

# Etude géotechnique et géothermique de la station et du tunnel de Beaulieu pour le m3

Auteur : Benjamin Schenk  
Encadrement : Prof. Dr. Lyesse Laloui<sup>1</sup> / ing. Dipl. Cristiano Garbellini<sup>1</sup> / ing. Dipl. Etienne Garin<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique des Sols (LMS) EPFL / <sup>2</sup> BG Ingénieurs Conseils, Lausanne

## Description

La ligne de métro m3 est prévue d'ici à 2030 pour relier la gare de Lausanne à la Blécherette. Dans ce cadre, la station Beaulieu et le tunnel, qui la relie à la station Casernes, sont étudiés. Les travaux consistent à concevoir la station Beaulieu ainsi que le tunnel et la tranchée couverte en tenant compte de toutes les contraintes. Non seulement leurs structures porteuses sont dimensionnées, mais aussi la manière dont l'énergie géothermique peut être extraite en utilisant celles-ci comme échangeurs thermiques.



Figure 1 : Tracé en situation du tronçon considéré

## Tranchée couverte

La raison de l'utilisation de la méthode de construction en tranchée couverte est que les conditions du terrain s'appauvrissent à proximité de la station Casernes, et que la profondeur du tunnel devient trop faible pour former un effet d'arc. Les tassements en surface seraient trop importants et le risque d'endommager des bâtiments existants serait trop élevé.

Pour déterminer la longueur des parois moulées, l'armature nécessaire et les tassements produits par la construction, la modélisation 2D par éléments finis avec une loi de comportement élastique plastique pour les propriétés du terrain est utilisée. Des parois moulées de 80 cm et une dalle de couverture de 80 à 90 cm d'épaisseur sont utilisées pour limiter les déformations et résister à la pression du terrain. La dalle intermédiaire, qui est principalement chargée par une charge axiale, ne doit pas être aussi épaisse.

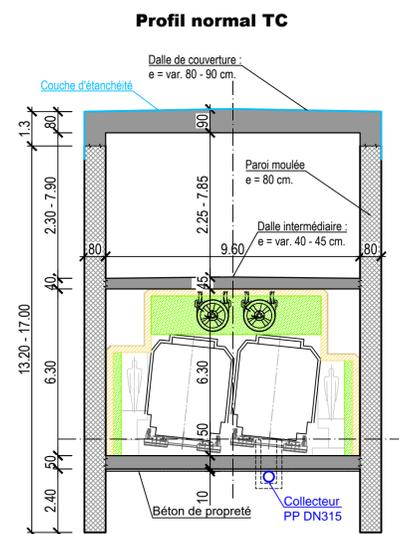


Figure 2 : Géométrie de la tranchée couverte

## Station Beaulieu

Pour la construction de l'enceinte de fouille de la station, des parois moulées en béton armé sont utilisées. Ensuite, la dalle de couverture est coulée avec une grande ouverture au milieu depuis laquelle se fait l'excavation. Cette méthode de construction présente deux avantages principaux : les routes avoisinantes peuvent être reconstruites dès que la dalle de couverture est en place et la dalle de couverture sert de support horizontal pour les parois. Comme les portées entre les parois de soutènement sont trop importantes, il faut des pieux et des murs dans le périmètre de la station pour soutenir la dalle. Pour déterminer les tassements, les déformations et les forces internes, une analyse par éléments finis est effectuée. Elle montre que la dalle doit être ancrée sur les bords qui sont reliés aux parois de soutènement afin de minimiser les déformations et le contenu des armatures.

