

WEBINAIRE OBSERVATOIRE NATIONAL DES ROUTES SINISTRÉES PAR LA SÉCHERESSE CONVENTION « ROUTES DES MARAIS »

Synthèse de l'étude 2020-2025

13/11/2025

Xavier CHARRIER – Sébastien HERVE – Conseil Départemental de Vendée
Cerema Angers

SOMMAIRE

Introduction

- Contexte
- Mécanisme
- Présentation des 3 sites test et catégorie de remédiation

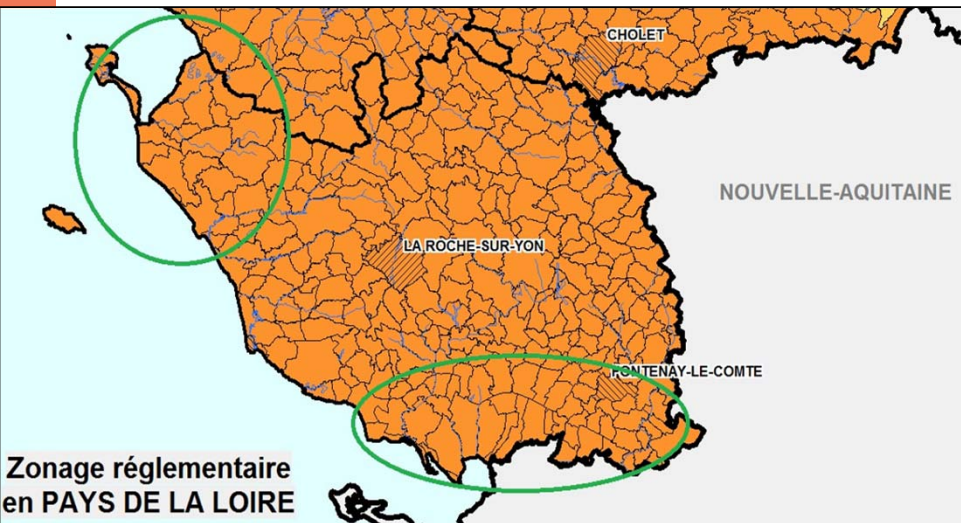
Solutions de confortement

- RD68 St Sigismond : géogrid alvéolaire
- RD746 St Michel-en-l'Herm : injection de Remediacy et de lait de chaux
- RD82 Le Perrier : renforcement mécanique par soil mixing

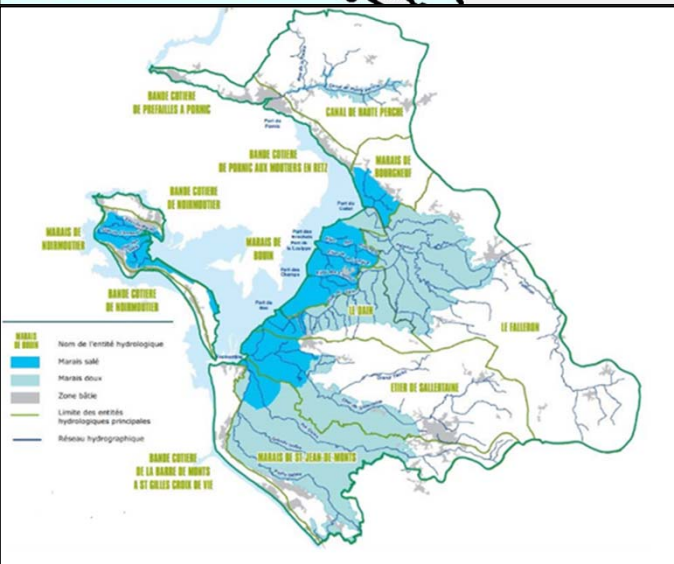
Observation et tendances

- Résultats des suivis
- Conclusions – Analyse technico-économique

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

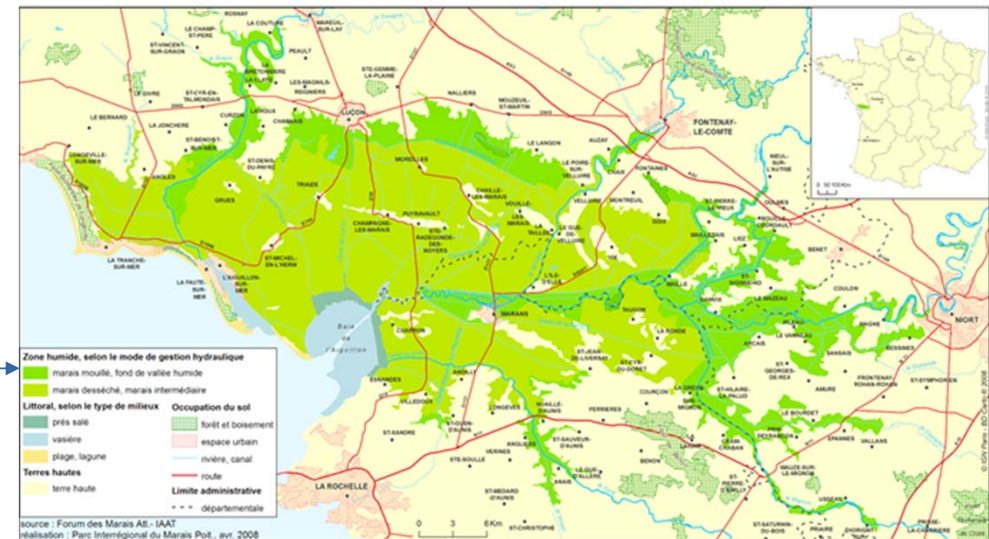


- Région des Pays-de-la-Loire dans le département de la Vendée
5 agences départementales
- Contexte géologique de « **marais** » : Marais Breton et Marais Poitevin
- Argiles du « Bri », teneur en eau et plasticité très élevées
- Forte compressibilité
- Un réseau hydraulique dense de fossés, étiers et canaux permet de réguler le niveau d'eau dans ces zones



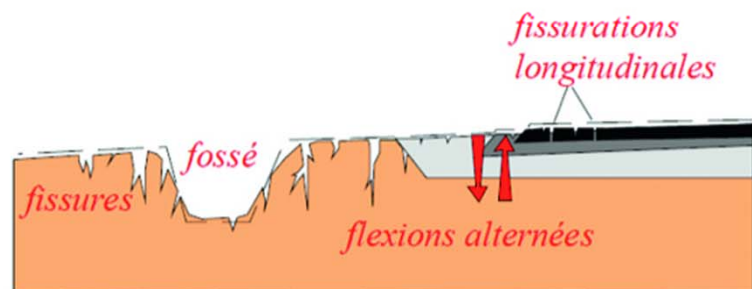
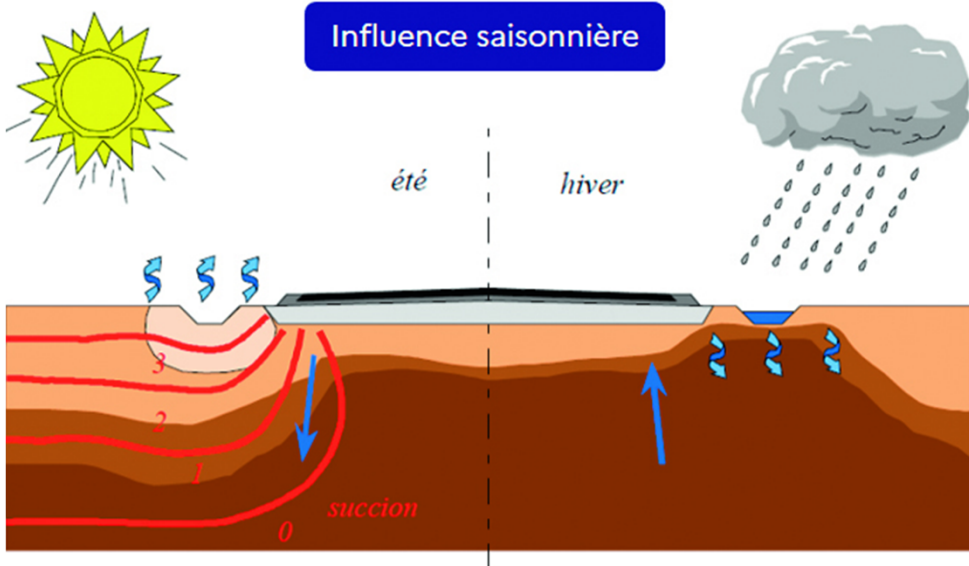
Marais Breton
Constitué de polders,
protégé par des digues

Marais Poitevin
Divisé en 2 zones :
desséchée et mouillée

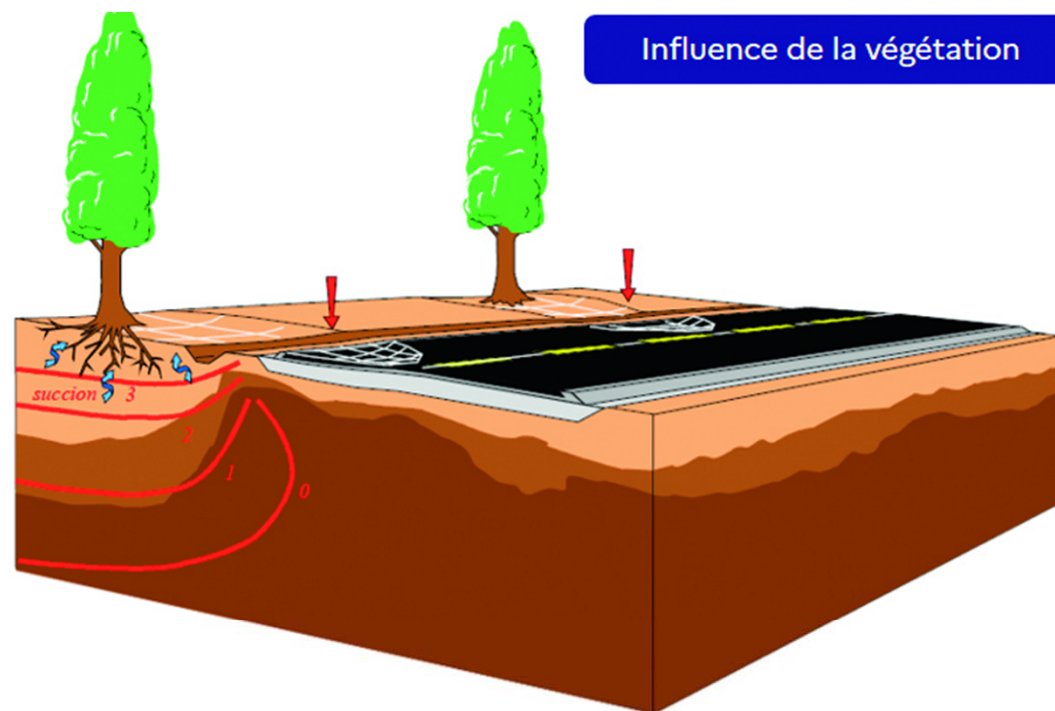


Mécanismes des désordres liés au RGA

Influence saisonnière



Influence de la végétation



Les sols argileux très plastiques sont affectés par les variations de la teneur en eau au niveau des couches supérieures fortement exposées aux conditions climatiques et aux facteurs de l'environnement proche : il s'agit de la « zone active » ou « zone de fluctuations saisonnières » (Nelson and Miller, 1992)



Exemples de désordres RGA observés en Vendée
(27 diagnostics de voirie menés)



Tous les désordres ne sont pas que liés au RGA : exemple d'instabilité de talus



TROIS SITES D'ÉTUDE RETENUS

RD68 commune de Saint-Sigismond (Sud-Est Vendée) – Catégorie 1

Renforcement de la structure de chaussée :

- Géo-grilles 3D / 1 couche
- Géo-grilles 3D / 2 couches

RD746 commune de Saint Michel-en-L'Herm (Sud-Est Vendée) – Catégorie 3

Renforcement des sols par injection de solution technique liquide :

- Remediacyl®
- Lait de chaux (LSPI)

RD82 commune de Saint Jean-de-Monts (Nord-Ouest Vendée) – Catégories 3 et 2

Renforcement des sols par :

- Injection solide
- Springsol®
- SoilMixing (encapsulage)

@Cerema

INSTRUMENTATION DU SITE

Mesure de la déformation des sols par nivellement laser

- Séries de clous d'arpentage installés dans la chaussée en axe et rive après réalisation des planches d'essais.
- Point de référence « fixe » sert de base de mesure afin de déterminer la déformation absolue.
- Des relevés topographiques sont effectués plusieurs fois dans l'année (saisonnalité)
- Mesure de la déformation absolue (profil en long).
- Mesure de la déformation relative axe/rive (profil en travers).

Mesure de la teneur en eau volumique des sols

- Sondes équipées de capteurs d'humidité, installées dans le sol à des profondeurs choisies.
- Abonnement sur site hôte avec possibilité de lecture des mesures en direct.

