

# SUIVI DU VIEILLISSEMENT D'UN REMBLAI TRAITÉ À HÉRICOURT (70) : QUELS ENSEIGNEMENTS SUR LA DURABILITÉ ?

## **MONITORING OF A LIME AND CEMENT-TREATED EMBANKMENT IN HÉRICOURT (70): WHAT LESSONS ON SUSTAINABILITY?**

Yasmina BOUSSAFIR<sup>1</sup>, Dimitri MERCADIER<sup>2</sup>, Yu-Jun CUI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ifsttar, GERS, SRO, F-77447 Marne-la-Vallée, France

<sup>2</sup> Cerema, Direction Territoriale Normandie-Centre, DERDI, CER, 76 Rouen, France

<sup>3</sup> Ecole des Ponts ParisTech, Laboratoire Navier, France

**RÉSUMÉ** – Dans le cadre du projet ANR TerDOUEST, un remblai réalisé en argile très plastique et en limon, tous deux traités à la chaux, ainsi qu'à la chaux et au ciment, a été construit à Héricourt (70) dans le cadre de la mise à 2x2 voies de la RD438. Ce remblai (H = 5 mètres) a été instrumenté afin de suivre l'évolution des propriétés des matériaux en talus et sous l'influence des remontées de nappe. L'article présente les données acquises pendant 4 ans et propose quelques interprétations.

**ABSTRACT** – In the ANR project TerDOUEST, an embankment made of highly plastic clay and silt, both treated with lime and lime and cement, was built in Héricourt (70) during the construction of RD438 road. This embankment (H = 5 m) was instrumented so as to monitor the properties of the treated soils on the slope and at the base under the variations of the watertable. The data acquired for 4 years are presented and some interpretations are given.

## **1. Introduction**

Le projet ANR TerDOUEST (2008-2012) a été l'occasion de réaliser un remblai expérimental en partenariat avec le Conseil Départemental de Haute-Saône (70). Pour cela de l'argile très plastique ( $I_p^a=40$ ) et des limons ( $I_p=18$ ) ont été mis en œuvre par traitement à la chaux et chaux + ciment selon un cahier des charges très précis, élaboré sous le pilotage du Céréma et de l'Ifsttar.

L'objectif de ce remblai est de démontrer la faisabilité d'un réemploi d'argiles de forte plasticité, considérées habituellement comme non-utilisables selon les référentiels actuels français (LCPC, Sétra, 1992), pour réaliser des ouvrages en terre dans des contextes réalistes d'utilisation. Dans le cas présent, le remblai est situé dans un climat continental relativement rigoureux, et la base du remblai est sollicitée par les remontées de nappe phréatique, dans la zone d'inondation de La Lizaine, sur la commune de Héricourt (70).

## **2. Description des matériaux et de l'ouvrage**

### **2.1. Les matériaux utilisés en remblai**

#### **2.1.1. Les limons**

Ce sont des dépôts récents d'âge Quaternaire provenant des déblais de l'infrastructure. Leurs indices de plasticité ( $I_p$ ) varient entre 18 et 23 ce qui permet de les classer A2 selon

---

° IP Indice de plasticité

la norme NF P11-300 (Afnor, 1992). D'un point de vue minéralogique, on trouve essentiellement du quartz et des feldspaths sur la fraction grossière et de la kaolinite, montmorillonite, chlorite et illite sur la fraction  $< 2\mu\text{m}$ .

### 2.1.2. Les argiles

Les argiles utilisées dans le projet proviennent de zones purgées en base de remblai de la RD.438. Il s'agit d'un horizon d'argiles et marnes grises de la fin du Trias – début du Lias. Ces argiles ont des indices de plasticité ( $I_p$ ) compris entre 35 et 49, ce qui permet de les classer A3 / A4 selon la norme NF P11-300 (Afnor, 1992). D'un point de vue minéralogique, on trouve essentiellement du quartz sur la fraction grossière et de la smectite, muscovite et chlorite sur la fraction  $< 2\mu\text{m}$ . Il n'a pas été trouvé de pyrite, d'éléments soufrés ou de matière organique.

### 2.1.3. Le traitement à la chaux

Les limons et les argiles ont été traités respectivement à 2 et 4-5% de chaux vive (CaO). La chaux a été fournie par une usine du groupe Lhoist.

### 2.1.4. Le traitement au ciment

C'est un ciment CEM II/A-LL 42,5 N en provenance d'une usine Holcim qui a été utilisé pour le chantier. Les limons ont été traités à 3% de ciment et les argiles ont subi un traitement mixte combinant 2% de chaux vive et 3% de ciment.

## **2.2. Constitution du remblai**

### 2.2.1. Positions des différentes modalités de traitement

Le remblai expérimental a été réalisé de mars à avril 2010. Dès la conception de l'ouvrage il a été prévu de créer différents casiers (présentés sur la Figure 1) afin d'observer dans des conditions identiques, le comportement des limons et des argiles avec leurs différentes modalités de traitement.

