



Observatoire National des Routes sinistrées par la Sécheresse

Webinaire de lancement
Jeudi 13 novembre 2025

Retour d'expériences

Stabilisation des sols argileux par puits au lait de chaux en Haute-Garonne

Auteurs : Sandrine Marnac (CD31), Pierre Métais (Lhoist) et Olivier Martin (Cerema)



SOMMAIRE

- En Haute-Garonne : le RGA, une problématique préoccupante
- Le projet : injection de puits au lait de chaux
- Les planches expérimentales
- Les essais de laboratoire
- La 1^{ère} réfection des couches de chaussées après injections
- Les nouvelles expérimentations
- La suite....

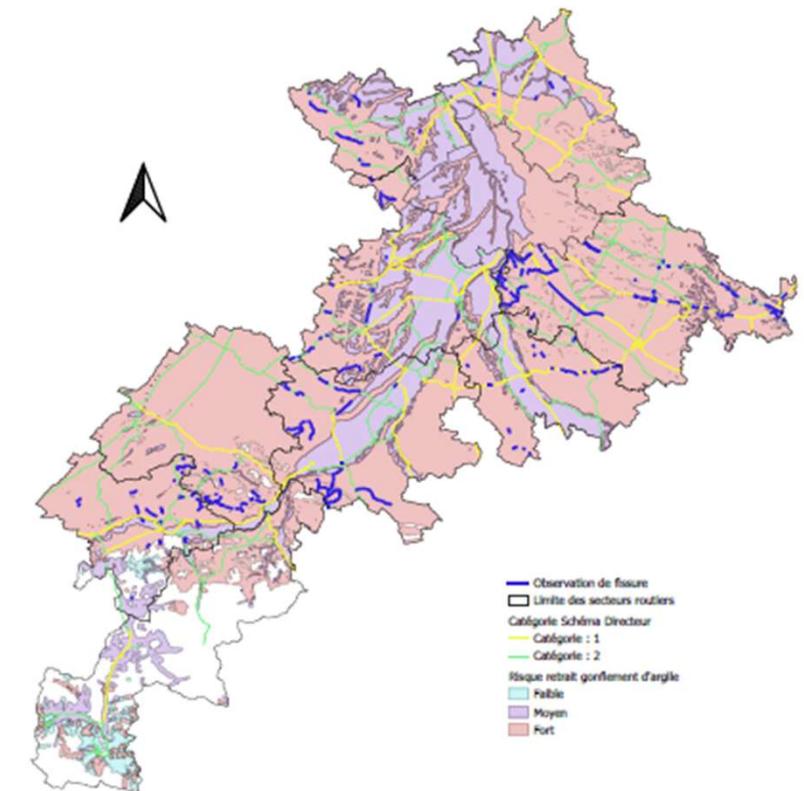
SM



EN HAUTE-GARONNE : LE RGA, UNE PROBLEMATIQUE PREOCCUPANTE

Aléa très présent dans le département avec près de 80% du territoire concerné (moyen à fort)

Plus de 300 km de RD recensées potentiellement impactées par le phénomène



SM



INSTITUT DES ROUTES, DES RUES ET DES INFRASTRUCTURES POUR LA MOBILITÉ



EN HAUTE-GARONNE : LE RGA, UNE PROBLEMATIQUE PREOCCUPANTE

- Un patrimoine impacté conséquent
- Beaucoup de réparations peu pérennes (GE)
=> dépenses d'entretien importantes
- Difficultés d'exploitation (sécurisation)



LE PROJET : INJECTION DE PUITS AU LAIT DE CHAUX

Objectifs visés :

- Mise en œuvre de solutions de confortation pérennes et respectueuses de l'environnement
- Limitation des volumes et des coûts d'entretien
- Possibilité de réaliser les travaux en régie

⇒Accord en 2018 entre le Cerema, la société LHOIST et le CD31 pour tester la faisabilité de puits au lait de chaux

SM

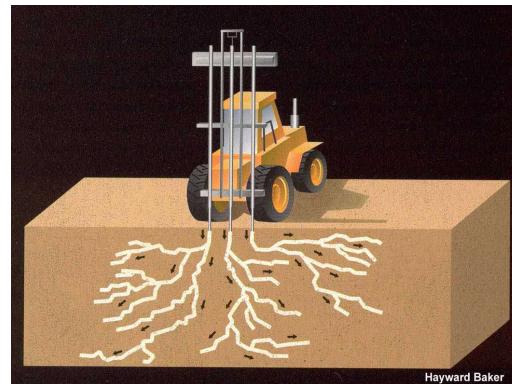


POURQUOI UTILISER DU LAIT DE CHAUX ?

Technique d'entretien ou de stabilisation très ancienne dans le Sud-Ouest mais petit à petit abandonnée au détriment de réparations en enrobés bitumineux

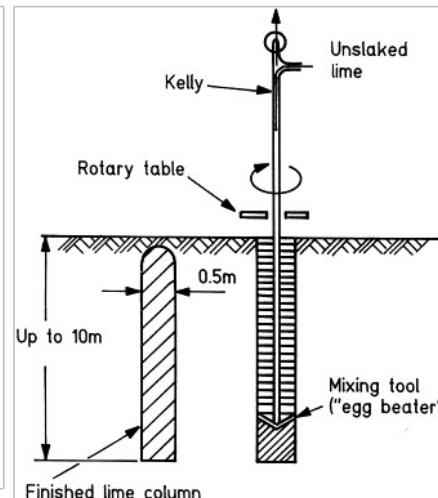
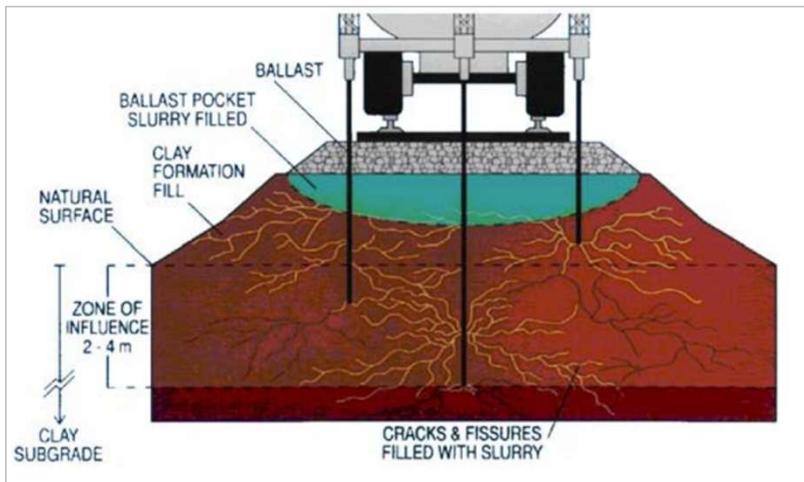
Technique développée dans les années 1960 principalement en Australie et en Amérique du Nord

Cependant peu connue et peu utilisée



POURQUOI UTILISER DU LAIT DE CHAUX ?

