



1  
© CÉDRIC HELSLY

# EOLE - MISE HORS D'EAU DE L'OUVRAGE FRIEDLAND, UN PUIS SANS FOND

AUTEURS : KATALIN KRAJNYÁK, CHEF DE PROJET, BUREAU D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE -  
PIERRE DE LAVERNÉE, INGÉNIEUR PRINCIPAL, BUREAU D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE -  
TONY PEREIRA, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE

**SUR LES NOUVELLES LIGNES DE MÉTRO/RER LA RÉGLEMENTATION IMPOSE LA RÉALISATION DE PUIS DE SECOURS ET/OU DE VENTILATION ESPACÉS DE 800 m MAXIMUM. LE PUIS FRIEDLAND, SUR L'EXTENSION DE LA LIGNE EOLE RELIANT SAINT-LAZARE À NANTERRE-LA-FOLIE, EST L'UN D'ENTRE EUX. IL EST INTÉGRÉ À UN MARCHÉ DE RÉALISATION DE 5 PUIS DE SECOURS CONFÉ À UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES, SOUS LA MAÎTRISE D'ŒUVRE DE SETEC TPI/EGIS RAIL. SOLETANCHE BACHY A PROPOSÉ UNE OPTIMISATION DU PUIS FRIEDLAND CONSISTANT À SUPPRIMER LE FOND ÉTANCHE EN JET GROUTING PRÉVU EN SOLUTION DE BASE. TOUT L'ENJEU A ÉTÉ DE METTRE AU POINT UN DISPOSITIF DE POMPAGE PERMETTANT DE VÉRIFIER LA FAISABILITÉ D'UN RABATTEMENT DANS LES SABLES DE CUISE, SOUS UN DÉBIT RÉDUIT ADMISSIBLE VIS-À-VIS DE LA LOI SUR L'EAU.**

## LE PROJET

### SITUATION

Implanté dans le terre-plein à l'angle de l'avenue de Friedland et de la rue Berryer à Paris 8<sup>e</sup>, le puits Friedland est un ouvrage de forme rectangulaire à la surface limitée (l'emprise intérieure est de 7,45 m x 24,23 m), dont le mur périphérique est réalisé en paroi mou-

**1- Vue du chantier sur l'avenue de Friedland.**

**1- View of the project on Avenue de Friedland.**

lée d'épaisseur 1 m et de près de 60 m de profondeur (figure 2).

Bien que l'objet de l'article ne soit pas la réalisation de la paroi moulée du puits, on trouvera (figures 1 & 3 à 5) quelques vues des ateliers de fondation qui ont travaillé pendant plusieurs mois au milieu de l'avenue de Friedland. Les structures avoisinantes sont, côté

Nord, des immeubles haussmanniens situés à 8 m du puits ; côté Sud, le tunnel du RER A qui longe le puits à une distance d'environ 5 m.

Par ailleurs, le tracé du tunnel du RER E - plus profond que le tunnel du RER A - passe sous les immeubles côté Nord, de sorte que le puits se retrouvera entre les deux tunnels à l'état final (figure 6). ▷

2- Plan de situation.

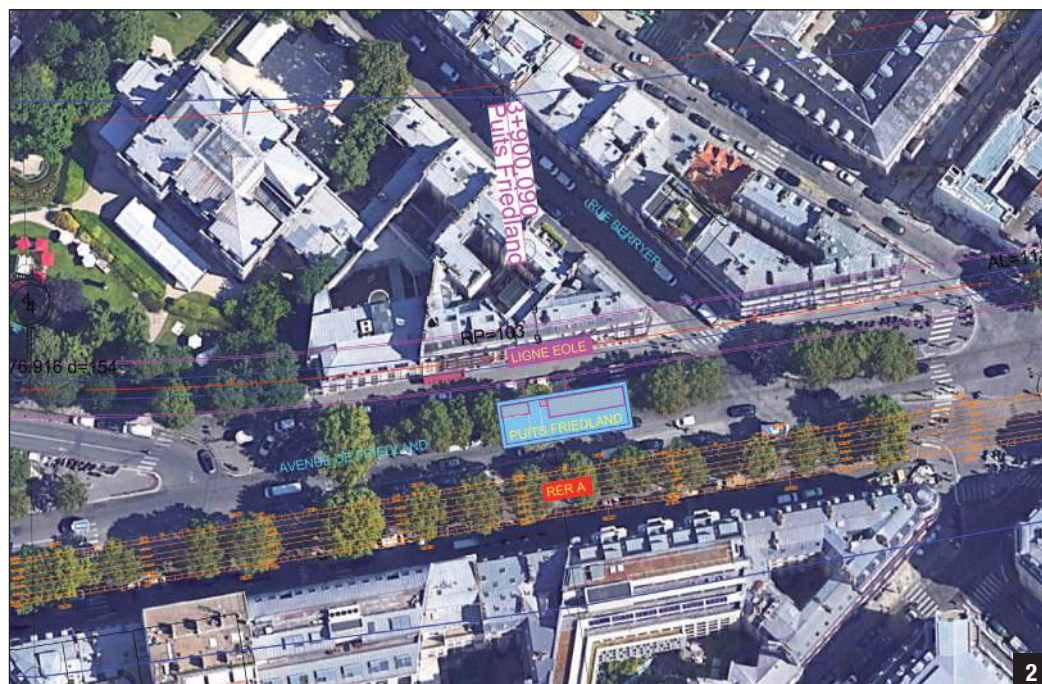
3- Ateliers d'excavation des parois moulées (benne hydraulique et Hydrofraise).

2- Location drawing.

3- Equipment for excavation of the diaphragm walls (hydraulic bucket and Hydrofraise).

### CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Traversant les formations classiques du bassin parisien (successivement des Sables de Beauchamps, des Marnes et Caillasses et du Calcaire Grossier), la paroi moulée est fichée dans les Sables Supérieurs et Sables de Cuise (SS/SC). Avant de décrire la structure elle-même, un point d'arrêt s'impose concernant l'analyse des perméabilités des SS/SC et l'hydrogéologie du site.



© SOLETANCHE BACHY 2

### Analyse des perméabilités des SS/SC

Cette analyse est le point clé du dimensionnement du puits Friedland, qui détermine la solution mise en œuvre vis-à-vis de la mise hors d'eau de la

fouille et de la stabilité du fond de fouille en phases de terrassement. Cette étude est, bien sûr, couplée avec un essai de pompage réalisé à la fin des travaux de la paroi moulée, mais avant le début des terrassements de la fouille.