Relevés de dégradation visuel, apparition de fissures

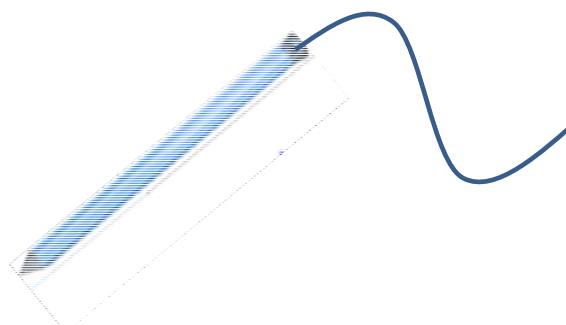
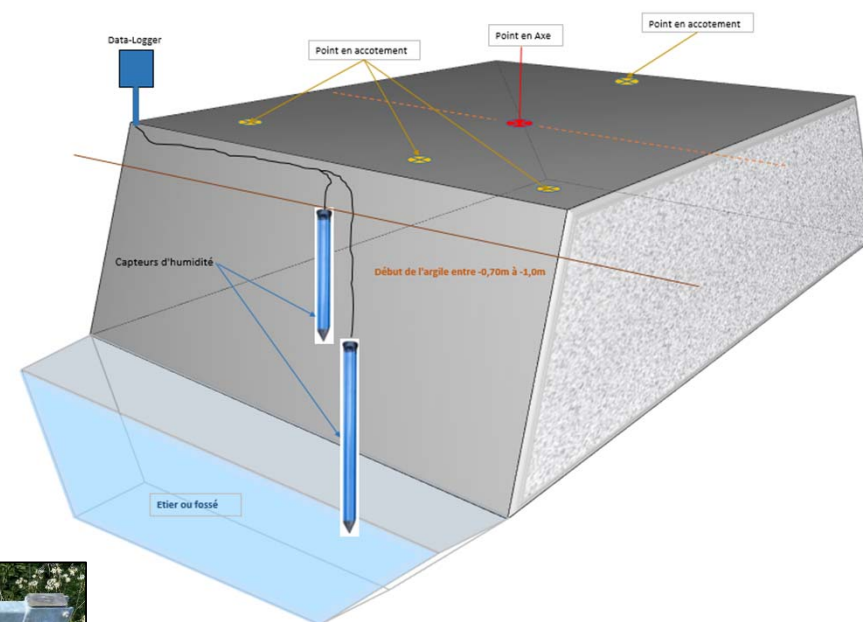
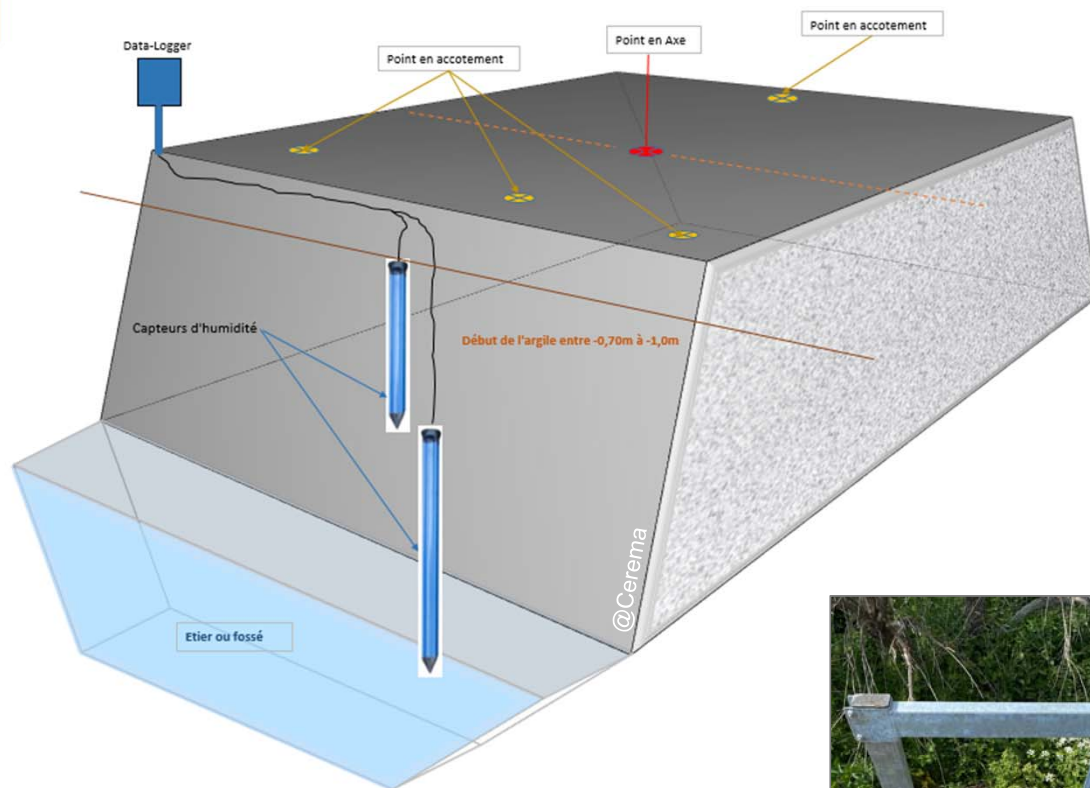


Schéma de principe capteur d'humidité et Nivellement laser



Boîtier d'enregistrement « data-logger »,
alimentation par panneaux solaires,
transmission des données par ondes radio



Sondes entre 1,20m et 3,30m de profondeur

- 1 couple de sonde en **zone témoin**
- 1 couple de sonde en **zone test**

Accès à l'hébergeur pour visualisation cartes et
données quotidiennes à annuelles

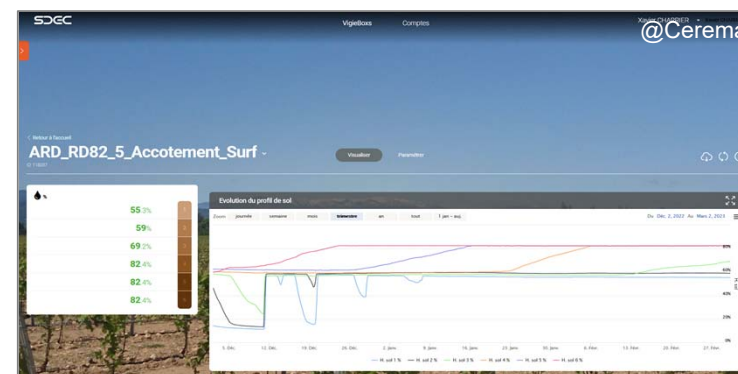
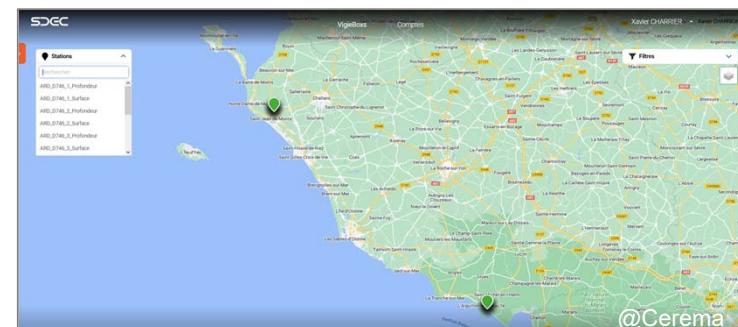
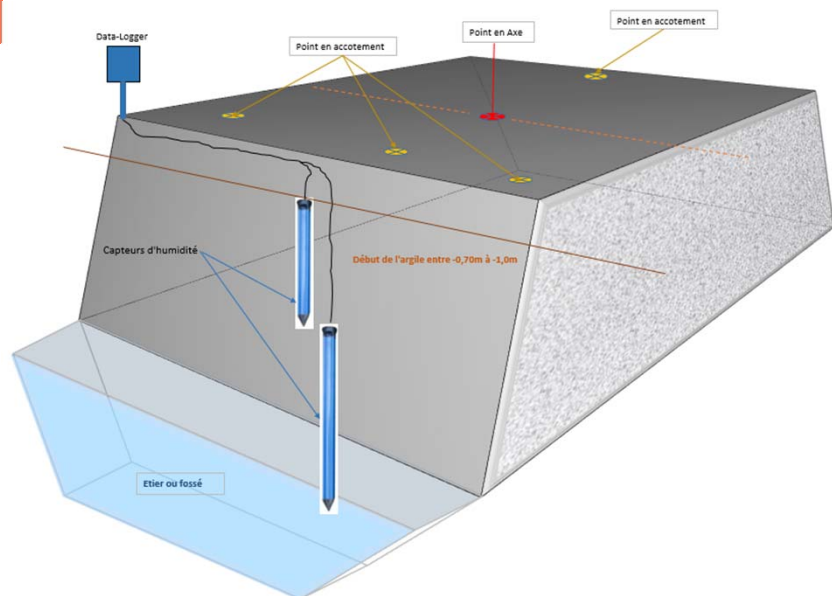


Schéma de principe capteur d'humidité et Nivellement laser



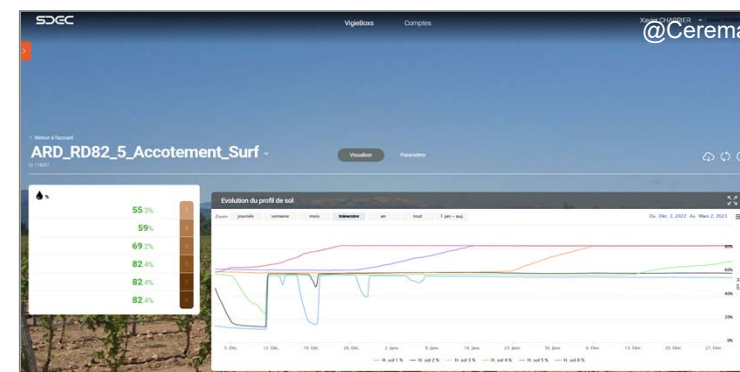
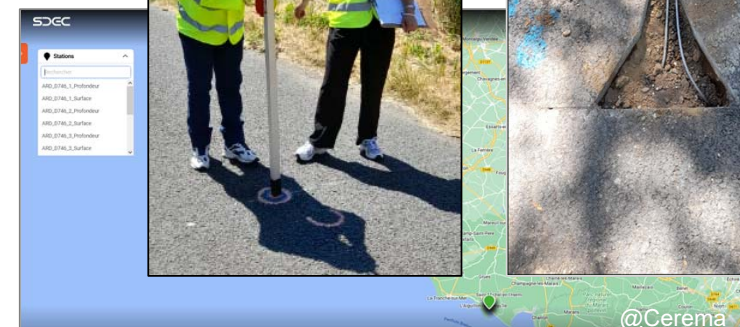
Boîtier d'enregistrement « data-logger »,
alimentation par panneaux solaires,
transmission des données par ondes radio



Sondes entre 1,20m et 3,30m

- 1 coup
- 1 coup

Accès à
donnée



Fontenay-le-Comte

Zone d'étude

ARD Luçon
Solution catégorie 1

Mise en place de géogrille 3 dimensions
entre le pont de la Ragée et celui de
l'Autise

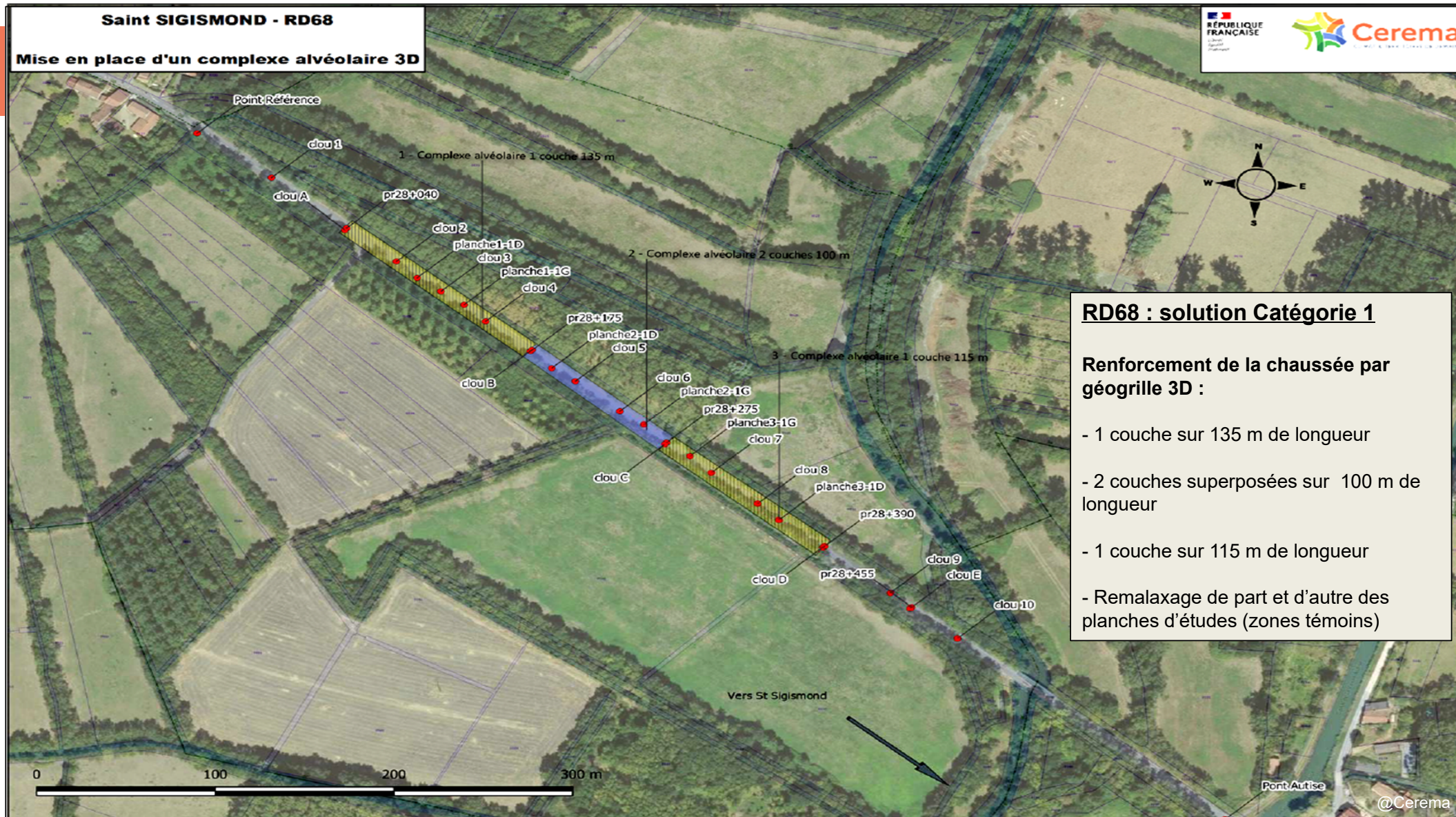


Niort



Saint SIGISMOND - RD68

Mise en place d'un complexe alvéolaire 3D



RD68 : solution Catégorie 1

Renforcement de la chaussée par géogrille 3D :

