentation

Le site a été équipé au mois de décembre 2004 par une centrale d'acquisition Osiris, permettant l'acquisition automatique des mesures réalisées par 24 capteurs d'humidité et d'un pluviomètre. Les capteurs d'humidité sont des capteurs capacitifs de type Humitub, répartis sur deux cannes implantées en forage et permettant des mesures d'humidité et de température à 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m, 4 m, 4,5 m, 5 m, 6 m et 7 m sur chacune des deux cannes (Canne 1 et Canne 2 sur la figure 2). Cette instrumentation a été complétée en décembre 2006 par l'installation

de trois dispositifs extensométriques implantés en forage, destinés à suivre les mouvements verticaux du sol à des profondeurs de 0,2 m (Ext1), 0,5 m (Ext2), 1 m (Ext3) et 1,7 m (Ext4). Trois sondes d'humidité de type ThetaProbe ML2x ont été ajoutées au dispositif en juillet 2009 à des profondeurs de 0,5 m (Theta1), 1,0 m (Theta2) et 1,2 m (Theta3). L'autonomie de l'installation est assurée par deux panneaux solaires et l'ensemble des mesures est télétransmis au laboratoire par modem GSM.

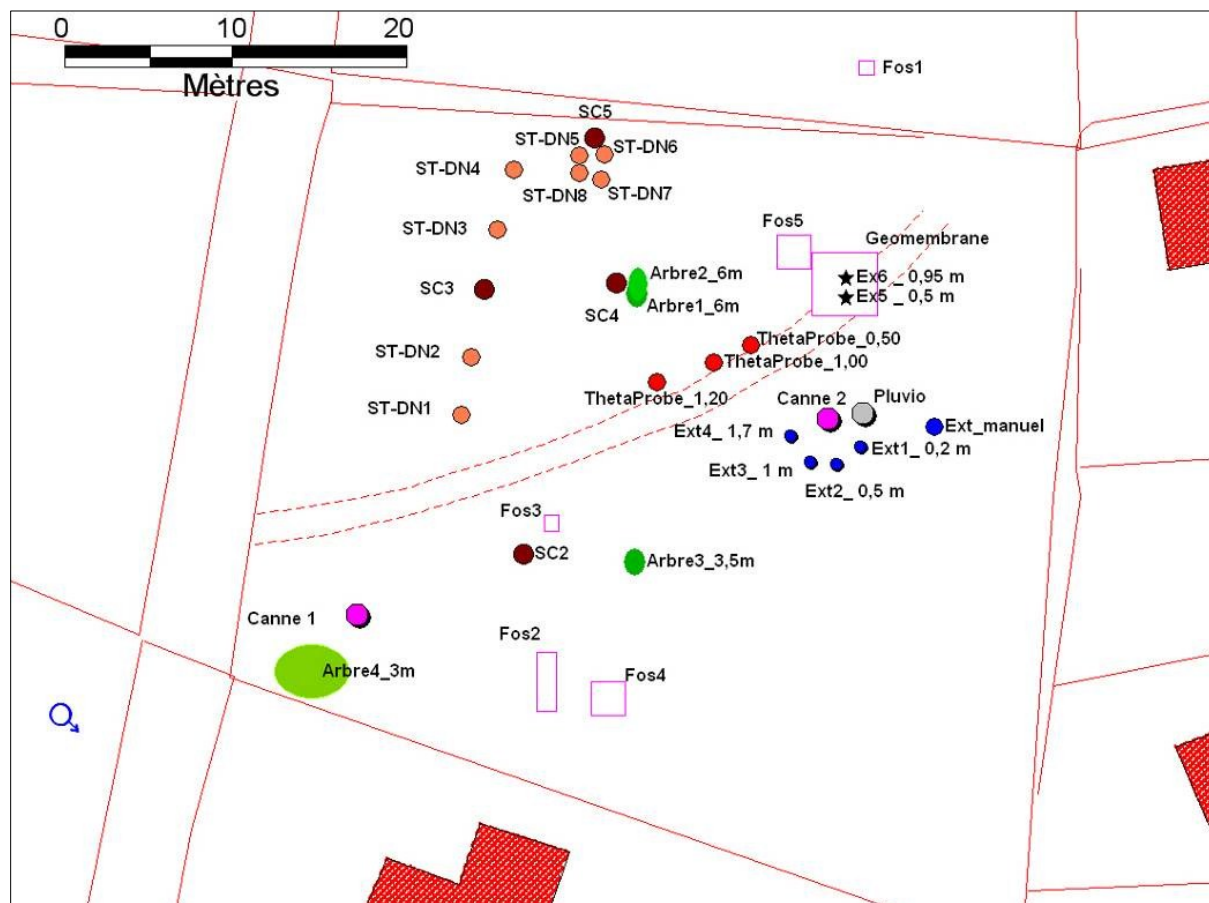


Figure 2 . Plan schématique de la parcelle instrumentée de Mormoiron

3. Traitement des données

