



PAROI MOULÉE ET BOUCHON INJECTÉ POUR UN GRAND MAGASIN À STRASBOURG (67)

AUTEURS : LEENA VEERASAMY, RESPONSABLE MARKETING, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES - ANTHONY BARBERI, DIRECTEUR D'AGENCE STRASBOURG, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES

KELLER FONDATIONS SPÉCIALES RÉALISE UNE PAROI MOULÉE ET UN BOUCHON INJECTÉ DANS LE CADRE DES TRAVAUX DE FONDATIONS POUR LE MAGASIN PRIMARK QUI S'IMPLANTE À L'ANGLE DU QUAI KELLERMANN ET DE LA RUE DU NOYER AU CENTRE-VILLE DE STRASBOURG. LE BÂTIMENT A QUATRE ÉTAGES SERA POSÉ SUR UN PARKING SOUTERRAIN DE TROIS NIVEAUX. SON EMPRISE AU SOL SERA D'ENVIRON 2300 m².

LE CONTEXTE GÉNÉRAL

Le site était anciennement occupé par des anciens ouvrages dont notamment un parking enterré sur un niveau, aujourd'hui démoli. Le projet prévoit la construction d'un bâtiment de type R+5 comportant trois niveaux de sous-sol (figure 2). Le niveau RDC du projet sera calé à la cote ±0.00 = 140,35 IGN69. Le niveau R-3 sera calé à la cote 131,5 IGN69, soit à environ 9 m de profondeur par rapport au niveau des rues actuelles. Le bâtiment sera mitoyen à des ouvrages existants. Ces contraintes ont fait l'objet de multiples cas d'études afin de proposer un dimensionnement sur mesure.

Le site est situé dans le quartier central de l'Homme de Fer où circulent piétons, tramways, bus, automobiles et vélos (figure 1). Les ateliers ont été placés côté rue et ont nécessité un débord de 3 m. Un plan de circulation a été défini avec la ville de Strasbourg afin de réorganiser la circulation des bus et des voitures dans un sens unique, et une passerelle a été installée le long du canal pour les piétons. Les travaux ne doivent perturber ni les riverains ni les clients des hôtels

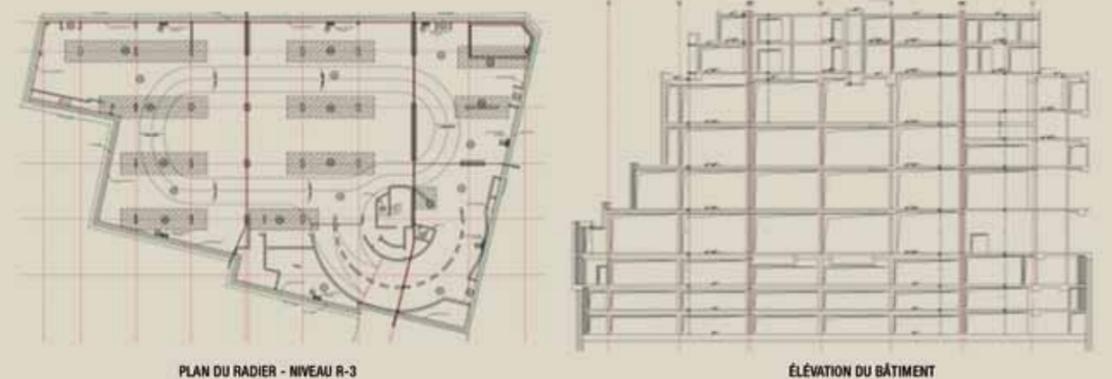
1- Vue générale du chantier.

voisins. Des capteurs étaient posés sur les immeubles à proximité afin de s'assurer que les bruits des travaux ne dépassaient pas les seuils d'émissions autorisés. Un arrêté municipal autorisait les ateliers de l'entreprise à travailler de 07h30 à 17h30.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Les investigations géotechniques menées par Fondasol ont mis en évidence la présence de remblais surmontant localement des limons de très faible compacité, puis des alluvions graveleuses +/- sableuses de bonne à excellente compacité (figure 3). La présence de passages sableux de très bonne compacité vers 12 m de profondeur est signalée vers les cotes 129 à 127. Au cours des campagnes de reconnaissance, un niveau d'eau a été relevé à partir de la cote 135,6 IGN69.