Injection sous pression	Injection gravitaire
Pompage à haute pression du lait de chaux dans le puit	Puit foré est rempli avec du lait de chaux et mélangé au sol



Effets du lait de chaux :

- Comble les vides du réseau des fissures
- Modifie les paramètres de plasticité du sol
- Réduit le potentiel de gonflement des sols argileux
- Augmente la résistance mécanique du sol traité par stabilisation si pH > 12,4

OM

REPONSES AUX OBJECTIFS DU PROJET

- Fabrication d'un outil par les agents du secteur routier de St Gaudens développé en collaboration entre le CD31, le Cerema et la société Lhoist permettant la réalisation de puits avec un mélange sol-lait de chaux souhaité

- Réalisation de puits au lait de chaux en régie par les agents du Conseil Départemental de la Haute-Garonne

OM



LES ETAPES DU PROJET



2018 - 2020

Développement 1er outil

- Polyvalent : Forage et Injection
- Utilisation du 1er lait de chaux



1er essais matériels

- Essais de calage

Validation des sites étudiés



2023

Stage encadré par Lhoist

- Programme scientifique
- Essais Laboratoire
- Evaluation de la diffusion sur les sites
- 1ères conclusions



Définition des conditions expérimentales

- Forage jusqu'à 2 m
- Injection et malaxage
- Dosage en lait de chaux cible 3 L / ml

Campagne d'expérimentation

- RD8, RD9
- Carottages

2020 - 2022

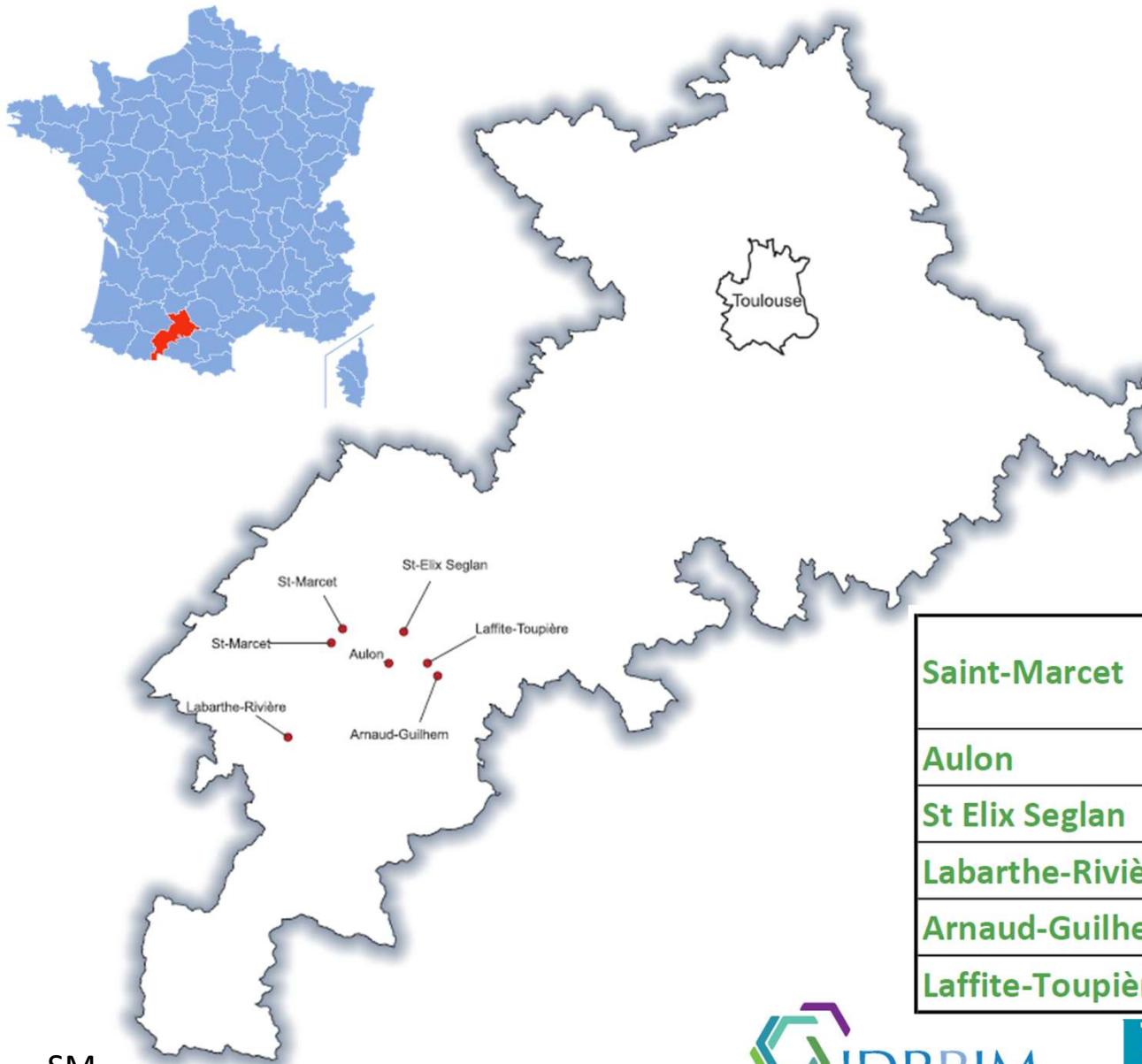
Réfection de chaussée

Les suites de l'expérimentation

...

