

SOLETANCHE BACHY

23 novembre 2016

UNE SOCIÉTÉ DE  **SOLETANCHE FREYSSINET**



SOLETANCHE BACHY

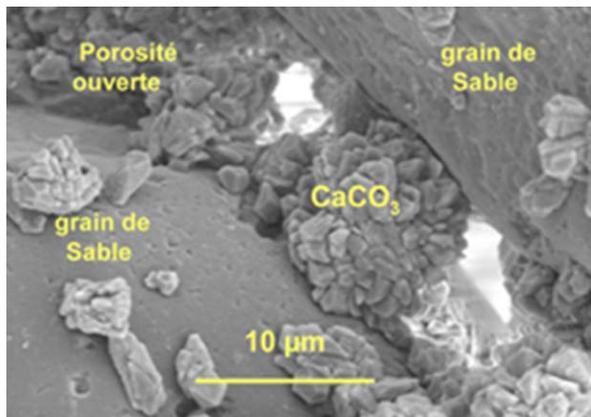
Procédé Biocalcis

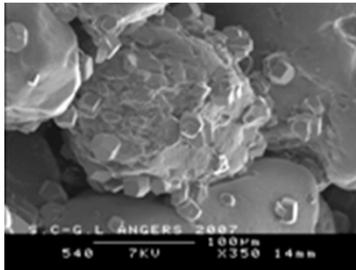
Application aux travaux de réhabilitation

Annette Esnault Filet

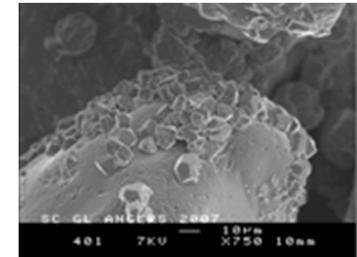
annette.esnault@soletanche-bachy.com

PROCEDE BIOCALCIS ®





SOLETANCHE BACHY



- **Origine**
- **Principe de la Biocalcification & Biocalcis**
- **Domaines d'applications**
- **Les contrôles**

BIOCALCIFICATION DES SOLS

- Nouvelle méthode d'injection, pour le **renforcement des sols**, inspirée d'un phénomène naturel
- Création d'un matériau plus résistant in situ, par **cimentation de calcite (Rc de 0,1 à 1 MPa)**
- Injection d'une large gamme de granulométries : sables **fins MAIS aussi de matériaux granulaires + grossiers**
- **Porosité reste « libre », très faible incidence sur la perméabilité**
- **On ne fait pas d'étanchéité**
- Brevets SB - Equipes de recherches nationales et internationales actives sur le sujet



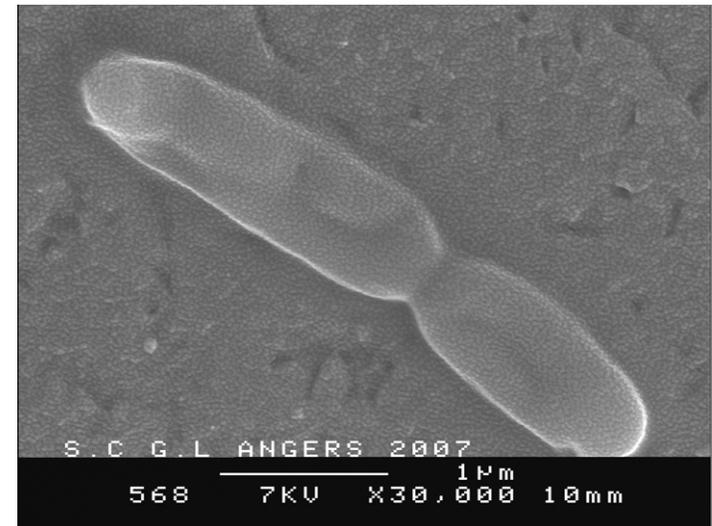
© P.-A. Bourque

Exemple de Stromatolithes formées par l'activité bactérienne

Avantages des injections de BIOCALCIFICATION

La densité du maillage de forages d'injection par rapport à un traitement classique est réduite du fait de :

- La **dimension micrométrique** de la bactérie , qui permet d'**injecter dans des sols fins**,
- La **viscosité** de la suspension bactérienne est proche de celle de l'eau
- La notion de **Temps de prise** n'existe plus : la précipitation s'obtient par réaction des bactéries avec une solution nutritive calcifiante