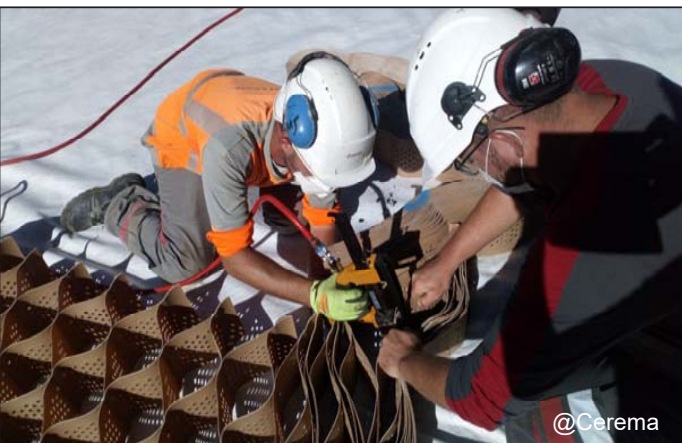
- 1 couche sur 135 m de longueur
- 2 couches superposées sur 100 m de longueur
- 1 couche sur 115 m de longueur
- Remalaxage de part et d'autre des planches d'études (zones témoins)

Étape 1 – Préparation

- décaisser la chaussée
- pose d'un géotextile

Étape 2 – Mise en place

- déploiement du complexe alvéolaire
- agrafage et cloutage de la géogrille 3D



Étape 3 – remblaiement

- Dépose de matériaux granulaire et/ou du rabotage
- compactage



Étape 4

- remise en état de la chaussée

Résultats à + 4 ans

Zone à 1 couche géogrille alvéolaire 135 m : Reprise modérée des fissures et tassements, aux passages de roue et en bordure d'accotement + nids de poule →



← *Zone à 2 couches géogrille alvéolaire présentant une fissure latérale et des tassements + nid de poule et faïençage* →



Déformations longitudinales

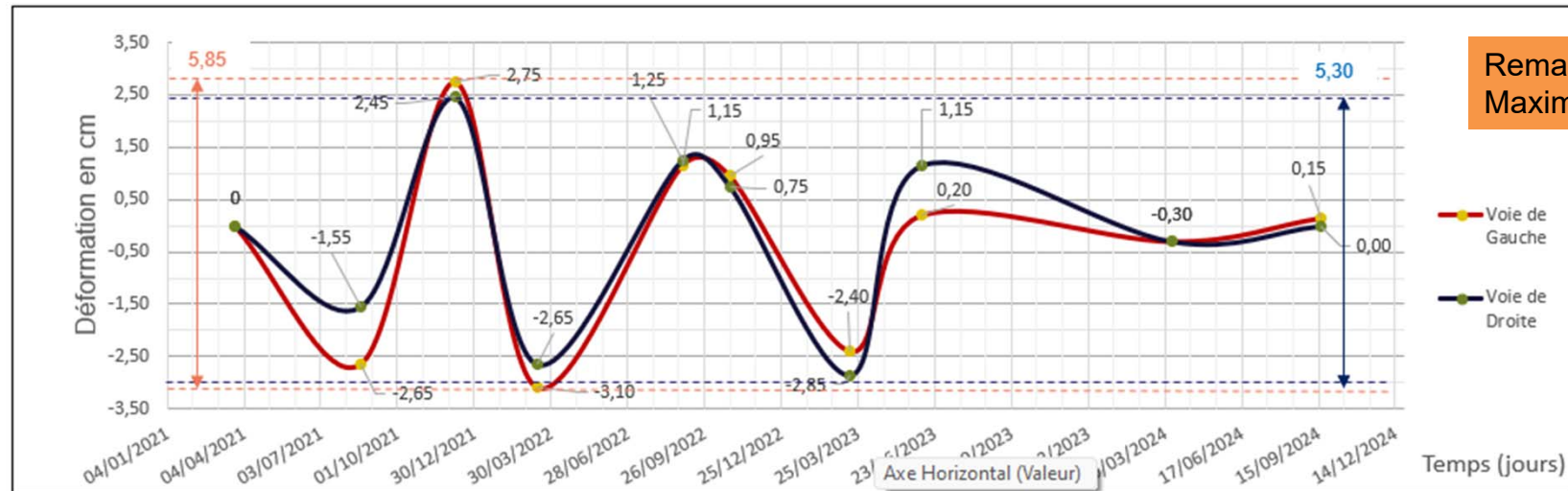


Illustration 22 : RD 68 Zone témoin Remalaxage 65 m – Déformation moyenne du profil en long.

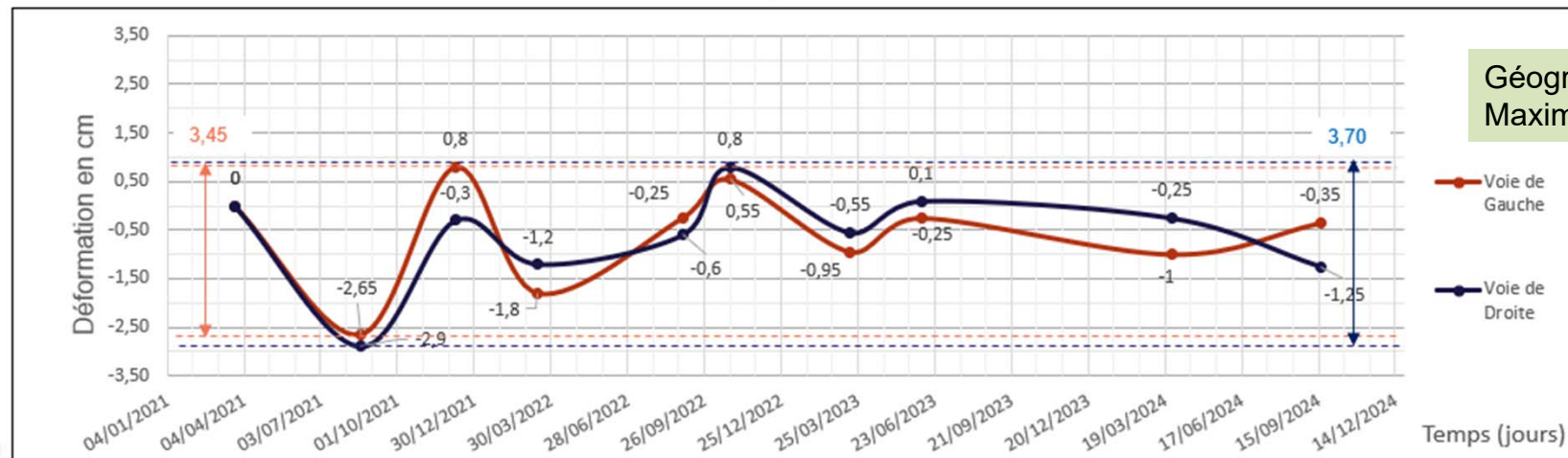


Illustration 23 : RD 68 Zone Complexe alvéolaire 1 couche 115 m – Déformation moyenne du profil en long.

Déformations profil en travers

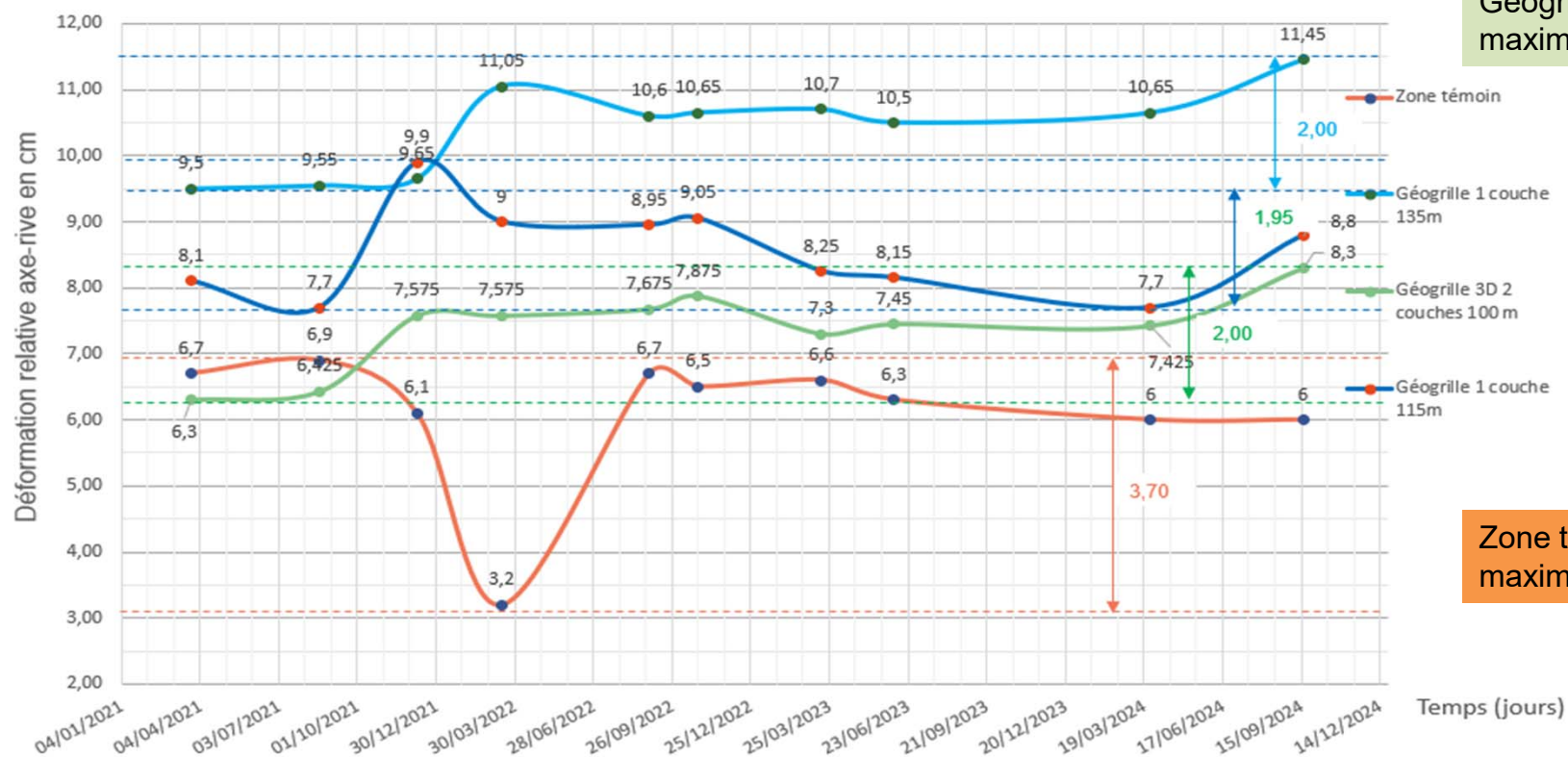


Illustration 26 : RD 68 – Déformation relative axe-rive des profils en travers.

=> Reprise rapide des désordres, mais réduction de 45 % des déformations transversales et de 40 % des déformations longitudinales. Pas d'effet supplémentaire « double géogrille ».

