

SUIVI EXPERIMENTAL D'UNE MAISON INSTRUMENTEE SINISTREE PAR LA SECHERESSE A LANGON (33)

MONITORING OF AN INSTRUMENTED HOUSE DAMAGED BY DROUGHT

David MATHON¹, Arnaud GODEFROY¹

¹ CEREMA, Direction Territoriale Normandie Centre – Site de Blois, France

RÉSUMÉ - Dans le cadre de l'opération ARGIC 2, le CEREMA a disposé des capteurs dans le sol à proximité d'une maison sinistrée par la sécheresse. Celle-ci se situe dans le département de la Gironde à Roaillan. Les capteurs sont des capteurs tensiométriques mesurant la succion des sols jusqu'à une profondeur de 5 mètres. Les enregistrements montrent un phénomène cyclique d'humidification/dessiccation important. La période d'assèchement débute en juin/juillet et s'achève généralement en octobre. L'impact des racines de l'arbre est clairement mis en évidence. Une quantification théorique des tassements basée sur un essai d'étalonnage succion/teneur en eau a été réalisée. Elle a abouti à un tassement pluri-centimétrique qui semble plus important que celui observé.

ABSTRACT – As part of a French research program called ARGIC 2, CEREMA installed cells in the ground near a house damaged by drought. Monitoring took place in Roaillan in the French department of Gironde. Tensiometric cells were used to measure soil suction to a depth of 5 meters. Records showed a significant cyclical wetting/drying phenomena. The drying period begins in June/July and usually ends in October. The impact of the tree root is clearly highlighted. A theoretical quantification of settlement based on a calibration test (suction/soil moisture) was achieved. It resulted in a multi-centimeter settlement higher than measured values.

1. Contexte – Description du site

1.1 Localisation et typologie de la construction

La maison étudiée (figure 1) a été construite en 2004 et 2005, elle se situe à Roaillan dans le département de la Gironde au lieu-dit « le laurier » (Neveu, 2012). Il s'agit d'une construction individuelle de plain-pied en forme de « L » d'environ 160 m². Ses fondations sont constituées de semelles filantes ancrées entre 50 et 80 cm de profondeur par rapport au terrain naturel. La maçonnerie des soubassements est en parpaings et l'élévation des murs en briques. Le plancher est une dalle béton sur terre-plein reposant en rive.



Figure 1. Maison instrumentée

1.2. Contexte environnemental

La construction est implantée au centre d'une parcelle rectangulaire d'environ 1600 m². Le retrait du bâtiment avec les limites de propriété est de l'ordre de 5 m à l'est et à l'ouest, 12 m au sud et 24 m au nord.

La topographie de la parcelle est relativement plane. On mesure une légère pente vers le sud d'environ 3-4 %.

La parcelle est arborée de vieux chênes et d'acacias. On compte près de onze chênes dont huit font plus de 15 m de haut et trois acacias de plus de 20 m sur la partie nord de la parcelle. La partie sud compte deux chênes de plus de 10 m de haut.

Certains de ces arbres sont situés à moins de 10 mètres de la maison. On note également la présence d'arbres ayant fait l'objet d'une coupe en 2010 (sud-est de la parcelle).

1.3. Contexte géologique

Le site est implanté sur des dépôts alluvionnaires du Pléistocène. Cette formation, attribuable à la Garonne, est constituée de sables et de graviers de quartz emballés dans une matrice argileuse jaunâtre, parfois rougeâtre. Le substratum est de type calcaire et situé à une faible profondeur.

On notera que le site est référencé par le BRGM en aléa faible, vis-à-vis de la sensibilité au retrait-gonflement des terrains argileux.

2. Investigations géotechniques et instrumentation

2.1. Sondages de reconnaissance et essais d'identification des sols

2.1.1. Sondages carottés

En 2011, le CEREMA a réalisé quatre sondages de reconnaissance (Mathon, 2013). Les sondages confirment la présence d'une couche de limons marron plus ou moins argileux sur les 50 à 70 premiers centimètres. Les horizons argileux beiges ou bariolés sont rencontrés à 1 mètre de profondeur. Le substratum calcaire est situé à 7 m de profondeur. Des dépôts graveleux sont présents sur chacun des sondages à différentes profondeurs.

2.1.2. Identification des sols

Les analyses en laboratoire indiquent que tous les sols sont dans la classe A « sols fins » de la norme NFP 11-300. De plus, le passant en éléments de diamètre inférieur ou égal à 2 µm est compris entre 50 à 80 % pour les horizons argileux situés entre 1 et 7 m de profondeur.

