

# 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)

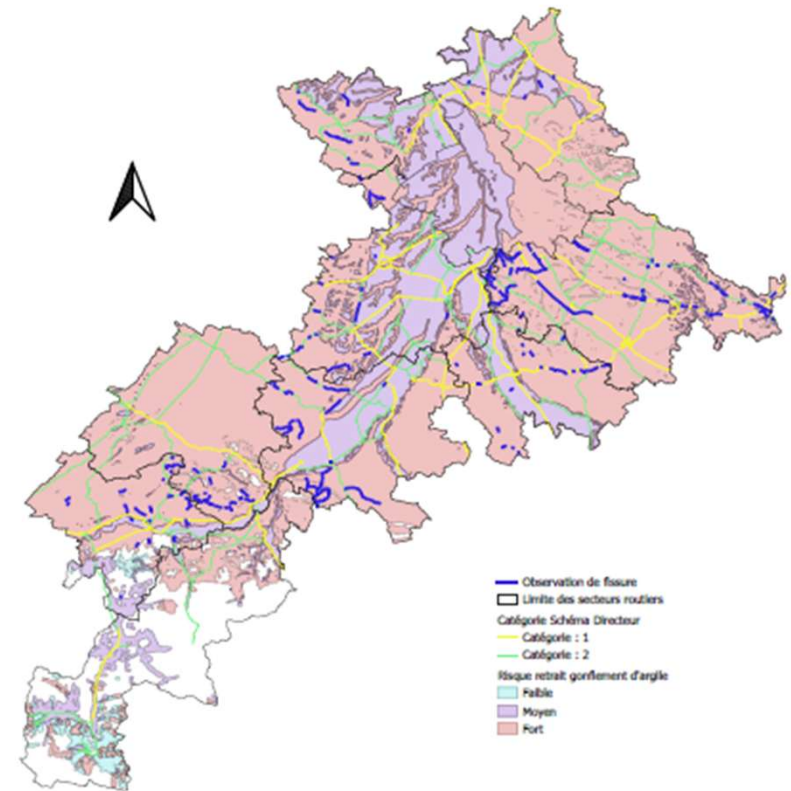
# SOMMAIRE

- 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<sup>ère</sup> réfection des couches de chaussées après injections
- Les nouvelles expérimentations
- La suite....

# 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





# 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

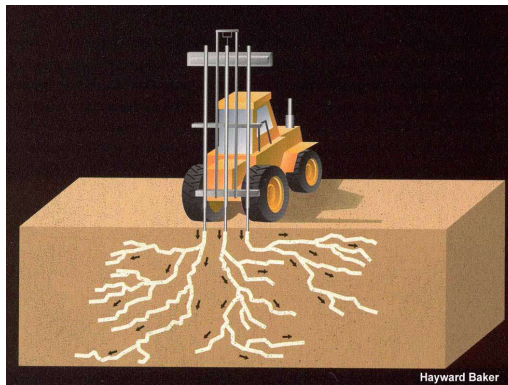
⇒ Accord en 2018 entre le Cerema, la société LHOIST et le CD31 pour tester la faisabilité de puits au lait de chaux

# 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

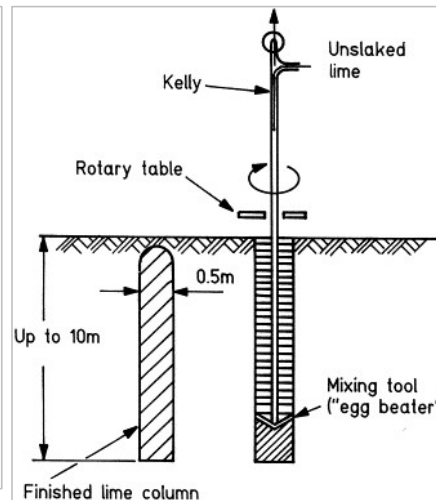
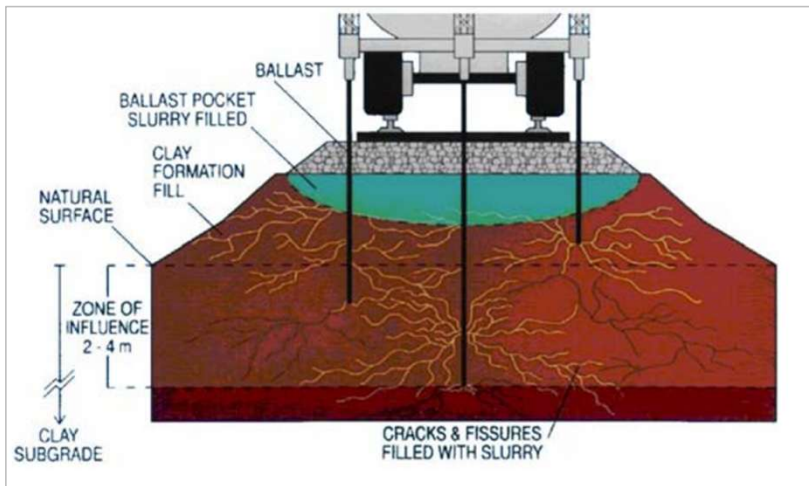
Technique développée dans les années 1960 principalement en Australie et en Amérique du Nord

