



11^{èmes} journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur

Apprendre du passé et construire l'avenir

Modification In Situ de la sensibilité des argiles au gonflement pour des fondations superficielles de bâtiments

Serge Lambert Keller France

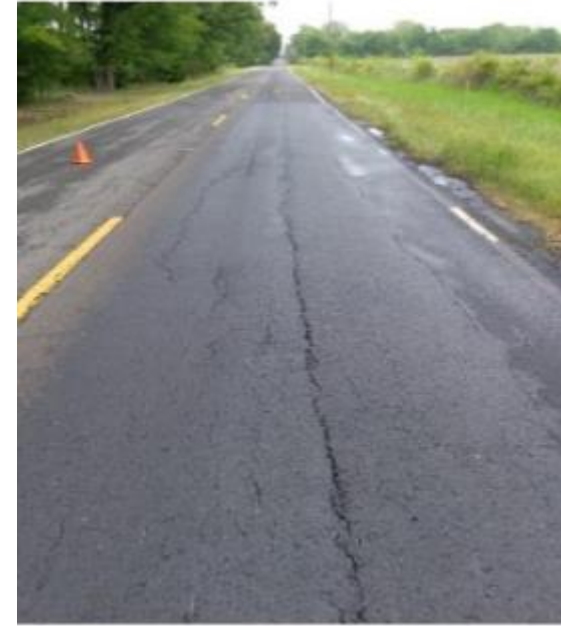
Arthur Pengelly Keller NA



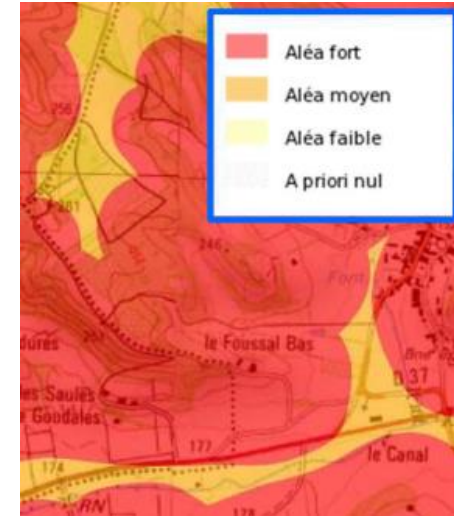
- ❑ Dommages de plus en plus importants sur les ouvrages construits sur des sols argileux

- ❑ L'ampleur des dommages est étroitement lié à:
 - la sensibilité au phénomène de retrait/gonflement des argiles

 - aux variations de teneur en eau dans le sol



❑ Localisation des argiles à fort potentiel de RG (Carte aléa du retrait/gonflement des argiles (carte du BRGM) compléter par des essais de laboratoire



❑ Facteurs de variations de teneur en eau

- Succession d'une période pluvieuse après période de sécheresse ou période de sécheresse après une période pluvieuse,
- Végétation à proximité immédiate de la construction
- Absence de drainage, drainage inadéquat ou défectueux

- ❑ Démarche en cas de sinistre
 - Diagnostic des désordres
 - Reconnaissance de sol
 - Déterminer l'origine des désordres