VUE EN PLAN DU RADIER (NIVEAU R-3) AINSI QU'UNE ÉLÉVATION DU BÂTIMENT



2

La nappe phréatique dans ce secteur est sujette à des fluctuations saisonnières. La réglementation parasismique française indique que la commune de Strasbourg est en zone sismique de catégorie d'importance III. Par conséquent, les règles sismiques s'appliquent au projet.

TRAVAUX

Conformément aux préconisations du géotechnicien, Keller a proposé la réalisation d'une paroi moulée associée à un bouchon injecté, qui aura les fonctions suivantes :

- En phase provisoire, ou de chantier : Soutènement des terres et reprise des poussées hydrauliques. L'écran associé au bouchon assurera l'étanchéité provisoire de la fouille.
- En phase définitive : Soutènement des terres et reprise des poussées hydrauliques. L'écran sera dimensionné comme relativement étanche au sens du DTU 14.1. Aucun revêtement d'étanchéité n'est prévu. La paroi moulée servira également de structure porteuse en reportant les charges de la structure dans les sables et graviers très denses constituant la couche d'ancrage.

Fichée à 15 m de profondeur en bordure des trois avenues et à 12 m le long des bâtiments « existants », la paroi moulée bloquera les arrivées d'eau latérales sur 225 m et le bouchon injecté, les remontées en sous-face. Le débit résiduel sera capté par quatre puits de pompage busés, puis évacué vers le Rhin. Le radier du bâtiment pourra être coulé au sec.

2- Vue en plan du radier (niveau R-3) ainsi qu'une élévation du bâtiment.
3- Sondage typique issu de la campagne géotechnique.

EXÉCUTION DES TRAVAUX DE PAROI MOULÉE

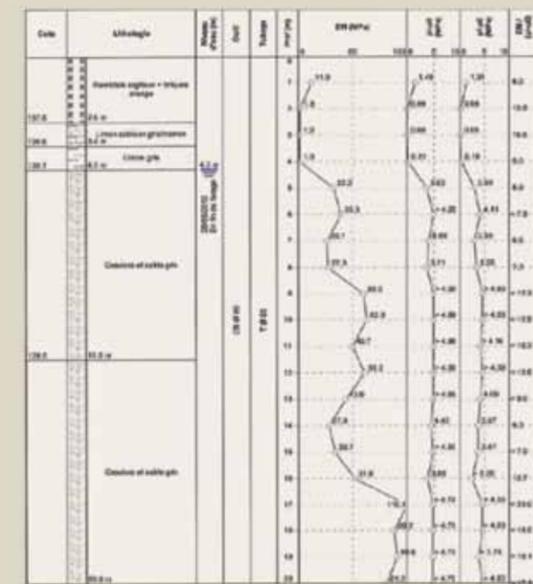
Ce procédé de soutènement et de fondations profondes a été déployé pour les murs du parking. Keller s'installe sur le site du projet le 20 mars pour commencer à couler les murettes guides de l'atelier en bordure du quai Kellermann et le long de la rue Marbach. L'atelier de paroi moulée, composé d'une centrale de fabrication de bentonite et d'un porteur 70 t (Liebherr

HS 8100) équipé d'une benne à câbles, est installé sur une plateforme de travail remblayée à hauteur de la rue. Le premier panneau (figure 4) de 6,70 m de large et 0,62 m d'épaisseur est foré le 5 avril. Au cours du forage, les parois de l'excavation sont stabilisées grâce à de la boue bentonitique. Les panneaux de paroi moulée sont réalisés depuis deux plateformes de travail, ils descendent à la cote 124,80 NGF.

