REPARER UNE MAISON EN ARROSANT SES FONDATIONS – LE PROJET MACH

REPAIRING A HOUSE BY WATERING FOUNDATION – THE MACH PROJECT

David MATHON[1], Ludovic DORE[1], Lamine IGHIL AMEUR[1]
[1] Cerema, Normandie Centre, Blois, France

RÉSUMÉ – Le retrait-gonflement des sols argileux entraîne de nombreux et coûteux désordres en France et dans le monde. Pour neutraliser le retrait d'un sol argileux, il a été testé une démarche innovante qui consiste à injecter de l'eau de pluie dans le sol de fondation d'une maison sinistrée. L'expérimentation se situe à Mer en Loir-et-Cher, elle présente à ce jour des résultats encourageants.

ABSTRACT – Swelling and shrinkage of clayey soils induces several and expensive disorders on buildings. In order to neutralize the natural shrinkage of clayey soils, an innovative device has been set up : it aims at inject rainwater in the soil foundation of a broken house. The experimentation takes place in Mer in the Loir-et-Cher (France), at this time, it shows encouraging results.

1. Introduction

Le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux provoque en France des désordres très coûteux qui font l'objet de multiples publications (ARGIC 2009, ARGIC 2 2015)

Les constructions les plus touchées sont les maisons individuelles, construites en éléments de maçonnerie et fondées sur semelles filantes (Kreziak et al. 2015). Les désordres affectent dans un premier temps les dallages et les murs porteurs puis se généralisent au second œuvre.

Pour réparer ces maisons, les experts ont actuellement recours à deux principales solutions :

- la reprise en sous-œuvre des fondations (micropieux, puits en béton, injection de résine sous les fondations...) ;
- le confinement des sols argileux par membranes étanches ou écrans anti-racines.

Ces travaux coûteux peuvent être traumatisants pour les particuliers (car ils sont parfois entrepris à l'intérieur même de la maison).

Le Cerema propose une démarche innovante qui consiste à humidifier le sol de fondation d'une maison pour contrer le phénomène naturel de retrait. Ce projet s'appelle MACH pour MAison Confortée par Humidification.

Il s'agit d'équiper une maison sinistrée en 2015 d'un dispositif de récupération des eaux de pluie et d'injection de celles-ci sous ses fondations.

Le projet MACH a été conçu en partenariat entre le Cerema, la société ELEX Orléans et l'Agence Qualité Construction.

2. Étude du site

2.1. Description de la maison et de son environnement

La MACH (figures 1 et 2) est située dans le Loir-et-Cher à Mer. Il s'agit d'une maison de type R+1 construite en 1968 dans un lotissement qui a été agrandie en 1995 sur sa face Est. La maison est fondée sur semelle filante et le dallage est sur terre-plein.

Figure 1. localisation du site

Figure 2. vue générale de la MACH

À la suite de l'été 2015, des désordres ont été relevés sur la partie Est de la maison (l'extension) montrant une inclinaison de celle-ci vers l'Est. Ils ont été reportés sur la figure 3.

Figure 3. relevé des désordres sur la construction

Des désordres sont relevés sur le second œuvre (fissuration des cloisons, décalage des menuiseries, portes bloquées…). Les désordres ont réduit lors de l'hiver 2015/2016 et sont réapparus à l'été 2016. Aucun désordre n'a été relevé sur le dallage à l'exception du pas de porte reliant l'extension à la partie initiale de la maison (le carrelage est brisé).

La MACH est une maison de lotissement, entourée d'une végétation entretenue et reportée sur la figure 4. Il faut noter la présence d'une haie de cotoneaster à proximité du pignon sinistré, la présence d'érables dans la rue et d'une glycine en façade sud.

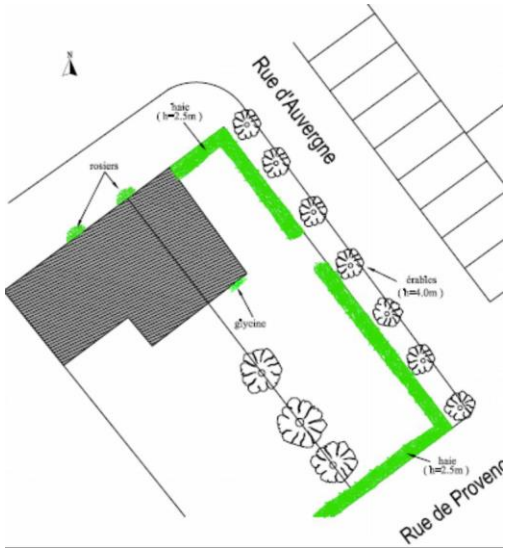

Figure 4. report de la végétation autour de la MACH

2.2. Géologie et géotechnique

Le Cerema a réalisé deux sondages pressiométriques pour établir le modèle géotechnique du site. Celui-ci peut être résumé ainsi :

- une épaisseur de 2,50 mètres d'argile de décalcification brune, raide et plastique.
- le calcaire de Beauce.

