



1
© YVES CHANOIT

LIGNE 15 SUD DU GRAND PARIS EXPRESS - LE RAMEAU DE L'OAP12

AUTEURS : VICTOIRE HUBERT, INGÉNIEURE TRAVAUX, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - AURÉLIE GILLET, INGÉNIEURE TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - IBRAHIM ASRI, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - BENOÎT GIRARD, INGÉNIEUR GÉOTECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LES PROJETS DU GRAND PARIS EXPRESS RÉSERVENT QUELQUES DÉFIS TECHNIQUES DONT LE RAMEAU DE L'OUVRAGE OAP12 FAIT PARTIE. RÉALISER UN RAMEAU DE 55 m² DE SECTION EXCAVÉE, DE 44 m DE LONG, DANS LES CRAIES ALTÉRÉES SOUS 30 m DE COUVERTURE ET 26 m DE CHARGE D'EAU EN VOÛTE, LE TOUT EN BORD DE SEINE, N'EST PAS CHOSE AISÉE. CET ARTICLE DÉCRIT LES TRAVAUX ENTREPRIS POUR MENER À BIEN CET OUVRAGE DANS UN CONTEXTE OÙ SA CONNEXION AVEC LE TUNNEL DU PROJET ÉTAIT NÉCESSAIRE POUR ASSURER L'ACCÈS POMPIER EN PHASE DE CREUSEMENT AU TUNNELIER.

CONTEXTE GÉNÉRAL

L'ouvrage OAP12 se situe sur le lot T3A de la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express, le long de la Seine, sur la commune de Boulogne-Billancourt (92) (figure 2).

Il s'agit d'un ouvrage annexe qui assure, en phase service, les fonctionnalités suivantes :

- Accès pompiers.
- Ventilation/désenfumage du tunnel.

→ Épuisement : fosse de relevage des eaux d'infiltration du puits, de la structure faiblement enterrée et des eaux de pluie des grilles en surface.

→ Poste de redressement double du tunnel.

Cet ouvrage permet, en phase travaux, de garantir une issue de secours, notamment lors de la phase de creusement du tunnelier, puisqu'un accès tous les 2000 m doit être respecté.

1- Vue aérienne du site de l'OAP12.

1- Aerial view of the site of OAP12.

La connexion entre le tunnel principal et la surface au niveau de l'ouvrage OAP12, s'est avérée être sur le chemin critique de l'avancement du tunnelier.

L'ouvrage se compose :

- 1- D'un puits circulaire de 9,8 m de diamètre intérieur, réalisé en paroi moulée, excentré par rapport au tracé du tunnel. Ce puits a été réalisé et terrassé en 2015-2016 dans le cadre du marché SGP du puits d'essai de Boulogne (*Travaux* n°924).
- 2- De structures de subsurface et de surface abritant les locaux techniques et l'usine de ventilation du tunnel.

3- Et d'un unique rameau de 44 m de longueur assurant la liaison avec le tunnel de la L15 Sud et les fonctions combinées décrites précédemment. En zone courante, les dimensions à l'extrados génie civil du rameau sont de 8,15 m de largeur et 6,85 m de hauteur. Au raccordement avec le tunnel, la section est élargie à 10,8 m de largeur et 9,5 m de hauteur. En clé de voûte, la couverture de terrain naturel est d'environ 30 m, pour une charge d'eau de 26 m (figure 3).

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

L'ouvrage se situe dans la plaine alluviale de la Seine où, sous une épaisseur de remblais anthropiques, se trouvent les alluvions modernes (AM - dépôts argilo-sableux), puis anciennes (AA -

dépôts érosifs sablo-graveleux) reposant sur la craie Campanienne. La partie superficielle de cette craie présente un front d'altération d'épaisseur variable, ici environ 15 à 20 m ; au-delà de ce front d'altération se trouve la craie saine (Cs) correspondant au rocher non altéré. L'analyse des données pressiométriques a permis de diviser ce front d'altération de la craie en 2 sous-parties :

- Craie altérée dite Ca1 : $pl^* < 1,5 \text{ MPa}$ et $Em < 20 \text{ MPa}$.
- Craie altérée dite Ca2 : $1,5 \text{ MPa} < pl^* < 4 \text{ MPa}$ et $20 \text{ MPa} < Em < 100 \text{ MPa}$.

La stratigraphie alors proposée est tabulaire et prévoit un creusement du rameau dans la craie altérée Ca2 sur les deux tiers supérieurs et dans la Cs dans le tiers inférieur du rameau (figure 4). Les sondages carottés, réalisés depuis la surface, mais aussi depuis le fond de puits, en horizontal, sur le linéaire du rameau, ont permis d'affiner la connaissance du massif de craie et de proposer une classification selon la méthodologie décrite dans le guide du CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) "Engineering in Chalk" : ▷

2- Localisation de l'ouvrage OAP12 - T3A L15 Sud.

2- Location of structure OAP12 - T3A L15 South.

LOCALISATION DE L'OUVRAGE OAP12 - T3A L15 SUD



→ Le faciès d'altération Ca1 apparaît alors comme une craie très altérée, sans structure rocheuse et où des fragments de craie se trouvent pris dans une matrice de craie broyée pâteuse, appelée gangue (figure 5). Certains blocs, voire bancs, de craie rocheuse peuvent y être retrouvés, mais restent minoritaires. Ce faciès au comportement de sol présente un état globalement décomprimé.

→ Le faciès Ca2 se présente comme un état de craie intermédiaire entre le niveau très altéré Ca1 et le faciès de craie rocheuse saine (Cs). On y retrouve une alternance de fragments de craie agencés en bancs plus ou moins continus avec des niveaux plus altérés à gangue (figure 6). Sur les blocs de craie, des traces d'oxydations sont fréquemment identifiées, témoignant de la circulation de la nappe à travers cette formation.

