

CONSTRUCTION DE LA GALERIE HYDRAULIQUE DE CHOULLY ENTRE LA FRANCE ET LA SUISSE

CONSTRUCTION OF THE HYDRAULIC GALLERY OF CHOULLY BETWEEN FRANCE AND SWITZERLAND

Marc FAVRE, GEOS Ingénieurs Conseils, France, marc.favre@geos.fr

Jean-Noël LASFARGUE, CSM BESSAC, France, jean-noel.lasfargue@csmbessac.com

Christophe JASSIONNESSE, GEOS Ingénieurs Conseils, France, christophe.jassionnesse@geos.fr

1. INTRODUCTION

Le programme d'assainissement des eaux usées et pluviales de la Communauté de Communes du Pays de Gex (CCPG), dans l'Ain, près de la frontière suisse, comprend le transfert des eaux des bassins d'assainissement des rivières l'Allondon et le Journans (sur le territoire français) en vue de leur traitement, à la nouvelle Station d'Épuration du Bois-de-Bay, située en territoire suisse. Cette opération a été rendue possible par la très forte augmentation de capacité de la nouvelle STEP, implantée dans la zone industrielle du Bois-de-Bay, en remplacement de l'ancienne STEP du Nant d'Avril.

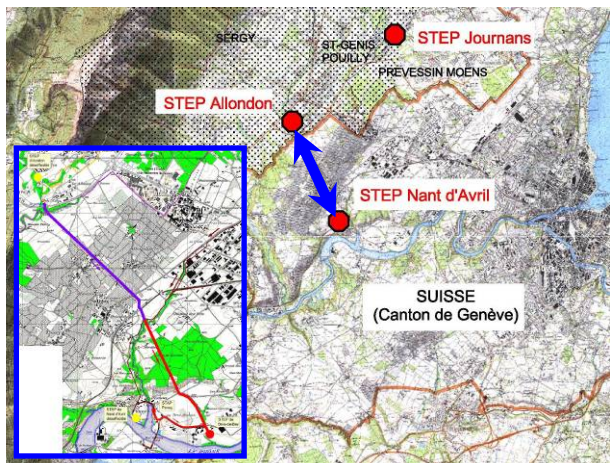


Figure 1 : Plan de situation

Cette opération impliquant une réorganisation coordonnée et cohérente des réseaux d'amenée des eaux, tant sur territoire français que sur territoire suisse, a conduit les autorités locales au lancement de plusieurs projets :

- Sur territoire français, la réalisation de nouveaux collecteurs intercepteurs.
- Sur territoire suisse, la construction du réseau de raccordement « Galerie de Merdisel » acheminant les eaux à traiter jusqu'à l'entrée de la STEP,
- Entre la France et la Suisse, la construction du réseau de raccordement reprenant les eaux usées et pluviales françaises, notamment par une galerie construite sous la colline de Chouilly, jusqu'au collecteur primaire du Nant d'Avril (en Suisse).

Le présent article traite de la réalisation de ce dernier projet, de 2007 à 2010 et particulièrement de la galerie dite « de Chouilly ».

2. DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Le contexte transfrontalier

Dans la nécessité de construire un ouvrage situé sur les territoires français et suisse, financé par des fonds publics français, il a été nécessaire de créer une entité juridique, appelée Groupement Local de Coopération Transfrontalière (GLCT) qui puisse assurer le rôle de Maître d'Ouvrage. Il s'agit d'un organisme regroupant un Maître d'Ouvrage français, la CCPG et un Maître d'Ouvrage suisse, le Département du Territoire de Genève. Le GLCT, dont le siège est en France, est une personne morale qui est soumise au droit applicable aux établissements publics de coopération intercommunale français.

En cohérence avec le caractère transfrontalier du projet, les marchés publics de maîtrise d'œuvre et de travaux ont été attribués successivement à des groupements franco-suisse :

- le groupement GEOS (France & Suisse) – BABEL (CH) – ECOSERVICES (CH) – ZANINI-BAECHLI (CH) – PASCHOUD-NOVITEC (CH) pour la maîtrise d'œuvre,
- le groupement CSM BESSAC (FR) – IMPLLENIA (CH) pour les travaux

Aspect délicat du projet, la gestion transfrontalière, a concerné notamment le droit du travail, les réglementations fiscales et douanières très contraignantes et certains aspects du droit environnemental, sans omettre le recalage indispensable des systèmes de nivellement utilisés de part et d'autre de la frontière.