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  $\text{pH} > 12,4$



# 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

# 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

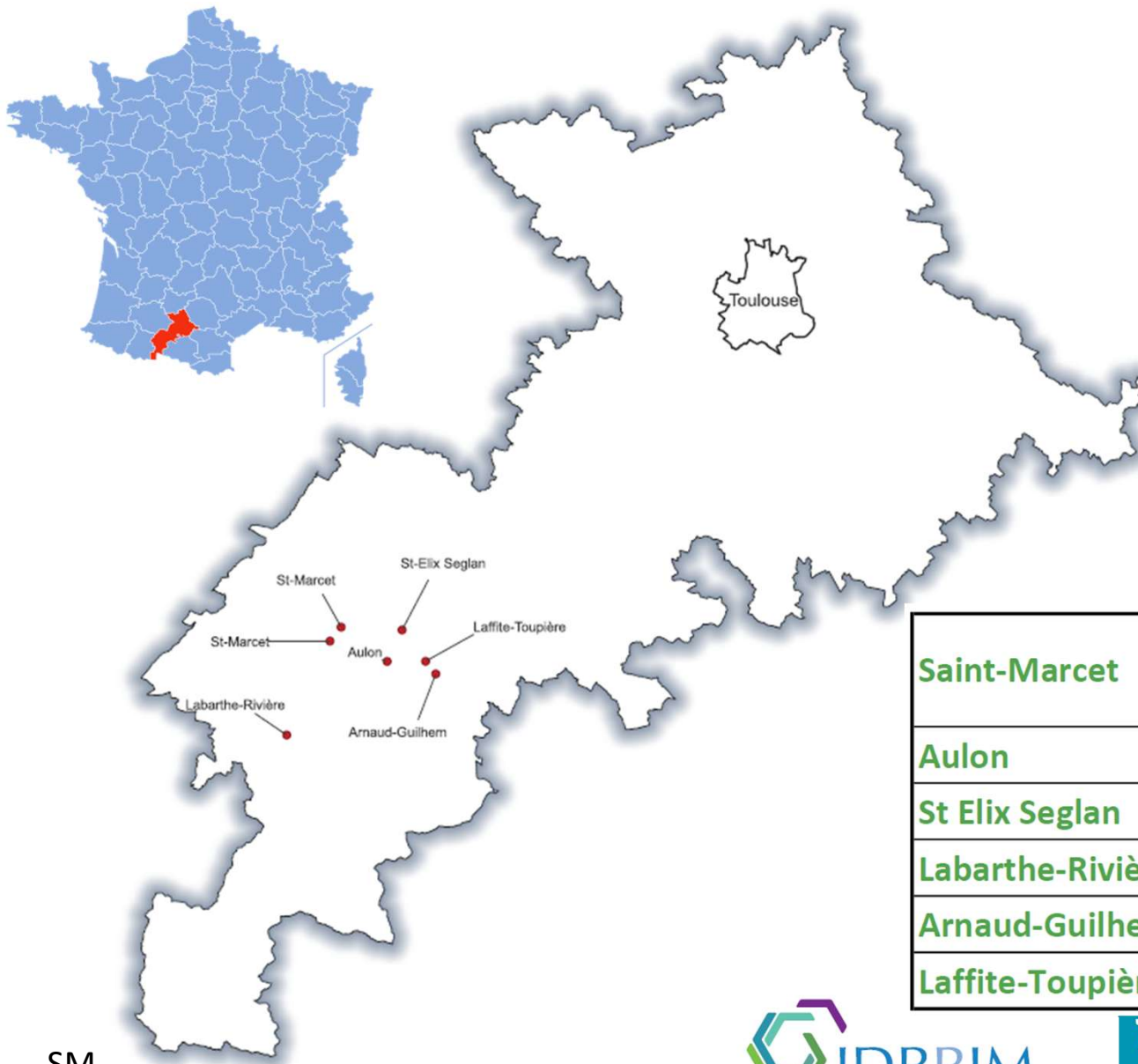
## Les suites de l'expérimentation

...

