



**SOLETANCHE BACHY**

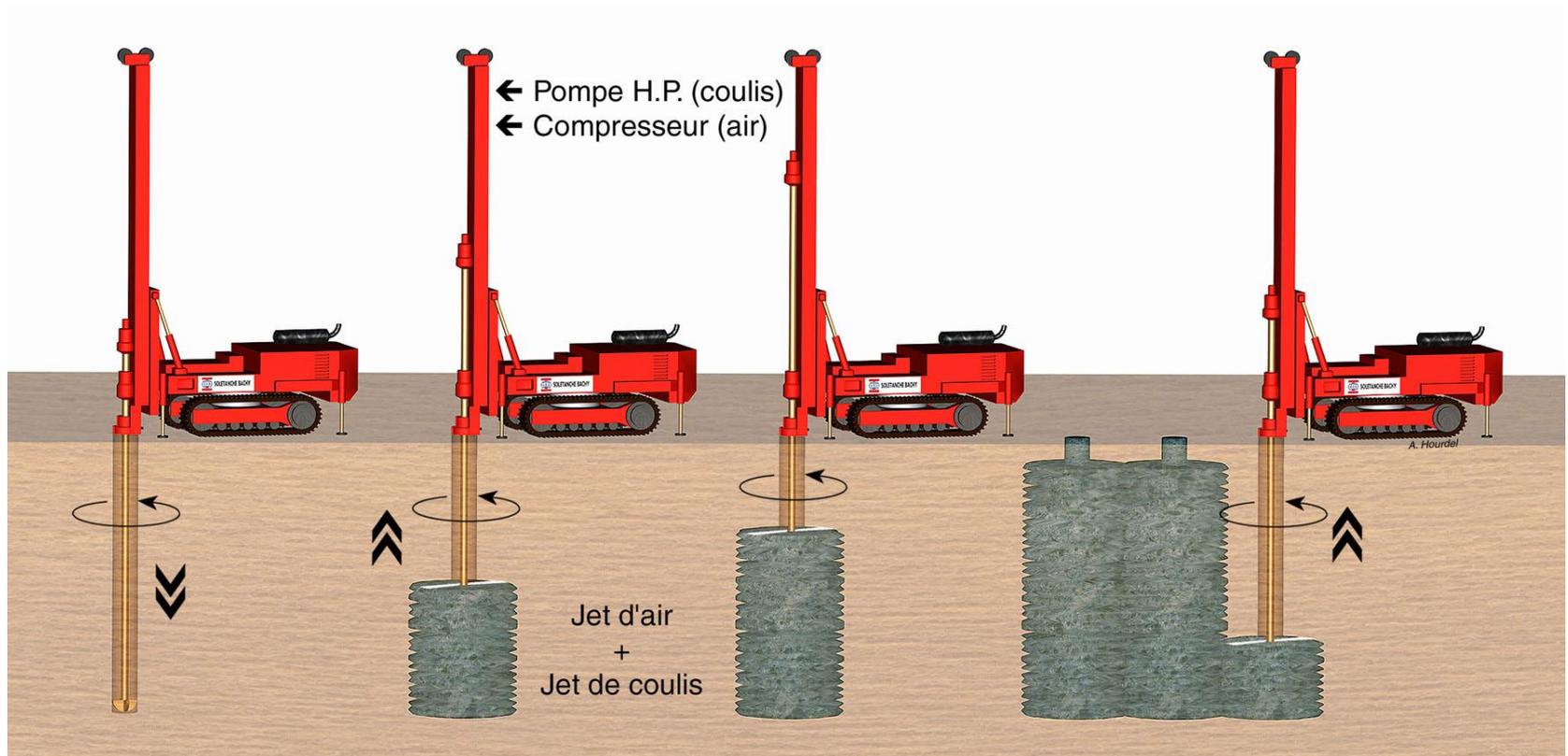
**Renforcement de l'étanchéité des digues  
Inventaire des méthodes  
Les procédés GEOMIX et TRENCHMIX**

# DEUX GRANDES FAMILLES

- **Procédés à base de parois ou analogues**
  - Il s'agit de coupures positives réalisées avec la mise en place d'un nouveau matériau après extraction ou refoulement du sol
- **Procédés à base de voiles d'injection**
  - Le voile de sol traité permet de réduire la perméabilité du sol

# LES PROCEDES A BASE DE VOILES D'INJECTION

- INJECTION
- JET GROUTING



# INJECTION



## Reservoir McCook - Phase 1

- 137 200 m de perforation au rocher
- 49 400 m de tubage à travers les terrains de couverture
- 3 350 m de carottage au rocher

# JET GROUTING



Barrage de Teesta (Inde)

- ↘ 420 colonnes de jet double
- ↘ 50m de profondeur

# LES PROCEDES A BASE DE PAROI

- **PALPLANCHES**
- **PAROIS D'ETANCHEITE EPAISSES**
  - PAROIS AU COULIS
  - PAROIS EN BETON PLASTIQUE
- **PAROIS MINCES**
- **PAROIS EN SOILMIXING**

# PALPLANCHES



Digues du Rhône (Symadrem)

# LA PAROI AU COULIS (méthode benne)



## Barrage de Saint Ferreol

- Prof. : 35 m maxi
- Surf. : 9500 m<sup>2</sup>
- Long. : 760 ml
- VNF
- ISL

# LA PAROI AU COULIS (méthode pelle rétro)



Sacramento and  
American Rivers

↘ 10019 ml

↘ 22,3 m max.

↘ 198000 m<sup>2</sup>

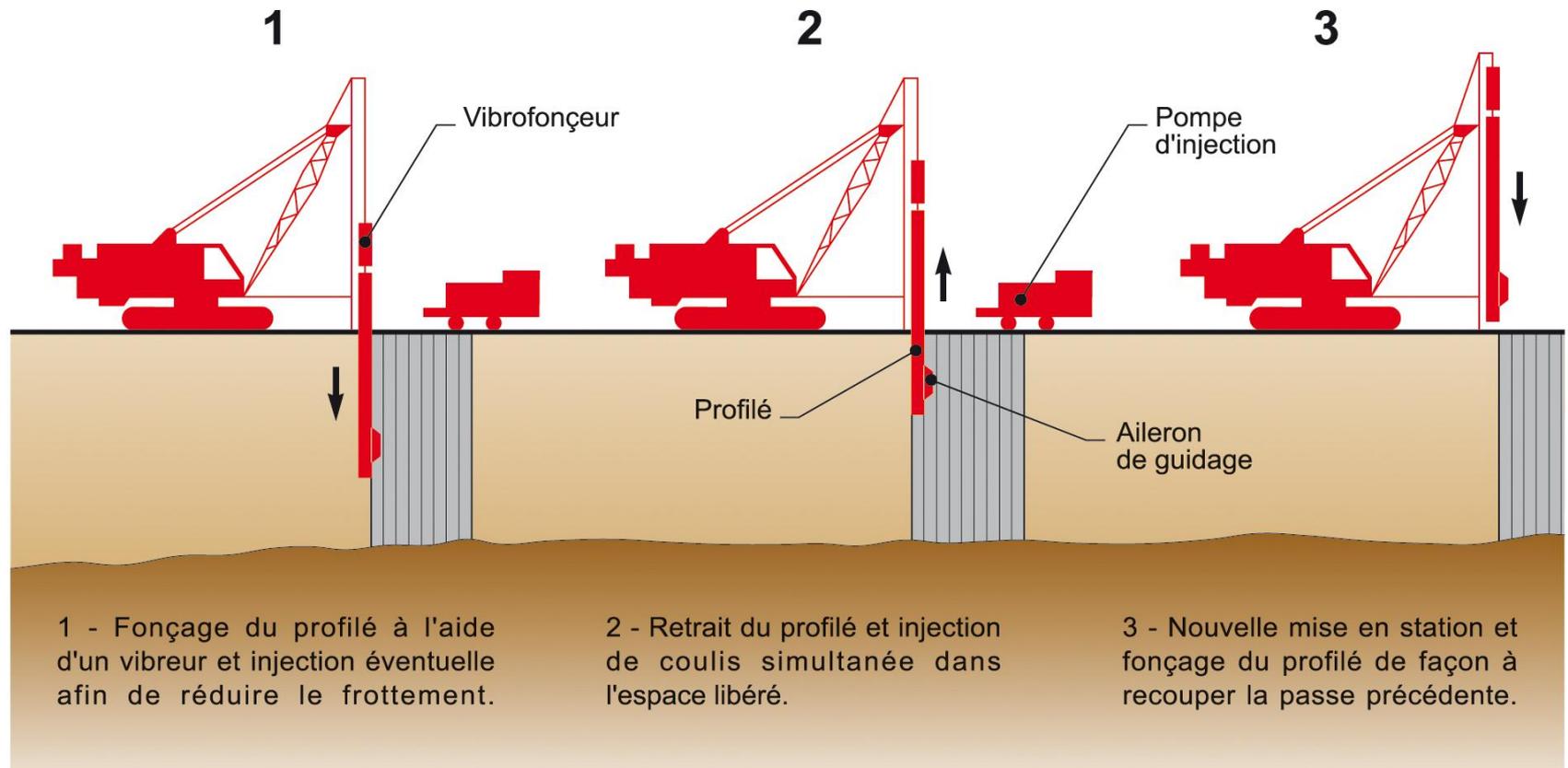
# PAROI EN BETON PLASTIQUE



Barrage de la  
Ganguise

- ↘ Ep. 1,0 m
- ↘ 14 à 28 m
- ↘ 200 ml
- ↘ 3800 m<sup>2</sup>
- ↘ CNABRL
- ↘ BRL ing.