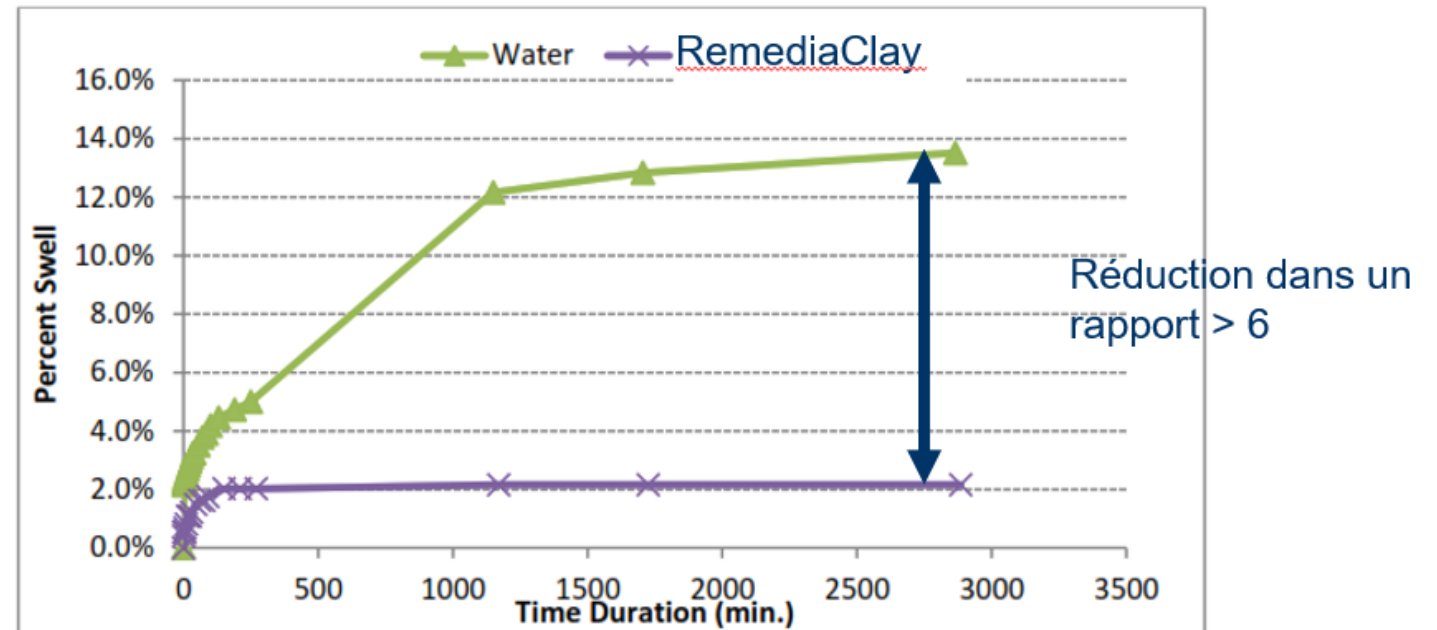
Si origine du sinistre lié à la présence d'argile fortement sensible au retrait/gonflement



- Protection du bâtiment vis-à-vis des variations hydriques (protection périphérique étanche horizontale, barrière étanche, abattage de la végétation à hautes tiges)
- Reprise en sous-œuvre (approfondissement des fondations, micropieux, jet-grouting, ...)

Une autre solution possible est l'injection ionique (Procédé RemediaClay[®])

Le procédé s'appuie sur une réaction entre la solution d'ions et le sol argileux pour modifier de manière pérennes les propriétés rhéologiques de l'argile.



Le phénomène de gonflement des argiles

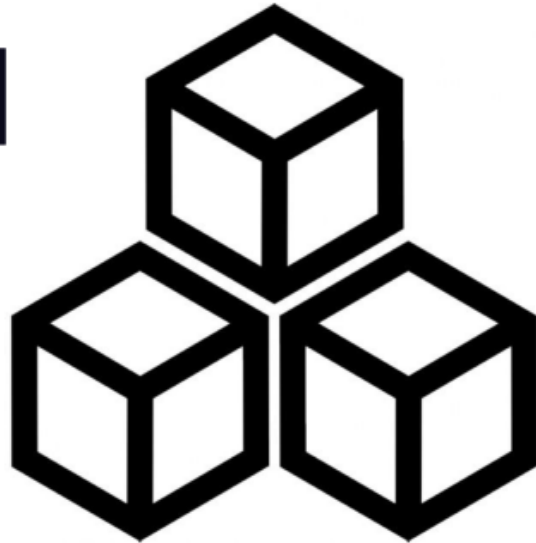
Les minéraux argileux sont des phyllosilicates d'aluminium dont les feuillets sont constitués de **couches d'octaédres Al (OH)₆** et de **couches de tétraédres SiO₄**



