

Routes exposées au RGA : stabilisation chimique des sols argileux sous chaussée par injection de solution de potassium

Potassium Solution Injection for the Chemical Stabilization of Expansive Clay Subgrades in Road Pavements

Lamine IGHIL AMEUR^{1*}, Xavier CHARRIER², Serge LAMBERT³

1 Cerema, GéoCoD, France

2 Cerema, Agence d'Angers, France

3 Keller Fondations Spéciales SAS, France

**lamine.ighil-ameur@cerema.fr*

RESUME : Les départements, gestionnaires en charge de l'entretien des routes départementales, sont de plus en plus confrontés aux fissurations et dégradations liées à la sécheresse et au phénomène de RGA « retrait-gonflement des sols argileux ». Les techniques classiques de réparation de chaussée n'étant pas adaptées dans le contexte du changement climatique, les conséquences sont ainsi importantes en termes de coûts d'entretien annuel et un fort enjeu de sécurité des usagers, notamment les deux roues. La stabilisation chimique des sols argileux sensibles au phénomène de retrait-gonflement est l'une des solutions de remédiation étudiée pour limiter les vulnérabilités des maisons et des routes exposées aux sécheresses.

Une première expérimentation du RemediaClay® à l'échelle 1 en France a été réalisée en 2021 dans les deux départements du Loiret (RD921) et de la Vendée (RD746). Il s'agit d'une solution cationique composée d'eau, de potassium et de Lignine (un composant du Bois). Le procédé mis en œuvre repose sur des injections à basse pression de la solution pour modifier le comportement des argiles, sous les ouvrages existants endommagés, en réduisant leur sensibilité aux variations de teneur en eau dans le sol argileux. L'objectif est de limiter la vulnérabilité de ses ouvrages et les adapter aux effets du changement climatique.

Une instrumentation in situ a été mise en place dans chacun des deux sites, comprenant a minima un suivi de la teneur en eau volumique du sol. Les données collectées de 2022 à 2025 montrent l'absence de réapparition des fissures et désordres au niveau des sections traitées par le RemediaClay®. En comparaison, des fissures et tassements ont été observés dans les sections non traitées (témoin) de la RD746 dans la Vendée. En revanche, sur la RD921 dans le Loiret, même la zone témoin non traitée n'a pas enregistré de dommages.

ABSTRACT: Departmental authorities, responsible for the maintenance of secondary road networks, are increasingly confronted with pavement cracking and structural damage related to drought conditions and the phenomenon of expansive clay soils, known in France as shrink–swell behaviour (RGA – retrait–gonflement des sols argileux). As conventional pavement repair techniques are not well suited to the context of climate change, the consequences are significant in terms of annual maintenance costs and pose major safety concerns for road users, particularly motorcyclists and cyclists. Chemical stabilization of clayey soils susceptible to shrink–swell behaviour is one of the remediation solutions currently being investigated to reduce the vulnerability of buildings and road infrastructures exposed to recurrent droughts.

A first full-scale (1:1) field trial of the RemediaClay® solution in France was carried out in 2021 in two departments: Loiret (RD921) and Vendée (RD746). RemediaClay® is a cationic solution composed of water, potassium, and lignin (a natural wood-derived component). The implemented process is based on low-pressure injections of the solution beneath existing damaged structures, aiming to modify the behaviour of clay soils by reducing their sensitivity to variations in soil moisture content. The objective is to limit the vulnerability of these infrastructures and to enhance their resilience to the effects of climate change.

In situ instrumentation was installed at both sites, including, at a minimum, continuous monitoring of the volumetric water content of the soil. Data collected between 2022 and 2025 indicate the absence of reoccurring cracks and structural disorders in the road sections treated with RemediaClay®. In contrast, cracking and settlement were observed in the untreated control sections of RD746 in the Vendée. However, on RD921 in the Loiret, no damage was recorded even in the untreated control section.

Mots-clés : routes ; sécheresse ; RGA ; argiles ; changement climatique.

1 INTRODUCTION

Sous l'effet du changement climatique, les événements météorologiques deviennent de plus en plus fréquents et intenses en termes de sinistralité et de coûts des dommages consécutifs. Les structures dites « légères » à l'instar des routes, construites sur des sols sensibles au phénomène de RGA, subissent davantage de dégradations imputables à la sécheresse.

En France, les routes sont durement impactées par le phénomène de RGA à travers des dommages caractérisés le plus souvent par des fissures longitudinales proches des bords et des déformations très significatives pouvant constituer un danger pour la sécurité des usagers. L'impact du changement climatique sur les routes va peser de plus en plus en termes de dommages et de coûts liés à l'entretien du réseau exposé.