Les limites d'Atterberg ont été réalisées sur treize échantillons : 11 présentent un indice de plasticité (Ip) supérieur à 25.

Les valeurs au bleu de méthylène (VBS) confirment cette tendance : elles varient de 3,5 à 9,8 g de bleu pour 100 g de sol.

2.1.3 Sensibilité des sols au retrait gonflement

La sensibilité des sols au retrait-gonflement a été appréhendée en considérant les valeurs d' I_p , de VBS et l'activité argileuse des sols considérés. L'activité est définie par le ratio entre l' I_p (ou la VBS) et la valeur de passant à $2\mu\text{m}$.

2.1.4. Modèle géotechnique du site

Une coupe lithologique type a été établie sur une profondeur d'environ cinq mètres. Elle comprend quatre horizons : les limons argileux marron (H1), les argiles bariolées (H2), les argiles ocre, raides (H3) et les argiles beiges, raides (H4).

Le modèle géologique et les principales caractéristiques des formations rencontrées sont repris dans le tableau 1.

Tableau 1. Modèle géologique du site

Lithologie	Sondage	Profondeur	Valeur des essais	Activité
Limon argileux (H1)	SC1	0 à 0,5 m	%80 μm = 66% C_2 = 29% W_L = 35 ; W_p = 17 ; I_p = 18	$A_c^{H1} = I_p / C_2 = 62$
Argile bariolée (H2)	SC4	1,2 à 3,3 m	%80 μm = 99% C_2 = 76 % W_L = 70 ; W_p = 27 ; I_p = 43 ; VBS = 9,6 Essai RG Simplifié : 39.4 % < Ass < 46.7 %	$A_c^{H2} = I_p / C_2 = 43$ $A_{cB}^{H2} = VBS / C_2 = 9,7$
Argile ocre, raide (H3)	SC4	3,8 à 4,4 m	%80 μm = 100% C_2 = 79 % W_L = 60 ; W_p = 26 ; I_p = 34 ; VBS = 9,8	$A_c^{H3} = I_p / C_2 = 34$ $A_{cB}^{H3} = VBS / C_2 = 9,8$
Argile beige, raide (H4)	SC4	4,4 à 5,2 m (arrêt sondage)	%80 μm = 99% C_2 = 62 % W_L = 47 ; W_p = 18 ; I_p = 29 ; VBS = 5,5 Essai RG Simplifié : Ass = 28.8 %	$A_c^{H4} = I_p / C_2 = 29$ $A_{cB}^{H4} = VBS / C_2 = 5,6$

D'après le projet de guide « Retrait et gonflement des argiles : caractériser un site pour la construction » du projet ARGIC2, les sols des horizons H1 et H2, compris entre 0 et 3,3 m de profondeur sont des sols « sensibles au retrait-gonflement ».

Les sols H3 sont « peu sensibles à sensibles », les sols H4 sont « peu ou pas sensibles ».

Cette différence de sensibilité est soulignée par les valeurs des essais de retrait-gonflement simplifié (mode opératoire IFSTTAR). La valeur Ass correspond à la variation volumétrique maximale attendue pour l'échantillon considéré).

2.2. Instrumentation du site par méthode tensiométrique

2.2.1 Relation entre teneur en eau pondérale et tension d'un sol

La teneur en eau et la tension d'un sol sont deux variables distinctes qui caractérisent l'état hydrique d'un sol.

La teneur en eau apporte une information quantitative sur le volume total d'eau présent dans le sol. Elle s'exprime en pourcentage. C'est le rapport entre le poids d'eau contenu dans le sol et le poids du sol après séchage à l'étuve.

La tension est un terme utilisé en agronomie (Ton, Chol & Isbérie, 2000). Elle renseigne davantage sur le sens des flux hydriques dans le sol et sur l'eau disponible pour une culture. La mesure de tension permet de quantifier en un point du sol, la force d'attraction qu'exercent les particules solides à l'égard de l'eau. Elle s'exprime en kilopascal et est appelée dans le domaine de la mécanique des sols la « succion » du sol.

Si ces deux paramètres sont corrélés, il est assez délicat d'établir une relation directe entre eux. Nous présenterons dans notre étude une tentative de corrélation basée sur une approche expérimentale de l'assèchement.