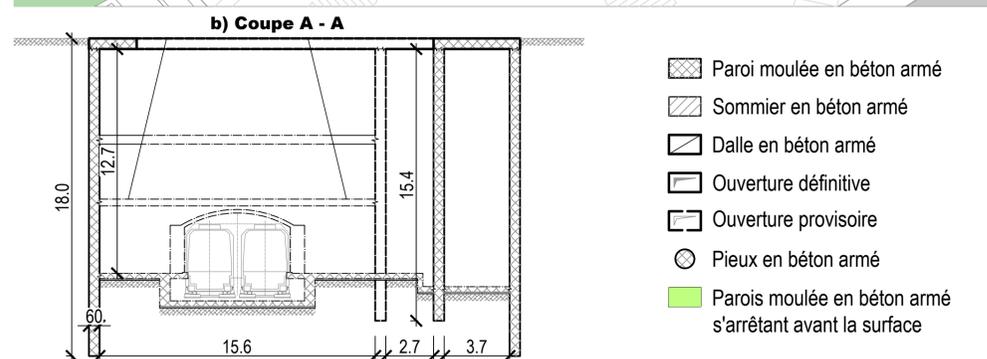
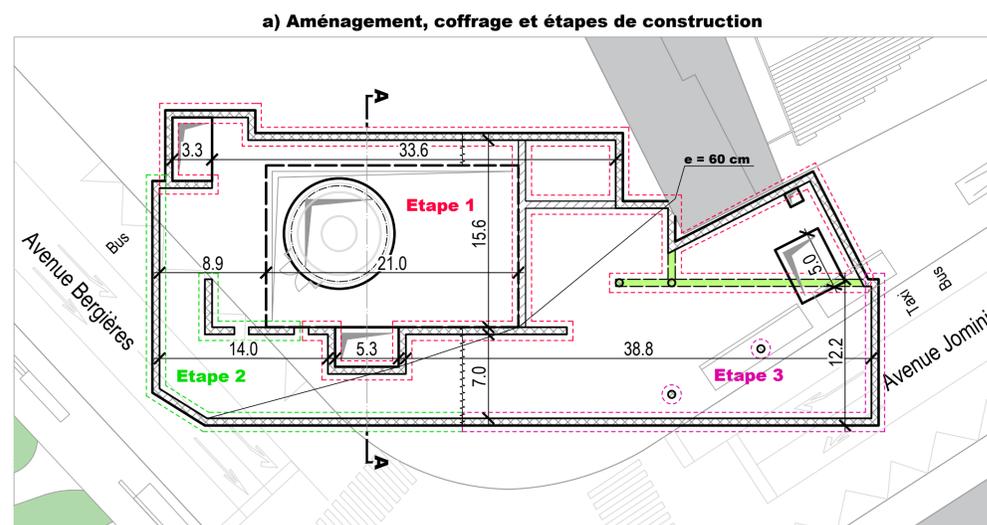


Figure 3 : a) Aménagement, coffrage et étapes de construction de la station Beaulieu. b) Coupe à travers la station.

## Tunnel

Le dimensionnement du tunnel est fait en utilisant la méthode des éléments finis. Des modèles 2D et 3D sont utilisés pour représenter le plus réaliste que possible la construction du tunnel.

Pour le soutènement temporaire du tunnel, ce sont de manière générale des cintres métalliques et du béton projeté qui sont utilisés. Trois différents profils types pour les différentes conditions sont développés.

- Profil type 1, avec cintres métalliques HEB 180 et béton projeté, mais sans mesures de stabilité à l'avancement, pour zones dans rocher.
- Profil type 2, avec cintres métalliques HEB 180, béton projeté et voûte parapluie pour limiter le risque des chutes de blocs dans zones avec faible couverture rocheuse.
- Profil type 3, avec cintres métalliques HEB 200, béton projeté et mesures de stabilité à l'avancement important pour limiter les tassements et stabiliser le front, pour zone dans terrain meuble.

La perméabilité du sol environnant est très faible. Par conséquent, un système de drainage est choisi. Après l'installation du soutènement temporaire, une membrane d'étanchéité projetable est placée. Cette étanchéité présente le grand avantage que l'installation est rapide, simple et s'adapte bien à toute géométrie. Elle assure également une bonne adhérence entre le support temporaire et le revêtement final, ce qui permet de transmettre les efforts de cisaillement.

Pour le dimensionnement du revêtement définitif et du radier, il faut tenir compte du gonflement. Avec un radier épais et une armature importante à l'intrados les déformations attendues sont acceptables. En calotte, l'étanchéité projetable permet de garder un revêtement mince.