RD746 - St Michel en l'Herm

- REMEDIACLAY

- LSPI

Echelle 1:100000



ARD Luçon
Solution catégorie 3

**- Renforcement des sols
supports par injection de
solution technique liquide**

Zone d'étude

0 2.5 5 km

@Cerema

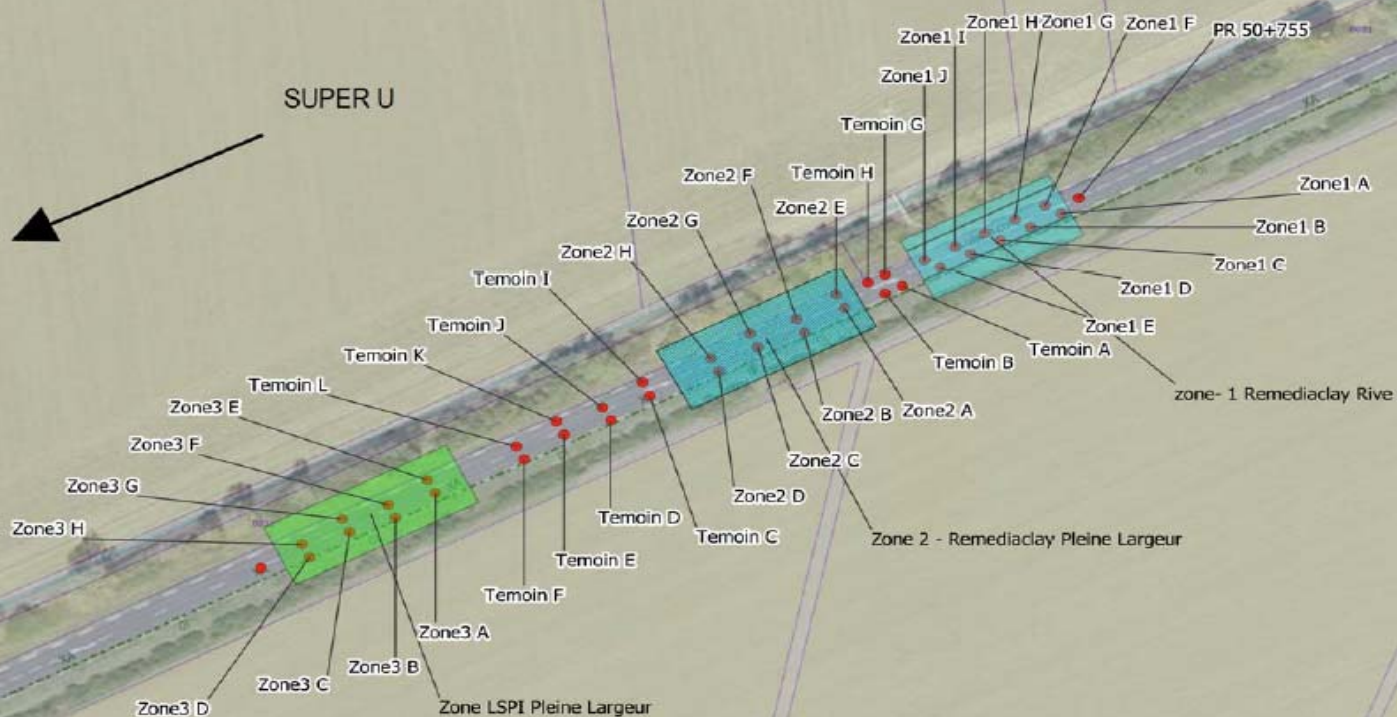


Plots d'essai REMEDIACLAY et LSPI

Zone 1 = 40 m

Zone 2 = 40 m

Zone 3 = 50 m



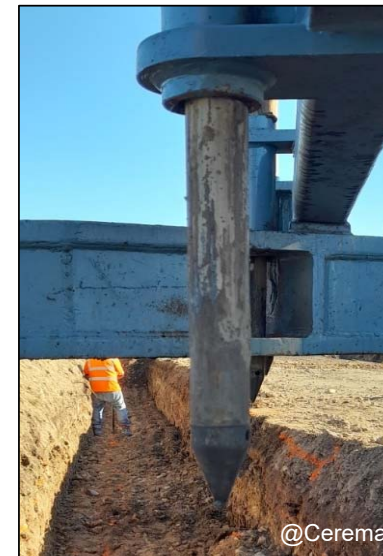
RD746 St Michel-en-L'Herm

- renforcement des sols supports par injection de solution technique liquide
- injection de « RemediaClay » sur 40 m linéaire en rive et accotement de chaussée
- injection de « RemediaClay » pleine largeur sur 40 m linéaire
- injection « LSPI » en pleine largeur sur 50 m linéaire
- zones témoins entre les planches traitées (50 m)

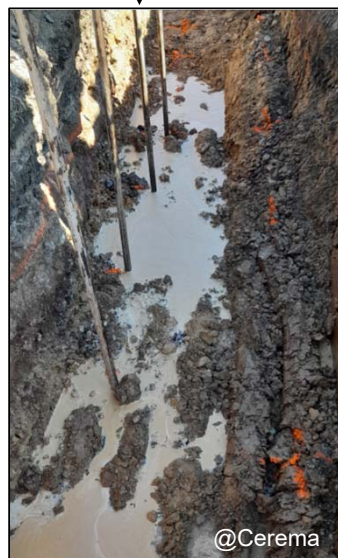
**Purge de la chaussée
jusqu'à l'argile naturelle**



Préparation de la solution Remediaclay®



Vérinage des pointes d'injection (si possible)



Quand ça ne passe pas !