**2024 - 2025**



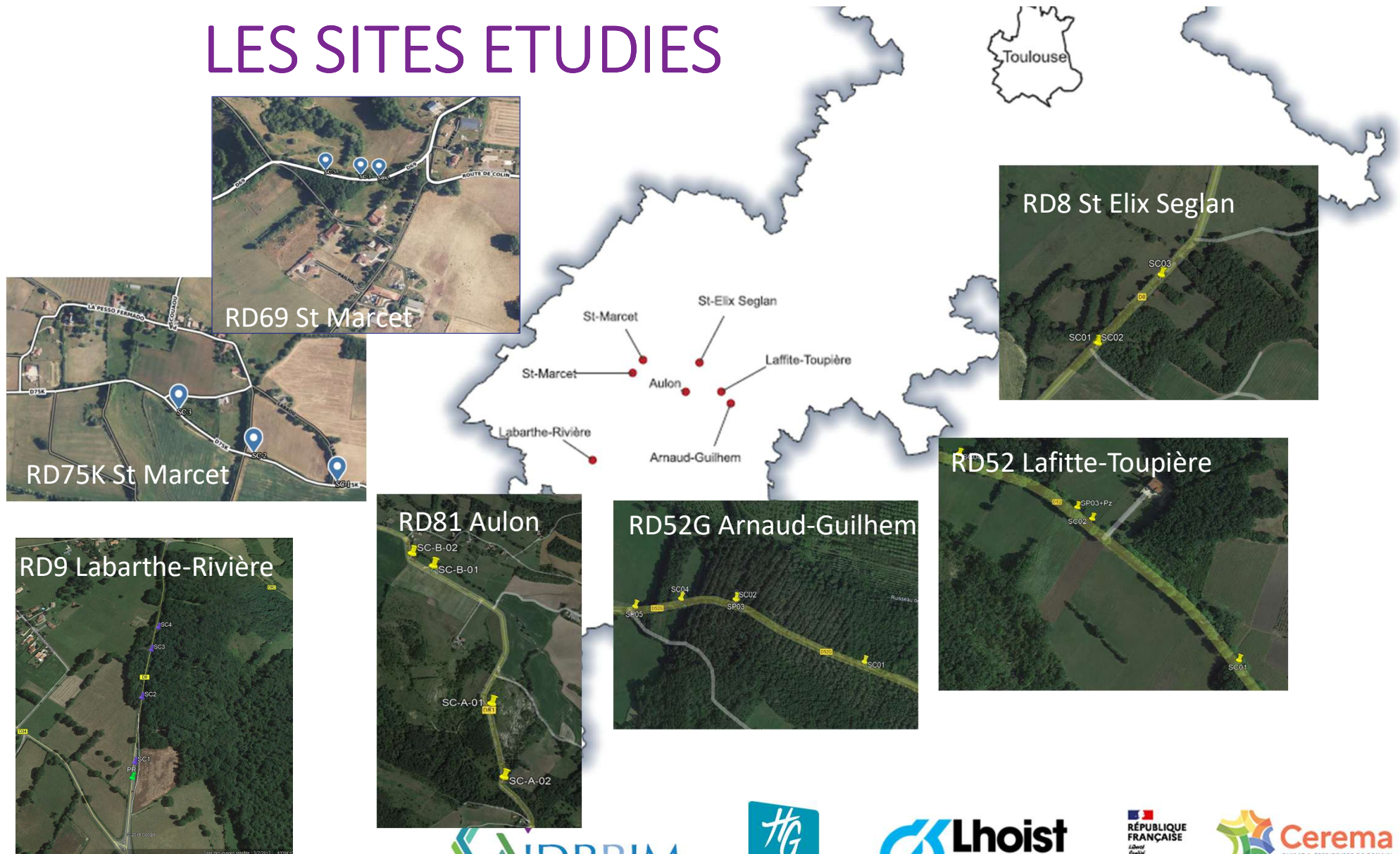
# LES SITES ETUDIES



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 ETUDIES

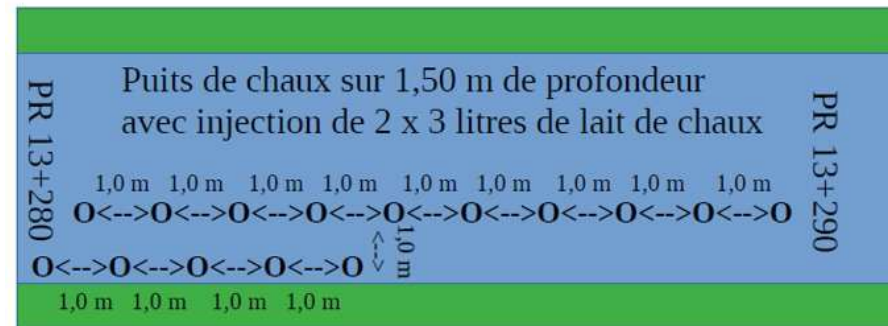
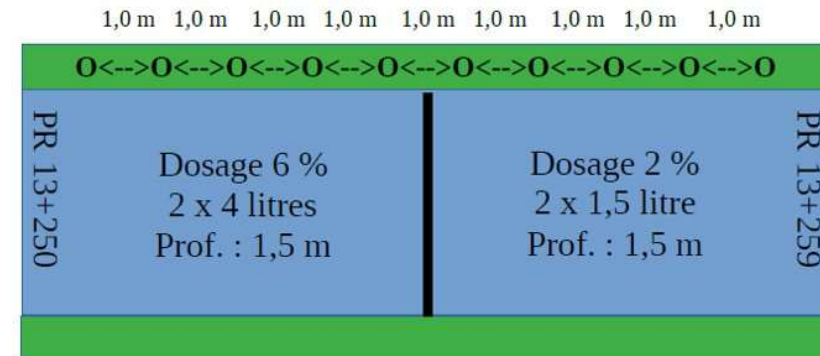
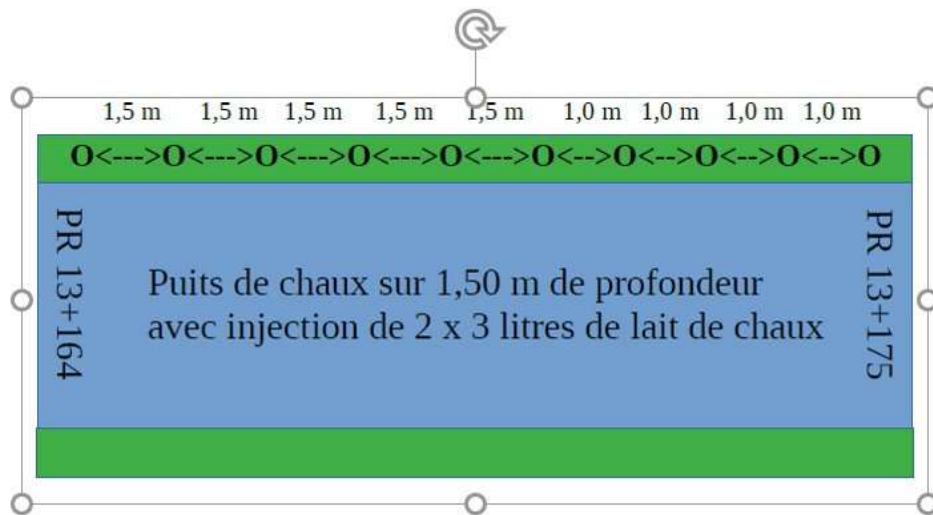