La perméabilité horizontale des Sables de Cuise est assez bien documentée. Une étude hydrogéologique menée dans le cadre des travaux de rabattement de l'entonnement HSL (Haussmann - Saint-Lazare) conclut à une



© CÉDRIC HELSY 3



4- Centrale de traitement et de stockage des boues.  
5- Hydrofraise.

4- Sludge treatment and storage plant.  
5- Hydrofraise.

La continuité horizontale de ces passées n'est pas connue précisément, mais le fait d'ancrer la paroi à -14 NGF, traversant notamment un horizon plus argileux entre -10 et -13 NGF, donne une certaine sécurité statistique vis-à-vis de l'effet d'anisotropie (figure 7). Compte tenu de ces éléments, l'estimation des débits nécessaires à la mise hors d'eau de la fouille a été faite sur la base du jeu de paramètres suivants :  $k_h = 2 \times 10^{-4}$  m/s et  $k_v = 2 \times 10^{-5}$  m/s (soit une anisotropie  $k_h/k_v = 10$ ).

La suppression du fond étanche représentant un risque important, une étude paramétrique a été menée en prenant en compte une anisotropie  $k_h/k_v = 5$  (avec  $k_v = 4 \times 10^{-5}$  m/s). ▷

valeur de  $2 \times 10^{-4}$  m/s. Par ailleurs, l'analyse granulométrique des prélèvements effectués sur des fractions sableuses permet d'estimer, à l'aide de la formule de Hazen, une perméabilité horizontale variable de  $6 \times 10^{-5}$  m/s à  $1 \times 10^{-4}$  m/s.

Il convient de noter que ces analyses granulométriques ne concernent pas les lentilles les plus silteuses, voire argileuses, qui existent en proportion significative à l'intérieur de l'horizon des Sables de Cuise.

Sur la hauteur de la fiche de la paroi, le sondage carotté le plus proche laisse apparaître, à intervalles réguliers, des passées au caractère argileux, conférant à la perméabilité une anisotropie certaine.



L'objectif est que le débit de pompage ne dépasse pas, suivant cette hypothèse plutôt sécuritaire, la limite de 60 m<sup>3</sup>/h, calculée en fonction du planning du chantier, afin de respecter les volumes d'extraction et de rejet admis dans le cadre de la loi sur l'eau.

#### Niveau d'eau

Lié étroitement à la problématique de mise hors d'eau de la fouille et à la stabilité du fond de fouille, le suivi des niveaux d'eau a débuté bien avant le commencement des travaux de la paroi moulée en février 2019 et a continué pendant un an jusqu'en février 2020.

Pour cela, deux piézomètres sélectifs ont été forés et équipés en-dehors de l'emprise du puits, étant prévu qu'ils puissent être utilisés aussi pendant l'essai de pompage réalisé après avoir fini les travaux d'exécution de la paroi moulée.

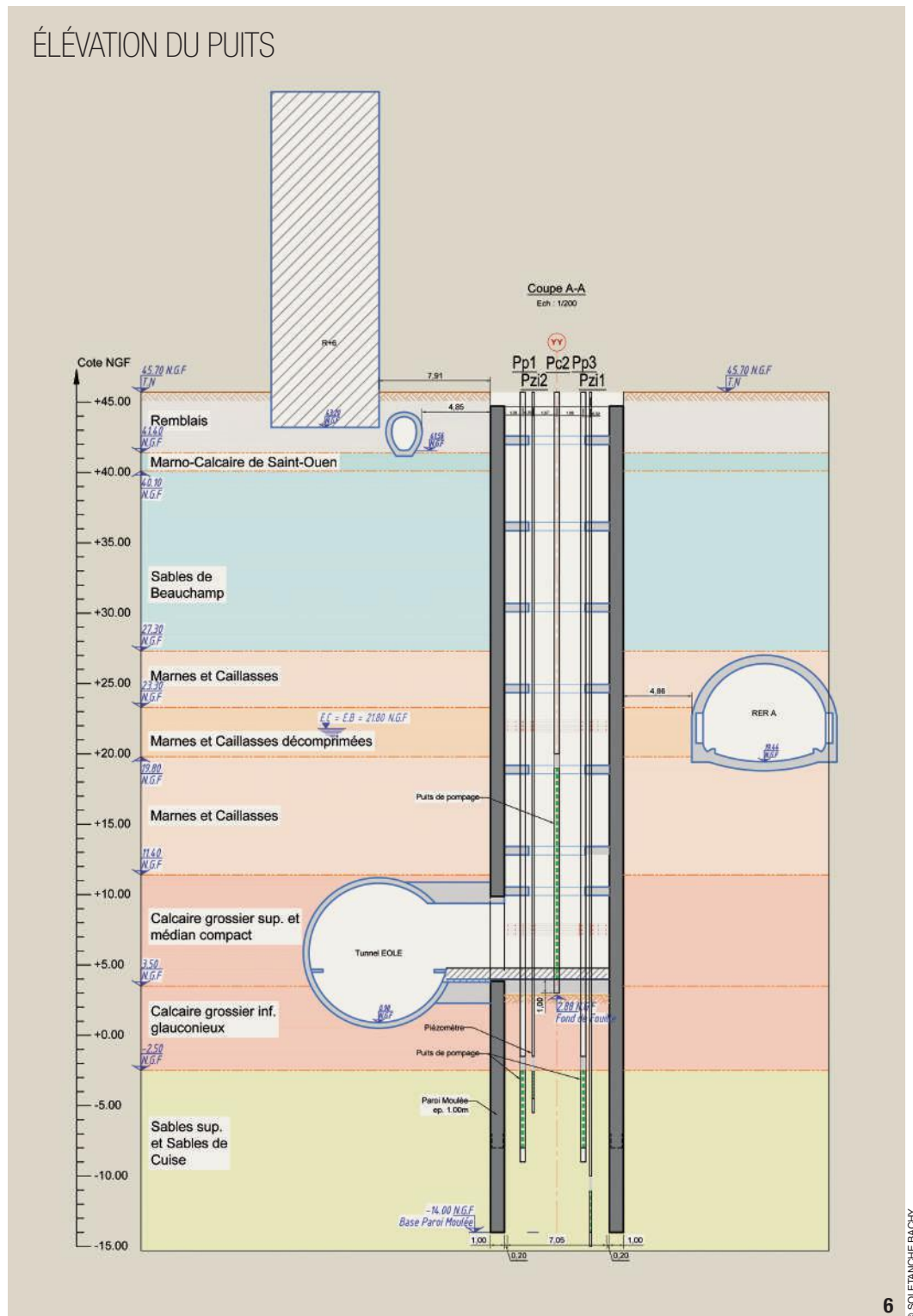
La base des Calcaires Grossiers (CG), glauconieuse, étant réputée peu perméable, il est possible que la nappe de l'Yprésien (dans les SS/SC) soit déconnectée de la nappe du Lutécien (dans les CG). Les deux piézomètres permettent donc de suivre l'évolution des deux nappes en parallèle.

