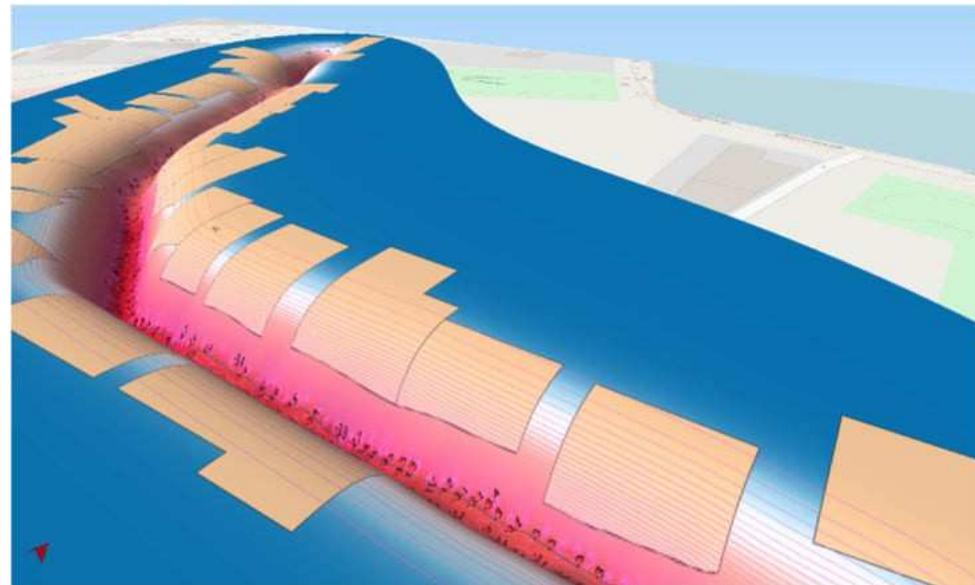


# Services d'ingénierie pour la construction avec sol liquide dans l'eau souterraine



H. Saminov, J. Detjens, O. Stolzenburg, C. Sandhu, T. Grischek

D.A.CH. Conference Liquid Soil, Dresde, 05.-06.09.2019



# Table des matières

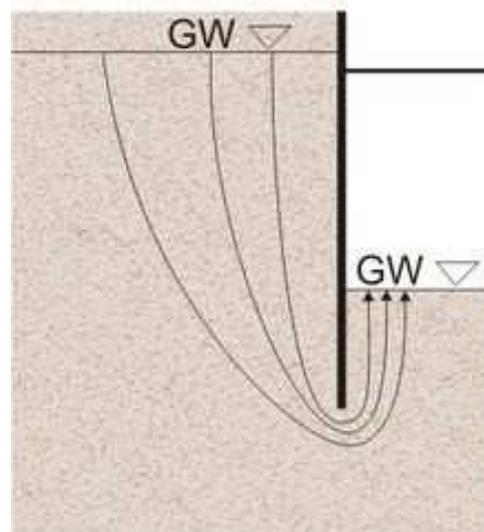


- Introduction
- État de la technologies de construction avec RSS sol liquide dans les eaux souterraines
- Analyse des conséquences techniques et économiques des méthodes de construction conventionnelles avec abaissement de la nappe phréatique
- Exemples pratiques de projets
- Résumé et conclusion

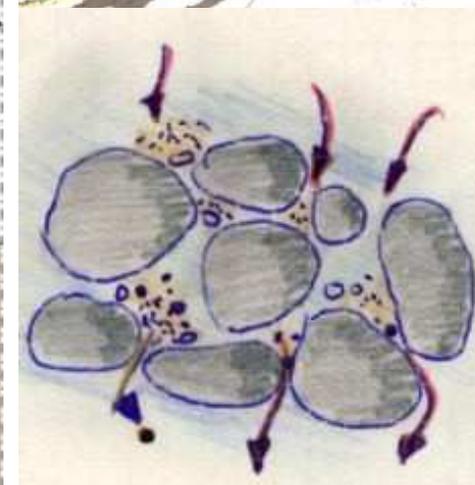
# Introduction - Construction à l'aide d'un sol liquide dans l'eau souterraine

## Problèmes typiques du sous-sol

- Capacité portante
- Compactabilité
- Minéralisation de la tourbe
- Stabilité des tranchées
- Glissements de terrain
- Contaminations
- Flottabilité
- Eaux souterraines captives ou libres
- Suffosion
- Danger d'affaissement