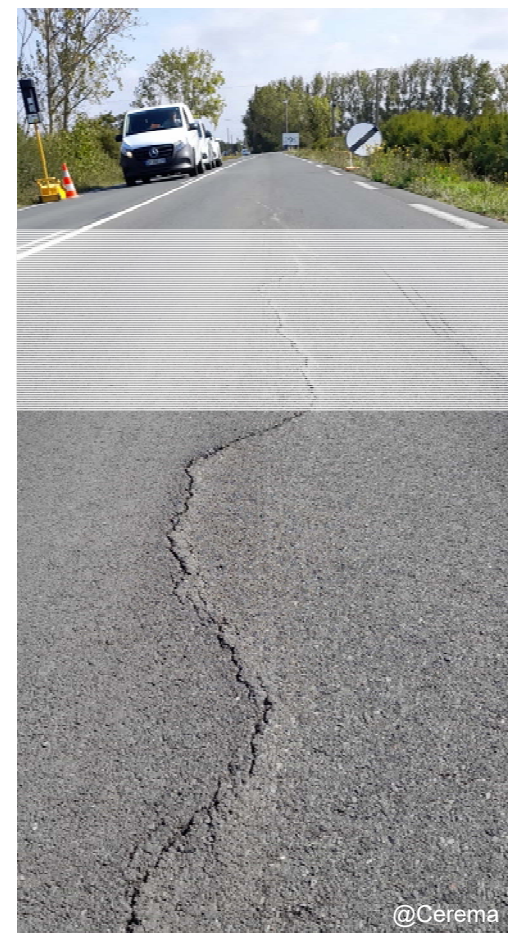
LSPI



Suivi à + 4 ans



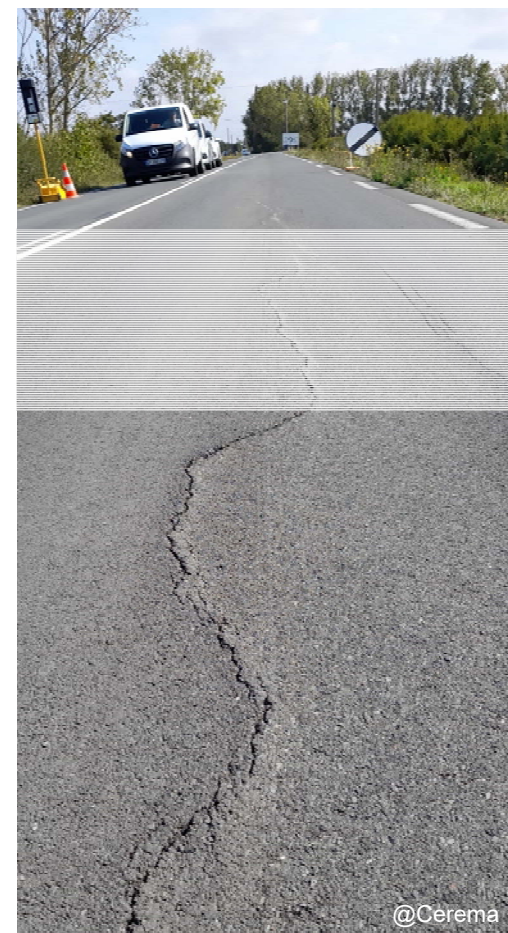
Section traitée Remediacyl latéralement



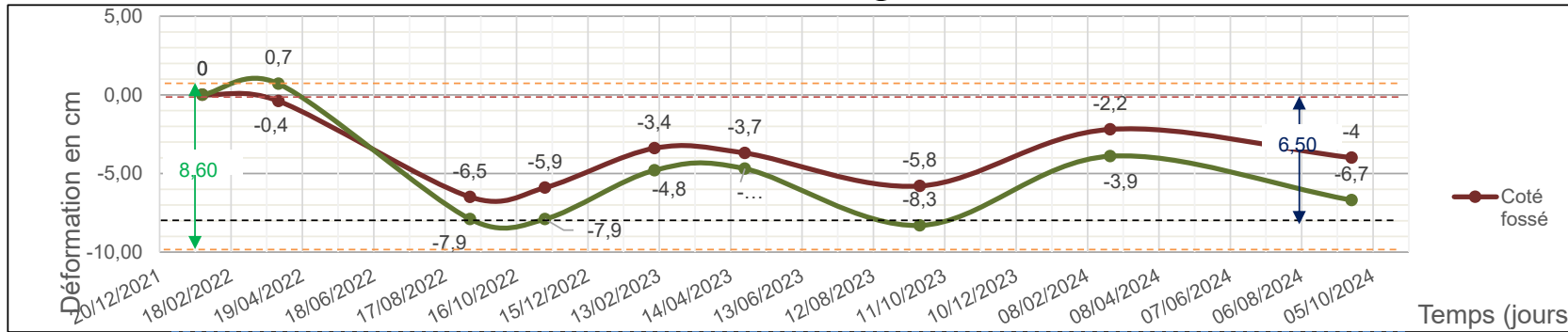
Section traitée
LSPI



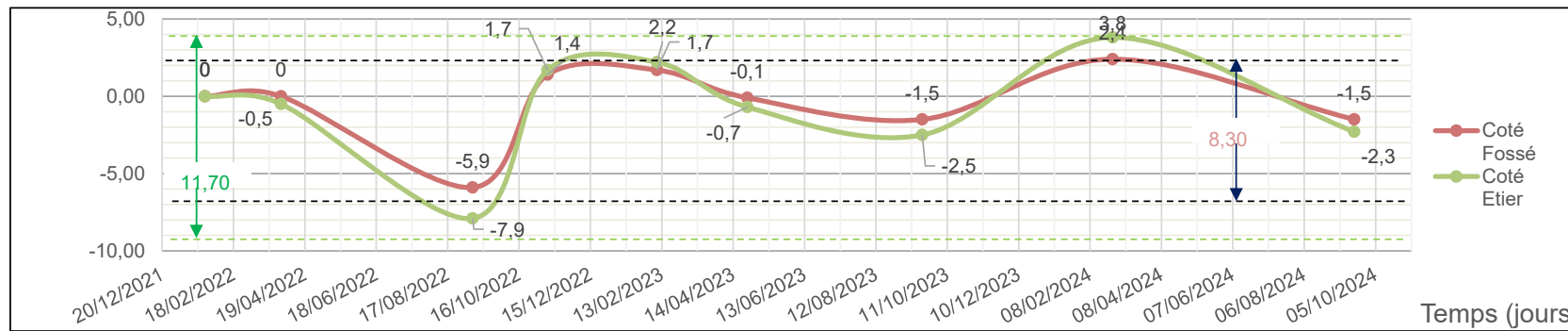
Section témoin



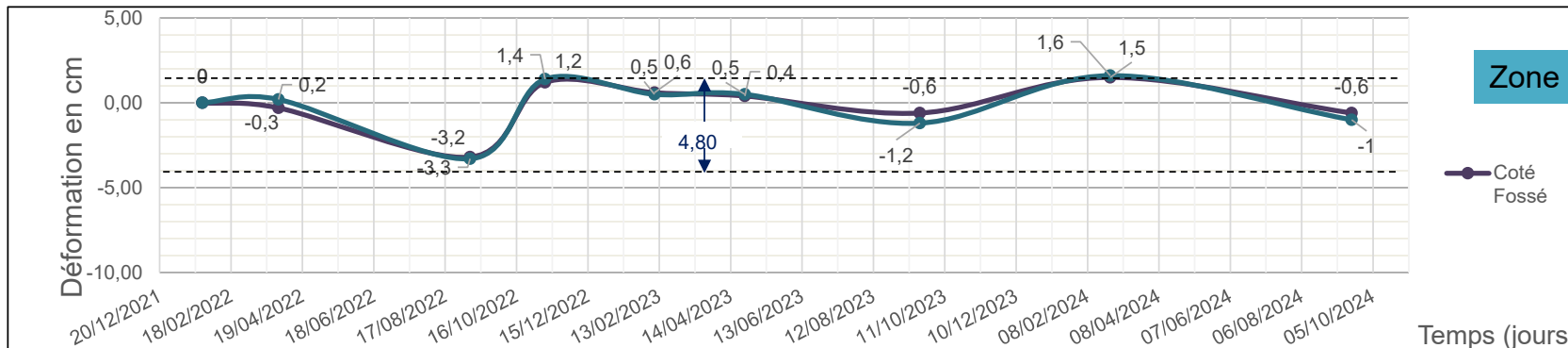
Déformations longitudinales



Zone Témoin = 8,60 cm

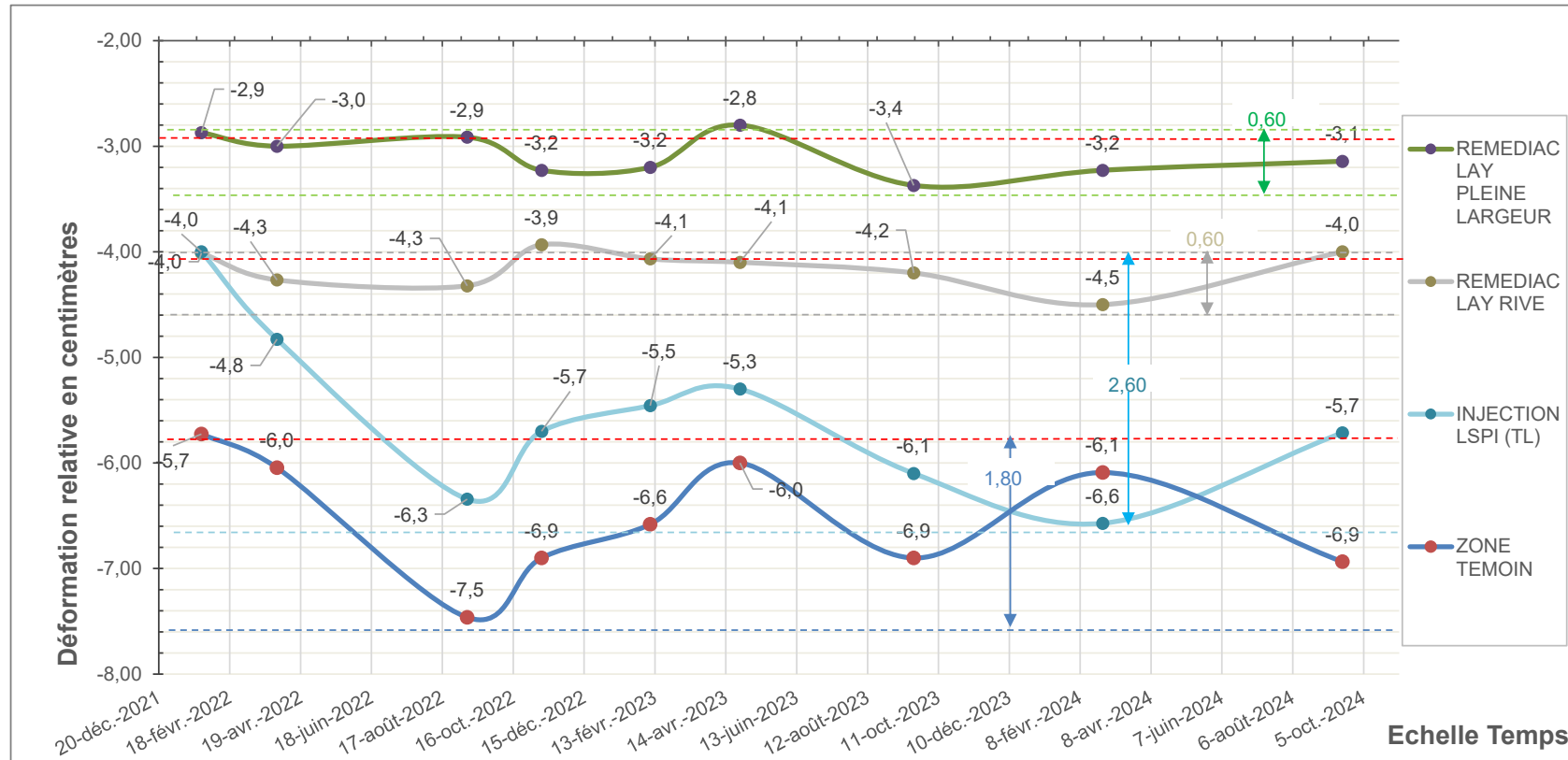


Zone LSPI = 11,70 cm



Zone Remediacylay® = 4,80 cm

Déformations transversales



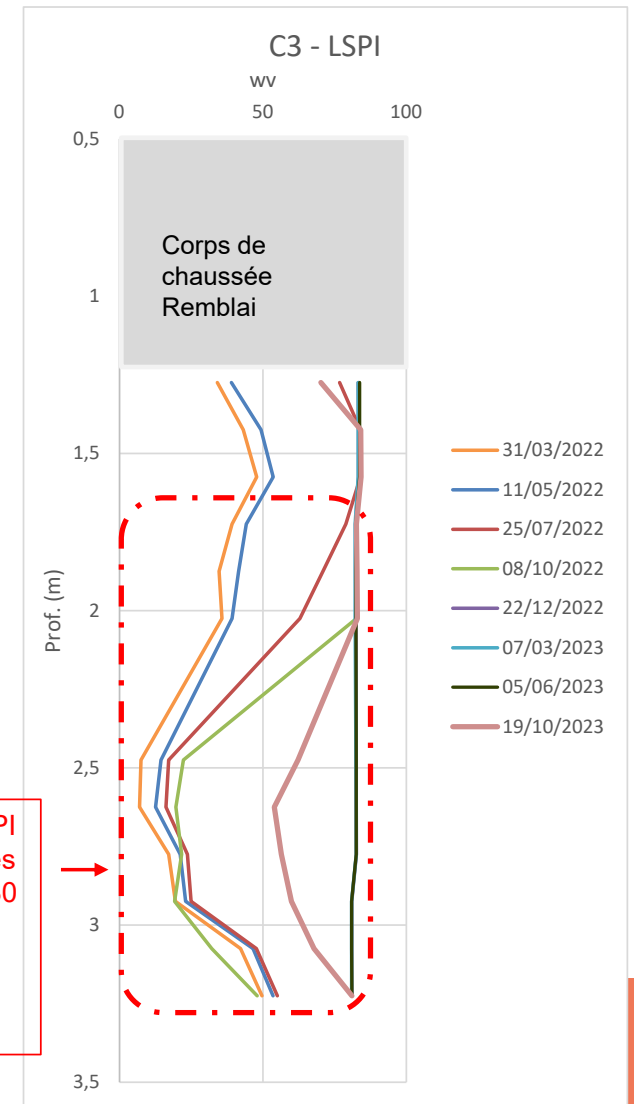
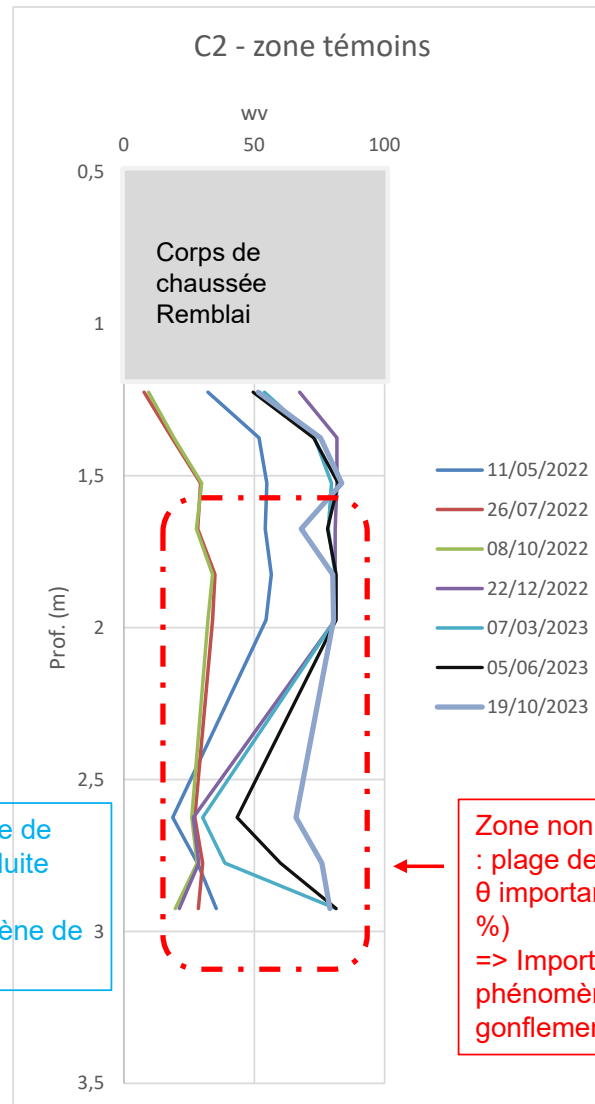
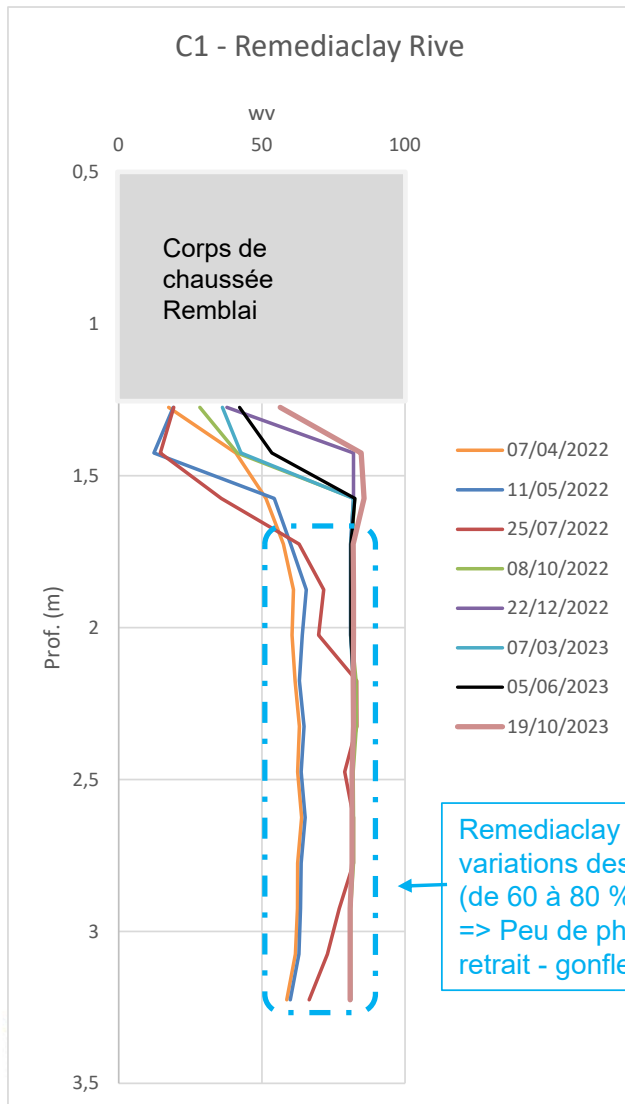
Témoin = 1,80 cm

LSPI = 2,60 cm

Remediacy® = 0,60 cm

- ⇒ Pas de reprise des désordres à + 3 ans sur les sections Remediacy (durabilité ?)
- ⇒ Traitement LSPI inefficace. Problème d'injection lié à une solution trop visqueuse

Interprétation des capteurs d'humidité (w_v)



RD82 - Confortement par :

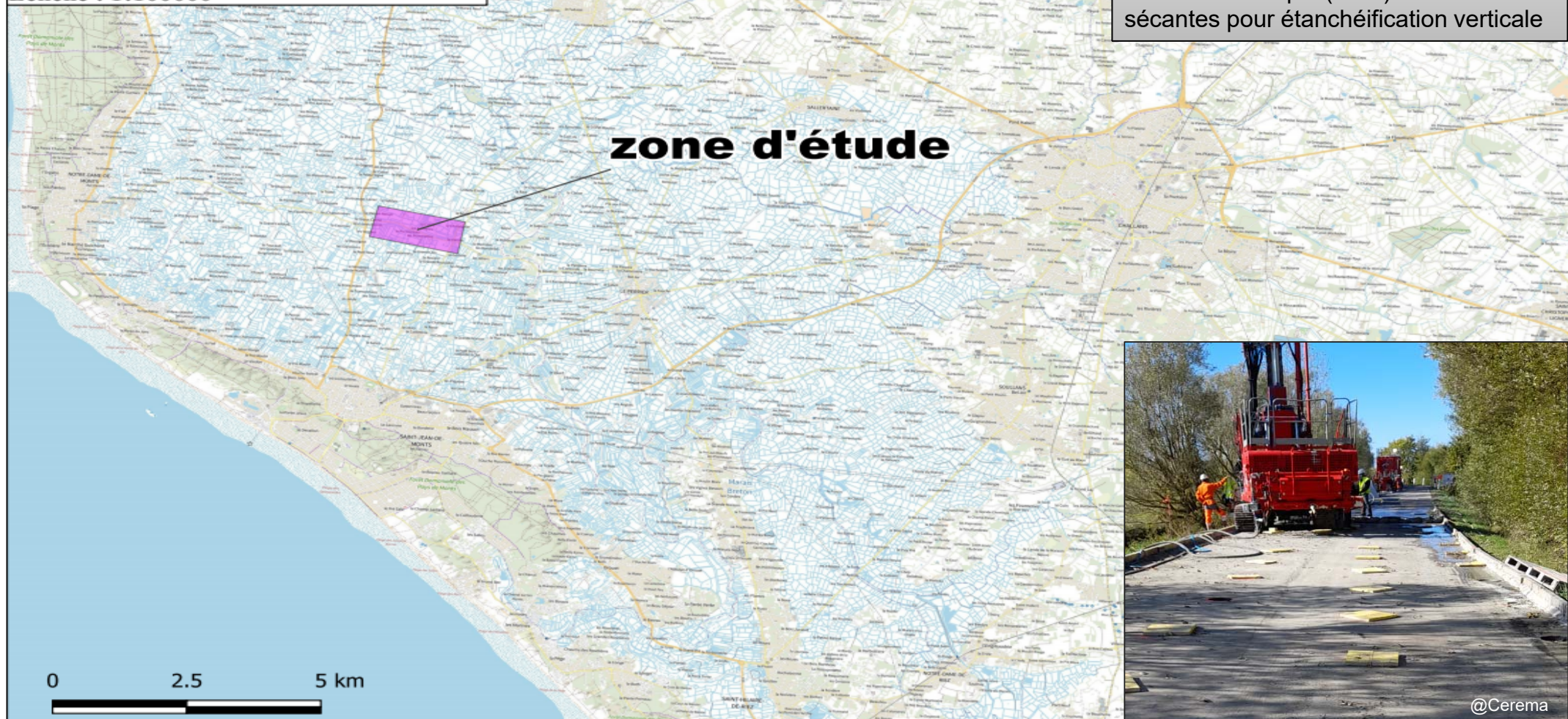
- * Injections solides
- * Springsol
- * Soilmixing tarière