Si jusqu'ici les routes concernées sont pour l'essentiel des routes départementales, cela peut également concerner les routes nationales et les autoroutes. Comme exemples dans la région du Grand Est ; (i) la route nationale RN4 qui présente des fissures caractéristiques proches des bords et (ii) l'autoroute A31 exposée fortement au RGA avec d'importantes fissures longitudinales centimétriques accompagnées de tassement différentiel. La configuration de cette autoroute avec un terre-plein central de quelques mètres séparant les deux sens de circulation et constitué de terrain naturel végétalisé favorise l'exposition à l'évapotranspiration et la propagation de la dessiccation du sol en période de sécheresse. Par conséquent, les autoroutes présentant cette configuration et construites sur des sols exposés au RGA seront davantage vulnérables face au changement climatique.

Dans cette étude, des expérimentations à l'échelle 1 ont été réalisées en 2021 pour tester une solution de stabilisation chimique des sols argileux sous chaussée, le RemediaClay®. Cela a été mené dans deux départements, le Loiret (45) et la Vendée (85), avec des configurations d'environnement proche et de nature des sols différentes. Une instrumentation de suivi a été mise en place afin de quantifier l'apport de cette technique dont les résultats sont exposés dans cet article.

2 METHODOLOGIE ET MISE EN ŒUVRE

2.1 Principe de la stabilisation chimique

La stabilisation chimique des sols argileux sensibles au phénomène de retrait-gonflement est l'une des solutions de remédiation étudiée pour limiter les vulnérabilités des maisons et des routes exposées aux

sécheresses. L'injection de solution ionique pour stabiliser la couche d'argile très plastique a été introduite pour la première fois par Blacklock et al. (1988). Depuis, de nombreux travaux de recherche ont utilisé divers agents chimiques par différentes méthodes d'application : (i) par saturation, (ii) par injection et (iii) par mélange. Les agents stabilisants utilisés depuis peuvent être regroupés en 3 catégories (Petry and Little, 2002) :

- traditionnels, chaux et ciment,
- sous-produits, poussières de four à ciment/chaux et cendres volantes,
- non traditionnels, tels que les huiles sulfonées, les composés de potassium, les composés d'ammonium et de polymères, etc.

Les minéraux argileux présents dans le sol attirent les cations positifs en surface pour tenter de balancer la charge négative de l'argile. Le modèle de Güven (1992), représente la particule d'argile, la surface négative de la particule argileuse avec des cations fixés et la double couche diffuse (Figure 1).

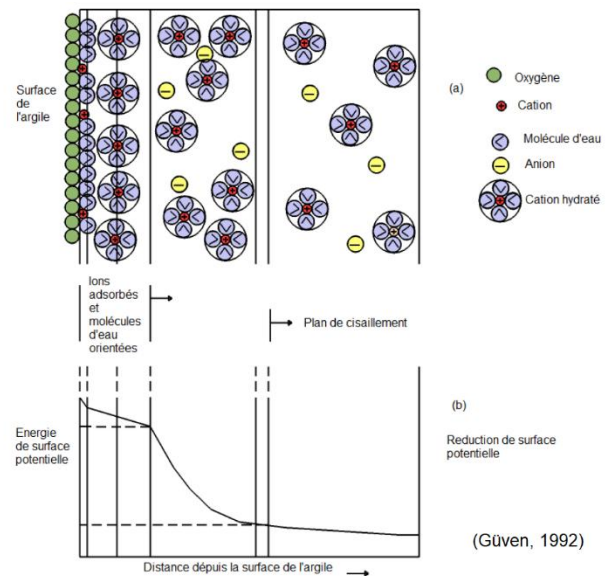


Figure 1. Schéma de principe du modèle Güven (1992)

2.2 Présentation du RemediaClay®

Développée aux États Unis au début des années 1980 par les ingénieurs Keller, la technologie RemediaClay®, composée d'eau, de potassium et de lignine (un composant du Bois), constitue aujourd'hui une méthode mature pour la stabilisation des sols argileux exposés au phénomène de retrait gonflement.

Ce procédé, appliqué sur un nombre significatif de chantiers sous voiries et bâtiments, repose sur l'injection à faible pression (< 1 bar) d'une solution ionique brevetée (WO 2020/153974 A1), formulée pour interagir durablement avec les minéraux argileux et en modifier les propriétés physico-chimiques. Cette

technologie vise à réduire la sensibilité hydrique des argiles et à limiter les déformations différentielles susceptibles d'affecter les infrastructures. Une évaluation environnementale, conformément aux protocoles CEN/TR 17105 et HP14, a montré l'absence d'impact écotoxique mesurable, tandis qu'une analyse sanitaire conclut à l'absence de risque pour la santé humaine.