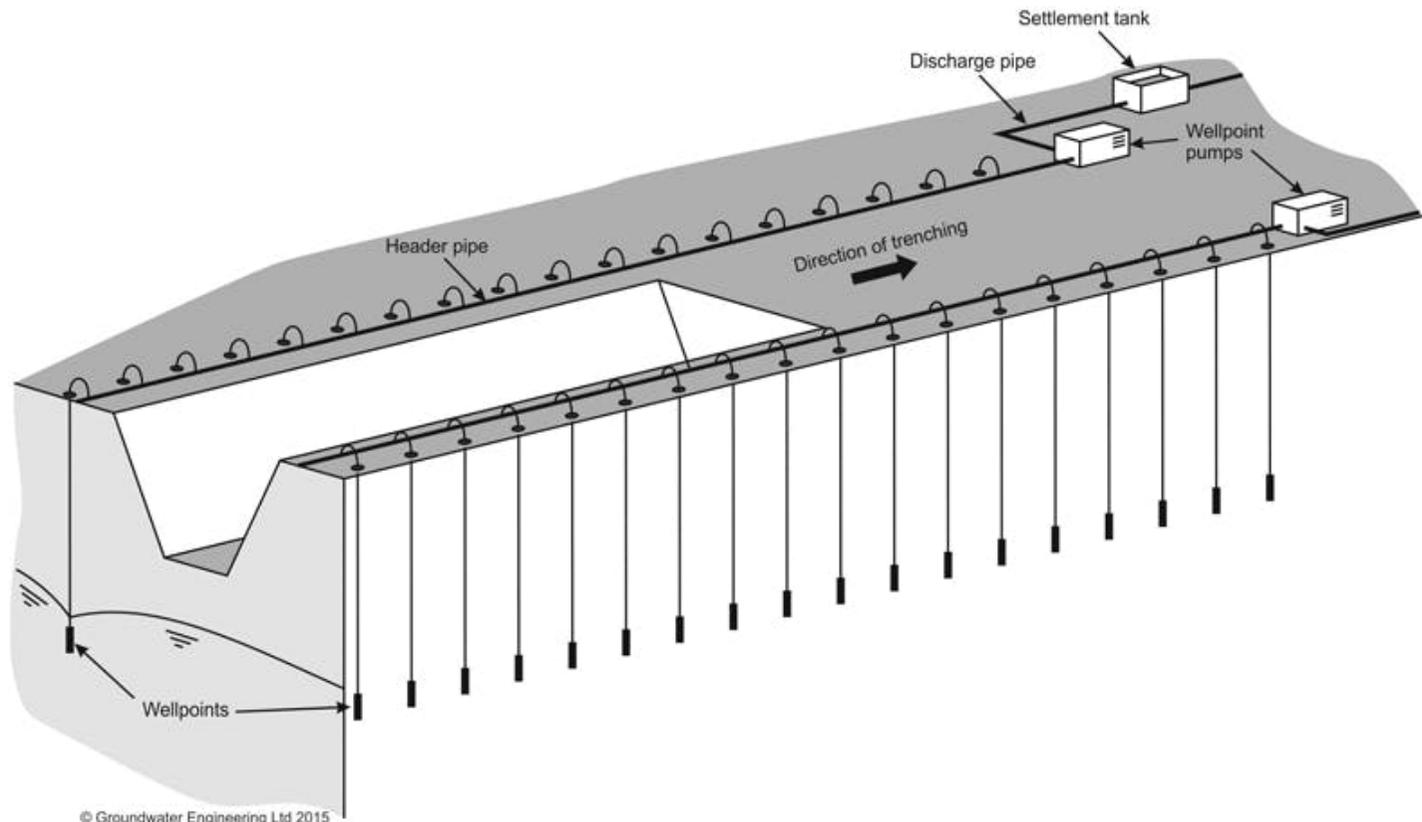


CONSTRUIRE SOUS  
LEAU

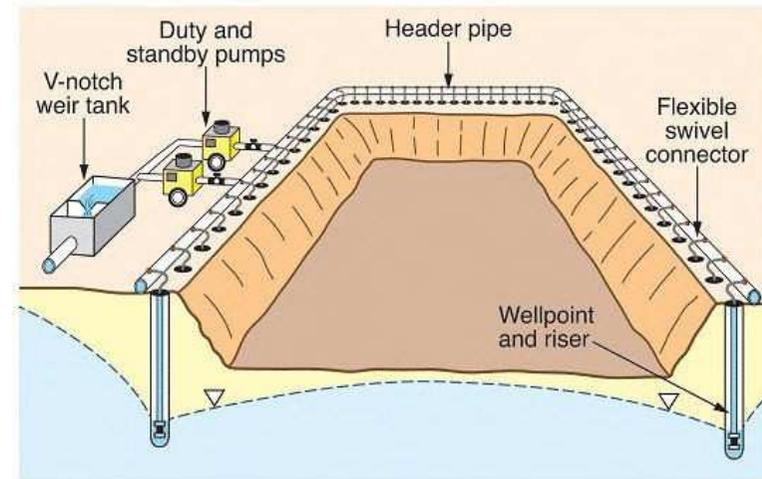


DÜKERBAU

# Méthode de construction conventionnelle avec abaissement de la nappe phréatique



© Groundwater Engineering Ltd 2015



## Etat de l'art - construction avec sol liquide dans ou sous la nappe phréatique

### "Structure flottante"

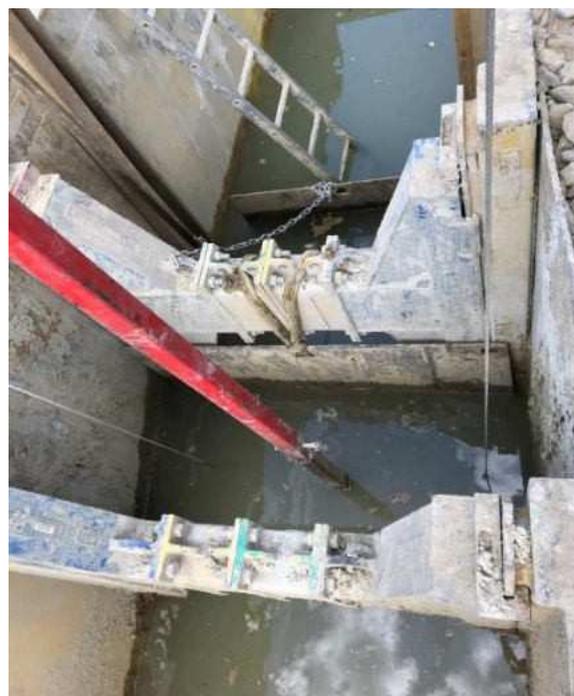


- La nappe n'est pas ou seulement partiellement pompée
- Le tuyau est monté suspendu dans une boucle de câble
- Sécurisé contre la flottabilité au moyen d'un gabarit
- Le sol liquide est mis en place par l'arrière
- Une cloison transversale est utilisée pour les sections courtes.
- Excavation 30 cm plus bas que le fond du tube

# Éviter les problèmes d'eau souterraine et de bris-lames en construisant avec un sol liquide.

## Option 1 - installation flottante dans et sous l'eau

La charge causée par l'eau souterraine restant dans la tranchée est suffisante pour éviter un affaissement.



# Éviter les problèmes d'eau souterraine et de bris-lames en construisant avec un sol liquide.



## Option 2 - Installation flottante avec plaque de base en sol liquide comme charge supplémentaire



- Charge insuffisante des eaux souterraines dans la tranchée
- Une plaque de base en sol liquide dimensionné en conséquence et conformément aux exigences de la formulation est réalisée lors du creusement de la tranchée.