2.2.2 Mise en place des sondes tensiométriques

Avec l'appui de la société Challenge Agriculture, le Cerema a procédé en deux étapes à l'installation d'un dispositif de suivi de la tension des sols sur la partie nord-ouest de la parcelle en juillet 2011 puis en novembre 2013.

Les sondes ont été implantées sur un linéaire de 5 m environ entre l'angle nord-ouest de l'habitation et un chêne distant d'une dizaine de mètres. Elles ont été situées de part et d'autre de la position supposée d'un écran anti-racines (solution projetée par l'expert). Les profondeurs varient de 80 cm à 5 m. L'implantation des sondes s'est faite en deux étapes (§2.3.3) et est illustrée sur la figure 2.

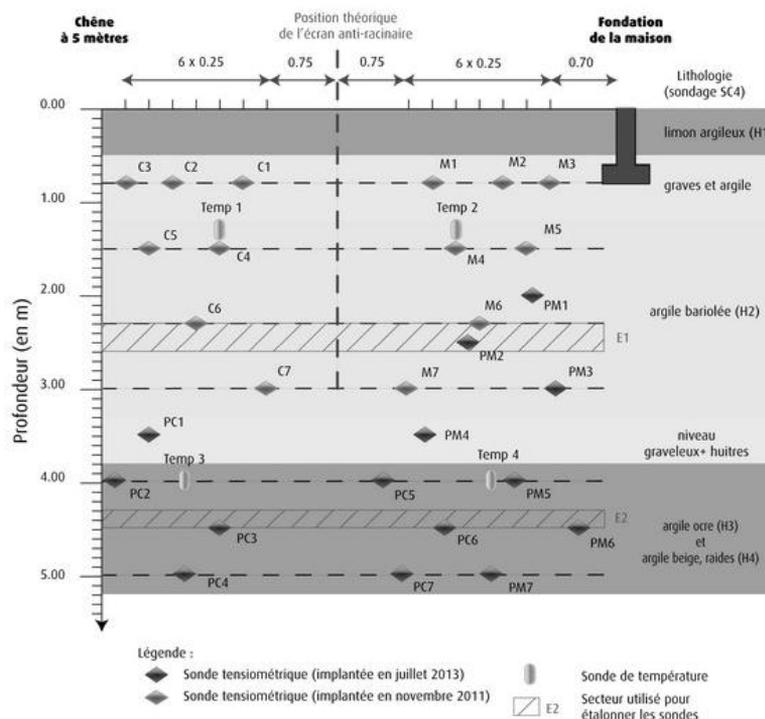


Figure 2. Schéma d'implantation des sondes tensiométriques

2.2.3 Étalonnage des sondes tensiométriques

Le Cerema a effectué des étalonnages en laboratoire pour établir une correspondance entre la teneur en eau massique du sol et la tension mesurée par les sondes. Cette expérimentation a été réalisée sur des échantillons des sols « Argile bariolée H2 » et « Argile beige, raide H4 » à des profondeurs de 2,3 m et 4,3 m (figure 3).



Figure 3. Etalonnage d'un échantillon de sol en laboratoire

Le principe retenu pour l'étalonnage est de suivre l'assèchement à l'air d'un échantillon de sol préalablement saturé. Le suivi se fait par mesure de la tension et de sa masse toutes les 15 minutes. Le report de la teneur en eau massique en fonction de la tension du sol montre une allure conforme aux courbes de rétention trouvées en bibliographie (figure 4). On note l'importance de la lithologie et de la plasticité des sols vis-à-vis des valeurs de tension mesurées. L'exploitation de ces courbes a permis d'établir une relation théorique entre une valeur de tension mesurée et une valeur de teneur en eau estimée.