# L'ECRAN MINCE



# L'ECRAN MINCE



Digue du Rhin

- ↘ Jet grouting
- ↘ 19 à 24 m
- ↘ 58500 m<sup>2</sup>
- ↘ 2870 ml

# Techniques de SOIL MIXING

Principe développé dans les années 70/80 au Japon et Scandinavie, puis USA  
Récemment étendu à une large gamme de sols

- **Principe** : **Utiliser le sol en place comme matériau de construction**
  - Déstructuration mécanique du sol avec un outil
  - Adjonction d'un liant
  - Malaxage
- **Matériau d'apport**
  - Ciment, chaux ou composition particulière pour répondre à des situations ou des objectifs particuliers
  - Sous forme pulvérulent ou liquide (voie sèche ou humide)
- **Résultat**
  - Un élément de sol traité (colonnes, éléments linéaires ou tranchées, formes rectangulaires)

# Les procédés Trenchmix et Geomix

## Trenchmix

Voie sèche ou humide

Outillage de type trancheuse modifié

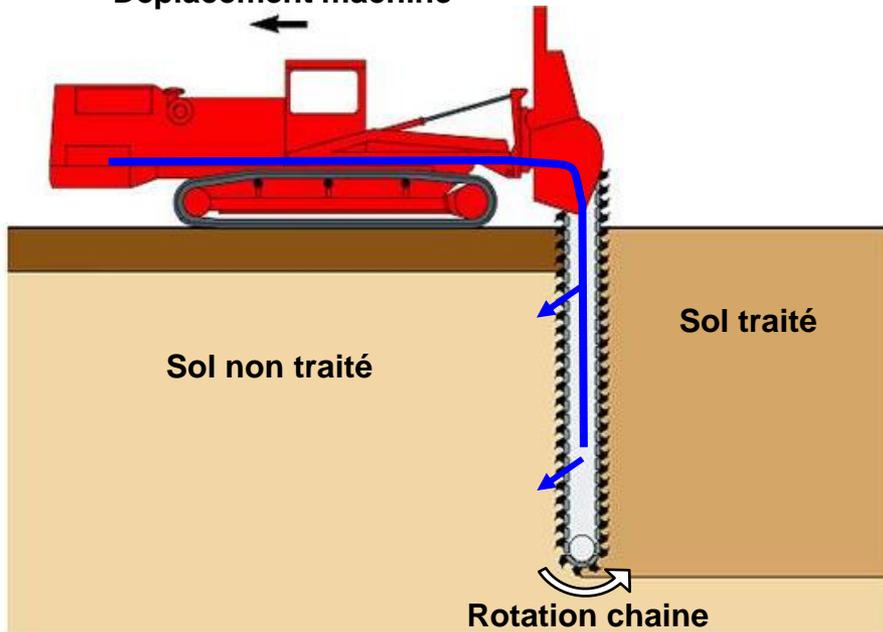
Profondeur maximale = 10m

Energie de malaxage répartie sur toute la hauteur

Séquence de construction continue

**Cahier des charges Veritas – Mars 2009**

Déplacement machine



## Geomix

Voie humide seulement

