

Sécurisation de l'évacuation des ouvrages souterrains anciens par puits profonds ou galerie de sécurité. Application au tunnel ferroviaire de Meudon, FRANCE

Securing the evacuation of old underground workings in deep wells or safety galleries. Application to railway tunnel of Meudon, FRANCE

Abstract

La mise en sécurité des tunnels anciens vis-à-vis de leur capacité d'évacuation des usagers en cas d'incident ou d'accident constitue une difficulté technique majeure et un enjeu pour la poursuite de l'exploitation en sécurité des ouvrages anciens.

Localisé entre les communes de Meudon et Chaville, le tunnel ferroviaire de Meudon (3363 m), datant de 1901, franchit une butte témoin sous une couverture moyenne de 85 m. Sa mise en sécurité vis-à-vis des conditions d'évacuation des usagers impose la création de 3 issues de secours, sans qu'il soit possible de conduire de travaux important depuis le tunnel en service.

Ce contexte permet d'envisager une solution technique originale consistant en la réalisation de puits profonds de 40 et 90 m de profondeur et de galeries secondaires rejoignant des issues de secours. Les études de conception de ces ouvrages dans des conditions géotechniques marquées par la présence des sols sableux sous nappe ont permis de mettre en évidence certaines limites techniques associée à ces dispositifs de puits profonds d'évacuation. Ces contraintes, entre autres, ont conduit à étudier des solutions plus classiques d'excavation d'une nouvelle galerie de sécurité parallèle à l'ouvrage ancien.

Le projet de sécurisation est conçu en intégrant tous les équipements de sécurité nécessaires. Ces équipements assureront notamment la mise en surpression des SAS des issues de secours, l'éclairage et le balisage lumineux d'évacuation, la communication avec les usagers et la retransmission des signaux radio des services de secours. Enfin, des cheminements balisés guideront les usagers vers des zones de rassemblement sécurisées.

Abstract

The retrofitting of old tunnels with respect to their ability to evacuate users in the event of an incident or accident is a major technical difficulty and a challenge for continued operation in safety of old tunnels.

Located between the towns of Meudon and Chaville, the railway tunnel Meudon (3363 m) crosses an hill under an average coverage of 85 m. Its compliance with respect to criteria used for evacuation requires the creation of three exits, without it being possible to drive significant work from the tunnel.

The soils thickness limited to a little less than 100 m allows considering an original technical solution consisting of achieving deep wells of 40 and 90 m depth and side galleries reaching emergency exits. The design studies of these wells in geotechnical conditions marked by the presence of sandy soils below the groundwater level, help to highlight some technical limitations associated therewith deep disposal wells. The challenges of achieving, maintenance and operation were then compared with those associated with more traditional solutions excavation of a new safety tunnel parallel to the old structure.

The security project is designed to integrate safety equipment. These equipment will ensure in particular pressurization to maintain a smoke free environment, lighting and lighting of evacuation, communication with users and retransmission of radio signals from emergency services. Finally, the marked paths will guide users to secure assembly areas.

Sécurisation de l'évacuation des ouvrages souterrains anciens par puits profonds ou galerie de sécurité. Application au tunnel ferroviaire de Meudon, FRANCE

Securing the evacuation of old underground workings in deep wells or safety galleries. Application to railway tunnel of Meudon, FRANCE

Pierre GUERIN, *GEOS Ingénieurs Conseils, RUEIL-MALMAISON, France*

Stéphane CURTIL, *GEOS Ingénieurs Conseils, RUEIL-MALMAISON, France*

Elias HABCHI, *Ingérop, RUEIL-MALMAISON, France.*

1 Introduction

Le tunnel ferroviaire de Meudon en banlieue parisienne a été creusé en méthode traditionnelle entre 1898 et 1901. D'une longueur de 3363 m, il est utilisé quotidiennement par la ligne RER C pour le transport de plus de 75 000 personnes. Localisé entre les communes de Meudon et Chaville, il franchit une butte témoin sous une couverture moyenne de 85 m. Sa mise en sécurité vis-à-vis des conditions d'évacuation des usagers impose la création de 3 issues de secours, sans qu'il soit possible de conduire de travaux importants depuis le tunnel en service.