2.3 Mise en œuvre in situ

La mise en œuvre des injections repose sur une séquence opérationnelle strictement définie visant à optimiser la diffusion de la solution ionique au sein de la zone argileuse active. Après la préparation du site et la sécurisation de l'emprise de travail, des forages de petit diamètre sont réalisés jusqu'à des profondeurs généralement comprises entre 1,5 et 3 m, correspondant à l'épaisseur de la couche argileuse sensible au retrait-gonflement. Le traitement s'appuie sur un maillage serré, typiquement de l'ordre de 0,6 à 1 m, disposé en maille triangulaire, permettant d'assurer un recouvrement optimal des volumes traités et de garantir une homogénéité de l'échange cationique au sein du massif (Figure 2).

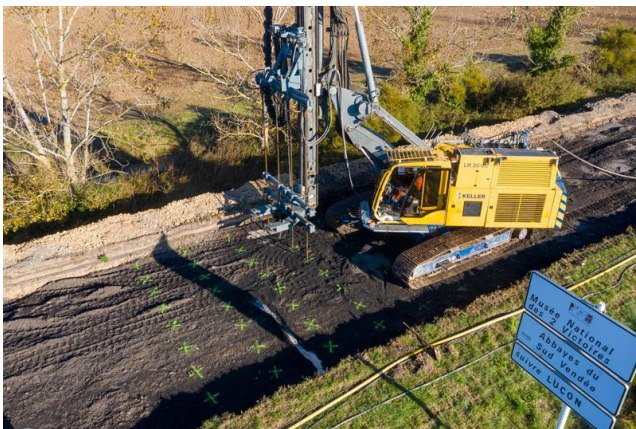


Figure 2. Vue aérienne de l'injection du RemediaClay® (© Keller)

La solution, constituée d'ions potassium et ammonium en solution aqueuse et associée à un polymère naturel, est ensuite injectée à faible pression par passes successives de 30 à 40 cm en remontée de forage. Ce protocole favorise un contact étroit entre la solution et les feuillettes argileuses, condition essentielle à la substitution des cations natifs hautement hydratés par des cations faiblement hydratés, responsables de la réduction des pressions de gonflement. Afin de garantir l'efficacité du traitement, on veille à ce que la solution reste toujours neutre, quitte à ajouter légèrement de la soude caustique lorsque l'eau utilisée présente une tendance acide.

3 EXPERIMENTATIONS IN SITU

3.1 Description des sites RD 921 et RD 746

3.1.1 Site de la RD 921 dans le Loiret (45)

La figure 3 montre la localisation du site d'étude RD 921 situé entre les deux communes de Courcy-aux-Loges et Sully-la-Chapelle. Il s'agit d'une portion de 400 m bordée des deux côtés par des zones boisées très denses. La chaussée a connu des dommages dus au RGA avec des fissures longitudinales et tassements différentiels.

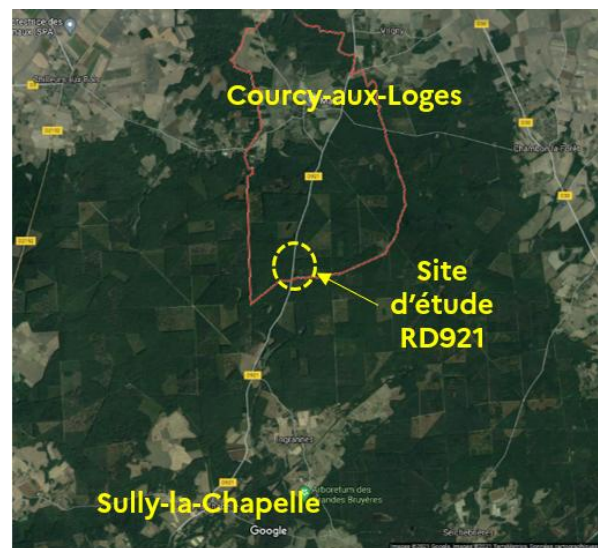


Figure 3. Localisation du site d'étude RD 921 (©Google)

3.1.2 Site de la RD 746 dans le Vendée (85)

Le site d'étude est localisé le long de la route départementale RD 746, à l'entrée de la commune de L'Aiguillon sur Mer, dans le sud du département de la Vendée comme illustrée sur la Figure 4.



Figure 4. Localisation du site d'étude RD 746 (BDOrtho ©IGN)

La chaussée y est construite en remblai d'une hauteur comprise entre 1,50 m et 2,00 m, bordée au nord par un étier et au sud par un fossé, avec une

végétation basse sur les accotements. Des fissurations d'adaptation ainsi que des tassements localisés de la chaussée ont été observés sur plusieurs zones du tronçon étudié.