#### STRUCTURE ET MODE CONSTRUCTIF

Constitué d'une paroi moulée périmétrique d'un mètre d'épaisseur en appui sur des dalles espacées tous les 5,7 m environ, le puits Friedland permet de relier le niveau du tunnel de la ligne E du RER (le niveau fini du radier est à environ 4 NGF) à la surface située vers 46 NGF.

Le rameau de forme ovoïdale constitue la liaison entre le puits et le tunnel. Par rapport à la solution de base, le mode constructif a fait l'objet d'adaptations proposées par Soletanche Bachy France :

→ Terrassement en taupe (plutôt qu'à ciel ouvert) pour diminuer l'impact de la réalisation du puits sur les ouvrages existants. Les dalles définitives sont donc coulées en descendant, en ménageant une ouverture provisoire de 7 mx4 m au milieu de chaque plancher, afin de faciliter l'évacuation des déblais et autoriser l'accès du matériel. Entre le radier et la dalle N-5, un niveau d'étaie (constitué de liernes métalliques le long de la paroi moulée et de butons traversants/butons d'angle) complète les appuis de la paroi moulée en phase provisoire.



→ Mise en place d'un lit d'appui provisoire et précontraint à 22 NGF constitué également d'une lierne métallique continue le long de la paroi moulée et de butons traversants/butons d'angle au niveau de la frange décomprimée des Marnes et Caillasses. Les calculs de soutènement ont montré que, moyennant le phasage en taupe et l'adjonction de ce niveau d'appui, le traitement

#### 6- Élévation du puits.

#### 6- Elevation view of the shaft.

des marnes décomprimées par jet grouting pour améliorer leur butée pouvait être supprimé tout en respectant les seuils de déformation admissibles.

→ Maîtrise de la mise hors d'eau de la fouille et de la stabilité du fond de fouille en phases travaux sans fond étanche, mais par un contrôle rigoureux du débit de pompage et des charges hydrauliques dans les Sables de Cuise, compatibles avec la stabilité aux sous-pressions de la dalle de Calcaire Grossier dans laquelle se développe le fond de fouille. Cette proposition constitue la

# SONDAGE CAROTTÉ DES SABLES SUPÉRIEURS / SABLES DE CUISE

continuité directe de notre analyse des perméabilités et des niveaux d'eau décrite ci-dessus ; les détails techniques de sa mise en œuvre sont présentés ci-après.

## DISPOSITIF DE POMPAGE / MISE HORS D'EAU DE LA FOUILLE

Supprimer le fond étanche et profiter de l'anisotropie de perméabilité des SS/SC pour justifier la mise hors d'eau de la fouille est une solution audacieuse, mais dont le risque est néanmoins parfaitement maîtrisable. Dans les faits, plusieurs scénarios de rabattement ont été envisagés, l'essai de pompage étant là pour rendre compte du comportement hydraulique réel du massif. Dans le pire scénario, il était encore possible de réaliser le fond étanche avant de démarrer les terrassements (mais avec un impact très négatif sur le planning).

## Modélisation des écoulements - dimensionnement des puits

Les écoulements de contournement de l'enceinte en paroi moulée ont été

### 7- Sondage carotté des Sables Supérieurs / Sables de Cuisine.

### 8- Plan d'implantation des puits et piézomètres.

### 7- Core drilling of the Upper Sands / Cuisine Sands.

### 8- Layout drawing of water wells and piezometers.

Cote NGF (m)	Profondeur (m)	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE NATURE DU TERRAIN
-3.47	48.65	Sables moyens gris-brun, lâches à compacts, A+, à fragments coquilliers blancs millimétriques épars et à rares <b>lentilles argileuses vertes</b> centrimétriques
-4.67	49.85	Sables moyens <b>argileux</b> gris-foncé, compacts à grésifiés, A+, à lentilles sableuses gris-clair pluricentimétriques (Dmax = 6 cm) éparses, se débitant en éléments pluricentimétriques à pluridécimétriques (Emax = 23 cm)
-5.47	50.65	Sables moyens <b>argilo-organiques</b> gris-foncé à noirs, lâches à compacts, A+, à lentilles sableuses gris-clair pluricentimétriques (Dmax = 3 cm) éparses et à rares éléments de silix plurimillimétriques, se débitant en éléments pluricentimétriques (Emax = 9 cm)
-7.22	52.40	Sables moyens <b>argileux</b> gris à gris-foncé, lâches à grésifiés, A+, à lentilles sableuses gris-clair pluricentimétriques (Dmax = 4 cm), à <b>lentilles argilo-ligniteuses</b> pluricentimétriques (Dmax = 7 cm) et à rares éléments de silix pluricentimétriques (Dmax = 2 cm) se débitant en éléments pluricentimétriques à pluridécimétriques (Emax = 20 cm)
-7.82	53.00	Sables fins gris-clair, grésifiés, A+, se débitant en éléments pluricentimétriques (Emax = 4 cm) Perte
-8.82	54.00	Sables fins à moyens <b>argileux</b> , gris à gris-foncé, marbrés, compacts, A+, à éléments coquilliers blancs millimétriques et de <b>lentilles argilo-ligniteuses</b> noires centimétriques éparses
-10.32	55.50	Sables moyens <b>argileux</b> gris, lâches, A+, à rares éléments de silix plurimillimétriques à centimétriques épars
-11.82	57.00	<b>Argiles sableuses grises</b> , molles, A+, à rares éléments de silix plurimillimétriques à pluricentimétriques (Dmax = 3 cm)
-12.17	57.35	Sables moyens argileux gris, A+, lâches, à fragments coquilliers blancs millimétriques épars
-13.07	58.25	Argiles sableuses grises, molles, A+, à fragments coquilliers blancs millimétriques épars et à rares concrétions pyriteuses pluricentimétriques (Dmax = 3 cm)
		Sables légèrement argileux gris à gris-clair, lâches à compacts, quartzeux, A+, à rares fragments coquilliers blancs millimétriques et à lentilles argilo-ligniteuses noires plurimillimétriques à pluricentimétriques (Emax = 3 cm)

© SOLETANCHE BACHY

7

simulés, pour un objectif de rabattement au niveau du fond de fouille, à l'aide du logiciel aux éléments finis Plaxis. Comme expliqué plus haut, ces simulations ont pris en compte plusieurs possibilités d'anisotropie de perméabilité dans les sables de Cuisine. Afin de limiter le débit de pompage, les puits sont descendus seulement à mi-hauteur de la fiche de paroi moulée. Cela laisse tout de même une hauteur crépinée de 5,5 m dans les SS/SC, suffisante pour que chaque puits (de diamètre 350 mm) puisse capter environ 20 m<sup>3</sup>/h si nécessaire.