Deux principales solutions techniques ont été envisagées lors des études d'avant-projet :

- Réalisation de puits profonds de 40 et 90 m de profondeur et de galeries secondaires rejoignant des issues de secours et d'une galerie de sécurité de 800 m parallèle au tunnel existant.
- Réalisation d'un puit de 40 m de profondeur et d'une galerie de sécurité de 1600 m parallèle au tunnel existant.

2 Contexte géotechnique

Le projet est implanté au sein de la série tertiaire parisienne et de sa couverture quaternaire.

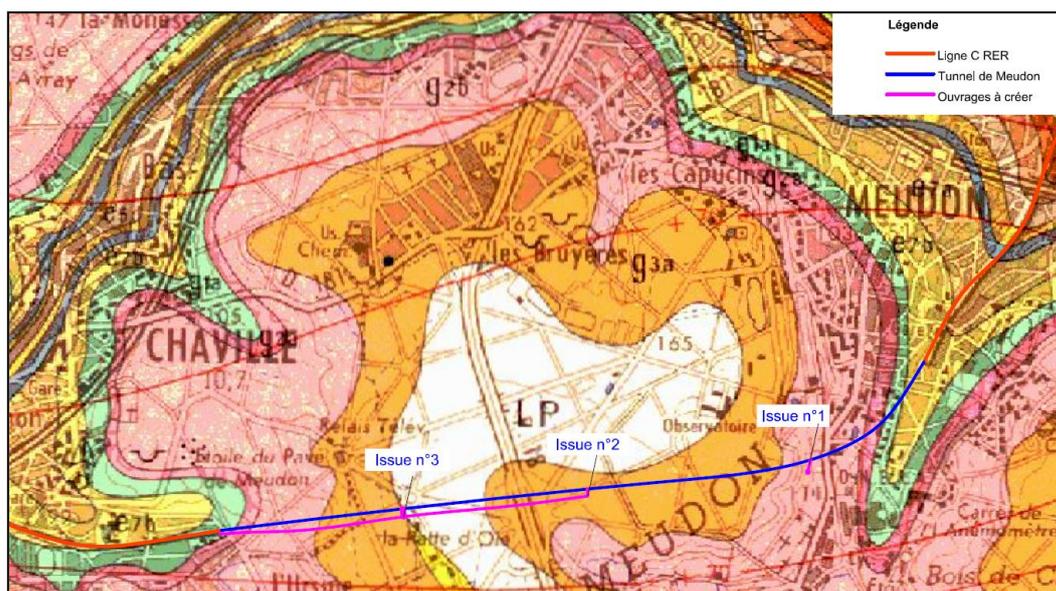


Figure 1. Tracé du tunnel et carte géologique

Table 1. Stratigraphie générale

Log Stratigraphique		Epaisseurs	Formations
<p>QUATERNAIRE</p> <p>BARTONNIEN</p> <p>LUTETIEN</p>	Remblais	0 à 1,5 m	R : Remblai / Terre végétale
	Calcaires à meulrières	0 à 5,5 m	g3a : Calcaire à meulrières
	Sables et grès de Fontainebleau	jusqu'à 60 m	g2b : Sables de Fontainebleau
		4 à 6 m	g2a : Marnes à huitres
	Marnes à Huitres	50 cm	g1b : Calcaire de Brie (très peu présent le long du tracé)
	Calcaires de Brie		
	Argiles vertes		
	Marnes supragypseuse	3 à 7 m	g1a : Marnes vertes
	Marnes et masses de gypse		
	Calcaire de St Ouen	~ 6,5 m	e7b : Marnes Supragypseuses
	Sable de Beauchamp	0,5 à 2,5 m	e7a : Masses et Marnes de Gypse
	Marnes et Caillasses	4 à 7 m	e6d : Calcaire de Saint Ouen
	Calcaire Grossier	~ 3,5 m	e6a : Sables de Beauchamp
4 à 8 m		e5d : Marnes et Caillasses	
12 à 14 m		e5c : Calcaire Grossier	

Le tunnel existant évolue entre les Marnes vertes et les Marnes et Caillasses sur l'ensemble du tracé.

