

Puits de démarrage du tunnelier de l'île de Monsieur, tronçon T3A de la ligne 15 sud du Grand Paris Express: conception, exécution et rétro-analyse

TBM launching shaft of the Ile de Monsieur, section T3A of line 15 south of Grand Paris Express: design, execution and retro-analysis

Martin CAHN, Moe géotechnique Tronçon T3;
Thomas BERBET, Geos Ingénieurs Conseils;
Maxime FONTY, Soletanche Bachy;
Pierre Benoit PASSOT, Soletanche Bachy;
Léonard DUPUIS, Soletanche Bachy;

Résumé

Le puits de départ du tunnelier du tronçon T3A, situé sur l'île de Monsieur en bord de Seine, est un ouvrage de forme trilobique terrassé sur 37 mètres de profondeur pour 33 mètres de charge d'eau, à l'abri de parois moulées fichées à 55 mètres et creusées principalement dans la Craie Campanienne. Le fonctionnement spécifique de l'ouvrage, avec ses trois tronçons de cercles sécants de 24 mètres de diamètre, ouvert sur une hauteur importante au niveau des jonctions entre les lobes et intégrant deux percements pour le passage de chacun des tunneliers des tronçons T3A et T4, a nécessité une conception, une exécution et un suivi tout à fait particuliers. Des modèles aux coefficients de réaction et aux éléments finis structure ont été exploités en phase de conception et d'exécution, tandis qu'un modèle éléments finis 3D sol-structure complet a été utilisé pour rétro-analyser le comportement de l'ouvrage. Les diminutions de rigidité cylindriques liées aux différents percements et le comportement des poutres linteaux à la jonction des lobes ont à ce titre été plus particulièrement investigués. La réalisation des parois moulées a nécessité une attention et des moyens spécifiques, notamment pour la maîtrise de la verticalité, la réalisation des quatre panneaux de jonction aux dimensions hors normes ou la mise en place de joints sur de grandes hauteurs.

Abstract

The launching shaft of the Tunnel Boring Machine of the T3A section, located on « Ile de Monsieur » on the banks of the Seine, is a trilobical shaped structure excavated to a depth of 37 metres with a water load of 33 metres, sheltered by diaphragm walls driven in at 55 metres and dug mainly in Campanian Chalk. The particular mechanical behaviour of the structure, with its three sections of intersecting circles 24 metres in diameter, open to a significant height at the junctions between the lobes and incorporating two openings for the passage of each of the tunnel boring machines in sections T3A and T4, required a very special design, execution and monitoring. Models with subgrade reaction and structural finite elements were used in the design and execution phase, while a complete ground-structure 3D finite element model was used to retro-analyse the behaviour of the structure. The decreases of cylindrical stiffness due to the openings and the behaviour of the junction panels of the lobes have been more particularly investigated. The construction of the diaphragm walls required specific attention and means, in particular for the control of verticality, the construction of the four junction panels with non-standard dimensions or the installation of deep joints.

Puits de démarrage du tunnelier de l'Île de Monsieur, tronçon T3A de la ligne 15 sud : conception, exécution et rétro-analyse

TBM launching shaft of the Ile de Monsieur, section T3A of line 15 south: design, execution and retro-analysis

Martin CAHN, Moe géotechnique Tronçon T3;
Thomas BERBET, Geos Ingénieurs Conseils;
Maxime FONTY, Soletanche Bachy;
Pierre Benoit PASSOT, Soletanche Bachy;
Léonard DUPUIS, Soletanche Bachy;

1 Introduction

L'Ouvrage Annexe 13 de l'Île de Monsieur (OA P13) implanté en rive gauche de la Seine sur la commune de Sèvres est le point de départ du tronçon T3A de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express (GPE). Cette portion, qui est constituée d'environ 4 km de tunnel creusés au tunnelier à pression de terre et qui inclut la gare de Pont de Sèvres, celle d'Issy RER et quatre ouvrages annexes, est caractérisée par la présence de la nappe phréatique sur l'ensemble des ouvrages et sur la majeure partie du tracé du tunnel. Le puits de l'OA P13 est ainsi implanté à proximité immédiate de la Seine tandis que le tracé du tunnel la franchit deux fois, en amont et en aval de l'Île Seguin.