Socle dans la méthode de l'entrepreneur



Excavation avec une plaque en sol liquide



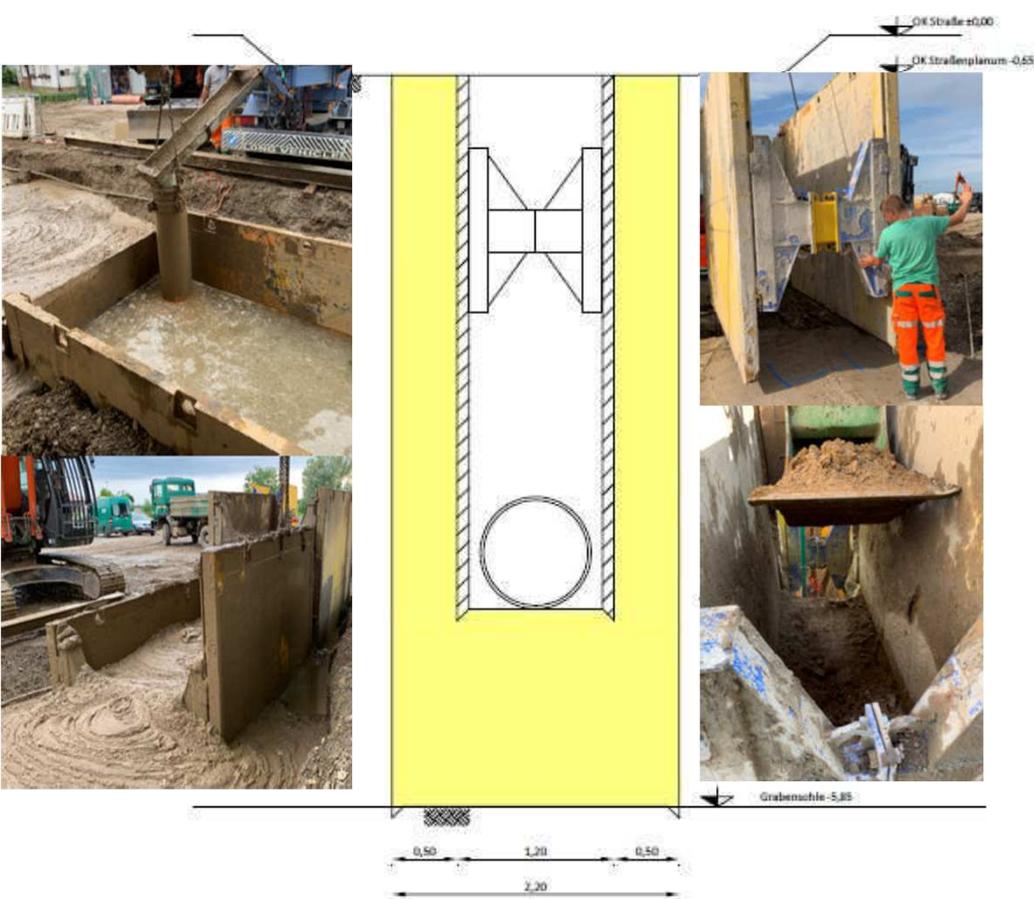
Excavation du mur d'étanchéité



Affaissement car les parois ne sont pas cohésives

# Éviter les problèmes d'eau souterraine et de bris-lames en construisant avec un sol liquide.

## Possibilité 3 - "Construction néerlandaise".



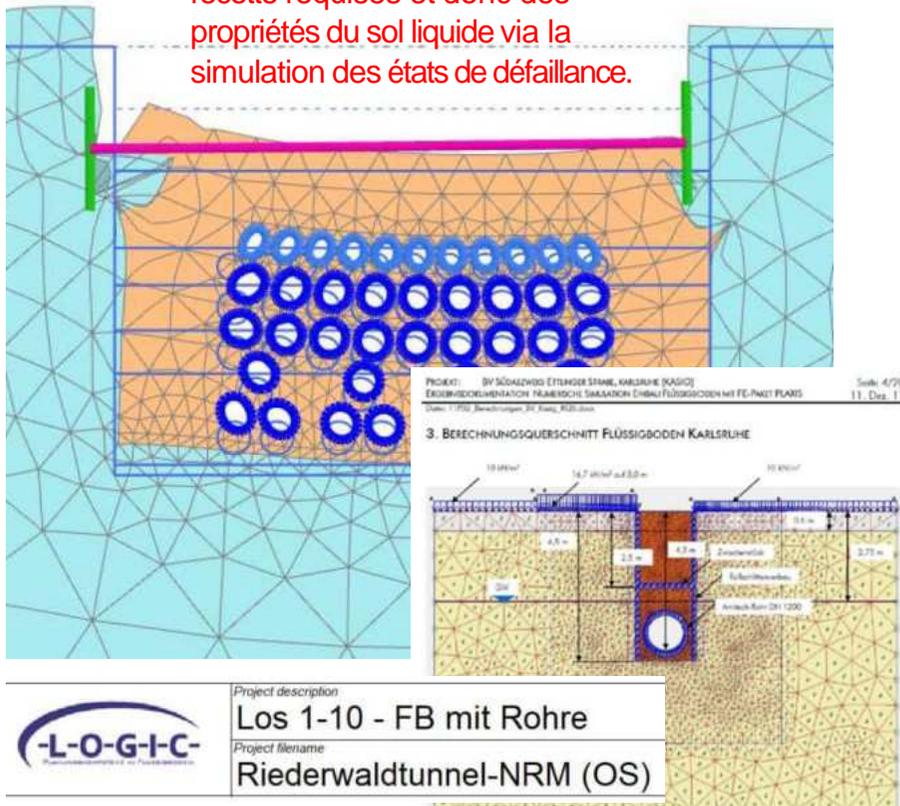
- Les petits diamètres nominaux, les croisements et les hauteurs du niveau de la nappe phréatique rendent les options 1 et 2 non rentables.
- Dimensionnement et réalisation d'une fouille en sol liquide adaptée aux exigences.
- Une fois le sol liquide consolidé, la tranchée est creusée, ce qui permet de travailler au sec.

# Exigences statiques et solutions possibles pour les problèmes de bris de terre



## Modèle de calcul "Faisceau de tubes en conditions limite"

**Nouvelles cibles avec FEM -**  
Détermination des cibles de recette requises et donc des propriétés du sol liquide via la simulation des états de défaillance.



Nos débuts avec des partenaires

Les informations sur le sous-sol et les modèles servant de base à un développement correct de la recette :

- Modélisation du sous-sol
- Utilisation d'un sol liquide avec des valeurs cibles supposées dans le modèle
- Charge dans les conditions d'utilisation
- Observation du comportement du système tube-fond liquide
- Correction des valeurs de sol liquide si nécessaire
- Dérivation des paramètres cibles du sol liquide requis
- Elaboration de recettes
- Vérification de la recette sur la base de tests pour la conformité de la valeur cible
- Validation de la recette en cas de succès et prise en charge de la responsabilité par le fabricant de la recette