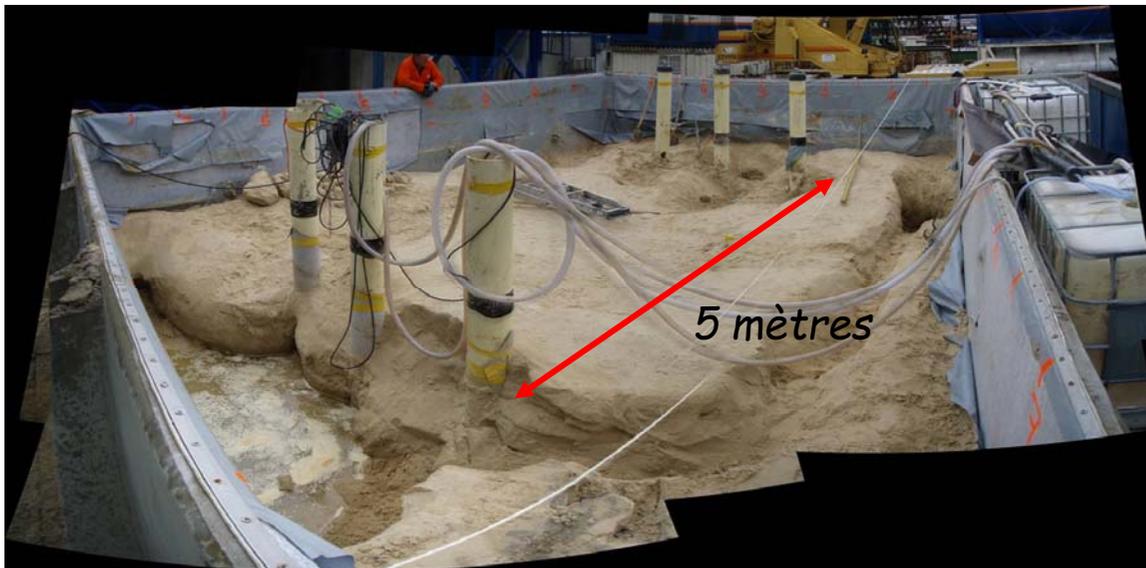


Sporosarcina .pasteurii

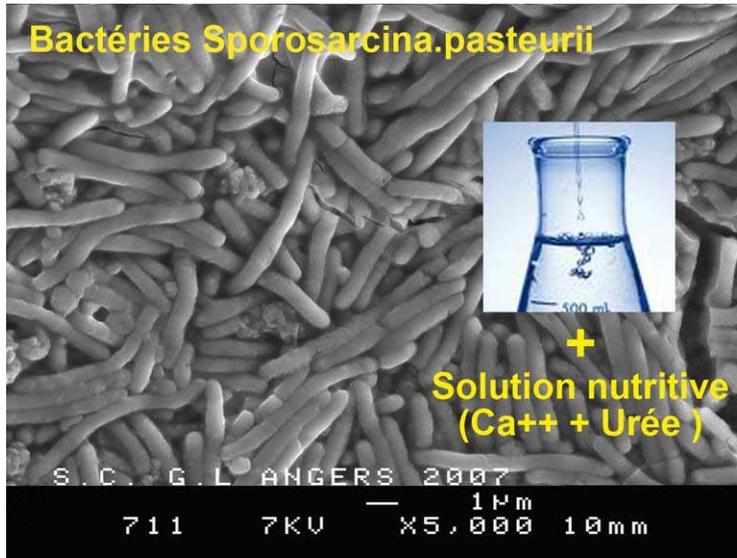
Injection sur des distances de plusieurs mètres

Calcification OBTENUE en quelques jours

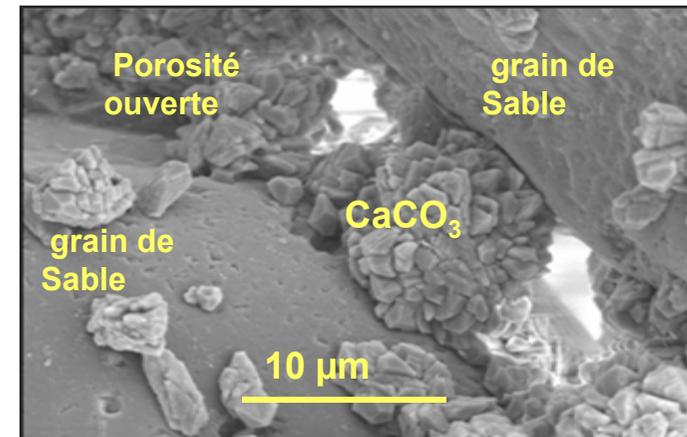
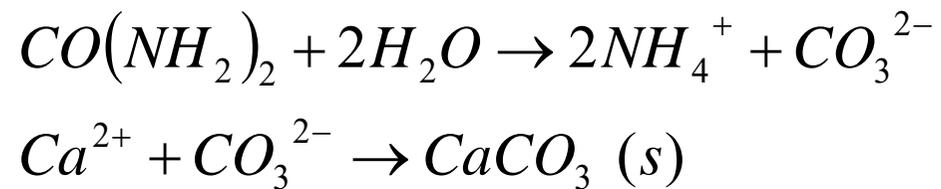
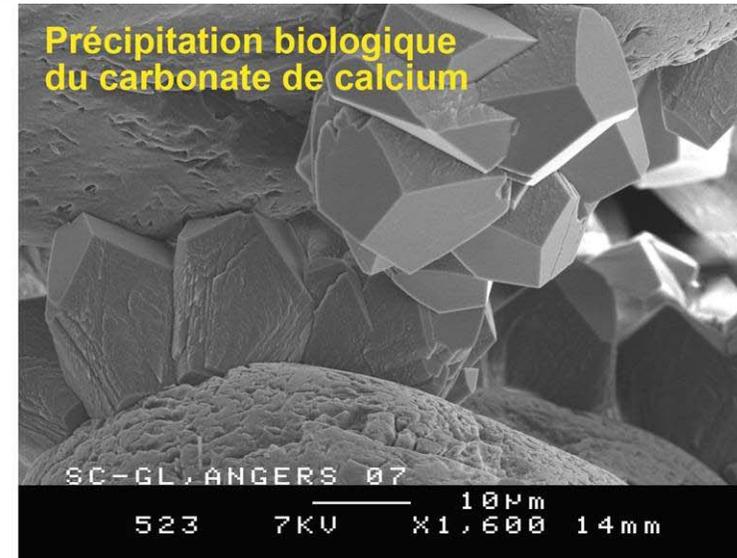
DEMONSTRATION DES DISTANCES D'IMPREGNATION



