

g é o t e c h n i q u e , f o r a g e e t f o n d a t i o n s

SOLSCOPE



CHANTIERS À CREUSER

RECONSTRUCTION DU POSTE N°1 AU GRAND
PORT MARITIME DE L'ÎLE DE LA RÉUNION

page 68

À BEUCAIRE, L'ÉCLUSE DE
NOURRIGUIER SE REMET À FLOT

page 76

DOSSIER

DIGUES ET OUVRAGES DE PROTECTION

PAGE 26



ACTUALITÉS

Le couplage CPT-OIP pour
l'évaluation des sols pollués

page 20

Deuxième génération
de l'Eurocode 7

Page 22



© Reblère - Barloide-Photo Bayonne

Expérimentation inédite dans le Loiret et en Vendée pour limiter les dégâts de la sécheresse sur les routes

Chaque année, les départements de métropole doivent faire face à des dégradations de routes et de pistes cyclables de plus en plus fréquentes. Ces désordres sont liés à la combinaison de mécanismes affectant prioritairement les sols supports : RGA (retrait-gonflement des sols argileux) constituant l'assise de ces infrastructures, présence de sols compressibles et peu consistants, et proximité de canaux latéraux (étiers) générant des érosions de talus.

Ces voiries sont en général en remblai de faible hauteur (0,5 à 2,0 m/TN) ou en profil rasant. Elles sont construites sur des argiles plastiques, dont l'épaisseur varie de 3 m à plus de 10 m. Une nappe phréatique est souvent observée à faible profondeur, en général entre 1 et 2 m/TN (hors remblai). Les désordres se traduisent par l'apparition de fissures longitudinales et de tassements pluri-centimétriques, généralement à la suite d'un été très sec, ce qui met en évidence la sensibilité des sols d'assise.

Afin de lutter contre ce phénomène, le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) teste, depuis 2009, différentes approches et de multiples solutions innovantes et écologiques, pour rendre les routes plus durables.



Serge Lambert, directeur technique, Keller Fondations spéciales.

UNE TECHNIQUE KELLER INÉDITE PAR LE TRAITEMENT DU SOL ARGILEUX

Dans le cadre d'une convention partenariale avec le Cerema, un diagnostic géotechnique a été établi et a conduit à définir des principes de confortement visant à prévenir ces déformations ou à minima limiter leur fréquence d'apparition afin de réduire l'entretien.

Grâce à l'investissement des conseils généraux du Loiret et de la Vendée, deux sites expérimentaux ont été choisis, l'un sur la commune de Saint-Michel-en-l'Herm (Vendée) et l'autre entre Courcy-aux-Loges et Sully-la-Chapelle (Loiret) avec pour objectifs de tester plusieurs solutions envisagées, dont l'injection ionique.

La première expérimentation en vraie grandeur d'injection ionique a été menée dans le cadre du projet ORSS « Observation des routes sinistrées par la sécheresse » du Cerema.

La RD921 entre Courcy-aux-Loges et Sully-la-Chapelle était sujette aux phénomènes de dégradation et de sécheresse des deux côtés de la route. Il s'agissait d'un environnement idéal pour cette injection.

Le procédé consiste à injecter une solution aqueuse de stabilisation des sols argileux sous la structure de chaussée selon différentes mailles et configurations. Trois planches d'essais ont été définies sur une longueur de 320 m. Une première zone d'injection a été réalisée sur 2 lignes à 2,0 et 2,5 m de profondeur, puis une deuxième zone confortée par 3 lignes d'injection (à 1,5 ; 2,0 et 2,5 m) situées sous accotements de la chaussée. Ces deux zones sont ensuite comparées à une zone témoin qui n'a subi aucun traitement.

Le produit utilisé appelé RemediaClay a fait l'objet d'une recherche très poussée par l'entreprise et le groupe Keller, en particulier sa filiale aux États-Unis en coordination avec l'université de Texas qui a abouti à une formulation spécifique d'une solution comportant différents cations et un biopolymère. Le principe de la solution consiste à agir par des relations physico-chimiques sur la fraction argileuse très plastique des sols en place, pour les rendre moins sensibles à l'eau à long terme. Une batterie de bio-essais sur des organismes terrestres et aquatiques a également montré que RemediaClay est non écotoxique selon le protocole HP14, conformément à la réglementation européenne.

Cette planche d'essai a été menée sous la maîtrise d'œuvre du Cerema, labellisé Institut Carnot Clim'adapt, à l'aide de l'investissement du département du Loiret et réalisé par l'entreprise Keller Fondations Spéciales.

La deuxième expérimentation à Saint-Michel-en-l'Herm (Vendée) a consisté à traiter la frange d'argile sensible aux variations hydriques dans 2 zones de 40 m selon les modalités suivantes :

- zone 1 : sur toute la largeur de la chaussée,
- zone 2 : en paroi latérale (accotement + rive chaussée) de chaque côté.



© Reblère - Boloire-Photo Boyonne

Réalisation de la technique dans le département de la Vendée.