2.2 Les fonctionnalités

La galerie de raccordement a pour objectif d'acheminer les eaux usées (réseau pseudo-séparatif) des bassins d'assainissement de l'Allondon et du Journans jusqu'au collecteur primaire existant de Nant d'Avril. En raison des conditions topographiques, cette galerie est construite en souterrain sur une grande partie du tracé.

En temps de pluie, l'ouvrage sert de rétention afin, d'une part de réduire les déversements d'orage à l'Allondon et au Lion, d'autre part de régulariser/optimiser le débit de raccordement à la galerie « Merdisel » et à la station d'épuration de Bois-de-Bay. Le volume utile de rétention est d'environ 10 000 m³. Le débit admissible au point de raccordement sur le réseau de raccordement « Merdisel »

a été fixé à 1 000 l/s, soit le double du débit de pointe par temps sec (EU).

2.3 Les ouvrages de régulation

2.3.1 L'ouvrage d'entrée 114

L'ouvrage d'entrée est situé à l'amont de la galerie de raccordement / rétention. Il comprend un déversoir (surverse) de sécurité équipé de clapets anti-retour permettant d'éviter, lors des crues de l'Allondon, l'engouffrement de la rivière dans la galerie. Une vanne permet de limiter le débit entrant dans la galerie lors des visites et en cas d'entretien. Il est équipé d'un dessableur.

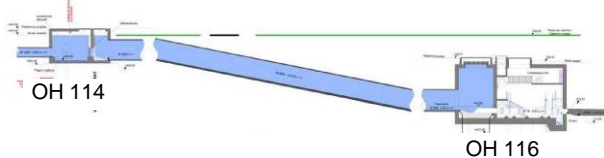


Figure 2 : Fonctionnement en charge – stockage des eaux pluviales

2.3.2 L'ouvrage de régulation 116

L'installation de régulation est destinée à limiter le débit à la sortie de l'ouvrage de raccordement/rétention. Le système est conçu et dimensionné de manière à réguler le débit de sortie à $Q_s = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (réglable en temps réel), quelle que soit la charge en amont (jusqu'à env. 12 m).

2.4 La conception de la galerie de raccordement

2.4.1 Le projet

Le projet prévoyait la réalisation de la galerie de raccordement en quatre tronçons, selon les caractéristiques fonctionnelles et le contexte géologique et topographique (voir § 3) :

- A partir de l'ouvrage d'entrée 114 situé en France, un tronçon en diamètre $\varnothing 1,50 \text{ m}$, sur une longueur de 230 m réalisé par un micro-tunnelier. Ce tronçon franchit en souterrain une voie rapide, la RD 984, puis la frontière sous le ruisseau du Nant de l'Ecras, avec une faible couverture de quelques mètres. En raison du faible diamètre utile, deux puits de visite, dont le puits 115, situé en Suisse à l'extrémité du tronçon, de profondeur et de diamètre conséquents, étaient prévus.



Figure 3 : Le tracé de la galerie de raccordement

- A partir de l'ouvrage de régulation 116 situé en Suisse vers l'ouvrage d'entrée 114, une galerie en section « fer-à-cheval » de longueur 100 m, de largeur utile 2,50 m, franchissant en souterrain la Route du Mandement, jusqu'à atteindre le substratum molassique avec une couverture suffisante.

- A la suite du précédent jusqu'au puits 115, un tronçon de 2030 m, en diamètre utile $\varnothing 2,50 \text{ m}$, réalisé au tunnelier, avec mise en œuvre d'un revêtement étanche par anneau de voussoirs préfabriqués en béton armé.

- A partir de l'ouvrage de régulation 116 vers l'ouvrage de raccordement sur le réseau suisse (ouvrage 200), une conduite de diamètre 1,00 m, posée en tranchée, de longueur 590 m. Ce tronçon nécessite le franchissement d'une ligne ferroviaire par fonçage au microtunnelier.