→ Le faciès Cs, quant à lui, apparaît comme une roche de craie saine, marquée par une stratification sub-horizontale et une fissuration plus ou moins intense (figure 7). Localement, le massif rocheux est impacté par des failles dégradant alors la craie en fragments, voire en cas extrême, en gangue. Ces passages de faille n'ont été retrouvés dans la craie saine que très ponctuellement et sur de faibles épaisseurs (infra métriques).

Concernant l'aspect hydraulique, l'ouvrage OAP12 se trouvant dans la vallée de la Seine, il est impacté par la nappe des alluvions de la Seine qui se confond avec la nappe de la craie. Le niveau EB (Eaux Basses) s'établit à +26,50 NGF, conduisant à une charge d'eau en voûte du rameau d'environ 2,6 bars. Les craies Ca2, composées de fragments de craie et dont l'ensemble est relativement décomprimé, présentent

des perméabilités élevées avec une légère anisotropie : $3 \cdot 10^{-4}$ m/s en vertical à 10^{-3} m/s en horizontal. La craie saine Cs, massive, rocheuse et compacte, présente des perméabilités faibles, de l'ordre de 10^{-6} m/s, voire moins, rendant la Cs, hors zone de faille, quasiment étanche. Compte tenu du contexte dans lequel le rameau devait être réalisé, une campagne de traitement de terrain préalable aux travaux de creusement a été menée afin :

→ En section courante : d'abaisser la perméabilité des craies altérées à 10^{-6} m/s et d'homogénéiser les pressions limites à 1,5 MPa ou plus.

→ En section de raccordement : d'augmenter la résistance au cisaillement des craies altérées à un Rc équivalent à 1,4 MPa et d'abaisser la perméabilité à 10^{-6} m/s.

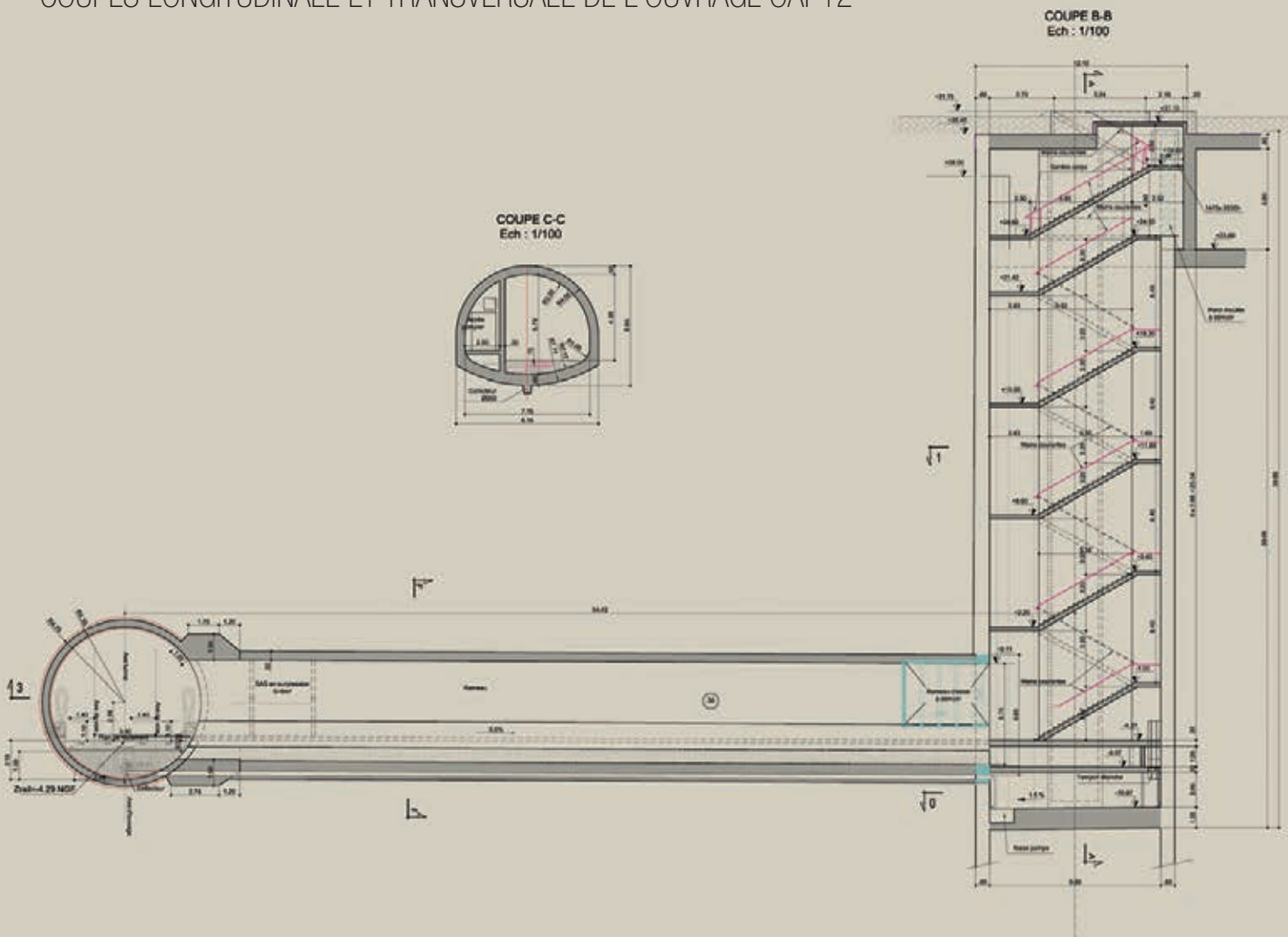
MÉTHODOLOGIE TRAVAUX DE TRAITEMENT DE TERRAIN PHASE DE TRAITEMENT PAR INJECTION

L'objectif de ce traitement était d'abaisser la perméabilité en grand du massif injecté à 10^{-6} m/s ou moins et d'obtenir des pressions limites dans les terrains injectés supérieures à 1,5 MPa. Compte tenu de la forte charge d'eau au droit du futur creusement et de la sensibilité de l'ouvrage, les épaisseurs d'injection ont été calées à 4,5 m dans les