Cet ouvrage constitue le point de jonction entre le tronçon T3 (ligne 15 Sud à l'est, entre Villejuif Louis-Aragon et Île de Monsieur) et le tronçon T4 (ligne 15 Ouest, entre Île de Monsieur et Stade de France).

La maîtrise d'Œuvre du T3A est assurée par INGEROP/GEOS avec SETEC/TERRASOL, mandataire du T3, les travaux sont réalisés par le groupement d'entreprise Horizon (Bouygues TP, Soletanche Bachy France, Bessac, Soletanche Bachy Tunnel) tandis que la maîtrise d'Ouvrage est assurée par la société du Grand Paris et l'AMO par le groupement ARTEMIS.

L'ouvrage, axé sur le tunnel, est constitué de trois parties circulaires sécantes. Les dimensions en plan du puits sont les suivantes : longueur de 50 m, largeur maximale de 24 m correspondant au diamètre des parties circulaires du puits et largeur minimale de 18,4 m au niveau des jonctions des parties circulaires du puits. Cette géométrie particulière permet l'intégration de trémies importantes avec notamment dans le lobe Ouest, un rectangle de 20 m x 8 m nécessaire à l'approvisionnement des coupons de voies et facilitant le montage du tunnelier. La profondeur de l'excavation du puits de 36,9 (différence entre le TN moyen à 30,2 m NGF la sous face du radier à -6,7 NGF).

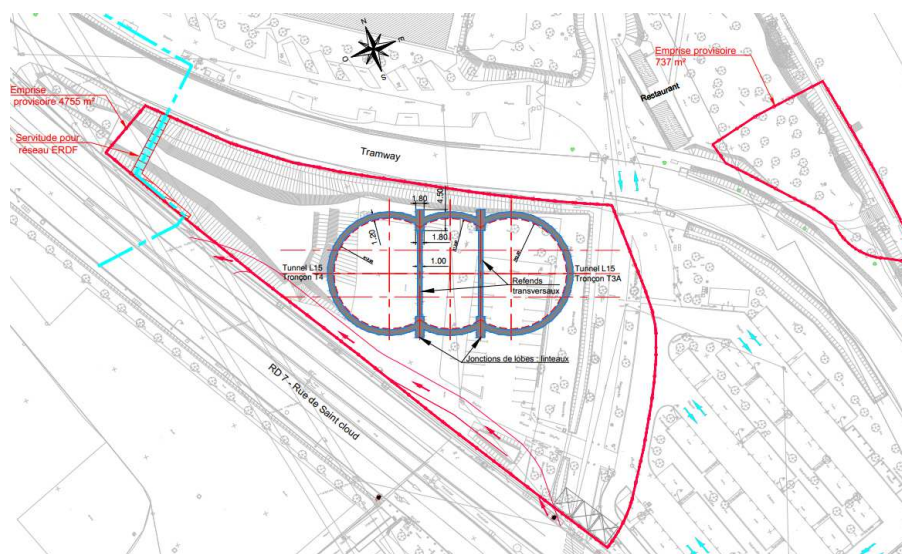


Figure 1. Vue en plan de l'ouvrage

Cet article s'attache à présenter un retour d'expérience des études menées pour dimensionner l'ouvrage et mettre l'accent sur certains aspects de la réalisation des travaux.

2 Contexte géologique

Comme la majorité des autres ouvrages du tronçon T3A de la ligne 15 Sud, le puits et ses parois traversent principalement la Craie Campanienne. Ainsi, après une couverture quaternaire d'environ 14 mètres, constituée de remblais (Rb), d'Alluvions Modernes (AM) et Anciennes (AA), 23 mètres de Craie sont retrouvés jusqu'au fond de fouille. L'affleurement de la Craie Campanienne sous faible couverture alluvionnaire est lié à l'érosion en vallée de Seine de l'anticlinale de Meudon dont l'axe est proche de celui du T3A.