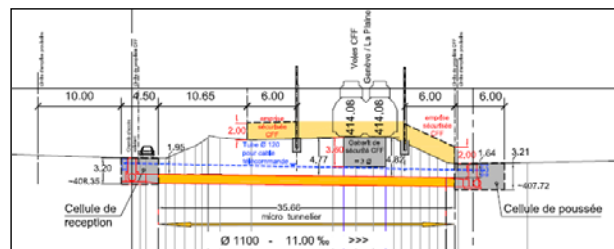


Figure 4 : Fonçage sous la voie ferrée à Satigny

Au total, la galerie de raccordement entre l'ouvrage d'entrée 114 et l'ouvrage de régulation 116 a une longueur de 2350 m environ. Le profil en long présente une pente constante à 3 :1000 pour un dénivelé total de 7 m.

Sous l'aspect fonctionnel, la section circulaire de la galerie $\varnothing 2,50 \text{ m}$ est aménagée, avec une cunette d'écoulement du débit "temps sec" et un trottoir.

Sous l'aspect structurel, l'anneau de voussoirs emboîtés est complété par un boulonnage entre voussoirs afin de garantir l'étanchéité, sur les tronçons soumis à une forte charge hydraulique comme à l'amont de l'ouvrage de régulation, ou au contraire, soumis à une faible charge de terrain, comme à l'aval de l'ouvrage 114.

2.4.2 La variante retenue

Après analyse des contraintes géométriques, géotechniques et environnementales du chantier, et notamment le passage sous faible couverture du Nant de l'Ecras, le groupement CSM BESSAC-IMPLENIA a proposé la réalisation en tracé direct et en attaque descendante entre l'ouvrage 114 et l'ouvrage 116, d'une galerie unique en diamètre $\varnothing 2,50 \text{ m}$ creusée par un tunnelier fermé à attaque ponctuelle et confinement par air comprimé associé à un revêtement en voussoirs BA. En effet, le choix de cette variante, en rendant l'ouvrage entièrement visitable entre l'ouvrage d'entrée 114 et l'ouvrage de régulation 116 permet de s'affranchir de la réalisation des puits intermédiaires sur le tronçon prévu au microtunnelier.

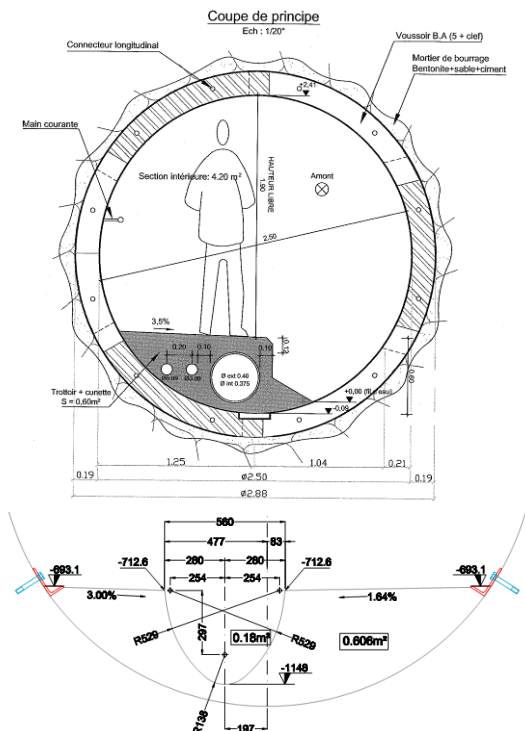


Figure 5 : Profil en travers du projet de la galerie Ø 2,50 m et adaptation du profil de cunette à l'exécution

Par ailleurs, le choix du confinement permet de franchir les zones de terrains superficiels (moraines würmiennes) sous le niveau de la nappe phréatique ou en présence de circulation d'eau et de limiter les tassements sous les voiries traversées.

La réalisation d'une amorce en méthode traditionnelle à l'amont de l'ouvrage 116 a ainsi pu être évitée. La suite de l'article présente les conditions de réalisation de la galerie Ø 2,50 m entre l'ouvrage d'entrée et l'ouvrage de régulation.