Silica Tetrahedron



Aluminum Octahedron

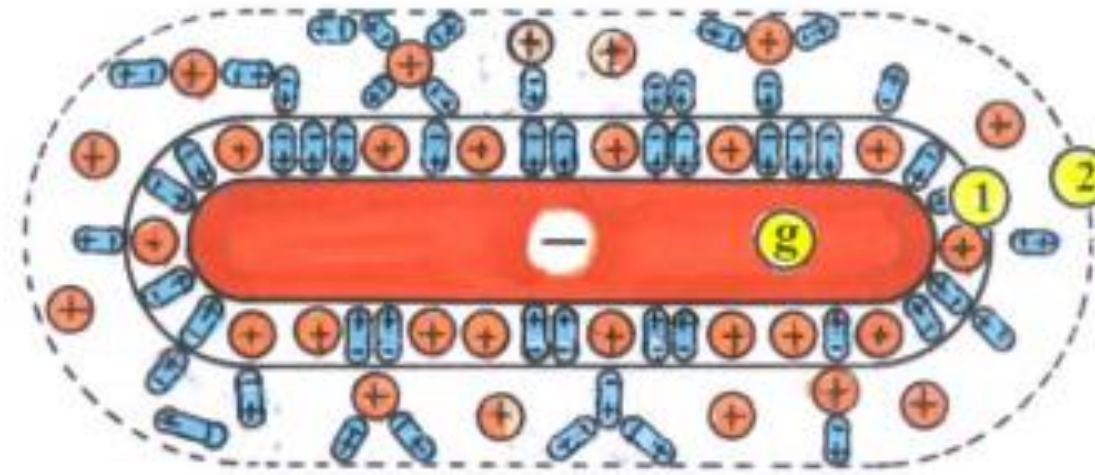


Exemple argiles gonflantes: Montmorillonites



Schéma de la structure élémentaire du réseau cristallin

Des cations sont également présents entre les feuillets et contrôlent le comportement de l'argile.



- ⓖ – grain de minéral
- ① – eau adsorbée fortement liée
- ② – eau faiblement liée
- ⊕ – cations Na, K, Mg, Al, H, Ca, ...
- ⊕ – molécules de l'eau

Le gonflement de l'argile est directement lié:

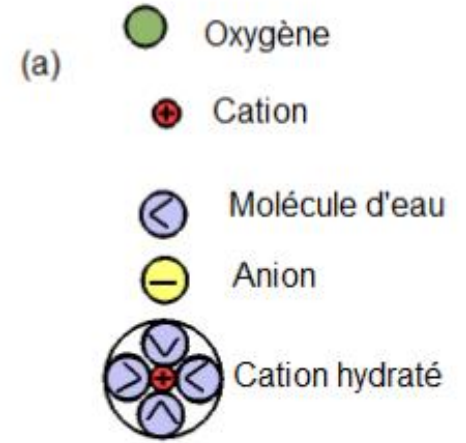
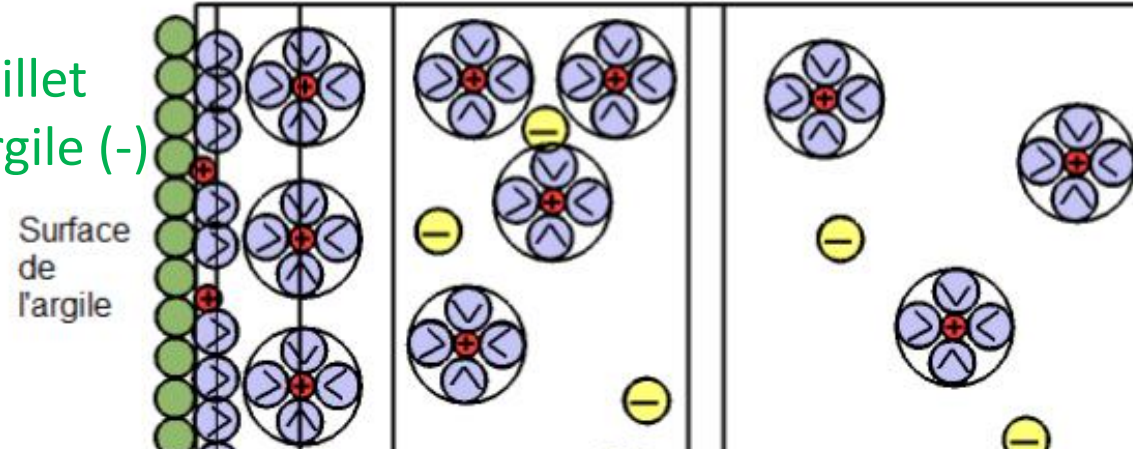
- à l'énergie d'hydratation correspondant à l'attraction des cations sur les molécules d'eau,
- au rayon d'hydratation des cations des interfeuillets.