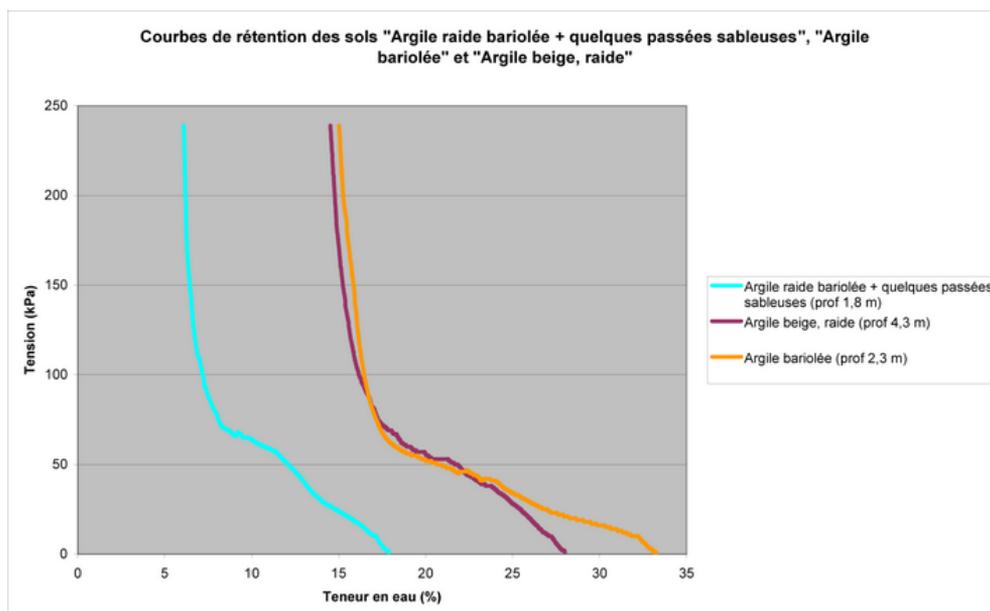


Figure 4. Courbes de rétention des sols suivis

2.3. Suivi tensiométrique de septembre 2011 à février 2014

2.3.1 Proximité du chêne et périodes d'assèchement

Le graphique ci-après (figure 5) représente l'évolution des tensions à proximité du chêne sur une période de deux années. Il montre une période de stabilisation des enregistrements en début d'exercice (en 2011) et relate certains dysfonctionnements des enregistrements. L'interprétation des valeurs semble plus fiable à partir de décembre 2011 suite à la première ré-humectation des sols après leur mise en place.

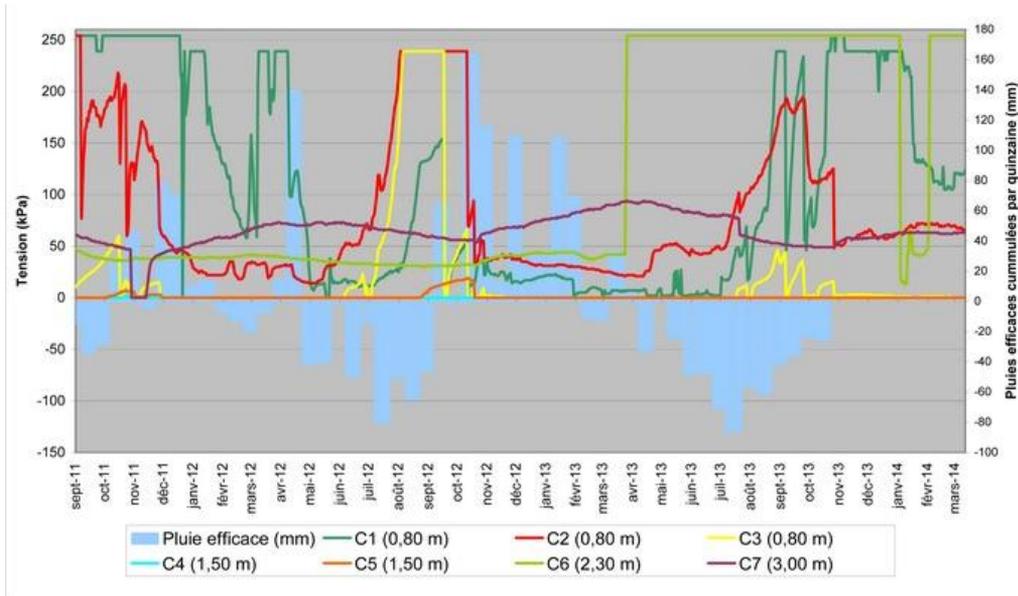


Figure 5. Mesure des tensions à proximité du chêne et de la pluviométrie efficace

Les mesures effectuées à proximité de la maison (figure 6) sont concordantes mais moins irrégulières.