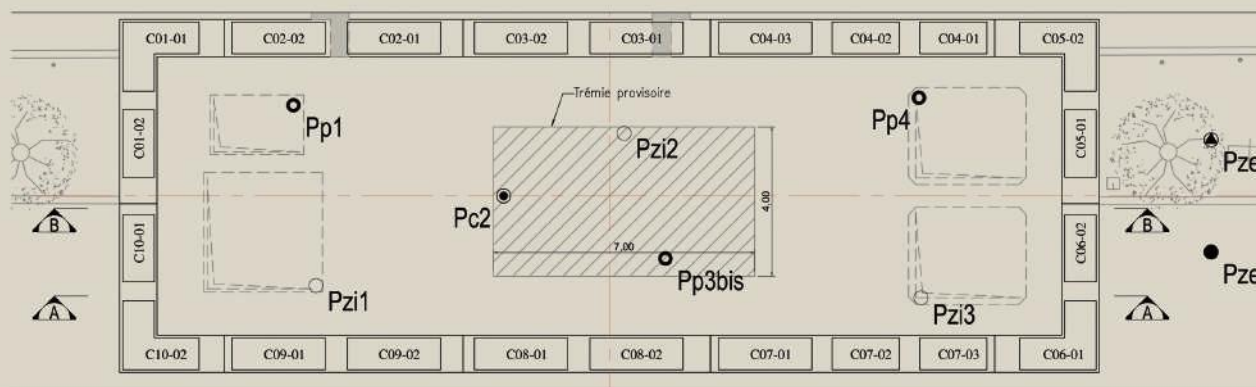
Pour un niveau d'eau dans les puits correspondant au fond de fouille, la modélisation indique un débit de pompage, pour l'ensemble de la fouille, de 24 m<sup>3</sup>/h dans l'hypothèse de base ( $k_h/k_v=10$ ), et 60 m<sup>3</sup>/h pour un cas plus pessimiste ( $k_h/k_v=5$ ). In fine, un total de 3 puits, crépinés uniquement dans les sables, a donc été prévu pour capter le débit venant de l'extérieur de l'enceinte.

Un puits supplémentaire crépiné au-dessus du fond de fouille a été ajouté pour essorer les M&C lors des terrassements.

## Étude de la stabilité du fond de fouille - détermination des charges hydraulique admissibles dans les sables

On a vu que la limitation du débit de pompage passe, entre autres, par une limitation de la profondeur des puits. Il est inhérent à une solution de puits courts que les charges hydrauliques sous le fond de fouille, lors du rabattement, croissent avec la profondeur et ce, d'autant plus que le terrain est anisotrope.