Echelle : 1:100000

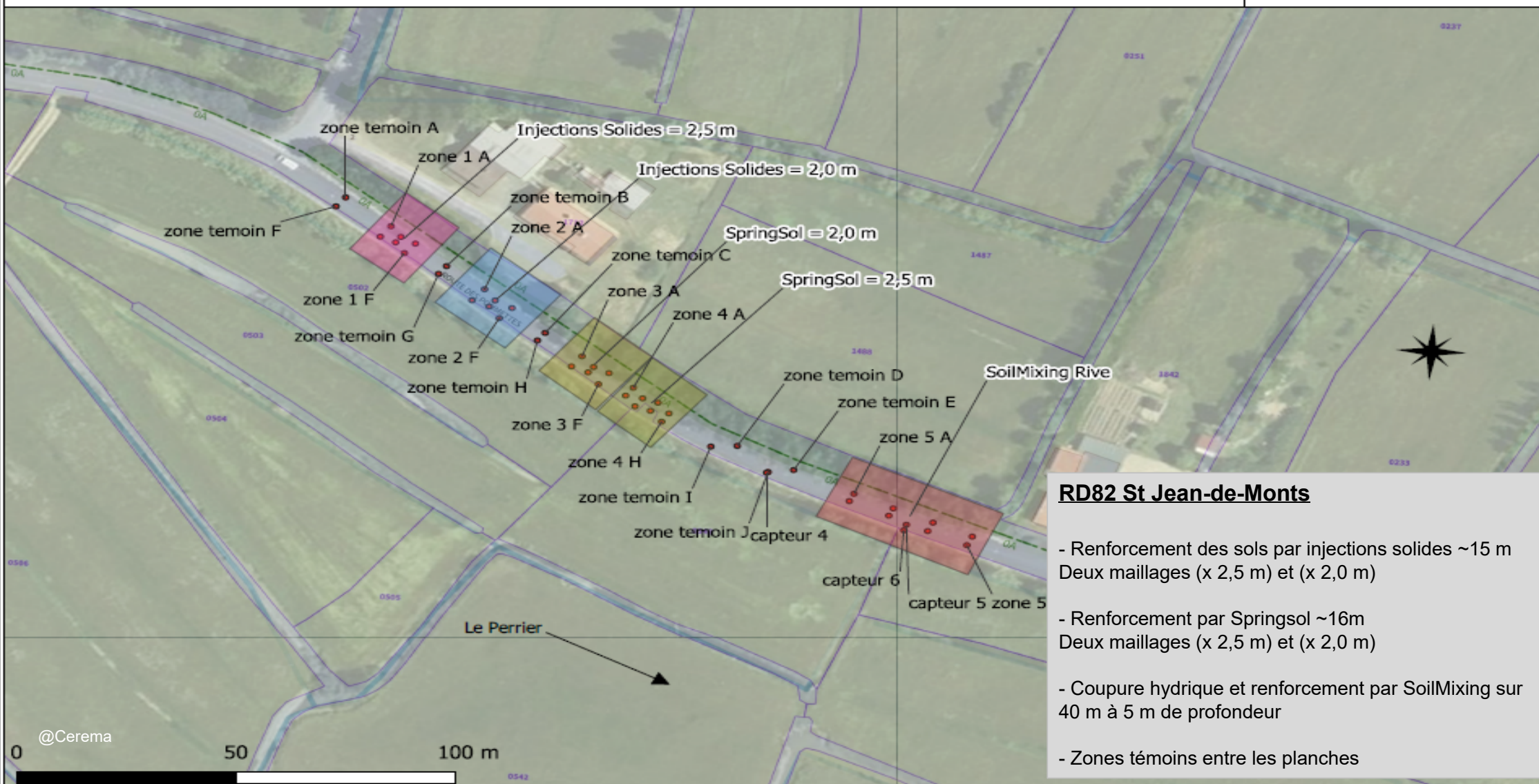


ARD Challans Solutions catégorie 3 et 2

Renforcement des sols par injection de mélange sol-ciment, compactage horizontal statique (CHS) et colonnes sécantes pour étanchéification verticale



"ROUTES des MARAIS" - RD82 Plots d'essai du PR26+624 au PR26+814

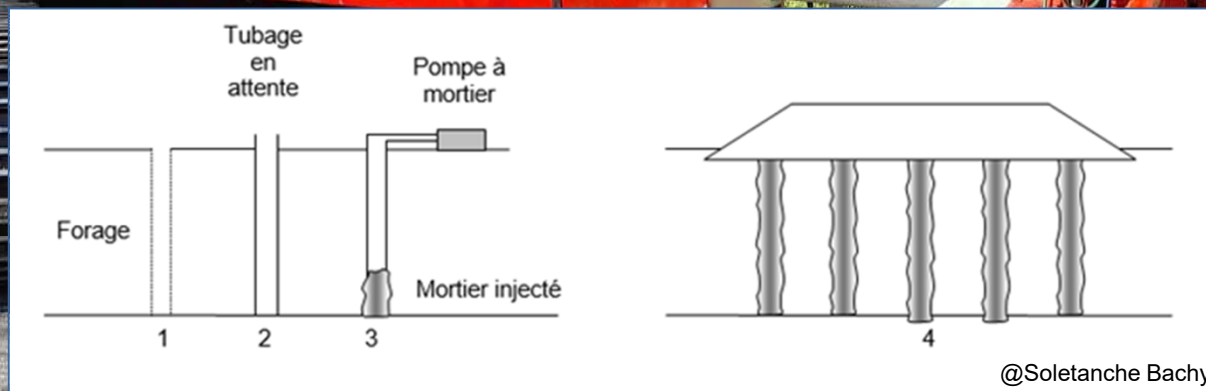


RD82 St Jean-de-Monts

- Renforcement des sols par injections solides ~15 m
Deux maillages (x 2,5 m) et (x 2,0 m)
- Renforcement par Springsol ~16m
Deux maillages (x 2,5 m) et (x 2,0 m)
- Coupure hydrique et renforcement par SoilMixing sur
40 m à 5 m de profondeur
- Zones témoins entre les planches

Injection solide - Compactage horizontal statique

- Le procédé consiste à introduire en force dans le sol, par injection sous pression dans un forage tubé de petit diamètre, un mortier visqueux. Par sa consistance, ce mortier ne peut imprégner le sol ni claquer le terrain.
- Le sol va donc être refoulé et comprimé latéralement. La prise du mortier crée ensuite des colonnes verticales plus rigides.
- On combine donc un effet de renforcement au droit de chaque colonne avec une compression de la masse du sol. Les taux d'incorporation ne dépassent en général pas 5 à 8 % du volume traité



1- Forage au tricône + eau



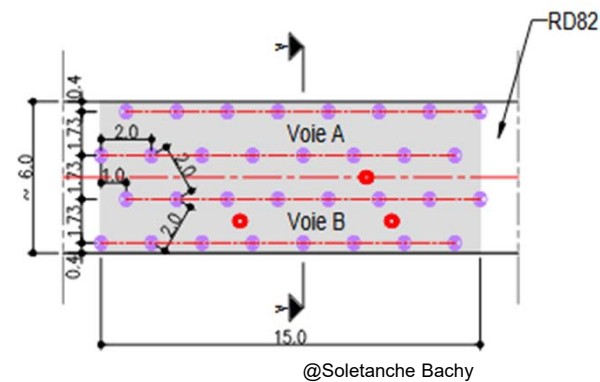
Préparation du mortier
« Cône d'Abrams »



Descente de la pointe
avec injection mortier



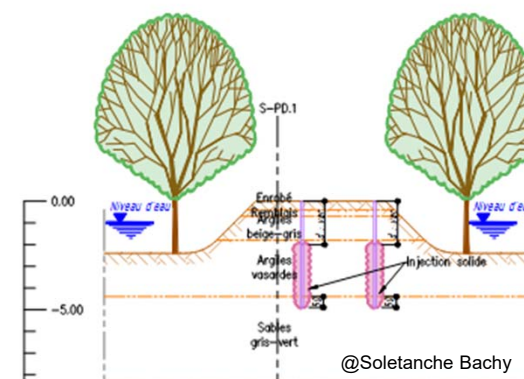
Maillage dense (x2m et x2,5m)



Coupe A-A - Injections Solides

PLOT 1.2

Echelle : 1/200

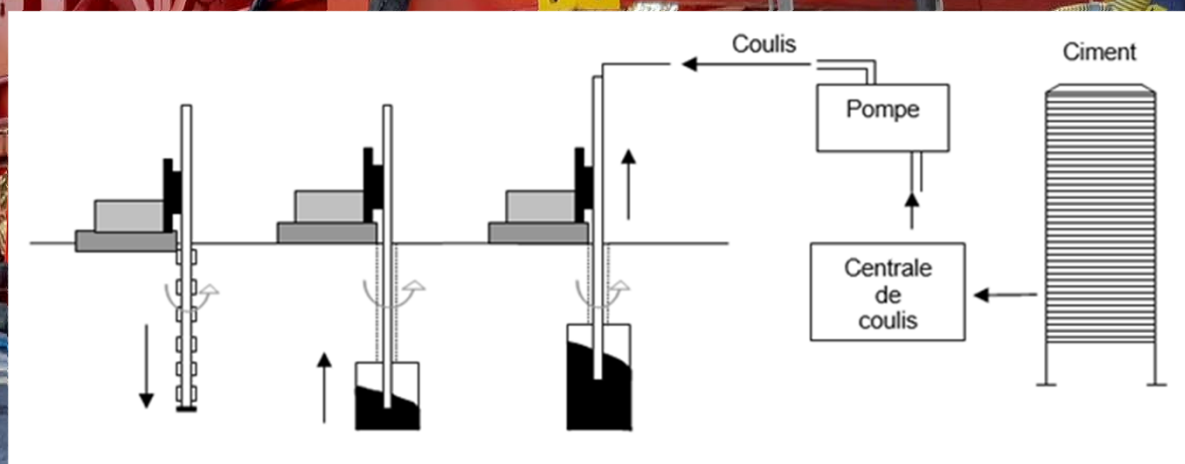


Deux planches de réalisées : maillage (x2,50 m) sur 14,50 m et maillage (x 2,00 m) sur 16 m de longueur
Zone témoin de 13,50 m entre les deux planches traitées au CHS

SPRINGSOL® – colonnes de sol-ciment

Ce procédé utilise un jet de fluide à haute pression pour détruire le terrain et le mélanger à un coulis de ciment.

La prise du ciment dans le sol injecté crée des colonnes de mortier sol-ciment à fortes caractéristiques mécaniques. Ces colonnes reportent en profondeur une partie des charges dues au remblai, ce qui améliore la stabilité et diminue le tassement final.