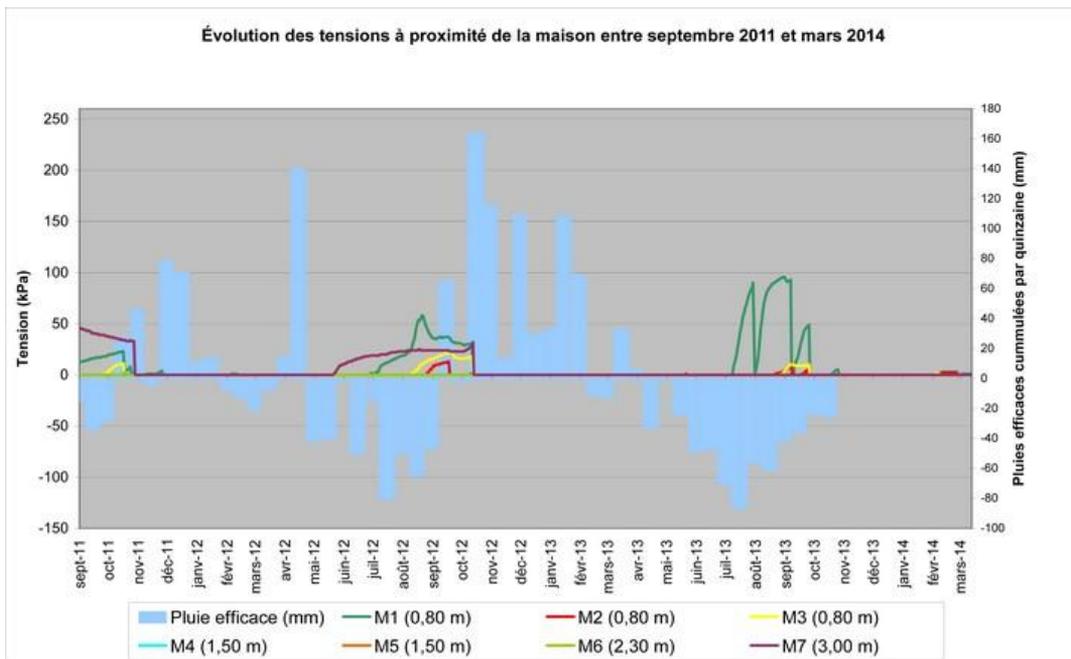


Figure 6. Mesures de tension proches de la maison

Il apparaît ainsi que les tensions mesurées à proximité du chêne sont toute l'année bien plus irrégulières et élevées qu'en bordure de la maison et qu'il est possible d'identifier deux périodes « sèches », de juin 2012 à octobre 2012 et de juillet 2013 à octobre 2013. Enfin, en termes temporels, on note que pour chaque période d'assèchement, un décalage d'environ un mois est constaté entre les sondes situées proches du chêne et celles proches de la maison.

2.3.2 Représentation en deux dimensions

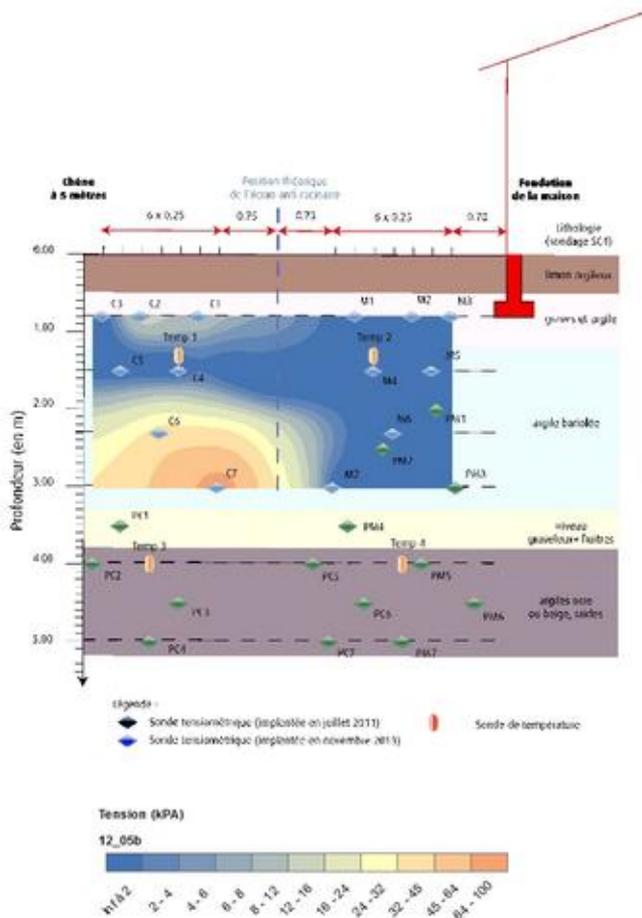
Méthode utilisée :

Le Cerema a produit un atlas chronologique des coupes « d'iso-succion » pour une période courant du 15 décembre 2011 au 15 mars 2014. Une coupe d'iso-succion est une représentation graphique par isolignes des tensions dans le plan.