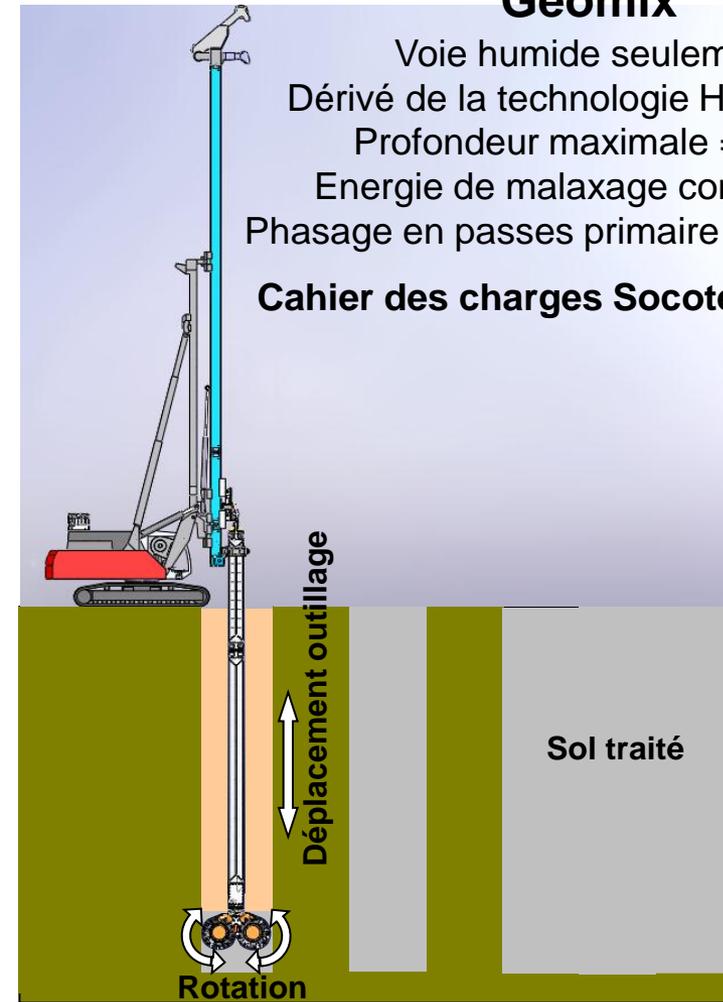
Dérivé de la technologie Hydrofraise

Profondeur maximale = 33m

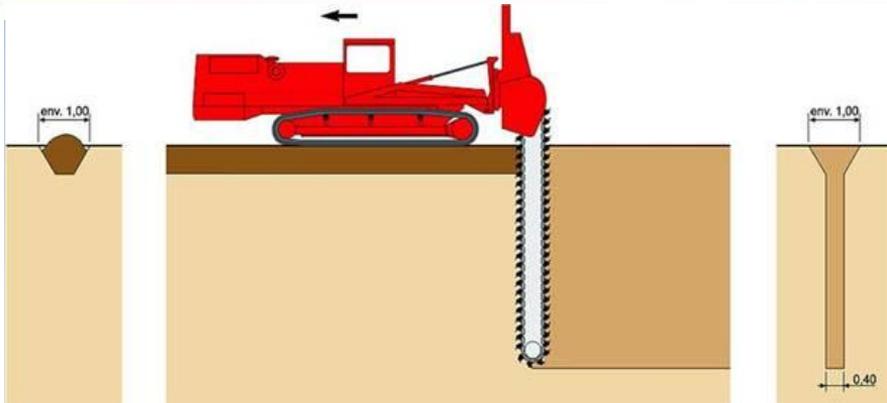
Energie de malaxage concentrée

Phasage en passes primaire / secondaire

**Cahier des charges Socotec – Oct 2010**



# Les procédés de soil mixing de Soletanche Bachy



**Procédé TRENCHMIX®**

**Amélioration de sol et écrans d'étanchéité**

# Les procédés de soil mixing de Soletanche Bachy



## Procédé TRENCHMIXS

Confortement des fondations de pylônes électriques



# Les procédés de soil mixing de Soletanche Bachy



**Procédé GEOMIX®**

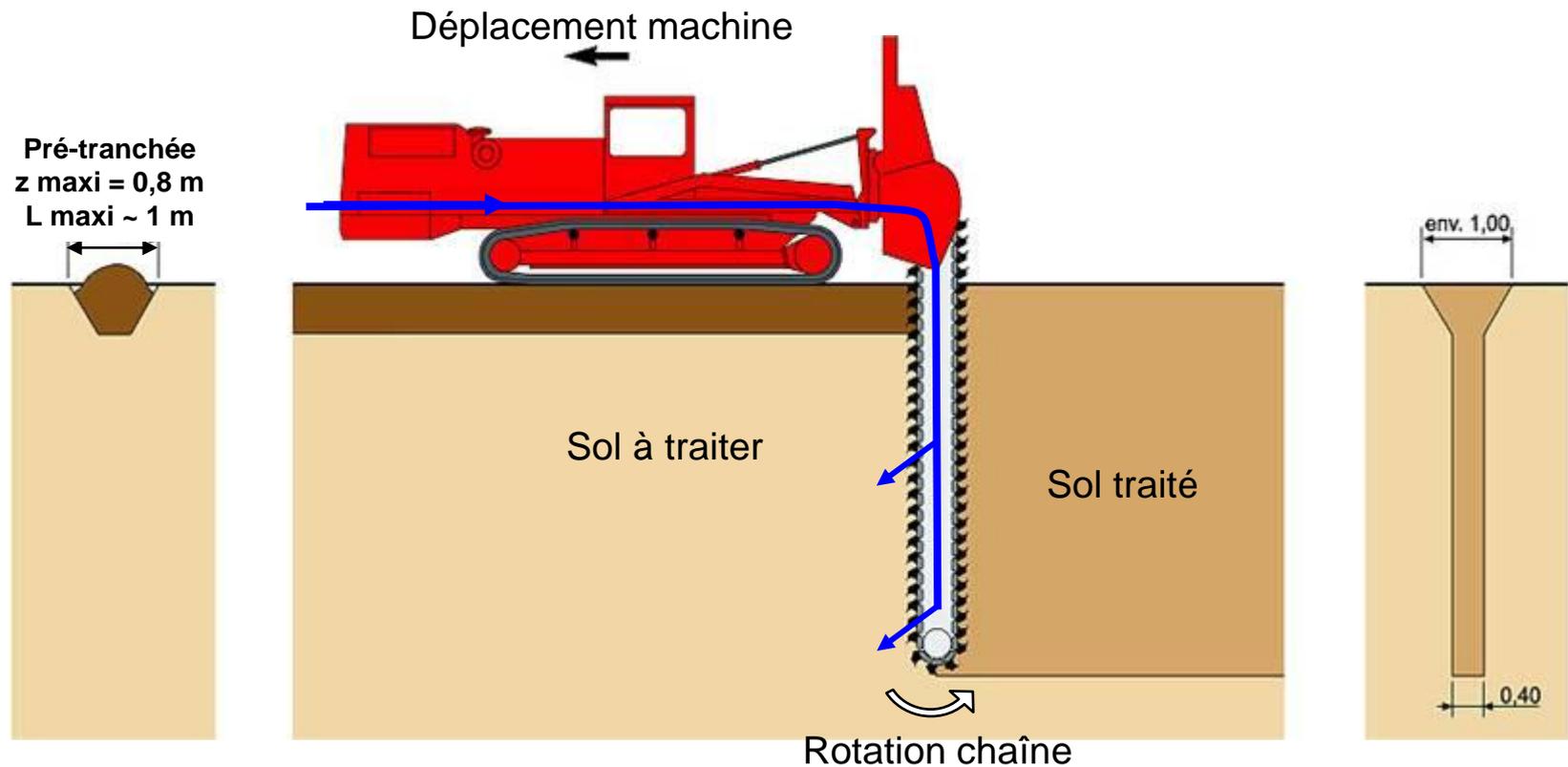
**Soutènements / Ecrans d'étanchéité  
Amélioration de sol / Traitement anti-liquéfaction**



# Spécificités du procédé TRENCHMIX

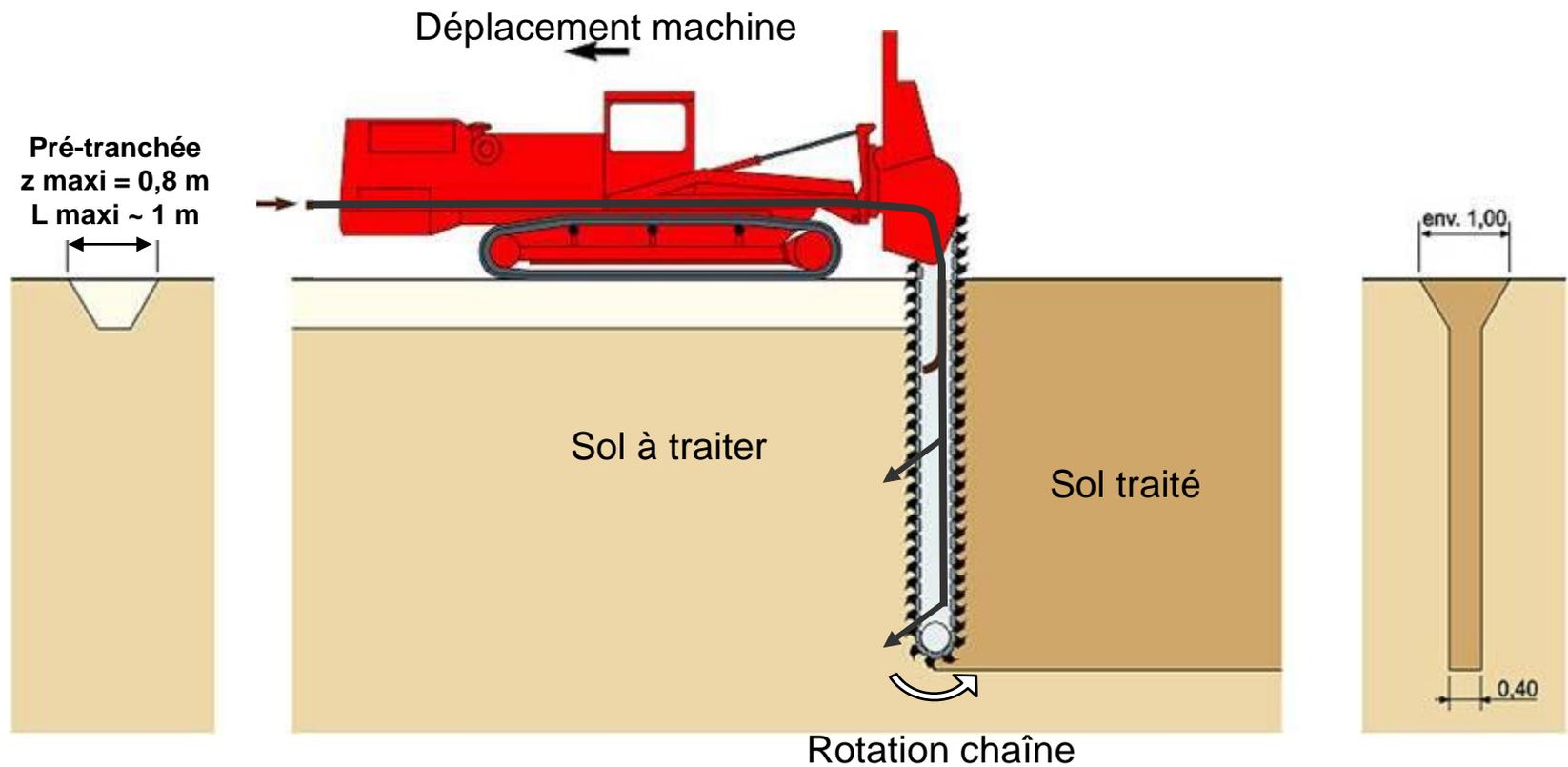
# Méthode sèche

- Liant pulvérulent épandu dans une pré-tranchée réalisée sur la plate-forme
- Ajout d'eau pour obtenir un bon malaxage et une bonne consistance de mélange



# Méthode humide

- Coulis injecté directement au niveau de la lame (à basse pression)
- Souvent un coulis stabilisé