Lorsque le forage est terminé, la bentonite est envoyée vers le dessableur (figure 5) pour être recyclée. Une boue neuve ou recyclée est ensuite réinjectée dans le panneau excavé. Enfin, deux profilés métalliques type porte-joints munis de bandes d'arrêt d'eau type « waterstop », ainsi que les cages d'armature de 3 m de large (figure 6), sont descendus dans le fond de fouille à l'aide d'une grue de 40 t.

Le bétonnage de la fosse est réalisé au tube plongeur. Une dizaine de toupies livrent entre 50 à 70 m³ de matériaux nécessaires au coulage de chaque panneau. La cadence envisagée est d'un ou deux panneaux par jour. Afin de tenir le planning serré des travaux de fondations (quatre mois) et de respecter le planning global du chantier, Keller a préparé et a organisé chacune de ces opérations. En effet, il faut gérer la co-activité avec les autres corps de métier : les terrassiers qui excaveront la boîte de fondation et les spécialistes du gros œuvre qui couleront la poutre de couronnement.

SONDAGE TYPIQUE ISSU DE LA CAMPAGNE GÉOTECHNIQUE



3



4
© KELLER



6
© KELLER

EXÉCUTION DES TRAVAUX D'INJECTION

Une fois la paroi en place, l'excavation est faite jusqu'au premier niveau de sous-sol.

Keller réalise un bouchon injecté mixte silicate-ciment provisoire d'un mètre d'épaisseur sous le futur radier. Cette technique permet les terrasse-

ments sous la nappe et limite la venue des eaux dans la fouille. Après la préparation des canules, chaque point de battage permet de mettre en place 2 points d'injections à 11,70 m de profondeur.

L'étanchéité est créée par l'injection successive d'un coulis de ciment-bentonite et de gel de silicate.

**4- Excavation d'un panneau.
5- Recyclage par le dessableur.**

Ce bouchon mixte est plus performant qu'un bouchon réalisé en injection de coulis de ciment répétitive et sélective (IRS).

Les canules sont mises en place par une foreuse Bauer RG 19 équipée d'un vibrofonceur (Bauer MR 125 V). Le rythme élevé de mise en place permet à Keller de réaliser 1 600 points de

forage disposés sur une maille serrée (1,50 m x 1,30 m) dans les délais prévus au marché.

EXÉCUTION DES TRAVAUX DE TIRANTS D'ANCRAGE ET DE BUTONS

Une fois le bouchon terminé, les puits de pompage sont installés puis la boîte

**6- Mise en place de la cage d'armature.
7- Emplacement des tirants et des butons.**

est excavée jusqu'au niveau du troisième sous-sol à 10 m de profondeur, de manière à pouvoir couler le radier. En phase d'excavation, la paroi moulée est ancrée provisoirement au terrain avec une ligne de 26 tirants de 11 et 15 m (figure 7).

Les tirants d'ancrage ont été réalisés en technique auto-forante ; cela consiste

à utiliser une barre d'ancrage comme barre de forage, l'extrémité étant équipée d'un taillant perdu et l'injection étant simultanée au forage.

Chaque tirant est composé de deux parties distinctes : une partie libre où le tirant est protégé par une gaine en plastique, qui permet l'allongement du tirant au moment de la mise en tension, et une partie scellée de longueur adaptée aux caractéristiques du terrain. Dans les angles, des butons sont mis en place en remplacement des tirants. Le butonnage (figure 8) est composé de tubes métalliques de diamètre 600 mm et 800 mm soudés à des platines incorporées à la paroi moulée.

CONTRÔLES

Les points de contrôles sont mis en œuvre à chaque phase de la production. Des essais d'écrasement ont été programmés avec la société ABC (contrôle externe) afin de certifier la bonne résistance du béton utilisé pour la réalisation de la paroi moulée.

La société Rincent réalise des essais soniques sur 4 panneaux de paroi moulée.