Le remblai a une hauteur construite de 5 m. Afin de solliciter au maximum la base du remblai par des variations de niveau de la nappe phréatique, il a été décidé d'enterrer la base de remblai de 1 m. Ceci a conduit à réduire la hauteur libre au-dessus du sol support à 4 m.

Les modalités de constructions et les performances obtenues sur remblai sont rappelées dans Froumentin et Boussafir (2013), Hung et al. (2012a), Hung et al. (2012b). Chaque modalité a été construite indépendamment, sans influence l'une sur l'autre.

Les différentes observations concernaient :

- l'observation des matériaux en talus sur 1 m d'épaisseur ;
- l'observation des matériaux dans le mètre inférieur du remblai (base du remblai).

Le remblai a donc été équipé de capteurs permettant l'observation de ces parties d'ouvrages. La position des capteurs est rappelée en Figure 2.

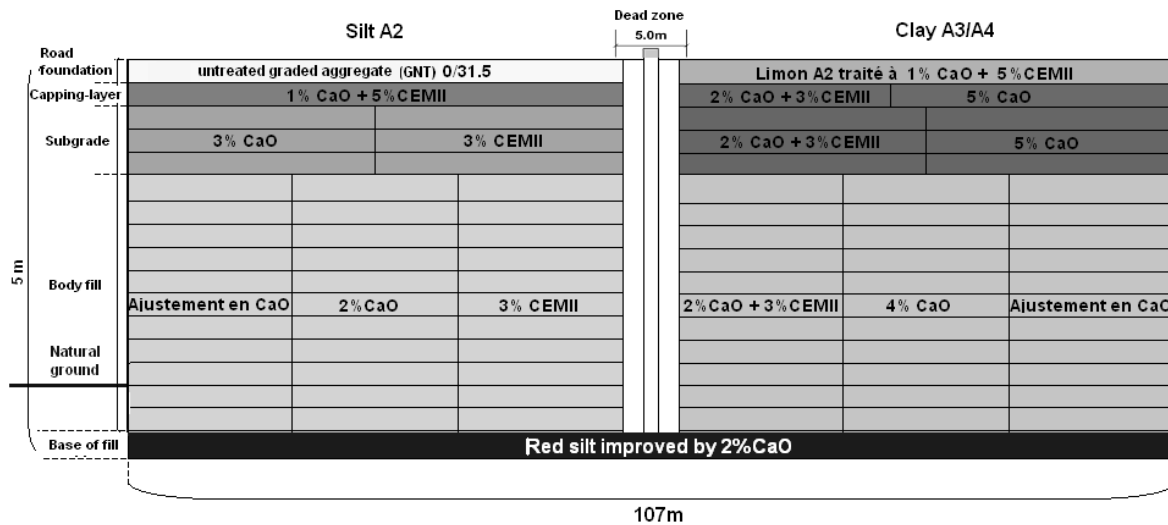


Figure 1. Constitution du remblai expérimental : position des différents casiers et de leurs modalités de traitement sur un profil en long.

### 2.2.2. Instrumentation mise en œuvre

Des sondes tensiométriques de marque Watermark (gamme de mesure 0-200 cbar) ont été installées après la réalisation du remblai dans la partie superficielle du talus. Pour cela des avant-trous ont été forés à la tarière à main ( $\varnothing$  25 mm), puis les sondes sont enfoncées manuellement dans la réservation à la profondeur souhaitée.

4x4 sondes de succion ont été installées à 0,25 m de profondeur dans les couches de remblais numérotées (de bas en haut) R4, R5, R6 et R8 des casiers d'argiles et de limons traités chaux et ciment (Figures 2 et 3). Ces sondes permettent de suivre l'évolution en peau des quatre profils (P1 pour les matériaux traités ciment et P2 pour les matériaux traités chaux) à 0,60 – 0,90 – 1,20 et 1,80 m de hauteur par rapport au terrain naturel.

4x3 sondes de succion ont été installées à 0,25 – 0,50 et 0,75 m de profondeur dans la couche R8 des quatre casiers en matériaux traités, afin d'observer la répartition des mesures sur une horizontale située à 1,80 m par rapport au terrain naturel, dans chacune des modalités de traitement (Figures 2 et 3).