Un sondage à la pelle a montré que le système de fondation est une semelle filante encastrée à 85 cm de profondeur et posée sur l'argile de décalcification. De nombreuses racines ont été notées à l'occasion de ce sondage.

L'analyse en laboratoire des échantillons de sols montre que le sol de fondation est très plastique (Ip compris entre 37 et 39) et sensible au retrait gonflement (tableau 1).

	localisation	Granularité				Argilosité	
		passant (%)			Dmax (mm)	VBS (g/100 g de sol sec)	Indice de plasticité (%)
		2 µm	80 µm	2 mm			
Argile de décalcification	Sondage pelle	57	97	99	10	/	**37**
	SP1 (1,5 m)	/	98	99	5	**5,5**	**39**
	SP2 (1 m)	/	98	100	5	**6,4**	/
	SP2 (2 m)	/	89	98	10	**6,0**	/
Calcaire de Beauce	SP1 (5 m)	/	58	84	20	1,4	/

Tableau 1. résultats des essais en laboratoire

Il apparaît que les désordres s'expliquent par le déficit hydrique de l'année 2015 qui a entraîné un retrait des argiles plastiques constituant la fondation de la maison. La haie de cotoneaster et les érables ont constitué un facteur aggravant du phénomène.

3. L'opération MACH

Le principe du projet MACH est d'arroser le sol de fondation dès lors que celui-ci commence à sécher. Ainsi les sols de fondation de l'extension sinistrée sont :

- *protégés* en arrachant la haie de cotoneaster qui jouxte le pignon Est ;
- *surveillés* grâce à des sondes tensiométriques ;
- *humidifiés* par un dispositif d'injection de l'eau dans les sols.

3.1. Traitement de la végétation

En novembre 2016, la haie de cotoneaster et la glycine ont été arrachées. La haie a été remplacée par une clôture métallique (figure 6).

Figure 6. vue de la MACH après arrachage de la haie

3.2. Dispositif de récupération des eaux

Dans un souci de cohérence écologique, il a été choisi de privilégier une ressource renouvelable d'eau (de l'eau pluviale). La gouttière nord-est a été inversée de sorte de récolter l'ensemble des pluies tombant sur la toiture (soit approximativement 32 m² de toiture). L'ensemble aboutit dans un système de stockage des eaux de pluie (environ 600 litres) et un dispositif de dosage permet de préparer un volume d'injection de 140 litres.

Le schéma de principe du dispositif de collecte des eaux et de dosage de l'injection est repris en figure 7.