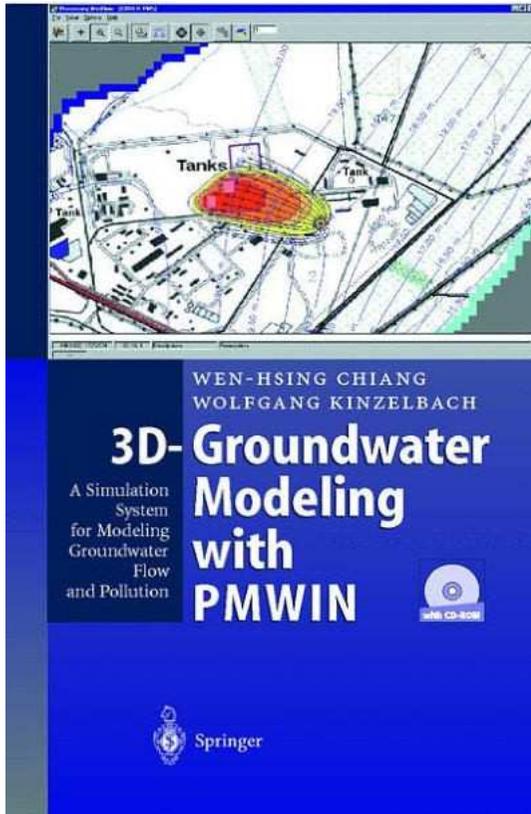
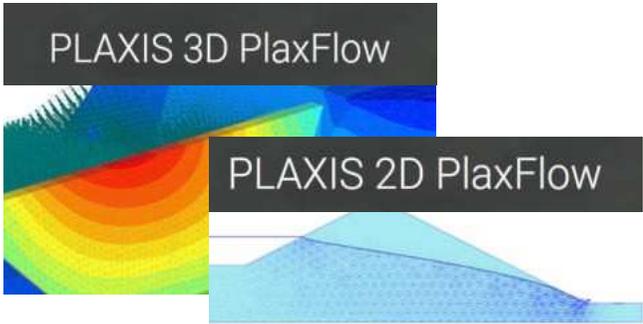
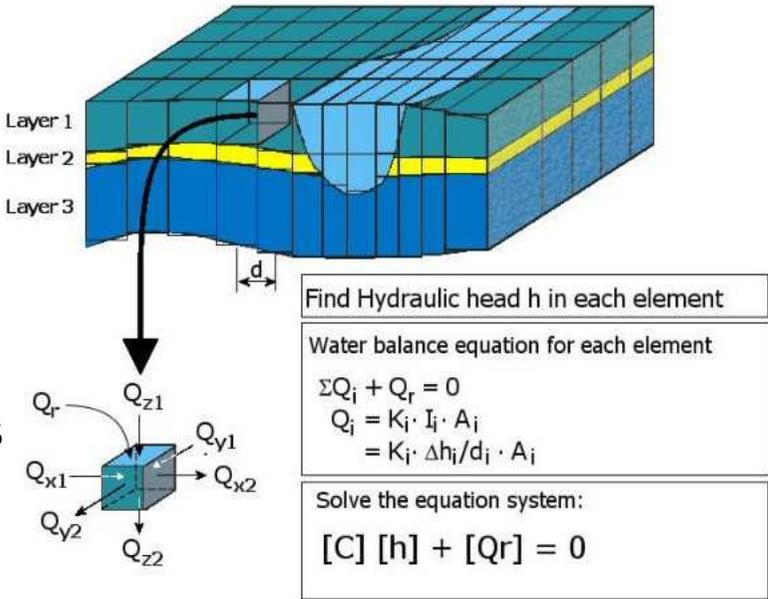
Application de la modélisation des flux d'eaux souterraines

- Le modèle montre le parcours sur toute sa longueur et recherche des zones d'écoulements naturels (zones plus perméables à l'eau).
- Simulation et évaluation de l'influence du sol liquide RSS® intégré sur la hauteur du niveau de la nappe phréatique sur l'ensemble du parcours.
- Détermination de solutions constructives nécessaires pour éviter les hauteurs critiques, pour éviter la défaillance de la structure et pour déterminer les solutions techniques requises pour les conditions aux limites, par exemple des ponceaux artificiels ou favoriser les écoulements.

Base d'une planification spécialisée et de solutions techniques en cas de flux excessif

# Méthodologie

- Modélisation de l'écoulement des eaux souterraines avec PMWIN
- Outil 3D, différence finie
- Simulations en fonction du temps ("transitoires")
- Saisie de données provenant d'essais sur le sous-sol
- Utilisation de logiciels supplémentaires en fonction de la tâche et de la situation possible par ex. Plaxis



## Simulation de l'abaissement de la nappe à l'aide de l'exemple du projet à Eutin - Rosengarten

Problèmes d'abaissement du niveau de la nappe phréatique sur le chantier de construction :

- Niveau élevé de la nappe phréatique : 0,6 m sous le niveau du sol
- Le chantier se trouve à 120 m du Grand lac Eutin.
- Différence élevée du niveau de la nappe sur les bords du chantier : 1,5 m de dénivellation
- La hauteur d'abaissement nécessaire est d'environ 2 m sous le niveau de l'eau du Grand lac Eutin.



# Simulation de l'abaissement de la nappe à l'aide de l'exemple du projet à Eutin - Rosengarten

Dimensions de la tranchée du canal :

Longueur: 330 m

Largeur: 1,3 – 4 m

Profondeur: 4 – 5 m

Débit de pompage : 54 m<sup>3</sup>/h

Durée : 2 jours

Eau souterraine à pomper :