2024 - 2025

LES SITES ETUDES



Saint-Marcet	RD 69 (PR 24+300 au PR 24+600)
	RD 75K (PR 3 au PR 4)
Aulon	RD 81 (PR 7 au PR 11)
St Elix Seglan	RD 8 (PR25+350 au PR25+800)
Labarthe-Rivière	RD 9 (PR 12+800 au PR 13+700)
Arnaud-Guilhem	RD 52G (PR 0+800 au PR 1+400)
Laffite-Toupière	RD 52 (PR30+800 au PR 31+400)

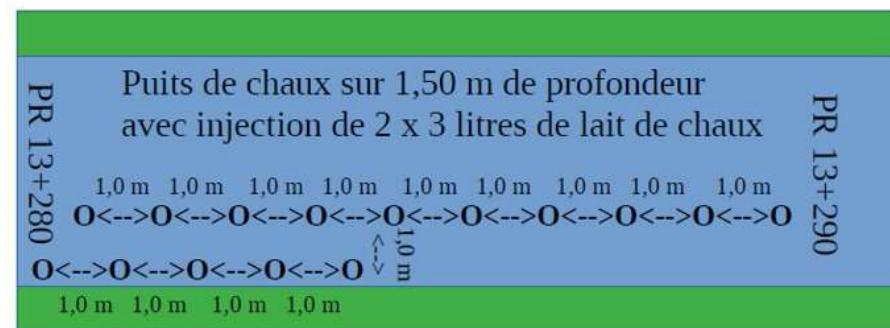
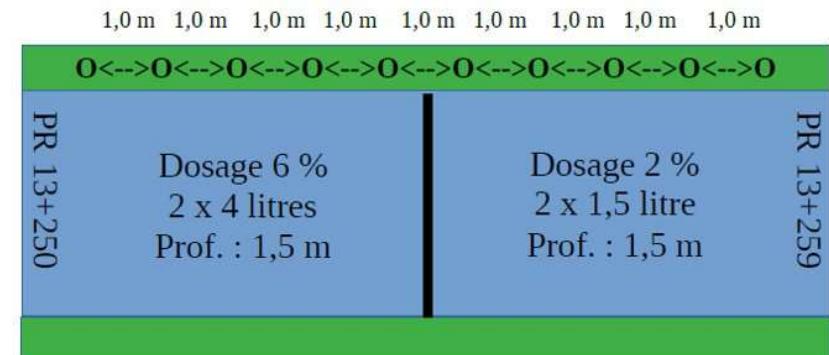
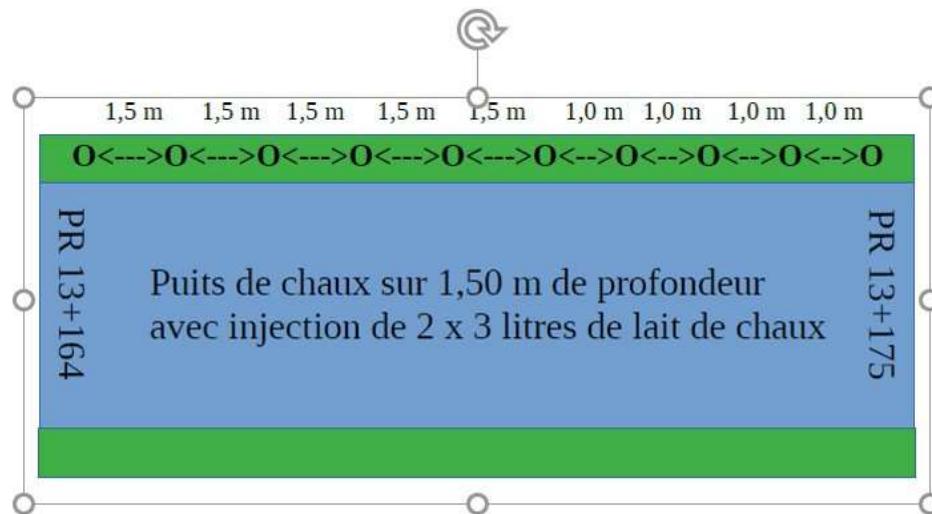
LES SITES ETUDES



PLANCHES D'ESSAIS 2021

Les planches d'essais réalisées en 2021 sur la RD9

OBJECTIF : vérifier la faisabilité de puits au lait de chaux suivant diverses modalités

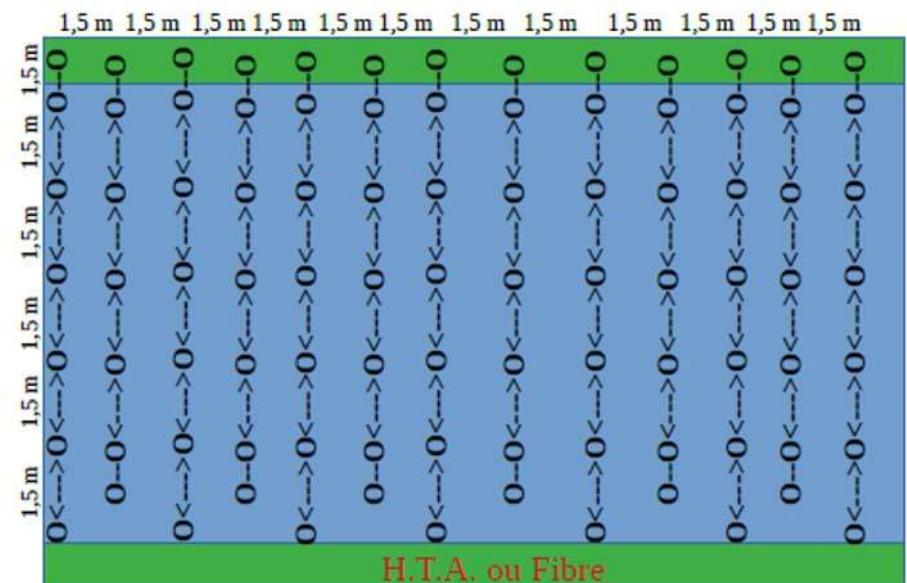
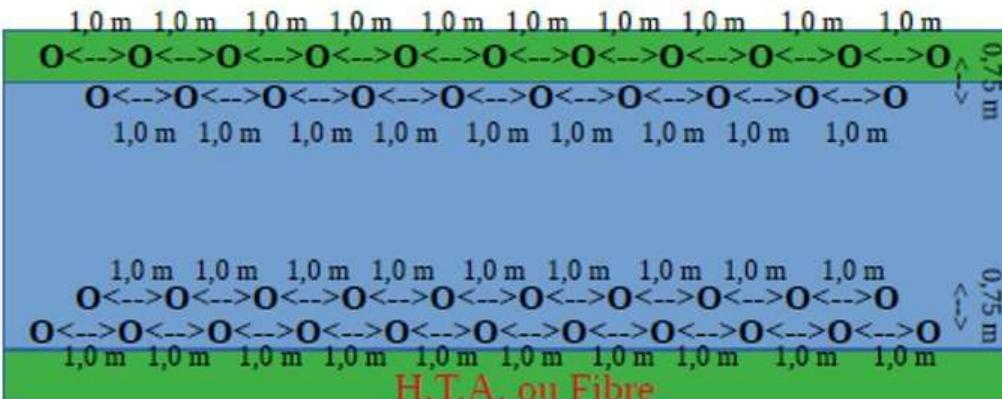