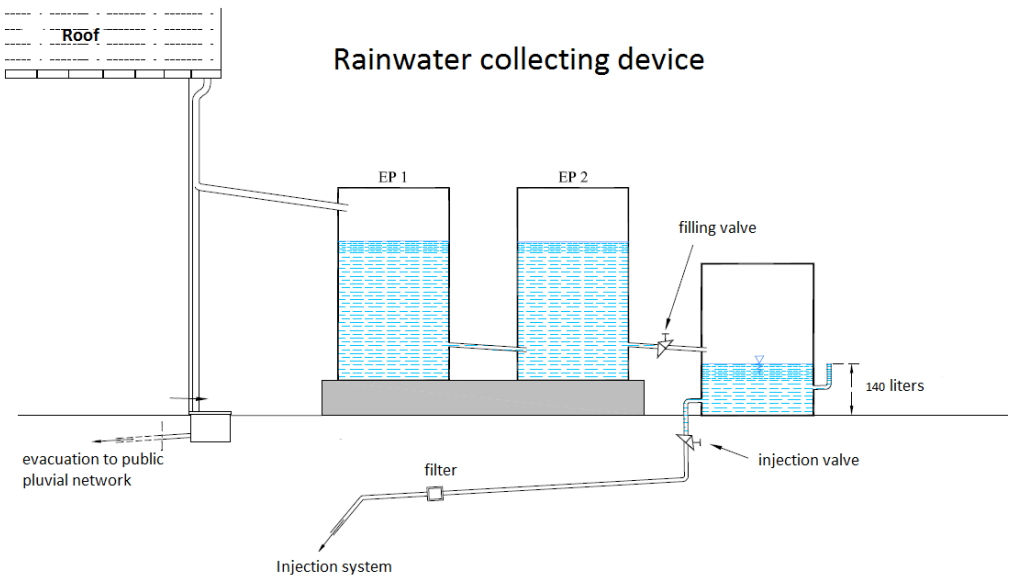

Figure 7. dispositif de collecte des eaux et de dosage de l'injection

Théoriquement, une pluie de 20 à 30 mm est suffisante pour remplir l'ensemble du dispositif.

3.3. Dispositif d'injection d'eau

Un dispositif robuste et manuel a été choisi. Le propriétaire de la MACH ouvre la valve d'injection située à la sortie du dispositif de collecte et l'eau pénètre dans le dispositif d'injection. Celui-ci est constitué d'un réseau de points d'injection alimentés par une nourrice. Les points d'injection sont répartis autour du pignon de l'extension (un point tous les 1.5 m). Il s'agit d'un tube PVC (5 cm de diamètre) qui a été foncé dans un trou de tarière descendu à 1 mètre de profondeur (soit 15 cm sous le niveau des fondations). Ainsi, lorsque le propriétaire ouvre la valve d'injection, l'eau s'écoule gravitairement dans le sol.

3.4. Suivi tensiométrique

La teneur en eau d'un sol et sa succion sont des paramètres liés (Mathon et al. 2016, Tron et al. 2000). Plus la succion augmente, plus la teneur en eau d'un sol diminue. Le projet MACH compte 20 sondes tensiométriques (société Challenge Agriculture) placées à 1 mètre de profondeur tout autour du pignon « humidifié ». Chaque sonde est reliée à une centrale d'acquisition positionnée en surface (figure 8) qui transmet 4 fois par jour la valeur de la succion du sol au Cerema.

Figure 8. points d'injection et centrale d'acquisition

3.5. Suivi des désordres

Un suivi des désordres existant sur la construction a été entrepris. Il s'agit d'un relevé visuel basé sur les observations d'un cabinet d'expertise d'assurance en octobre 2015. Ce relevé visuel est complété par les équipes du Cerema qui assurent le suivi de la MACH.

Pour une fissure particulièrement importante située sur le pignon sinistré et sur l'angle nord, il a été décidé de placer des capteurs de déplacement à demeure pour enregistrer les variations d'ouverture en fonction du temps et des opérations d'injection d'eau.

Ainsi, deux fissuromètres (Fissuro-logger F10TN) ont été positionnés en novembre et mi-décembre 2016 (figure 9).

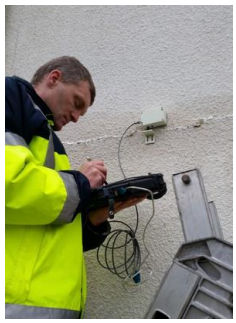

Figure 9. opération de récupération des données du fissuromètre

4. Enseignements de l'année 2017

4.1. Suivi météorologique

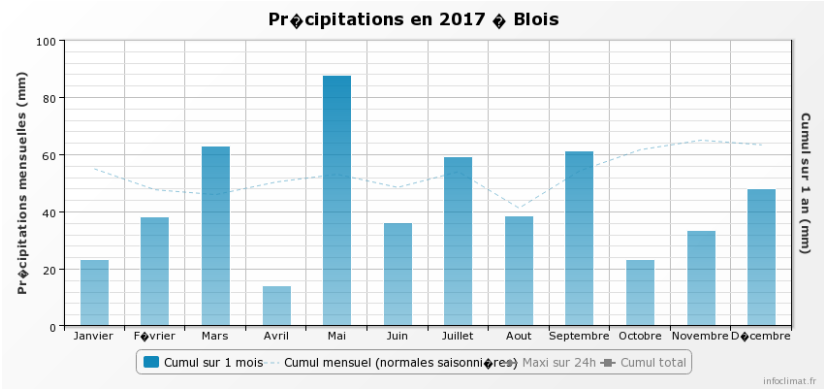

Figure 10. relevé mensuel des précipitations (station de Blois, année 2017)

En termes de pluviométrie (figure 10), le début de l'année 2017 est proche des normales de saison (léger déficit) mais il fait suite à une année 2016 particulièrement déficitaire à compter du mois de juillet. Ainsi, le mois de juin 2017 (+3.3°C en moyenne et – 25 % de précipitation par rapport aux normales de saison) a été déficitaire et a rapidement poussé le dispositif dans ses limites (cf 4.5). L'été n'a pas été déficitaire mais le mode de précipitation (par orage) favorise le ruissellement et limite l'humidification des sols. Enfin l'automne a été largement déficitaire.