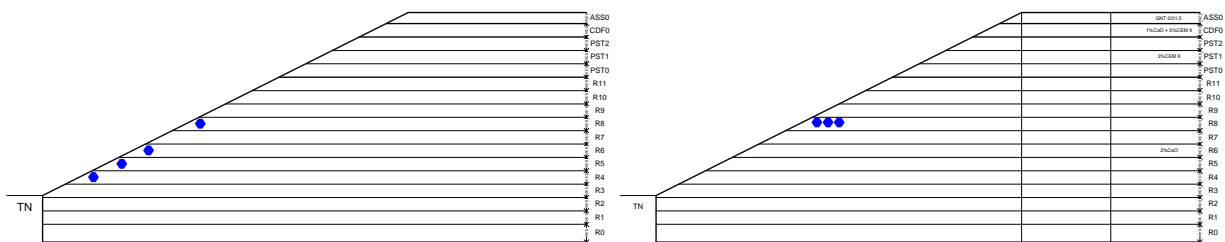


Figure 2. Position schématique des sondes tensiométriques dans le profil en travers du remblai à gauche pour l'acquisition en peau (0,25 m de profondeur) et à droite sur une horizontale (0,25 – 0,50 et 0,75 m de profondeur)

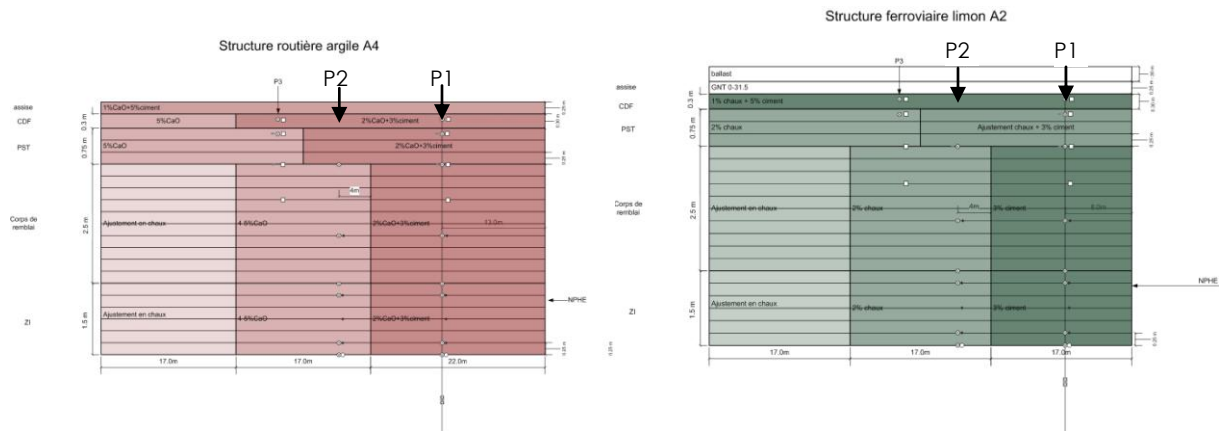


Figure 3. Position des profils instrumentés P1 et P2 dans les différents casiers (à gauche dans l'argile et à droite dans le limon)

Des sondes TDR (Time Domain Reflectometry) modèle Trime Pico 64 ont été installées dans le remblai. Ces sondes mesurent la teneur en eau volumétrique des sols ensemble avec la température. Les sondes Mes 6 et 5, Mes 9 et 8 et Mes 10 ont été plus particulièrement observées car elles reflètent les variations de teneur en eau volumétrique dans le talus du remblai (Figure 4). Ces sondes sont installées respectivement au sein des couches R5, R8 et R10. Chaque sonde a été introduite horizontalement dans le sol. Deux avant trous sont réalisés au moyen d'un gabarit équipé de pointes en acier d'un diamètre légèrement inférieur aux électrodes, afin de favoriser la pénétration des électrodes lors de la pose du capteur. Pour chaque sonde posée, un prélèvement de sol est réalisé afin de "caler" la mesure réalisée par la sonde à une valeur exacte de teneur en eau.

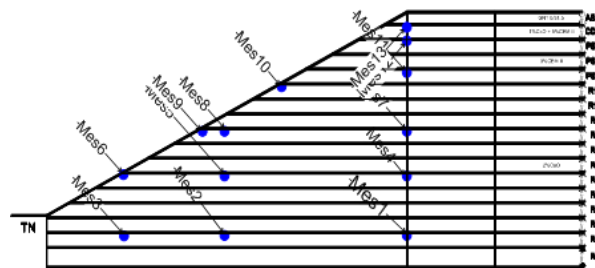


Figure 4. Position des sondes TDR dans les différents casiers

### 2.2.3. Propriétés des matériaux après construction de l'ouvrage

La réalisation du remblai a fait l'objet d'un suivi méthodique. L'ensemble des informations acquises a été compilé dans les livrables du projet TerDOUEST. On récapitule dans le Tableau 4 les informations relatives aux couches R4, R5, R6 et R8.