OM

PLANCHES D'ESSAIS 2022

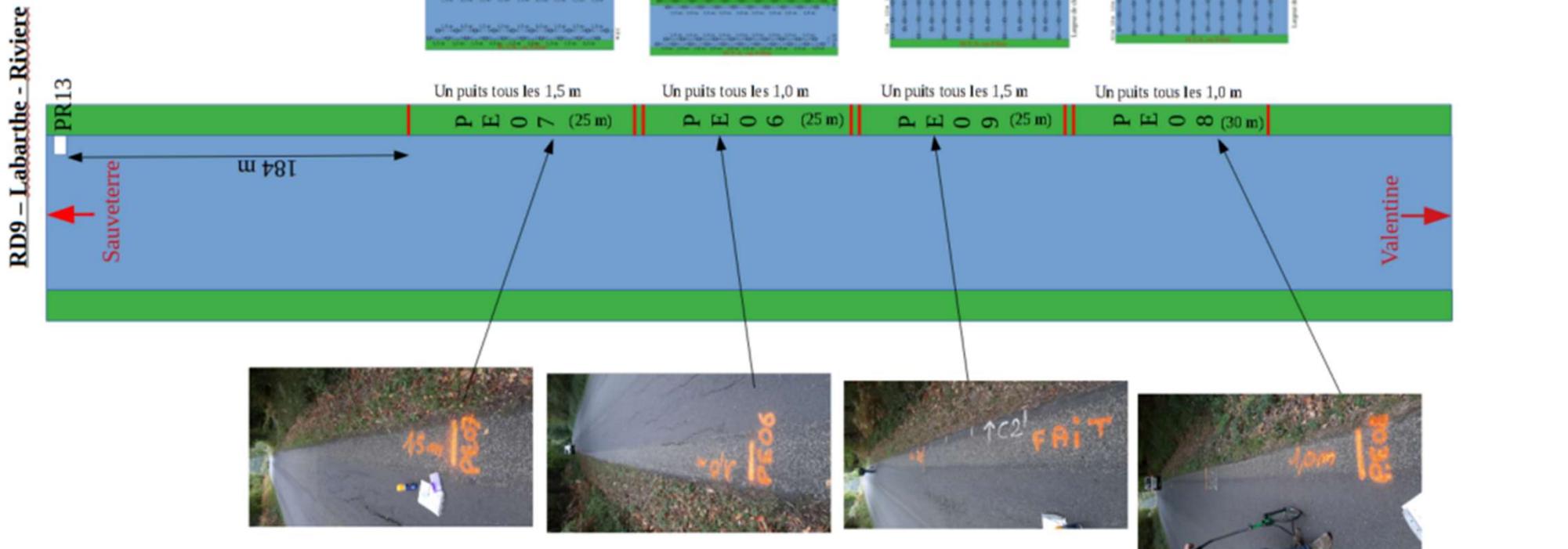
Les planches d'essais réalisées en 2022 sur les RD8 et RD9

OBJECTIF : vérifier l'efficacité du procédé suivant
d'autres modalités



OM

PLANCHES D'ESSAIS 2022



OM

PLANCHES D'ESSAIS 2022



OM



BILAN DES PLANCHES D'ESSAIS 2022

100 puits par jour environ

	RD8				RD9			
Nombre de planches d'essais	4				4			
Nom des planches	PE04	PE05	PE06	PE07	PE06	PE07	PE08	PE09
Nombre de puits par planche	75	52	156	81	75	52	171	72
Nombre de puits au total	364				370			

3 agents sur route barrée (5 si alternat)

Un camion grue/benne équipé de GRV + outil de forage

Moins de 2 000 € la journée si location d'un engin pour percer les couches d'assises (hors RH et réfection de la chaussée)

SM



LES ESSAIS LABORATOIRE

Identification tests RD9		SC1	SC2
Teneur en eau (%)		33,5	34,8
VBS (g/100 g of soil)		10,54	10,87
IP (%)		50	54
Fraction < 80 µm (Granulometrie) (%)		93,59	96,72
Classe de sol		A4-F4	A4-F4
ATèzsqzG (%)	550 °C	9,64	8,15
	950 °C	0,66	0,56
XRF	Calcium oxide	1,40	1,39
	Aluminium oxide	21,3	20,3
	Silicon oxide	59,4	60,4
	Potassium oxide	1,10	0,84
	Sodium oxide	0,17	0,18
	Titanium	0,55	0,57
DRX		Goethite, Anatase, Montmorillonite , Kaolinite , Quartz, Olivine, Anorthite	Goethite, Anatase, Montmorillonite , Kaolinite , Quartz, Olivine