SM

# 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

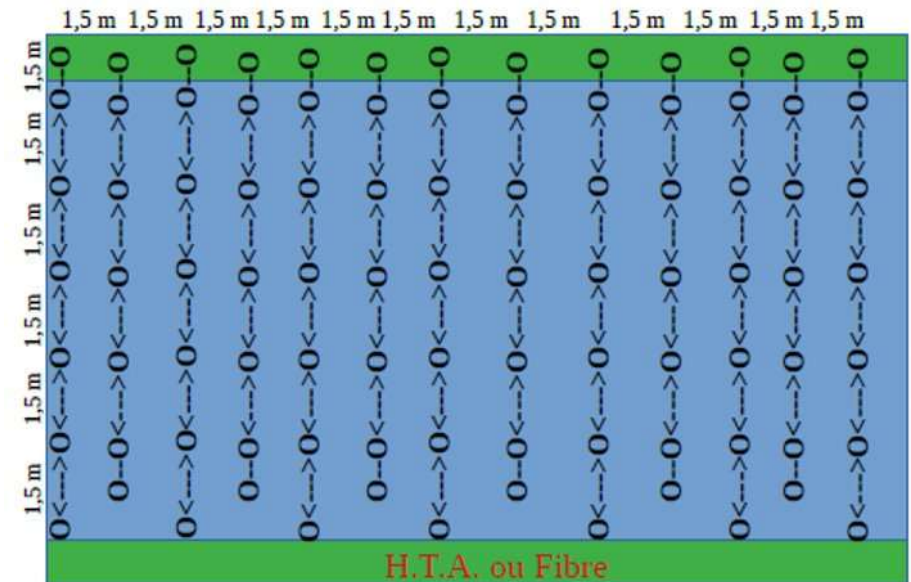
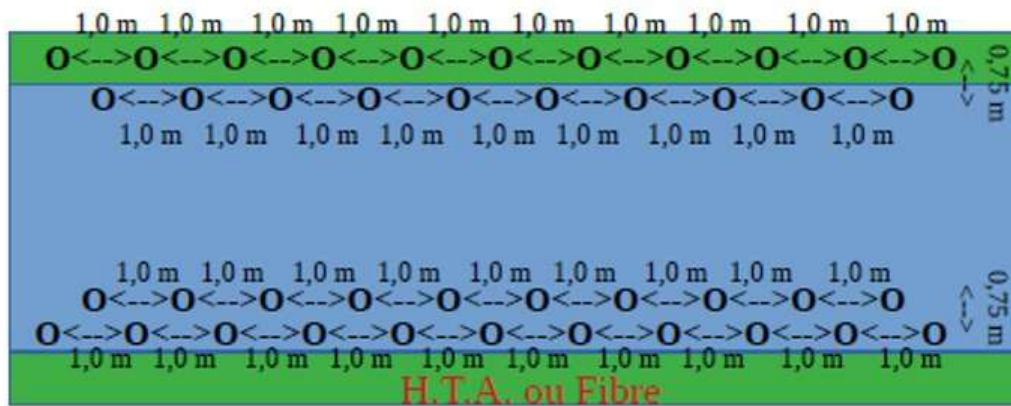


OM

# PLANCHES D'ESSAIS 2022

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

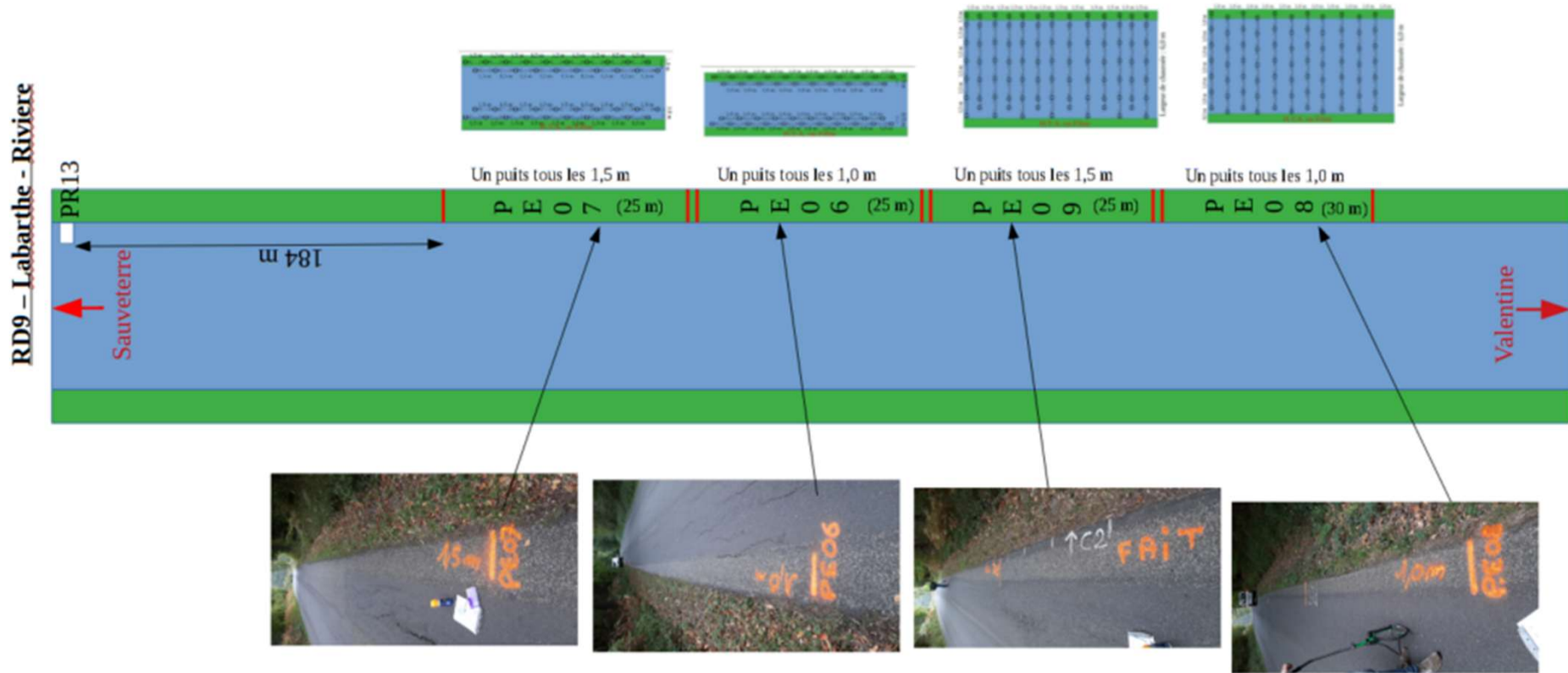
OBJECTIF : vérifier l'efficacité du procédé suivant d'autres modalités