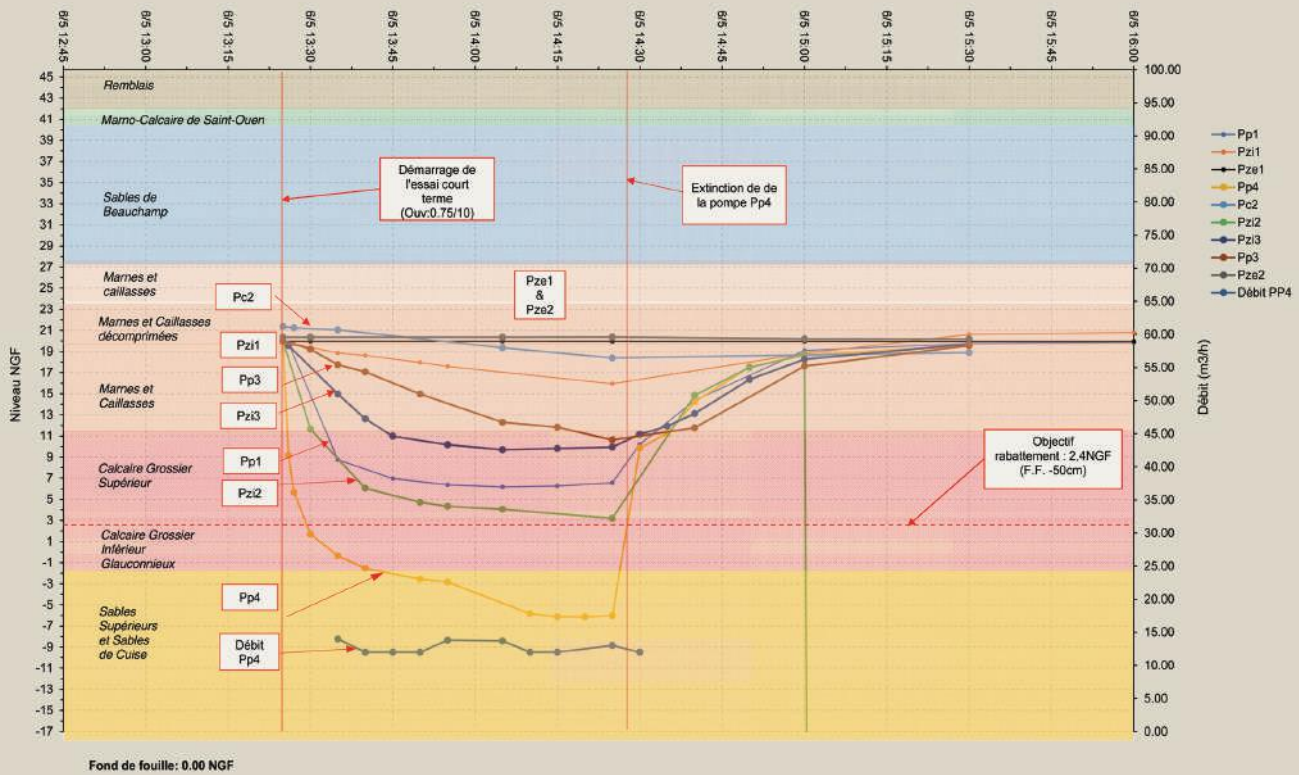
## PLAN D'IMPLANTATION DES PUIITS ET PIÉZOMÈTRES



© SOLETANCHE BACHY

8

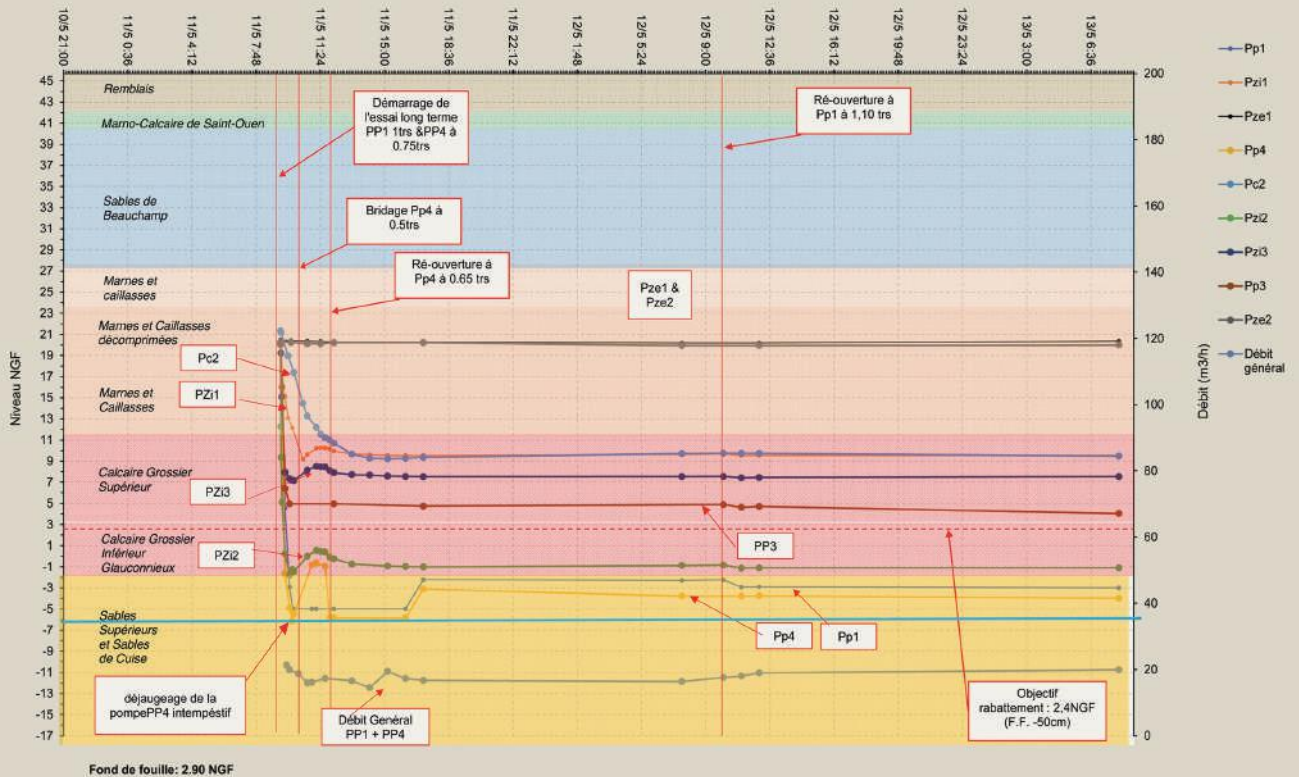
## ESSAI DE POMPAGE COURT TERME PP4



9

© SOLETANCHE BACHY

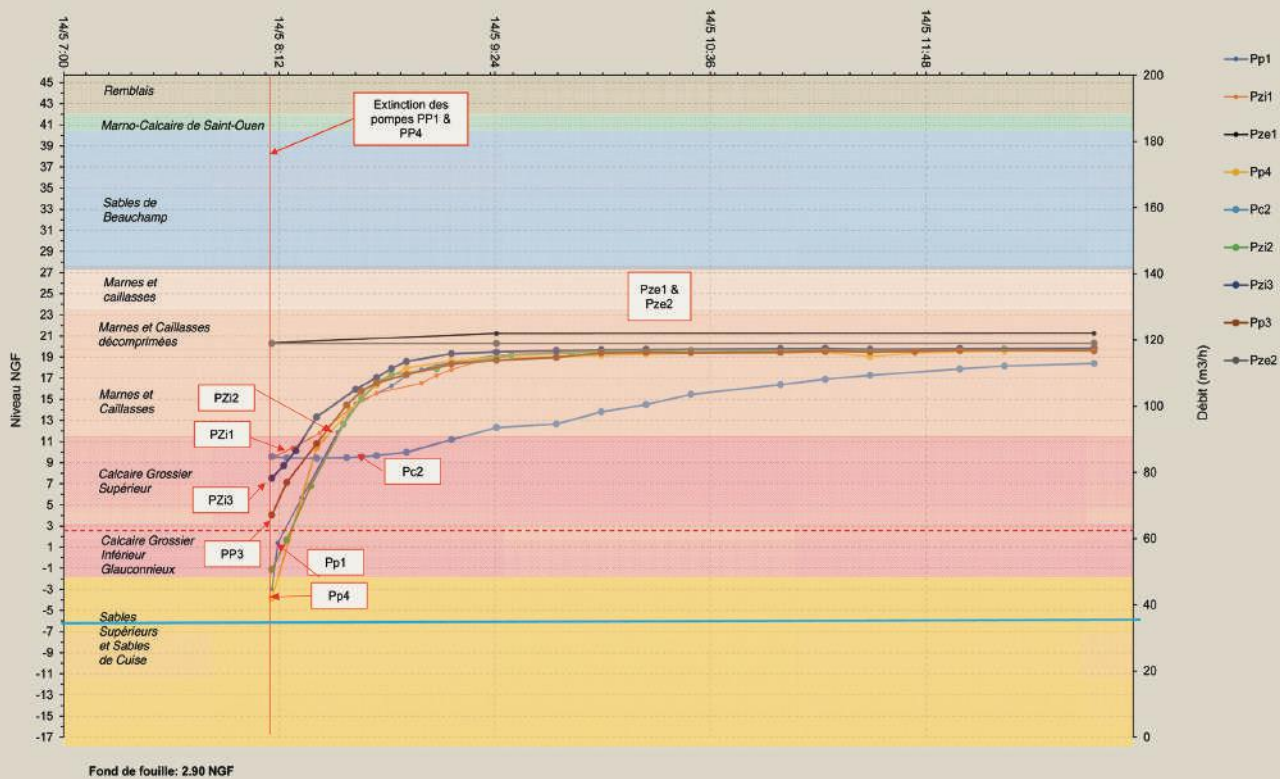
## ESSAI DE POMPAGE LONG TERME (DESCENTE)