Si des retours d'expérience de travaux à proximité du tronçon dans la Craie Campanienne laissaient présupposer d'une amélioration des caractéristiques mécaniques avec la profondeur, il s'est révélé quasiment impossible de distinguer visuellement les faciès d'altérations via les descriptions des carottes. Différentes approches, basées sur l'utilisation d'essais in situ et notamment du pressiomètre peuvent être retrouvées dans la littérature mais ne sont pas univoques (cf. Figure 2).

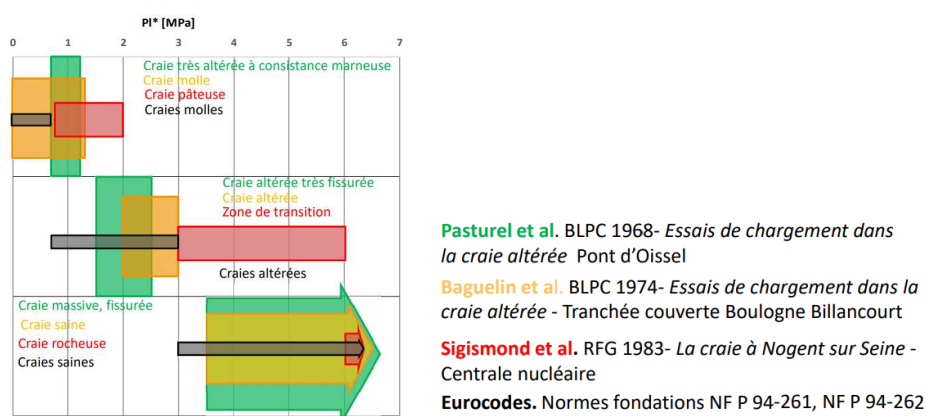


Figure 2. Modèle bibliographique caractérisation de l'altération de la craie : exemple de la pression limite

Comme le montre la figure suivante, sur la base des 64 sondages pressiométriques disponibles à l'issue des reconnaissances de G1, répartis le long du tracé, la distinction entre trois faciès d'altération est nette et a permis de définir trois niveaux relativement homogènes avec leurs propres caractéristiques pressiométriques.

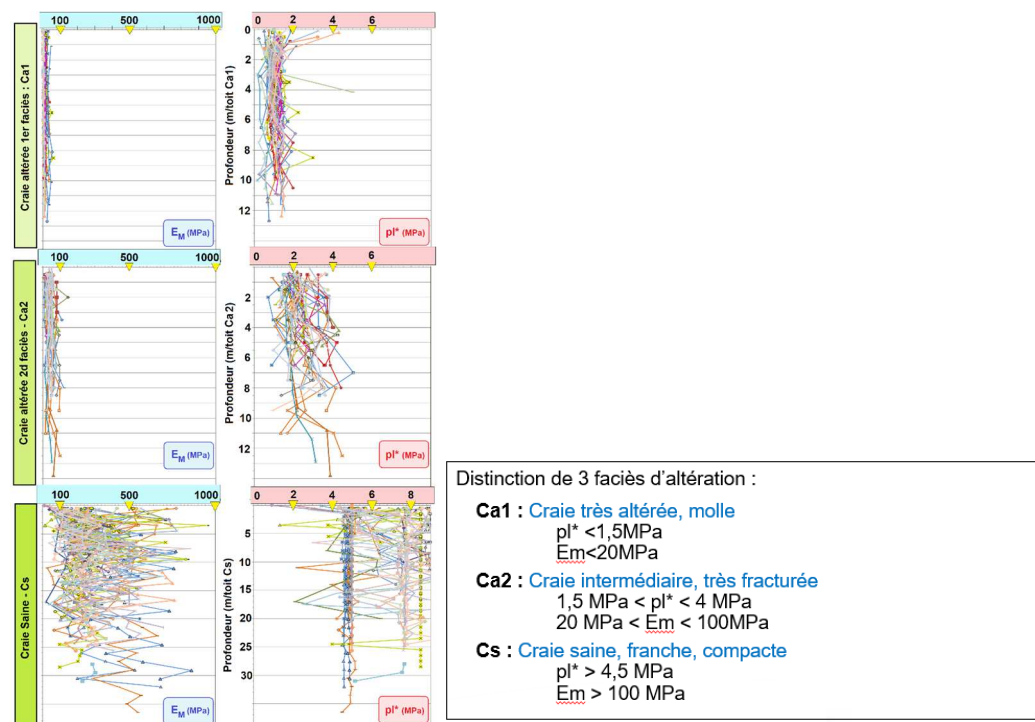


Figure 3. Définition des faciès d'altération de la craie du T3A : exploitation des essais pressiométriques