3. LE CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

3.1 Un contexte géologique simple

Dans le bassin genevois, les calcaires d'âge secondaires qui forment le Jura, disparaissent sous de'épaisses formations tertiaires, connues sous le nom de "molasses". Il s'agit, dans le cas présent, de la molasse dite "Molasse Rouge" du Chattien Inférieur qui trouve son origine dans le dépôt en milieu pérideltaïque de matériaux arrachés par l'érosion aux Alpes en formation. La molasse forme des rides anticlinaux qui se marquent dans le relief, par des coteaux en pente douce, orientés parallèlement au Jura. Elle a été affectée par les glaciations quaternaires qui y ont creusé des sillons, comblés par des moraines de fond puis par des formations "de retrait", déposées lors de la fonte des derniers glaciers würmiens. Le projet s'inscrit de part et d'autre du coteau de Chouilly (alt. 480 m) qui constitue une partie de la ride molassique de direction SW-NE qui s'étend de Challex au sud, à Ornex au nord, en passant par le site "Meyrin" du CERN. Cette ride est délimitée par deux

sillons d'érosion quaternaire, celui de l'Allondon côté Jura (alt. 425 m) et celui du Nant-d'Avril côté Rhône (alt. 400 m). Ce coteau est empâté d'une moraine limono-argileuse würmienne qui repose directement sur la molasse. De part et d'autre de celui-ci, la moraine plonge avec la molasse et disparaît sous des formations de retrait représentées principalement par des limons argileux et des placages graveleux superficiels.

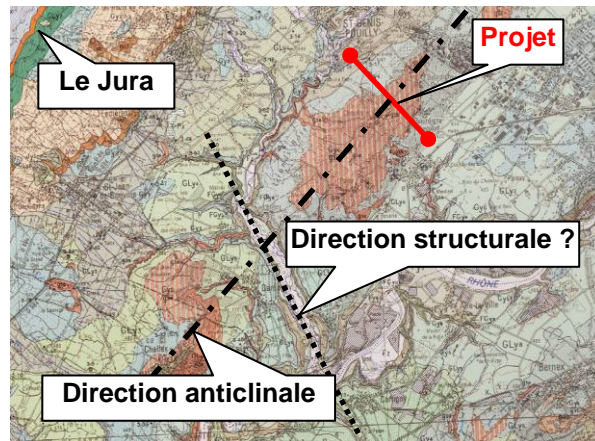


Figure 6 : Extrait de la carte géologique

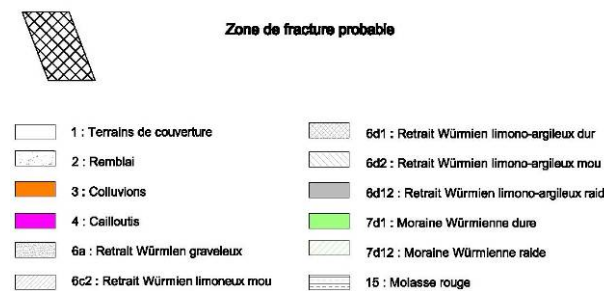
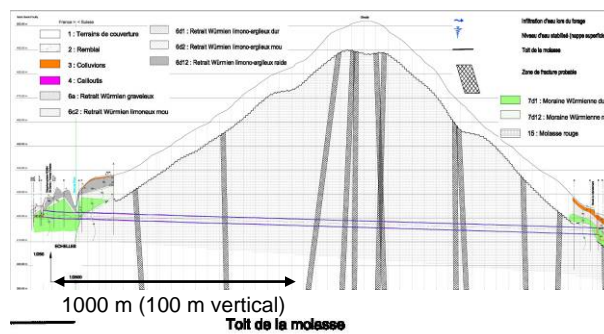


Figure 7 : Profil en géologique

Des accidents tectoniques secondaires de faible ampleur, de direction SSE-NNW parallèle à la faille majeure du Vuache et au cours aval de l'Allondon, peuvent affecter la ride molassique. Par ailleurs, des phénomènes artésiens au sommet de la colline de Chouilly ayant été constatés sur un chantier voisin, une campagne de mesures géophysiques profondes (technique dite "hybride") a été réalisée sur l'axe du projet. Des zones de fractures probables ont été identifiées mais n'ont pas été clairement relevées au cours du creusement.

3.2 Le contexte hydrogéologique

A l'extrémité amont du projet, une nappe superficielle circule dans les alluvions graveleuses de l'Allondon, en relation avec la rivière.

A l'extrémité aval du projet, les sondages réalisés en pied de coteau, avaient rencontré vers 5-6 m de profondeur, des limons saturés et aquifères. Ces limons pouvaient être en charge avec des niveaux piézométriques pouvant monter jusqu'à -1 à -2 m sous le terrain naturel.

