

JOURNÉE TECHNIQUE NATIONALE

Routes exposées à la sécheresse et au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (RGA)



STABILISATION DES SOLS ARGILEUX PAR PUITS AU LAIT DE CHAUX

Auteurs : Sandrine MARNAC (CD31), Pierre METAIS (Lhoist) et Olivier MARTIN (Cerema)

14 novembre 2023

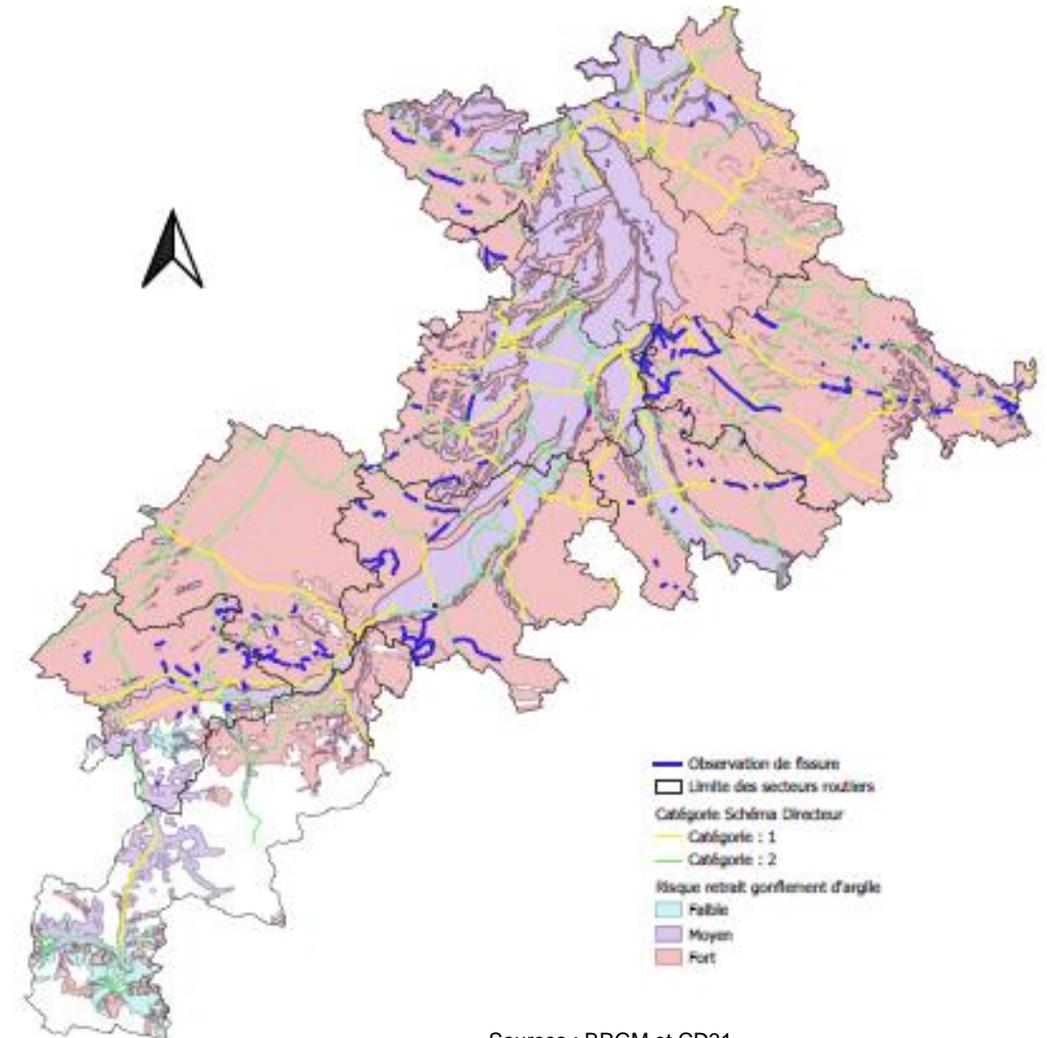
SOMMAIRE

- La problématique RGA en Haute-Garonne
- La technique des puits au lait de chaux
- Les planches expérimentales
- Les essais de laboratoire
- Les suites...