OM



# PLANCHES D'ESSAIS 2022



OM

# PLANCHES D'ESSAIS 2022



OM



# BILAN DES PLANCHES D'ESSAIS 2022

	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			

100 puits par jour environ

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)



# 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		<b>A4-F4</b>	<b>A4-F4</b>
ATèzsqzG (%)	550 °C	9,64	8,15
	950 °C	0,66	0,56
XRF	<b>Calcium oxide</b>	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, <b>Montmorillonite</b> , <b>Kaolinite</b> , Quartz, Olivine, Anorthite	Goethite, Anatase, <b>Montmorillonite</b> , <b>Kaolinite</b> , Quartz, Olivine



Essai de bleu de méthylène



Granulométrie



DRX



ATG



Limite d'Atterberg

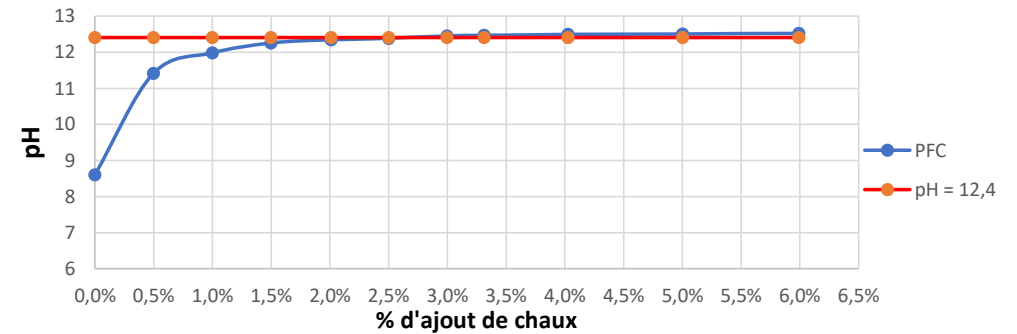


XRF

# ESSAIS DE TRAITEMENT



Point Fixation Chaux (PFC)



Tests	Sol naturel 1	Sol traité avec 3% CaO <sub>vive</sub>	Sol traité avec 3% CaO <sub>lait</sub>
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