Lors de sa construction, un effondrement s'est produit en partie centrale du tunnel. Les formations marneuses supportant la nappe des Sables de Fontainebleau étant d'épaisseur plus réduite à cet endroit, ont cédé sous la charge des matériaux sus-jacents, occasionnant ainsi un éboulement important. L'éboulement des sables fins très liquides (sable bouillant) s'est écoulé par des fissures à chaque extrémité de la zone et a envahi la galerie sur 100 m de longueur environ.

C'est dans ce contexte que les deux solutions techniques ont été étudiées :

- Faisabilité des puits traversant toute la série géologique ;
- Faisabilité d'une galerie parallèle ;

3 Faisabilité des puits

3.1 Géométrie

Les puits d'une profondeur de 40 et 90 m de profondeur, ont un diamètre intérieur de 8 m.

3.2 Principe de construction

3.2.1 Puits 40 m

Le puits de 40m de profondeur est un ouvrage présentant des dimensions compatibles avec les techniques de soutènement par paroi moulée. Cette solution est, dans le contexte de sables fins sous nappe, la mieux adaptée pour garantir la faisabilité et la sécurité du chantier.

La réalisation d'un puits de 40 m ne pose donc pas de réelles difficultés.

3.2.2 Puits 90 m

Le puits de 90 m de profondeur nécessite également la mise en œuvre de cette technique mais il n'y a encore que peu de références pour des parois moulées de cette profondeur. Il a donc été étudié la mise en œuvre d'une paroi moulée de 65 m de profondeur permettant de franchir les Sables de Fontainebleau puis de terminer le puits en creusement traditionnel (cintre et blindage).

La réalisation du puits de 90 m est donc possible mais présente des risques associés importants car cette solution est également liée à la solution de galerie parallèle de 800 m à réaliser en méthode traditionnelle avec un unique accès par le puits. Ceci impose donc la réalisation d'une zone élargie à la base du puits pour les besoins du chantier (circulation, stockage matériaux et marin) et un phasage très contraint compte tenu des accès réduits.

Cette solution bien qu'elle permette d'avoir un minimum de travaux en souterrains en termes de linéaire n'a pas été retenue compte tenu des risques importants. Le choix s'est donc porté sur la galerie de sécurité de 1600 m réalisée au tunnelier parallèlement au tunnel existant.

4 Galerie

4.1 Géométrie

La galerie de sécurité parallèle au tunnel existant est implantée à une distance de 30 m de l'extrados du tunnel existant pour limiter les effets du déconfinement des terrains lors du creusement.

La galerie doit avoir une section utile minimale de 2,4 m de largeur sur 2,25 m de hauteur.

En fonction de la zone (galerie ou rameau), les sections minimales possibles sont les suivantes :