Tableau 4. Données géotechniques mesurées in situ sur les couches R4 à R8

Argile A3/A4 $\gamma_s = 27,4$ kg/m <sup>3</sup>	traitée 4% chaux				traitée 2% chaux et 3% ciment			
	w%	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	compacité (%)	saturation (%)	w%	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	compacité (%)	saturation (%)
Couche R4	33,5				35,1			
Couche R5	30,7	14,15	113,7	89,8	37,9	13,2	98,7	96,5
Couche R6	33,6				35,6			
Couche R8	36,0				34,8	13,95	104,3	98,9
moyenne	33,4	13,7	110,2	91,7	35,8	13,88	103,7	100,8

Limon A2 $\gamma_s = 27,0$ kg/m <sup>3</sup>	traité 2% chaux				traité 3% ciment			
	w%	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	compacité (%)	saturation(%)	w%	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	compacité (%)	saturation (%)
Couche R4	23,2				23,5			
Couche R5	24,1	15,69	93,4	90,3	22,7	16,19	92	91,8
Couche R6	22,9				22,7			
Couche R8	23,7				23,9			
moyenne	23,5	15,87	94,5	90,4	23,2	16,05	91,2	91,8

Pour ce qui concerne l'argile, la référence de l'optimum Proctor normal a été évaluée comme étant la valeur de masse volumique à 85% de degré de saturation. Ceci explique que les argiles traitées à la chaux ont été compactées dans des états hydriques plutôt secs. Toutes les autres modalités ont été compactées dans des états hydriques moyens à humides.

### 3. Les données acquises

Les données acquises sur le remblai ont été riches. Il a été fait le choix de ne présenter que les mesures reflétant le comportement en talus des matériaux traités. Le talus est la partie de l'ouvrage la plus exposée aux intempéries et pouvant présenter des pathologies de type rupture. C'est la partie de l'ouvrage où la connaissance des sollicitations est la plus intéressante pour évaluer la stabilité en lien avec la connaissance de la cohésion du matériau et ce qui peut l'affecter.

#### 3.1. Évolution des succions le long du talus

Les mesures de succion permettent d'observer le comportement des matériaux (Figure 5 sur les matériaux traités au ciment, Figure 6 sur les matériaux traités à la chaux) soumis notamment aux effets conjugués de la pluviométrie et de la dessiccation à 0,25 m de profondeur. L'observation des valeurs de succion est intéressante car elle permet d'évaluer le risque de fissuration du matériau et d'extrapoler la sollicitation pouvant affecter la cohésion du matériau. C'est un élément d'évaluation de la durabilité du traitement.

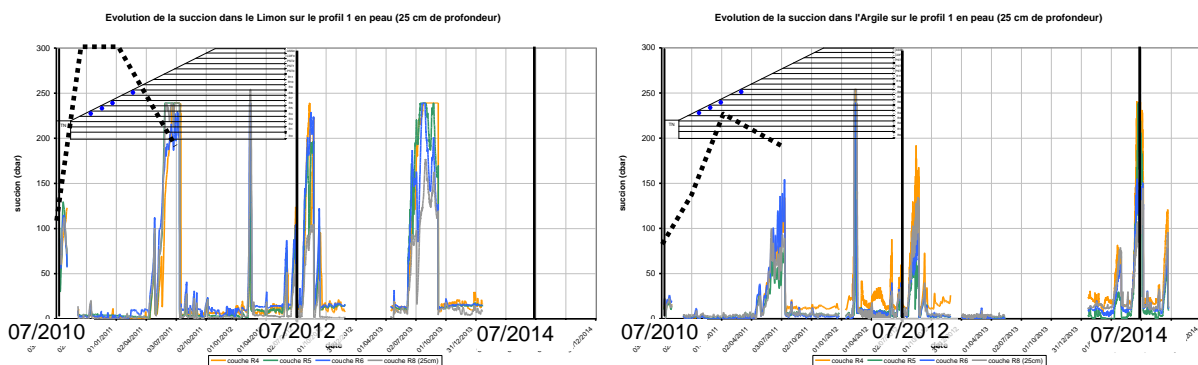


Figure 5. Relevé des mesures de succion en talus (-0,25 m de profondeur) à gauche sur les limons traités à 3% de ciment et à droite sur les argiles traitées à 2% de chaux vive et 3% de ciment (juillet 2010 à décembre 2014). En pointillé les valeurs de résistance en compression diamétrale (Rtb) mesurées en laboratoire.

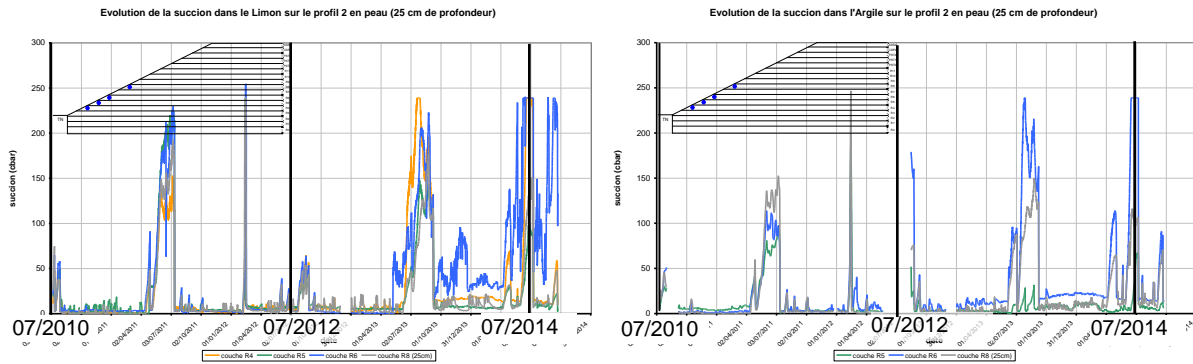


Figure 6. Relevé des mesures de succion en talus (-0,25 m de profondeur) à gauche sur les limons traités à 2% de chaux vive et à droite sur les argiles traitées à 4-5% de chaux vive (juillet 2010 à décembre 2014).