Essai de bleu de méthylène



Granulométrie



DRX



ATG



Limite d'Atterberg

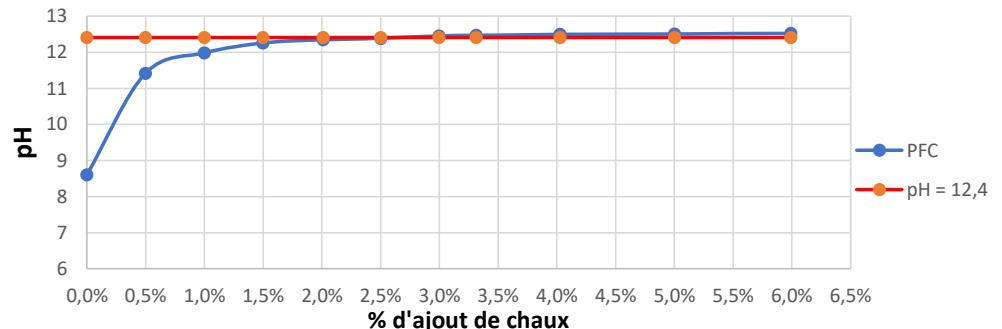


XRF

ESSAIS DE TRAITEMENT



Point Fixation Chaux (PFC)



Tests	Sol naturel 1	Sol traité avec 3% CaO _{vive}	Sol traité avec 3% CaO _{lait}
Teneur en eau (%)	33,1	28,3	36,7
PFC (%)	2,54	/	/
IPI	7	15	17
CBR 4d imm	5	15	24
Gonflement (mm)	5	0	0,15

ESSAIS SUR CAROTTES

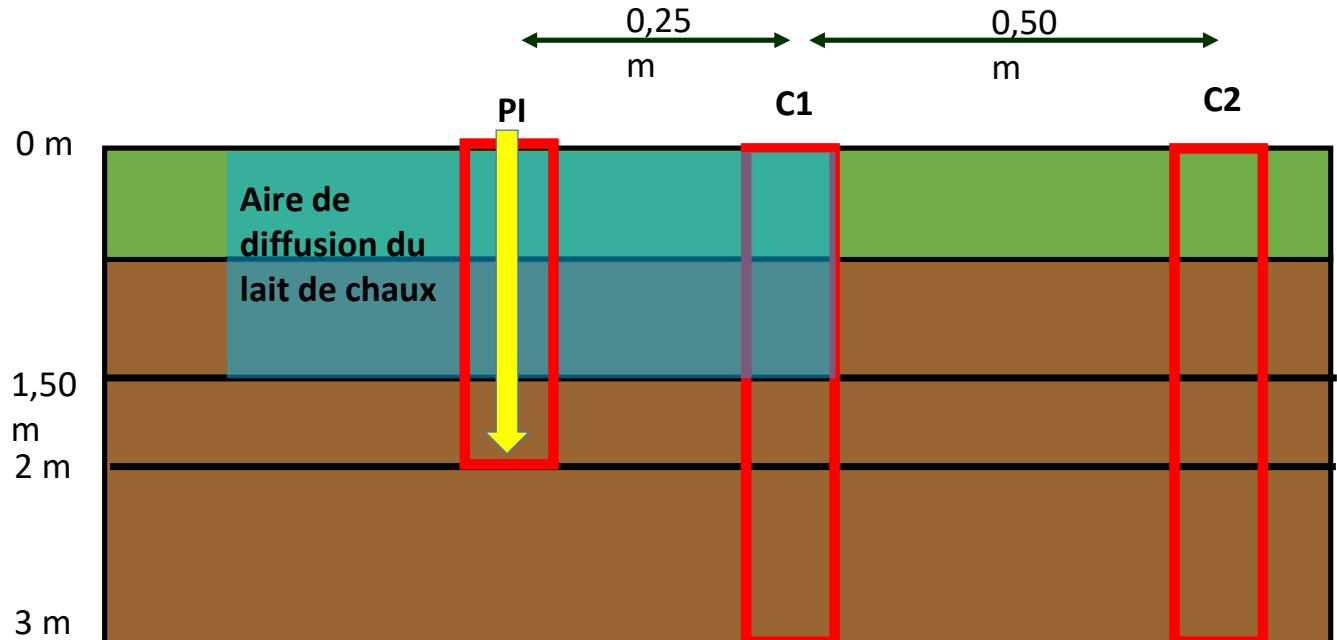
AU NIVEAU DES PLANCHES D'ESSAIS

PREMIERES CONCLUSIONS

Diffusion possible jusqu'à une distance 0,25m du PI et à une profondeur de 0 à 1,50 (aire de diffusion)

Pas de diffusion observée à une distance de 0,75m du PI et pour profondeur de 1,50 m à 3 m

Hétérogénéité de la diffusion dans le PI



PM

REFECTION DE LA CHAUSSEE DU RD9 – NOV 2024

Objectifs de la solution technique de réfection de la chaussée :

- Économique
- Réalisée en régie au maximum
- Chaussée souple afin de limiter la remontée de fissures
- Vertueuse pour l'environnement

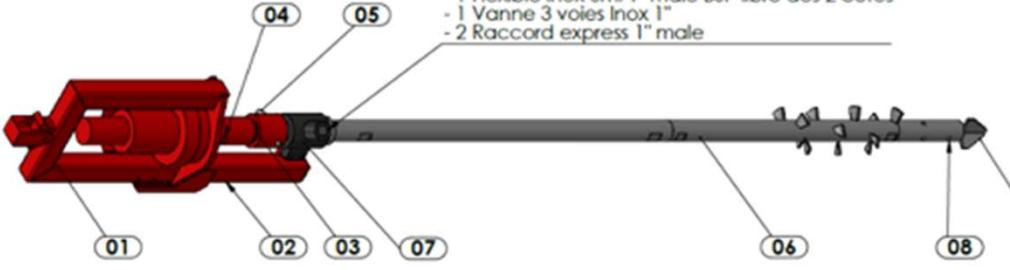


Résultats mesurés sur la réfection :

- Atteinte du niveau q2
- Nouvelle structure de chaussée qualifiée de bonne limite moyenne pour un trafic T5
- Aucun désordre n'est apparu depuis