Principe de réaction



=



Procédé Adapté pour quels terrains?



Non adapté pour faire du remplissage car on consommerait trop de calcite



Sable fin

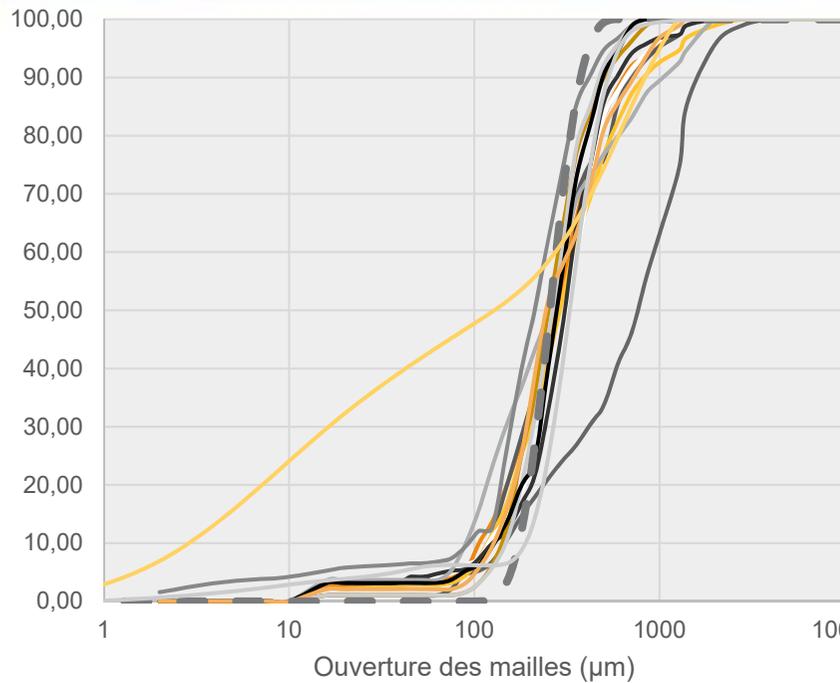
Domaine d'application privilégié



Mélange de granulométrie très étalée type remblais, etc. : OK avec des « fines »