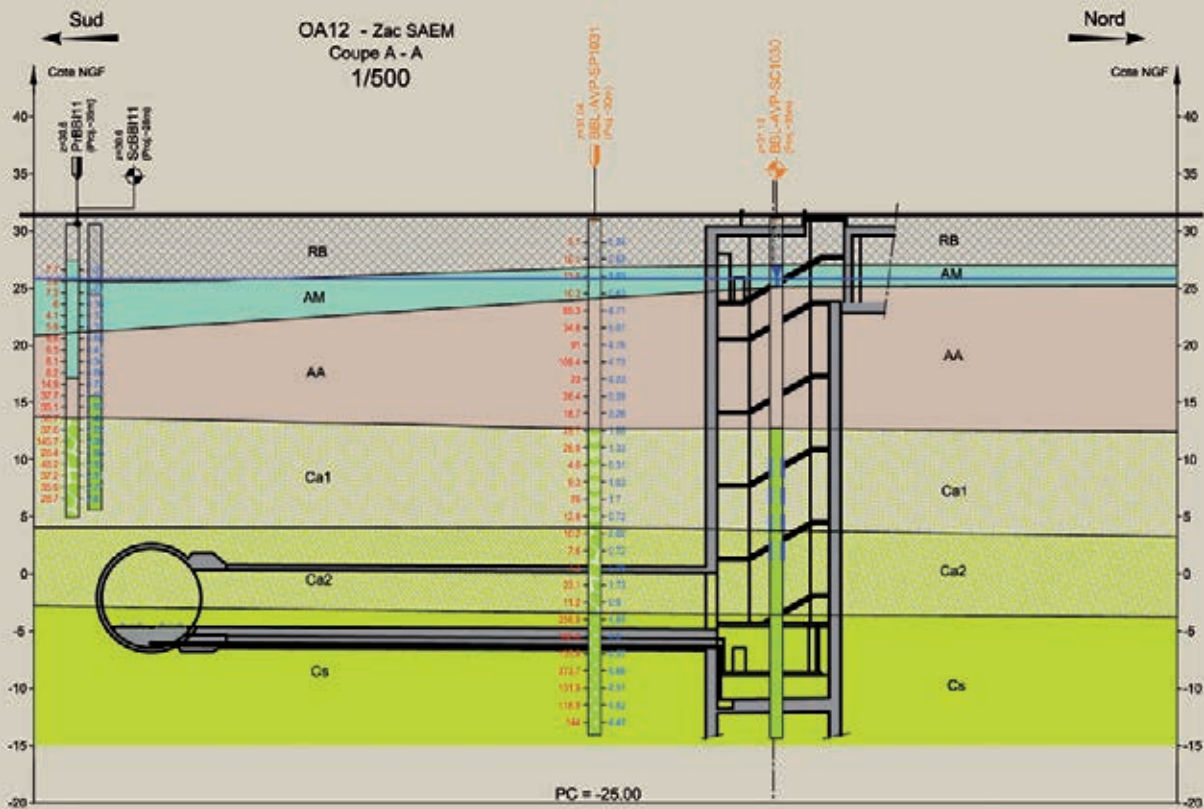
3- Coupes longitudinale et transversale de l'ouvrage OAP12.

3- Longitudinal and transverse sections of the OAP12 structure.

COUPES LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE DE L'OUVRAGE OAP12



COUPE GÉOLOGIQUE LE LONG DU RAMEAU OAP12



© SGP 4

craies altérées et 3 m dans les craies saines, afin de limiter les gradients hydrauliques théoriques dans l'anneau injecté à respectivement 7 et 10.

Le front du rameau a été injecté à cœur en extrémité à l'interface avec le tunnel et à mi-longueur permettant de cloisonner le rameau en deux zones (figure 8). Compte tenu de la variabilité du degré d'altération de la craie au droit du futur rameau et de la sensibilité de l'ouvrage à réaliser, le choix de la méthodologie d'injection s'est porté vers :

- Un maillage dense de forages.
- Une méthodologie d'Injection Répétitive et Sélective (IRS) par tubes à manchettes.
- La mise en œuvre de deux suspensions cimentaires stabilisées de deux types différents :
 - un coulis de type bentonite ciment pour traiter la porosité/fissuration grossière ;
 - un coulis de mouture plus fine pour traiter la porosité/fissuration plus fine.

LA PHASE FORAGE

Les forages ont été réalisés depuis deux emprises réduites conduisant

4- Coupe géologique le long du rameau OAP12.

4- Geological section along connecting gallery OAP12.

à organiser les forages en auréoles s'épanouissant avec la profondeur. La maille dans les craies Cs était d'environ un forage pour 2 m². Elle était d'environ un forage pour 1,5 m² dans les craies altérées Ca1.

Le volume de terrain à traiter représentait près de 10000 m³. Près de 500 forages d'environ 40 m de longueur moyenne ont été nécessaires pour couvrir le massif à injecter.

Les forages ont été exécutés au moyen de foreuses équipées de la tête Hi'Drill®, à la couronne ouverte. Cette technologie a été sélectionnée, car elle permet une bonne maîtrise des déviations au forage, ainsi que l'équipement des tubes à manchettes à l'abri du tubage, sans risquer l'éboulement du forage. Après récolement, une large majorité des forages présentait des dévia-

tions inférieures à 1° en extrémité. Là où cela a été jugé nécessaire, des forages additionnels ont pu être réalisés.

