

STEP - Station de pompage Al Wathba - Abu Dhabi

spie batignolles

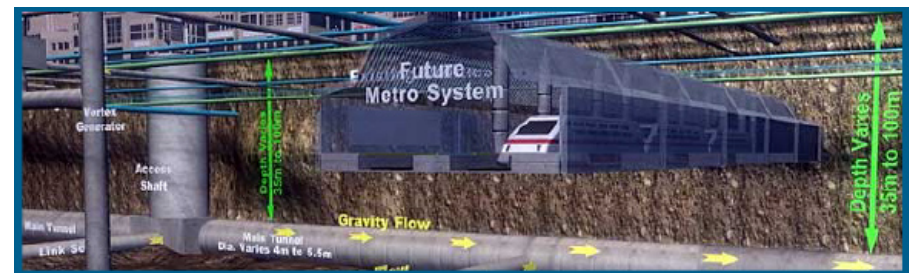


Strategic Tunnel Enhancement Programme

Abu Dhabi's Sustainable Used Water System



- Croissance d'Abu Dhabi
 - Sites de traitement en limite de capacité
 - Réseau d'assainissement sous-dimensionné
- Développement d'un système gravitaire de collecte des eaux usées
 - 40 km de tunnels (diamètre: jusqu'à 5.50 m, de 24 à 90 m de profondeur)
 - 60 km de collecteurs
 - Capacité de traitement: 800.000 m³/jour



STEP - Station de pompage

- Située au terme du collecteur profond
- A proximité de la station de traitement des eaux usées de Al Wathba
- Contrat EPC