Toutefois, même si des venues d'eau non négligeables ont été constatées durant les travaux de l'ouvrage 116, les limons rencontrés ne présentaient pas le caractère « fluent » qui était envisagé. En revanche, sur le reste du tracé, la molasse présente une très faible perméabilité et n'est pas le siège d'un aquifère même si elle est globalement saturée. Toutefois, des infiltrations dans la partie superficielle, en relation avec des fissures verticales étaient attendues et furent effectivement rencontrées à l'extrémité aval du projet. Par ailleurs, des suintements en profondeur via les grès poreux, associés à des hydrocarbures, étaient envisagés mais ne furent heureusement pas constatés.

3.3 La caractérisation de la molasse

La molasse est caractérisée par un ensemble de faciès rocheux plus ou moins tendres, variant d'un "type" argilo-marneux à un "type" sablo-gréseux, et comprenant tous les faciès intermédiaires avec une succession d'horizons de faciès différents, plus ou moins contrastés et une absence apparente de périodicité et de continuité latérale des différents faciès. Un indice de fracturation du massif rocheux de type RQD, dont les valeurs en sondages sont généralement supérieures à 75%, n'étant pas représentatif compte tenu de la "plasticité" des faciès argilo-marneux, une classification par faciès de la molasse a été retenue pour le projet, à partir d'une classification utilisée pour des projets de travaux souterrains dans la molasse régionale et notamment sur les ouvrages du CERN. Elle retient trois classes de molasses : mG (molasse gréseuse) ; mMG (molasse marno-gréseuse) ; mM (molasse marneuse).



Figure 8 : Différents faciès de molasse en sondage

Une analyse statistique de la succession des différents faciès reconnus en sondages est présentée dans les tableaux suivants :




Classe de faciès	Fraction volumique (%)	Épaisseur des bancs (mètres)
mG	27	1,0
mMG	43	1,2
mM	30	0,9

Séquence	Occurrence des séquences (%)
mG/mMG & mMG/mG	40
mG/mM & mM/mG	25
mMG/mM & mM/mMG	35

Cette analyse met en évidence la prédominance des faciès intermédiaires avec une distribution normale des faciès autour d'un type intermédiaire et prédominance des séquences d'évolution progressive des faciès, mG à mMG, mMG à mM. Elle a permis de définir une série "type" de 20 mètres considérée comme une "période" pour la succession des différents faciès :



Légende :

	mG
	mMG
	mM

Les différents faciès présentent des caractéristiques mécaniques différentes :

Classe de faciès	Résistance à la compression simple R_c (MPa)	Résistance à la traction R_{tb} (MPa)	Module de déformation au dilatomètre E_{dr} (MPa)
mG	13,0	0,5	4000
mMG	6,0	0,4	2000
mM	1,8	0,2	1000

3.4 Etat de contraintes dans le massif

Des études antérieures avaient mentionné la possibilité de rencontrer un état de contraintes "anormal" dans le massif, à savoir l'existence de contraintes horizontales élevées, supérieures à la composante verticale gravitaire, comme il avait été observé lors du creusement des ouvrages du CERN. Mais, compte tenu de la forme circulaire, du petit diamètre de la galerie et du mode de revêtement, aucun phénomène "anormal" n'a été relevé.

3.5 Prise en compte du potentiel de gonflement de la molasse

Suivant les résultats d'essais réalisés, les faciès marneux de la molasse présentent un potentiel de gonflement important :

Classe de faciès	Pression de gonflement (kPa)	Indice de gonflement (%)
mG	-	-
mMG	3000	1.0
mM	400	3.1

Le risque de gonflement de certains niveaux de molasse sous l'effet de son hydratation a donc été pris en compte pour le dimensionnement du revê-

tement. En supposant que le gonflement de la molasse devrait être limité à la partie inférieure du périmètre de l'ouvrage et que l'épaisseur de la couche de molasse hydratée devrait être limitée à quelques décimètres, la pression réellement exercée sur l'ouvrage résulte de l'interaction entre d'une part le gonflement et d'autre part la déformation de l'ouvrage et de son encaissant.

Comme l'indique le graphe ci-dessous, la pression résultant de l'interaction varie de 250 kPa, pour une couche gonflante de 0,5 m à faible potentiel de gonflement dans un massif encaissant déformable à 1500 kPa pour une couche gonflante de 1,5 m à fort potentiel de gonflement dans un massif encaissant raide.