LE RISQUE RGA EN HAUTE-GARONNE

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

Environ **300 km** de RD recensées potentiellement impactées par le phénomène



Sources : BRGM et CD31

LA PROBLÉMATIQUE

- Un patrimoine impacté conséquent
- Beaucoup de réparations peu pérennes (GE)
- Difficultés d'exploitation (sécurisation)



Sources : Cerema et CD31

LE PROJET

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

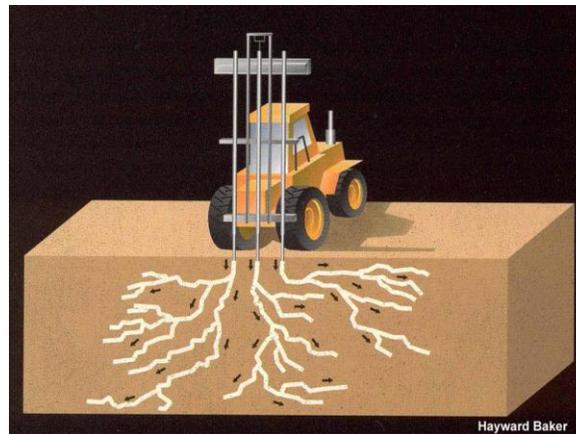
⇒ Accord en 2018 entre le Cerema, LHOIST et le CD31 pour tester la faisabilité de puits au lait de chaux

POURQUOI LES PUIITS AU 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



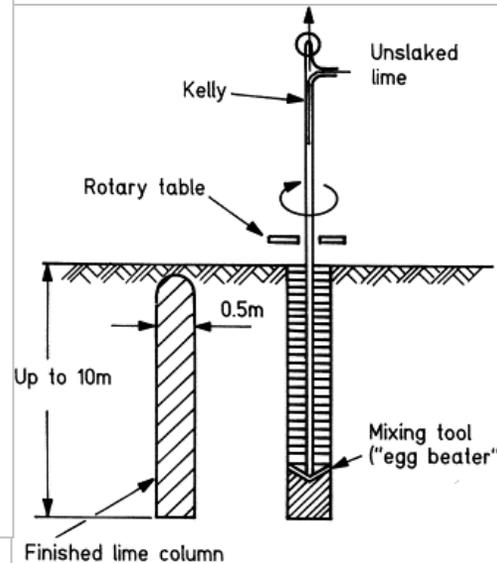
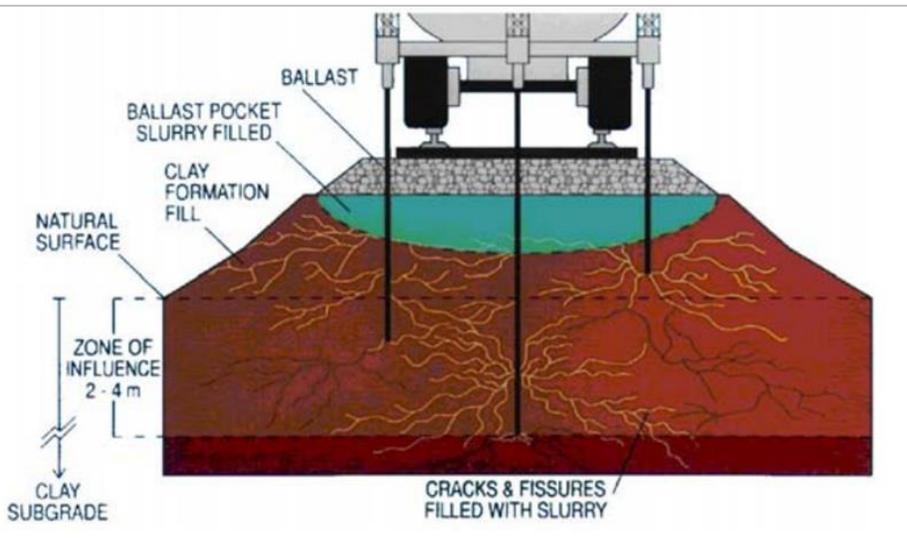
POURQUOI LES PUITTS AU LAIT DE CHAUX ?