UN DÉVELOPPEMENT MATÉRIEL ADAPTÉ POUR CES DEUX PLANCHES D'ESSAI

Une foreuse dotée d'un mécanisme spécialement conçu pour l'expérimentation a réalisé les injections dans le sol.

L'injection s'est faite à l'aide de tiges foncées dans le sol, la solution étant injectée à la pointe de ces tiges. Pour favoriser la pénétration de la solution dans le sol, cette injection s'est faite en période sèche, correspondant à l'apparition de fissures de retrait dans l'argile.

Les sols argileux étant faiblement injectables, le principe issu de l'expérience du groupe Keller consiste à fonder une pointe de petit diamètre sur l'épaisseur des couches de surface ayant un effet

sur les déformations de la voirie. La maille d'injection est de surface assez faible, la solution est injectée sous faible pression avec effet de résurgence en surface. L'injection s'est faite par palier, et plusieurs pointes ont été montées sur un palonnier commun.

À l'issue des injections, des instrumentations tensiométriques ont été installées pour étudier les variations de teneur en eau dans le sol.

Dans un but de simplification de travaux de réparation de ces deux planches d'essai, l'entreprise Keller a opté pour le montage du système sur une foreuse communément utilisée par des travaux de renforcement type Liebherr LRB 125. À l'avenir, une simplification de l'ensemble permettra l'utilisation de foreuses de petit gabarit.

UN SUIVI DES RÉSULTATS JUSQU'EN 2024

Une évaluation de l'efficacité de cette technique va être menée par le Cerema qui mesurera en permanence, jusqu'en 2024, le taux d'humidité du sol à l'aide de capteurs de tensiométrie. L'objectif est de vérifier l'efficacité de RemediaClay en mettant en relation les variations hydriques du sol et les observations de l'état des chaussées, et ce, de manière durable, après au moins trois périodes estivales, voire de sécheresse.

« Ce procédé est développé aux États-Unis par la filiale américaine du groupe Keller depuis plus de 30 ans avec d'excellents retours d'expérience, que ce soit pour les chaussées ou pour les bâtiments. Lors d'échanges avec nos collègues américains et avec le Cerema, il nous a semblé intéressant d'importer ce procédé en Europe. En effet, avec le réchauffement climatique global, les effets des argiles sensibles au retrait-gonflement sont de plus en plus critiques et concernent des zones plus étendues. L'importation de ce procédé a nécessité le dépôt d'un brevet européen pour prolonger la protection de cette conception en Europe, et a nécessité la réalisation d'essais de conformité au niveau sanitaire et environnemental plus exigeants qu'aux États-Unis. La solution basée sur des composants minéraux et organiques a passé sans difficulté tous ces tests. Les essais en laboratoire portant sur l'efficacité de la capacité de réduction du potentiel de gonflement des argiles montrent un très haut niveau d'efficacité. Le passage en échelle réel va être très riche en enseignement et a été rendu possible grâce à l'investissement du Cerema, des conseils généraux du Loiret et de la Vendée, que Keller tient à remercier », explique Serge Lambert, directeur technique chez Keller Fondations Spéciales.



© Ighit Amieur - Cerema 2021

Réalisation de la technique dans le département du Loiret.

POUR ALLER PLUS LOIN... MÉCANISME DE GONFLEMENT D'UNE ARGILE

Toutes les argiles sont constituées à partir d'un empilement de feuillets tétraédriques et octaédriques entrecoupés par un espace appelé espace interfoliaire. Le type d'argile associé au gonflement est la smectite, dont fait partie la montmorillonite.

Les ions tels que le calcium, le magnésium ou le sodium sont présents entre les feuillets des particules d'argiles. Les cations positifs sont attirés en surface de la particule d'argile pour tenter de balancer la charge négative de l'argile.

Dans le cas présent, les cations contrôlent le comportement de la particule d'argile. Le gonflement de l'argile est directement lié d'une part à l'énergie d'hydratation correspondant à l'attraction sur les molécules d'eau des cations et, d'autre part, au rayon d'hydratation des cations des interfeuillets. Si l'énergie d'hydratation du cation prédominant est plus importante que l'énergie potentielle de la particule d'argile, le cation va s'hydrater. L'hydratation provoque une double couche diffuse de particules d'eau qui augmente la taille de la particule d'argile et qui repousse les particules adjacentes. Ces forces répulsives provoquent des pressions de gonflement.

La composition de la solution RemediaClay est conçue pour modifier ce comportement des argiles de manière pérenne par l'apport de cations à faible énergie d'hydratation et petit rayon d'hydratation, à la différence du calcium, magnésium et sodium qui réduisent fortement l'énergie potentielle de l'argile et donc la pression de gonflement.

RemediaClay est donc un procédé très efficace qui peut être utilisé aussi bien pour des ouvrages existants endommagés par les variations volumétriques ou pour préparer des terrains dans le cadre de projet de constructions neuves. ■

Leena Veerasamy

Keller Fondations spéciales