Le Cerema a utilisé l'outil spline du logiciel Arcgis pour réaliser ces coupes. Il s'agit d'un outil d'interpolation qui détermine la valeur de tension en tous points à l'aide d'une fonction mathématique et restitue une image passant exactement par les points d'entrée (tension enregistrée par chacune des sondes). On notera que cette méthode ne prend en compte ni les variations atmosphériques, ni l'hétérogénéité des sols. Toutefois, pour respecter l'organisation lithologique du site et le modèle décrit en 2.1.4, des corrections ponctuelles ont été apportées et des valeurs en bordure ont été ajoutées au modèle.

Résultats pour l'été 2012 :

Les deux coupes d'iso-succion ci-dessous (figures 7a et 7b) illustrent l'évolution des tensions pour la période d'assèchement enregistrée à l'été 2012.



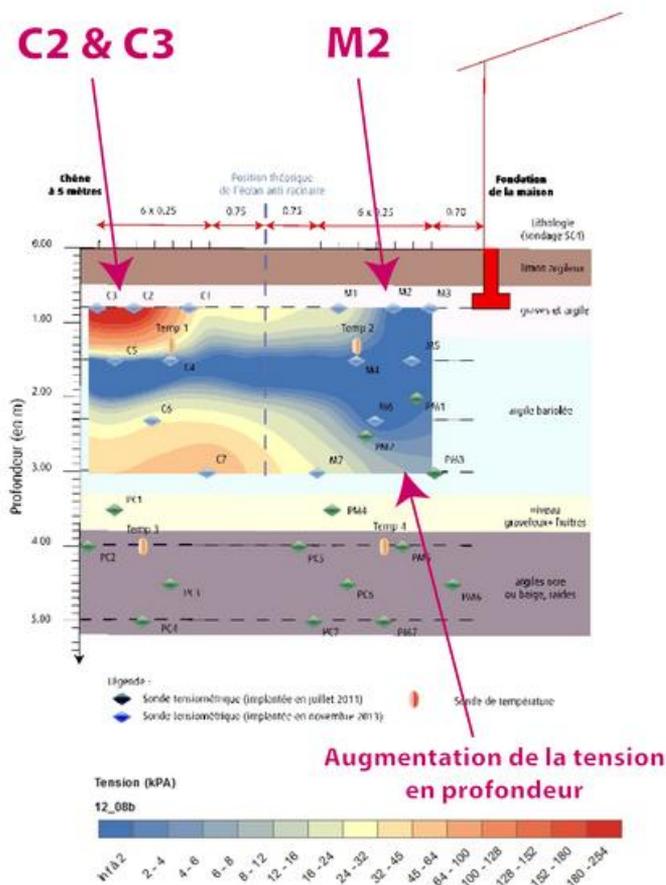


Figure 7 b : représentation en 2D des succions – août 2012

On distingue très nettement deux zones sèches. La première est située sur la partie supérieure du sol, entre 0,80 m et 1,50 m de profondeur. La seconde zone est, quant à elle, située sur la partie inférieure entre 1,75 m et 3 m de profondeur. Ces deux zones sont séparées par une bande de sol plus humide.

Les mesures de tension en continu ont également permis de caractériser les dynamiques d'assèchement des sols en fin d'été lors des périodes de faible pluviométrie. On a pu identifier deux phénomènes récurrents : une forte augmentation de la tension à proximité du chêne sur la zone sèche supérieure et une progression des deux zones sèches vers l'habitation. En fin d'été 2012, la zone supérieure s'est étendue jusque la sonde M3 située à 0,70 m de la maison. La zone sèche inférieure s'est étendue, quant à elle, bien au-delà de la sonde M7 située à 2,20 m de l'habitation. L'interpolation symbolise même un assèchement à 0,70 m de la maison. Le schéma (figure 8) représente les principales dynamiques observées par le suivi des sondes tensiométriques.