Injection sous pression

Pompage à haute pression du lait de chaux dans le puit + perméation

Injection par perméation

Puit foré est rempli avec du lait de chaux



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 $\text{pH} > 12,4$

Période de mise en oeuvre :

Préférable sur sol sec

REPONSES AUX OBJECTIFS

- Fabrication par les agents du secteur routier de St Gaudens d'un outil développé en collaboration entre le CD31, le Cerema et Lhoist permettant la réalisation de puits avec un mélange sol-lait de chaux
- Réalisation de puits au lait de chaux en régie par les agents du Conseil Départemental de la Haute-Garonne

L'OUTIL

Tête de forage
constituée de
couteaux en acier de
diamètre 180 mm

Zone d'injection du
lait de chaux

Longueur du tube : 2,0 m



LE LAIT DE CHAUX

- Lait de chaux concentré stabilisé :
 - Sédimentation limitée et matière sèche redispersable
 - 45% en masse de chaux hydratée
 - Livraison vrac/cubitainer de 1 m³



PROPRIÉTÉS CHIMIQUES*

Ca(OH) ₂ <i>de l'extrait sec</i>	94 %
Concentration	600 g/L

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES*

Extrait sec	45 % ±1
Viscosité	350 cP ±150
Densité	1,33
d50	3-4 µm
d 98	~ 47 µm

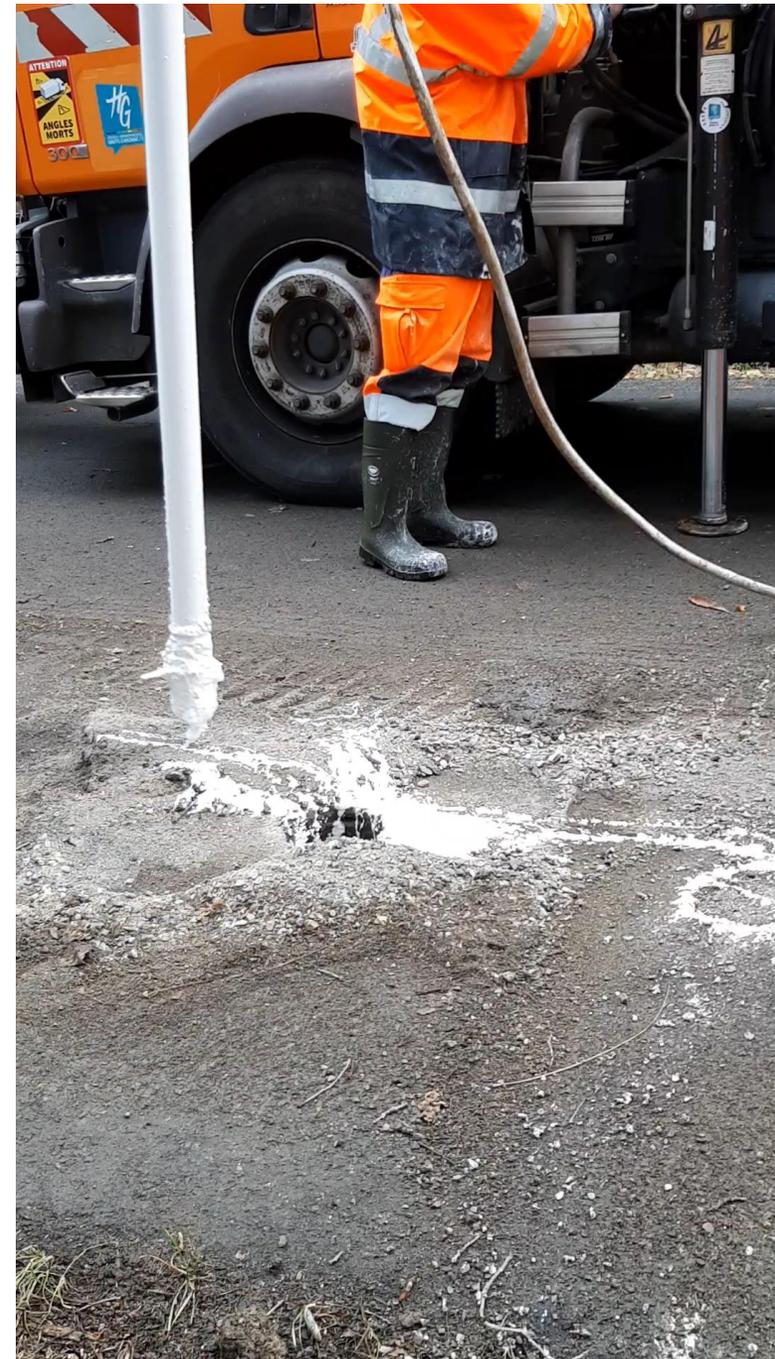
RÉALISATION D'UN PUIITS

1- L'outil fore le puits sur 2 mètres de profondeur par rotation en déstructurant les sols argileux avec le tube en position « fermé » permettant d'éviter le colmatage de la zone d'injection.

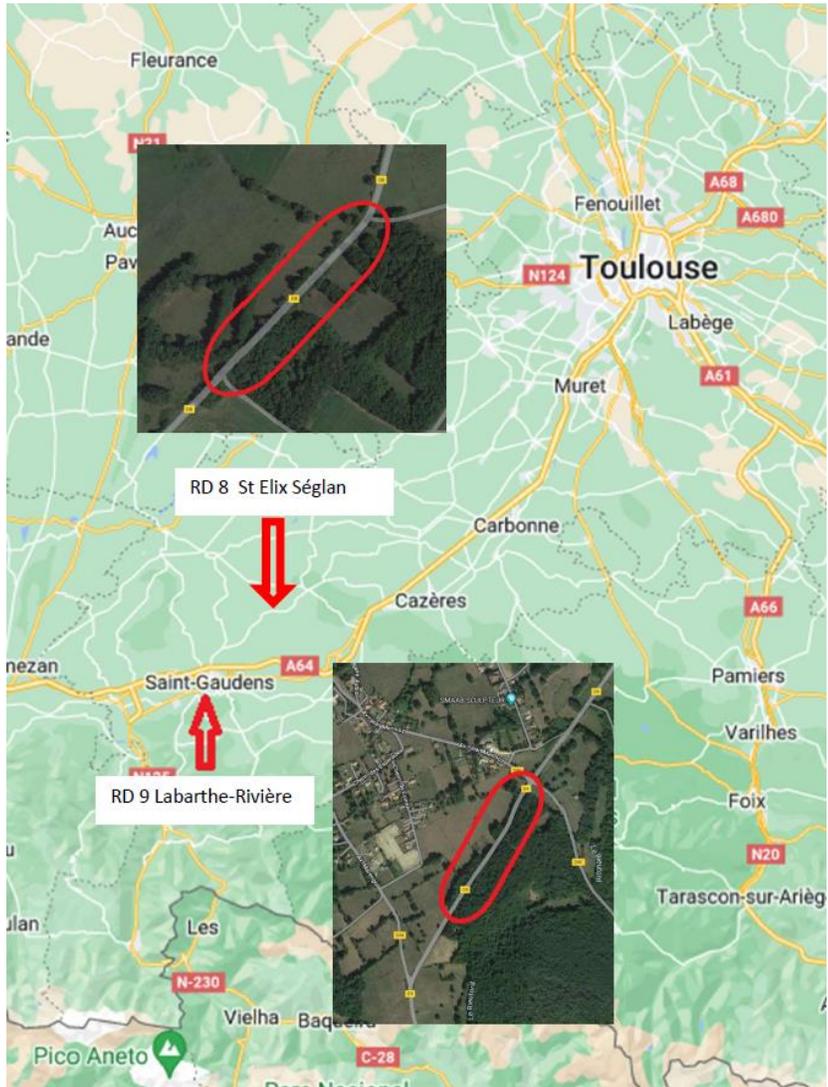
2- Ouverture de la zone d'injection par remontée du tube sur la tige.