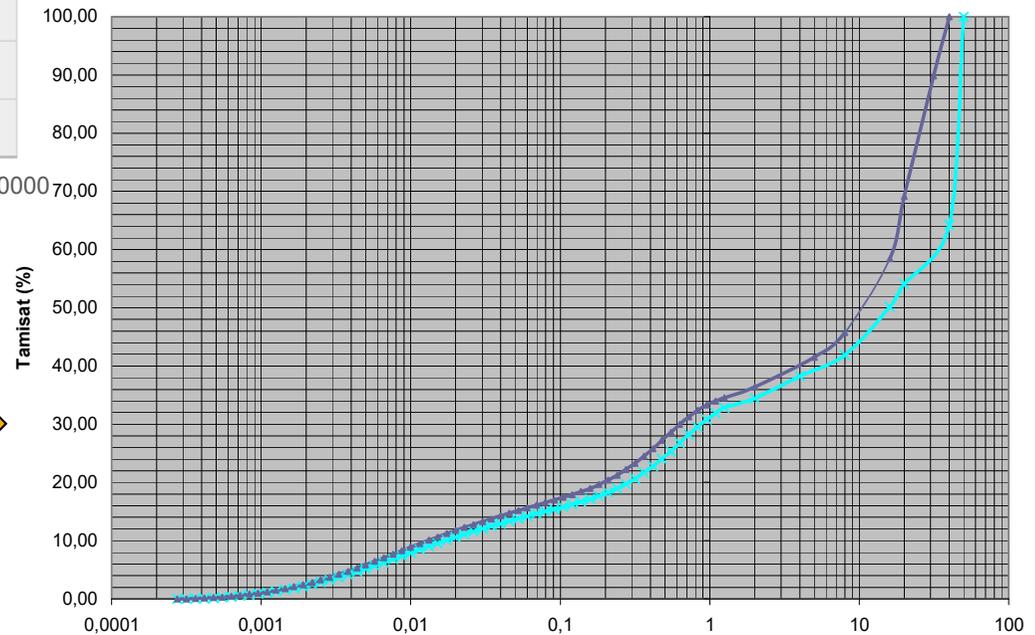
Domaines d'applications du BIOCALCIS



← SABLES $D_{50} \approx 250 \mu$

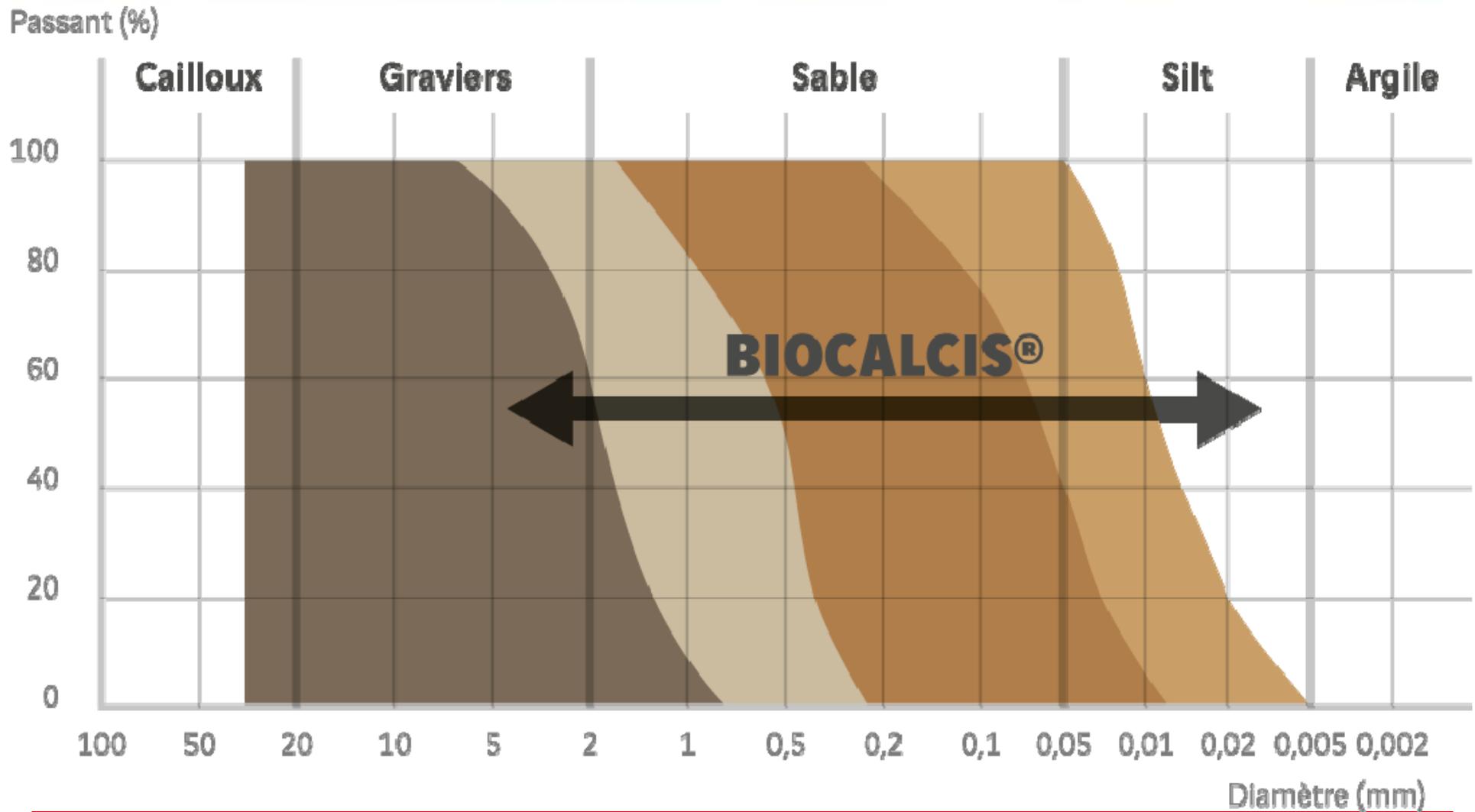
REMBLAIS D max ≈ 80 mm

mais
nécessité de particules plus
fines dans le mélange



Domaines d'applications du BIOCALCIS

INJECTION SANS RISQUE DE MONTEE EN PRESSION
Les fluides doivent imprégner le sol à traiter