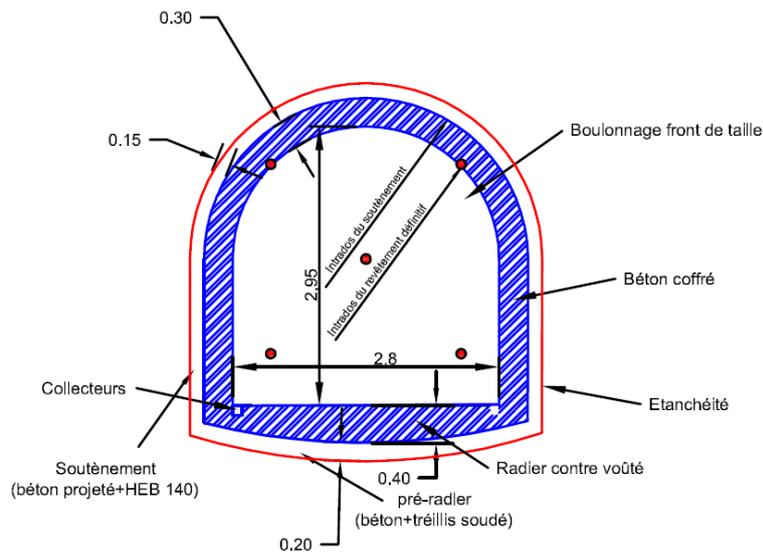


Figure 2. Coupe rameau – méthode traditionnelle

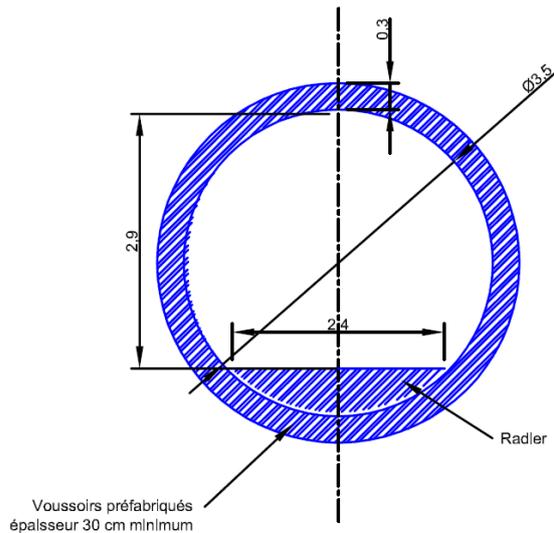


Figure 3. Coupe galerie – tunnelier

4.2 Principe de construction

Deux solutions sont possibles :

- Creusement en méthode traditionnelle
- Creusement au tunnelier

4.2.1 Creusement en méthode traditionnelle

Cette solution a été retenue pour la réalisation des rameaux de connexion entre la galerie de sécurité et le tunnel existant. Elle représente un faible linéaire (un peu plus de 100m au total).

4.2.2 Creusement au tunnelier

Cette solution a été retenue pour la galerie parallèle au tunnel car elle est bien adaptée au contexte géotechnique. Un points singulier a nécessité une étude spécifique : la connexion galerie/rameau.

4.2.3 Point singulier - Connexion galerie/rameau

La galerie réalisée au tunnelier et le rameau de jonction présentent des gabarits comparables. Cette particularité géométrique nécessite la mise en œuvre d'un confortement important préalablement au percement des voussoirs.

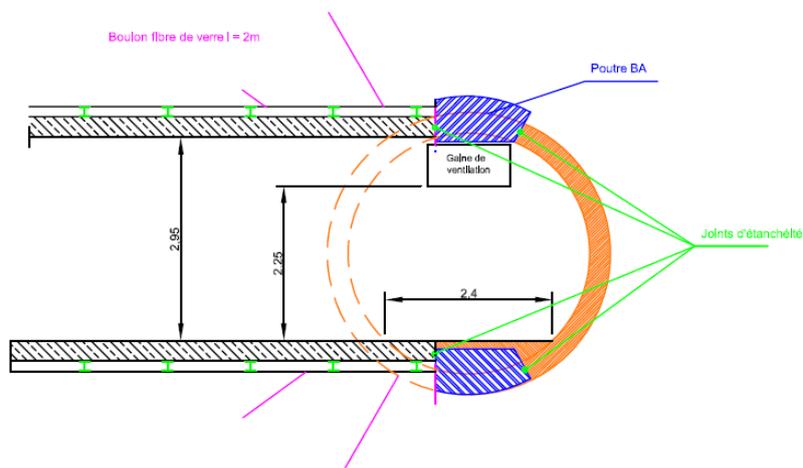


Figure 4. Principe de confortement de la connexion galerie/rameau

Deux poutres linteau sont envisagées au-dessus et en dessous de l'ouverture. Ces linteaux permettent de faire transiter l'effort de compression de l'anneau de part et d'autre du percement. Le report d'appui se fait de chaque côté, sur les deux anneaux de voussoirs restés intacts.