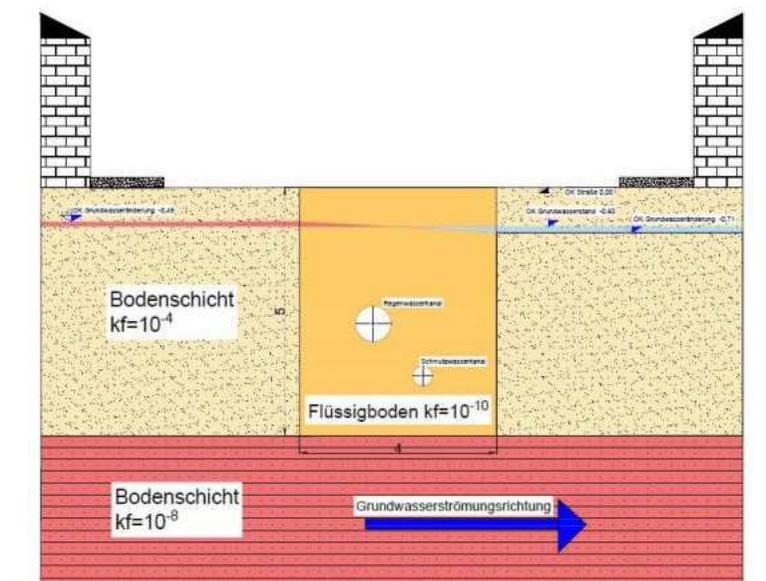
2595 m<sup>3</sup>



## Solution recommandée

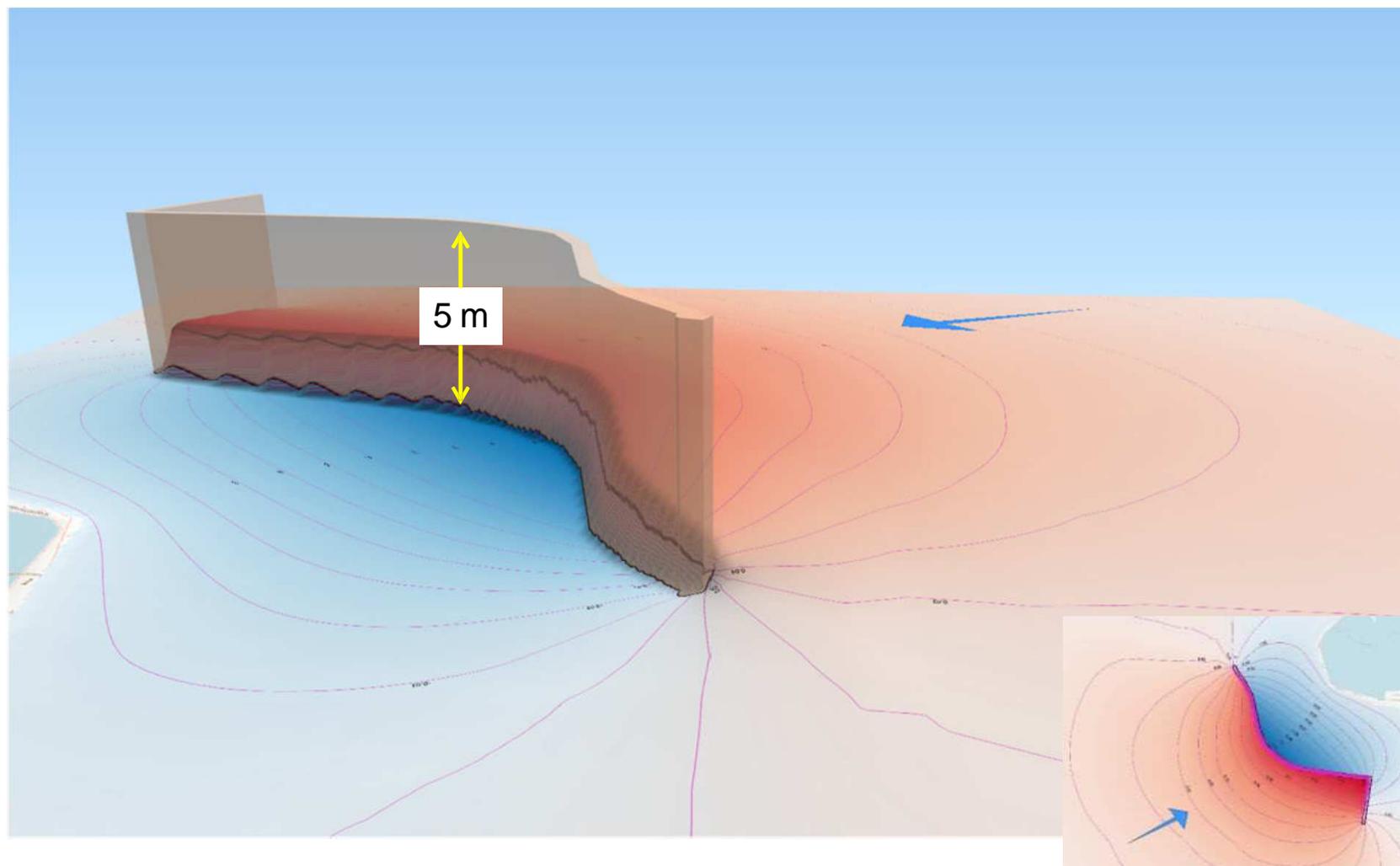
- La méthode de construction conventionnelle avec abaissement de la nappe phréatique devrait être évitée dans ce projet, afin d'éviter des coûts et des dangers accrus pour le développement à venir.
- Solution alternative : Méthode de construction avec installation flottante dans un revêtement de sol liquide RSS®
- Grâce à cela:
  - Elimination des temps d'attente jusqu'à ce que la profondeur d'abaissement requise de 0,5 m sous le fond de la tranchée soit atteinte.
  - Eviter la suffosion due à l'eau souterraine à pomper.
  - Elimination des coûts de pompage (stockage, énergie, installation et démontage)
  - Elimination des charges de déversement pour les eaux souterraines à déverser
  - Pas de nettoyage ou d'évacuation des eaux souterraines à pomper en cas de contamination des eaux souterraines.

## Tailles de modèles pertinentes

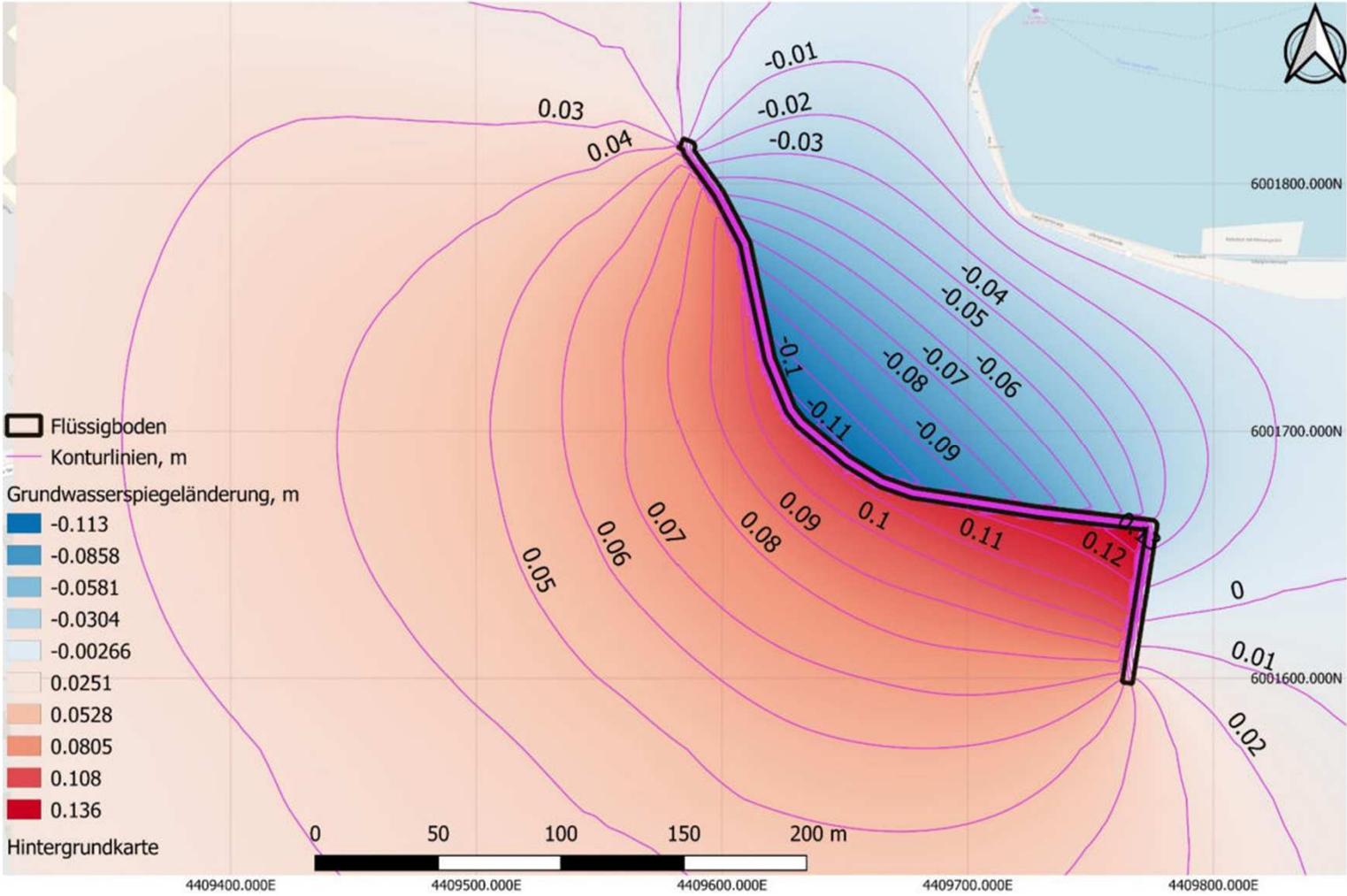


- Modélisation des couches de sol et de leur perméabilité sur toute la longueur du parcours et présentation des différences pertinentes de perméabilité à l'eau du sous-sol
- Intégration dans le modèle d'un remplissage de la zone du canal avec un fond liquide RSS® et de la valeur Kf associée selon la recette.
- Prise en compte du sens d'écoulement de l'eau souterraine par rapport à l'emplacement du canal dans le modèle
- Intégration dans le modèle de la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine déterminée dans la subsurface
- Prise en compte de la quantité de précipitations, en particulier pendant la saison des pluies, et des écoulements qui en résultent.
- Prise en compte de la géométrie de tranchée requise et planifiée