Les chroniques de teneurs en eau enregistrées avec les capteurs de type Humitub depuis 2004 présentent une quantité significative de bruit ainsi que des périodes lacunaires plus ou moins longues. En l'état, elles ne peuvent pas être utilisées en entrée de modèles et un traitement de données s'avère nécessaire pour supprimer le bruit et les artéfacts pour les rendre exploitables.

3.1. Intervalles de mesures

Les capteurs Humitub sont capables de mesurer, après conversion des intensités enregistrées, des teneurs en eau volumique jusqu'à 65 % (figure 3). Les données négatives ou supérieures à ce seuil sont simplement exclues des chroniques.

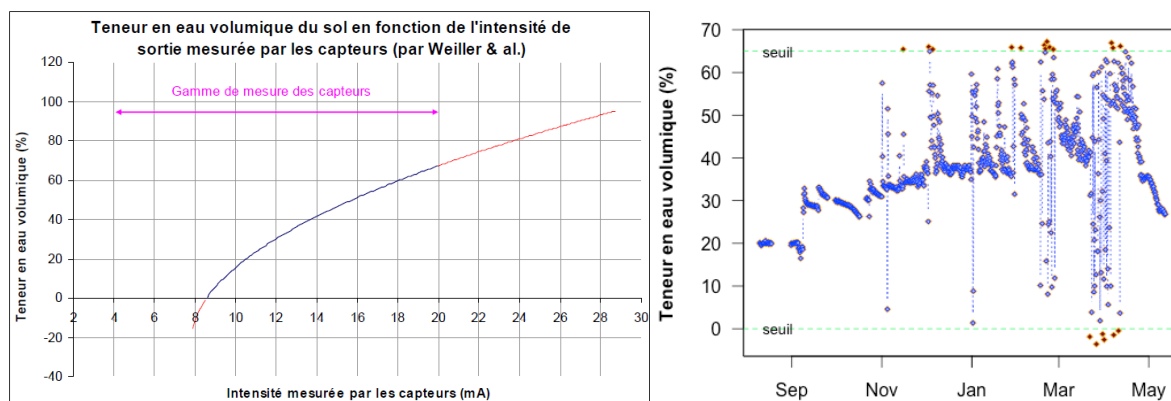


Figure 3 . Conversion intensités – teneurs en eau volumique pour les capteurs Humitub (à gauche), exemple de filtrage des données hors intervalle (à droite)

3.2. Filtrage statistique robuste

Le principe de la méthode de filtrage statistique dite "robuste" consiste à éliminer les observations extrêmes, que nous considérons comme aberrantes, en examinant leur rang. En statistique classique, on a souvent recours au calcul de la moyenne et de l'écart-type, en supposant implicitement que la distribution des données est gaussienne. Or, dans le cas présent, les observations ne sont pas distribuées selon une loi normale et sont par ailleurs contaminées par des valeurs aberrantes. La méthode mise en œuvre est basée sur l'analyse du rang des données et non sur leurs valeurs, ce qui permet de s'affranchir de l'hypothèse d'une distribution gaussienne.