3- injection du lait de chaux pendant la remontée de l'outil par rotation permettant un malaxage du sol avec le lait de chaux.

La quantité de lait de chaux maximale injectée est de l'ordre de 3 l/ml.



LES SITES ÉTUDIÉS



Identification tests		Bucket 1	Bucket 2
Humidity (%)		33,5	34,8
VBS (g/100 g of soil)		10,54	10,87
Plasticity Index (%)		50	54
Fraction < 80 µm (Granulometry) (%)		93,59	96,72
Classe de sol		A4-F4	A4-F4
TGA (%)	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
XRD		Goethite, Anatase, Montmorillonite , Kaolinite , Quartz, Olivine, Anorthite	Goethite, Anatase, Montmorillonite , Kaolinite , Quartz, Olivine

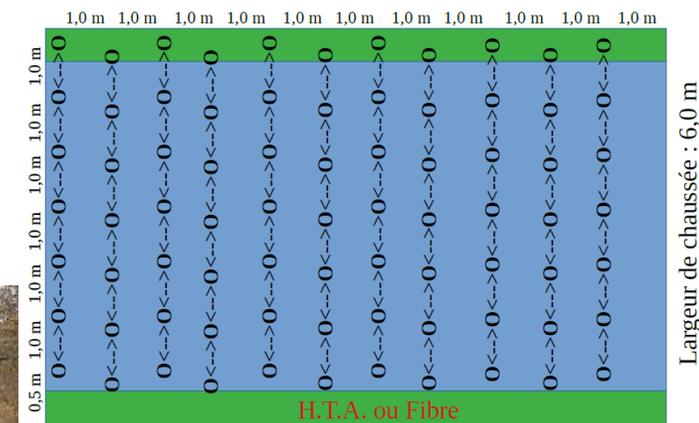
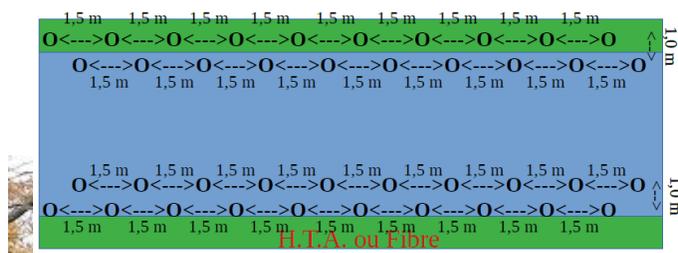
LES PLANCHES EXPERIMENTALES

	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

4 agents

Moins de 2 000 € la journée
(hors RH et réfection couche de roulement)



2 scenarii : rives seules et pleine largeur de chaussée
2 maillages : 1 m et 1,5 m

LES EQUIPEMENTS COMPLEMENTAIRES



Marteau « fond de trou » pour traverser la structure de chaussée



LES PLANCHES EXPERIMENTALES

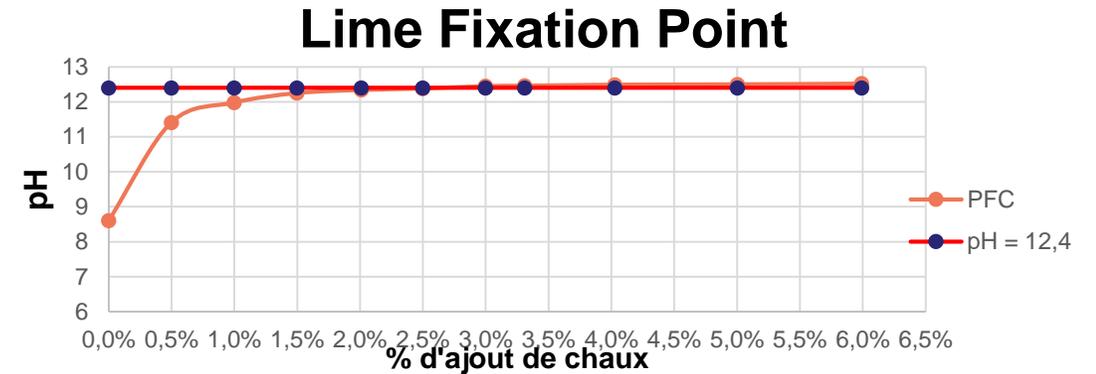


Réfections des chaussées programmées en 2024 :