# Machine



Puissance installée : 450 kW – Masse : 45 tonnes

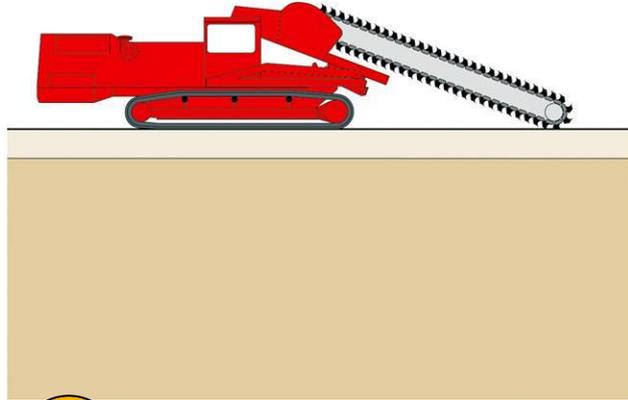
Profondeur : 8 à 10m maximum

Epaisseur de la lame : 43 cm

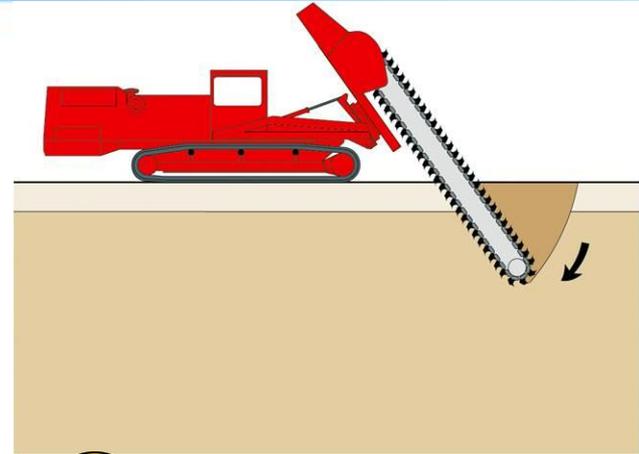
Vitesse linéaire déplacement couteaux : 4.5 m/s

Tolérances d'exécution :  $\pm 20$  cm sur vue en plan; verticalité  $\pm 3$  %.

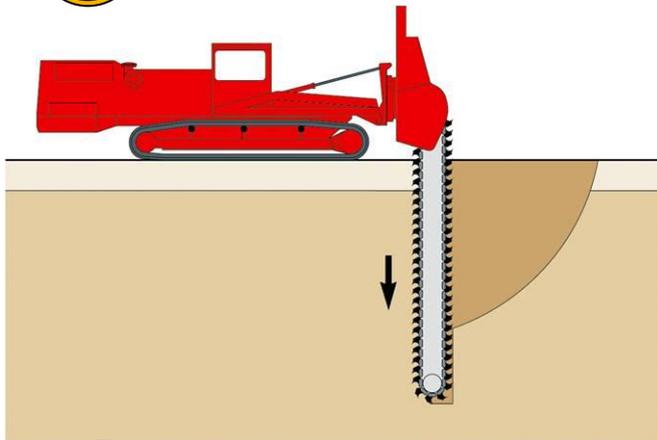
# Mise en place de la lame



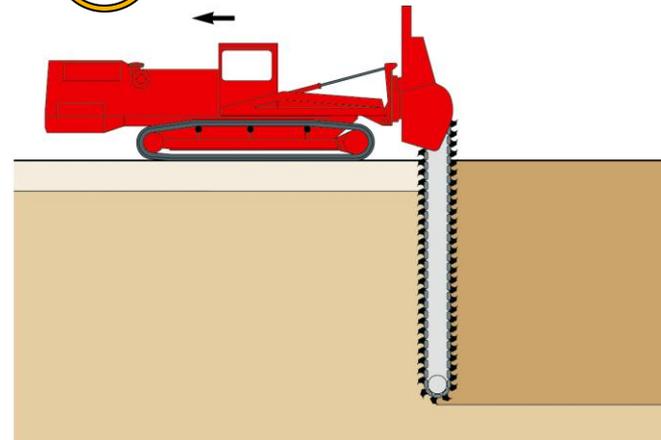
① Machine en position



② Pivotement



③ Lame en position verticale

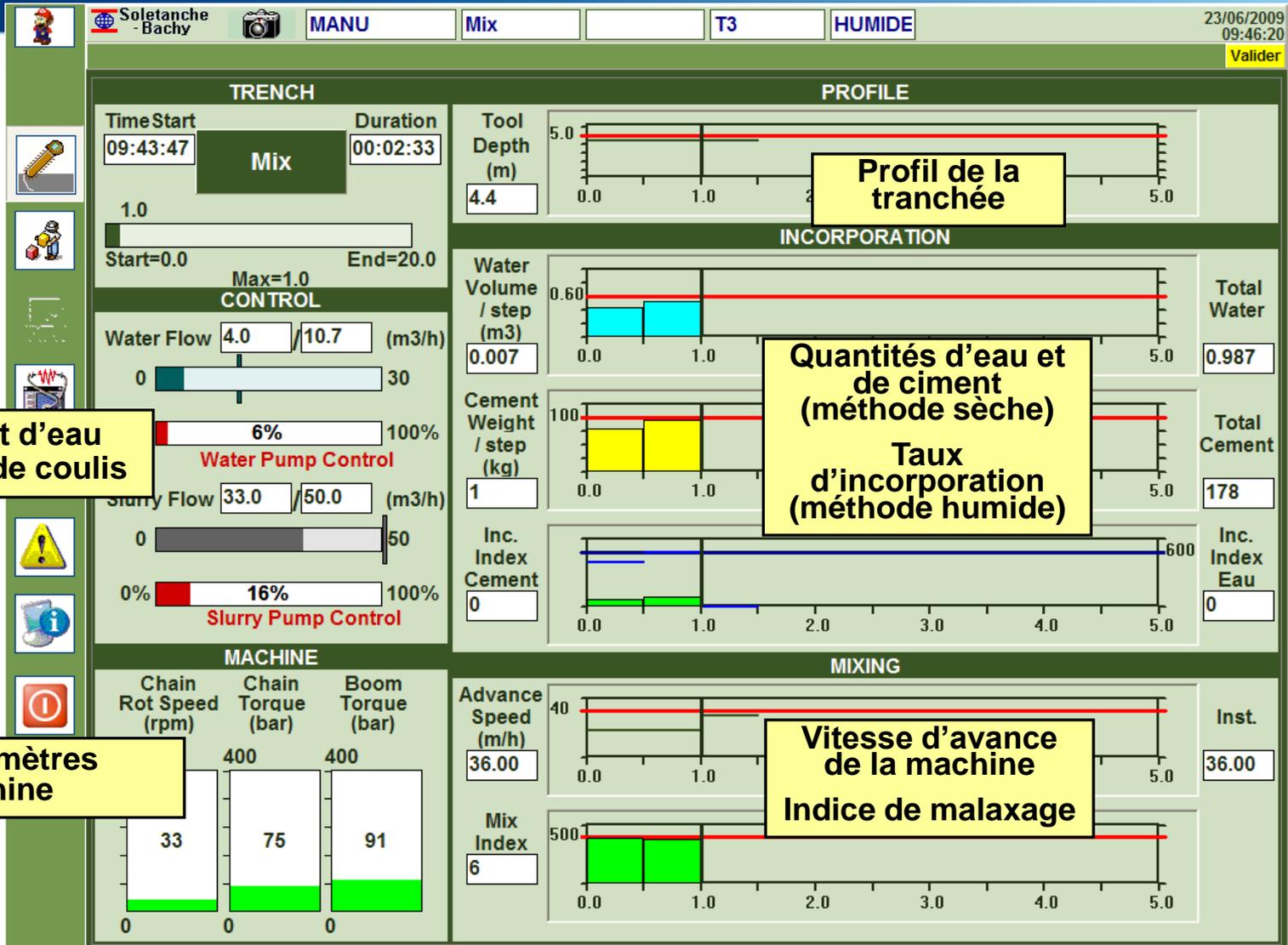


④ Travail en cours

# Supervision



# Supervision



# Contrôles qualité

## Echantillons de mélange

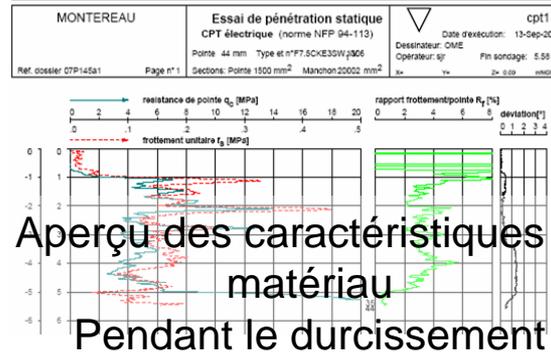


Caractéristiques réelles du matériau  
(Rc, perméabilité, ...)  
Réalisés après durcissement