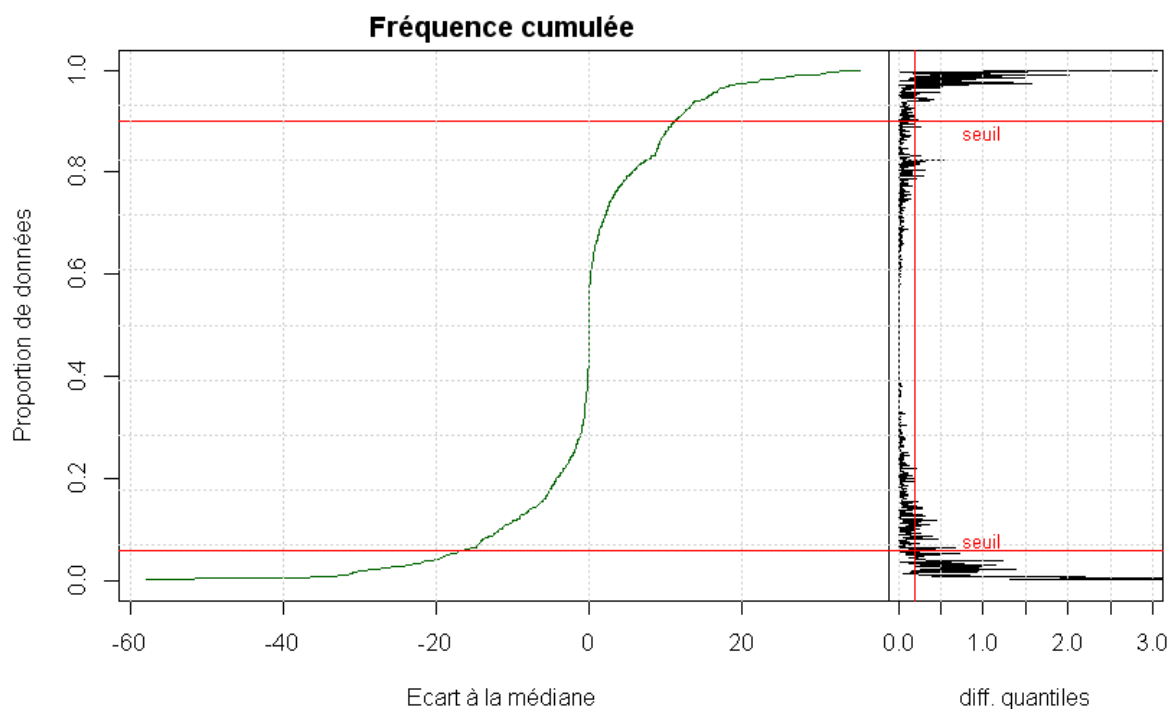


Figure 4 . Courbe de fréquence cumulée et différence de valeurs entre quantiles adjacents pour les écarts à la médiane mobile.

Pour écarter les valeurs aberrantes, on applique un filtre de quantile sur les écarts à la médiane mobile (figure 4), qui va permettre de rejeter les observations dont la probabilité de dépassement est faible et dont la différence aux valeurs ordonnées immédiatement plus grandes et plus petites est importante. Les résultats du filtrage statistique robuste sont présentés en figure 5.