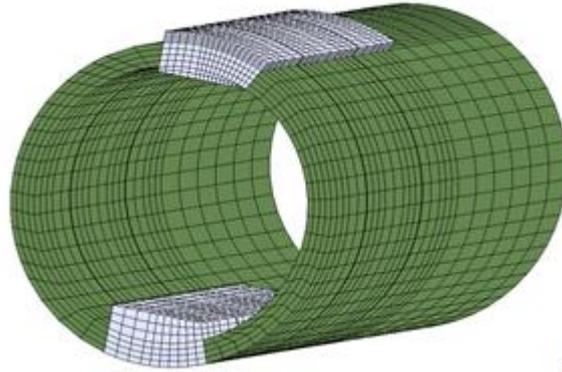


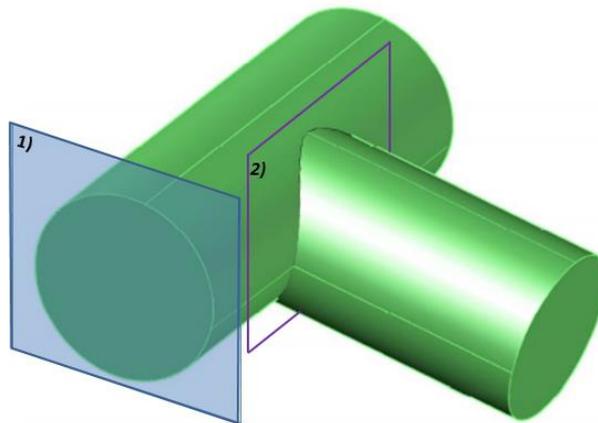
Figure 5. Vue en plan de la jonction rameau / galerie

Un modèle 3D aux éléments finis a été réalisé afin de vérifier le comportement des ouvrages dimensionnés selon des modèles simplifiés en 2D.

Une des vérifications a porté sur l'augmentation de contrainte verticale au niveau des reins du tunnel suite au creusement du rameau.

La réalisation d'un rameau latéral modifie l'état de contrainte autour de l'ouverture de la galerie principale.

G. Kirsh a développé des formules permettant de déterminer les contraintes autour d'une ouverture circulaire en faisant l'hypothèse de déformations planes en élastique. Afin de traduire la concentration de contraintes autour du carrefour, il est possible d'appliquer successivement ces formules et de déterminer un K_0 et un poids volumique équivalent.



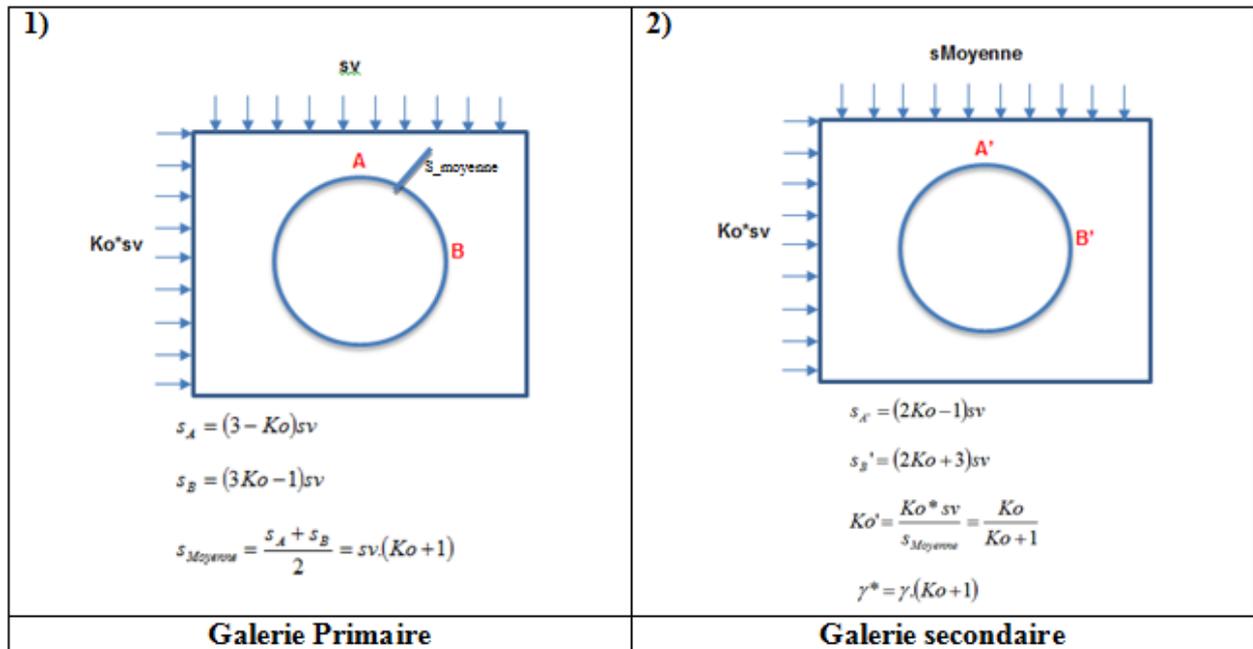


Figure 6. Distribution de contraintes au niveau de la carrure, proposition Kirsch

La contrainte verticale appliquée sur la galerie secondaire est égale à la contrainte moyenne de la galerie primaire.