Moyens de mise en oeuvre

Dispositifs usuels de chantier

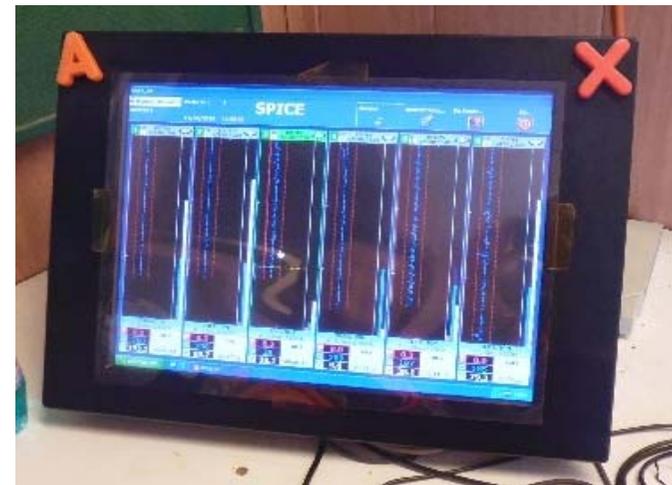


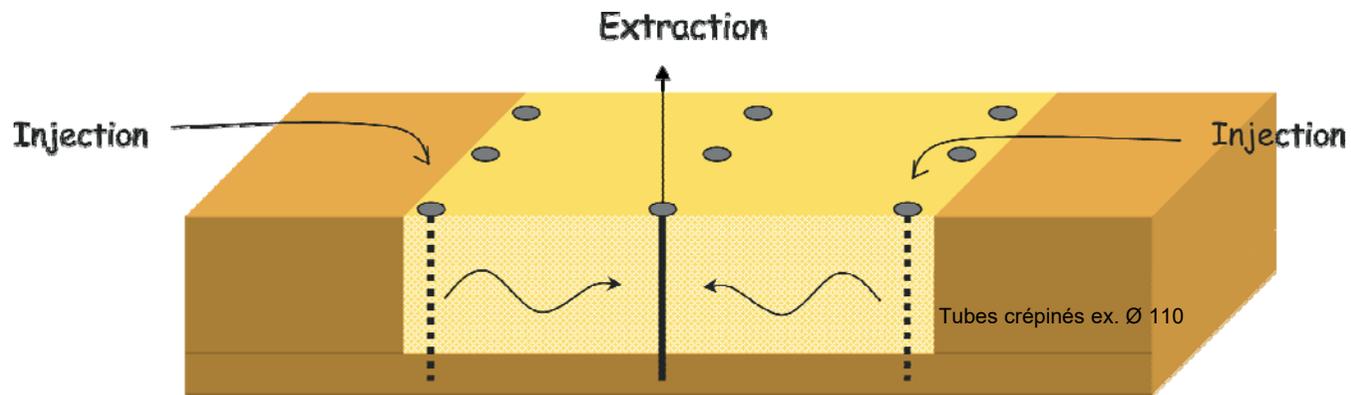
Photo Chantier VSF (NL)



Principe de mise en œuvre BIOCALCIS

Mise en œuvre sous nappe statique

- Distance entre ligne d'injection et extraction : de 2 à 5 m
- Espacement entre lignes : de 1 à 2 m

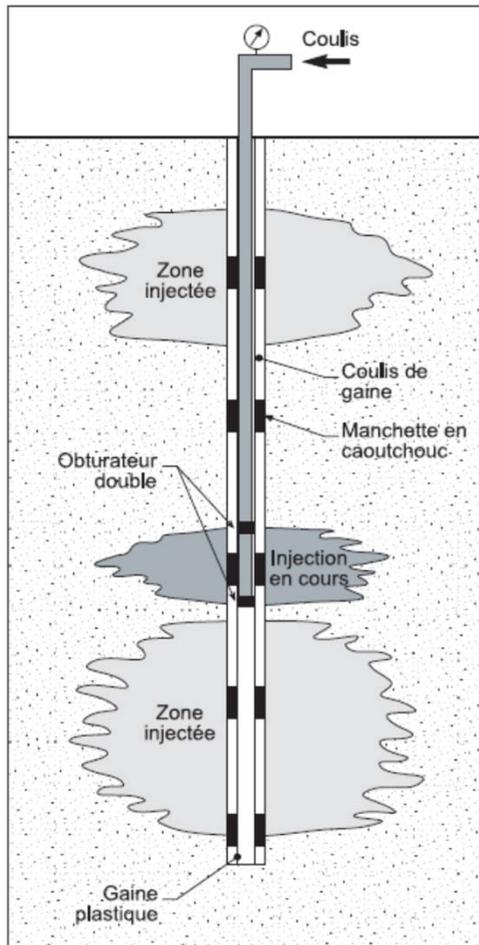


1. Injection des bactéries.
2. Temps de repos de quelques heures pour la fixation des bactéries sur le sol.
3. Injection du milieu calcifiant Urée / CaCl_2 .
4. Temps de repos nécessaire à la réaction de bio-calcification (de 12 h à 24 h).
5. Récupération du chlorure d'ammonium & flush éventuels