SM/OM

UN NOUVEL OUTIL ET UNE NOUVELLE CHAUX



Ensemble by-pass composé de:
 - 1 Flexible inox 6m 1" male BSP libre des 2 côtés
 - 1 Vanne 3 voies Inox 1"
 - 2 Raccord express 1" male

Nomenclature valable pour 1 ensemble:

09	Tête de forage	1
08	Boulon M16 L=100	1
07	Boite à eau	1
06	Tube d'injection	1
05	Axe Ø20 + goupille	1
04	Boulon M20 L=150	1
03	Axe jonction moteur	1
02	bras de maintien boite à eau	1
01	Ensemble moteur existant	1

Rep. Désignation Qte. Matière

CD31

10056 - Outil d'injection A4

Commentaires:

Soudure:
 En l'absence de précisions, les soudures d'assemblage seront constituées de cordons discontinus.
 Longueur soudée = longueur non soulevée.
 Section cordon = ép. tôle ou ép. tube.

Préparation soudure:
 Tôle ou tubes formant un angle de 45° à 90° ou formant un chanfrein naturel. Sans préparation.
 Tôle ou tubes bout à bout ou formant un angle de 0° à 45°. Chanfrein sur 2/3 de l'épaisseur.

Dimensions:
 10056 - Outil d'injection A4

Échelle: 1:50

Page 21

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES*

de l'extrait sec	
(CaO+MgO) _{total}	≥ 90 %
MgO	< 5 %
CO ₂	< 7 %
SO ₃	< 2 %

*Suivant NF EN 459-1

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Concentration	600 g/l
Densité apparente	1,33
Viscosité	300 cP ± 150