## Pénétrömètre dyn. léger

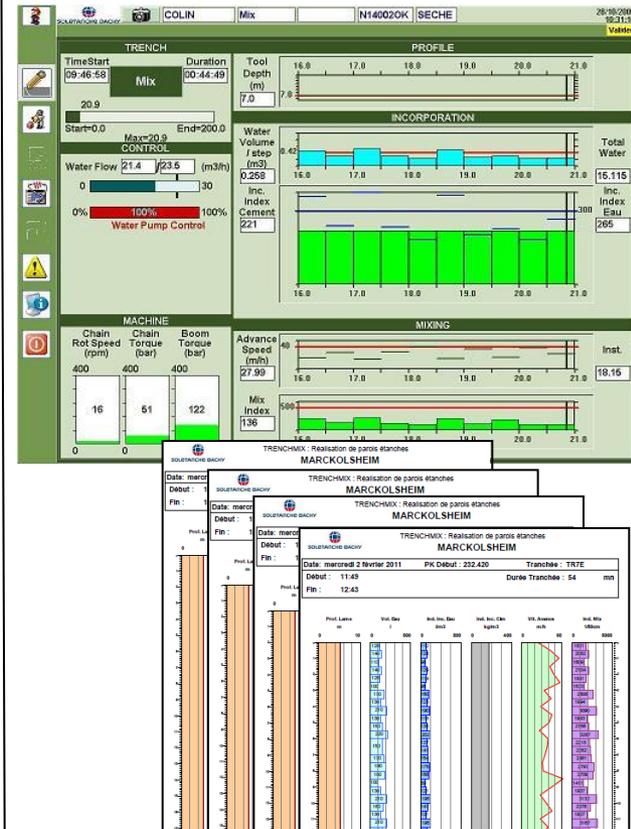


## Pénétrömètre statique



Aperçu des caractéristiques du matériau  
Pendant le durcissement

## Supervision & rapports



Volumes injectés  
Critères de malaxage  
**1 rapport / jour**

# Limites du procédé Trenchmix

Terrain

Recommandé principalement dans des terrains sableux / limoneux  
(limite de SPT : N=15 dans l'argile / N=50 dans les sables)

Eviter les terrains hétérogènes avec blocs >  $\varnothing 300\text{mm}$



**Reconnaitances de sols nécessaires pour étudier une solution :**

Carottages

Teneur en eau in situ

Limites d'Atterberg / valeur au bleu (le cas échéant)

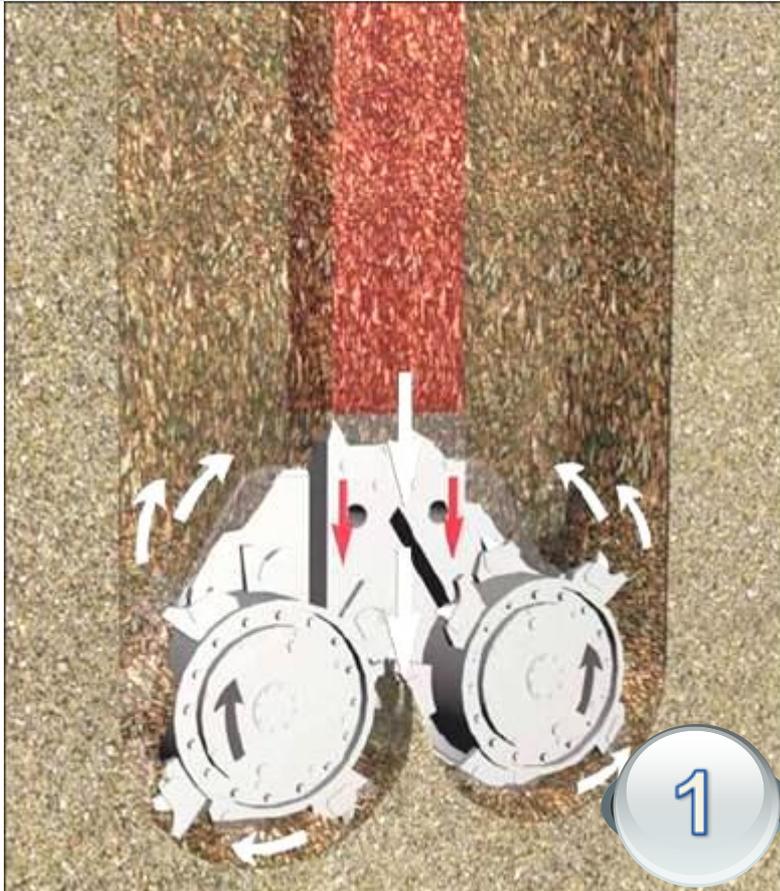
Courbe granulométrique

Caractéristiques in situ (SPT, mesures pressiométriques, CPT,...)