Principe de mise en œuvre BIOCALCIS

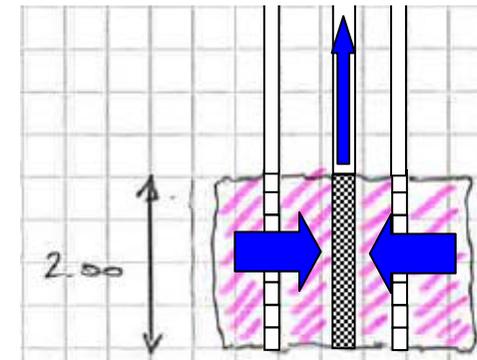
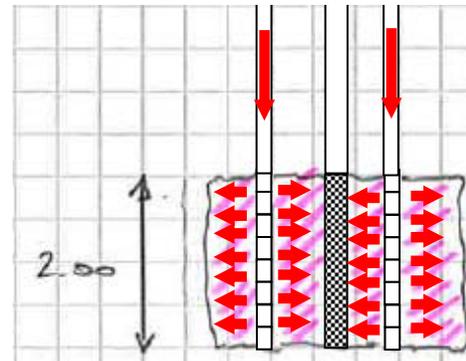
Mise en œuvre hors nappe ou sous nappe

INJECTION PAR TUBES A MANCHETTES



Injection à l'obturateur double

TAM forages ou horizontaux



Applications Réhabilitation d'ouvrages

- **Traitement des digues (anti-liquéfaction & érosion interne)**
- **Restauration Ouvrages en Remblai Renforcé**
- **Ouvrages Maritimes – Murs de Quai**
- **Fondations ...**



Deux pathologies à traiter

Erosion interne

- Processus d'arrachement et de transport de grains du matériau constitutif de l'ouvrage par un écoulement de percolation à travers l'ouvrage
- Responsable de la moitié des ruptures sur ouvrages en terre dans le monde



Erosion interne (de conduit) le long d'un ouvrage traversant
Source: FEMA: Federal Emergency Management Agency, USA)

Liquéfaction

- Sous contrainte sismique: diminution de la rigidité du sol et de sa résistance en relation avec l'accumulation de la pression interstitielle et la réduction consécutive des contraintes effectives.

Rupture d'une digue par liquéfaction - Séisme de Tohoku - Japon 2011



Traitement Digue

- **Marché :**
 - Traitement des digues vis-à-vis de l'érosion interne, liquéfaction, etc.
- **Les procédés classiques :**
 - Trenchmix
 - Paroi ou coulis ou en soil-mixing
 - Injection
- **Avantages de la solution Biocalcis :**
 - Pas de modification du comportement hydraulique de la digue
 - Procédé peu intrusif
 - Pérennité de la calcite

Traitement Anti-Liquéfaction

- **Marché :**
 - construction existantes : mise à jour suite aux nouvelles normes et cartes sismiques
 - constructions neuves
- **Les procédés classiques :**
 - Caissons en Géomix ou Trenchmix
 - Colonnes de Jet Grouting
 - Colonnes ballastées
 - Divers amsol (vibro, compactage)
 - ...

Exemple Traitement anti-liquéfaction

Traitement Anti-Liquéfaction sous réservoirs existants fondés sur pieux
→ contraintes majeures : hauteur très réduite & présence fondations profondes & réseaux enterrés

Traitement des Alluvions Modernes :