Les graphiques présentant les relevés sur 4 ans montrent que la succion se développe par à-coups au sein des matériaux. Pendant les périodes hivernales, les succions sont quasi nulles. Pendant les périodes estivales les succions se développent jusqu'à plafonner aux valeurs maximales d'acquisition des sondes (250 kPa), avec des événements très ponctuels au printemps (2012, 2014). La pluviométrie (non reportées sur les graphiques pour des raisons de lisibilité) atténue la succion mais l'observation fine des données montrent que ce n'est pas le seul paramètre qui influence la mesure : il semble que l'évaporation joue un rôle et que ce soit le bilan hydrique qui influence le résultat final.

La position dans le talus ne semble pas être un critère déterminant dans la hiérarchie des succions : les valeurs les plus fortes peuvent se trouver indistinctement sur les couches en pied de remblai ou sur les couches les plus hautes.

On peut constater que les succions ne reviennent plus à 0 kPa deux ans après la construction, ceci de manière plus nette dans les matériaux traités à la chaux, et qu'une succion de 5 à 10 kPa persiste dans le temps, au moins en peau.

Les valeurs de succion sont plus importantes sur les limons traités que sur l'argile traitée que ce soit à la chaux ou ciment. Bien que les capteurs soient limités à 250 kPa on peut constater que les valeurs semblent rarement dépasser ce seuil pour les argiles, ce qui est moins le cas dans les limons. Pour ces derniers, c'est la modalité de traitement au ciment qui semble présenter les valeurs de succion les plus fortes (>250 kPa) sur de relativement longues périodes (environ 2 mois) et paradoxalement, en surface de la couche la plus proche du terrain naturel (R4). À événement climatique identique (fin d'été 2013), le limon traité chaux développe moins de succion que celui traité ciment. Dans le cas de l'argile, les succions observées sont dans les mêmes gammes de valeur que ce soit dans le casier traité ciment ou celui traité chaux, sans excéder 250 kPa (sauf exception ponctuelle en été 2014).

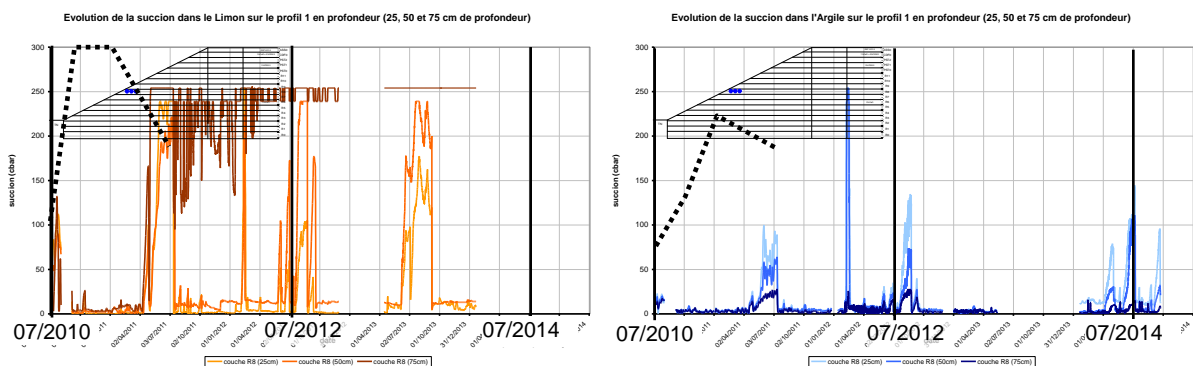


Figure 7. Évolution en profondeur des succions (-0,25, -0,50 et -0,75 m de profondeur) à gauche sur les limons traités à 3% de ciment et à droite sur les argiles traitées à 2% de chaux.

chaux vive et 3% de ciment (juillet 2010 à décembre 2014). En pointillé les valeurs de  $R_{tb}$  mesurées en laboratoire.