Comparativement à la rive droite à Boulogne, l'altération de la craie sur l'île de Monsieur est réduite avec environ 2,5 mètres de Craie très altérée (Ca1) et 1 mètre de craie fracturée (Ca2).

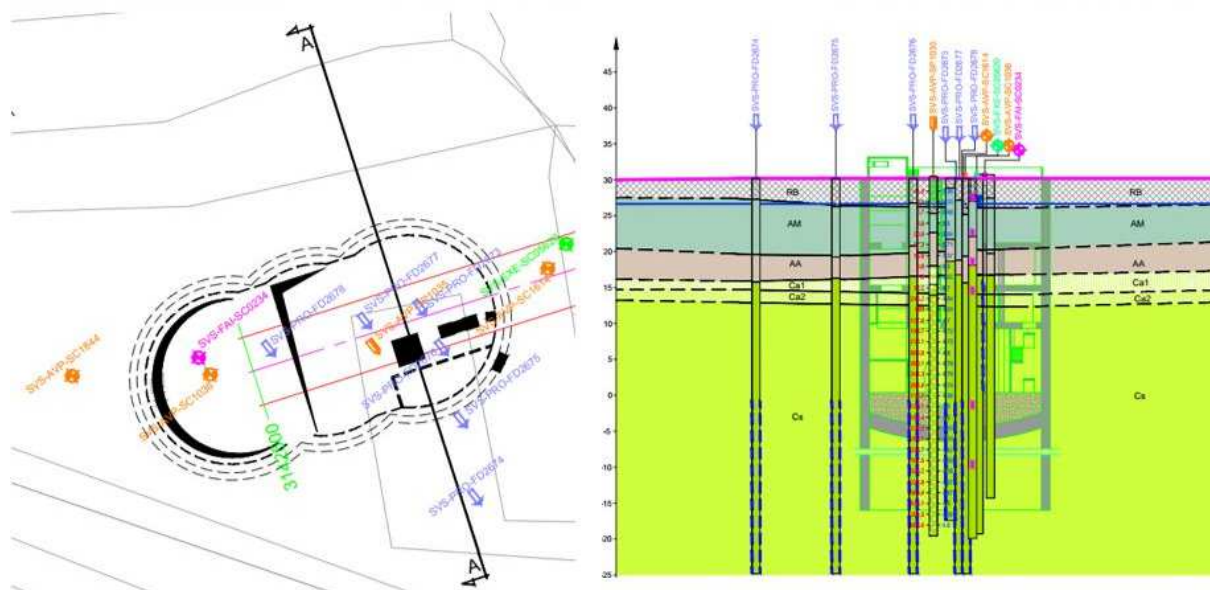


Figure 4. Stratigraphie retenue sur l'OA13

Cette caractérisation de la Craie, basée sur les résultats pressiométriques, a pu être confrontée aux levés géologiques réalisés en fond de fouille où la classification anglaise du CIRIA, « Engineering in chalk » C574, a été mise en œuvre.

Cette classification se base sur 4 critères que sont : la raideur de la matrice (identifiable notamment via la densité sèche), l'ouverture des discontinuités (remplies ou non), l'espacement de ces discontinuités et le pourcentage de matrice ou de claste. La figure 5 présente le logigramme de mise en œuvre de cette classification.