3.2 Reconnaissances géotechniques initiales

3.2.1 Site de la RD 921 dans le Loiret (45)

Afin d'identifier les profondeurs à traiter, des essais de mécanique des sols ont été réalisés sur des prélèvements de sol sur la RD 921, qui ont permis d'identifier des sols argileux de nature très plastique (indice de plasticité $I_p > 40$) jusqu'à 2,5 m de profondeur (Figure 5). Parmi les résultats de ces essais, l'amplitude moyenne de déformation de gonflement est d'environ 12% et l'amplitude de déformation de retrait est de l'ordre de 21%.

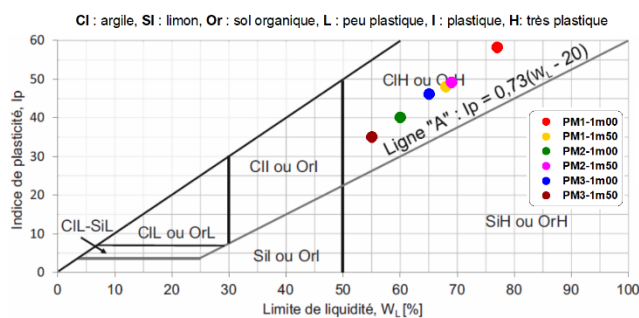


Figure 5. Diagramme de Casagrande pour la classification des sols fins

3.2.2 Site de la RD 746 dans le Vendée (85)

Une étude géotechnique a été menée afin de caractériser de manière approfondie les sols en place. Le programme d'investigation comprenait :

- cinq sondages de reconnaissance réalisés à la tarière 63 mm, descendus jusqu'à 10 m de profondeur par rapport au terrain naturel actuel ou interrompus prématurément lorsque le substratum rocheux était atteint sur au moins un mètre ;
- cinq essais au pénétromètre dynamique, réalisés conformément à la norme NF EN ISO 22476-2, et arrêtés soit à une profondeur de 10 m, soit au refus du matériel.

Les sondages réalisés à la tarière ont permis d'établir la coupe géologique du site, de prélever des échantillons en vue d'analyses de laboratoire, et d'évaluer la sensibilité des sols au phénomène de RGA. L'implantation des points d'investigation a été conçue de manière à vérifier la nature, la continuité et l'homogénéité des formations rencontrées sur les sections correspondant aux futures zones d'expérimentation.

La reconnaissance géotechnique a révélé, sous la chaussée et les remblais, la présence de sols argileux

de très faible consistance sur une épaisseur moyenne de 3,0 m, surmontant des sables argileux légèrement plus compacts jusqu'au substratum marno-calcaire, identifié entre 7,50 m et 9,00 m de profondeur suivant les sondages.

Les argiles molles identifiées sont classées A3th et présentent une forte susceptibilité au RGA. Elles sont saturées, avec des teneurs en eau comprises entre 20 % et 70 %, et se caractérisent par une plasticité élevée. Deux facteurs importants – le comportement compressible et la sensibilité marquée au retrait-gonflement de ces matériaux – sont confirmés sur une épaisseur d'environ 3,0 m.

3.3 Plan d'implantation des injections

3.3.1 Site de la RD 921 dans le Loiret (45)

Les travaux d'injection du RemediaClay® ont été réalisés à l'aide d'une foreuse dotée d'un dispositif spécialement conçu pour cette expérimentation. Les injections sont appliquées dans le sol uniquement sous accotements suivant 2 ou 3 lignes à différentes profondeurs (1,5 m ; 2,0 m et 2,5 m). Ainsi, 3 planches d'essais de 385 m au total ont été définies :

- PL1 : une première planche de 120 m confortée des deux côtés (Figure 6),

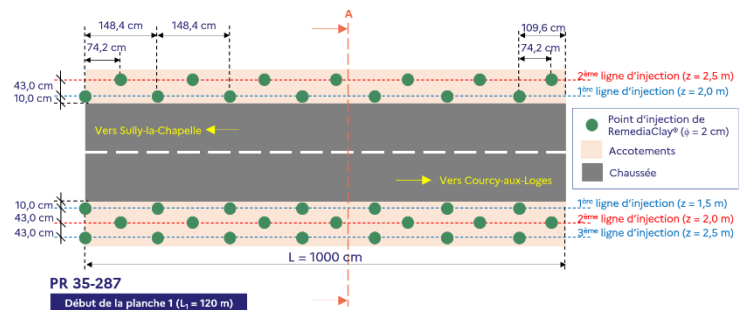


Figure 6. Plan d'injection de la planche PL1

- PL2 : une planche intermédiaire de 165 m non confortée (témoin), et
- PL3 : une troisième planche de 100 m confortée d'un seul côté (Figure 7).