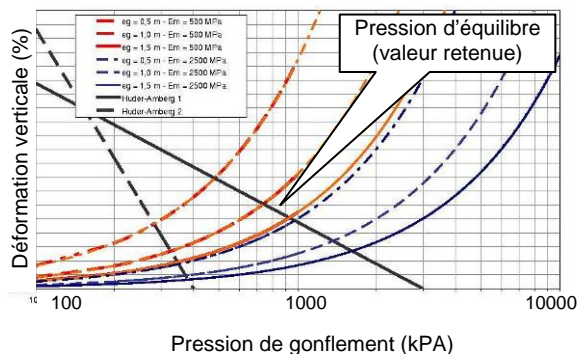


Figure 9 : Graphe d'interaction

Une valeur caractéristique de pression de gonflement, appliquée en partie inférieure de l'ouvrage, de 700 kPa a été retenue pour le projet.

3.6 Les incertitudes restantes au démarrage du creusement

Les dernières incertitudes restantes au démarrage du projet concernaient essentiellement les extrémités amont et aval du tracé. A l'amont, la nature et l'épaisseur précise de la couverture au passage sous le ruisseau frontalier du Nant de L'Ecras ainsi que la position du toit de la molasse, souvent irrégulier, pouvait avoir des conséquences sur le réglage du confinement et le choix des outils pour le franchissement des terrains morainiques. Il était alors prévu de changer l'outil d'abattage ponctuel, en passant du terrassement au godet dans les moraines à la fraise dans les molasses. A l'aval, la géométrie du toit de la molasse restait également relativement imprécise. Dans la molasse, l'incertitude principale restait la rencontre possible de traces d'hydrocarbures qui justifiait un suivi continu et un traitement approprié des déblais. La rencontre de zones faillées, potentiellement aquifères, étaient également incertaine.

4. LE CREUSEMENT DE LA GALERIE

4.1 Le tunnelier

Le creusement de la galerie a été effectué par un tunnelier construit par CSM BESSAC.

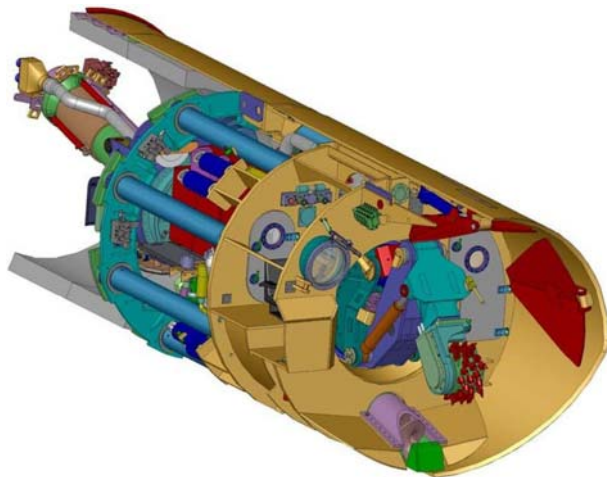


Figure 10 : Vue éclatée et tête du tunnelier

Ces principales caractéristiques sont décrites ci-dessous :

Ø extérieur bouclier :	3,06 m
Longueur hors tout :	9,14 m
Masse totale :	63 tonnes
Pression max. de confinement :	2,5 bars (air comprimé)
Sas double intégré	volume = 3 m ³
Étanchéité de jupe:	3 rangées de brosses
Obturation du front :	3 volets métalliques
Mode opératoire :	machine ponctuelle
Abattage :	bras compas télescopique à rotation totale
Outil d'abattage :	godet ou fraise (130 kW)
Poussée maxi :	10 000 kN (8 vérins)
Course des vérins :	1 800 mm
Convoyeur à vis :	Ø 425 mm L= 8,1 m capacité 70 m ³ /h
Érecteur :	central avec préhension des voussoirs par le vide
Puissance totale :	220 kW