10

© SOLETANCHE BACHY

# ESSAI DE POMPAGE LONG TERME (REMONTÉE)



© SOLETANCHE BACHY

11

Il convient alors de vérifier la stabilité du fond de fouille (stabilité UPL au sens de la norme écran) à différents niveaux sur la hauteur de la fiche de paroi moulée. On peut noter d'emblée que le dispositif de pompage intègre des piézomètres à crépines sélectives, destinés à mesurer les charges hydrauliques dans les sables pendant le rabattement en vue de les comparer aux valeurs limites déterminées par le calcul de stabilité. Dans le détail, l'analyse de stabilité est menée :

- À la base de la dalle calcaire ;
- En pied de paroi moulée ;
- À des niveaux variables correspondant aux crépines sélectives des piézomètres de contrôle, sous la base des puits.

La disposition des puits et piézomètres est donnée en vue en plan (figure 8). La localisation, en élévation, des crépines sélectives de ces éléments est visible sur les figures 12 et 13.

### Scénarios envisagés

Pour anticiper les conclusions de l'essai de pompage, plusieurs scénarios de rabattement ont donc été envisagés en fonction des calculs de stabilité ; ils sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

- 9- Essai de pompage court terme Pp4.
- 10- Essai de pompage long terme (descente).
- 11- Essai de pompage long terme (remontée).

- 9- Short-term pumping test Pp4.
- 10- Long-term pumping test (lowering).
- 11- Long-term pumping test (raising).

Dans les trois premiers scénarios, la stabilité UPL du fond de fouille vis-à-vis du soulèvement est vérifiée en prenant en compte le poids des sols (sans considérer aucune résistance additionnelle au sens du §13.2 de la norme NF P 94-282). Le scénario 4 conduit à la réalisation du bouchon étanche, car le volume d'eau pompé dépasse

la limite admissible de la loi sur l'eau. Pour les scénarios 2 et 3, il est important de visualiser que le pompage à un débit inférieur à 60 m<sup>3</sup>/h n'est possible qu'à la condition d'accepter une charge hydraulique dans les sables supérieures au niveau du fond de fouille. Cela implique des dispositions très particulières lors des terrassements :

- Ne pas recouper les puits et piézomètres en-dessous de la cote correspondant à la charge acceptée (par exemple +8,0 NGF pour le scénario 2), auquel cas il y aurait des venues d'eau en continu au travers de ces éléments ; de plus, il est indispensable d'avoir une cimentation continue de l'espace annulaire de forage des puits et piézomètres au-dessus de la zone crépinée.
- Prévoir une pompe de surface pour capter les venues d'eau résiduelles associées au gradient hydraulique s'établissant au-travers de la dalle calcaire.

### ESSAI DE POMPAGE

L'essai de pompage a eu lieu du 6 au 14 mai 2020.

Dès les essais court terme (destinés à déterminer le débit optimum de chaque puits), on a pu constater une bonne réactivité globale entre puits et piézomètres, avec des indices tendant à prouver une anisotropie assez marquée dans les sables.

Par exemple, en pompant dans les puits Pp4, on observe un rabattement plus important dans le puits Pp1, utilisé comme piézomètre et crépiné dans le même horizon, que dans le piézomètre Pzi3 pourtant tout proche, mais crépiné plus en profondeur (figure 9).

L'essai long terme s'est déroulé sur trois jours au total (deux jours de descente et une journée de remontée) (figures 10 et 11).

Dès le début, deux pompes, dans Pp1 et Pp4, ont été mises en marche.

Le débit cumulé avec les deux pompes est de l'ordre de 18 m<sup>3</sup>/h. On note qu'avec ce débit, le niveau d'eau se stabilise à environ :

- -1 NGF dans Pzi2,
- 5 NGF dans Pp3,
- 7,5 NGF dans Pzi3,
- 9,75 NGF dans Pc2,
- 9,55 NGF dans Pzi1.

SCÉNARIO 1	SCÉNARIO 2	SCÉNARIO 3	SCÉNARIO 4
Phase de stabilisation à 2.4 NGF dans tous les piézomètres (50 cm sous le futur FF) avec un débit inférieur à 60 m <sup>3</sup> /h	Phase de stabilisation dans tous les piézomètres à un niveau d'eau supérieur à 2.4 NGF mais inférieur à 8 NGF avec un débit inférieur à 60 m <sup>3</sup> /h	Phase de stabilisation à un niveau d'eau inférieur à 8 NGF dans le piézomètre Pzi2 et à un niveau entre 8 et 14 NGF dans les piézomètres Pzi1 et Pzi3 avec un débit inférieur à 60 m <sup>3</sup> /h	Phase de stabilisation avec un débit supérieur à 60 m <sup>3</sup> /h

Ces niveaux corroborent parfaitement les premières constatations des essais de courte durée et sont très rassurants vis-à-vis des scénarios annoncés.

En effet, le débit de pompage total est largement inférieur aux 60 m<sup>3</sup>/h et les niveaux d'eau mesurés aux différentes profondeurs sont compatibles avec les charges hydrauliques admissibles :

→ Juste sous la dalle calcaire (Pzi2), le niveau de rabattement s'établit à un niveau inférieur au fond de fouille ; il n'y aura donc aucun gradient à travers de la dalle calcaire en phase d'exploitation.

→ Dans les autres piézomètres, plus profonds, les charges mesurées sont plus hautes mais inférieures aux valeurs limites vis-à-vis de la stabilité UPL.

On notera que le rabattement est limité dans le puits court crépiné au-dessus

du fond de fouille (Pc2, qui a été utilisé seulement en piézomètre pendant l'essai de longue durée), et que sa remontée de niveau après arrêt du pompage est assez lente ; ceci montre qu'il existe bien une certaine séparation hydraulique entre les SS/SC et l'ensemble M&C/CG, mais pas suffisante pour que les deux aquifères restent longtemps déconnectés.