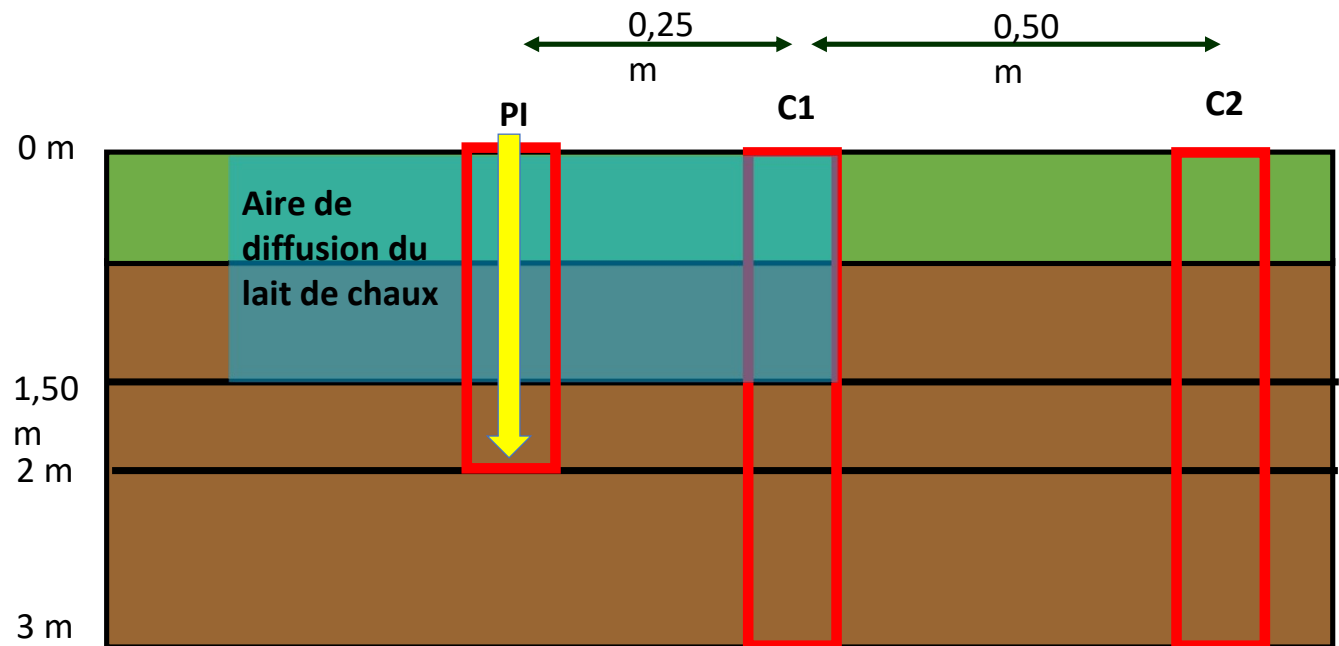
## AU NIVEAU DES PLANCHES D'ESSAIS

### 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



# 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 6mi 1" male BSP libre des 2 côtés
- 1 Vanne 3 voies Inox 1"
- 2 Raccord express 1" male

01 02 03 04 05 06 07 08 09

Nomenclature variable pour l'ensemble			
09	Tête de forage	1	
08	Boulon M16 L=100	1	ZN
07	Boîte à eau	1	S235
06	Tube d'injection	1	E470
05	Axe Ø20 + goupille	1	C45
04	Boulon M20 L=150	1	ZN
03	Axe jonction moteur	1	
02	Bras de maintien boîte à eau	1	S235
01	Ensemble moteur existant	1	

Rep.	Désignation	Qté.	Matériau
Soil Précontrainte			
21 DORVILLE			
31800 SAINT-GENÈS			
FRANCE			

amas

CD31

10056 - Outil d'injection

A4

Echelle: 1:30

Page 2/1

Commentaires:

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

Préparation soudures: Tôles 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.

## PROPRIÉTÉS CHIMIQUES\*

de l'extrait sec	
(CaO+MgO) <sub>total</sub>	≥ 90 %
MgO	< 5 %
CO <sub>2</sub>	< 7 %
SO <sub>3</sub>	< 2 %