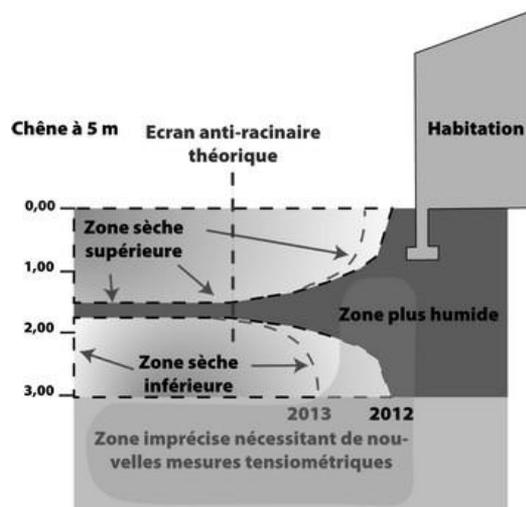


Figure 8. Schéma interprétatif de l'évolution des succions du sol

2.3.3 Implantation de nouvelles sondes plus profondes

Les observations ont donc montré qu'une zone sèche située à une profondeur de plus de 2 m se développe depuis l'arbre jusqu'à la maison. Dans cette zone, le nombre de sondes tensiométriques était insuffisant pour obtenir un suivi de qualité, si bien que la mise en place de nouvelles sondes a été décidée en fin d'année 2013. Celles-ci permettent depuis d'avoir une coupe continue du sol entre 0 et 5 m de profondeur entre le chêne et la maison (figure 9).

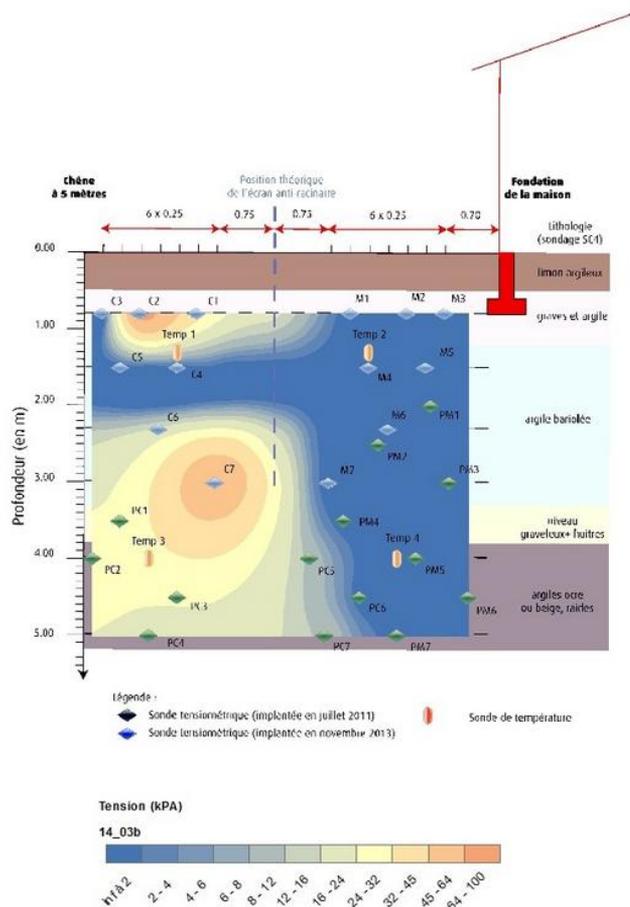


Figure 9. Interpolation réalisée en mars 2014 après implantation des nouvelles sondes

3. Estimation théorique des tassements par retrait

3.1. Méthode

Une estimation théorique des tassements par retrait a été effectuée sur l'ensemble de la période d'observation. Cette estimation se base sur les étapes et hypothèses successives suivantes :

- ✓ extraction d'un profil issu des interpolations et situé à un mètre des fondations de la maison ;
- ✓ obtention d'une valeur de teneur en eau massique grâce à l'étalonnage réalisé ;
- ✓ traduction de la variation de teneur en eau par une évolution de l'indice des vides à partir des résultats des essais de retrait-gonflement simplifiés.
- ✓ calcul du tassement ($\Delta H = [\Delta e / (1+e_0)] \times H$) sur toute la hauteur du profil (en partant du principe que le sol reste saturé malgré l'assèchement).

3.2 Résultats

Le graphique ci-après (figure 10) représente l'évolution du tassement théorique obtenu pour la période courant de mi-septembre 2011 à mi-mars 2014. Trois périodes de tassement théorique sont identifiées : fin de l'été 2011, été 2012 et été 2013.