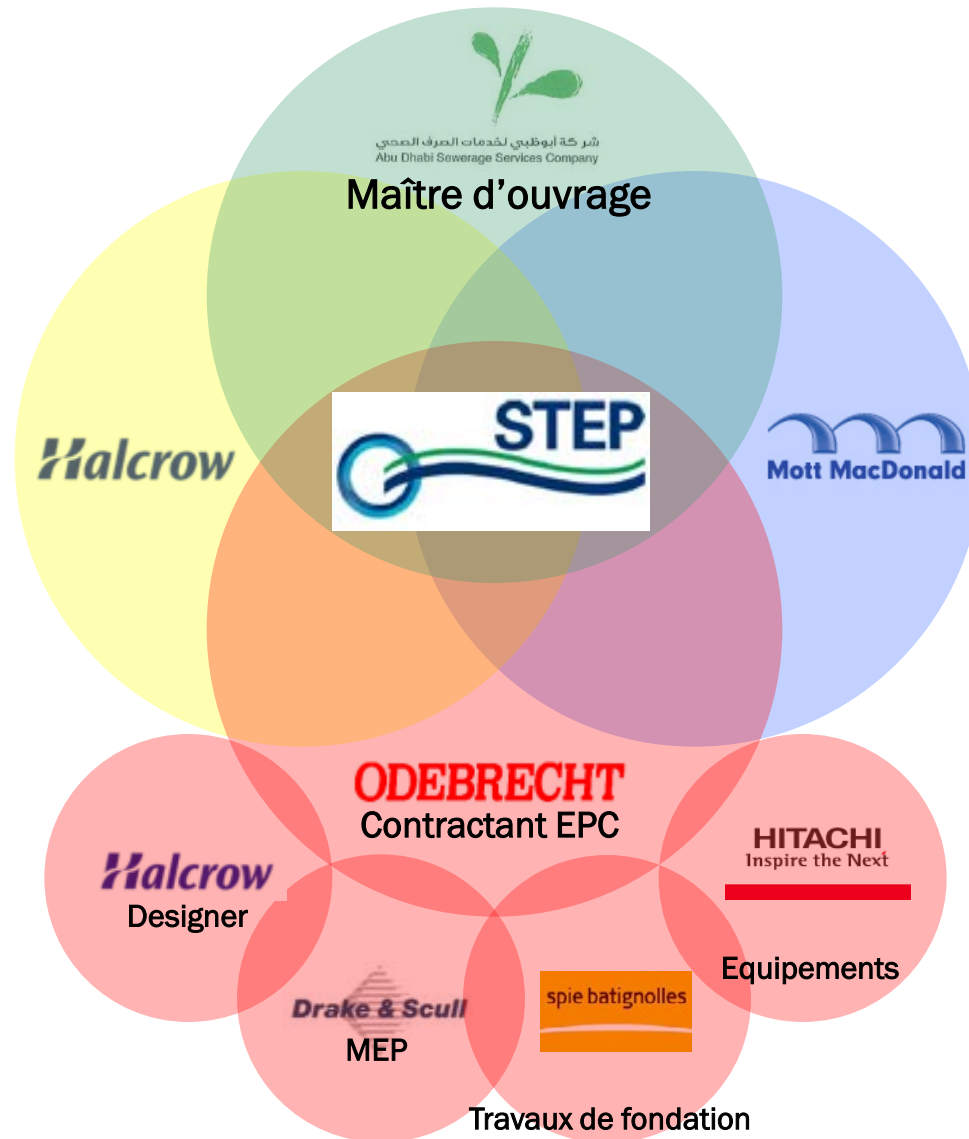
STEP – Station de pompage

➔ Aménagement du site



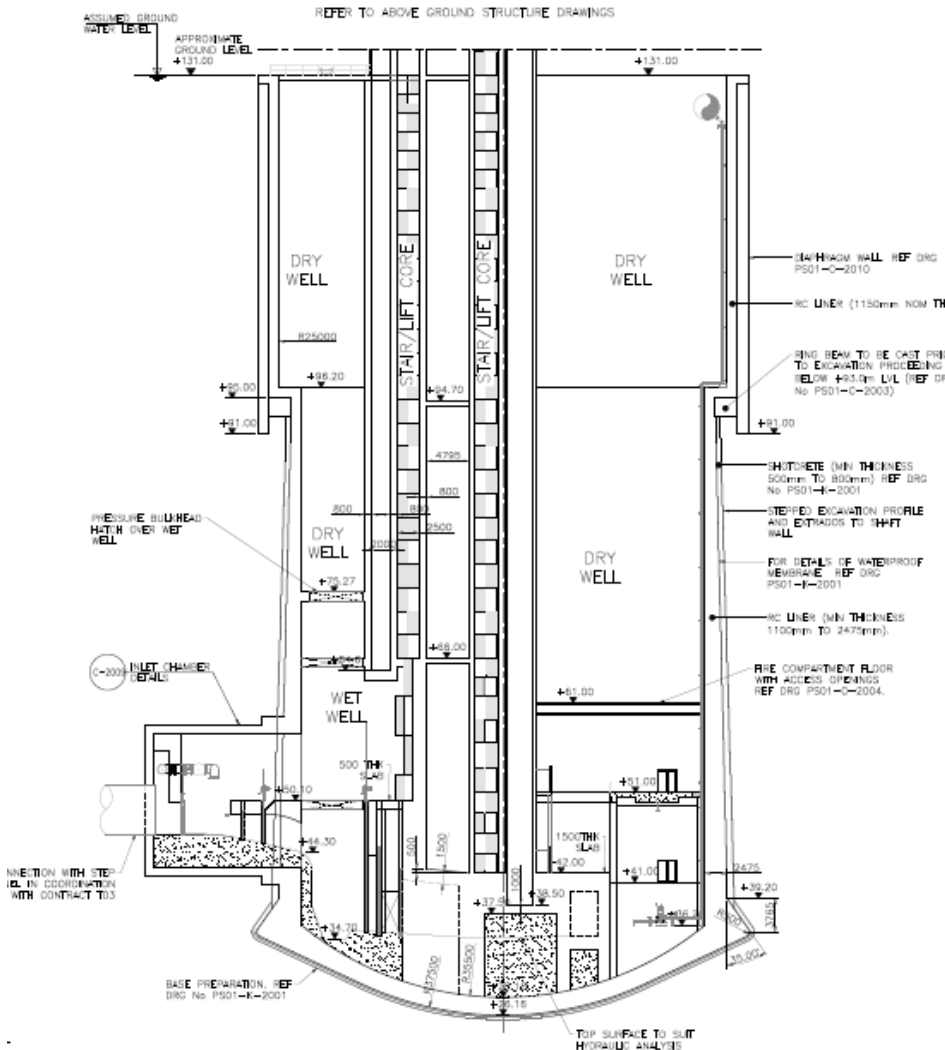
STEP – Station de pompage

→ Partenaires



STEP – Station de pompage

➔ Puits d'enceinte

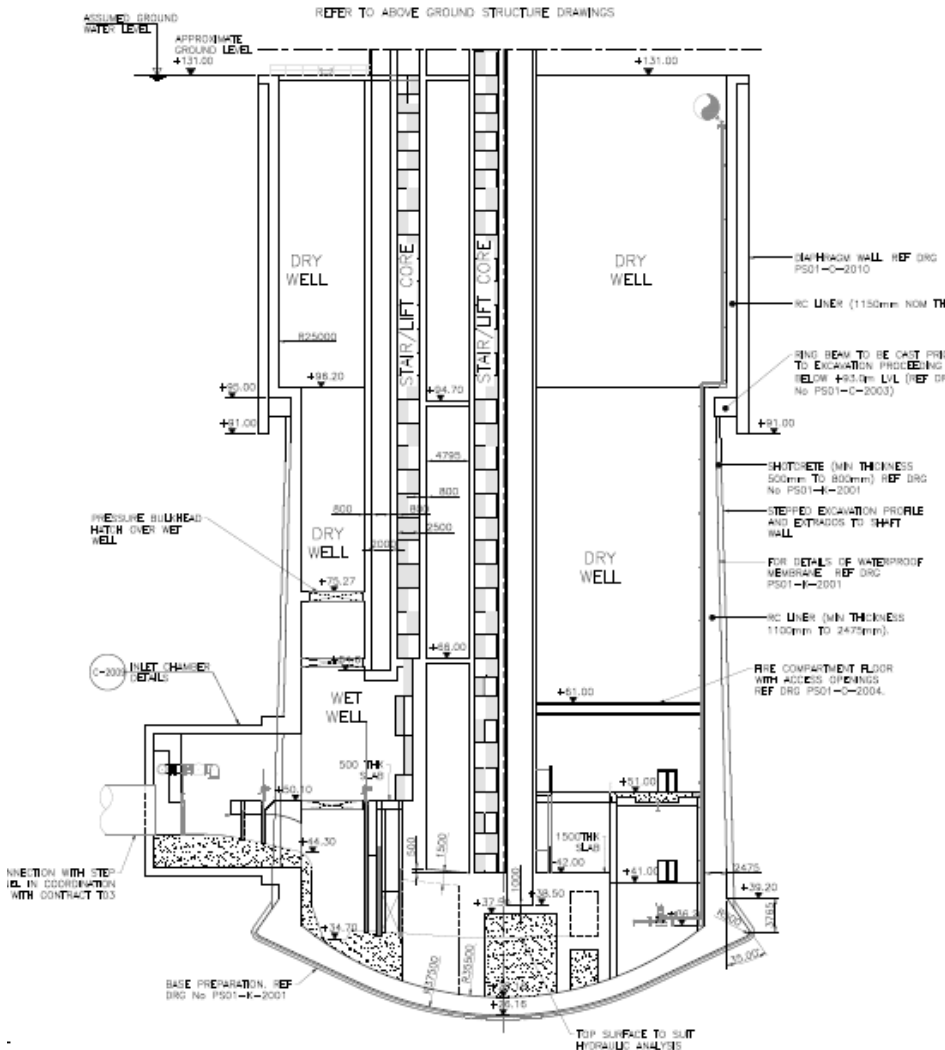


➔ Caractéristiques principales

- ❖ Diamètre: 50 m
- ❖ Niveau de terrassement: 105m de profondeur
- ❖ Raccordement avec le tunnel de collecte à -90 m

STEP – Station de pompage

→ Puits d'enceinte



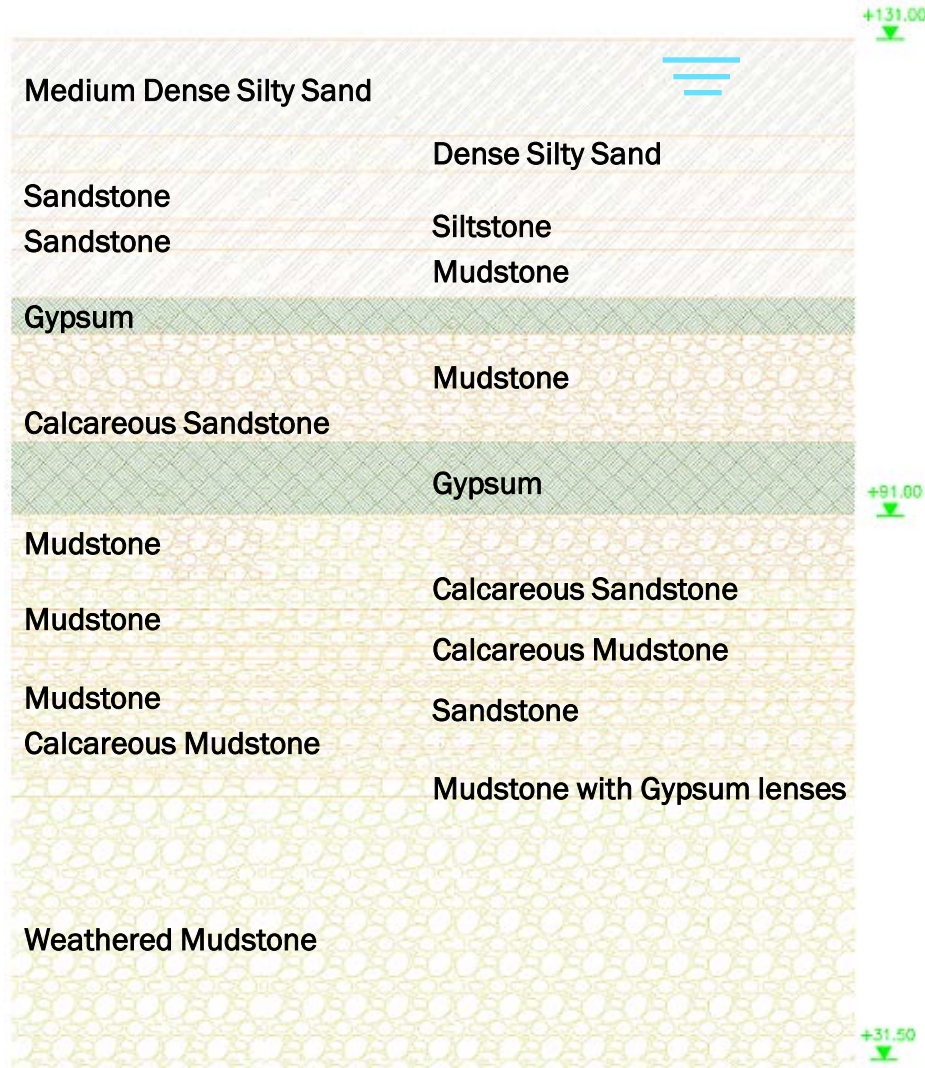
→ Principes de design

- ❖ Terrassement à l'abri d'un soutènement provisoire
- ❖ Creusement de la chambre de raccordement au tunnel
- ❖ Réalisation du voile définitif à la remontée

→ **Spie Batignolles: implication anticipée, au stade de l'offre, pour définir les travaux spéciaux** (investigations géotechniques préliminaires, soutènements, pieux, injections, instrumentation...)