LA PHASE D'INJECTION

Les injections se sont déroulées en deux phases successives :

- Une phase d'injection des forages primaires (un forage sur deux) au coulis bentonite-ciment fluidifié de viscosité 30 à 35 s et de Rc supérieure à 3 MPa à 28 jours.
- Une phase d'injection des forages secondaires (le reliquat des forages) au coulis à base de ciment ultrafin ($d_{95} < 10 \mu\text{m}$) stabilisé présentant une viscosité de 28 à 32 s et des Rc supérieures à 3 MPa à 28 jours.

Les pompes d'injection étaient pilotées en débit et pression par le système Spice®. Ce système de régulation permet, en temps réel, d'ajuster le débit et la pression d'injection aux mesures faites à la pompe. Il permet ainsi d'éviter les pics de pression lors de l'injection offrant une plus grande maîtrise de la pression d'injection. À l'issue de l'injection des forages primaires, les taux d'incorporation obser-

vés variaient, en moyenne à l'échelle du rameau, de 25% en voûte à 2% en radier. Ces moyennes masquent néanmoins des hétérogénéités locales assimilables aux hétérogénéités du massif à l'état initial et qui ont permis d'esquisser notamment une interface estimée entre les craies saines et altérées.

À l'issue de l'injection des forages secondaires, les taux d'incorporation observés variaient, quant à eux, d'environ 10% en voûte à 1% en radier, contribuant ainsi à parfaire le traitement réalisé par les primaires.

L'écart entre les taux d'incorporation observés sur primaires et secondaires s'explique, d'une part par la densité du maillage, mais aussi probablement par la bonne adéquation entre le coulis bentonite ciment fluidifié utilisé sur les forages primaires et l'état/la nature des craies à injecter.

Au final, 1600 m³ de coulis de ciment ont été injectés.

LA PHASE DE RÉCEPTION

Cette phase a consisté en la mesure de la perméabilité et des pressions limites dans le massif injecté au moyen :

- D'essais d'eau ponctuels (Lugeon et Lefranc) : la valeur cible de perméabilité de 10^{-6} m/s était globalement atteinte.
- D'essai en grand : avant le percement de la paroi moulée, des sondages carottés ont été réalisés pour qualifier l'état des craies après injection. Ces sondages carottés ont été utilisés pour évaluer la perméabilité en grand du massif injecté à environ 10^{-7} m/s.
- Des essais pressiométriques : les valeurs de pression limite mesurées dans le massif injecté étaient nettement supérieures aux 1,5 MPa cible, y compris dans les craies Ca1 et Ca2.

PHASE DE CONFORTEMENT PAR JET GROUTING

Les travaux de jet grouting ont été réalisés alors que les travaux de creusement avaient déjà commencé à l'autre extrémité du rameau.

Au droit du raccordement avec le tunnel, l'objectif des travaux de jet grouting était d'obtenir un massif de terrain traité de résistance Rc de 1,4 MPa et de perméabilité 10^{-6} m/s ou inférieure.

Un plot d'essai préalable a été réalisé en jet double standard et en jet simple



5

plus afin d'estimer la corrélation entre l'énergie de jetting et le diamètre des dites colonnes au droit de la jonction avec le tunnel. Les diamètres obtenus sur les colonnes d'essai ont été estimés par la méthode géophysique Cyljet®. Compte tenu de la profondeur à laquelle les colonnes devaient être réalisées (près de 35 m) et, afin de minimiser les déviations au forage, un préforage a été réalisé jusqu'en tête de colonne avec la technologie Hi'Drill®.

Le plot d'essai a permis de préciser :

- La bonne maîtrise des déviations au forage : les déviations mesurées étaient inférieures à $0,65^\circ$ en pied de préforage.
- La bonne maîtrise des remontées de spoils en surface grâce au tubage des terrains de couverture.

→ Une corrélation entre énergie de jetting et diamètre de colonnes dans les craies altérées injectées.

→ Le dosage en ciment du coulis pour obtenir le Rc cible.

→ Et le besoin de stabiliser le coulis de ciment avec de la bentonite afin d'obtenir un mélange coulis/terrain stable.

Sur la base des résultats du plot d'essai, le jet double standard a finalement été retenu dans l'objectif de réaliser un massif de 192 colonnes composé de (figure 9) :

- Colonnes de 1,4 m de diamètre à l'extrados de la voûte avec un maillage centre à centre de 0,9 m.
- Colonnes de 1,2 m de diamètre sur la voûte et les piédroits avec un maillage centre à centre de 0,9 m.

→ Colonnes de 1,1 m de diamètre à l'intrados avec un maillage centre à centre de 1 m.

PHASE DE PRÉFORAGE

Compte tenu des emprises réduites disponibles en surface, ces forages étaient inclinés entre 4 et 10° par rapport à la verticale et azimutés. Un dispositif gyroscopique a été utilisé sur chantier afin de contrôler la mise en station de la foreuse dans chaque configuration.

Avant le lancement de la phase de jetting, le récolement des préforages a permis de confirmer que les déviations en pied de préforages étaient inférieures à 1° . Il a aussi permis de choisir le phasage de réalisation des colonnes les unes par rapport aux

5- Échantillon de craie très altéré (type Ca1 - classée Dm en CIRIA).

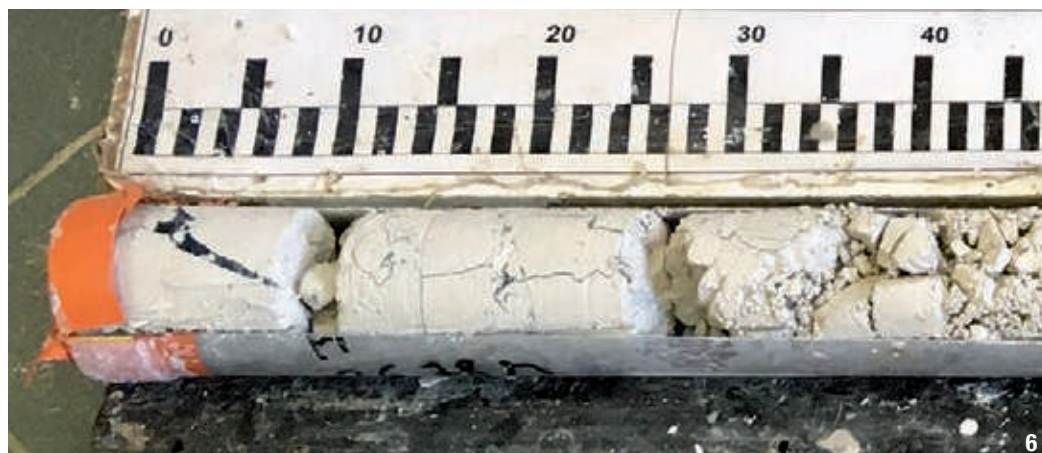
6- Carotte de craie altérée de type Ca2 (échantillon de craie fragmentée classé C3 à Dc au sens du CIRIA).