Pour un creusement dans les Calcaires de St-Ouen, on obtient :

$$\sigma_v^* = 1,71 \times \sigma_v = \mathbf{2,78 \text{ MPa.}}$$

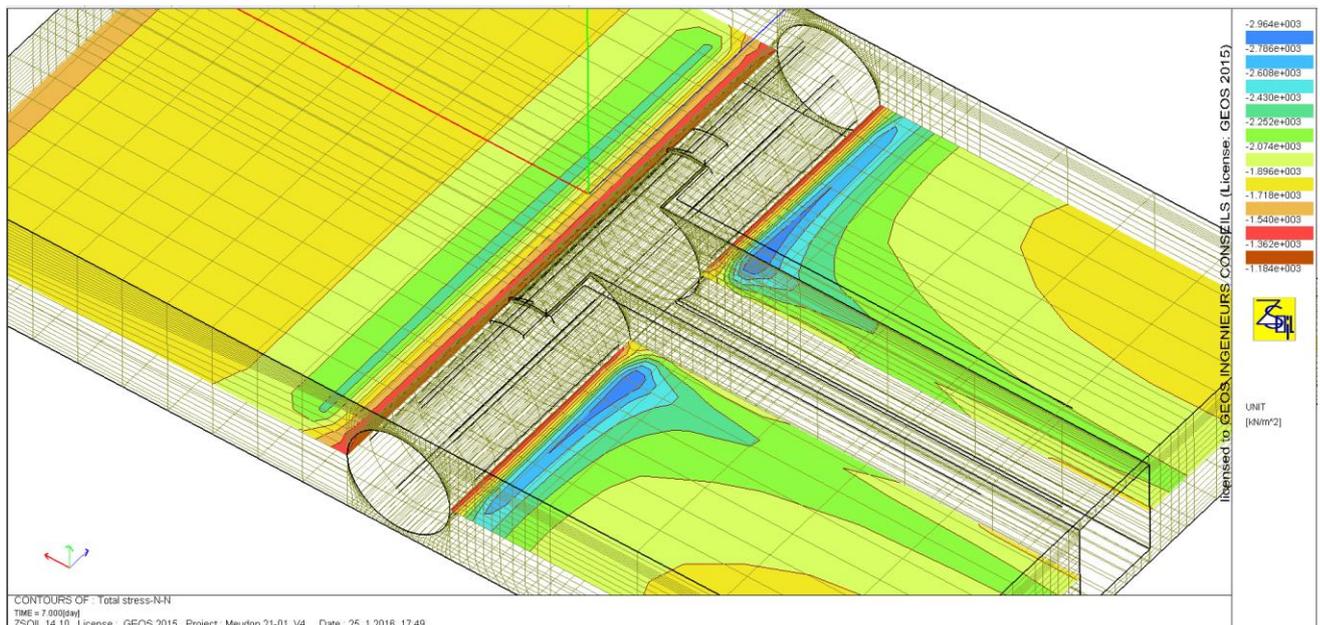


Figure 7. Coupe contraintes verticales après percement du rameau latéral modèle 3D

Le modèle 3D donne une contrainte verticale en rein de **2,96 MPa** soit une valeur proche du résultat du modèle analytique.

Le modèle 3D a permis également de vérifier les efforts dans les poutres de renforcement mises en place.