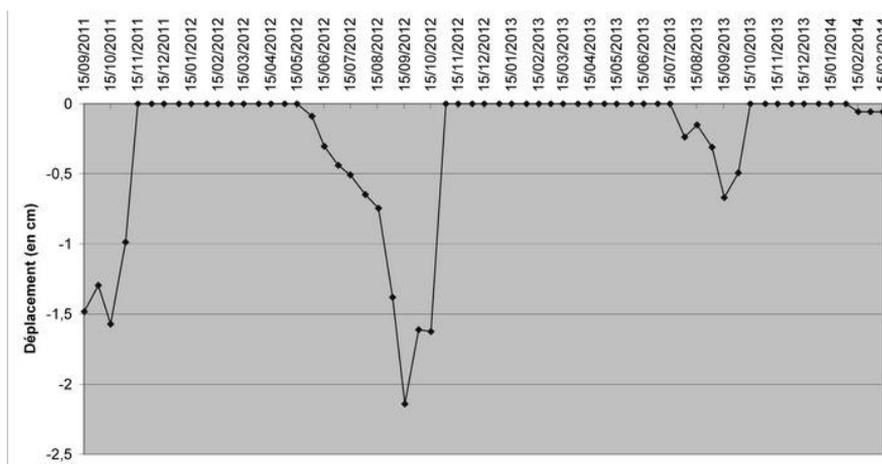


Figure 10. Tassements théoriques calculés

En 2012, les tassements ont débuté en juin et se sont terminés en novembre. Le tassement théorique maximal a été calculé aux alentours du 15 septembre. Sa valeur est de - 2,14 cm.

En 2013, les tassements ont débuté en août et se sont terminés en octobre. Le tassement maximal est de - 0,66 cm au 15 septembre.

3.3 Limites du calcul et consolidation des résultats

Un tassement de -2,14 cm peut paraître important (en valeur absolue) compte tenu des faibles désordres observés sur le bâti à cette même période (légères fissurations). Toutefois, il s'agit d'une valeur de tassement global sur une zone exposée et non différentiel. Cette valeur nous paraît donc « réaliste ».

On perçoit mieux à travers ces calculs théoriques de tassement l'incidence de la qualité des essais d'étalonnage de sonde et de retrait-gonflement simplifié.

Plus généralement, en dehors des incertitudes sur les essais, les variations locales de lithologie (passées sableuses ou limoneuses) ont une importance capitale dans l'estimation du tassement.

Autre paramètre tout aussi important : la qualité des mesures de tension et de l'interpolation. Une erreur de mesure de tension de 1 kPa peut modifier la valeur du tassement de 0,46 cm pour 1 mètre de sol.

Pour conforter les résultats, il serait intéressant de poursuivre le suivi expérimental en confrontant les futurs résultats avec les mesures directes effectuées par l'extensomètre mis en place en 2013 par l'université de Bordeaux.

De même, le relevé précis de la coupe lithologique du sondage nécessaire à la mise en place de l'extensomètre pourra améliorer la qualité du « modèle » présenté dans cet article.

4. Conclusion

L'instrumentation d'une maison instrumentée touchée par la sécheresse à Roaillan (33) dans le cadre d'ARGIC 2 a permis de mettre en évidence l'importance de la végétation dans la position, l'intensité et la cinétique de la dessiccation des sols (Mathon & al. 2014).

Ainsi, il a été mis en évidence que l'assèchement des sols débute en juin, qu'il atteint son maximum à la fin du mois de septembre ou en octobre et qu'il s'achève au début du mois de novembre.

Sur le plan spatial, un front de dessiccation assez profond (>3 m) a été mis en évidence ce qui remet en question le dimensionnement « par défaut » des écrans anti-racines généralement descendus à -3 m dans un tel contexte.

Enfin, d'un point de vue expérimental, l'utilisation des sondes de tension montre dans cette configuration des résultats satisfaisants qu'il conviendra d'affiner par un suivi prolongé (notamment après la mise en place de l'écran anti-racines) et l'obtention de nouvelles données (météorologiques, extensométriques, lithologiques...).

5. Références bibliographiques

- Neveu G. (2012). Missions d'ingénierie géotechnique et suivi d'un site expérimental. Mémoire Master Sciences de la Terre et Environnement, Ecologie : spécialité Génie Géologique, Génie Civil et Environnement – 3 GCE. Bordeaux : Université Bordeaux 1, 90 p.
- Tron R., Chol P. Isbérie C. (2000). La tensiométrie pour piloter les irrigations. Dijon : Educagri édition, 247 p.
- Mathon D. (2013). Bilan de la participation du LR de Blois pour les années 2011 et 2012. CETE Normandie centre.
- Mathon D., Godefroy A. (2014). Suivi expérimental d'une maison instrumentée à Langon (33), CEREMA Dter Normandie Centre, Avril 38p.