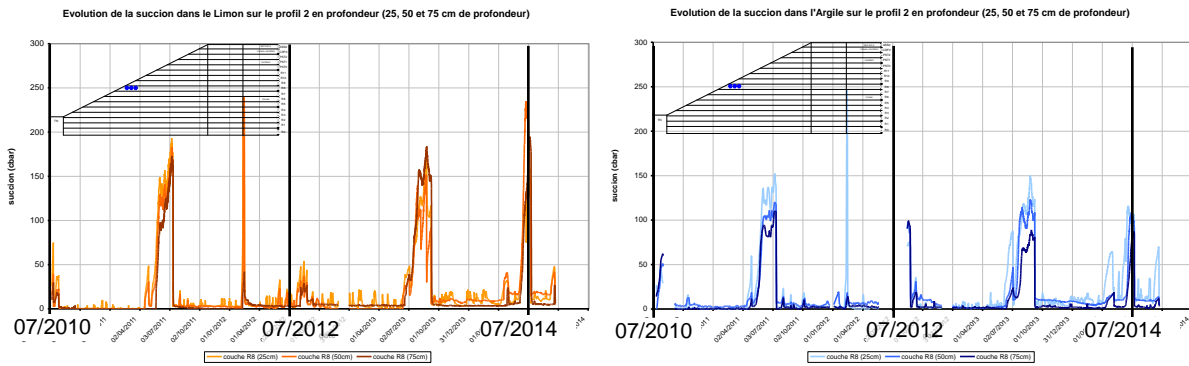


Figure 8. Évolution en profondeur des succions (-0,25, -0,50 et -0,75 m de profondeur) à gauche sur les limons traités à 2% de chaux vive et à droite sur les argiles traitées à 4-5% de chaux vive (juillet 2010 à décembre 2014).

Les valeurs de résistance à la traction (mesurée par des essais brésiliens en laboratoire sur les matériaux traités au ciment) sont indiquées sur les graphiques de la Figure 5 et 7. Les succions dans le limon sont supérieures aux valeurs de  $R_{tb}$  obtenues en laboratoire dès le printemps 2011 soit à peine 1 an après la mise en œuvre. Dans le cas de l'argile, les succions deviennent supérieures à la résistance en traction ( $R_{tb}$ ) au bout de deux ans (printemps 2012).

L'analyse des valeurs de succion en profondeur (Figures 7 et 8) montre une hétérogénéité de succions entre 0,25, 0,50 et 0,75 m de profondeur. Dans l'argile, les succions diminuent logiquement avec la profondeur. Dans le limon, aucune tendance logique ne semble se dégager.

### 3.2. Évolution des teneurs en eau le long du talus

Les mesures de teneurs en eau volumiques permettent d'observer le comportement des matériaux soumis aux influences climatiques. Il est intéressant d'observer sur les Figures 9 et 10 que l'évolution des teneurs en eau en surface fluctue dans le temps de manière cyclique. On constate que les cycles semblent se répéter sans entraîner de dérive dans les valeurs dans les valeurs minimales et maximales après 4 années d'observation (à l'exception de l'argile traitée ciment). Ce point amène des commentaires spécifiques au §4.2.

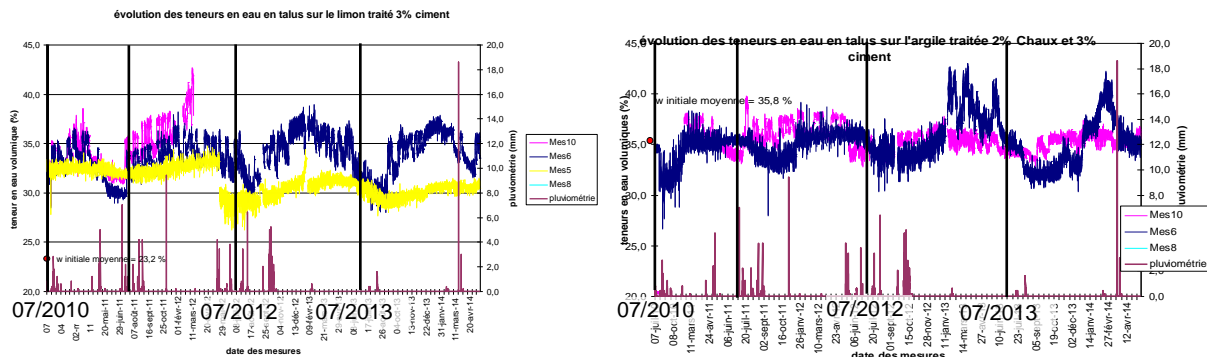


Figure 9. Évolution des teneurs en eau volumique en peau de remblai (-0,25 m de profondeur) à gauche sur les limons traités à 3% de ciment et à droite sur les argiles traitées à 2% de chaux vive et 3% de ciment (juillet 2010 à décembre 2014).