4.2. Observations sur la maison

Le propriétaire de la MACH a déclaré une gêne à l'ouverture de sa fenêtre coté jardin à compter du 14 juillet jusqu'au 15 août 2017. Cette gêne a été neutralisée par la multiplication des opérations d'injection d'eau pendant cette période.

4.3. Opérations d'injection d'eau

Les injections ont eu lieu entre le 16 novembre 2016 et 30 octobre 2017. Ainsi, 3080 litres d'eau ont été consommés par le dispositif en un an d'utilisation. Les injections d'eau ont eu lieu en fin de saison 2016 (3 injections en novembre et décembre 2016) et majoritairement entre juin et septembre 2017 (13 injections). Les trois dernières injections d'octobre 2017 n'étaient pas nécessaires : elles ont eu lieu avant une opération de maintenance qui a nécessité de vider l'intégralité du dispositif (substitution des cuves de 310 litres par des cuves de 800 litres).

4.4. Suivi tensiométrique

L'enregistrement des succions (figure 11) montre un assèchement des sols entre le 15 juin 2017 et 26 octobre 2017. Des pics d'assèchement sont visibles les 28 juin, 23 juillet, 9 août, 30 août, 9 septembre. À l'exception du 9 août, ils sont tous dus à un assèchement naturel des sols et à une opération d'injection d'eau. Le 9 août, une pluie notable est intervenue (15,5 mm) et explique que la courbe de succion chute.

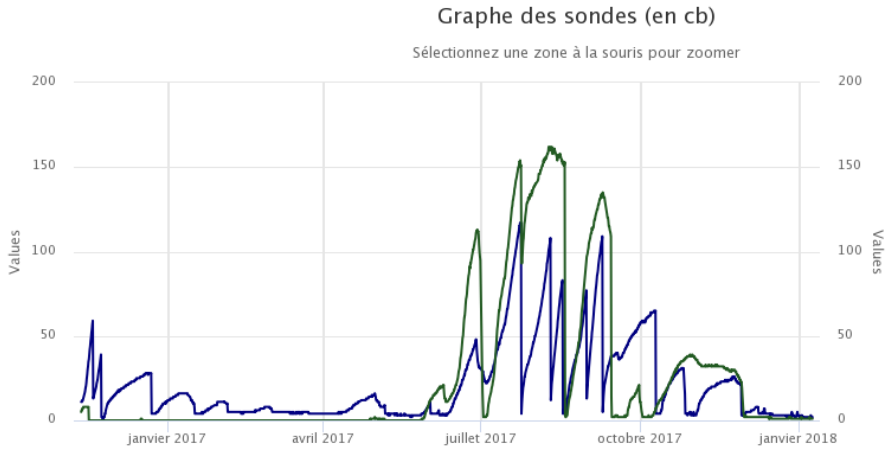

Figure 11 : représentation de deux succions caractéristiques de la MACH (en vert le milieu du pignon, en bleu son extrémité Sud)

La valeur maximale enregistrée par les capteurs de succion est de 160 kPa au centre du pignon le 9 août 2017. L'injection d'eau par le dispositif a permis de maîtriser l'intensité de la succion des sols pendant l'été.

4.5. Suivi des fissures et corrélation avec la tensiométrie

L'analyse simultanée de l'ouverture des fissures et des mesures tensiométriques (figure 12) montre que la fissure se referme de façon quasi permanente et régulière jusqu'en juin 2017 et que la succion reste faible jusqu'à cette même date.

Après juin 2017, la succion du sol augmente et chute selon les fluctuations météorologiques et les opérations d'injection d'eau dans le sol. La fissure quant à elle présente une stabilisation jusqu'à la mi-septembre. Le processus de fermeture de la fissure semble se poursuivre ensuite de façon moins intense qu'en début d'année.