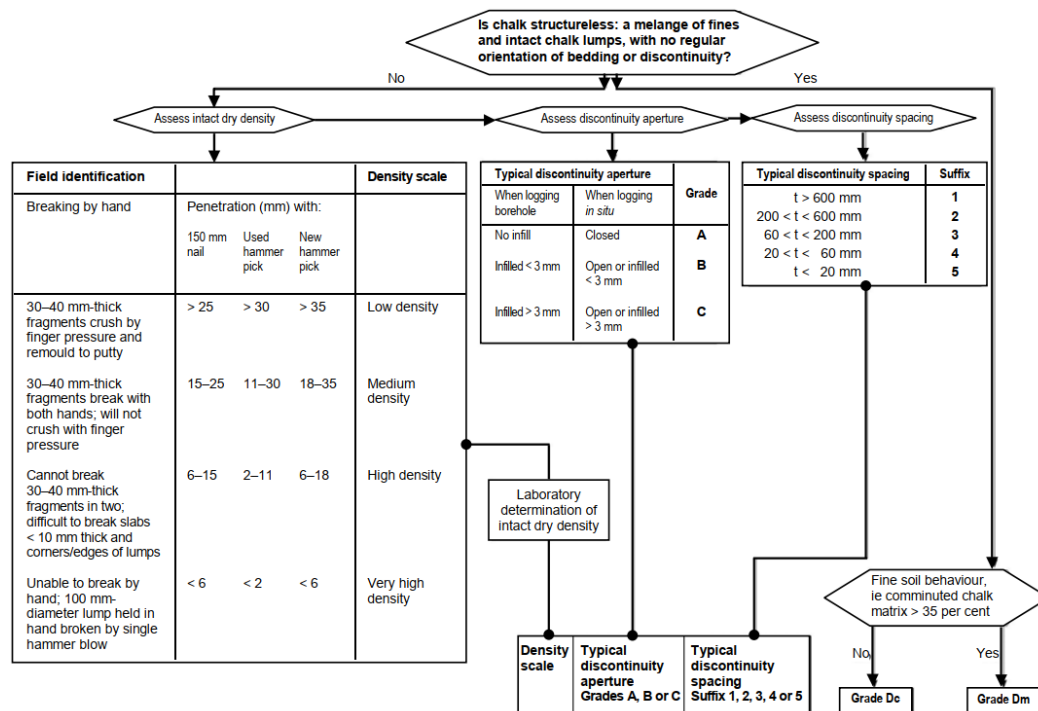


Figure 5. Logigramme classification craie CIRIA.

Le profil d'altération réduit des Craies sous couverture alluvionnaire à l'OAP13 - bien qu'assez particulier dans la boucle de la Seine à Boulogne-Billancourt où des Craies très altérées peuvent être rencontrées jusqu'à plus de 30 m de profondeur - permet d'observer la succession des différents degrés d'altération de ces craies en quelques mètres (cf. Figure 6).