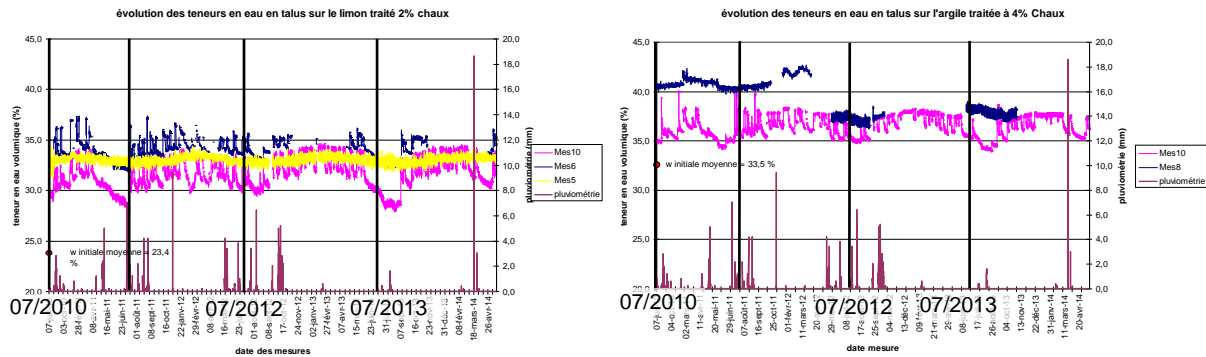


Figure 10. Évolution des teneurs en eau volumique en peau de remblai (-0,25 m de profondeur) à gauche sur les limons traités à 2% de chaux vive et à droite sur les argiles traitées à 4-5% de chaux vive (juillet 2010 à décembre 2014).

L'amplitude des teneurs en eau est beaucoup plus prononcée dans les modalités traitées au ciment que dans celles traitées à la chaux, et surtout sur la couche la plus proche du terrain naturel. Bien que ne disposant pas de la totalité des enregistrements de la pluviométrie, il semble que les variations de teneur en eau soient corrélées comme pour la succion au bilan hydrique plus qu'au simple paramètre pluviométrie, et peut-être également à la présence d'eau libre en base de remblai (celui-ci étant dans la zone inondable de la Lizaine, les hivers 2012 et 2013 étant marqués par une forte remontée de la nappe et des inondations). Dans les limons traités, les pics de succion intensifient la réduction des teneurs en eau en période estivale.

Les variations de teneur en eau volumique sont très nettement atténuées en profondeur (Mes 5) soit à environ 1,80 m du talus.

#### 4. Enseignements utiles pour les études de durabilité des effets du traitement

##### 4.1. Bilan des observations

Les observations capitalisées grâce au projet TerDOUEST permettent d'apporter des commentaires qualitatifs :

- les matériaux limoneux sont plus sensibles aux variations de teneur en eau que l'argile, ce qui peut être mis en relation avec les perméabilités de ces matériaux ;
- les modalités de traitement au ciment semblent plus réagir aux effets météoriques que celles à la chaux vive : cela peut également être un effet d'une porosité plus importante ;
- les succions auxquelles sont soumis les matériaux traités à la chaux sont très souvent plafonnées à 250 kPa à la très proche surface (-0,25 m) sur quatre années d'observation ;
- les succions ne sont pas réparties de manière homogène à la surface du talus et s'atténuent d'au moins de moitié entre 0,25 et 0,75 m de profondeur. Dans le cas du limon et de l'argile l'atténuation semble plus forte dans la modalité traitée au ciment ;
- les valeurs fortes de succion sont ponctuelles, par contre on observe fréquemment un développement continu de la succion sur des périodes de 3 mois et une fin brutale avec un retour à des valeurs inférieures à 5 kPa ; en 2014 les succions se sont nettement accentuées sur un des 3 capteurs (R6) sans pour autant que cela ait d'effet sur les teneurs en eau ;
- les succions auxquelles sont soumis les matériaux traités au ciment peuvent selon qu'il s'agit de texture limoneuse dépasser 250 kPa sur plusieurs jours cumulés (1 à 3 mois) ;



- les teneurs en eau évoluent de manière cyclique et réversible en talus avec une légère tendance à l'accentuation des valeurs hautes après 2 années de vie du remblai dans le cas de l'argile traitée ciment (sans que l'on puisse faire le lien avec les suctions) et avec un retour aux valeurs basses en période estivale. Les pics de teneur en eau s'observent entre février et avril. Cette observation n'est pas sans intérêt lorsque l'on sait que la teneur en eau des sols non saturés a une influence sur les propriétés des remblais (tassement, cohésion) et peut entraîner des désordres soit par humidification soit par dessiccation (Mieussens, 1997). En contexte de changement climatique, l'appréciation des variations réelles de teneur en eau permet d'appréhender le temps nécessaire à la modification des performances et de répondre au problème spécifique de la durabilité d'un ouvrage à savoir : quelle performance reste acquise pendant la durée de vie attendue par le maître d'ouvrage ?

#### **4.2. Synthèse des enseignements et commentaires**

Les résultats obtenus peuvent permettre de dégager les enseignements suivants :

1- Les cycles de succion annuels se composent à peu près comme suit : 3 mois de succion (période estivale) et 9 mois de succion quasi nulle (ou très faibles après quelques années). Cela correspond à ce qui est observé sur les quatre dernières années à Héricourt, bien que quelques printemps soient aussi marquants que les étés sur des durées plus courtes.