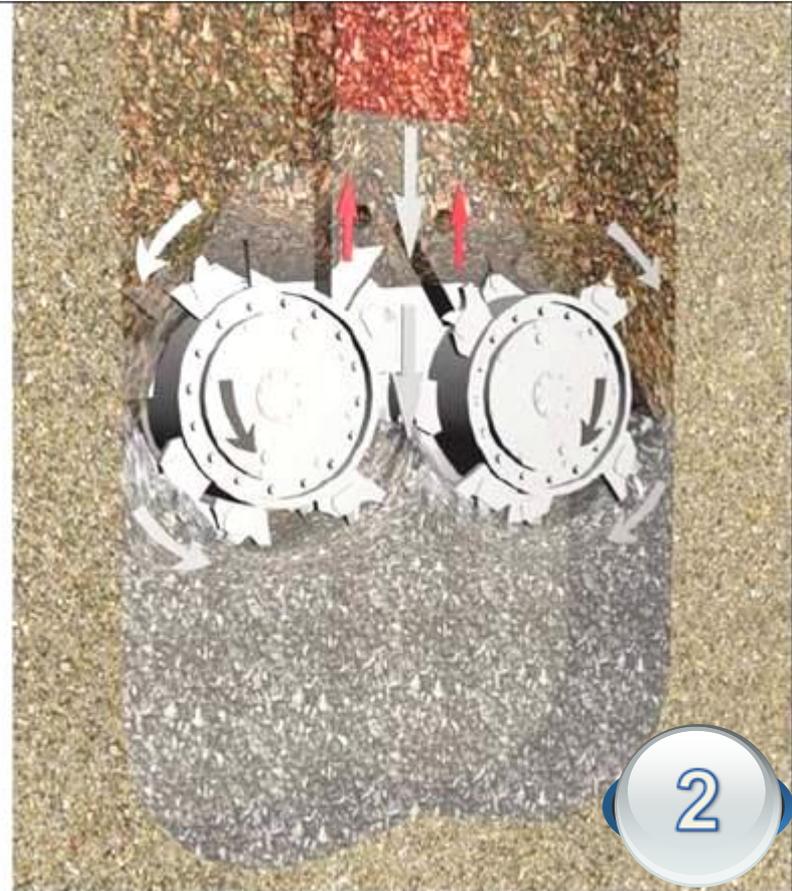


# Spécificités du procédé GEOMIX

# Le procédé GEOMIX

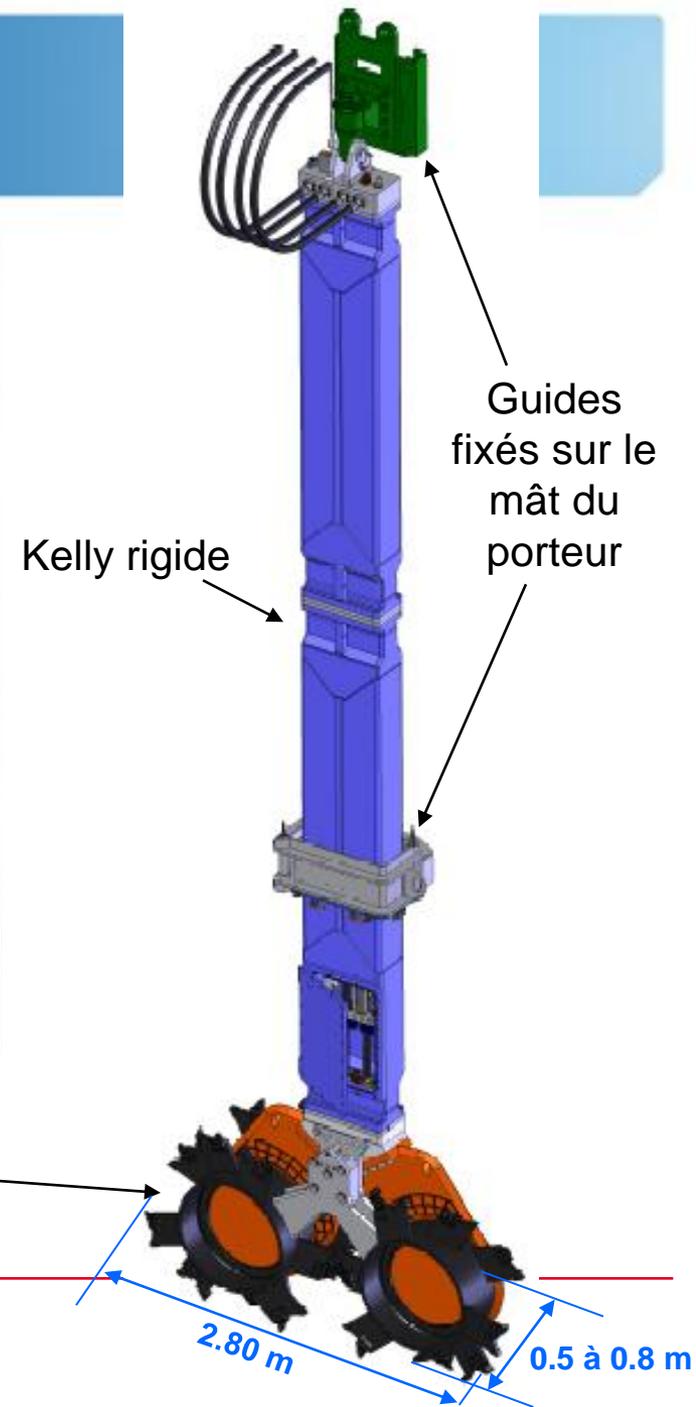


Forage et malaxage du terrain en place avec injection d'un fluide (boue, coulis, etc...)



Injection d'un liant hydraulique + Homogénéisation

# Un outil : le Cutter Soil Mixing (CSM)



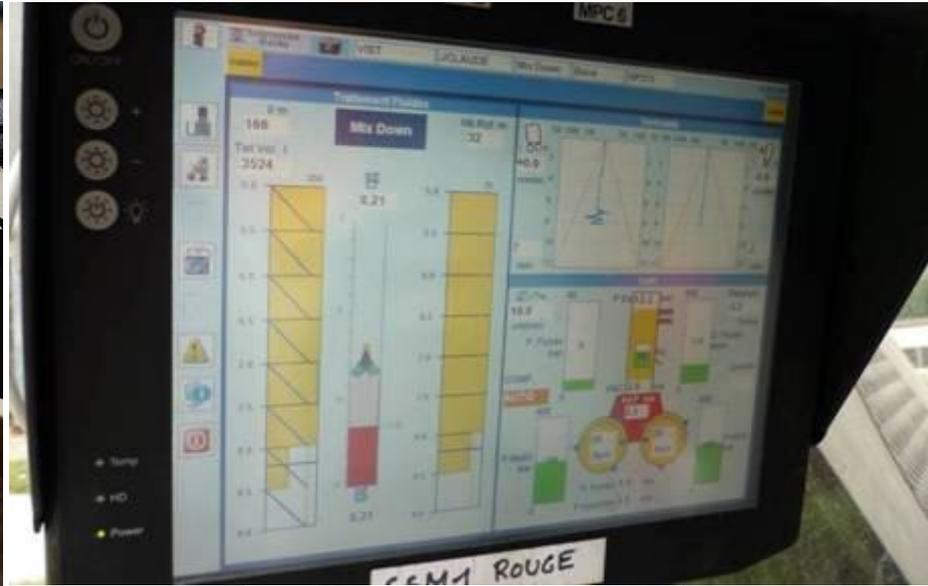
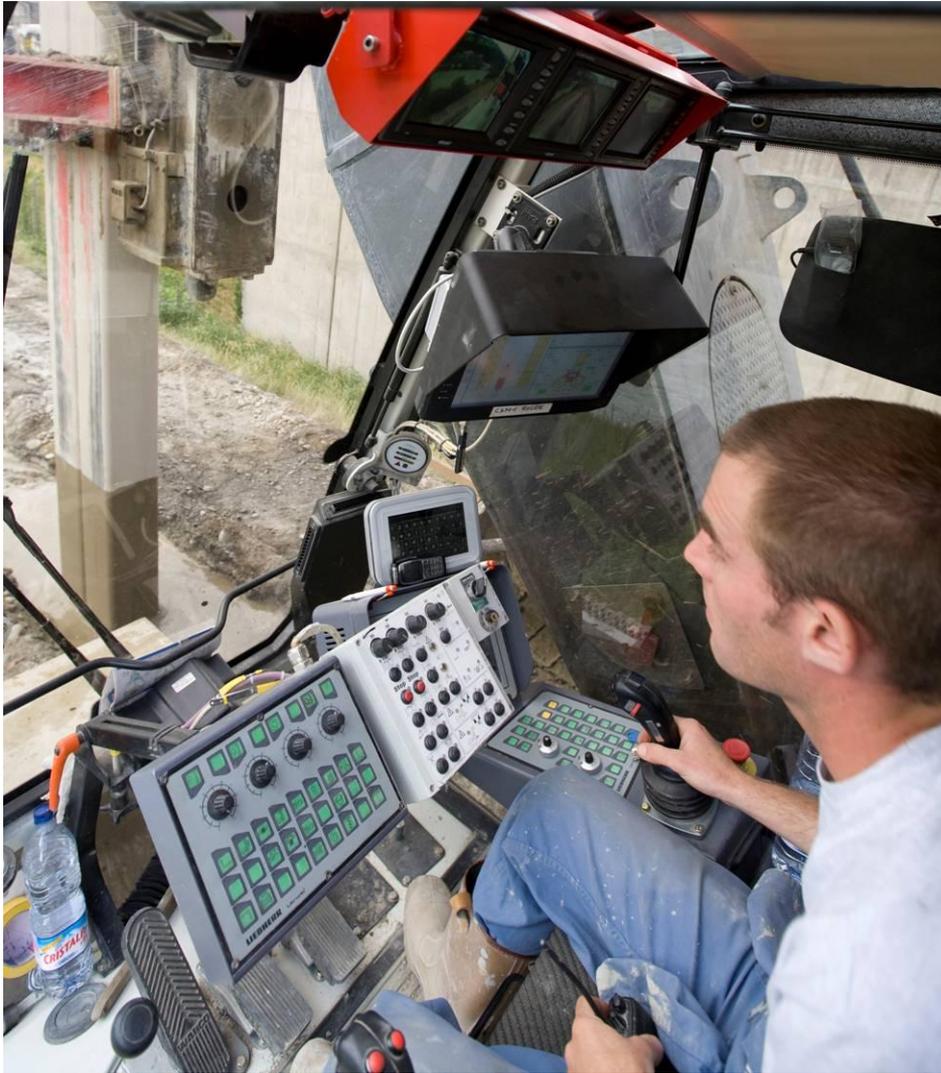
**La géométrie de l'outillage est brevetée**

Moteurs hydrauliques à fort couple intégrés dans les roues  
Tambours spécialement dessinés pour excaver ET mélanger