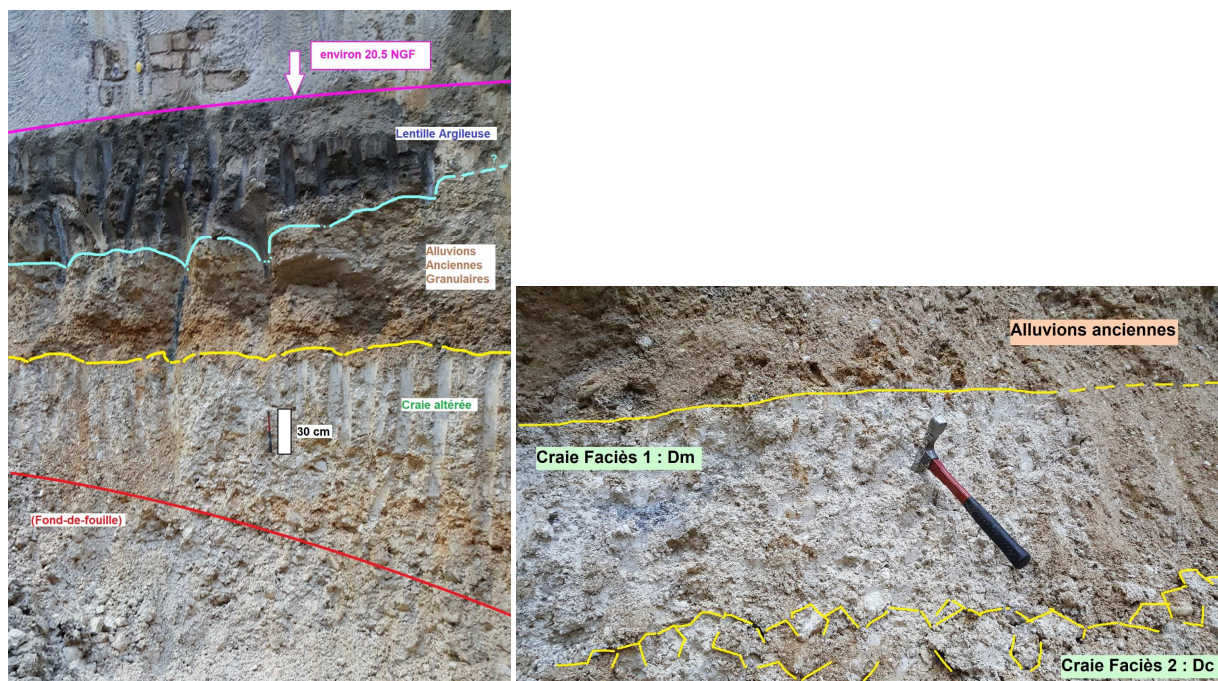


Figure 6. Aperçu de la succession stratigraphique rencontrée autour de 18 NGF en cours de terrassement et vue focalisée sur les premiers 80 cm du profil d'altération de la Craie

Les premiers 50 cm de craie rencontrés sous les Alluvions Anciennes granulaires de la Seine consistent en un ensemble homogène (jusqu'à l'échelle décimétrique) de petits clastes de craie (centimétriques maximum) pris dans une matrice crayeuse tendre issue de l'altération importante du matériau. L'ensemble, mou mais vraisemblablement peu perméable, peut donc sans incertitude être associé à une Craie déstructurée (D) dont le comportement est dominé par celui de sa matrice crayeuse molle (Dm).

Une transition assez nette s'effectue ensuite avec environ 1 m de craies à très forte proportion de clastes, de taille centimétrique à presque décimétrique. La taille, l'agencement et la variabilité de ces clastes de craie séparés deux à deux par un résidu de craie molle ne permettant pas de repérer de structure particulière, il s'agit donc également de Craie déstructurée, dominée cette fois par le comportement de ses clastes, soit une Craie Dc.

Sous ce dernier faciès de Craie nettement altérée se retrouve assez rapidement une Craie rocheuse, franche, dont l'altération ne se traduit que par un degré de fracturation décroissant avec la profondeur.

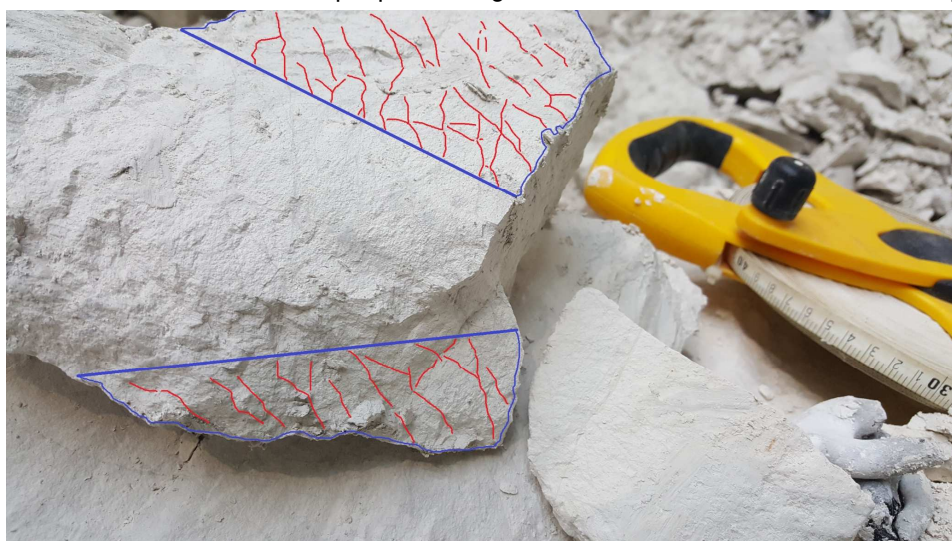


Figure 7. Bloc de craie rocheuse prélevé autour de 15 NGF avec mise en évidence d'une fracturation importante, localement re-cimentée par la calcite.