7- Carotte de craie rocheuse saine, type Cs (échantillon de craie classé B3 au sens du CIRIA).

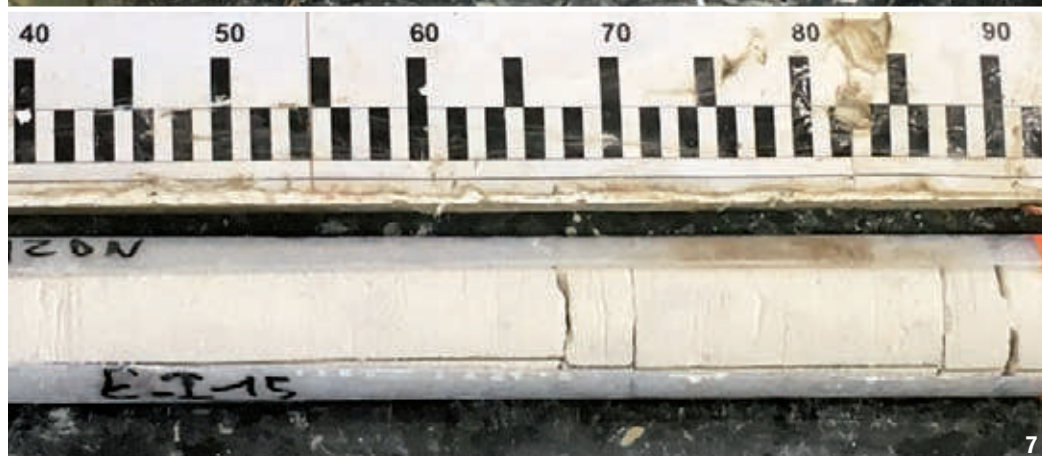
5- Sample of highly weathered chalk (type Ca1 - classified Dm in CIRIA).

6- Core sample of type Ca2 weathered chalk (fragmented chalk sample classified C3 to Dc in accordance with CIRIA).

7- Core sample of healthy rocky chalk, type Cs (chalk sample classified B3 in accordance with CIRIA).

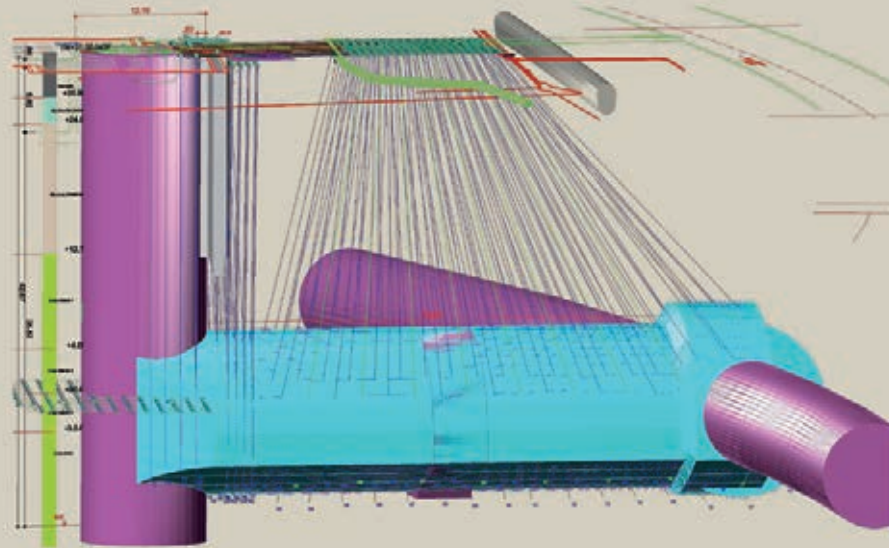


6



7

VUE EN 3D DU MASSIF D'INJECTION (BLEU CYAN)
DU RAMEAU DE VENTILATION,
(les puits et tunnels sont représentés en magenta)



8- Vue en 3D du massif d'injection (bleu cyan) du rameau de ventilation, (les puits et tunnels sont représentés en magenta).

9- Vue en coupe du massif de jet grouting avec variation de paramètre selon le diamètre visé.

8- 3D view of the cement grouting mass (cyan blue) of the ventilation connecting gallery (the shafts and tunnels are shown in magenta).

9- Cross-section view of the jet grouting mass with change of parameters according to the targeted diameter.

© HORIZON

8

autres en privilégiant le "fresh-in-fresh" afin de limiter le risque d'effet masque d'une colonne sur l'autre.

PHASE DE JETTING

Dans un second temps, les 192 colonnes ont été réalisées. La réalisation du plot d'essai préalable et la systématisation des préforages sur la hauteur des terrains de couverture ont permis une exécution du massif de jet sans aléa notable.

Le massif représente un total de plus de 4200 m de préforages, de près de

1700 m de colonnes de jet grouting avec une hauteur moyenne de colonne de 8,8 m pour une énergie de jetting moyenne d'environ 130 MJ/m.

PHASE DE RÉCEPTION

Le massif a été réceptionné via :

→ Des essais Rc sur échantillons de spoils de jet et sur échantillons issus de carottage. Les valeurs obtenues étaient supérieures aux 1,4 MPa cibles à 28 jours.