Mécanisme de gonflement d'une argile – Injection Ionique

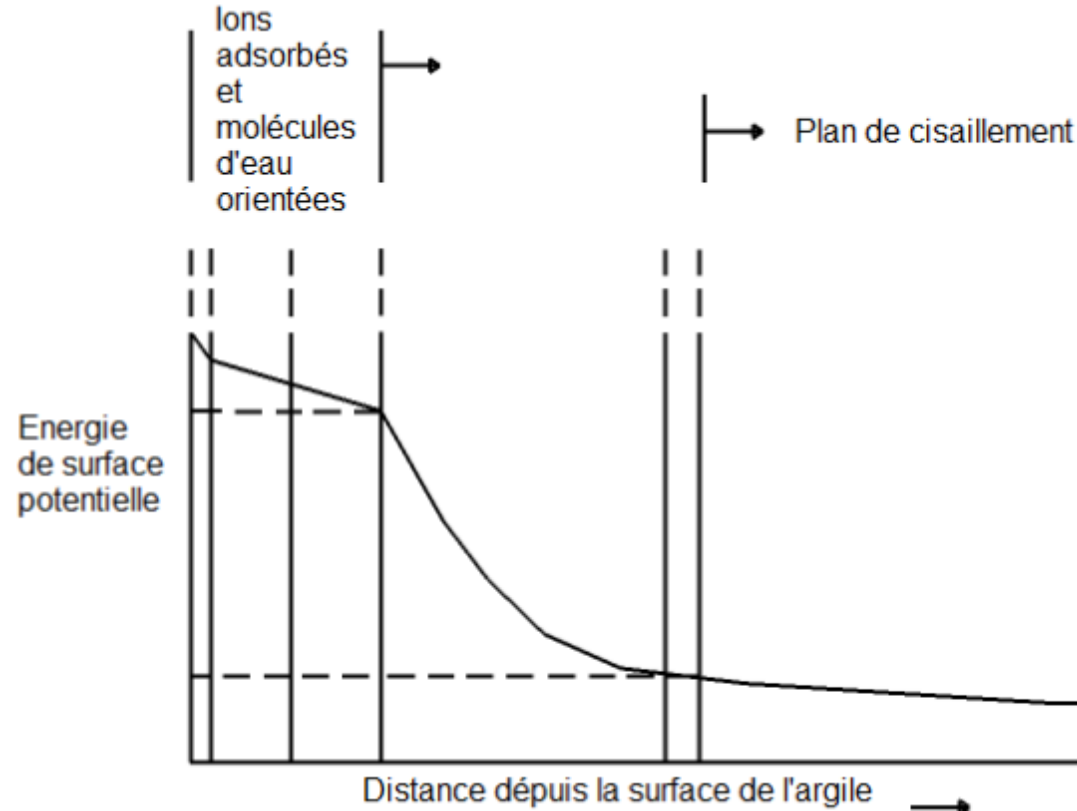
Il existe 2 catégories de cations:

- Des cations à forte énergie ou fort rayon d'hydratation. Ils ne migrent pas en surface de l'argile et donc l'argile va continuer à attirer des molécules d'eau et gonfler,
- Au contraire des cations à faible énergie ou rayon d'hydratation vont migrer en surface de l'argile et entraîner une baisse importante de l'énergie d'hydratation de l'argile (Potassium, Ammonium, Rubidium Césium)

Feuillet d'argile (-)



modèle de Güven (1992)



Mitchell, 1993

Mécanisme de gonflement d'une argile – Injection Ionique

Procédé RemediaClay®



Exemple d'un traitement par injection ionique sous un bâtiment

Bâtiment construit en 1956 à Garland au TEXAS

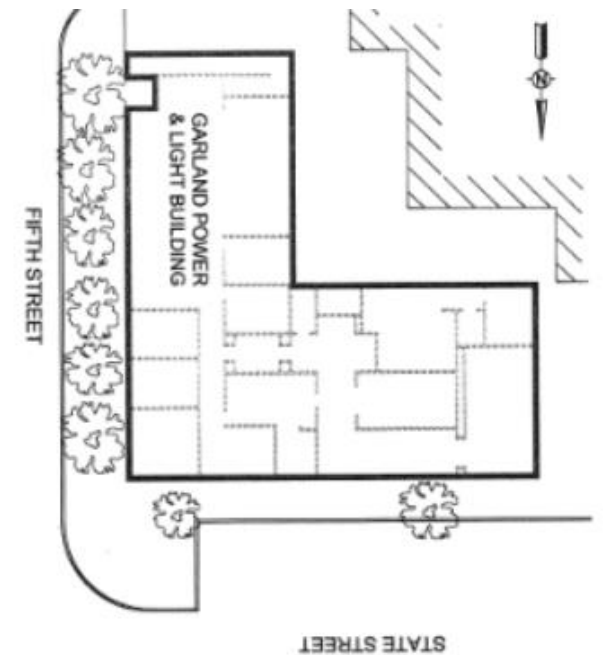
Type de fondation: radier sur pieux courts en périphérie uniquement et directement