Le train suiveur du tunnelier comprenait 7 remorques pour une longueur totale de 37 mètres. Les principaux équipements présents sur ce train, tracté par le tunnelier, sont un tapis convoyeur des déblais entre la sortie de la vis du tunnelier et le train

de marinage, une rampe motorisée pour l'approvisionnement des voussoirs vers l'érecteur, une pompe d'injection du mortier de blocage, les dispositifs automatiques pour le graissage des organes mécaniques et le mastic d'étanchéité du joint de jupe, les dispositifs de régulation de l'air de confinement, les enrouleurs de câbles. Compte tenu de la longueur importante de la galerie, 2 trains de marinage ont été utilisés pour l'évacuation des déblais et l'approvisionnement en voussoirs et mortier d'injection. Ils se croisaient dans le puits de départ. Ils étaient composés d'une loco électrique, de 4 bennes à déblais de 4 m³, et de 3 remorques pour le transport du personnel, du mortier d'injection et des voussoirs pour une longueur totale de 35 mètres. Cette longueur importante a déterminé la longueur du puits de départ.

4.2 Le revêtement de la galerie

Le revêtement définitif, posé dans le tunnelier, est constitué d'anneaux de voussoirs en béton armé d'épaisseur 19 cm, préfabriqués en usine et livrés par transport routier sur le chantier. Les voussoirs étaient de type universel à joncs, en 5 éléments + 1 clef par anneau.



Figure 11 : Vue d'un voussoir en usine

La longueur de l'anneau était de 1200 mm. Les voussoirs étaient équipés de joints d'étanchéité «Phoenix» en élastomère.



Figure 12 : Vue intérieure du revêtement en place

A l'intérieur de la section, après le percement de la galerie, une cunette hydraulique a été coulée à l'aide d'un coffrage glissant, de l'aval vers l'amont.



Figure 13 : Vue intérieure de la galerie terminée

4.3 Les puits d'entrée (114) et de sortie (116)

Les deux puits ont été réalisés avec un soutènement en paroi clouée et parement en béton projeté. Le puits de départ, côté France, a une longueur de 40 mètres, une largeur de 6 mètres et une profondeur de 6 mètres.

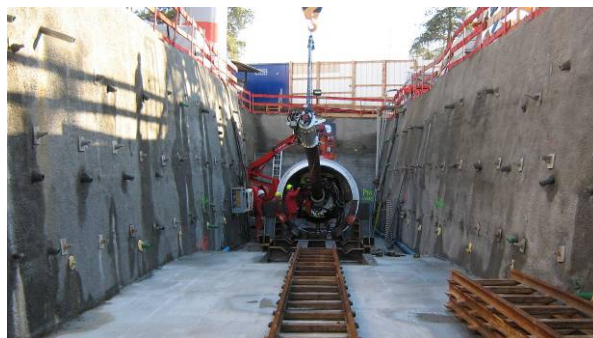


Figure 14 : Montage du tunnelier dans le puits de départ

Il est situé à proximité d'un cours d'eau, à l'emplacement d'un ouvrage d'assainissement hors service et en bordure d'une voie rapide, la RD984, sur la commune de Saint-Genis-Pouilly. La faible couverture de l'ouvrage, au démarrage, a permis de faire un puits de grande longueur, apte à recevoir deux trains de marinage longs, compatibles avec la forte longueur de la galerie. L'accès routier au chantier a nécessité la réalisation d'une piste afin d'accéder à l'échangeur de la RD984, à laquelle tout accès direct était interdit.



Figure 15 : L'ouvrage 116 dans le puits de sortie

Le puits de sortie, côté Suisse, est situé dans le vignoble genevois, en contrebas de la route cantonale du Mandement, sur la commune de Satigny. Ses dimensions sont de 30 mètres de long, 12 mètres de largeur et 14 m de profondeur maximale. Ces dimensions étaient nécessaires pour la réalisation de l'ouvrage de régulation.

4.4 Le déroulement des travaux

Le tunnelier, livré sur le chantier en décembre 2007, a démarré le creusement fin janvier 2008. Les tassements au passage sous la RD984, suivis par un système automatique de mesure sur cibles au théodolite de type SOLDATA, ont été limités à quelques millimètres. La traversée des terrains morainiques et le passage sous le Nant de L'Ecras, sous confinement d'air, n'ont pas engendré de venues d'eau notables, mis à part quelques suintements. L'entrée dans la molasse a été très progressive, avec des récurrences de passages morainiques, sur près de 100 mètres.