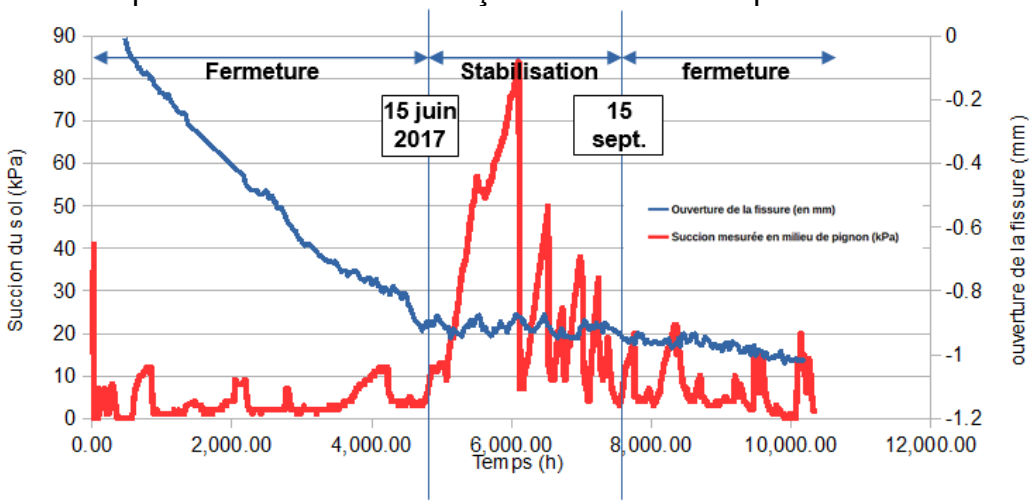

Figure 12 : représentation de la succion des sols (en rouge) et de la fermeture de la principale fissure (en bleu)

5. Conclusions

Depuis la mise en place du dispositif et jusqu'à aujourd'hui, une fermeture de la principale fissure est observée. En 2016, le déficit hydrique du sol argileux a été particulièrement fort et ce jusque fin décembre. Dès que le système d'injection a été mis en place (mi-novembre) les premières injections ont été faites entraînant une humidification des sols et un refermement des principales fissures.

En 2017, le déficit hydrique a été bien moins fort. Toutefois, un printemps assez chaud et sec a rapidement épuisé les capacités de réserve du dispositif. Malgré tout, le dispositif a permis de garder des valeurs de succion du sol raisonnables et de limiter la gêne éprouvée par le propriétaire de la MACH pendant l'été. Cette stabilisation a été constatée par l'enregistrement en continu de l'ouverture des fissures de la MACH.

Les conclusions pour 2017 sont ainsi encourageantes. Il s'agit désormais de définir avec le propriétaire de la maison un mode d'emploi du système qui lui permettra avec des observations simples (consultation de la météo par exemple) d'injecter l'eau nécessaire à la stabilisation de sa maison. À plus long terme, il pourrait être intéressant de réfléchir à une automatisation du dispositif (système d'électrovannes asservies par la mesure tensiométrique du sol).

6. Références bibliographiques

ARGIC (2009) Analyse du Retrait-Gonflement et de ses Incidences sur les Constructions. Rapport final : BRGM/RP-57011-FR, mai 2009, 92p

ARGIC 2. Analyse du Retrait-Gonflement et de ses Incidences sur les Constructions - Rapport de synthèse générale du Projet ARGIC2. IFSTTAR, octobre 2015, 29p.

Kreziak C., Heumez S., Villers F., Ly H. Influence des caractéristiques des constructions sur les dommages occasionnés par la canicule de 2003. Actes du Symposium International SEC 2015, Marne-La-Vallée, 17-19 juin 2015, p405-414

Mathon D., Godefroy A. Suivi expérimental d'une maison instrumentée à Langon (33), Actes des Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur – JNGG2016, Nancy, 6-8 juillet 2016 p1288-1298.

Mathon D., Godefroy A. MACH – MAison Confortée par Humidification, bilan des travaux 2016, rapport d'étude C16RB0076/1, janvier 2017, 50p.

Mathon D. - Repairing a house by watering foundations : the MACH Project, proceedings of the conference PanAm-UNSAT 2017, Dallas, Texas, USA, November 12-15 2017.

Tron R. , Chol P. Isbérie C. La tensiométrie pour piloter les irrigations. Dijon Educagri édition, 247p