# Machines



# Supervision



# Supervision

Volume injecté au forage

Position de l'outil

Profondeur maximale

Volume de liant

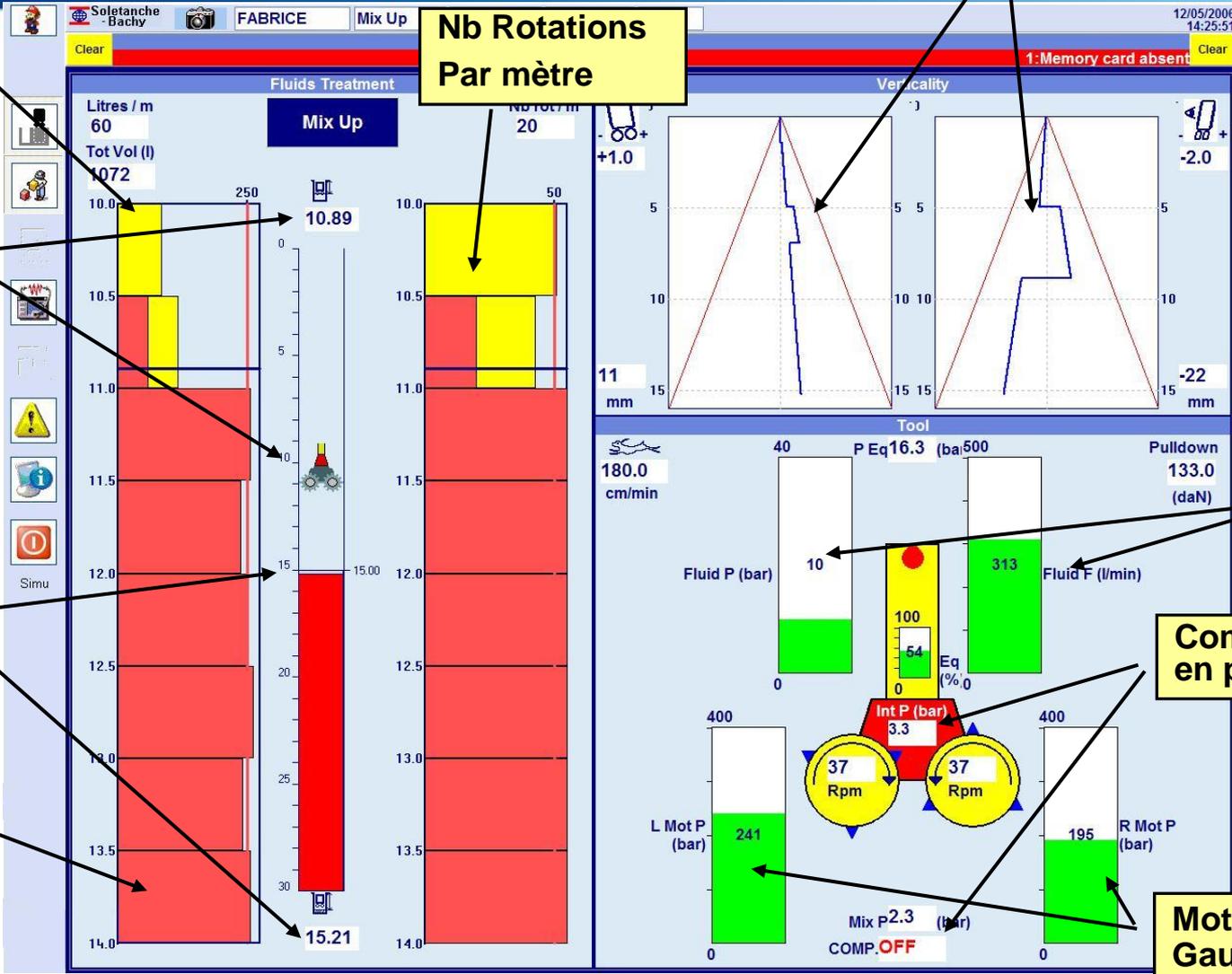
Nb Rotations Par mètre

Verticalité

Pression et débit de fluide

Compensation en pression

Moteurs Gauche/Droit



# Rapports de production



## RAPPORT GEOMIX

### GEOMIX

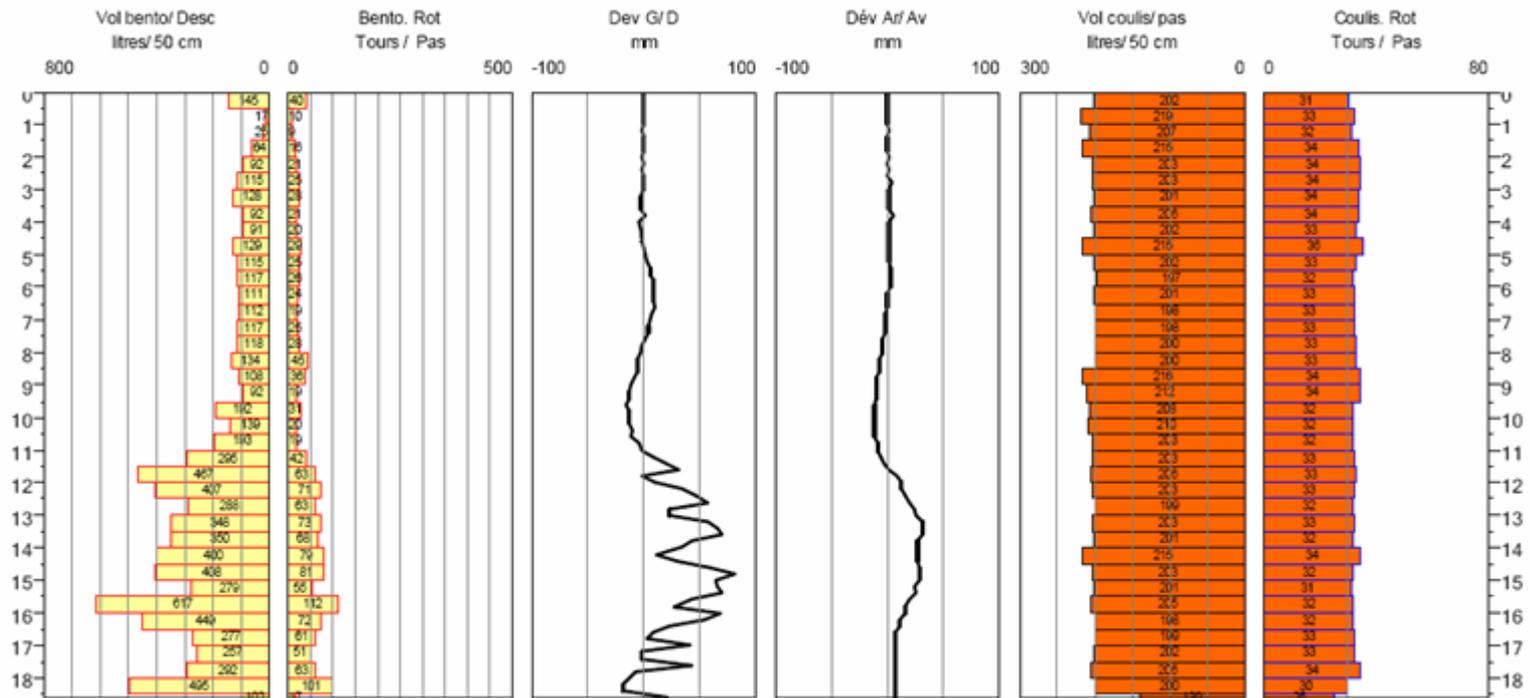
#### Enregistrement des paramètres

Volume Total Bentonite (litres):	8177
Volume Total Coulis (litres):	7701
Largeur (mm) :	2,800 mm
Epaisseur (mm) :	600 mm
Profondeur finale (m) :	18.64
Temps de perforation (min) :	107.00
Temps d'injection (min) :	65.00

DATE : 15/03/2010

Chantier HONFLEUR

Panneau P63



# Paramètres de traitement & Matériaux



Fluides injectés :

- Généralement une boue de bentonite pour le forage et un liant hydraulique en remontant
- Quelquefois, selon les sites, forage directement à l'eau (dans l'argile) ou avec un coulis de bentonite/liant

Des paramètres spécifiques adaptés à chaque ouvrage.

Rc : 1 à 4 MPa moyen @ 28 jours

Renforcement par profilés métalliques pour les soutènements

Permeabilité de l'ordre de  $10^{-8}$  m/s à  $10^{-9}$  m/s

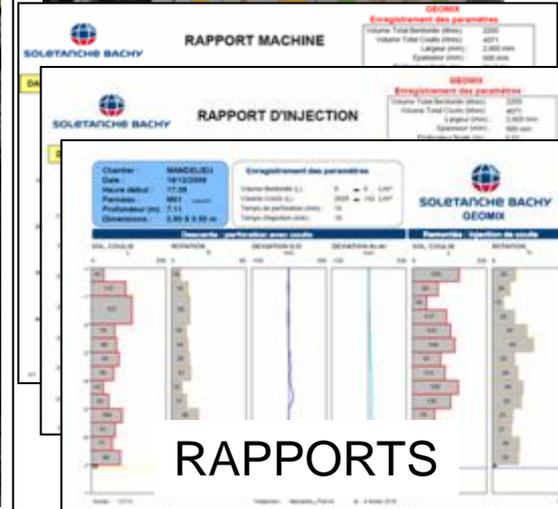
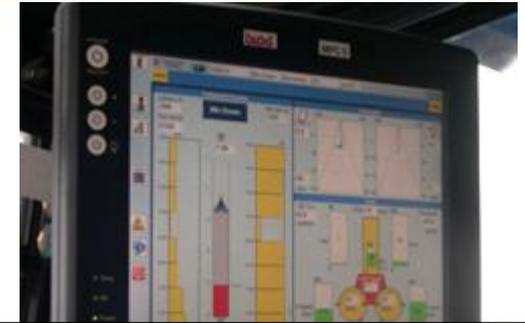
# GEOMIX : Contrôles qualité



Caractéristiques réelles du matériau  
(Rc, perméabilité, ...)  
Réalisés après durcissement