STEP – Station de pompage

➔ Puits d'enceinte

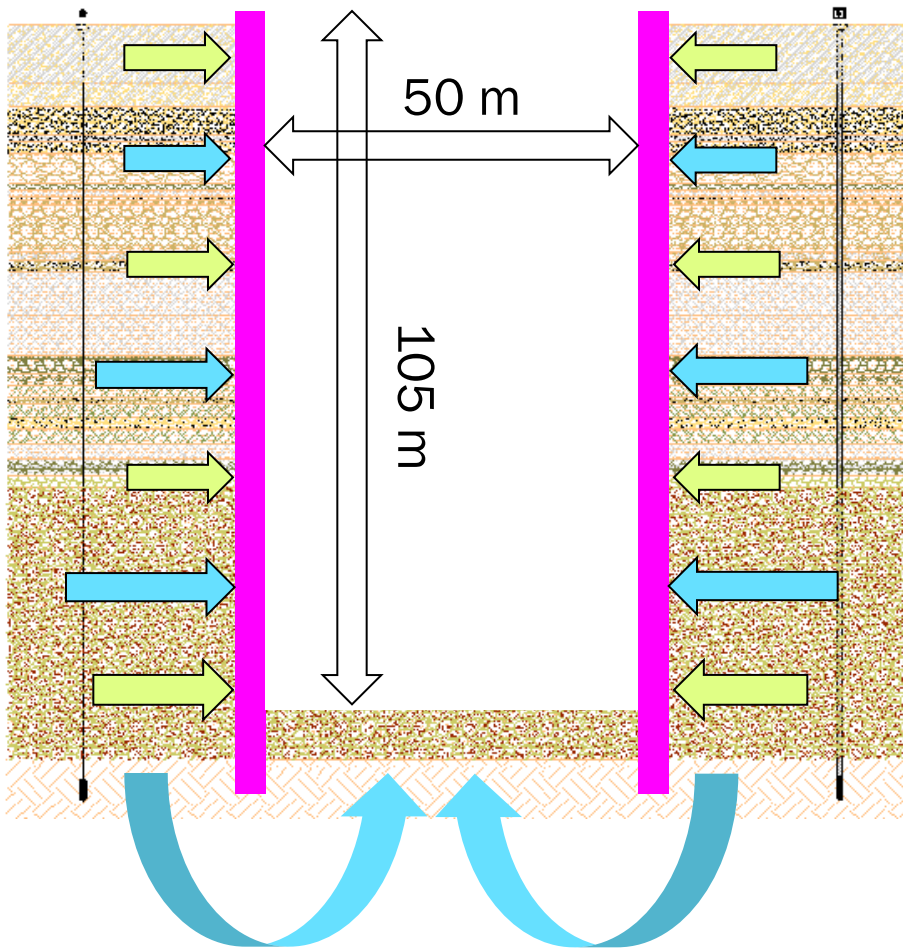


➔ Cadre géotechnique

- ❖ Nappe proche du terrain naturel
- ❖ Sols granulaires en tête
- ❖ Présence de gypse et de passées perméables
- ❖ Calcaire de faible perméabilité
- ❖ Calcaire altéré/fracturé au fond de fouille

STEP Tunnel Pumping Station

➔ Puits d'enceinte



➔ Critères de dimensionnement

- ❖ Poussées des terres et de l'eau
- ❖ Surcharges
- ❖ Débit d'eau entrant lors des terrassements

➔ Autres critères

- ❖ Faisabilité
- ❖ Maîtrise des risques
- ❖ Durée des travaux
- ❖ Coût

STEP – Station de pompage

➔ Options de soutènement

Type	Réalisation en sol rocheux	Etanchéité	Terrassement profond	Structures	Aspect fini
Palplanches	---	-	-	-	-
Pieux sécants	+	-	-	+	-
Paroi coulis armée	++	+	+	-	-
Paroi moulée	++	++	++	++	+

➔ Meilleure solution pour le puits d'enceinte:
PAROI MOULEE

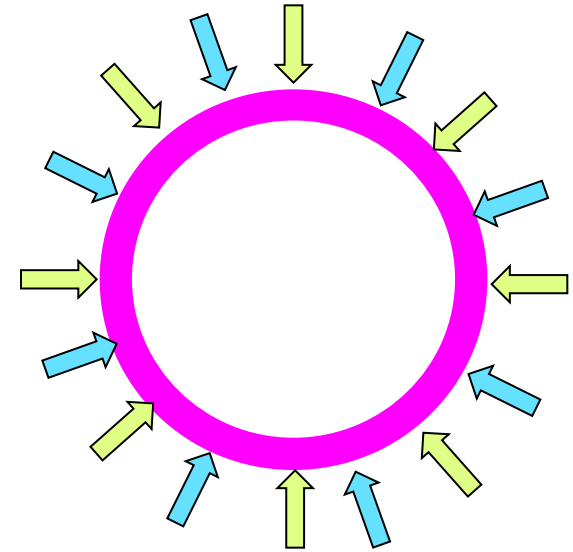
STEP – Station de pompage

➔ Option retenue pour le soutènement: Paroi moulée

➔ Dimensionnement

- ❖ Pressions des terres et de la nappe p
- ❖ Rayon du puits R
- ❖ Tolérances d'exécution:
Épaisseur réduite t
- ❖ Contrainte à comparer à la contrainte admissible du béton en compression:

$$\sigma = \frac{pR}{t}$$



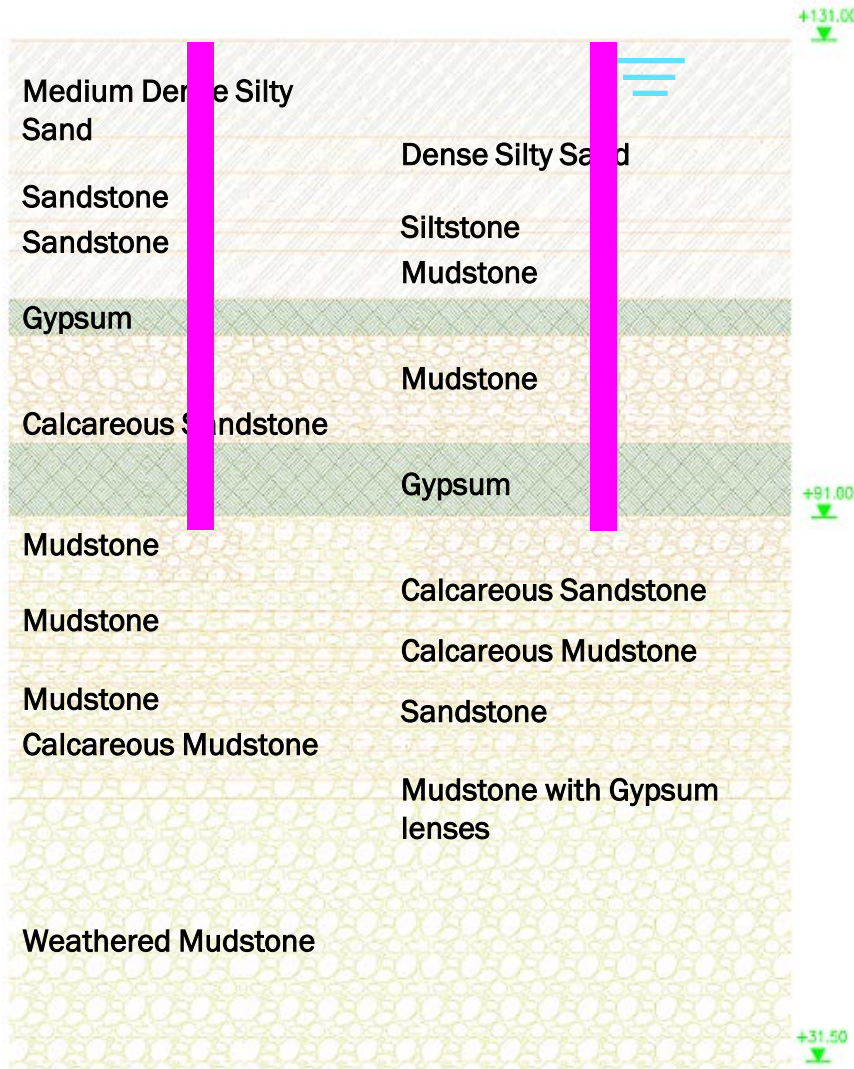
➔ Options d'exécution

Paroi toute hauteur envisageable mais les dimensions résultantes (épaisseur > 1.80 m, profondeur > 120 m) ont de forts impacts constructifs: bétonnage et maintien de rhéologie, dimensions et mise en œuvre des cages d'armatures ...

-> *Comment réduire la profondeur de paroi moulée ?*

STEP – Station de pompage

➔ Option retenue pour le soutènement: Paroi moulée



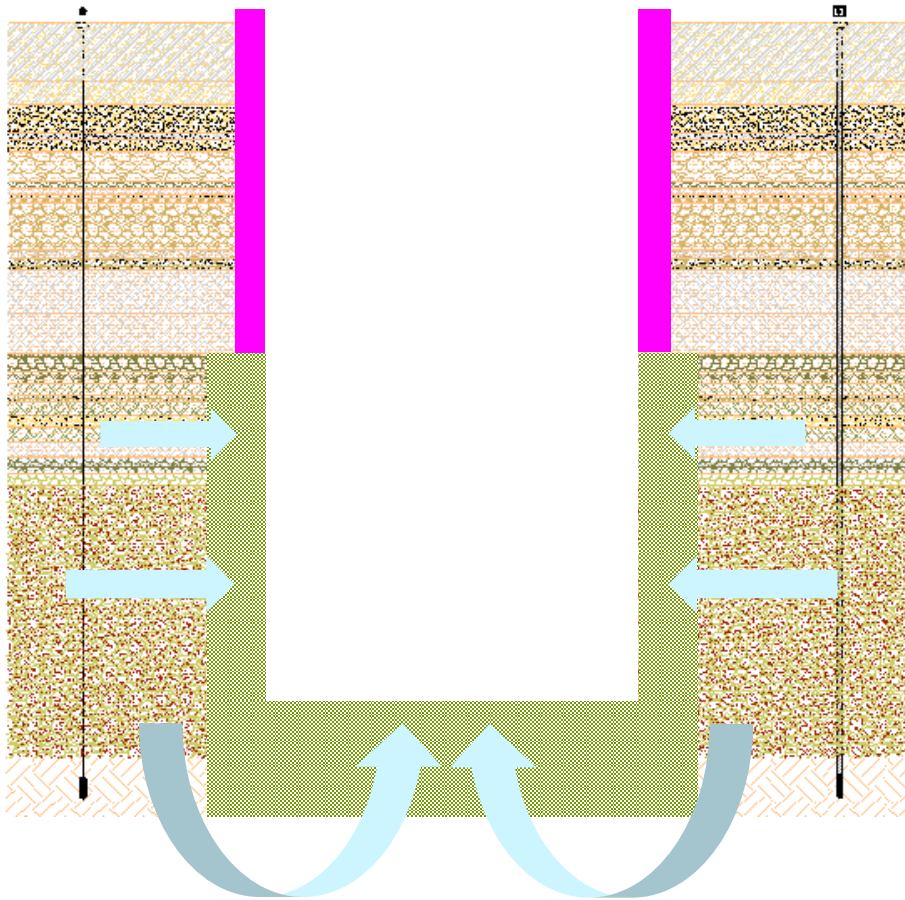
- ➔ Analyse des conditions de sol
- ❖ Couches moins perméables en profondeur

➔ Soutènement proposé:

- ❖ Paroi suspendue sur les couches supérieurs (plus perméables et à matériaux granulaires)
- ❖ Terrassement au travers des couches inférieures à l'abri de béton projeté cloué

STEP – Station de pompage

➔ Limiter les venues d'eau au terrassement



Nécessité d'une barrière étanche:

- ❖ en fond d'excavation
- ❖ autour du puits, sous la partie paroi moulée

➔ **Travaux d'injection** permettant:

- ❖ d'assurer un remplissage des fissures et cavités pour réduire la perméabilité d'ensemble
- ❖ de garantir un environnement sec et sûr pour les terrassements

STEP – Station de pompage

- Validation des paramètres de forage et d'injection
 - Campagne de reconnaissance de sol pour valider la stratigraphie et les paramètres géotechniques (carottages, gammamétrie, passages camera...)
 - Essais de perméabilité
 - Sélection des composants d'injection et essais de coulis
 - Essais d'injection in-situ:
 - Confirmer l'équipement
 - Confirmer le coulis
 - Etablir les paramètres de contrôle
 - Confirmer les procédures d'injection
- Essais de perméabilité post-injection pour confirmer le concept de traitement par injection