Cette fracturation atteint localement un espacement de l'ordre du centimètre, formant ainsi un assemblage parfaitement ordonné de clastes très angulaires de Craie – on remarque que ce réseau de fissures important est localement colmaté par une re-cimentation de calcite. Les fractures s'espacent avec la profondeur, se succèdent alors le spectre des craies allant des CIRIA – A5 jusqu'aux A2, un espacement de fissures de l'ordre de 50 à 60 cm restant malgré tout constant jusqu'au fond de fouille du puits.

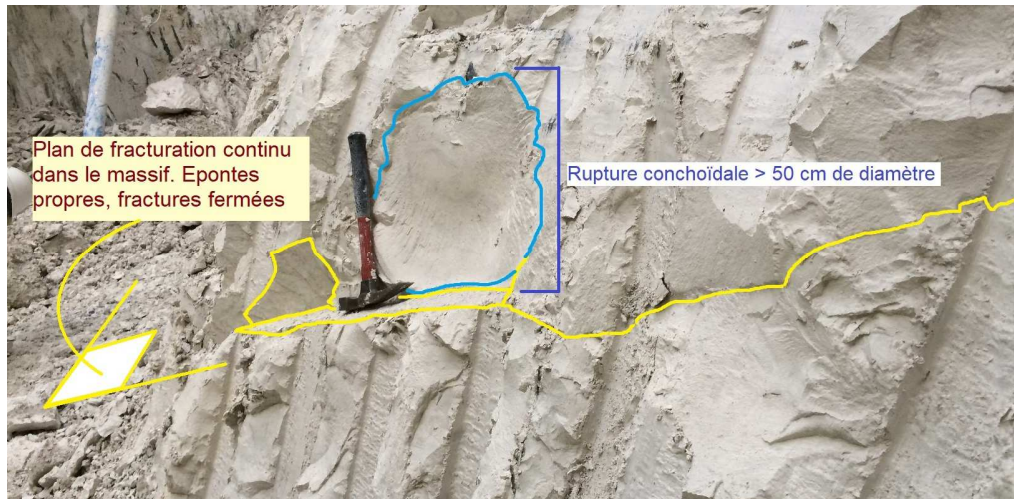


Figure 8. Description du massif de Craie saine à 12 NGF environ

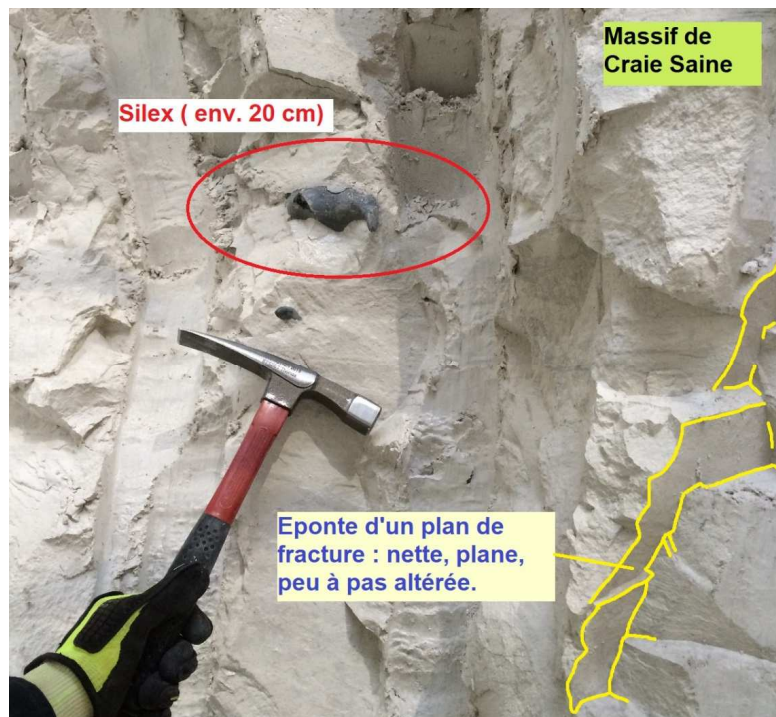


Figure 9. Massif de Craie saine à 10 NGF et Silex en place.