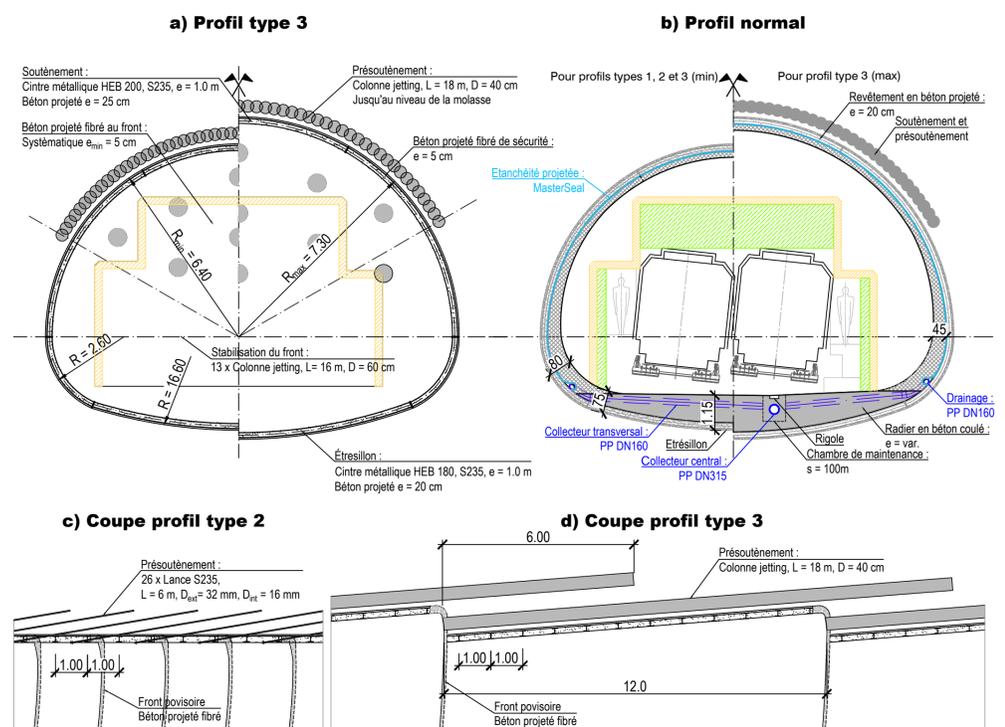


Figure 4 : a) Profil type 3 pour zone avec terrain meuble. b) Profil normal du tunnel. c) Coupe profil type 2 avec lances pour protéger contre des chutes de blocs. d) Coupe profil type 3 pour zone avec terrain meuble.

## Intégration équipement géothermique

L'intégration du système thermique est résolue pour qu'il ne soit pas compliqué à exécuter. Pour les parois moulées, les tubes caloporteurs sont fixés à la cage d'armature et ensuite noyés lors du coulage des parois et récupérés après la construction entière de la structure. Dans le tunnel, les tubes caloporteurs sont collés contre l'étanchéité projetable pour ne pas impacter l'installation du soutènement temporaire. Pour les deux ouvrages, le radier est également équipé afin de maximiser l'énergie utilisable. Une puissance autour de 30 W/m<sup>2</sup> devrait être atteinte pour la surface équipée.

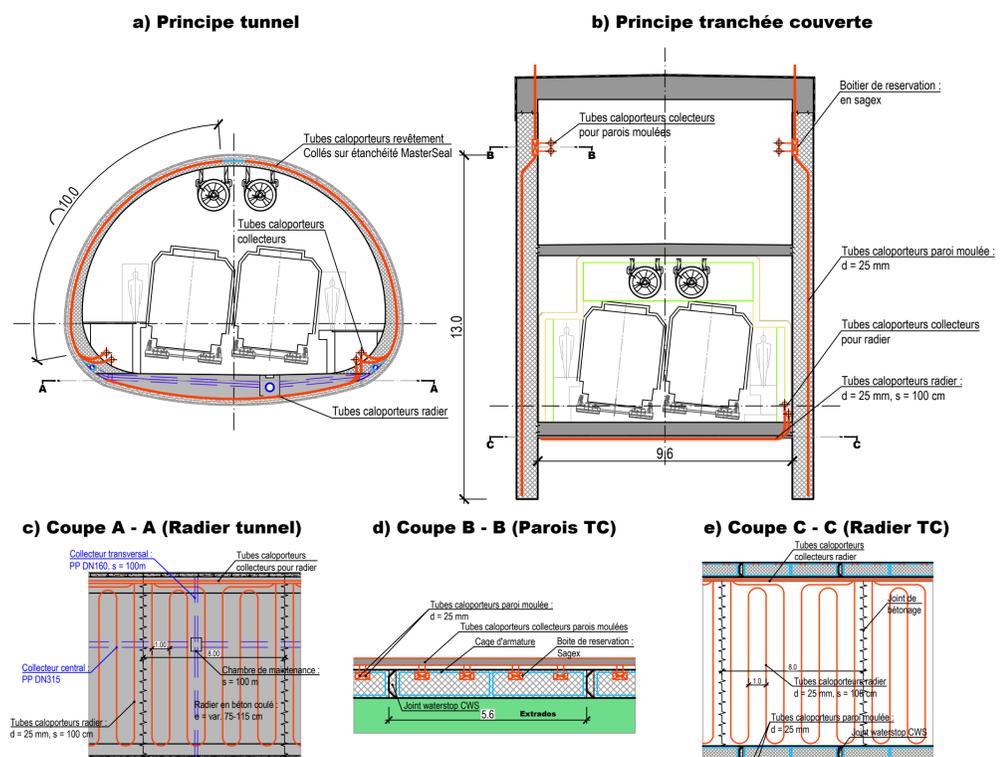


Figure 5 : a) Principe équipement géothermique tunnel. b) Principe équipement géothermique tranchée couverte. c) Equipement du radier du tunnel. d) Equipement des parois de la tranchée couverte. e) Equipement du radier de la tranchée couverte