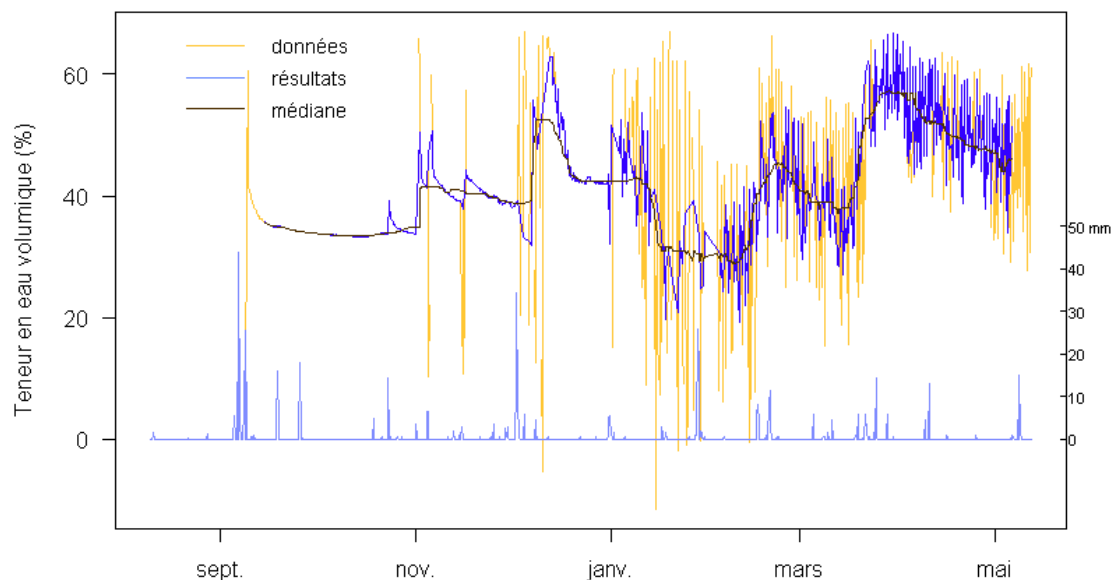


Figure 5 . Résultats du filtrage statistique robuste

3.3. Filtrage fréquentiel

Après filtrage statistique, les chroniques de teneurs en eau présentent encore, par endroits, des variations de fréquences élevées qui ne sont pas naturelles mais liées au capteur. Le signal enregistré par les sondes de type thétaprobe est beaucoup plus stable et ne présente jamais ce type de variations. Un filtrage des données dans le domaine fréquentiel – par transformée de Fourier – de type filtre de Butterworth, est mis en œuvre (figure 6). Le seuil de fréquence à appliquer est déterminé par analyse du contenu fréquentiel de chroniques stables et non perturbées.



Figure 6 . Résultats du filtrage fréquentiel

Les chroniques de teneurs en eau ainsi traitées à l'aide de ces trois filtres peuvent alors servir de données d'entrée de modèles géotechniques de déplacements verticaux engendrés par le retrait-gonflement des argiles.

4. Modèle de déplacement

4.1. Aspects théoriques et mise en œuvre

Le modèle de déplacement développé ici s'appuie sur la courbe de rétraction, reliant la teneur en eau à l'indice des vides. Plusieurs modèles de courbes de rétraction existant ont été utilisés, en particulier Fredlund et al., (2002), Peng et Horn (2005), et Peng et al., (2009). Ils permettent d'établir la courbe de rétraction sur toute la gamme de teneurs en eau (volumique ou massique), à partir de quelques paramètres mesurables en laboratoire sur échantillons de sol.

Le modèle de déplacement mis en œuvre est un modèle itératif multicouche unidimensionnel dans la direction verticale. A chaque pas de temps on établit les teneurs en eau de chaque couche par interpolation des valeurs mesurées sur site tous les 50 cm. Les variations de teneurs en eau entre chaque pas de temps permettent d'établir les variations des indices des vides des couches de sols modélisées. On calcule alors les déformations avec l'équation suivante :

$$\frac{\Delta H_i}{H_{(t_i, z_j)}} = 1 + \left(\frac{1 + e_{(t_{i+1}, z_j)}}{1 + e_{(t_i, z_j)}} \right)^{1/r_s} \quad (1)$$

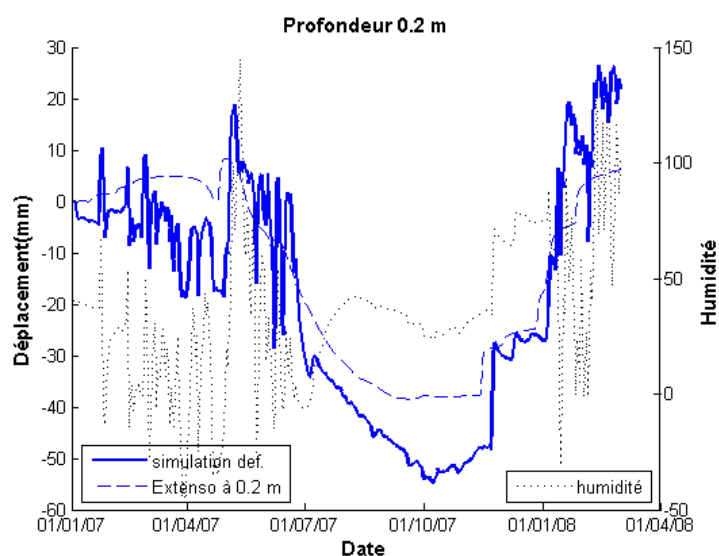
Avec ΔH_i la déformation principale calculée à l'instant i , $H_{(t_i, z_j)}$ l'épaisseur de la couche j à l'instant i , $e_{(t_i, z_j)}$ l'indice des vides de la couche j à l'instant i , $e_{(t_{i+1}, z_j)}$ l'indice des vides de la couche j au pas de temps suivant et r_s le facteur géométrique, égal à 3 pour des déformations isotropes. Au pas de temps suivant la couche j a donc l'épaisseur suivante :