- broyage des matériaux bitumineux pour reconstitution d'une GNT
- Mise en œuvre d'une couche de roulement type GE + ESU

LES ESSAIS LABORATOIRES

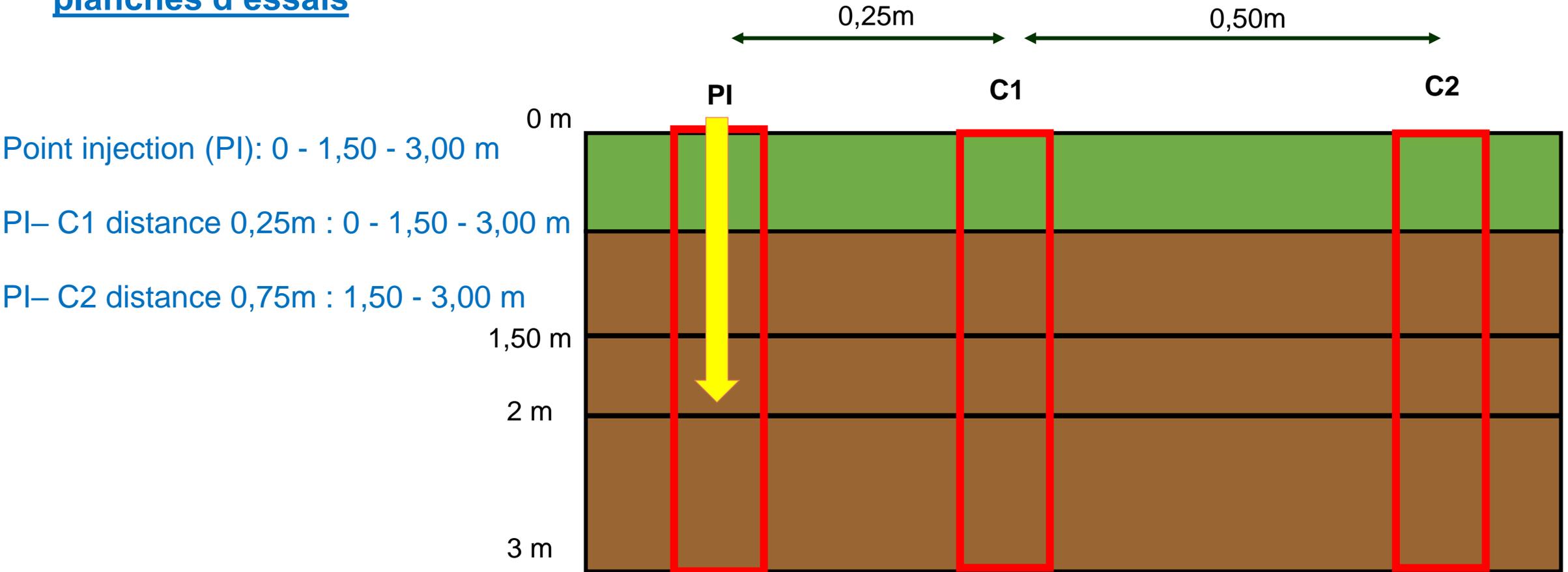
Efficacité du traitement à la chaux



Tests	Natural soil 1	Soil treated with 3% CaO	Soil treated with SLS45 (3% CaO)
Humidity (%)	33,1	28,3	36,7
LFP (%)	2,54	/	/
IPI	7	15	17
CBR 4d imm	5	15	24
Swelling (mm)	5	0	0,15