Enfin, on constate que les niveaux d'eau à l'extérieur de l'enceinte restent constants, y compris dans l'aquifère profond des SS/SC.

Suite à cet essai, il est donc possible de proposer au chantier d'exploiter le dispositif de pompage comme suit :

→ Pomper uniquement dans les deux puits d'extrémité (Pp1 et Pp4), pour un débit total d'environ 20 à 30 m<sup>3</sup>/h.

→ Lors des terrassements, conserver une arase des piézomètres compatible avec la charge hydraulique attendue dans les SS/SC, et permettant une éventuelle remontée en cas de faiblesse temporaire du pompage : soit la cote 11,0 NGF pour les piézomètres profonds Pzi1 et Pzi3, et la cote 5,0 NGF pour Pzi2 et le puits central Pp3 non utilisé ; ces cotes sont bien sûr vérifiées par rapport à la stabilité UPL du fond de fouille (figures 12 et 13).

### CONCLUSION

Une conception naturelle, pour limiter les débits de pompage lors de l'opéra-

tion de rabattement du puits Friedland, dont l'enceinte en paroi moulée est ancrée dans les Sables de Cuise, était de s'orienter vers la réalisation d'un bouchon étanche.

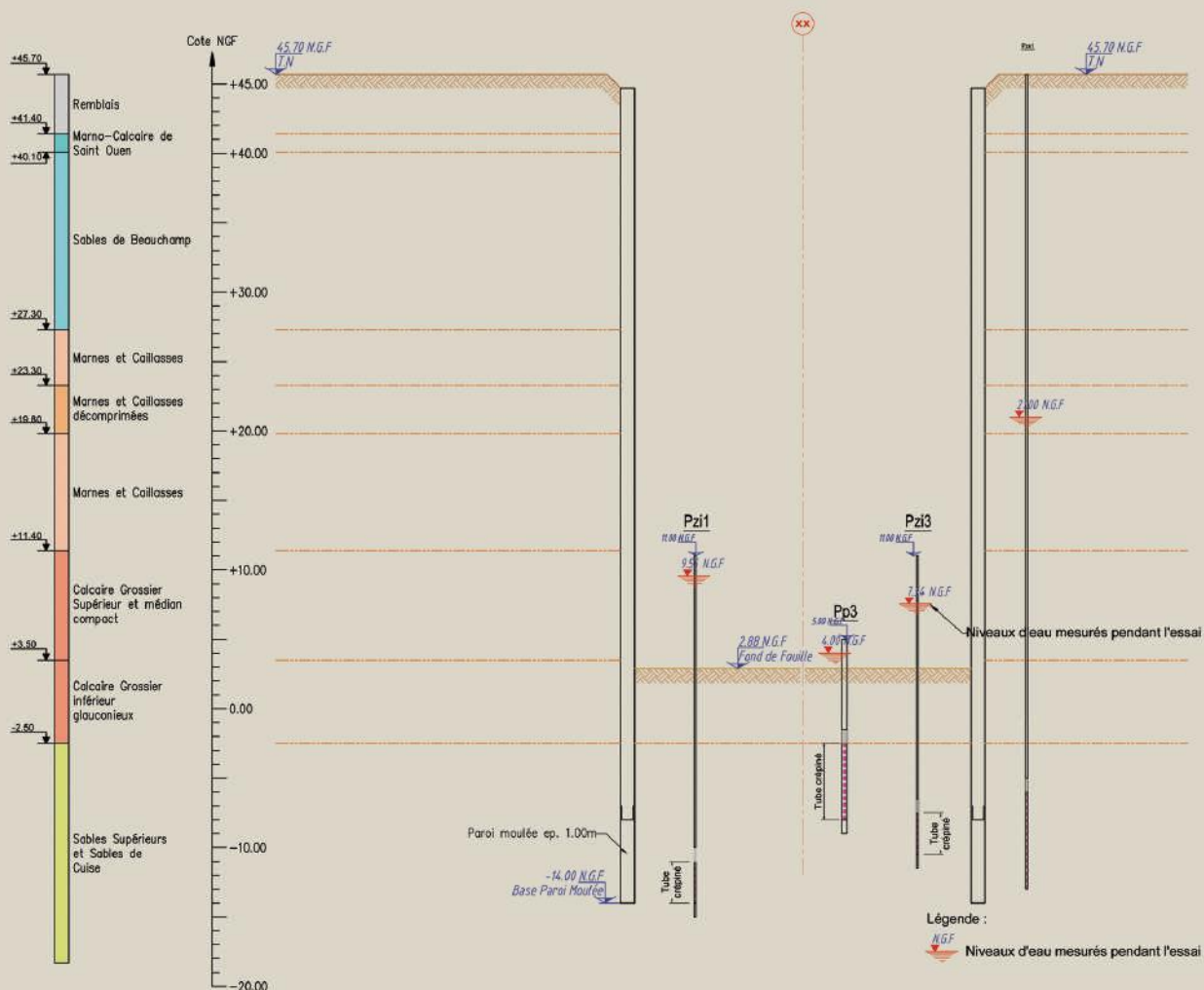
Les études d'exécution réalisées par Soletanche Bachy ont montré que la suppression de ce bouchon étanche était possible tout en garantissant le respect des critères de la loi sur l'eau, moyennant un dispositif de pompage adapté et la prise en compte de l'anisotropie de perméabilité des sables.

Des puits relativement courts, associés à une batterie de piézomètres sélectifs, permettent d'envisager un rabattement sous 20 m<sup>3</sup>/h (pour 60 m<sup>3</sup>/h admissibles) compatible avec les terrassements et les sécurités réglementaires vis-à-vis de la stabilité du fond de fouille.