$$H_{t_{i+1}, z_j} = H_{t_i, z_j} + \Delta H_{i, z_j} \quad (2)$$

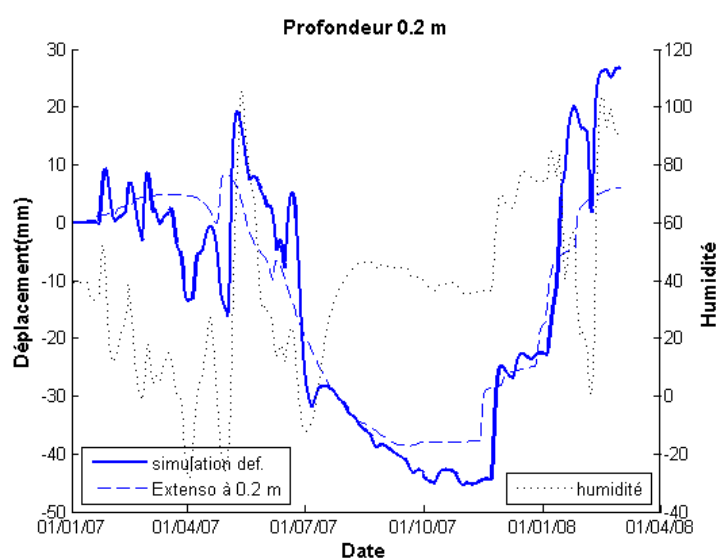
Le déplacement total en surface est calculé, à chaque pas de temps, par sommation des épaisseurs calculées.

4.2. Résultats

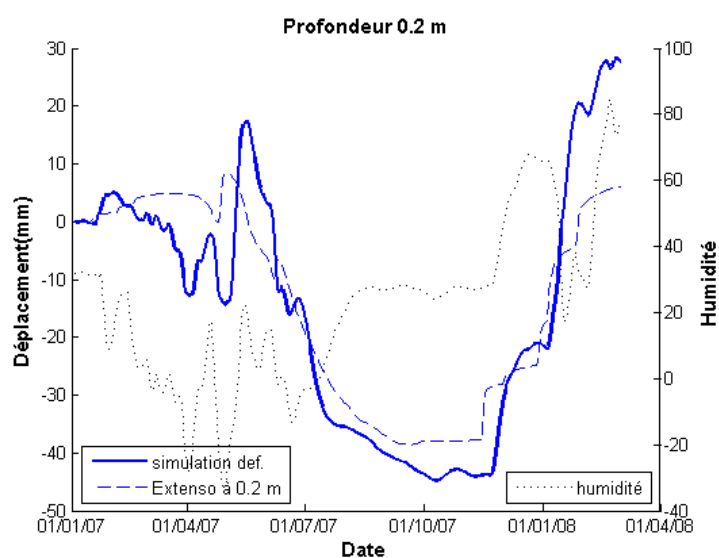
Les résultats présentés ci-dessous ont été obtenu avec un modèle de 1,8 m d'épaisseur constitué de 18 couches, à partir des données de teneurs en eau collectées de janvier 2007 à avril 2008. Les résultats présentés en figure 7 ont été obtenus en utilisant la courbe de rétraction de Peng et Horn (2005). Plusieurs méthodes de filtrage des données de teneurs en eau ont été mises en œuvre pour comparaison.



(a) Filtrage statistique



(b) Filtrage fréquentiel



(c) Filtrage couplé, statistique et fréquentiel

Figure 7 . Effet des différents types de filtrage sur les résultats de simulations

On constate que, dans tous les cas, les ordres de grandeur sont respectés, tant en retrait qu'en gonflement, avec une amplitude de déplacement de l'ordre de 60 mm. Le filtrage statistique seul a permis de supprimer les valeurs aberrantes qui auraient conduit à simuler des pics de déplacements de grande amplitude non observés. On constate toutefois des variations de haute fréquence non naturelles, liées seulement à la qualité des données d'entrée et totalement éliminées par le filtrage fréquentiel. Ce dernier seul ne permet pas de s'affranchir de pics aberrants, c'est bien le couplage des deux types de filtrage qui permet de s'approcher au mieux des déplacements observés.

D'autre part, plusieurs modèles de courbes de rétraction ont été testés sur les mêmes données d'entrée, après traitement par filtrage couplé. Les résultats sont présentés en figure 8. Les déplacements calculés avec les modèles de Peng et Horn (2005) et Peng et al. (2009) sont très similaires, les différences tiennent à la prise en compte des contraintes dans le modèle de 2009, qui s'avèrent être relativement négligeables dans le cas présent (terrain nu et faible profondeur). Le modèle de Fredlund et al. (2002) conduit à des ordres de grandeur des déplacements simulés trop importants, que ce soit en retrait ou en gonflement.