STEP – Station de pompage

➔ Méthode d'injection

➔ Paramètres d'injection

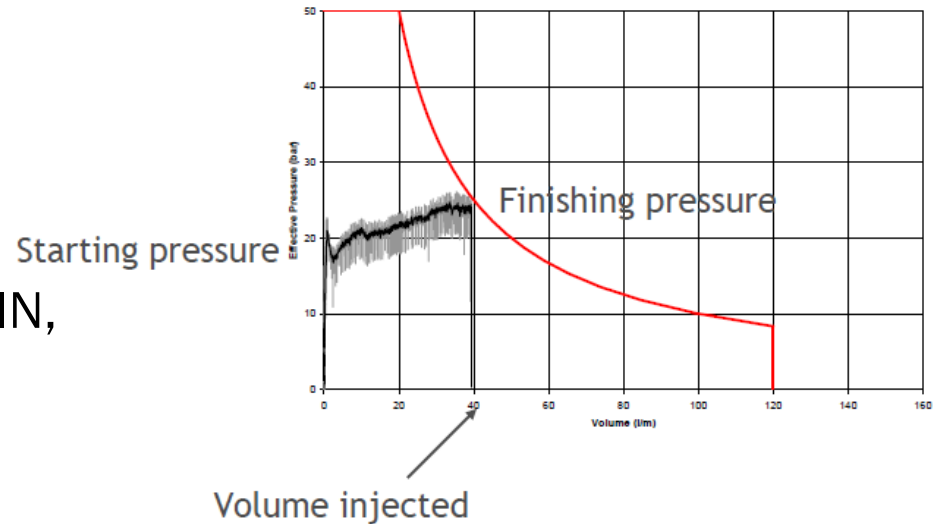
- ❖ Pression & Volume
- ❖ Selon méthode GIN:

$$\text{GIN} = P \times V$$

➔ Méthode GIN avec Nb GIN, Pmax, Vmax

➔ Mix design pour coulis à ciment ultrafin

- ❖ Pénétration du coulis en rapport avec l'ouverture de fissures et le diamètre des grains
- ❖ Stabilité du coulis – risqué de décantation/ségrégation qui entraînerait une obturation prématurée des fissures
- ❖ Durabilité du coulis

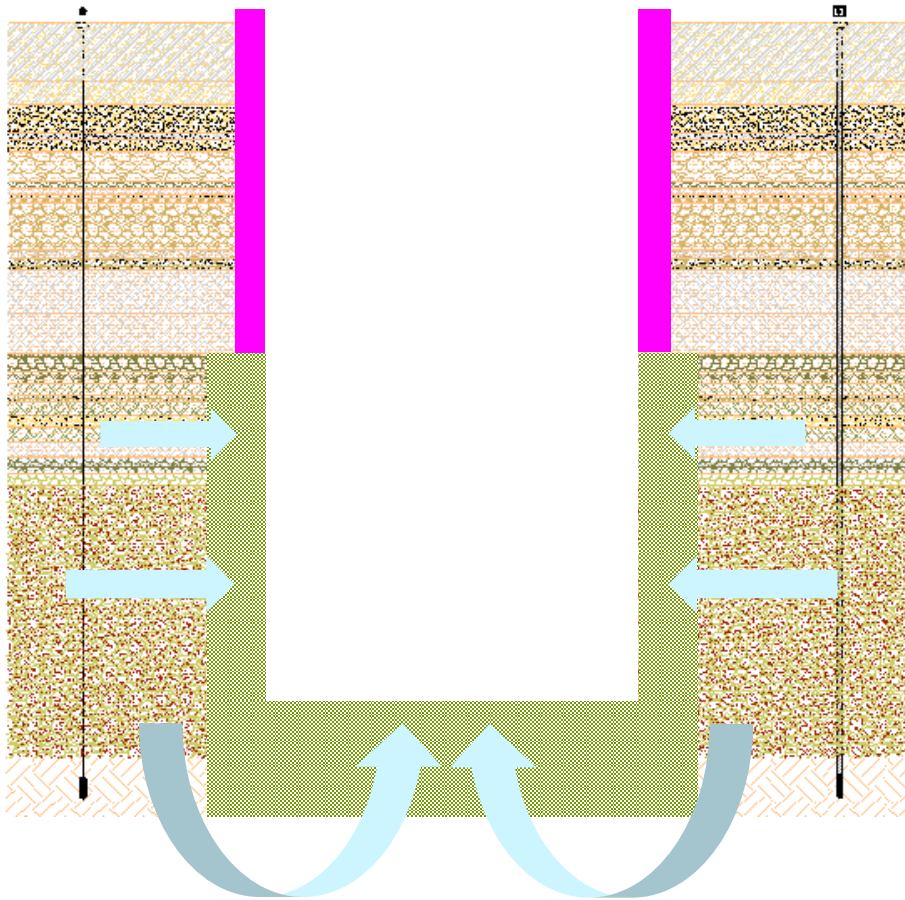


Exemple de paramètres GIN

Zone	GIN	Vmax (l/m)	Pmax (bars)
1	1000	120	50
2	750	100	50
3	500	40	50

STEP – Station de pompage

➔ Design final



Paroi moulée:

Profondeur = 50 m

Epaisseur = 1.20 m

Injections préalables pour éviter pertes de boue

Travaux d'injection:

Rideau injecté de -50 à -120 m

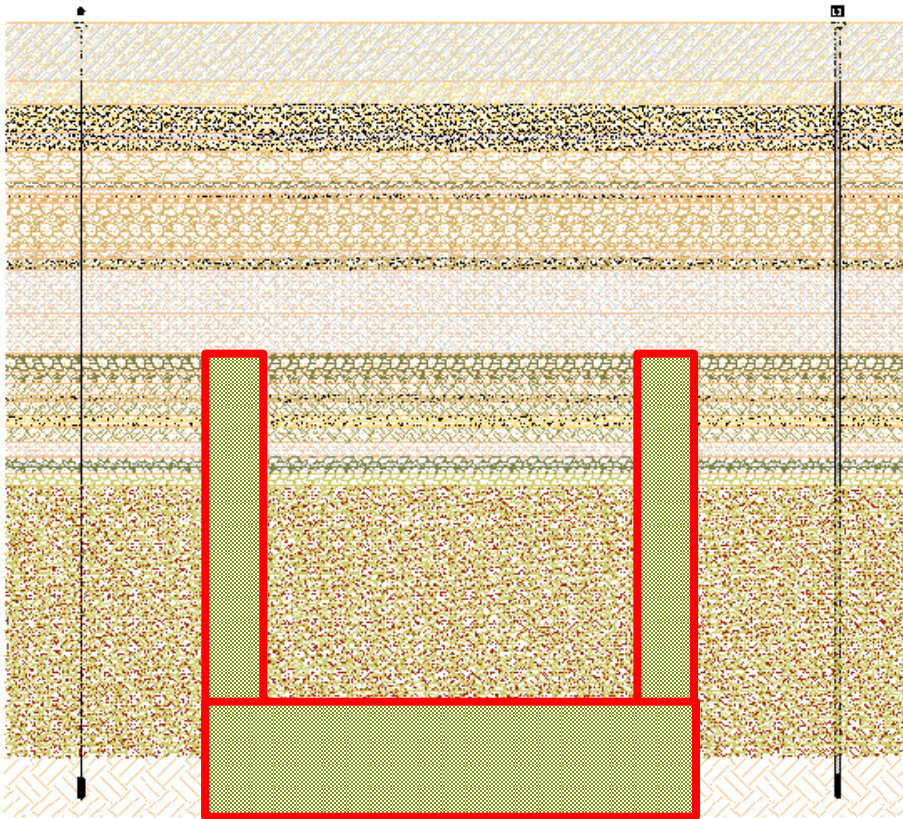
Fond injecté de -100 à -120 m

Clous

Clous forés de 8 m à la descente de l'excavation

STEP – Station de pompage

➔ Phase I – Travaux d'injection



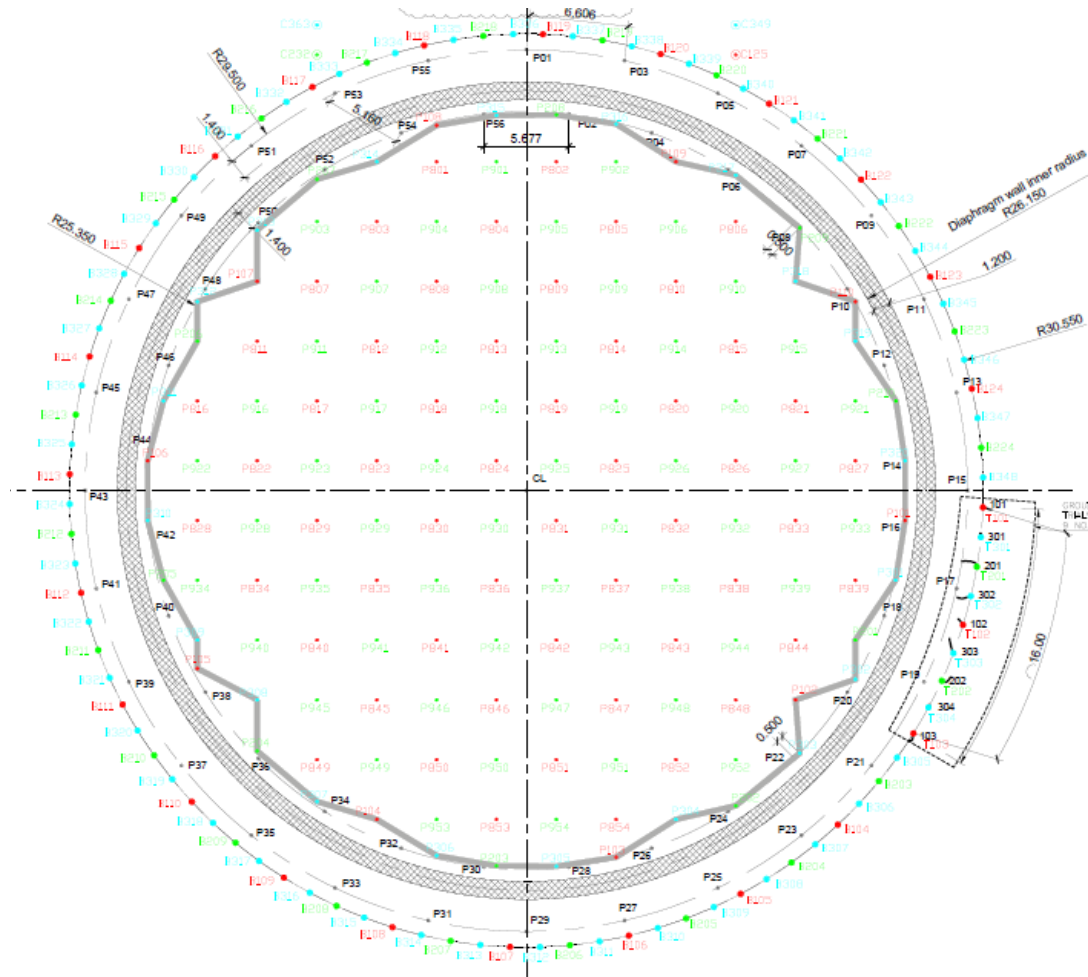
Travaux d'injection:

Rideau injecté de -50 à -120 m

Fond injecté de -100 à -120 m

STEP – Station de pompage

➤ Phase I – Travaux d'injection



Injection par forages primaires/
secondaires/tertiaires

Méthode:

1. Tubage préliminaire sur la hauteur des terrains de couverture (6'' - 15 m)
2. Forages primaires jusqu'à 120 m
3. Contrôle de la verticalité
4. Injection par passes ascendantes (méthode GIN)
5. Analyse des résultats de forag et d'injection
6. Forages secondaires...
7. ...

STEP – Station de pompage

➤ Phase I – Travaux d'injection

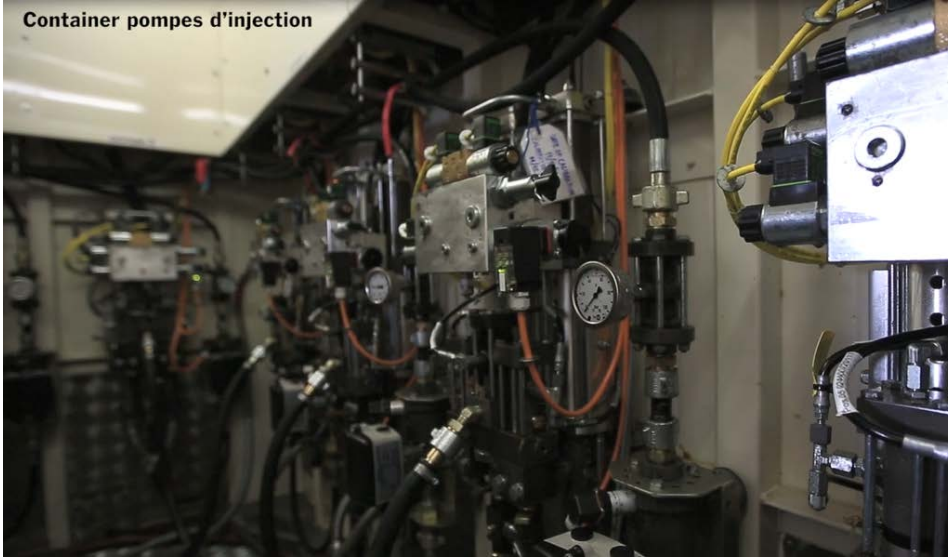


3 ateliers de forage
Plot d'essai préliminaire pour contrôler
la verticalité des forages ($< 1\%$)

STEP – Station de pompage

➔ Phase I – Travaux d'injection

Container pompes d'injection



Système Spie Fondations de gestion automatisé des injections (C2i)

6 pompes d'injection

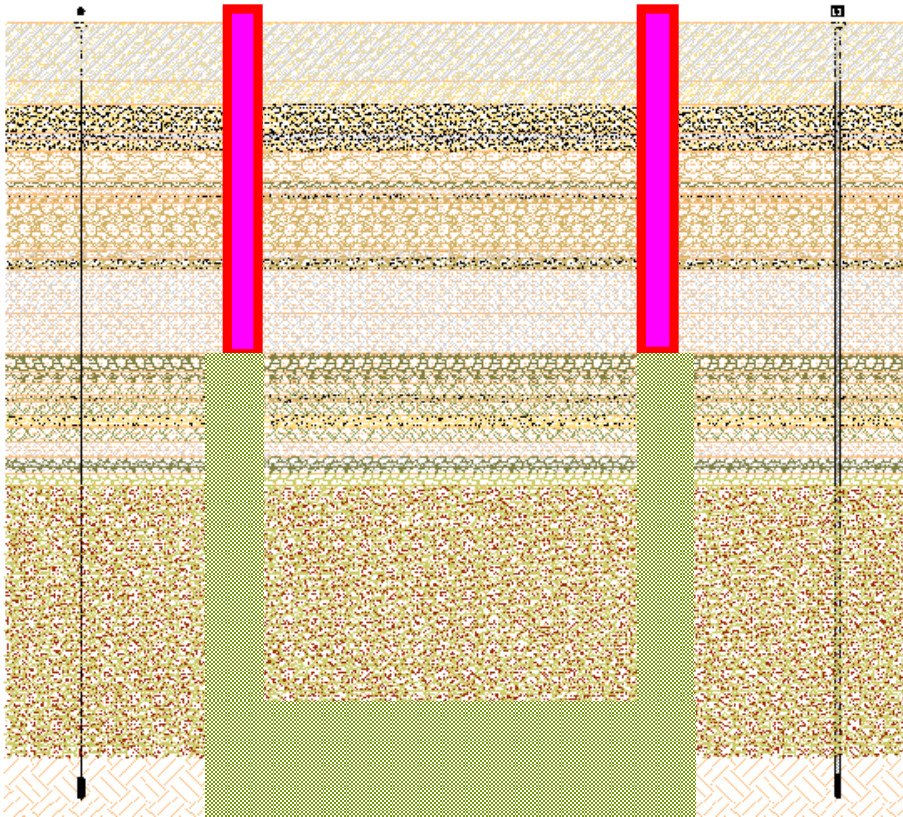
Coulis d'injection comportant:

- Ciment ultrafin
- Fumée de silice
- Superplastifiant



STEP – Station de pompage

➔ Phase II – Paroi moulée



Paroi moulée:

Profondeur = 50 m

Epaisseur = 1.20 m

Injections préalables pour éviter
pertes de boue

STEP – Station de pompage

➤ Phase II – Paroi moulée



Forage à la fraise (tolérance de verticalité: 0.5%))
Centrale à boue avec recyclage



STEP – Station de pompage

➔ Construction stage II – Diaphragm Wall

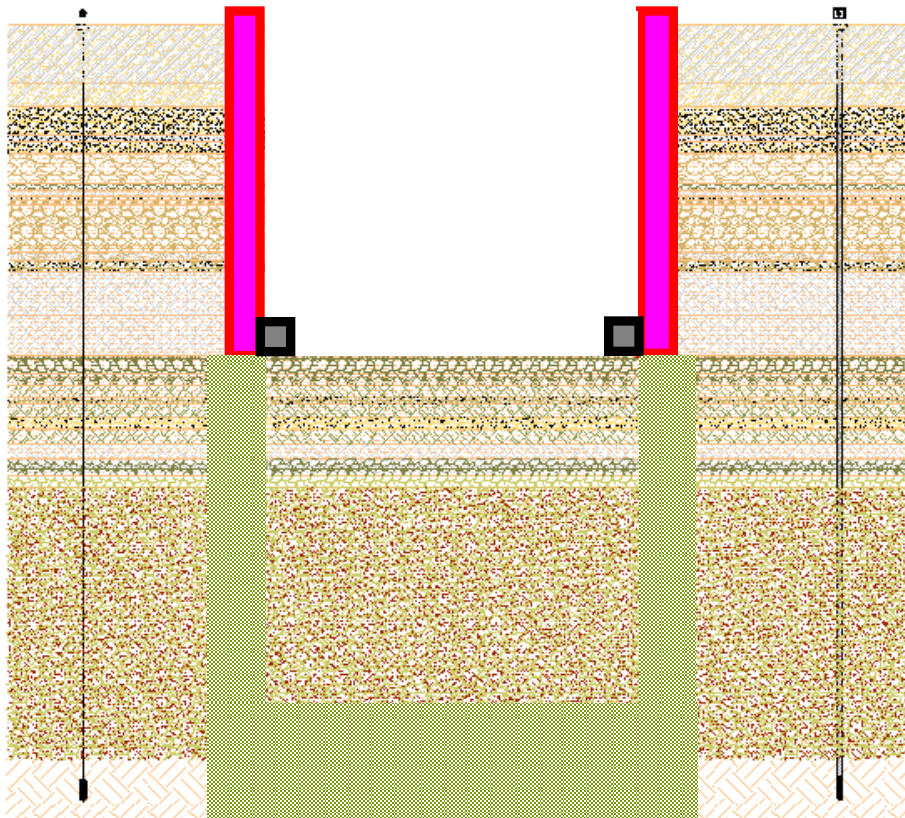


Equipement en cages d'armatures
toute hauteur
Etanchéité entre panneaux assurée
par joint waterstop



STEP – Station de pompage

➤ Phase III - Terrassement



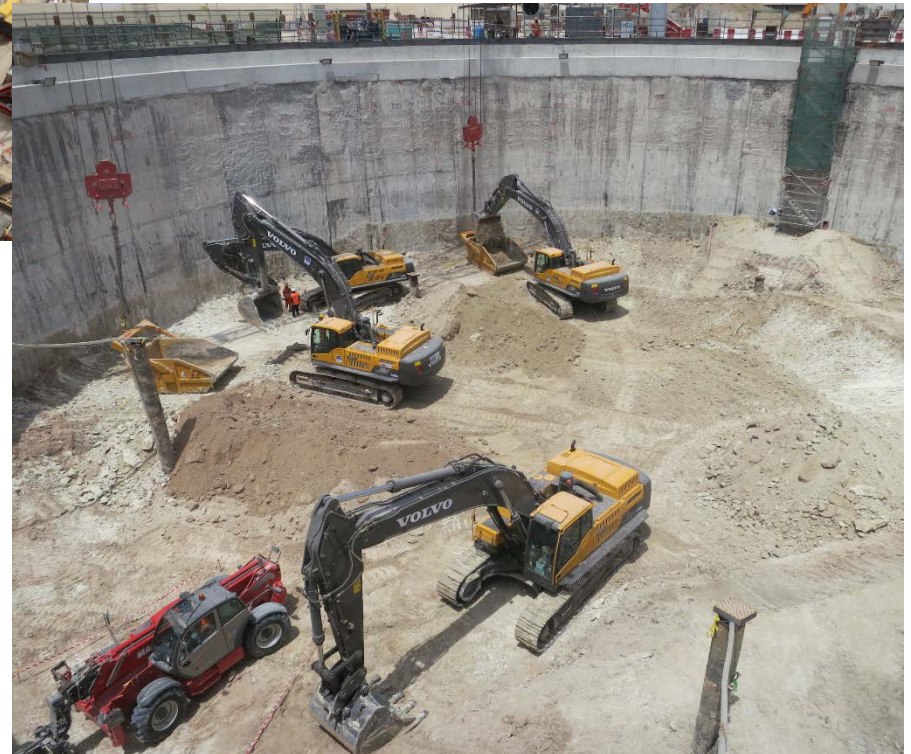
Première étape: à l'abri du
soutènement en paroi moulée