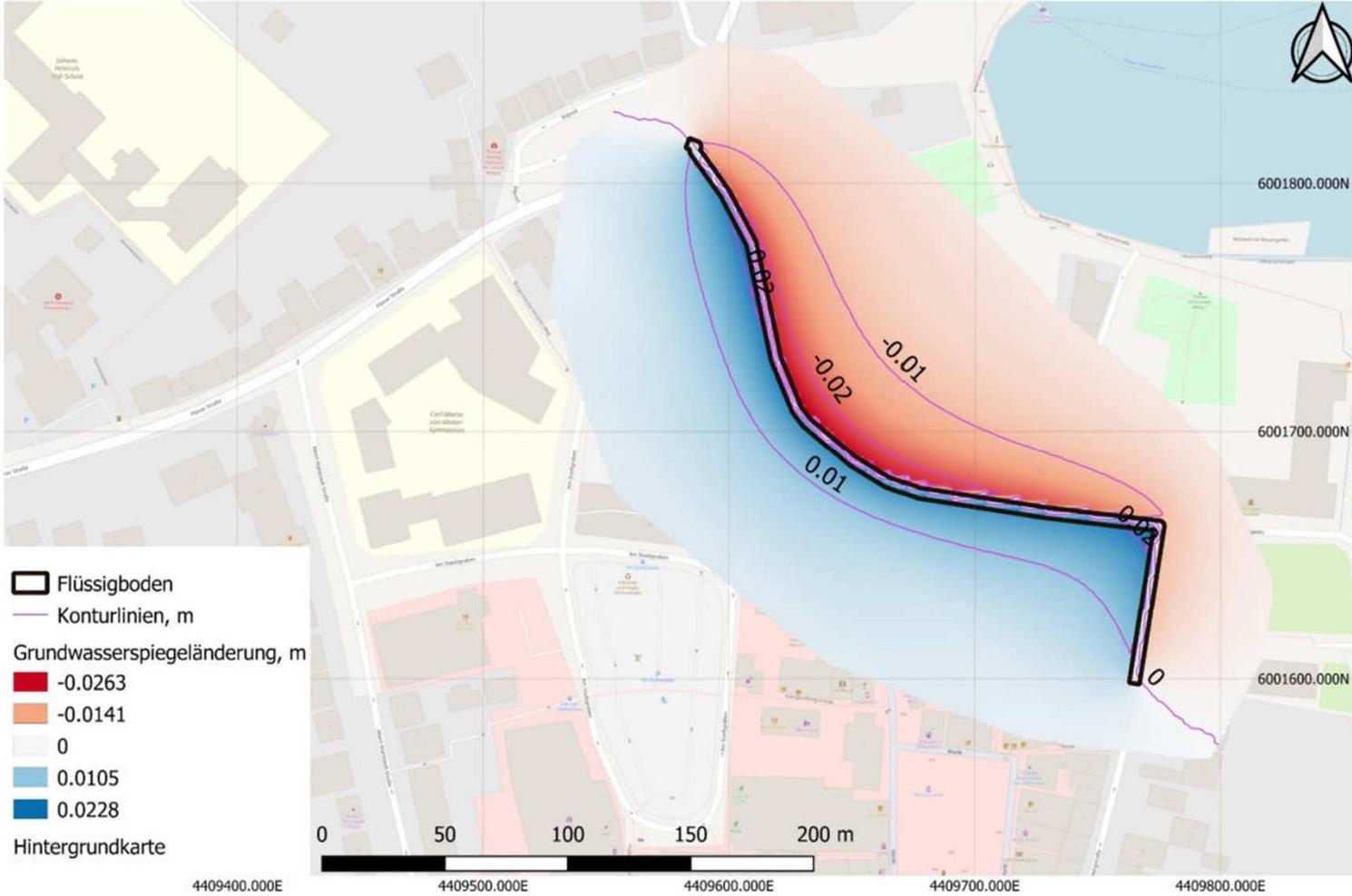
## Représentation 3D du modèle



# Modèle de calcul – cas pessimiste



# Calcul du modèle – cas optimiste

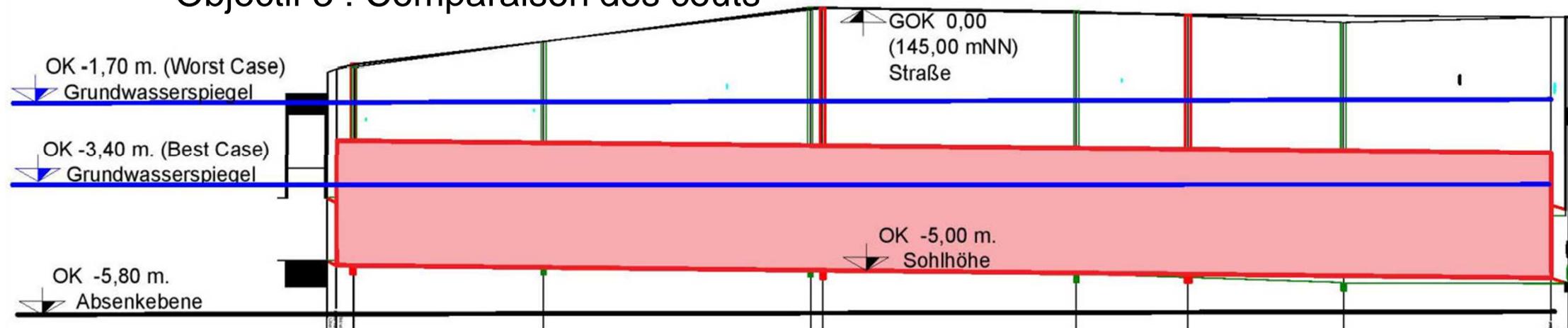


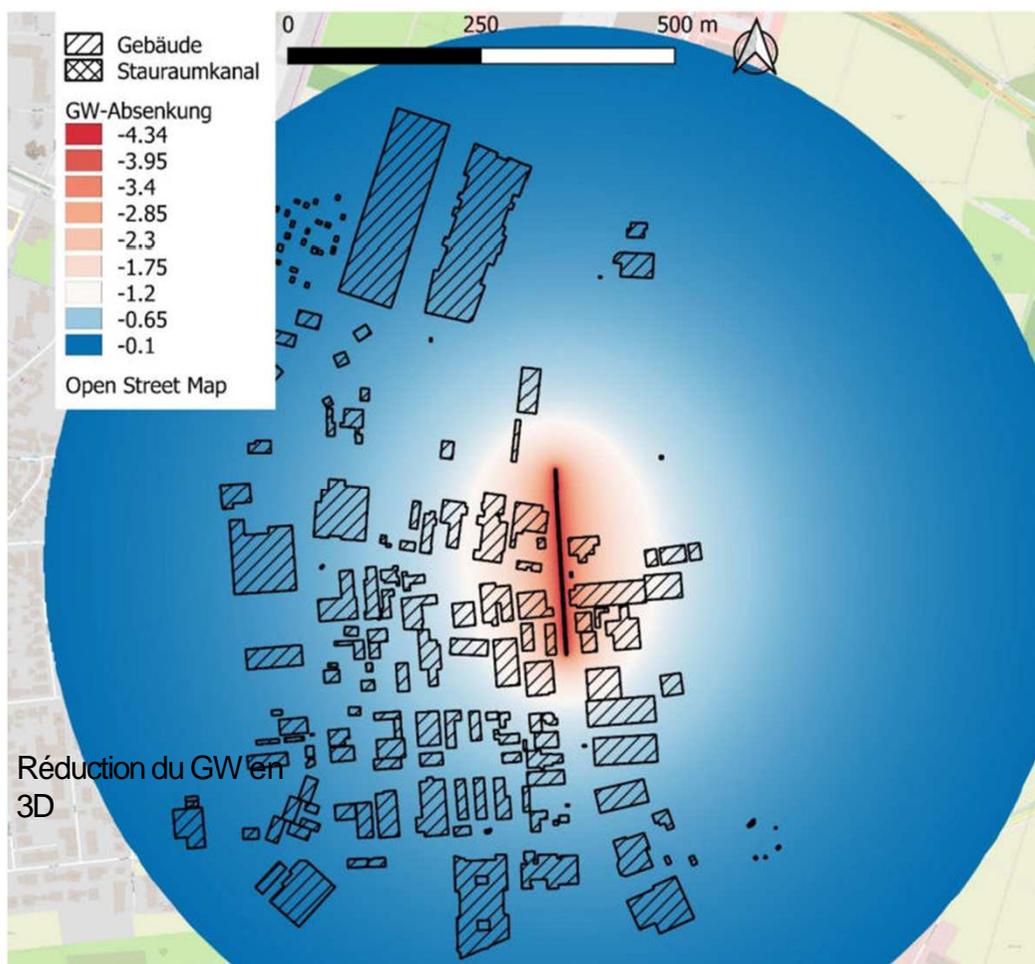
- L'eau souterraine est présente à une profondeur d'environ 2,21 m à 3,91 m et au niveau du sol.