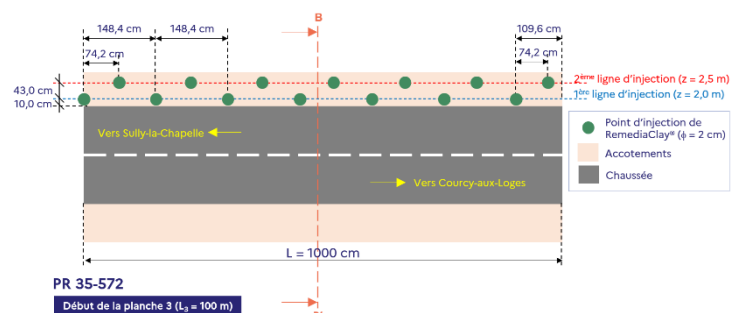


Figure 7. Plan d'injection de la planche PL3

3.3.2 Site de la RD 746 dans le Vendée (85)

L'épaisseur de sol traité correspond à la frange d'argile sensible aux variations hydriques. Il a été réalisé le traitement de deux zones de 40 m selon les modalités suivantes :

- Zone 1 : en paroi latérale accotement et rive chaussée de chaque côté de la chaussée (Figure 8).

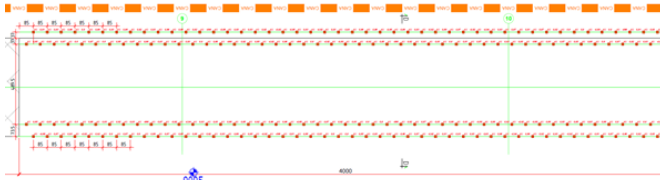


Figure 8. Plan d'injection de la zone 1

Cette configuration correspond à la solution la plus légère retenue. Elle est comparable à la disposition expérimentale de la RD 921. Des études antérieures montrent que les variations d'hydrométrie, et par conséquent les amplitudes de retrait gonflement, sont généralement plus marquées en bordure de chaussée qu'en zone centrale. Cette observation a conduit à envisager la création de « barrières traitées » sur les deux marges de la route.

Le dispositif prévu comporte un traitement jusqu'à 4,5 m de profondeur, soit en dessous du niveau piézométrique mesuré, afin de prendre en compte les fluctuations de la nappe. Deux rangées de points de traitement sont prévues, disposées selon une maille triangulaire de 0,85 m, conforme aux configurations habituellement utilisées par l'entreprise.

- Zone 2 : sur toute la largeur de la chaussée.

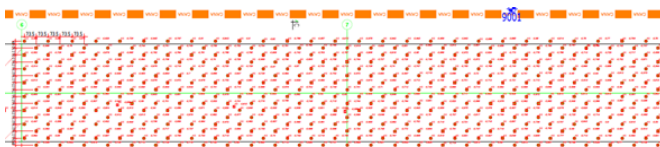


Figure 9. Plan d'injection de la zone 2

Cette configuration inédite vise à évaluer l'efficacité du traitement par comparaison avec la zone implantée en rive et sur l'accotement, via l'analyse croisée des amplitudes de déformation de la chaussée. Les dispositions adoptées sont similaires à celles du plot d'essai précédent, à l'exception du traitement de l'ensemble du sol sur une largeur de 7 m sous la chaussée, selon une maille triangulaire de 0,735 m.

Dans les deux configurations d'implantation, rive/accotement et toute largeur de chaussée, la foreuse permet de traiter quatre points d'injection simultanément. Afin d'observer l'évolution de la structure de chaussée et d'évaluer l'efficacité des zones traitées par injection du RemediaClay®, une

zone témoin, laissée exempte de tout traitement, a été délimitée sur une longueur de 50 m.

3.4 Instrumentation de suivi

3.4.1 Site de la RD 921 dans le Loiret (45)

Afin d'évaluer l'apport de cette solution, deux profils d'instrumentation de suivi ont été mis en place au milieu des planches PL1 et PL3. Il s'agit de sondes de teneur en eau volumique de type Waterscout SM100 implantées entre 0,5 et 2,5 m de profondeur (Figure 10) permettant un suivi en continu et à distance.

Au total, 4 tranchées de 0,5 m de profondeur et 0,5 m de largeur ont été réalisées au niveau des accotements, afin de raccorder les sondes aux centrales d'acquisition au niveau de chaque instrumentation. Le suivi et l'interprétation des résultats était prévu durant au moins 3 périodes de sécheresse, jusqu'en 2024.