2- La durée de cure avant réalisation d'essai de durabilité sur matériau traité peut être supérieure à 90 jours car immédiatement après les travaux, surtout en conditions de réalisation des remblais maîtrisées, les suctions sont relativement faibles (à l'exception du limon traité au ciment où les valeurs approchent 125 kPa) et ne se manifestent ensuite qu'au premier événement météorologique chaud et sec qui suit les travaux.

3- La succion affecte la partie superficielle du remblai et s'atténue rapidement avec la profondeur, et d'autant plus rapidement que le matériau est argileux.

4- les valeurs de succion mesurées sur les matériaux traités au ciment sont supérieures à leur résistance en traction (mode brésilien) : ceci peut influencer la formation de fissures en surface.

5- les teneurs en eau évoluent de manière cyclique dans l'année. Les amplitudes sont élevées en surface et s'atténuent fortement en profondeur (dès 1 mètre). Les amplitudes ont tendance à dériver assez nettement dans les modalités de traitement au ciment alors que pratiquement pas dans les modalités de traitement à la chaux.

#### **5. Conclusions**

Les matériaux traités réagissent différemment aux mêmes conditions environnementales selon qu'ils sont composés de limon ou d'argile et selon qu'ils sont traités à la chaux ou au ciment.

L'enregistrement sur de longues durées de caractéristiques telles que la teneur en eau ou la succion permettent de dégager des informations concernant les sollicitations auxquelles sont soumis les matériaux. Ces enregistrements sont précieux car ils permettent de comprendre les comportements des ouvrages sous sollicitation météorologique (notamment) et d'évaluer les phénomènes affectant la durabilité du traitement.

Ainsi, un dimensionnement performantiel répondant aux objectifs de durabilité tels que définis dans l'Eurocode 0 (Afnor, 2003), nécessiterait de savoir au bout de combien d'années, la saturation du matériau sera susceptible d'entraîner une diminution significative de la performance attendue. En mécanique des sols, il est d'usage de

dimensionner par rapport à un état ultime correspondant à la rupture et pouvant s'appuyer sur des essais menés à la saturation. Il y a peu d'études permettant de définir au bout de combien de temps la saturation est effectivement acquise ; or, la durée de maintien d'une performance dans le temps est une condition indispensable pour évaluer la durabilité d'un ouvrage, à savoir, pour combien de temps est dimensionné cet ouvrage (Afnor, 2003) ?

Les informations acquises montrent que dans les conditions environnementales d'Héricourt, l'évolution des teneurs en eau et des succions au bout de 5 années d'enregistrement, est acceptable pour le bon comportement de l'ouvrage. En terme prédictif, il sera donc très intéressant de poursuivre l'instrumentation pour évaluer au bout de combien de temps, ces paramètres seront préjudiciables à la tenue mécanique et au bout de combien de temps, la baisse de la performance n'est plus admissible.

Aujourd'hui, on peut conclure que dans des conditions maîtrisées de réalisation du remblai (condition hydrique initiale, compacité, respect des règles de l'art), les matériaux traités montrent un très bon comportement dans l'environnement météorologique de la Haute-Saône. Après 5 années de service, aucune pathologie n'est visible en surface et démontre que le traitement même sur des argiles A3/A4 autorise la réalisation d'ouvrages routiers classiques de hauteur inférieure à 5 mètres.

Les études en laboratoire peuvent s'appuyer sur les résultats acquis pour améliorer les protocoles visant à évaluer la durabilité sur éprouvette.

## 6. Références bibliographiques

- Froumentin M., Boussafir Y. (2013). La construction d'un remblai expérimental en sol non conventionnel. *TerDOUEST 2013. Colloque « Le traitement des sols pour un terrassement durable »*. Marne-la-Vallée, France, 18-19 juin 2013. Actes du colloque, pp.351-365.
- Hung C., Bessafi K., Froumentin M., Boussafir Y. (2012a). Contribution de l'entreprise Roger Martin au projet de recherche TerDOUEST. *3rd International Seminar on Earthworks in Europe. Berlin, Germany, 19 – 20 March 2012. Actes du colloque.*
- Hung C., Froumentin M., Boussafir Y. (2012b). Durabilité des effets du traitement sur une argile très plastique. *3rd International Seminar on Earthworks in Europe. Berlin, Germany, 19 – 20 March 2012. Actes du colloque.*
- LCPC, Sétra (1992). Réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicules 1 et 2. Guide Technique. *Editions LCPC, Sétra, réf. D9233-1.*
- LCPC, Sétra (2000). Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application à la réalisation des remblais et des couches de forme. Guide Technique. *Editions LCPC, Sétra, réf. D9924.*
- Mieussens C. (1997). Les remblais en marne – Etudes, pathologie et techniques de réparation. *Lisboa, 23 septembre 1997. Actes du colloque.*
- Afnor (1992). NF P11-300. Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. *Edition Afnor.*
- Afnor (2003). NF EN1990. Eurocode structuraux (eurocode 0). Bases de calcul des structures. *Edition Afnor.*