LES ESSAIS LABORATOIRES

Essais sur carottes au niveau des planches d'essais



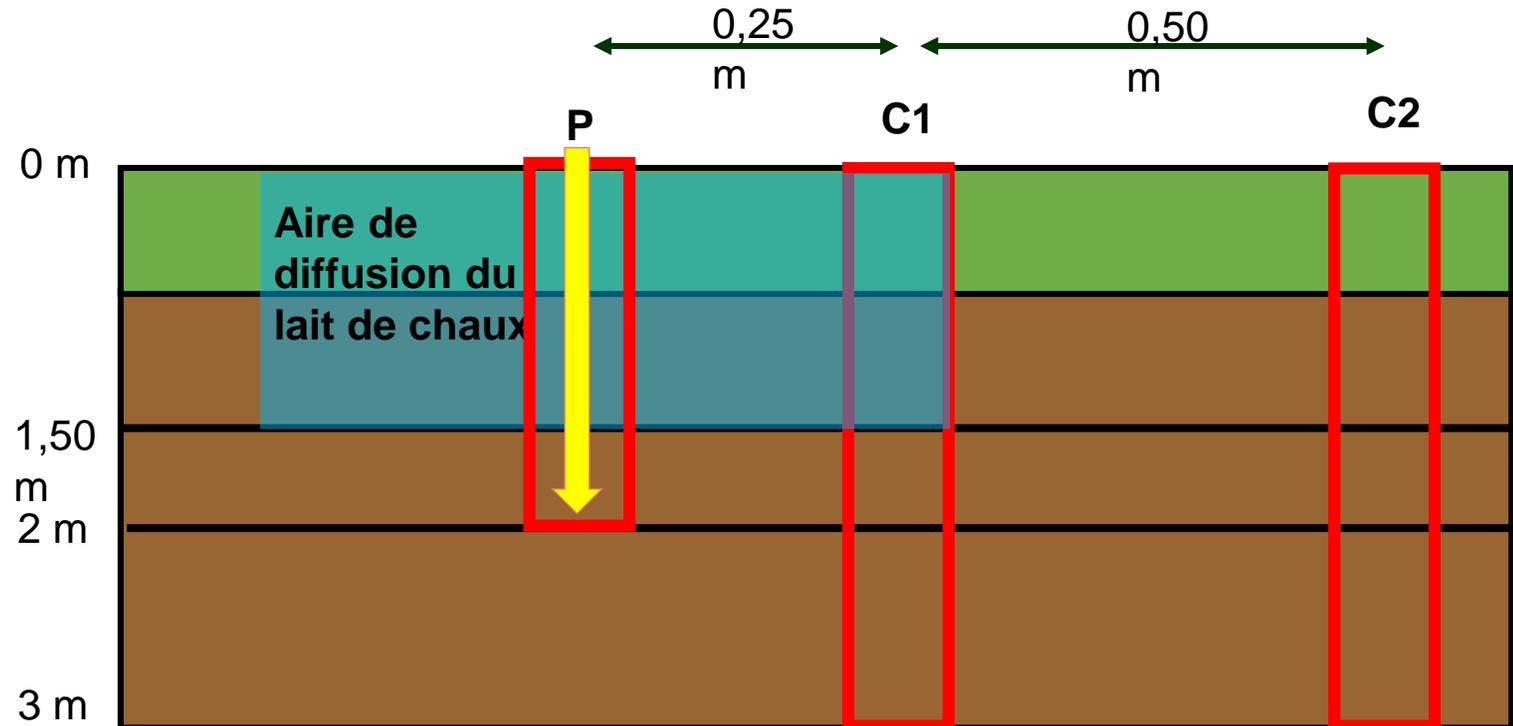
LES ESSAIS LABORATOIRES

Essais sur carottes au niveau des planches d'essais – premières 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



LES SUITES...

- Suivi et instrumentations des planches expérimentales
- Réalisation de nouvelles planches expérimentales en tenant des enseignements des 1^{ère} planches et des essais laboratoires (5 nouvelles RD)
- Amélioration de l'outil (compteur volumétrique, robustesse, développement industriel,...)
- Développement d'un essai en laboratoire pour mieux caractériser la « diffusion » de la chaux

Merci de votre attention



Stabilisation des sols argileux par puits au
lait de chaux