- Pour les travaux de construction, il est recommandé d'ajouter une marge de sécurité d'au moins 0,5 m
- Compte tenu de la marge de sécurité de 0,5 m, les niveaux d'eaux souterraines sont considérés à 1,7 m pour le pire des cas et à 3,4 m pour le meilleur cas.

Objectif 1 : Identifier et planifier les besoins technologiques

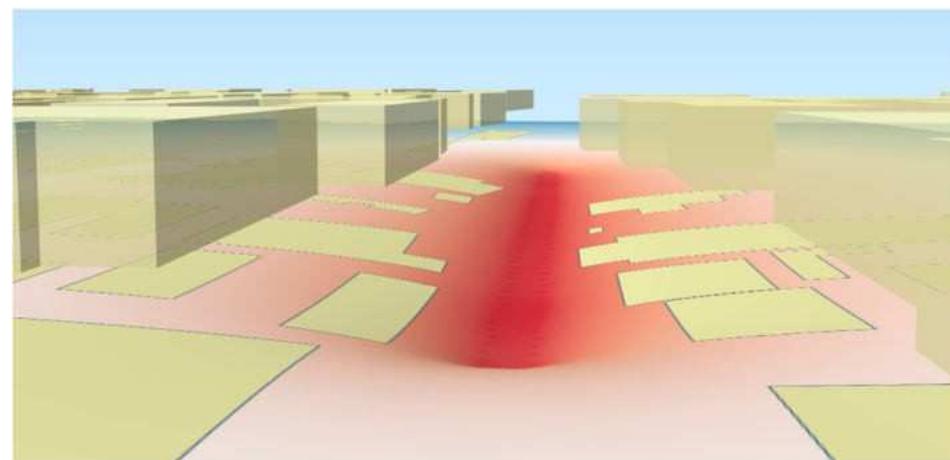
Objectif 2 : Éviter les obstacles liés aux eaux souterraines