Outils Springsol « ouvert »



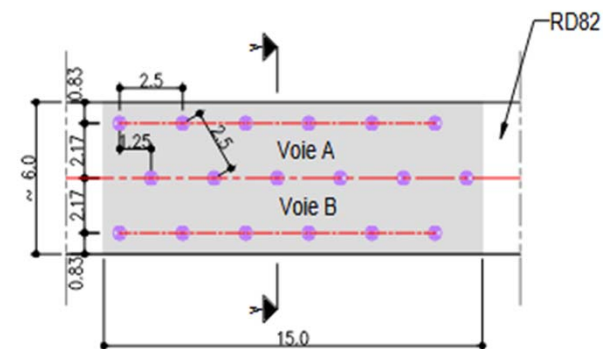
Forage en cours d'exécution avec injection de mortier



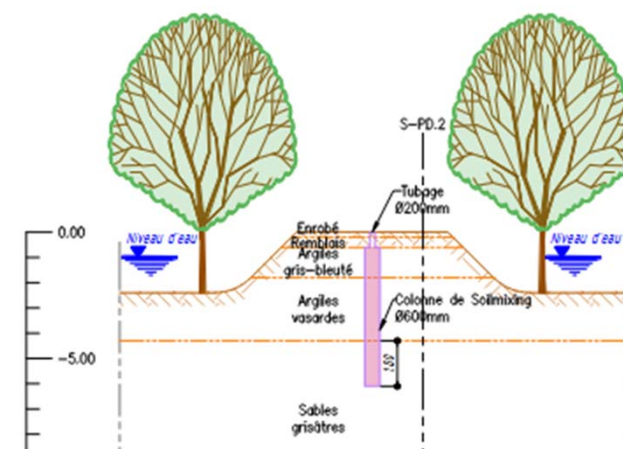
Sortie de l'outil après foration et injection



Maillage dense



@Soletanche Bachy



@Soletanche Bachy

Réalisation de deux planches consécutives : 15,00 m et 17,50 m avec un maillage de 2,00 m et 2,50 m

**Colonnes sécantes Soil Mixing
(encapsulage)
Étanchéification verticale**

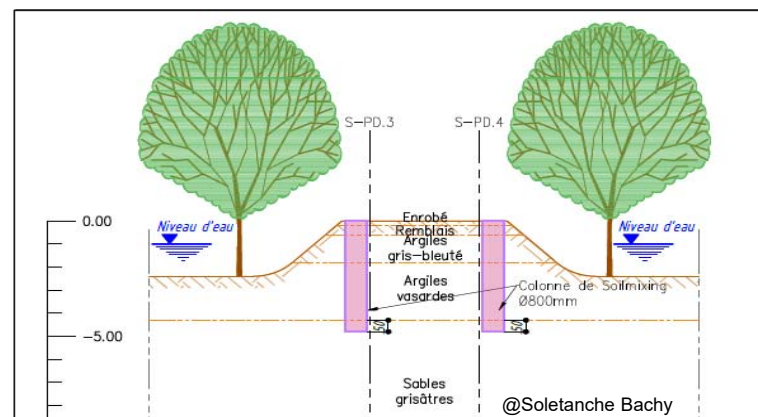


**Création d'une paroi au coulis
d'épaisseur 80 cm.
Elle est réalisée avec une
tarière creuse.
Cette solution crée une
coupure étanche, vis-à-vis de la
végétation ou des variations
hydriques des sols supports.**

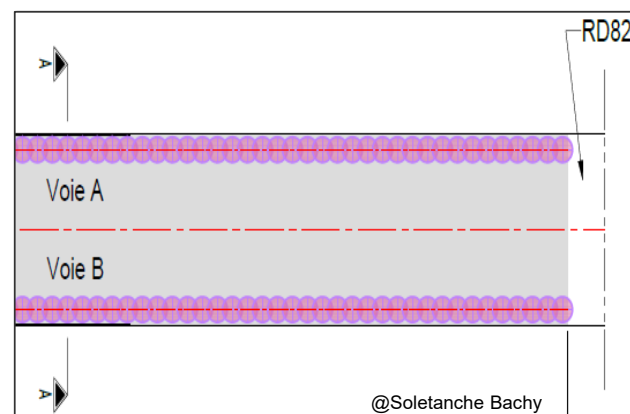
Tête de forage et tarière Ø 80cm pour réalisation des colonnes sécantes



Vue coupe en travers après réalisation des colonnes Soil Mixing



Vue en plan du voile de colonnes sécantes



Réalisation de 2 parois en Soil-Mixing de part et d'autre de la chaussée en rive/accotement, sur une longueur de 41,50 m pour 5,00 m de profondeur.

Suivi à + 4 ans



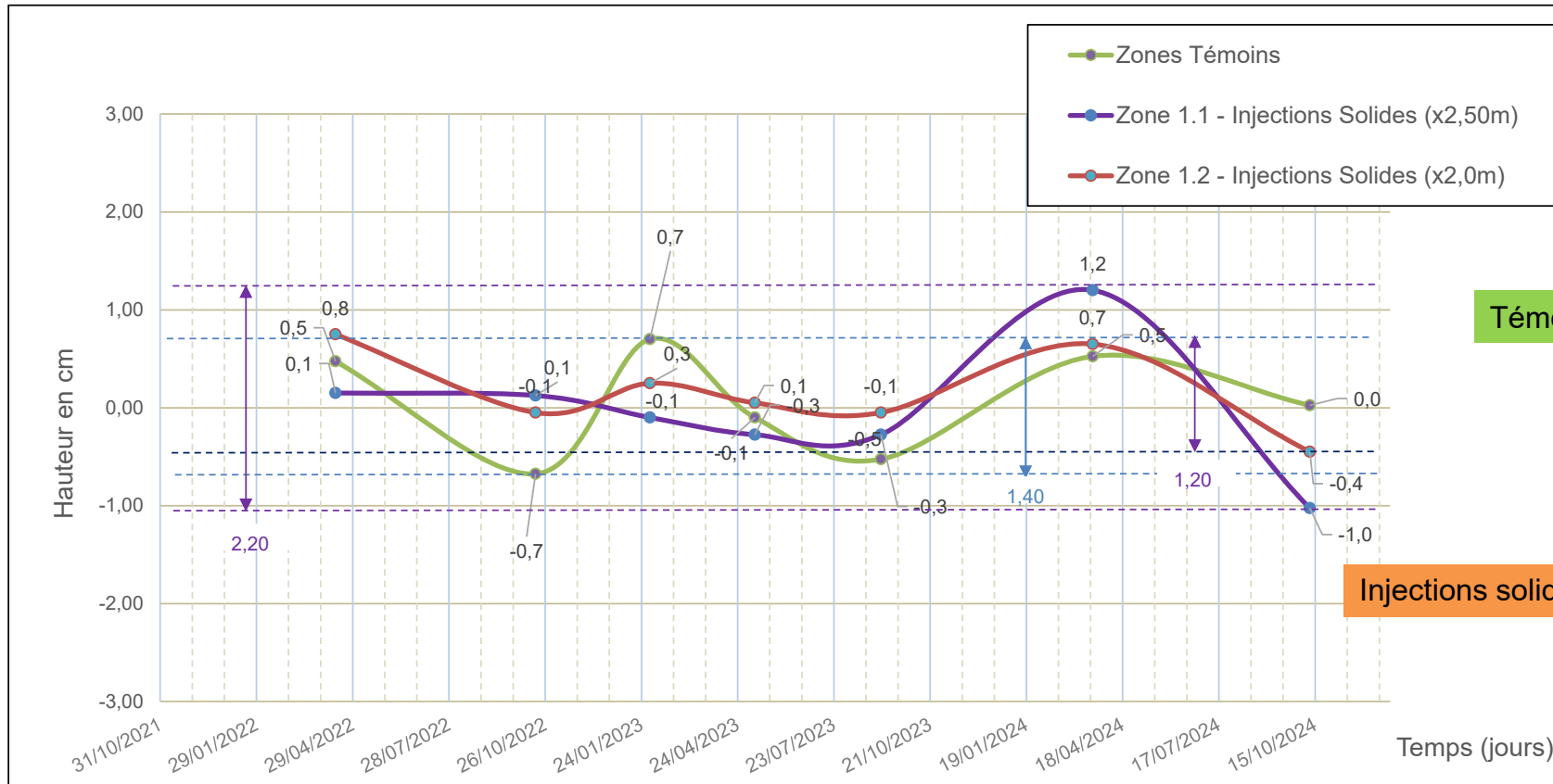
← Fissures longitudinales en bordure de colonnes sécantes

Déformations
ponctuelles
(entourées)
correspondant à
des têtes
d'inclusions rigides →



Section témoin :
fissures latérales →

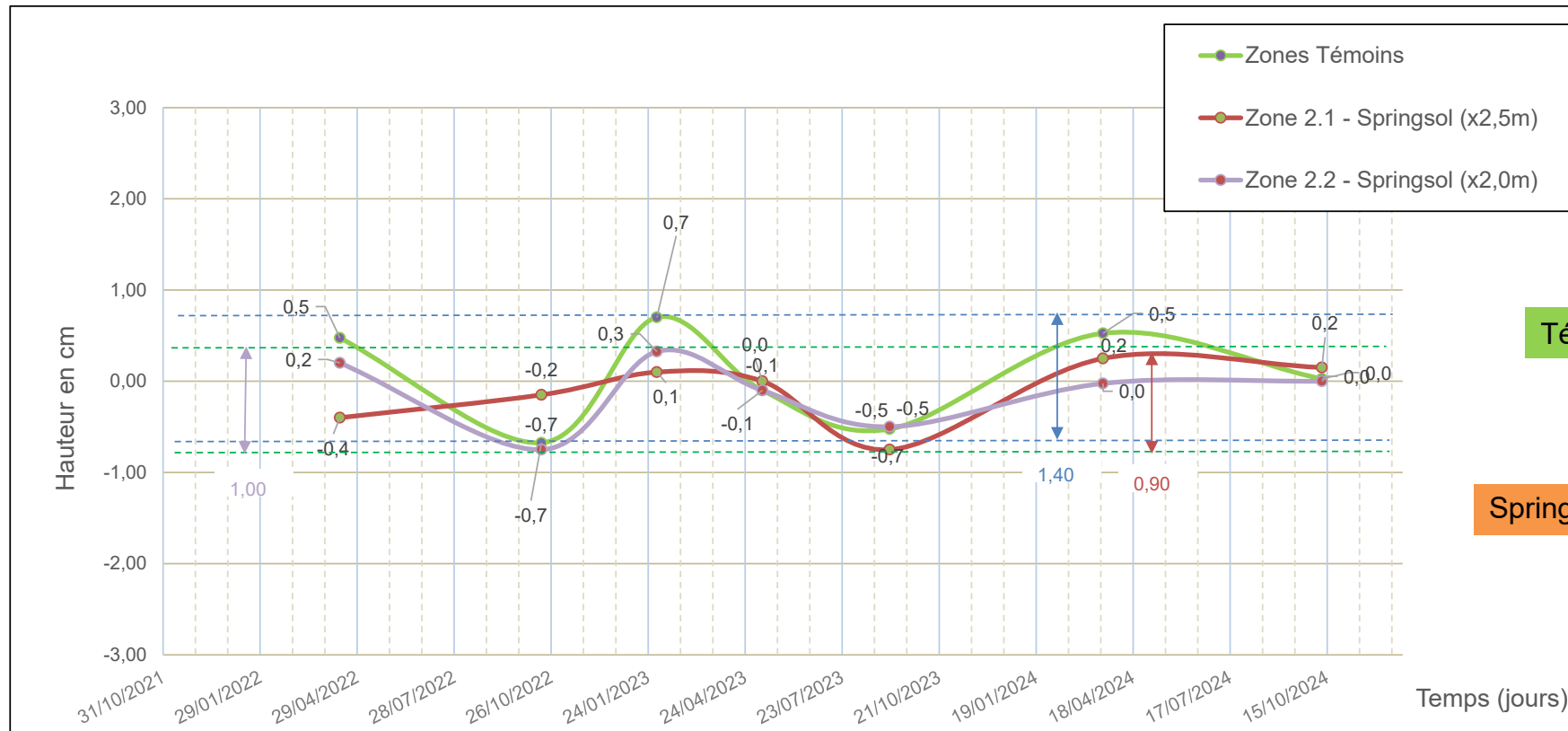




Témoins = 1,40 cm

Injections solides = μ 1,70 cm

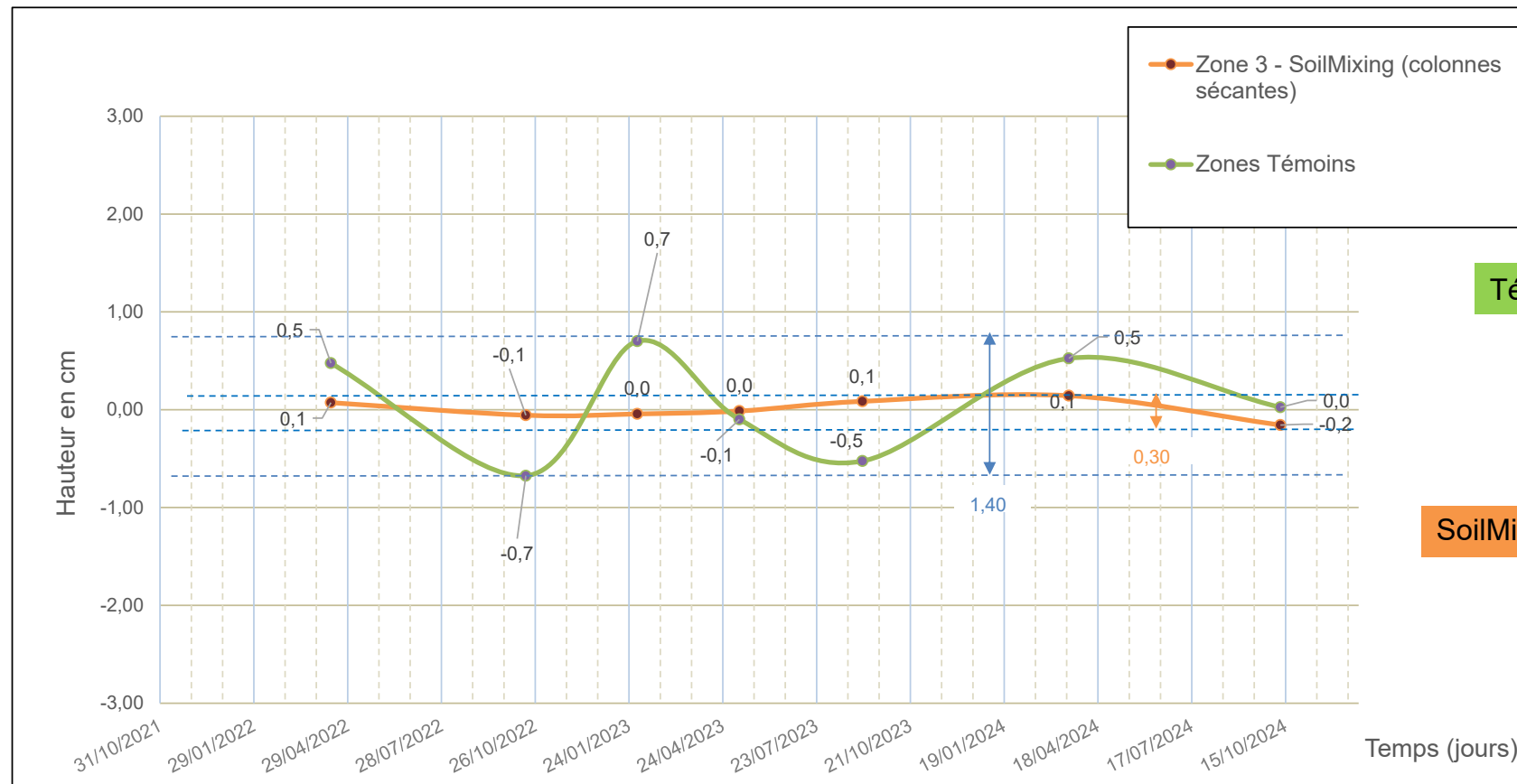
⇒ Injections solides : pas de réduction significatives des déformations du profil en travers