#### 12- Élévation A-A.

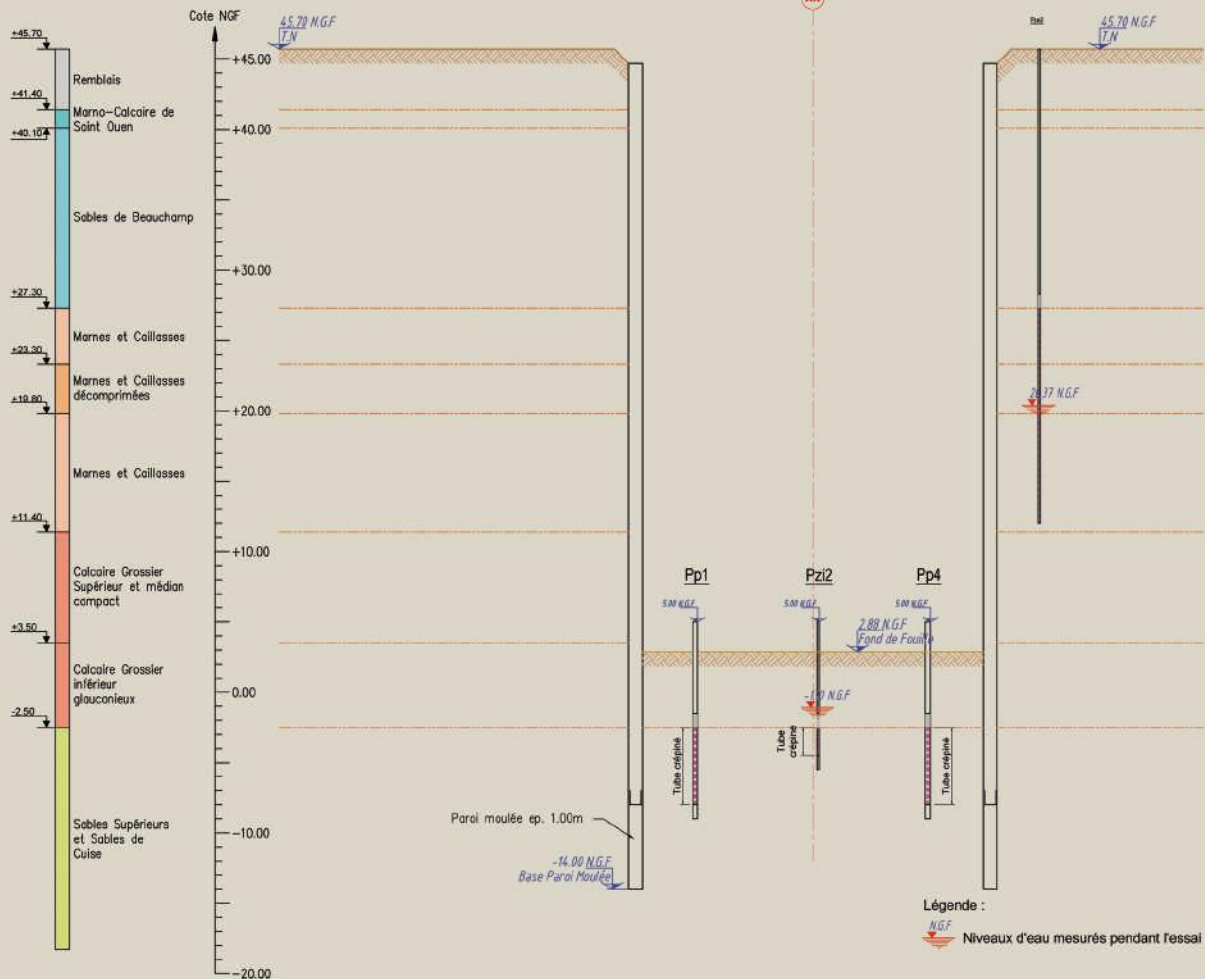
#### 12- Elevation A-A.

## ÉLÉVATION A-A





## ÉLÉVATION B-B



© SOLETANCHE BACHY

13

L'essai de pompage mené a confirmé les prévisions, validant ainsi la suppression du fond étanche, avec à la clé un gain très significatif sur le planning du chantier. □

13- Élévation B-B.

13- Elevation B-B.

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**TRAVAUX PRÉPARATOIRES DE TRAITEMENT DE TERRAIN :**  
**1 740 m de forage et injection de coulis bentonite ciment**  
**PAROIS MOULÉES EN ÉPAISSEUR 1 000 mm : 3 960 m<sup>2</sup>**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** SNCF Réseau

**MAÎTRISE D'ŒUVRE / ARCHITECTE :** Egis Rail / Setec tpi / Agence Duthilleul

**CONTRÔLE TECHNIQUE :** Veritas

**SPS :** Société Présents

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES :** Sade / Léon Grosse / Soletanche Bachy France / Soletanche Bachy Fondations Spéciales

**BET GC :** C2ODA

**BET TRAVAUX SPÉCIAUX :** Soletanche Bachy France

### ABSTRACT

#### EOLE - DEWATERING OF THE FRIEDLAND STRUCTURE, A BOTTOMLESS PIT

KATALIN KRAJNYÁK, SOLETANCHE BACHY - PIERRE DE LAVERNÉE, SOLETANCHE BACHY - TONY PEREIRA, SOLETANCHE BACHY

On the new metro and RER lines the regulations require escape and/or ventilation shafts spaced at most 800 m apart. The Friedland shaft, on the EOLE line extension, is one of them. Soletanche Bachy proposed an optimisation of the Friedland shaft consisting of eliminating the jet-grouting watertight bottom planned in the basic solution. It was necessary to develop a pumping system making it possible to verify the feasibility of groundwater lowering in the Cuise sands, under a reduced flow rate acceptable under the "Water Act". Relatively short wells, combined with a bank of selective piezometers, offer the possibility of groundwater lowering below 20 m<sup>3</sup>/h (versus 60 m<sup>3</sup>/h permissible), compatible with the earthworks and regulatory safety systems with respect to bottom-of-cut stability. A pumping test confirmed the predictions. □

#### EOLE - DRENAJE DEL POZO SIN FONDO FRIEDLAND

KATALIN KRAJNYÁK, SOLETANCHE BACHY - PIERRE DE LAVERNÉE, SOLETANCHE BACHY - TONY PEREIRA, SOLETANCHE BACHY

En las nuevas líneas de metro y de tren regional (RER), la normativa impone una separación máxima de 800 m entre los pozos de emergencia y/o de ventilación. El pozo Friedland, en la ampliación de la línea EOLE, es uno de ellos. Soletanche Bachy ha propuesto una optimización de este pozo, que consiste en eliminar el fondo estanco por jet grouting como solución de base. Ha sido preciso diseñar un dispositivo de bombeo que permita comprobar la viabilidad de un abatimiento en las arenas de Cuise, bajo un caudal reducido admisible con arreglo a la Ley del agua. Unos pozos relativamente cortos, asociados a una batería de piezómetros selectivos, permiten planificar un abatimiento bajo 20 m<sup>3</sup>/h (para 60 m<sup>3</sup>/h admisibles) compatible con los movimientos de tierras y las medidas de seguridad reglamentarias para la estabilidad del fondo de excavación. Una prueba de bombeo ha confirmado las previsiones. □