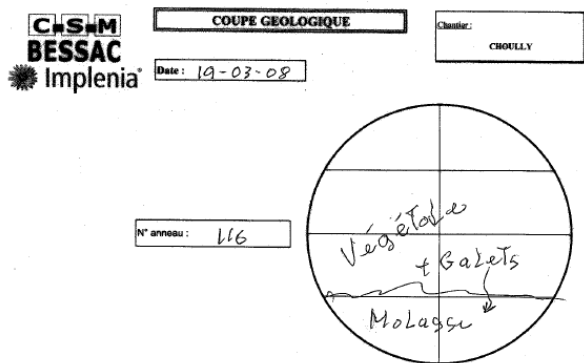


Figure 16 : Exemple de relevé sommaire du front à l'entrée dans la molasse

La vitesse d'avancement a alors atteint son « régime de croisière » de 8 mètres par jour, pour 3 postes de 8 h, au bout de 2 mois, comme le montre le diagramme ci-dessous :

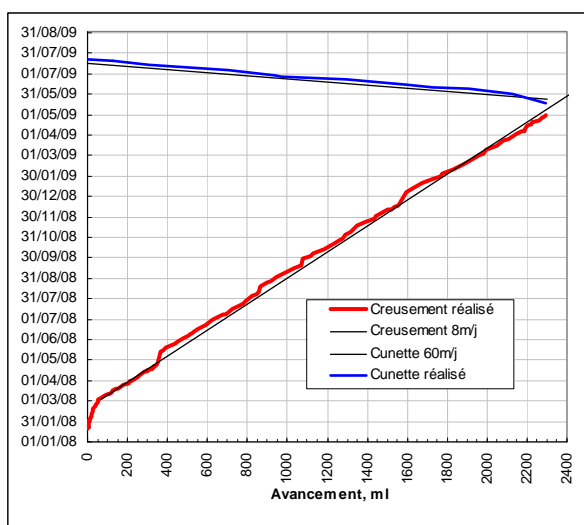


Figure 17 : Diagramme d'avancement du tunnelier

Lors de la traversée de la molasse, un adaptation de la ventilation de dépoussiérage a été rendue nécessaire par l'extrême volatilité des matériaux généralement secs et excavés à la fraise. Un sys-

tème de pulvérisation d'eau au front de taille a également été utilisé.



Figure 18 : Excavation à la fraise dans la molasse

Le franchissement des zones potentiellement fracturées identifiées par les mesures géophysiques n'ont pas engendré de difficultés particulières, sauf à l'extrémité aval où le réseau de fractures a été mis en communication avec un sondage non rebouché (voir photo ci-après), ce qui n'a entraîné toutefois aucune difficulté particulière pour le tunnelier, ni de désordres significatifs.



Figure 19 : Fuite d'air comprimé par un trou de sondage

Le percement de la galerie a eu lieu le 30 avril 2009. Les travaux de bétonnage de la cunette en galerie furent achevés fin juillet 2007, 18 mois après le démarrage du percement.



Figure 20 : Percement de la galerie de Chouilly

5. CONCLUSIONS

L'ensemble de l'opération « Galerie de Chouilly et ouvrages annexes » s'est achevée fin avril 2010 par la réception des ouvrages de l'ensemble des lots de travaux, les délais techniques ayant été respectés. Le cout de l'opération s'est élevé à 16,3 M€ H.T., dont 14 M€ pour le creusement de la galerie Ø2500, le terrassement des puits et la réalisation de l'ouvrage d'entrée 114. Pour le creusement de la galerie, le tunnelier à attaque ponctuelle et confinement par pression d'air s'est montré adapté aux contraintes du projet. Le confinement de la chambre d'abattage par air comprimé a permis de s'affranchir des venues d'eau. De légères déviations par rapport au profil en long théorique ont été rattrapées lors du bétonnage de la cunette et l'avancement a surtout été pénalisé par la logistique dans une galerie de faible diamètre et de plus de 2 kilomètres de longueur.

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Groupement Local de Coopération Transfrontalière de les avoir autorisés à présenter ce projet.

7. RÉFÉRENCES

Lasfargue J.N., « La galerie de Chouilly, une galerie de transport des eaux usées entre la France et la Suisse », revue Travaux, N° 865 (oct. 2009).
Laigle F. et al., « Le nouvel accélérateur du CERN LHC1, les études et les débuts des excavations du lot 1 », revue T.O.S, n°157 (2000).