- . entre -3.5m et -9.5m /TN
- . surface 16m x 16m

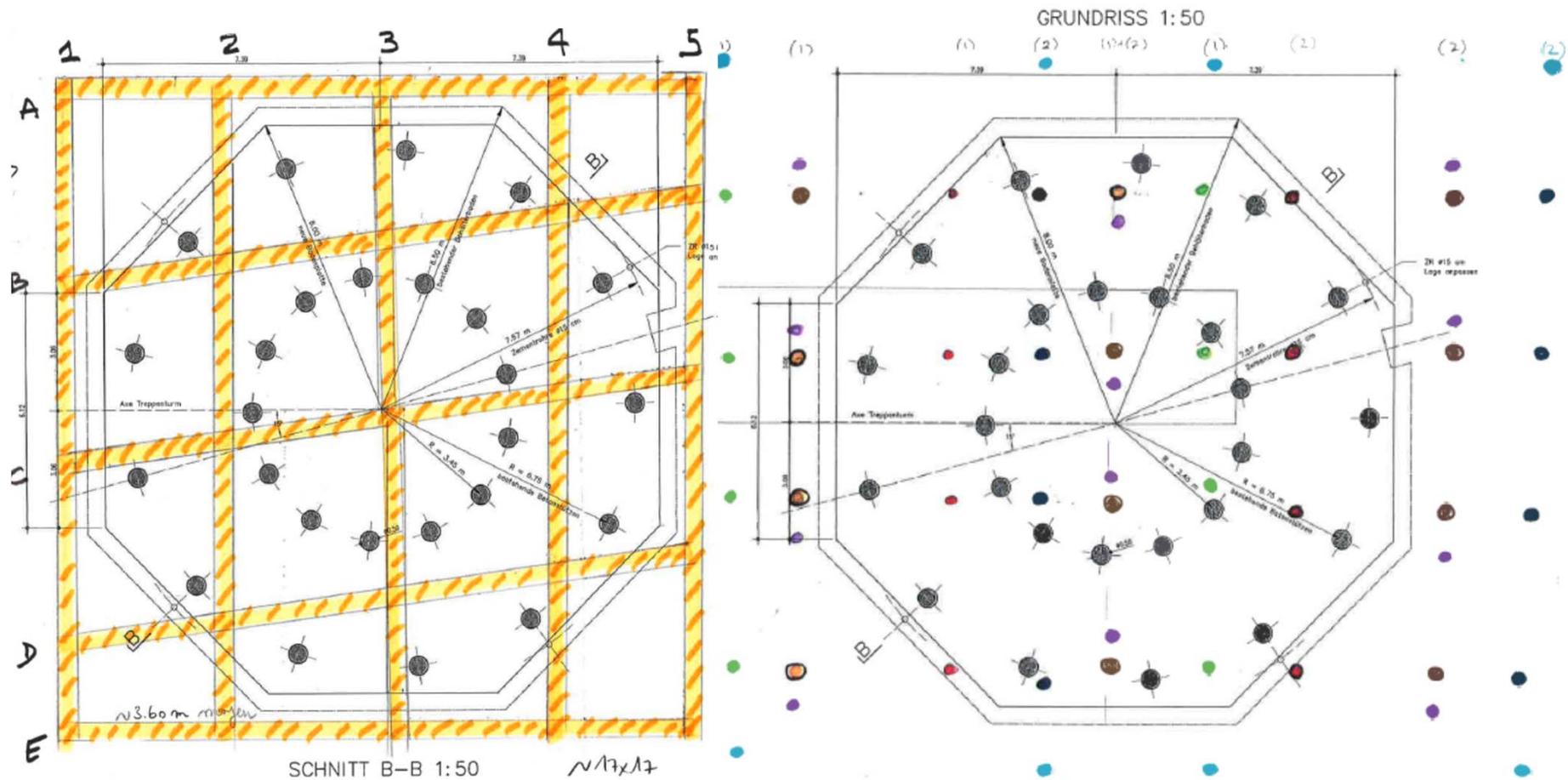
Définition par le BE des caractéristiques mécaniques à atteindre :

- . Cu et / ou Rc



Exemple Traitement anti-liquéfaction

« Caissons en Géomix » VS « Biocalcification »



Traitement Anti-Liquéfaction

Avantages par rapport aux solution classiques :

- Traitement en bloc / homogène du sol
 - valeurs de c_u / R_c à atteindre pour le sol traité plus faible que pour les traitements en soil-mixing
- Absence d'utilisation d'outil de forage
 - diminution du risque d'abîmer les fondations existantes et les réseaux enterrés & limitation de la destruction du radier existant

Ouvrages Maritimes – Murs de Quai

- **Marché**
 - Constructions neuves
 - Rempiètement / Approfondissement d'ouvrages existantes
 - diminution la poussée à l'arrière du mur de quai
 - amélioration de la butée à l'avant du mur de quai
- **Les procédés classiques :**
 - Diminution de la poussée à l'arrière du mur de quai
 - Barrettes/Refends en Géomix & Pieux en soil-mixing
 - Colonnes de Jet Grouting
 - Amélioration de la butée à l'avant du mur de quai
 - Colonnes de Jet Grouting
 - Rideau Géomix + profilés métalliques
 - Dalle portée

Ouvrages Maritimes – Murs de Quai

Avantages par rapport aux solutions classiques :

- Traitement en bloc / homogène du sol
 - valeurs de cohésion / Rc à atteindre pour le sol traité plus faible que pour les traitements en soil-mixing
 - Pour l'amélioration de la butée traitement au contact du mur de quai, absence d'éléments structurels (profilés, ...)
- Dimensions des forages d'injection ($\Phi 200\text{mm}$)
 - diminution du risque d'intercepter des ancrages & structures existantes
- Traitement sous installations existantes
 - Aménagements sur la plateforme (rails, ...)
 - Protection anti-affouillement