SM/PM



UN NOUVEL OUTIL ET UNE NOUVELLE CHAUX



OM

UN NOUVEL OUTIL ET UNE NOUVELLE CHAUX

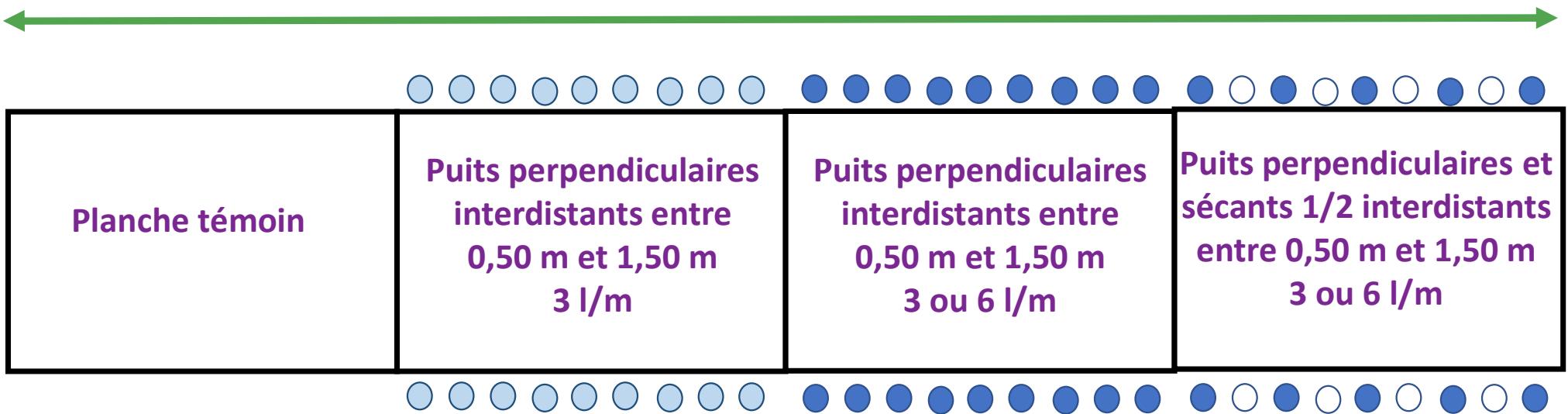


OM



LA SUITE DE L'EXPERIMENTATION

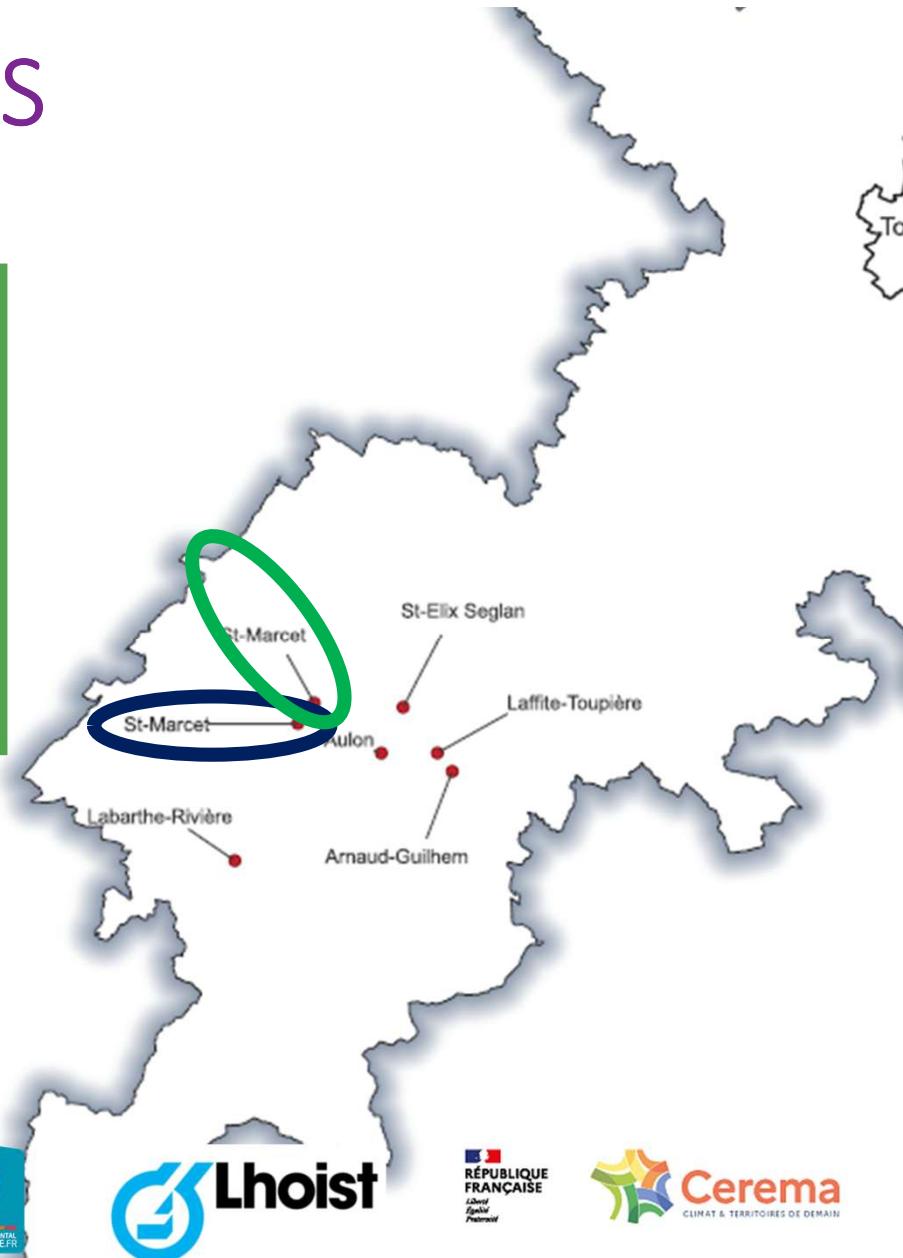
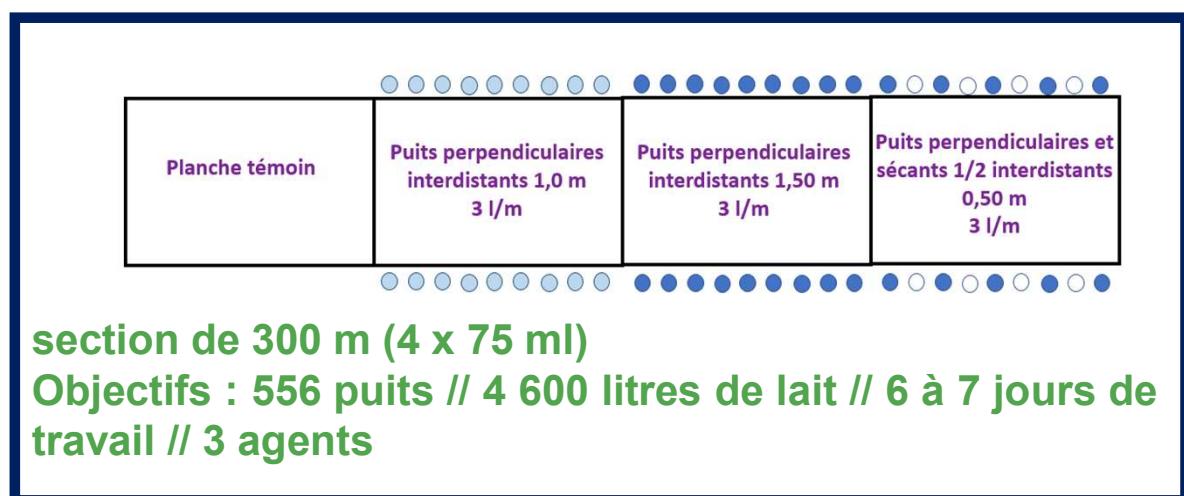
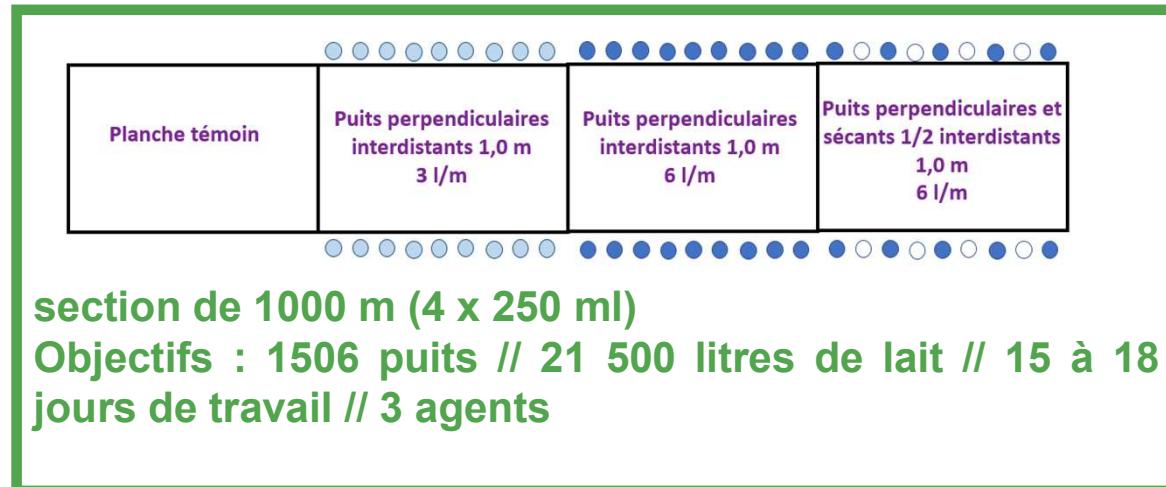
Zones d'expérimentation sur une RD