Objectif 3 : Comparaison des coûts

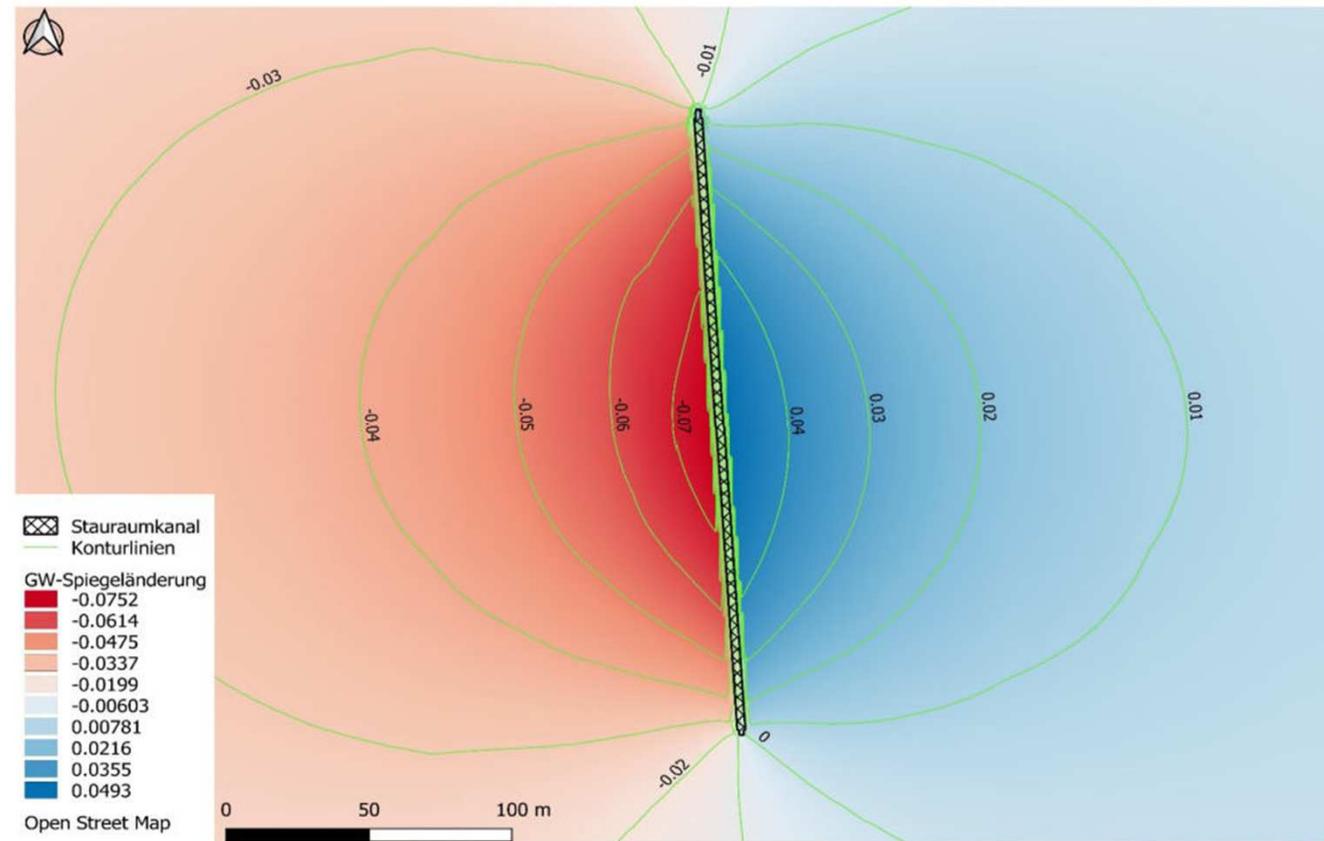




Dimensions de la tranchée du canal:  
 Longueur: 241 m  
 Largeur: 3,15 m  
 Profondeur: 5,3 m  
 Débit de pompage: 300 m<sup>3</sup>/h  
 kf Valeur du terrain :  $2,4 \cdot 10^{-4}$  m/s  
 Durée : 8 jours  
 Eau souterraine à pomper : 57093 m<sup>3</sup>



La technologie d'installation flottante dans le sol liquide RSS® évite les problèmes de tassement et de stabilité, mais a un effet sur la nappe phréatique - Etude de l'influence de cette méthode de construction sur la nappe après la construction de canalisations avec le sol liquide



# Comparaison des coûts pour la réduction du GW en version conventionnelle et sol liquide selon RAL GZ 507

N°.	Méthode sol liquide	Coûts	Abaissement de la nappe	Coûts
1	-	0 €	Réalisation de puits à 940 m	env. 600 €/pièce
2	-	0 €	Nombre de puits de part et d'autre de la route à une distance d'environ 4 m (dans le meilleur des cas)	600 € x 338 = 202.800 €
3	-	0 €	Coûts d'entretien des puits env. 5 jours par 338 pièces et env. 25 €/j de frais d'exploitation.	env. € x pcs = 42.250 €
4	-	0 €	Débit total	26.800 m <sup>3</sup>
5	-	0 €	Total des frais de déchargement à 1,5 €/m <sup>3</sup> .	environ 40.200 T€
6	-	0 €	Déshydratation par mètre de canal (abaissement et maintien)	303,46 €/lfm
7	Coûts de construction par mètre de canal Rendement journalier 6 m en moyenne (min.)	780,- €/lfm	Coûts de construction par mètre de canal (sans drainage) Rendement journalier 3 m en moyenne (max.)	960,- €/lfm
8	Risques et coûts indirects	aucun	Risque de dommages aux routes, aux bâtiments, etc.	À estimer
9	Coût total par mètre de canal	780,- €/lfm	Coût total par mètre de canal	1.263,- €/lfm



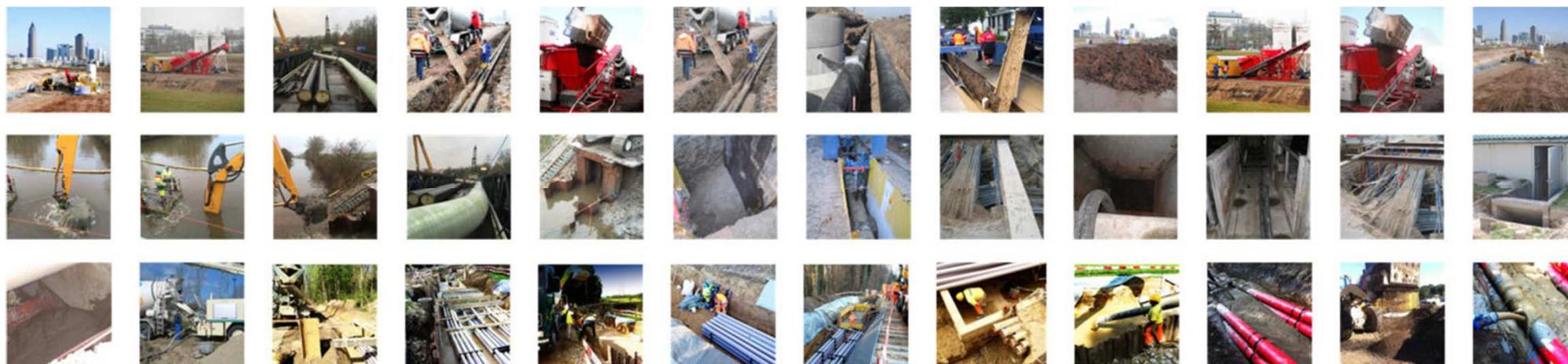
## Avantages d'un modèle d'écoulement d'eau souterraine dans l'application de RSS® sol liquide

- Sécurité contre les tassements et l'endommagement des routes
- Sécurité contre la suffosion et les dommages consécutifs
- Sécurité pour les bâtiments sensibles
- Sécurité contre les dommages aux réseaux souterrains existants
- La détection précoce des situations problématiques permet de prendre des décisions claires sans les tâtonnements habituels et de rechercher la méthode appropriée pour les éviter.
- Éviter des défauts (niveau d'eau et accumulation trop élevés)
- Construction rapide et respectueuse du voisinage

## Résumé

**L'utilisation de la modélisation de l'écoulement des eaux souterraines dans la planification technique de l'utilisation des sols liquides est recommandée pour les raisons suivantes :**

- **Planification préliminaires et déclarations fiables** sur le choix correct des solutions requises  
→ continuation possible dans la suite de la planification
- **Etude de faisabilité** sous la forme d'une comparaison technique et économique entre la méthode conventionnelle et la solution alternative de sol liquide.
- **Évaluation de la méthode conventionnelle** (installation d'un système de pompage) et d'une solution alternative (application sur sol liquide adaptée)
- **Optimisation de l'effet de stabilisation thermique des sols liquides** avec une dissipation maximale de la chaleur même dans des sols apparemment peu conducteurs de chaleur



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION.**