→ Et des drains réalisés depuis la petite galerie du rameau. Les débits

collectés ont confirmé l'obtention d'une perméabilité en grand inférieure au 10^{-6} m/s cible.

MÉTHODOLOGIE TRAVAUX TRADITIONNELS

L'excavation du rameau a été réalisée en méthode traditionnelle en deux phases :

→ Le creusement d'une petite section au centre du rameau définitif de 4,4 m de hauteur et de largeur excavées.

→ Puis son réalésage pour obtenir le rameau définitif de 7 m de hauteur et

8,5 m de largeur excavées en section courante.

TRAVAUX PRÉALABLES DE DÉCOUPE DE LA PAROI MOULÉE

Avant le démarrage des travaux d'excavation, la paroi moulée du puits est découpée selon la forme de l'ouverture. Les découpes périphériques sont réalisées à l'aide de la méthode du sciage au câble. La paroi moulée étant contre terre, les câbles la découpent à l'aide de poulies de renvoi à travers des carottages aux extrémités des découpes. Une fois la paroi moulée découpée, celle-ci est démolie à l'aide d'une pelle et d'un BRH.

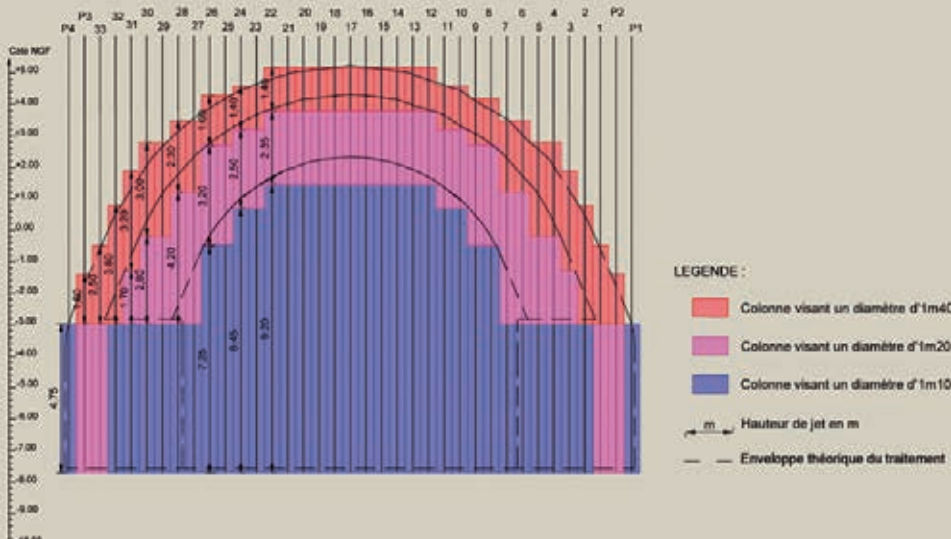
CREUSEMENT DE LA GALERIE PETITE SECTION

Le creusement du rameau de petite section a été réalisé en méthode traditionnelle avec un pas d'avancement de 1,5 m.

L'excavation d'un pas est réalisée à l'aide d'une pelle mécanique sur chenille équipée d'une fraise ou d'un BRH en fonction du terrain rencontré.

Une fois la passe excavée, le soutènement est mis en place. Il est constitué de cintres HEB 160 et de béton projeté fibré. Des boulons de front en fibre de verre sont également mis en place à l'avancement pour assurer le maintien du front. Il s'agit de boulons trilames de 15 m renouvelés tous les 10 m avec une densité au front de 0,6 boulons/m².

VUE EN COUPE DU MASSIF DE JET GROUTING
avec variation de paramètre selon le diamètre visé

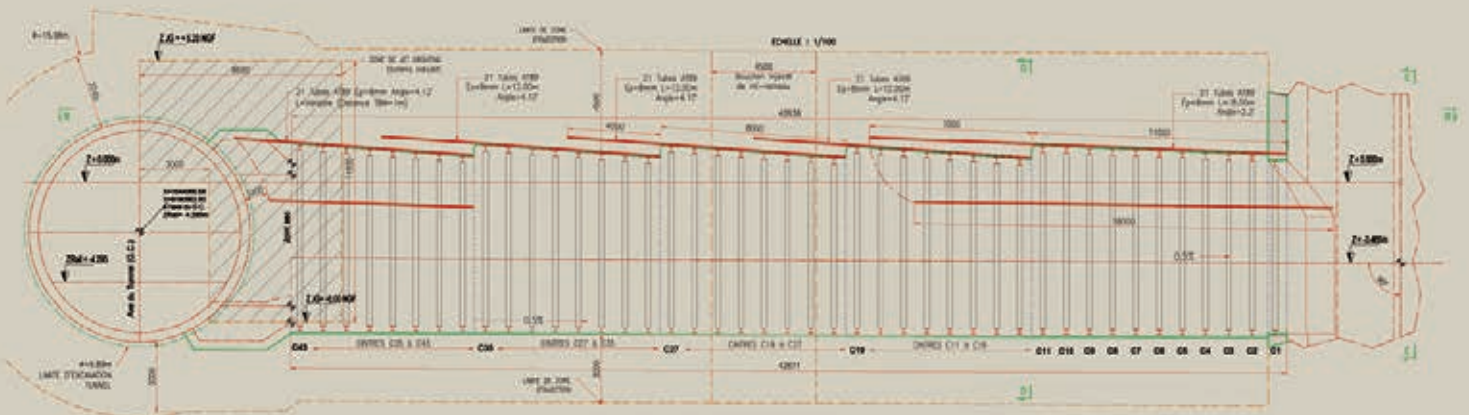


© HORIZON

9

COUPES LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE DES SECTIONS DE CREUSEMENT

Élévation du rameau OA P12



10- Coupes longitudinale et transversale des sections de creusement.