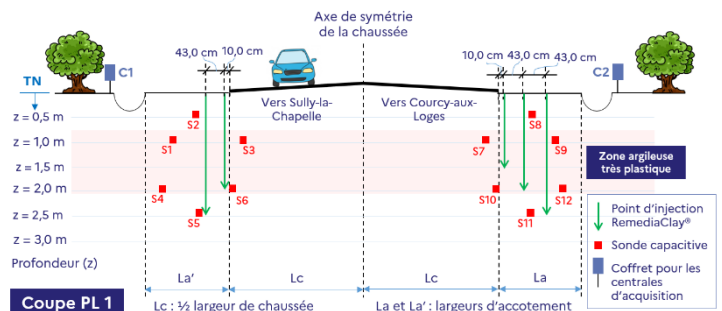


Figure 10. Coupe transversale du profil d'instrumentation

3.4.2 Site de la RD 746 dans le Vendée (85)

Pour suivre l'évolution des solutions techniques testées sur ce site, deux types principaux de suivi ont été mis en place (Figure 11) :

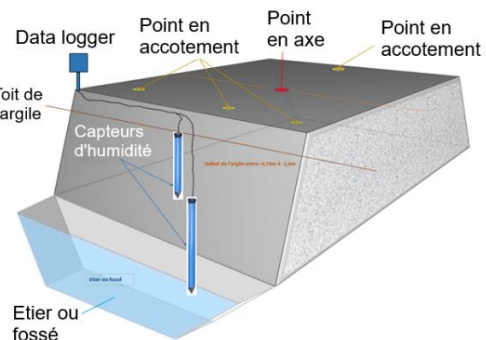


Figure 11. Schéma d'implantation de l'instrumentation de suivi RD 746

- Un suivi topographique a permis de mesurer les déformations de la chaussée et de comparer l'évolution des zones traitées et de la zone témoin.
- Un suivi hydrique a évalué l'efficacité des traitements appliqués, notamment en termes d'étanchéité latérale potentielle.

- Un suivi visuel des dégradations et remontées de fissures a été réalisé. Ces mesures ont été conduites pendant trois ans après les travaux.

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Site de la RD 921 dans le Loiret (45)

La figure 12 synthétise le bilan de suivi de la teneur en eau volumique du sol de 2021 à 2025 au niveau de la planche PL1 (côté traité avec deux lignes d'injection).

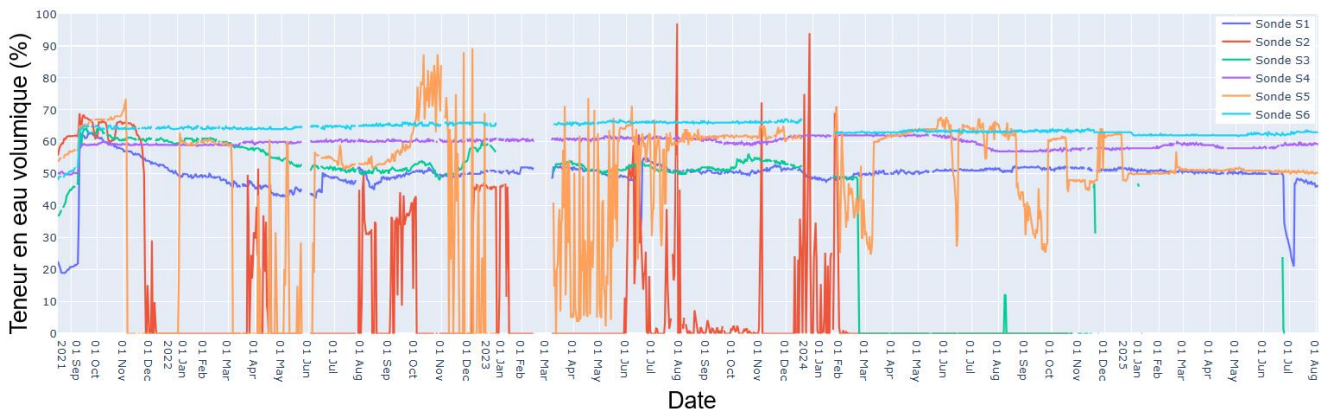


Figure 12 . Suivi de la teneur en eau volumique du sol entre 2021 et 2025 au niveau de PL1 côté deux lignes d'injection

4.2 Site de la RD 746 dans le Vendée (85)

Pour analyser le suivi topométrique, ces courbes ont été établies en moyennant les mesures réalisées par zone. Les repères situés en limite de zone ont été exclus des calculs, car ils peuvent être affectés par des effets de bord. Le zéro de référence correspond à la position initiale des repères au début des mesures. Les valeurs ultérieures représentent la différence d'altitude, en centimètres, par rapport à cette position initiale.

La figure 13 présente une comparaison de la déformation moyenne longitudinale entre les 3 zones : traitement en rive, pleine largeur et témoin.