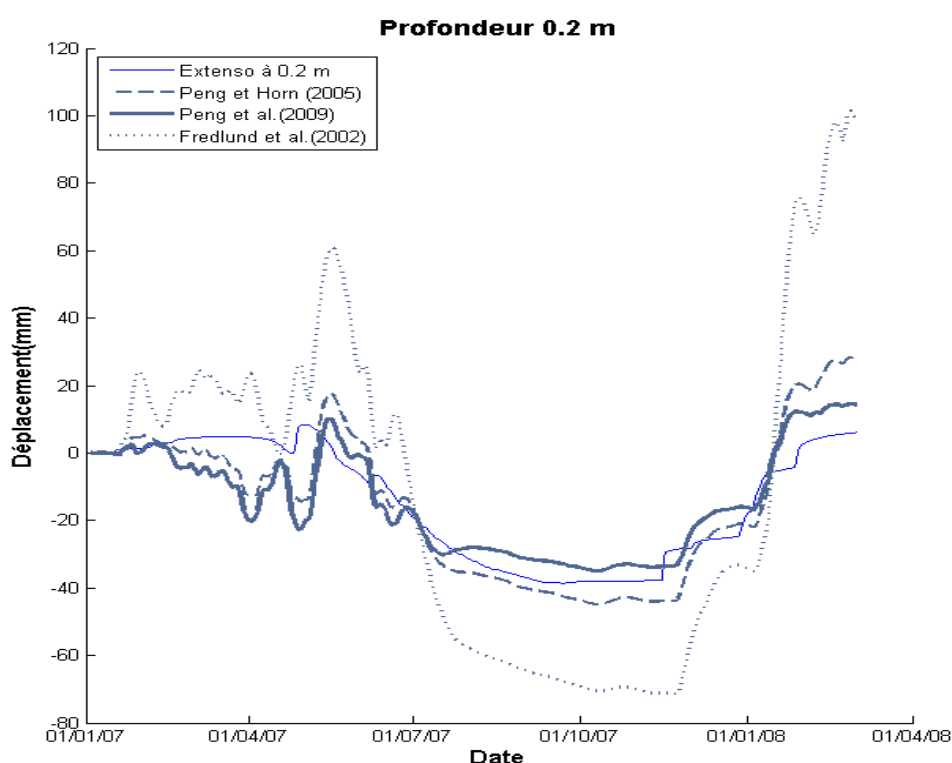


Figure 8 . Résultats des simulations pour plusieurs modèles de courbes de rétraction

5. Conclusion

La richesse, tant quantitative que qualitative, des données collectées par le BRGM depuis plus de neuf ans sur le site de Mormoiron a permis d'étudier la dessiccation des sols argileux en période de déficit hydrique. Par ailleurs, le suivi des dommages sur une villa voisine a montré une forte corrélation entre les mouvements des fissures et ceux du sol. Le modèle de déplacements développé dans ce cadre pour étudier les mécanismes en jeux dans le phénomène du retrait-gonflement des argiles fournit, après un important traitement des données de teneurs en eau, des résultats très satisfaisants, en accord avec les mouvements observés. L'étude détaillée des transferts hydriques verticaux depuis la surface, à partir des relevés pluviométriques et des données de teneurs en eau, peut permettre l'amélioration du modèle.

Références bibliographiques

- Fredlund et al., (2002). Representation and estimation of the shrinkage curve, Third International Conference on Unsaturated Soils, 145-149.
- Marçot et al., (2004). Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse. Rapport BRGM/RP-53187-FR, 221 p., 49 illustrations, 7 annexes et 4 planches hors-texte
- Marçot N. (2007). Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles et établissement de propositions de PPR dans le département de Vaucluse – Rapport complémentaire de mise à jour. Rapport BRGM/RP-55468-FR, 62 p., 25 ill., 2 ann. et 3 pl. h.-t.
- Peng X., Horn R. (2005). Modeling soil shrinkage curve across a wide range of soil types, Soil Science Society of America Journal, 69, 584-592.
- Peng et al., (2009). Shrinkage behaviour of transiently- and constantly-loaded soils and its consequences for soil moisture release, European Journal of Soil Science, August 2009, 60, 681–694.