Témoin = 1,40 cm

Springsol = μ 0,95 cm

⇒ Colonnes Springsol : réduction modérée, de l'ordre de 30 %



Témoins = 1,40 cm

SoilMixing = μ 0,30 cm

⇒ Colonnes sécantes latérales (chaussée « confinée ») : forte réduction des déformations latérales

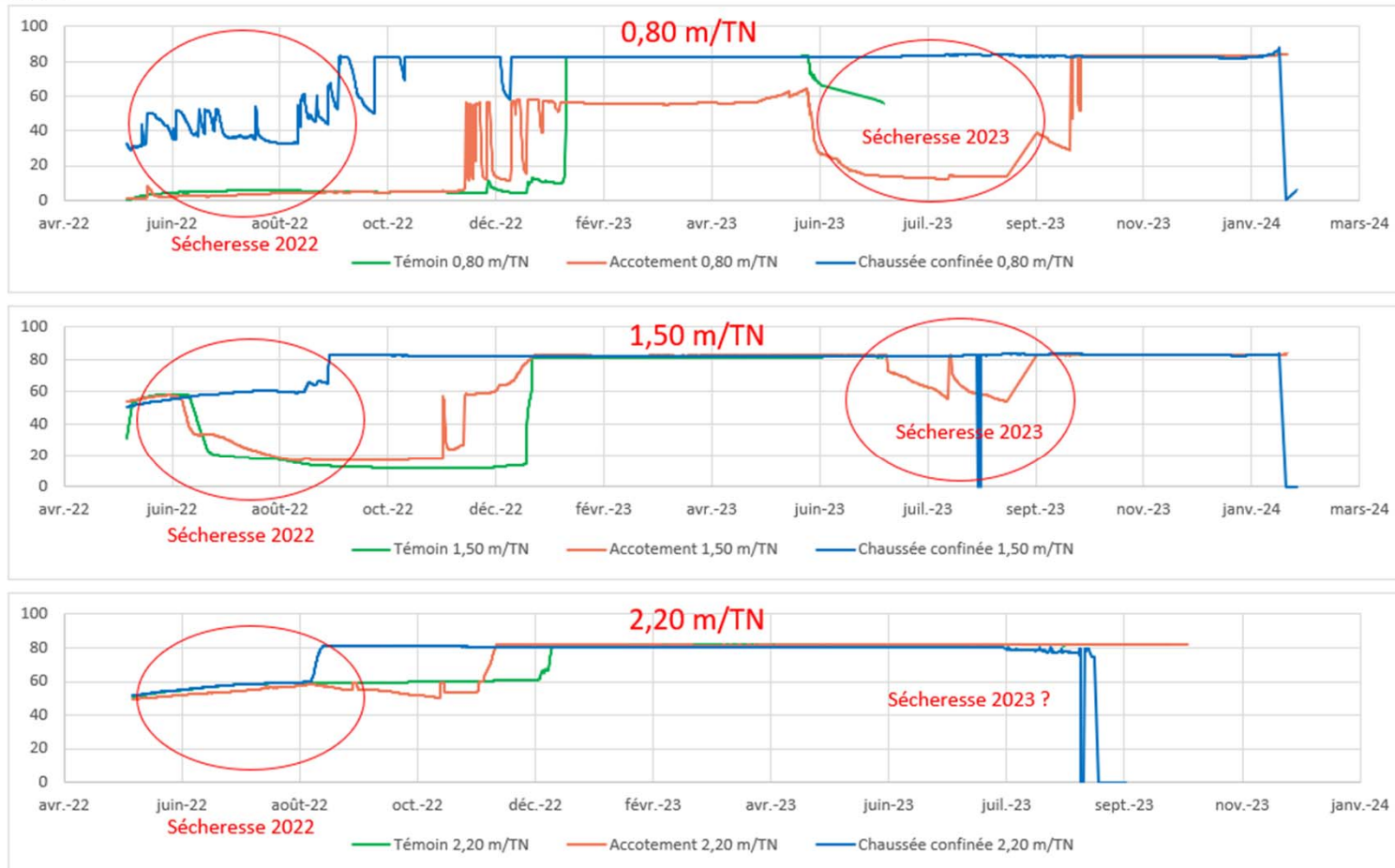
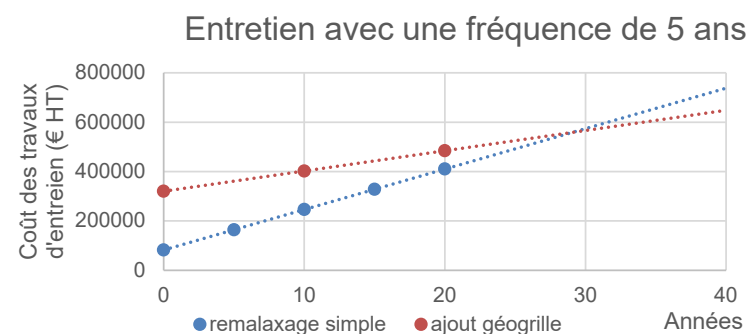
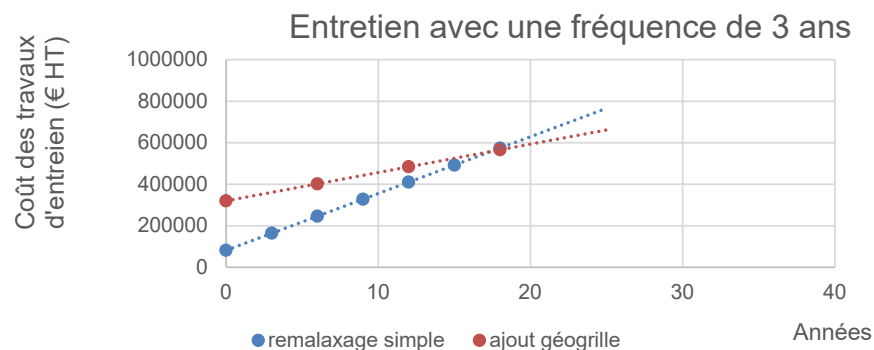


Illustration 44 : RD82 – Variations des capteurs d'humidité à différentes profondeurs suivant la configuration testée.

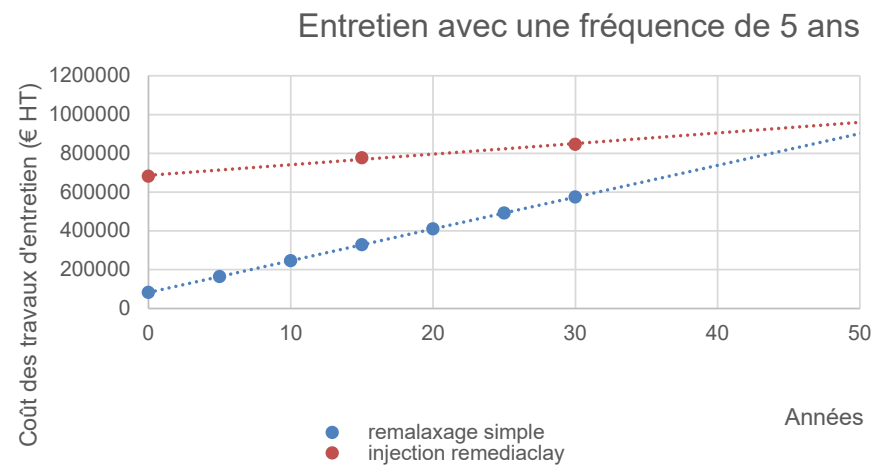
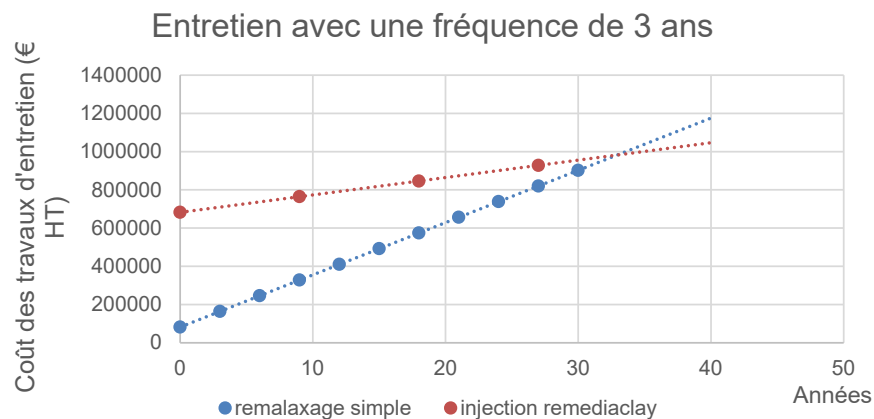
⇒ Efficacité de la coupure hydrique par colonnes sécantes

Analyse simplifiée coût / bénéfice

Géogrid : amortie en 18 ans (si fréquence 3 ans) et en 28 ans (si fréquence 5 ans)



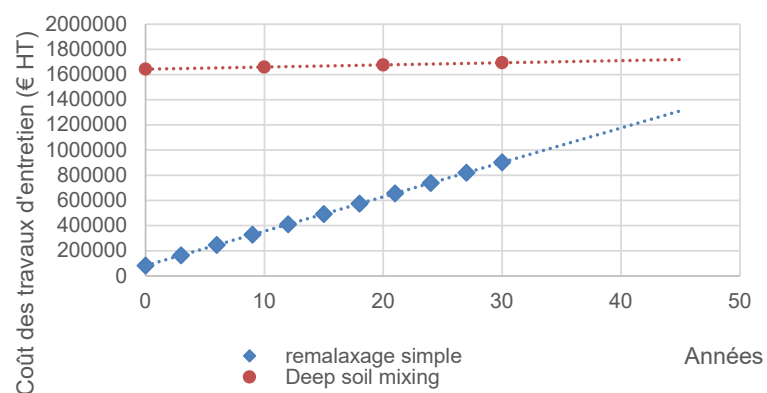
Remediacy : amortie en 33 ans (si fréquence 3 ans) et > 50 ans (si fréquence 5 ans)



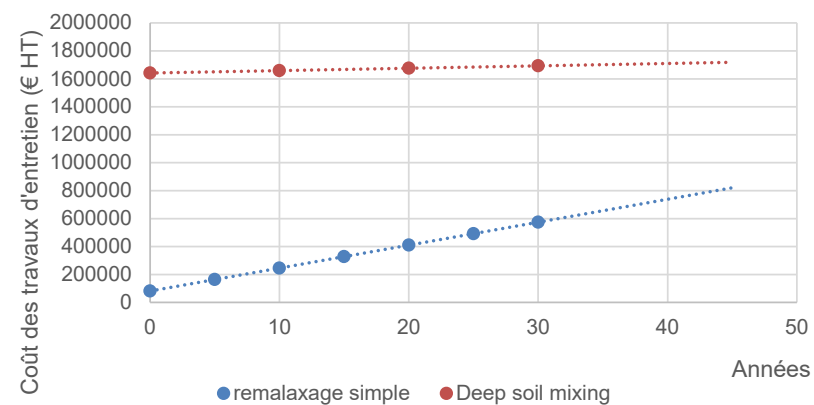
Analyse simplifiée coût / bénéfice

Ecran étanche : amorti en > 50 ans

Entretien avec une fréquence de 3 ans



Entretien avec une fréquence de 5 ans



Conclusion

Intérêt coût / bénéfice :

1. géogridle une couche, rustique et simple à réaliser (entreprise TP locale) mais seulement réduction de la fréquence d'entretien
2. Solution Remediacy en rive : intéressante. Questions : innocuité environnementale ? Durabilité ?
3. Solution écran étanche : très efficace, mais aussi très coûteuse ...

Autres solutions :

- écarter les causes extérieures (végétation, étiers) : impact environnemental
- étanchéification horizontale (emprise > 2,50 m : conception initiale)

Important :

- étude géotechnique (sondages + caractérisation). Attention désordres multifactoriels !
- intervention en préventif (intégrer l'aléa RGA et le changement climatique au projet) plutôt qu'en curatif

Merci de votre attention



@Cerema



Webinaire ONRS - Convention « Routes des Marais »