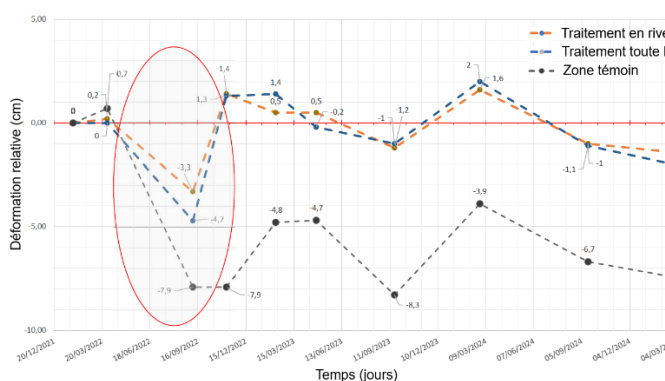


Figure 13. Comparaison de la déformation moyenne longitudinale

Les données collectées de l'instrumentation in situ montrent quelques pertes et incohérences ponctuellement. Cette tendance a également été observée sur l'autre côté de PL1 ainsi que les deux côtés de PL3. Cela interroge sur la faisabilité d'interprétation des résultats.

Le suivi photographique durant ces années ne met pas en évidence des déformations ou des fissures sur l'ensemble des planches d'essais y compris PL2 non traitée et gardée comme témoin. Ce constat est également valable en dehors de la zone d'étude mais à proximité immédiate sur la même chaussée.

Les déformations maximales observées dans la zone témoin atteignent 8,6 cm, il s'agit de la sécheresse 2022, particulièrement marquée (représenté par un cercle rouge dans le graphique).

Pour les traitements par injection de solution anionique, les amplitudes maximales diminuent significativement par rapport à la zone témoin : 4,8 cm en rive et 6,1 cm en pleine largeur. Le traitement en pleine largeur n'améliore pas notablement les résultats par rapport au traitement en rive.

La figure 14 présente une comparaison de la déformation moyenne du profil en travers entre les 3 zones : traitement en rive, pleine largeur et témoin.

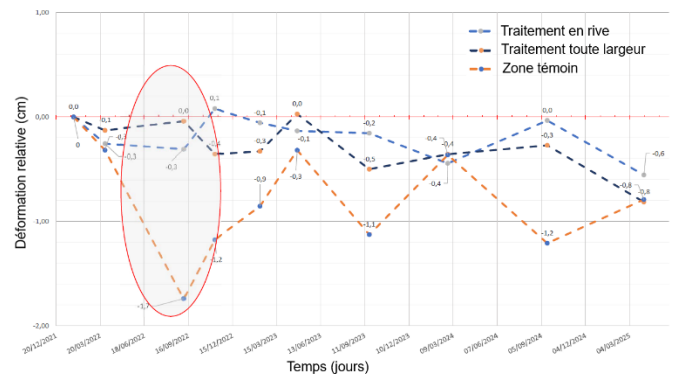


Figure 14. Comparaison de la déformation moyenne du profil en travers

La zone témoin présente des variations saisonnières typiques, avec des tassements entre mai et septembre (déficit hydrique) et des gonflements entre octobre et avril (période pluvieuse). L'été 2022 marque la plus forte amplitude, atteignant 1,7 cm (décembre 2021-septembre 2022, cercle rouge).

Les sections traitées affichent une amplitude bien moindre, avec 0,6 cm pour le traitement en rive et 0,5 cm pour le traitement toute largeur, ce qui démontre une réduction de l'impact dû aux variations saisonnières, y compris lors des sécheresses de 2022 et 2023. Ces déformations en profil en travers confirment une réduction notable des mouvements, cohérente avec les observations en profil en long sur les trois ans de suivi.

Les relevés visuels des dégradations de 2021 à 2024 révèlent des différences marquées (Figure 15). La zone témoin affiche une réapparition des fissures et tassements, notamment après les étés secs de 2022 et 2023. Les deux sections traitées par injection de solution cationique ne présentent aucun désordre visible à ce stade de suivi.

Les résultats du suivi des capteurs d'humidité révèlent une réduction globale de l'assèchement des sols sur les deux premiers mètres dans les zones injectées. Au-delà de 2,50 m/TN, le fonctionnement des sondes a été potentiellement influencé par des paramètres extérieurs ou perturbé par les solutions injectées, empêchant une conclusion précise sur l'action en profondeur des injections.