STEP – Station de pompage

➔ Phase III - Terrassement

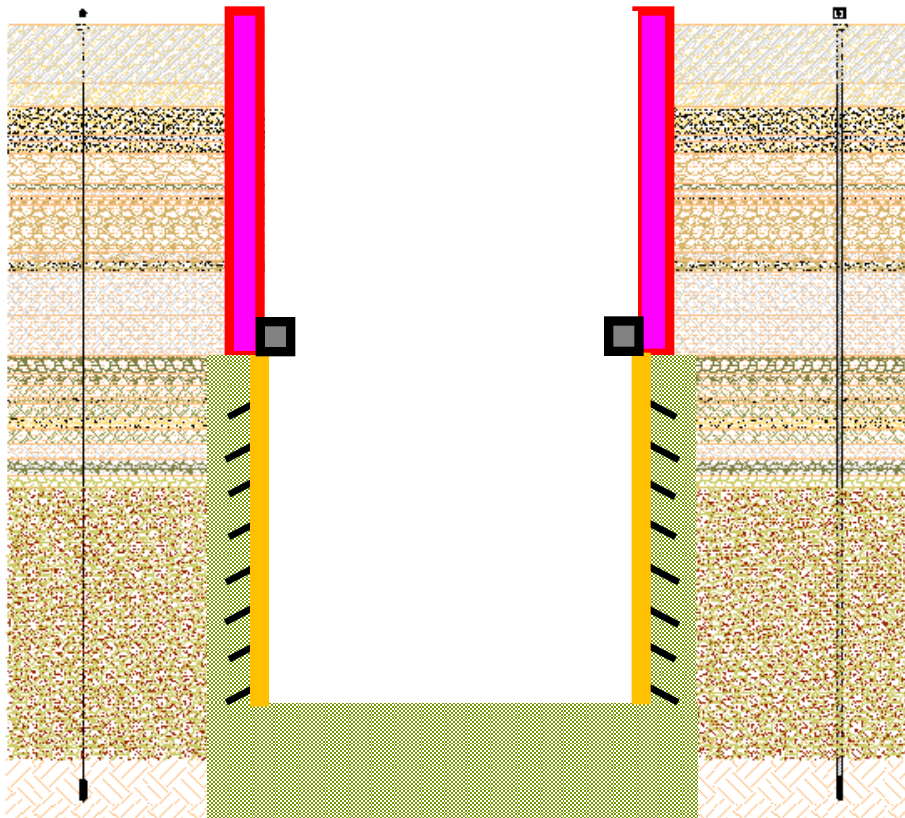


Première étape: à l'abri du soutènement en paroi moulée



STEP – Station de pompage

➔ Phase III - Terrassement



Seconde étape: à l'abri du rideau d'injection

Mise en œuvre du clouage

Clous

Clous forés de 8 m à la descente de l'excavation

STEP – Station de pompage

➔ Phase III - Terrassement



Seconde étape: à l'abri du rideau d'injection

Mise en œuvre du clouage

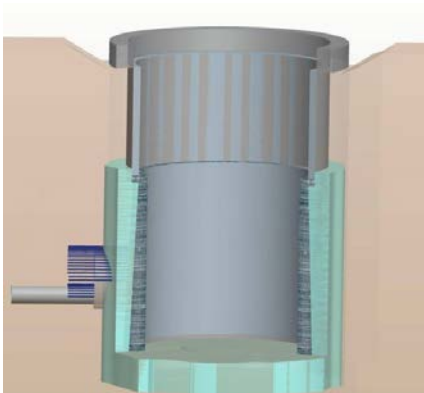


STEP – Station de pompage

➔ Phase III - Terrassement



Pose de clous en fibre de verre et de voûtes parapluies pour le raccordement au collecteur (chambre de 18 m)

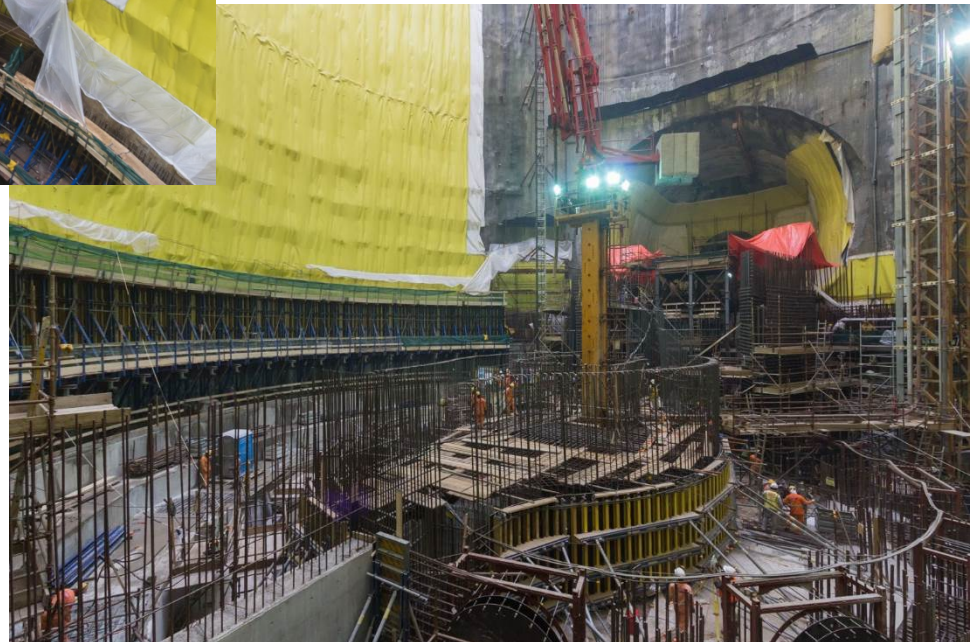


STEP – Station de pompage

➔ Phase III - Terrassement



Pose de clous en fibre de verre et de voûtes parapluies pour le raccordement au collecteur (chambre de 18 m)



STEP – Station de pompage

→ Quantités principales

→ Travaux d'injection

- ❖ 284 forages
- ❖ 120 m de profondeur
- ❖ 30 000 m forés
- ❖ 10 000 m injectés

→ Paroi moulée

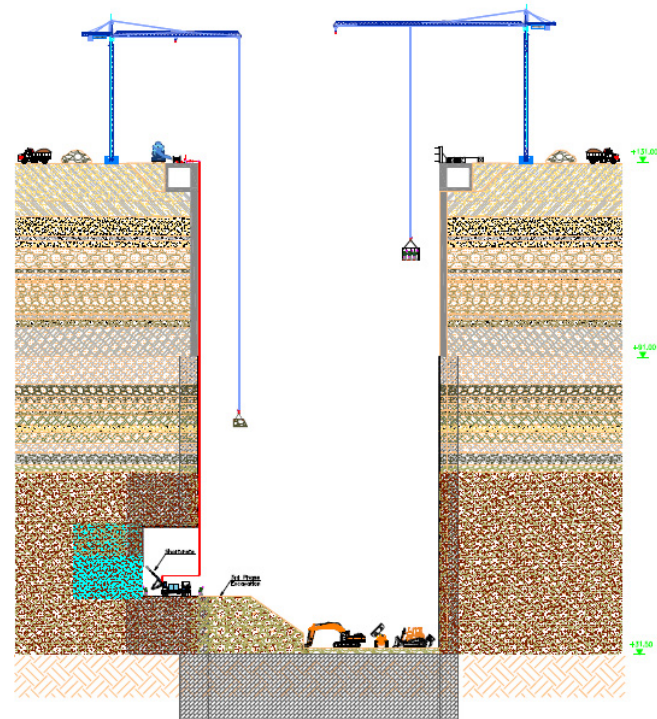
- ❖ 1.20 m d'épaisseur
- ❖ 8,000 m²

→ Clous

- ❖ 1 460 unités – Longueur: 8m
- ❖ 62 tubes de voûte parapluie
- ❖ 47 clous fibre de verre

→ Pieux forés

- ❖ 400 pieux
- ❖ Diamètre: 600 à 1.200 mm



spie batignolles

**Merci de votre
attention**