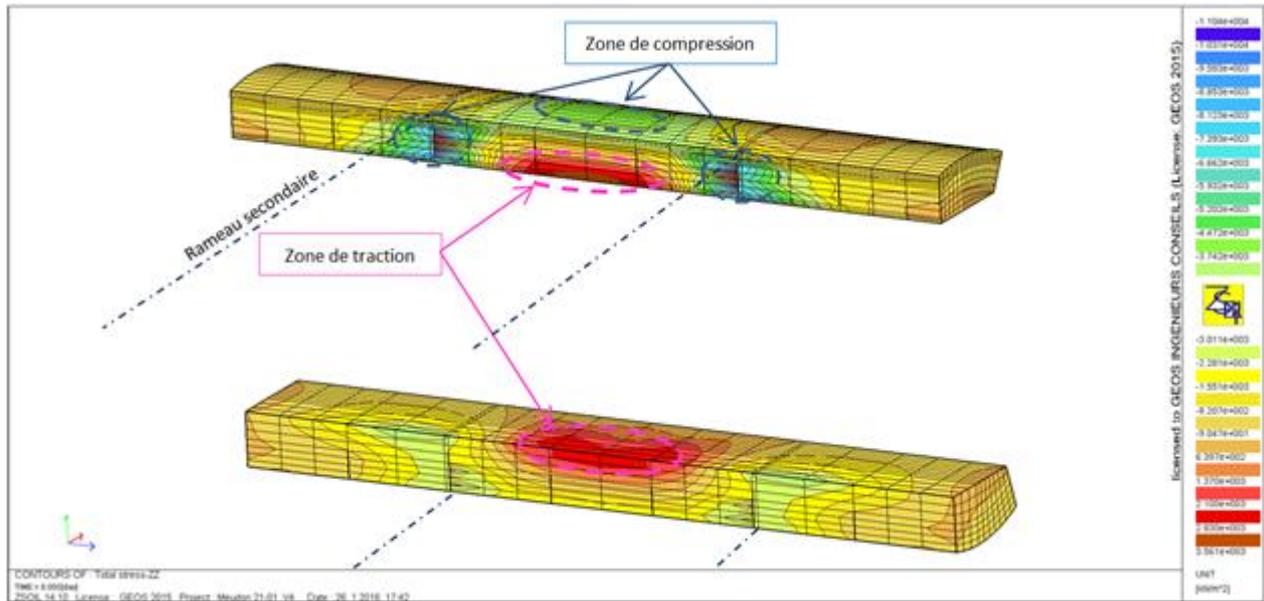


Figure 8. Contraintes dans les poutres linteau -Vue depuis le rameau secondaire

Les contraintes de compression de l'ordre de 11 MPa et de traction de l'ordre de 4 MPa sont mesurées ce qui compatible avec la classe de béton prévue.

5 Equipements

Les équipements de sécurité doivent être intégrés à la conception dès le départ afin de définir la section minimale de la structure.

En effet, ce point a été contraignant pour la structure dans deux zones :

- Zone de renforcement par poutres au niveau de la connexion galerie/rameau : il a fallu adaptée la taille des poutres et la forme de la gaine de ventilation pour garantir la structure et la section minimale de la gaine de ventilation.
- Local technique dans le rameau à mi-galerie : une augmentation de section du rameau a été nécessaire pour permettre l'installation d'un local technique pour l'alimentation électrique des équipements.

Il est donc important d'identifier les besoins en équipements le plus tôt possible pour prévoir une structure capable de les recevoir.

6 Conclusion

Le contexte géotechnique profond (plus de 80 m de couverture) ne permet pas de réaliser dans de bonnes conditions une galerie de faible section en méthode traditionnelle à partir d'un puits d'accès.

Il a donc été retenu la réalisation d'une galerie parallèle plus longue (1600 m au lieu de 800 m) mais ne nécessitant pas de puits d'accès profond. Le départ de cette galerie se fait depuis la tête du tunnel côté Chaville dans le talus SNCF qui sera aménagé pour permettre les travaux. Par ailleurs, cette solution associée à un creusement au tunnelier permet de réduire les risques en termes de sécurité sur le chantier.



D'un point de vue technique, les modélisations simplifiées (modèle 2D ou analytique) permettent de réaliser la majeure partie du dimensionnement. La modélisation 3D permet de vérifier les comportements sur des points singuliers tels que les connexions galerie/rameau.

7 References

Kirsch G. Veit Ver Deut Ing 1898. « Die theorie der elastizitat und die bedurfnisse der festigkeitslehre.