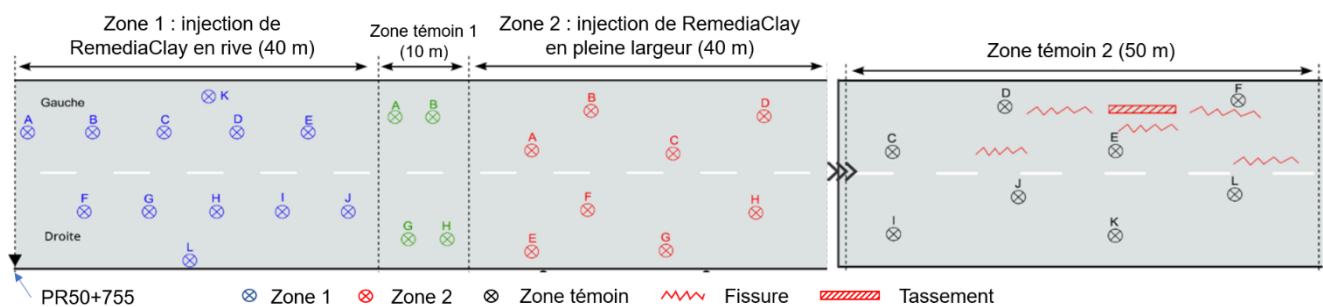


Figure 15 . Schéma des clous d'arpentage et du relevé visuel des dégradations

4.3 Discussions

Le suivi en termes de variations de la teneur en eau volumique du sol traité par injection de RemediaClay® et non traité sur le site de la RD 921 ne permet encore de dégager une tendance nette sur l'apport de la stabilisation chimique. En se basant sur la qualité des mesures issues des sondes Waterscout SM100 et les pertes associées, la zone d'étude semble moins subir la dessiccation durant les périodes de sécheresse. Par ailleurs, le suivi visuel ne montre pas de dommages sur l'ensemble des planches depuis 2021.

Cependant, cela permet de constater que l'instrumentation utilisée n'est probablement pas adaptée au contexte de ce type de sol et la configuration du site. Un autre facteur devrait également être pris en compte dans les prochains chantiers : il s'agit de la rénovation de la couche de roulement faite systématiquement après les travaux de pose de la solution et de l'instrumentation. Cela pourrait avoir une influence sur le comportement de la chaussée et l'interprétation des résultats.

Le suivi de trois ans sur le site de la RD 746 à Saint-Michel-en-l'Herm met en évidence l'efficacité des injections pour réduire les déformations de la chaussée. Une réduction significative des

déformations longitudinales et transversales a été observée dans les sections traitées avec des rapports respectifs de 2 et 3 par rapport aux zones non traitées. Les injections en rive sur deux lignes se révèlent aussi efficaces que celles en pleine largeur, sans reprise de dégradations à ce jour. Les zones non traitées montrent une reprise des dégradations dès l'été 2022. Le traitement diminue ainsi l'amplitude des mouvements, réduisant la fréquence des reprises de chaussée.

L'un des enseignements reste que le fonçage des lances d'injection s'est heurté à un refus dans les remblais blocailleux constituant la chaussée existante. Cette contrainte de mise en œuvre impose soit une adaptation du dispositif d'injection, soit une limitation du champ d'application de la méthode. Dans le cas étudié, le décaissement complet de la chaussée, nécessaire pour traverser l'ensemble des matériaux granulaires, a entraîné un allongement notable des délais d'exécution ainsi qu'un surcoût significatif. L'intégration de dispositifs de forage empruntés à la géotechnique, tels que des tarières creuses ou des têtes tricône, pourrait constituer une alternative pertinente pour surmonter ces difficultés.

5 CONCLUSIONS

Dans cette étude, les résultats de suivi de deux expérimentations in situ de la technique de stabilisation chimique des sols argileux par injection du RemediaClay® ont été présentés et discutés.

Le choix des techniques d'injection doit être raisonné en fonction de la zone à traiter. En périphérie d'ouvrage, la probabilité de rencontrer des éléments fortement résistants ou des couches granulaires compactes reste a priori plus faible qu'en pleine section. Dans tous les cas, la réalisation doit s'appuyer sur une étude géotechnique préliminaire permettant d'adapter les conditions d'exécution. La mise en place d'une planche de convenue en début d'intervention apparaît également judicieuse, notamment en raison du caractère innovant des équipements et procédés employés.

Enfin, il est nécessaire de vérifier les conditions environnementales d'emploi de ces produits, notamment en ce qui concerne leur écotoxicité. Une attention particulière doit être portée à la collecte et à l'évacuation des éventuels résidus ou surplus issus des opérations d'injection.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les départements du Loiret (45) et de la Vendée (85) pour leur soutien financier et appui technique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blacklock, J. R. and Pengelly, A. D. (1988). Soil treatment for foundations on expansive clays. Special Topics in Foundations, B. M. Das, ed., ASCE, New York, USA, pp. 73-92.
- Guen, N. (1992). Molecular Aspects of Clay/Water interactions, Clay-Water Interface and its Rheological Implications, CMS Workshop Lectures, Vol. 4, The Clay Minerals Society, pp 1-79.
- Petry, T. M. and Little, D. N. (2002). Review of stabilization of clays and expansive soils in pavement and lightly loaded structures – History, practice and future. Journal of Materials in Civil Engineering, 14 (6), 447-460.