10- Tunnel driving longitudinal and transverse sections.

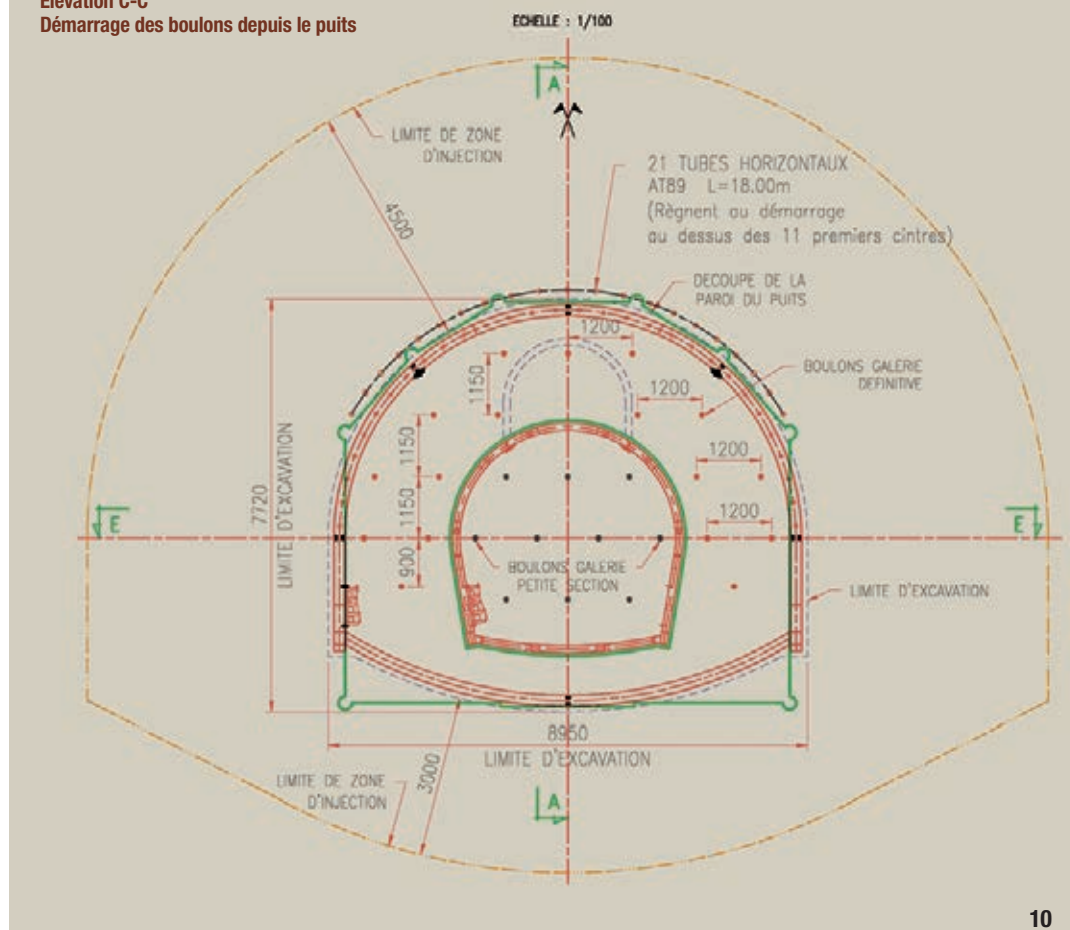
RÉALÉPAGE À LA SECTION DÉFINITIVE

Le creusement de la section définitive est réalisé sous voûtes parapluies. Cinq voûtes parapluie divergentes sont réalisées sur la longueur du rameau. Elles sont constituées de tubes pétroliers de diamètre 89 mm remplis de coulis de ciment. Afin de permettre le renouvellement de ces voûtes divergentes, les cintres de soutènement sont de dimensions variables. Cela permet d'élargir la galerie afin de rendre possible la formation des tubes de voûtes parapluies. Le creusement conventionnel est réalisé avec un pas d'avancement de 1 m. Le soutènement est constitué de cintres HEB 220 et de béton projeté fibré. Les cintres de la petite section sont déposés à l'avancement. Des boulons de front sont également mis en œuvre. Il s'agit, là aussi, de boulons trilames de 15 m renouvelés tous les 10 m avec une densité au front de 0,6 boulons/m² (figure 10).

RÉALISATION DU RACCORDEMENT TUNNEL/RAMEAU

Pour la réalisation du cadre au niveau de la connexion tunnel/rameau, s'ajoute au contexte hydrogéologique complexe une contrainte géométrique : la hauteur d'excavation de la zone de raccordement est de 9,5 m, alors que le

Élévation C-C
Démarrage des boulons depuis le puits



10

© HORIZON

diamètre intérieur du tunnel foré est de 8,7 m. Ainsi, des dispositions constructives particulières ont été prises pour cette zone sensible en plus du traitement des terrains en jet grouting :

- Renforcement intérieur du tunnel à l'aide d'un cintrage de 6 HEM 400 et d'une poutre en béton armé.
- Phasage de la connexion différent de la section courante.

Cette zone est en effet excavée en section divisée : la partie supérieure est terrassée et soutenue, puis le génie civil

du cadre supérieur est réalisé, avant de reprendre le terrassement de la partie inférieure, et enfin le revêtement de celle-ci.

PHASAGE TRAVAUX ET TUNNEL

La réalisation de ce rameau est particulièrement liée à l'avancement et aux contraintes du tunnelier.