Désordres:

Dès les premières années de la construction fissures sur la façade Est coté végétation

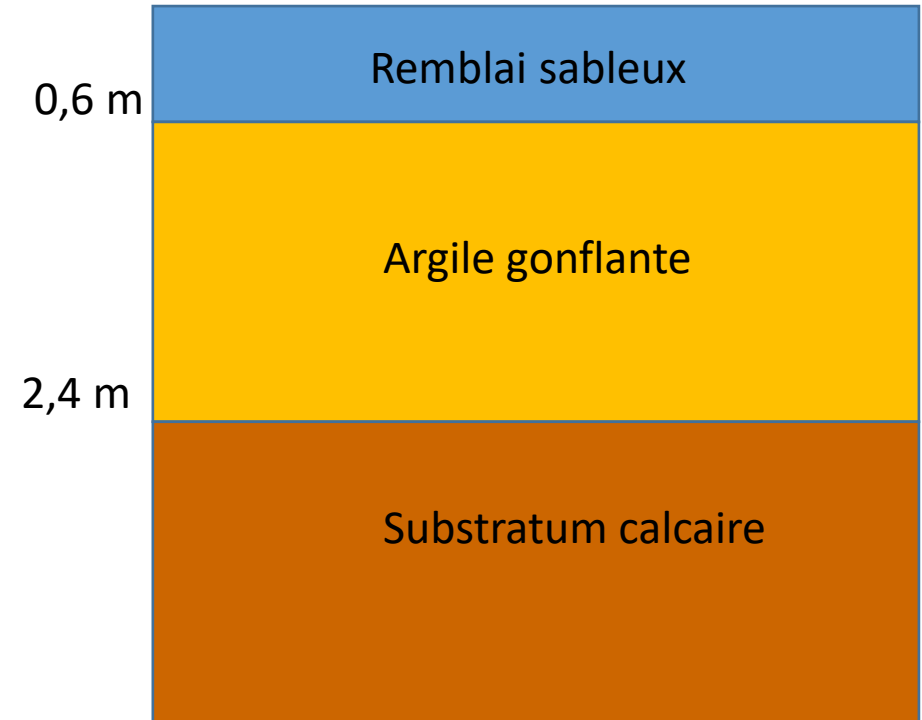
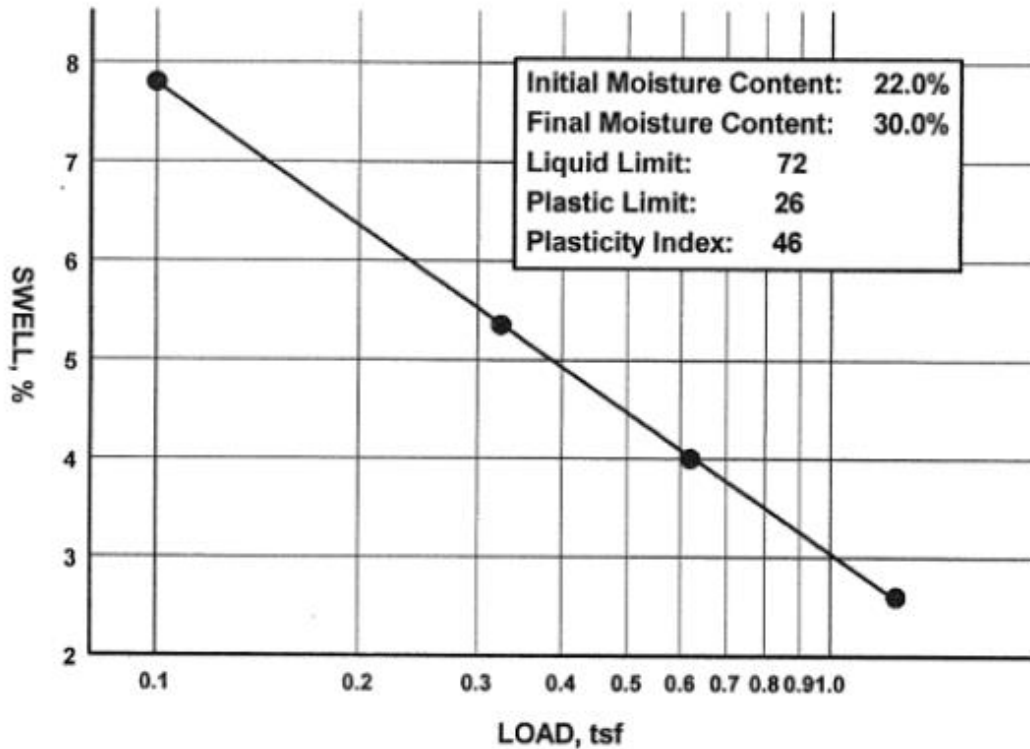
1980: réfection du bâtiment sans reprise en sous-œuvre. Poursuite des désordres (fissures dans les murs et cloisons, déformées des chambranles).