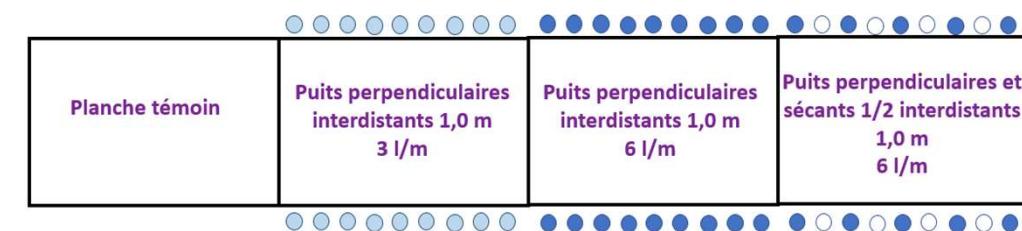
OM



LES FUTURES PLANCHES D'ESSAIS HIVER 2025

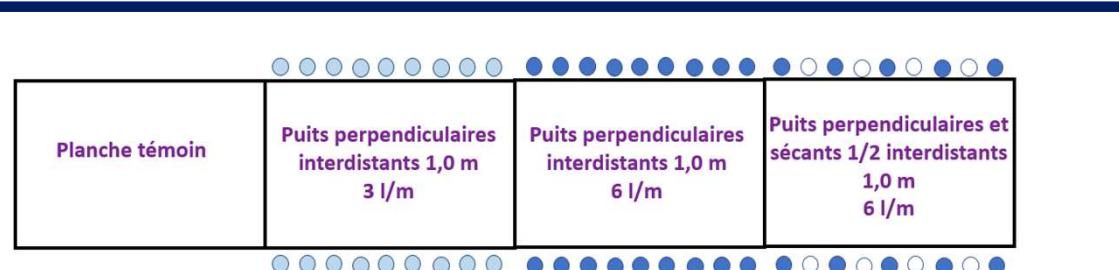
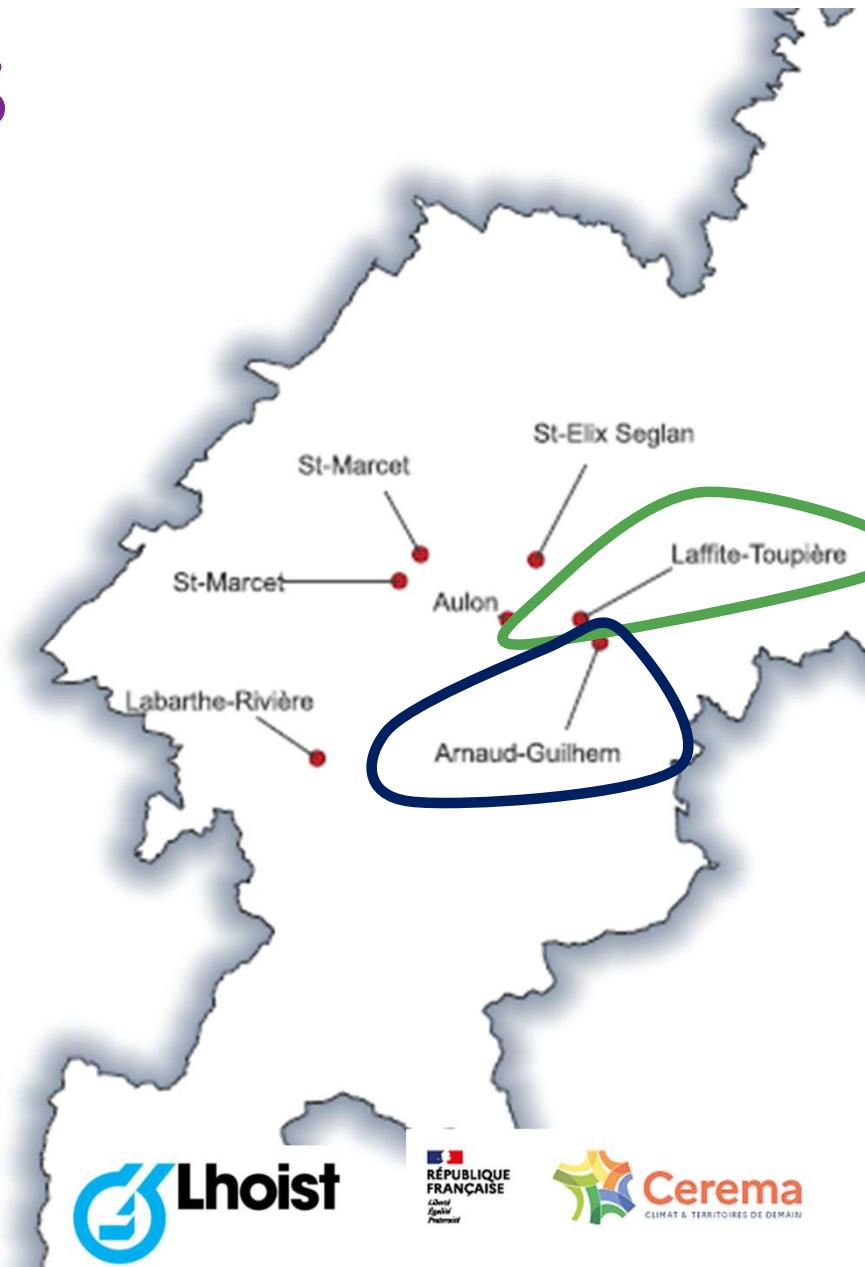


LES FUTURES PLANCHES D'ESSAIS PRINTEMPS 2026



section de 600 m (4 x 150 ml)

Objectifs : 906 puits // 12 500 litres de lait // 9 à 10 jours de travail // 3 agents



section de 600 m (4 x 150 ml)

Objectifs : 906 puits // 12 500 litres de lait // 9 à 10 jours de travail // 3 agents

LA SUITE DE L'EXPERIMENTATION

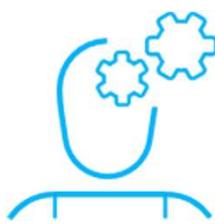
Les verrous scientifiques

- Conditions de diffusion dans les sols argileux (lait de chaux, matrice argileuse du sol, état hydrique, compacité, perméabilité, etc)
- Maillage des puits de lait de chaux
- Modélisation physique et numérique de la diffusion



Projet de doctorat envisagé :

- Démarche laboratoire et terrain
 - Paramètres d'injection du lait de chaux (concentration, durée)
 - Modèle numérique et physique du phénomène de la diffusion dans la matrice argileuse
 - Identification des paramètres géotechniques
 - Essais et suivis en vrai grandeur



DES QUESTIONS ?

N'HESITEZ PAS



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