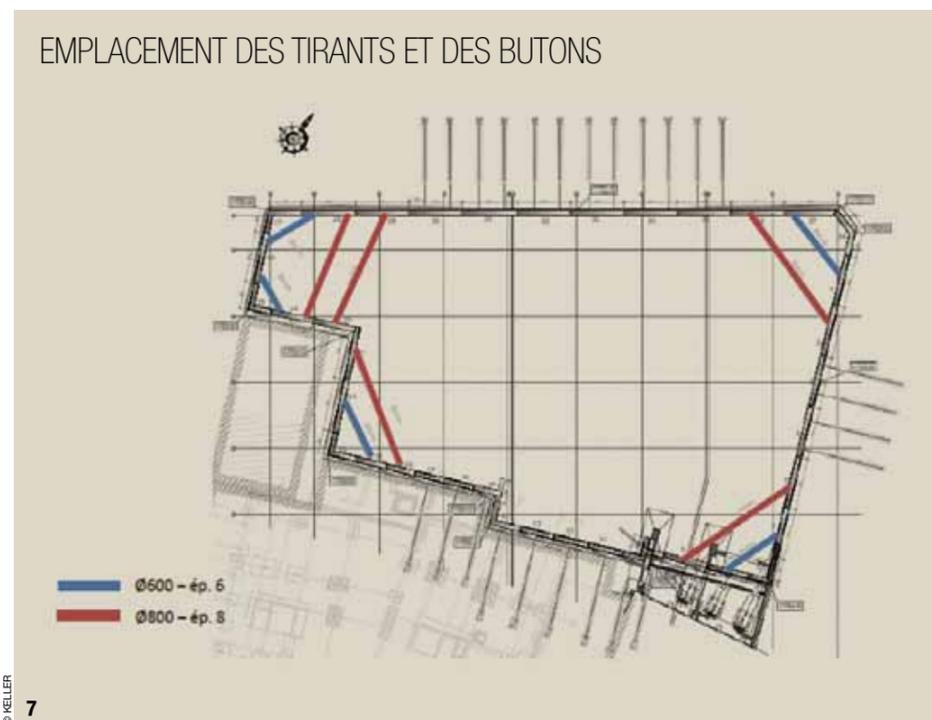
L'ensemble des résultats atteste l'homogénéité du béton dans les panneaux et affirme leurs conformités.

Les tirants sont réalisés par l'entreprise sous-traitante Tes Technifor et testés par la société D-Géo.

Les tirants d'ancrage sont mis en tension jusqu'à la charge d'épreuve puis bloqués à une valeur de pré-tension, ►



5
© KELLER



7
© KELLER



8

© KELLER

leur conformité est confirmée par les valeurs de fluage jugées satisfaisantes (inférieur à 1,5 mm).

Un suivi topographique est également réalisé pendant le terrassement et jusqu'à la réalisation du radier pour suivre et valider les déplacements calculés. Les déplacements mesurés sont inférieurs à 15 mm conformément à ce

qui est attendu dans la note de calculs de Keller.

MOYENS MIS EN ŒUVRE

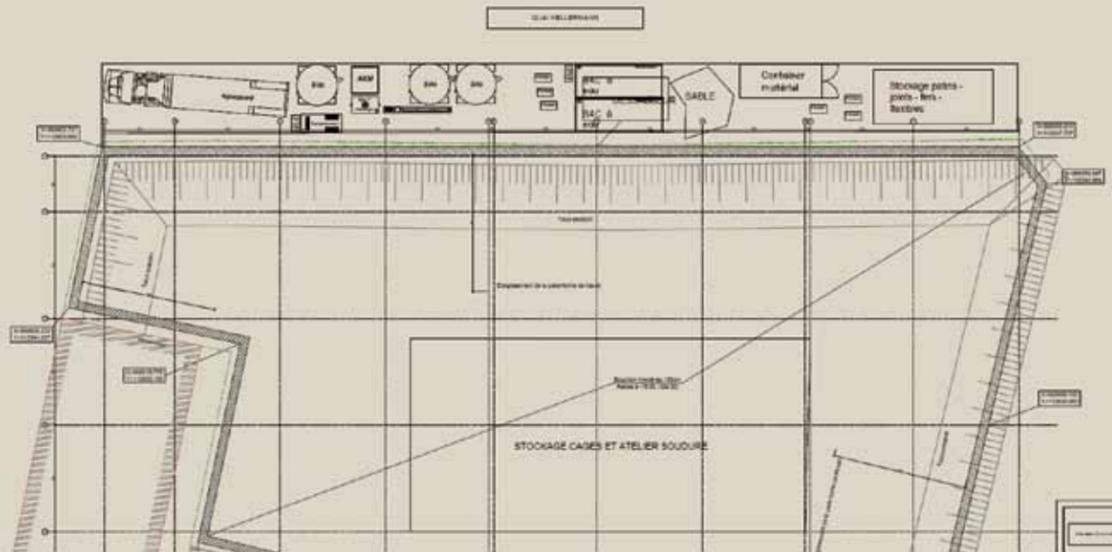
L'équipe est composée de 10 personnes pour la paroi moulée, 7 personnes pour le bouchon injecté, 4 personnes pour les tirants et le butonnage et 2 personnes pour les finitions et le rabotage.