1987: engagement des travaux de traitement des argiles gonflantes.



Le sol

Absorption - Pressure Swell Test



Teneur en eau différente des 2 cotés du bâtiment:

Coté végétation: 22 %

Sans végétation: 26 %

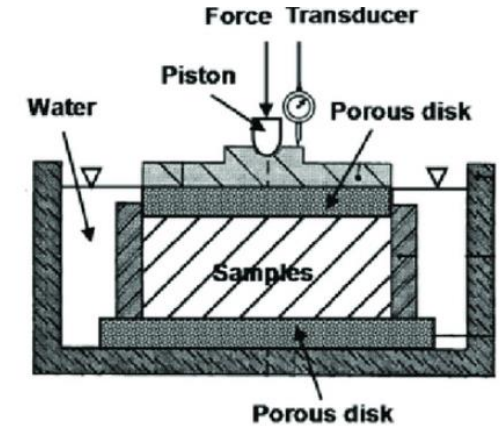
Test d'efficacité de RemediaClay en laboratoire

Observations:

- Avec RemediaClay: % de gonflement fortement réduit

Injection RemediaClay	W in situ	Gonflement 1ere injection	Gonflement total après 2éme injection	W après essais
Coté Est (arbres)	21,9 %	0,61 %	1,97 %	23,2 %
Coté Ouest	26,0 %	0,11 %	0,0 %	25,2 %

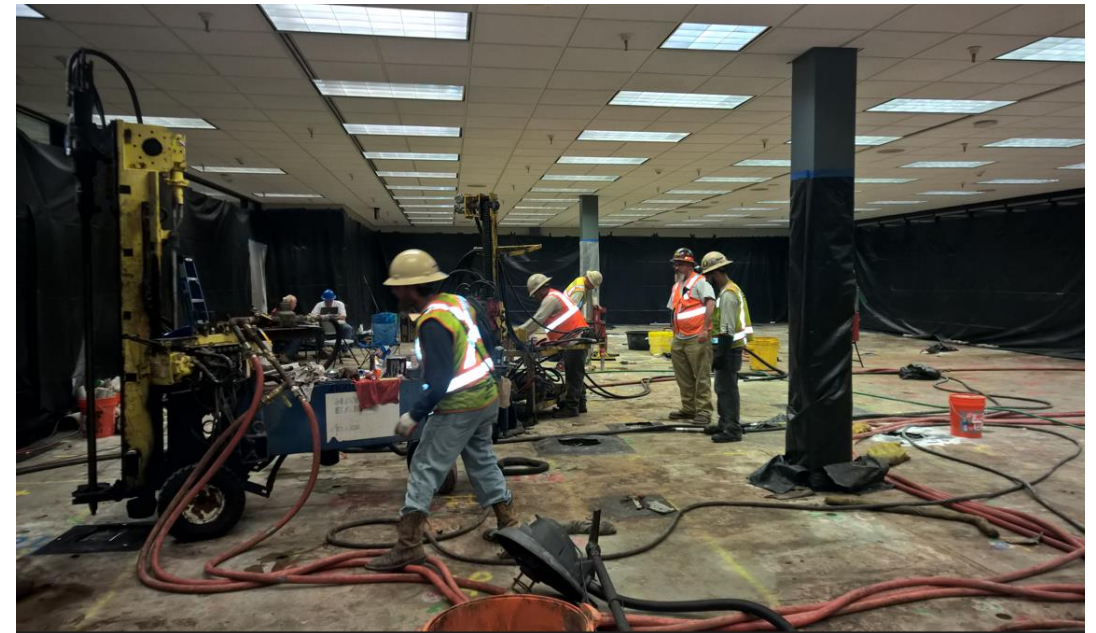
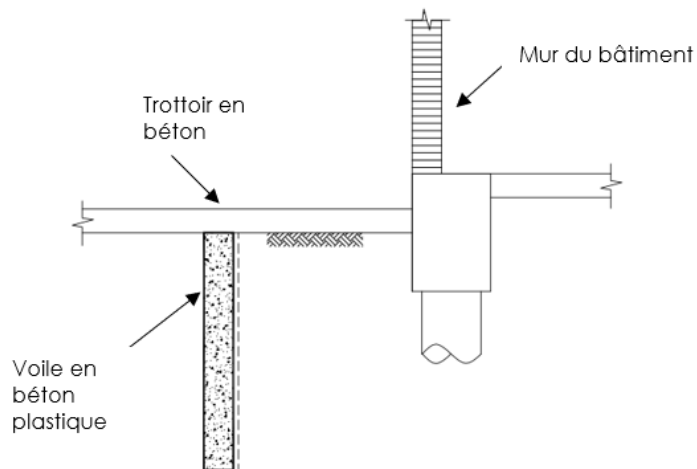
Injection Eau	W in situ	Gonflement 1ere injection	Gonflement total après 2éme injection	W après essais
	21,9 %	2,38 %	4,49 %	29,0 %