Restauration Ouvrages en Remblai Renforcé

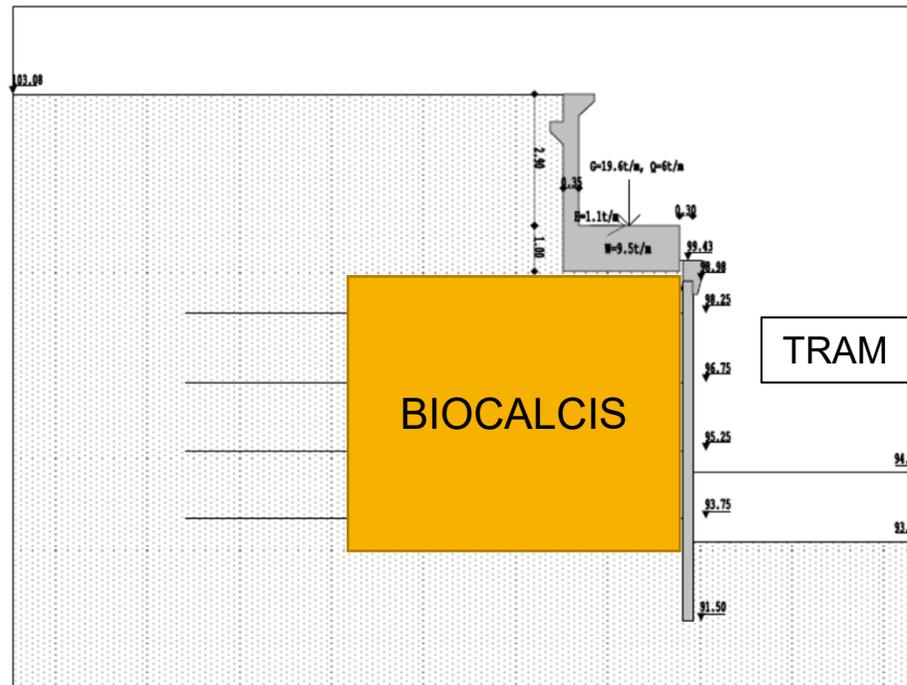
- **Marché :**
 - Ouvrages en Remblai Renforcé construits dans les années 70 : risque de corrosion des armatures
- **Les solutions de confortement classiques :**
 - remblais de butées, murs de soutènement, lorsque l'emprise devant le mur est suffisant.
 - paroi et voile ancrés, clouage, nécessitant une emprise devant le parement pour les travaux (6 à 7 m).
- **Plusieurs problématiques courantes**
 - . Difficultés d'accès, emprise restreinte devant l'ouvrage en terre armée
 - . Grande densité d'armatures
 - . Remblais réputés non-injectables par procédés d'injection classiques

Exemple Nice A8



Exemple Nice – A8

Transformation du massif en Remblai Renforcé en un massif de sol calcifié (= bloc cohérent) ayant un fonctionnement de mur poids



Avantages de la biocalcification :

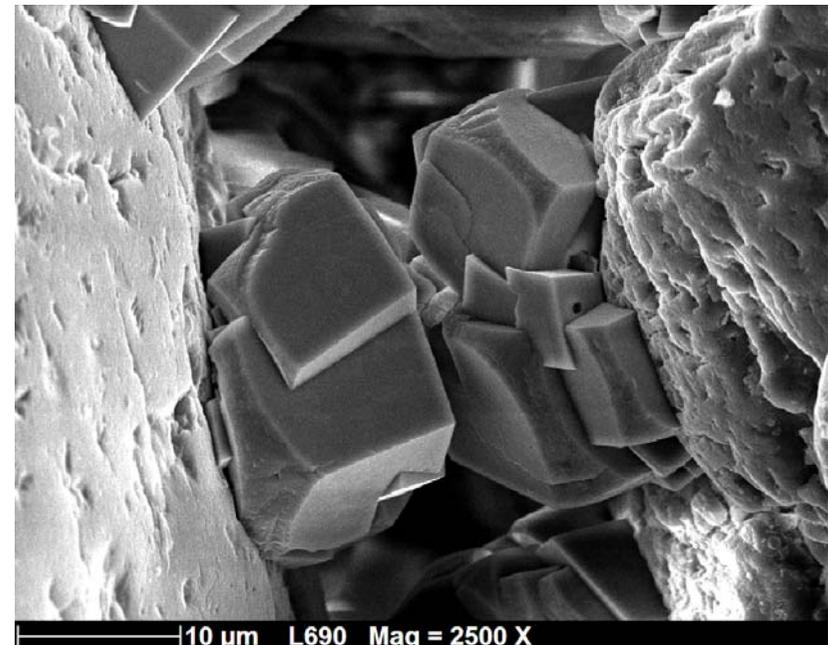
- **Traitement peu intrusif et « doux » (faibles pressions, débits)**

Conclusion BIOCALCIS

Le terrain est transformé en bloc cohérent caractérisé par sa résistance à la compression simple R_c

- **Caractéristiques mécaniques : Corrélations entre R_c et c_u , p_l , E_m**
- **Caractéristiques hydrauliques :**
 $R_c \leq 500$ kPa \rightarrow pas d'influence significative sur la perméabilité

Etude de faisabilité, essais sur sites préalables à toute application sur terrain



Les contrôles pendant et après le traitement

- Pendant le traitement : paramètres spécifiques pour le suivi des bactéries et de la réaction de calcification
- Après le traitement :
 - sondages, essais mécaniques, essais de cisaillement in situ, MEB, CaCO_3 ,
 - Essais géophysiques, Mesures sismiques



Bungalow laboratoire de chantier



Carottage grand diamètre