Aperçu des caractéristiques du matériau  
Pendant la construction



Volumes injectés  
Critères de malaxage  
**Disponible pour chaque panneau**

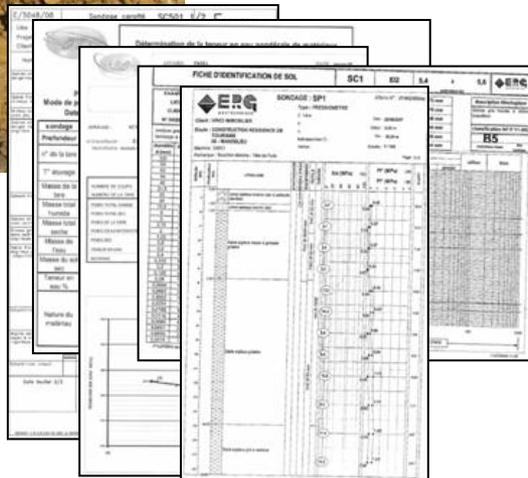
# Limites du procédé GEOMIX

Terrain

Recommandé principalement dans des terrains sableux et limoneux  
(limite de SPT : N=20 dans l'argile / N=60 dans les sables)

Eviter les terrains hétérogènes avec blocs ( $\varnothing > 150 - 200\text{mm}$ )

L'outillage CSM peut forer dans des couches plus dures pour réaliser des  
ancrages (env. 1m) –  $R_c < 50\text{ MPa}$



**Reconnaitances de sols nécessaires pour étudier une solution en Geomix :**

Carottages

Teneur en eau in situ

Limites d'Atterberg / valeur au bleu (le cas échéant)

Courbe granulométrique

Caractéristiques in situ (SPT, mesures  
pressiométriques, CPT,...)

# Geomix & Trenchmix – Nos références

- **Trenchmix : 36 chantiers dont 4 essais**

Ecrans étanches sur digues	16 références
Ecrans étanches (sur sites pollués ou non)	10 références
Amélioration de sols (zones de stockage)	8 références
Stabilisation de remblais routiers	1 référence
Ecran de soutènement	1 référence

- **Geomix : 29 chantiers dont 3 essais**

Ecrans étanches (digues / écran imperméable)	8 références
Ecrans étanches provisoires	2 référence
Parois de soutènement provisoires	9 références
Parois de soutènement (avec voile BA)	6 référence
Ecran arrière sur quai	1 référence
Amélioration de sols	3 références

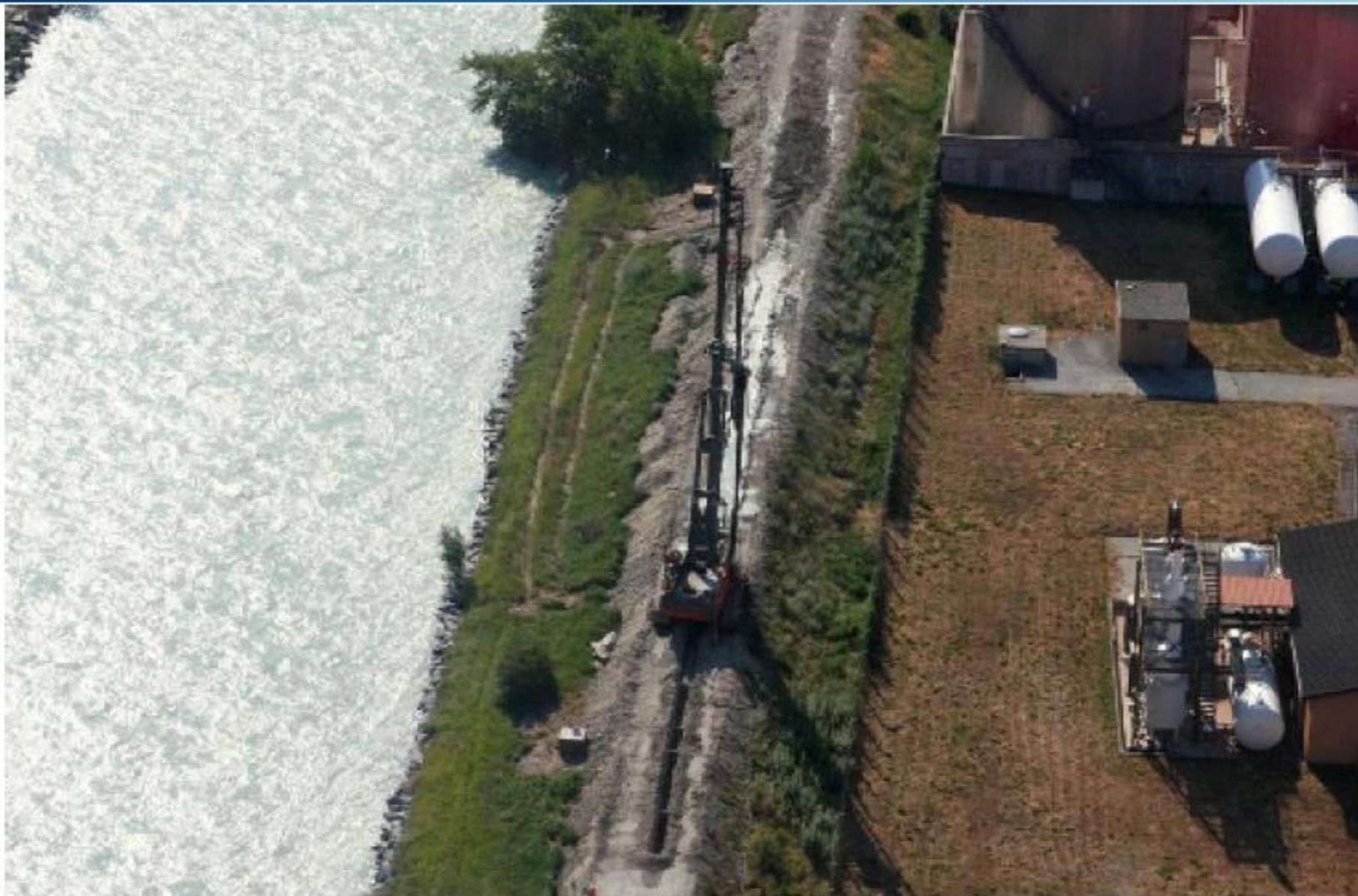
# Geomix : Ecrans d'étanchéité

Visp, Suisse - 2009

- **Ecran étanche de protection d'installations le long des berges du Rhône**
- **Profondeur 12 m – épaisseur 500**
- **47 000 m<sup>2</sup> dans les alluvions**
- **2 machines x 2 postes**
- **Plateforme de travail étroite**



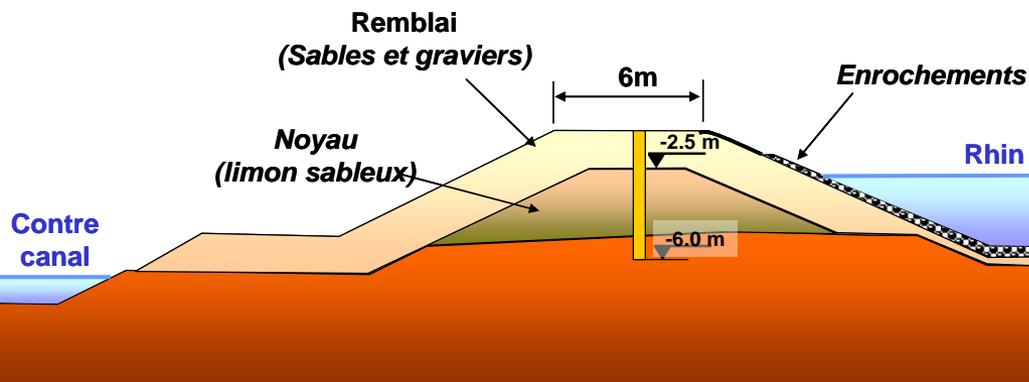
# Geomix : Ecrans d'étanchéité



# Trenchmix : Ecrans d'étanchéité

## Marckolsheim, France – 2011

- Confortement des digues du Rhin
  - Reprise du noyau d'étanchéité;
  - Ancrage du noyau dans les sables et graviers
- Prof 6.60 à 2.50 m – longueur : 6100 ml
- Méthode sèche
- Dosage en ciment 180 kg/m<sup>3</sup>
- Objectifs :  $R_c > 2 \text{ MPa}$  et  $K < 10^{-8} \text{ m/s}$
- Obtenu :  $R_{c_{\text{moyen}}} = 3.5 \text{ MPa}$  –  $K < 1.10^{-9} \text{ m/s}$



# Trenchmix : Ecrans d'étanchéité