Le creusement de la petite section, puis son réalésage, ont d'abord été réalisés jusqu'à 10 m du plot de jet grouting (figure 11), alors qu'il était en cours

d'exécution. Une fois celui-ci terminé, le creusement de la petite section, puis son réalésage, ont repris jusqu'à 8,5 m du tunnel en attendant le passage du tunnelier. Une fois le tunnelier passé, le rameau petite section a été excavé jusqu'aux voussoirs. Une ouverture dans les voussoirs et un double sas ont été réalisés afin de garantir un accès pompier au tunnel. En effet, le rameau OAP12 constitue un des accès de secours au tunnel en phase travaux. Afin de ne pas arrêter le tunnelier,



© YVES CHANOT
11

ce sas devait donc être opérationnel avant que le tunnelier n'atteigne son puits de démarrage + 2000 m. L'OAP12 garantit une issue de secours jusqu'à ce que le tunnelier arrive à la gare d'Issy-les-Moulineaux et qu'un autre accès pompier soit alors réalisé. Pendant ce temps, les travaux d'excavation du rameau sont suspendus et les travaux de revêtement définitifs de la section courante sont réalisés. À la date de rédaction de cet article, les travaux de réalésage de la section courante sont achevés et la réalisation de la structure génie civil permanente du rameau est en cours. Le creusement de la section élargie à la jonction avec le tunnel est prévu dans la continuité.

11- Vue du creusement.

11- View of tunnel driving.

SUivi DES AUSCULTATIONS

Dans ce contexte géologique sensible, il a été décidé de mettre en place un plan d'instrumentation au-delà des simples relevés de convergence et contrôles de débits courants. Ceci afin de mieux appréhender le comportement des craies altérées injectées. Ces instruments ont permis le suivi et l'analyse :

- De la déformation du terrain :
 - au front afin de vérifier la convergence du terrain, grâce à des extrusomètres ;
 - des terrains sus-jacents au creusement, grâce à des extensomètres en forage.
- De la déformation et des efforts dans les soutènements via :
 - des contrôles topographiques de convergence sur cintres ;
 - des jauges de contrainte posées dans les cintres ;
 - des cellules de pression totale

posées en sandwich dans le béton projeté.

- Des caractéristiques hydrauliques du massif :
 - permettant d'appréhender le gradient hydraulique dans l'auréole injectée par la mise en place de cellules de pression interstitielle dans la craie à différents niveaux en voûte ;
 - permettant d'appréhender la perméabilité globale du massif par des contrôles de débits d'exhaure.

L'analyse des mesures collectées depuis le démarrage des travaux de creusement indique une très bonne réponse du terrain, avec notamment des déformations du terrain et des contraintes dans les soutènements compatibles avec les valeurs déterminées par le calcul. De plus, l'observation des débits collectés lors des travaux de creusement confirme que la perméabilité en grand du massif injecté est d'un ordre de grandeur plus faible que ce que montraient les mesures ponctuelles, témoignant d'un traitement efficace des craies altérées par les injections. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- INJECTION** : 20000 m de forage, 1600 m³ de coulis injectés dans les craies
- JET GROUTING** : 192 colonnes de jet Ø 1,1 à 1,4 m, hauteur moyenne 8,8 m.
- CINTRE** : 38 cintres pour la petite section et 45 cintres pour la grande section, soit 137 t d'acier.
- BÉTON PROJETÉ** : 1000 m³
- DÉBLAIS** : 3000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris

ENTREPRISES DE GÉNIE CIVIL : groupement Horizon composé de : Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire), Soletanche Bachy France, Bessac, Soletanche Bachy Tunnels

MAÎTRE D'OEUVRE : groupement Setec tpi (mandataire) - Ingerop (co-traitant) - Geos (sous-traitant géotechnique) - Agence Duthilleul (architecte PDS et Passerelle) - Brunet Saunier Architecture (architecte ISS)

AMO : Artemis (Artelia - Arcadis - Bg)

AUSCULTATION : Solexpert et Cementys.

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES : Technosol / Erg / Unisol

ABSTRACT

LINE 15 SOUTH OF THE 'GRAND PARIS EXPRESS' METRO PROJECT - THE OAP12 CONNECTING GALLERY

V. HUBERT, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - A. GILLET, SOLETANCHE BACHY FRANCE - I. ASRI, SOLETANCHE BACHY FRANCE - B. GIRARD, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

The connecting gallery of accessory structure OAP12 is executed as part of the T3A project for Line 15 South of the Grand Paris Express. This gallery, 44 m long and more than 55 m² in cross section excavated on a standard section, is situated under 30 metres of overburden and 26 metres of water head on the roof, in the weathered chalks on the edge of the Seine. In order to provide security for the conventional tunnel driving work, ground treatment by injection and jet grouting was performed before drilling the diaphragm wall of the OAP12 shaft. A first gallery 4.5 metres in diameter was driven, and was then rebored under an umbrella arch. At the connection with the tunnel, partial-face excavation will be performed with heavy reinforcement to prevent tunnel ovalisation. Monitoring measurements and tunnel-face surveys confirm satisfactory works' performance. □

LÍNEA 15 SUR DEL GRAND PARIS EXPRESS - EL TRAMO DE LA OAP12

V. HUBERT, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - A. GILLET, SOLETANCHE BACHY FRANCE - I. ASRI, SOLETANCHE BACHY FRANCE - B. GIRARD, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

El tramo de la obra anexa OAP12 se realiza en el marco de proyecto T3A de la Línea 15 Sur del Grand Paris Express. Este tramo, de 44 m de longitud y 55 m² de sección excavada en sección corriente, se sitúa bajo 30 m de cobertura y 26 m de carga de agua en bóveda, en la roca caliza alterada a orillas del Sena. Para proteger las obras de perforación tradicional, se ha aplicado un tratamiento del terreno por inyección y jet grouting previamente a la construcción de la pantalla de hormigón del pozo de la OAP12. Se ha perforado una primera galería de 4,5 m de diámetro, que seguidamente se ha reensanchado bajo la bóveda paraguas. En la conexión con el túnel, la perforación se realizará en sección dividida, con refuerzo pesado para evitar la ovalación del túnel. Las medidas de auscultación y los levantamientos de laterales confirman la buena evolución de las obras. □