- 3 jeux d'échantillons testés (1 jeu saturé d'eau et 2 saturés avec RemediaClay)
- Évaluation du gonflement potentiel à partir de l'état hydrique coté Est et coté Ouest du bâtiment
- Injection en 2 étapes jusqu'à saturation
- Application de 17,5 kPa sur tous les échantillons

La solution de confortement du bâtiment a consisté à:

- mettre en place une barrière d'étanchéité. Cette barrière a également permis de couper toutes les racines qui s'étendaient sous le radier.
- injecter sous l'ouvrage la solution de RemediaClay selon une maille primaire de 1,25 x 1,25 m puis secondaire en intermaille.



Contrôle en phase chantier

Après 3 jours, réalisation de sondages carotté pour tests de gonflement.

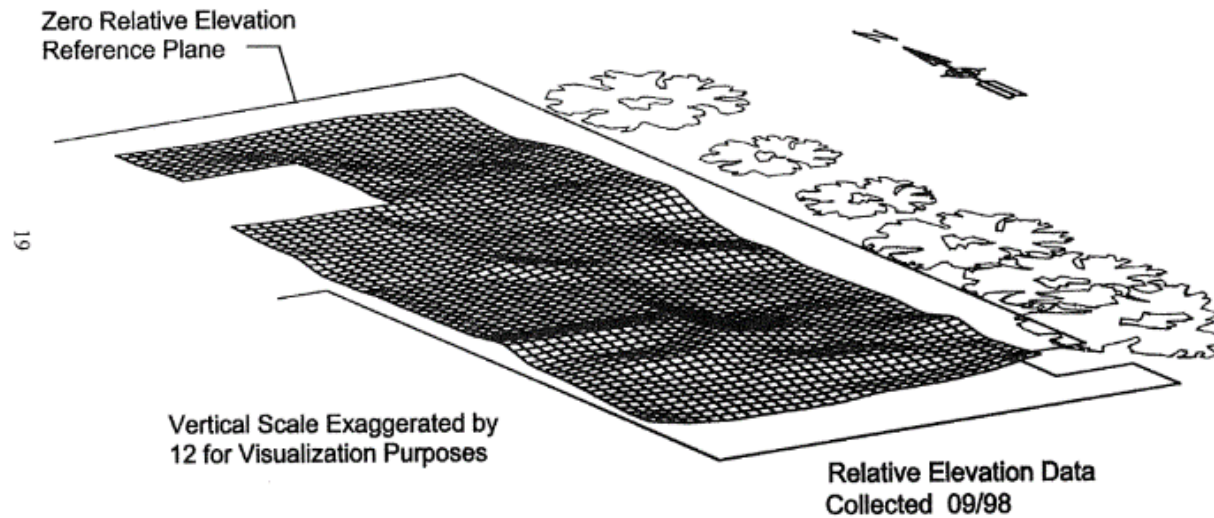
Moyenne de 0,4 % < 1 % recherché*

Réinjection au droit du forage 2

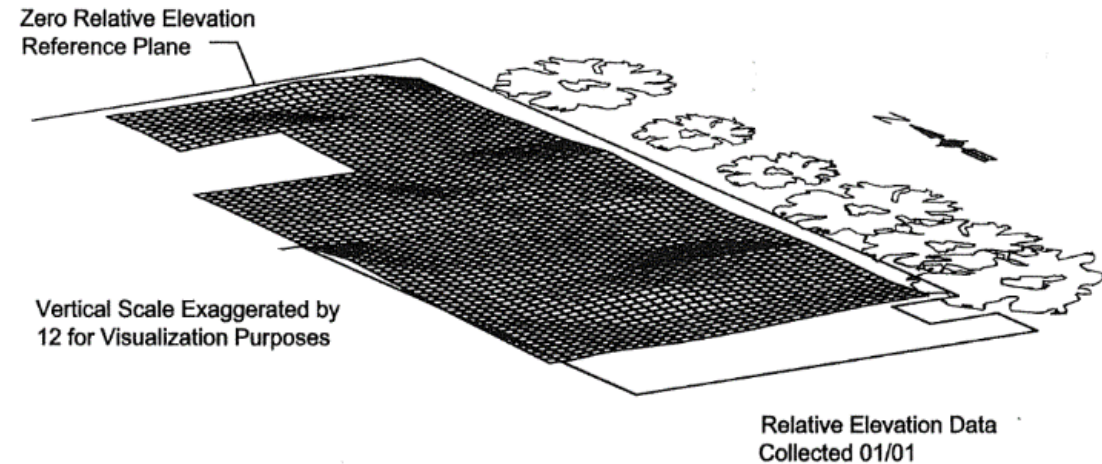
Forage	Profondeur	Densité sèche	Taux d'humidité	Taux d'humidité	Pression de	Gonflement	Pocket
N°	(m)	in-situ	in-situ	final	surcharge	vertical	pen
		(kg/m3)	(%)	(%)	(kPa)	(%)	(Mpa)
1	0.30	1458	23.3	27.6	6	0.67	0.2
1	0.61	1313	34.4	39.1	12	1.60	0.3
1	1.22	1265	36.6	38.5	24	0.27	0.2
1	1.83	1634	21.4	25.1	36	0.00	0.2
2	0.30	1554	21.2	27.3	6	4.67	0.4
2	0.91	1474	27.2	30.1	18	1.07	0.4
2	1.52	1650	15	16.1	30	0.53	0.4
2	2.13	1506	24.7	25.5	42	0.13	0.3
3	0.61	1410	31.6	32.8	12	0.80	
3	0.91	1458	29.9	31.0	18	0.40	0.3