8- Mise en place des butons.

9- Plan d'installation de l'atelier de paroi moulée.

Deux conducteurs de travaux et un ingénieur ont préparé le projet l'encadrant sur toute sa durée (six mois). Les matériels mis en œuvre pour la bonne exécution des travaux de paroi moulée (figure 9) sont : 1 porteur Liebherr type HS 8100 équipé d'une benne (62 cm) à câble type Stein, 3 silos à boue de 60 m³ + 1 silo à poudre de 40 m³, une station de malaxage

PLAN D'INSTALLATION DE L'ATELIER DE PAROI MOULÉE



9

© KELLER



10

© KELLER

CONCLUSION

Les travaux de fondations réalisés pour permettre l'excavation des infrastructures de ce bâtiment à quatre étages a donné satisfaction du point de vue des exigences du client et des contraintes liées à l'existant (figure 10). De plus, dans un contexte très urbain, la nuisance pour les avoisinants a été bien maîtrisée. La technique de paroi moulée a pour avantage d'émettre un niveau sonore modéré et pas de vibrations pendant l'exécution.

Le gros challenge technique était de rabattre l'eau de 4 m sur une surface de 2300 m² et d'atteindre un débit d'eau résiduel très faible, inférieur à 50 m³/h. L'une des spécificités de ce chantier était de travailler sur trois niveaux. Il a fallu s'organiser et établir un phasage de terrassement avec une banquette afin de pouvoir accéder aux différentes étapes des travaux.

La présence de bâtiments avec des modes de fondations différents et la situation du chantier en hyper-centre ont conduit à adapter les travaux en conséquence. □

de coulis type AKM, un dessableur, 7 pompes. Pour la réalisation des bouchons injectés, le matériel consiste en 1 vibrofonneur, 2 silos, 2 bacs tampons, 2 containers d'injection avec 6 pompes.

10- Vue de la fouille ouverte.

PRINCIPALES QUANTITÉS

- LINÉAIRE PAROI : 215 m**
- SURFACE PAROI MOULÉE VUE : 1700 m²**
- PROFONDEUR DE LA PAROI : 12 à 15 m**
- BÉTON : 2300 m³**
- ACIER : 150 t**
- INJECTION BOUCHON : 500 t de ciment silicate**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Financière Valim**
- MAÎTRE D'ŒUVRE : Denu & Paradon**
- BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURES : Serue Ingénierie**
- BUREAU DE CONTRÔLE : Bureau Veritas**
- ENTREPRISE GÉNÉRALE : L'Alsacienne du Bâtiment**
- BUREAU D'ÉTUDES DE SOL : Fondasol**
- FONDATEURS SPÉCIALES : Keller Fondations Spéciales**
- TERRASSEMENTS : Lingenheld TP**
- ARMATURES : Straub GmbH**
- BÉTON : Eqiom Bétons**
- MICROPIEUX : Tes Technifor**
- PUITS DE POMPAGE : Delta Services**