\*Suivant NF EN 459-1

## PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

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



# UN NOUVEL OUTIL ET UNE NOUVELLE CHAUX



OM



# UN NOUVEL OUTIL ET UNE NOUVELLE CHAUX



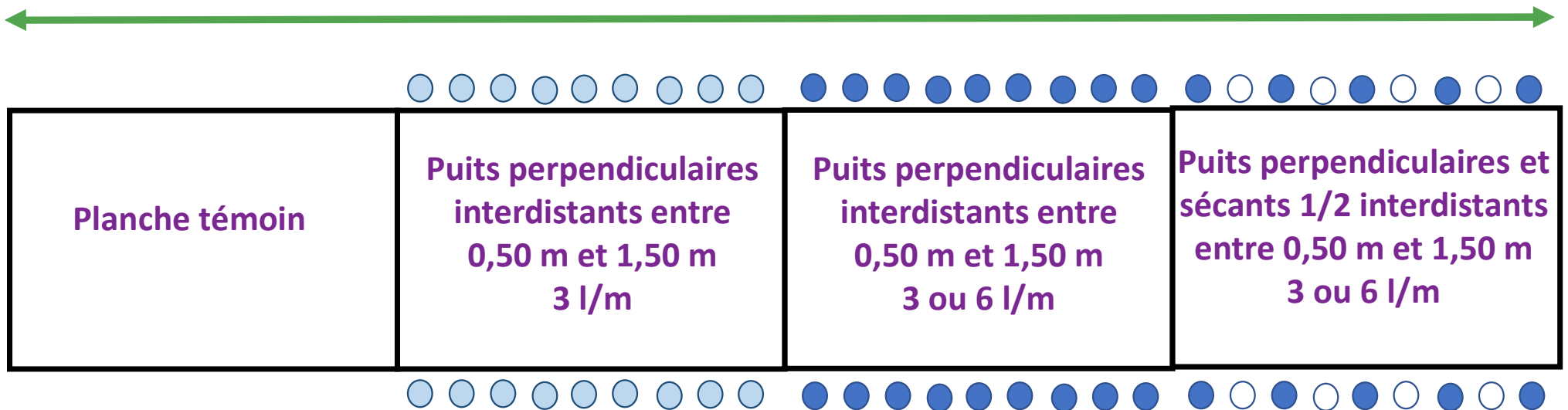
OM



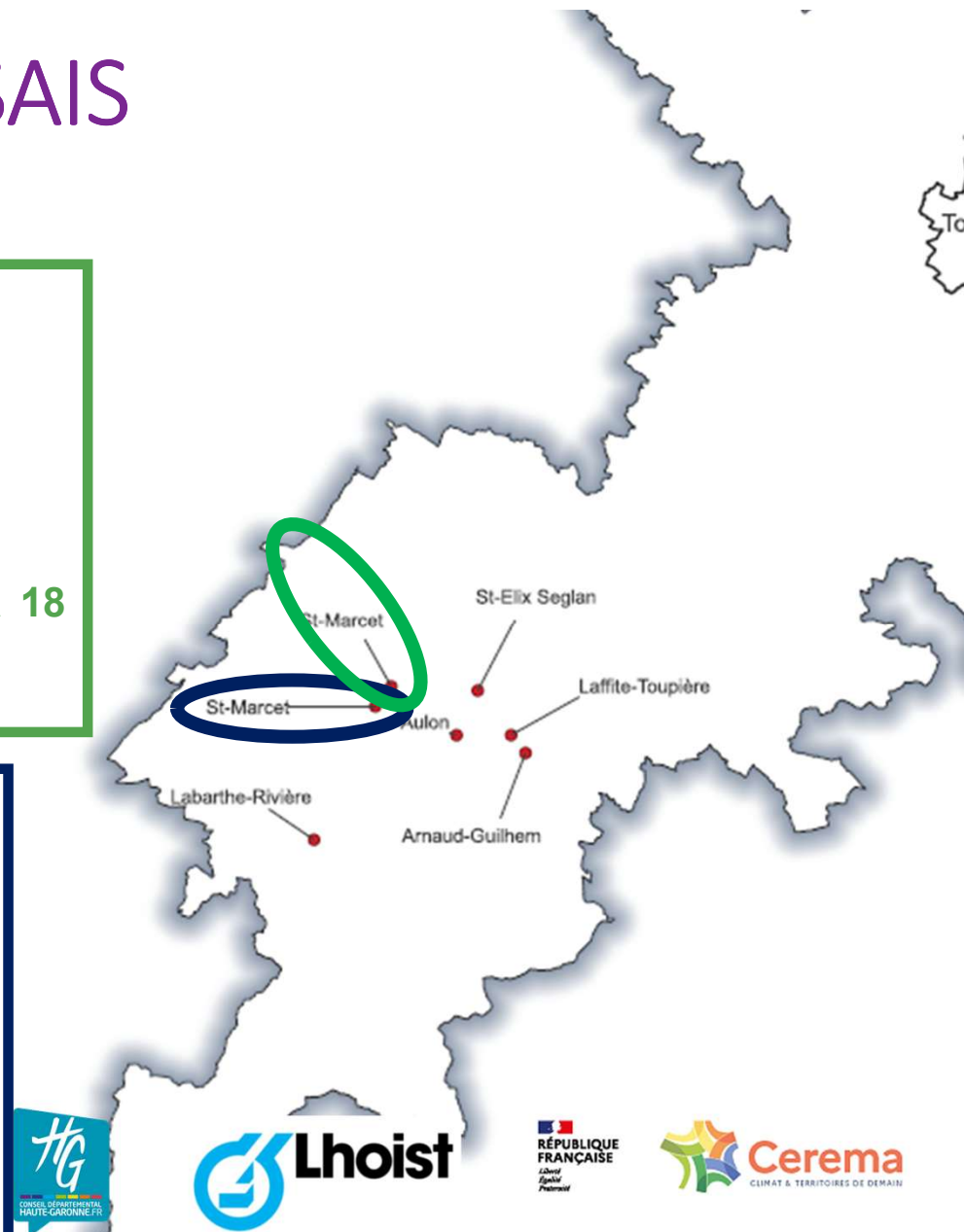
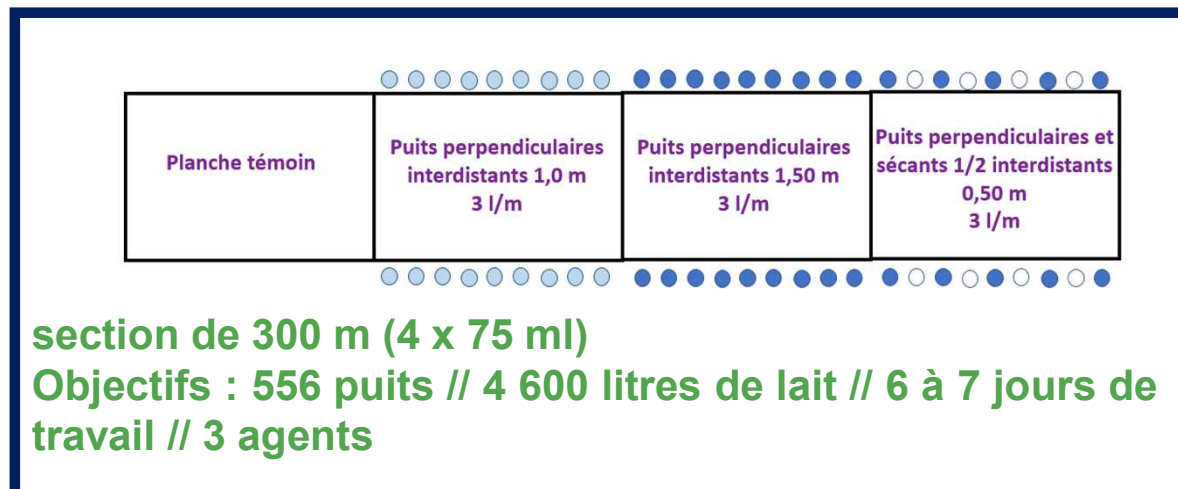
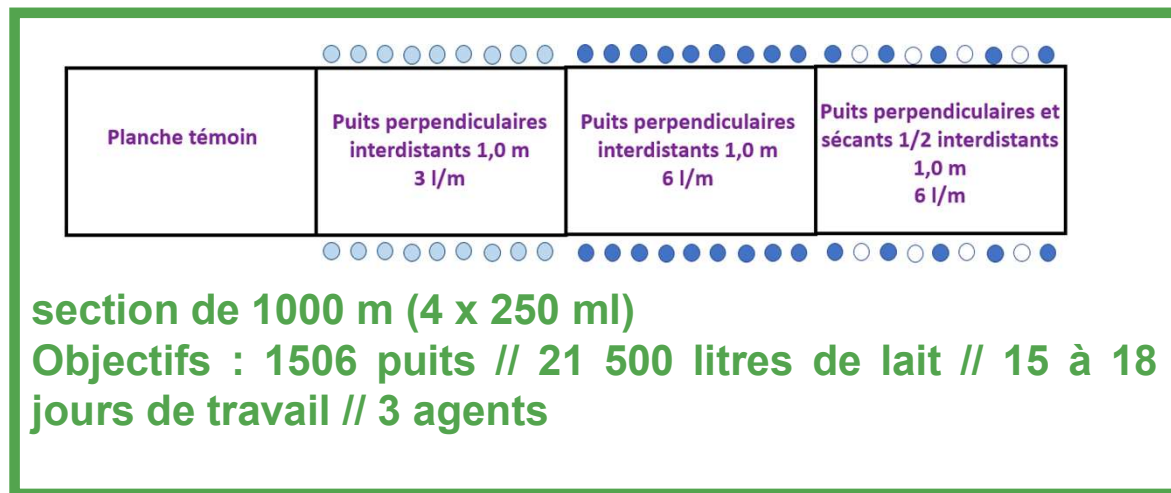