3	1.22	1474	29.4	30.3	26	0.53	0.2
3	2.13	1506	29.5	29.6	28	0.00	0.2
4	0.61	1362	33.4	34.5	12	0.53	0.4
4	1.22	1490	29.1	29.5	25	0.53	0.2
4	1.52	1490	29.3	29.6	30	0.27	0.2
4	1.83	1506	28.2	28.6	36	0.40	0.3
5	0.30	1506	20.4	24.6	6	0.60	0.3
5	0.91	1426	30.8	33.3	18	0.13	0.3
5	1.52	1394	29.8	31.9	30	0.27	0.4
5	2.13	1474	27.8	29.4	42	0.40	0.3

Suivi des déformées

Avant traitement



Après traitement



2 ans après le traitement une nouvelle mesure de la déformée de la dalle a montré l'absence de mouvement.

- argiles gonflantes sous les fondations superficielles restent une cause majeure de sinistre de fondation
- Présence de végétation ou des venues d'eau contribuent à accentuer le problème.
- Traitement par injection de RemediaClay[®] permet de modifier de manière pérenne le comportement des argiles gonflantes,
- Ce traitement doit toujours être associé à des mesures de protection vis-à-vis des variations hydriques.
- Les résultats des essais tant avant qu'après le traitement avec la solution ont indiqué sa réactivité avec le sol du site ainsi que son efficacité durant l'application.
- L'efficacité du traitement a été validée en comparant la cartographie des déformations post-construction avant injection avec la cartographie des déformations apparues durant les 15 mois après l'injection.
- Aucun mouvement significatif n'a pu être observé à ce jour plus de 20 ans après.