# LA SUITE DE L'EXPERIMENTATION

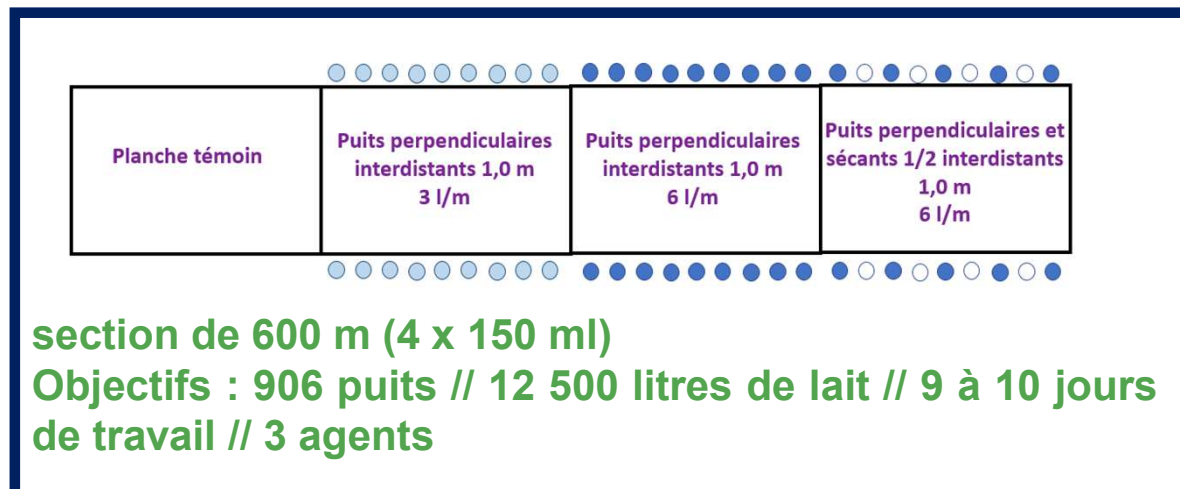
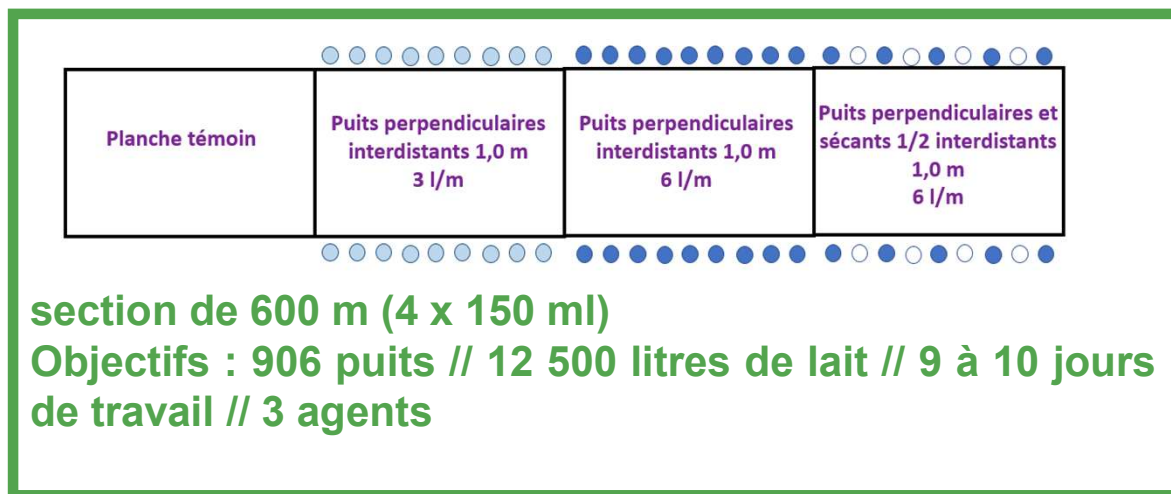
## Zones d'expérimentation sur une RD



# LES FUTURES PLANCHES D'ESSAIS HIVER 2025



# LES FUTURES PLANCHES D'ESSAIS PRINTEMPS 2026





# 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