Bien que l'espacement des fissures (i.e. la densité de fracturation) atteigne localement une maille très fine, cette fracturation est systématiquement observée fermée, à épontes propres et parfaitement imbriquées – d'où le recours à une classification CIRIA de type A.

Comme l'illustre la figure 10, la rétro-analyse entre le découpage « pressiométrique » des faciès d'altération de la Craie (Ca1, Ca2, Cs) et la classification CIRIA des matériaux réellement retrouvés en place donne d'assez bons résultats.

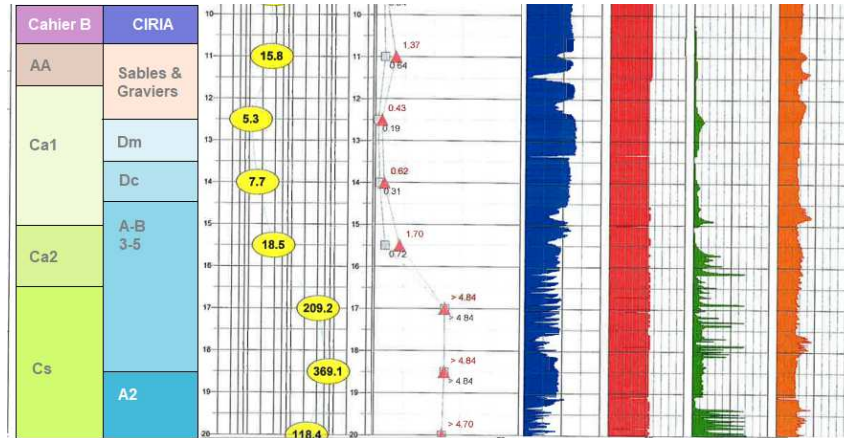


Figure 10. Extrait du sondage SVS-AVP-SP01035 et log de Craie.

Il semble que les craies Dm et Dc présentent les caractéristiques pressiométriques établies comme « Ca1 » - le caractère déstructuré de ces craies, la présence de matrice crayeuse molle en quantité parfois importante leur confèrent des caractéristiques mécaniques faibles et rend probablement ces terrains sensibles au remaniement imposé par le forage destructif.

En revanche, dès que l'on entre dans les Craies franches plus ou moins fracturées, les résistances (modules, pressions limites) augmentent très vite avec la fracturation décroissante jusqu'à saturer les gammes de mesure des sondes pressiométriques.

Deux nappes sont rencontrées au droit du puits : la nappe alluviale de la Seine et celle de la Craie. Les deux sont en communication par le biais du réseau de fracturation de la craie de sorte qu'un seul niveau piézométrique est retenu à 26,7 NGF pour le niveau courant. La charge hydrostatique atteint ainsi 33 mètres au niveau du fond de fouille.

La Craie Saine (Cs) de l'Île de Monsieur, dont la perméabilité, inférieure à $5 \cdot 10^{-6}$ m/s a été confirmée tant en phase études par un essai de pompage que par des essais d'eau en forages réalisés lors de la campagne G3, constitue la couche d'ancrage des parois moulées limitant les débits d'exhaure.

3 Dimensionnement

L'ouvrage est constitué de 3 lobes sécants au droit de 4 linteaux.

Pour le comportement horizontal, le fonctionnement structural retenu est le suivant : la paroi moulée circulaire est autostable, chargée par les pressions de terre et d'eau qui sont reprises par effet voûte. Autour du percement du tunnel, l'effet voûte est interrompu, la paroi moulée du lobe adopte alors un comportement en flexion verticale sur la hauteur de l'ouverture. A l'intersection des lobes, les linteaux sont chargés par la résultante de la réaction annulaire en provenance des deux lobes adjacents et sont appuyés sur un refend en paroi moulée traversant l'ouvrage, renforcé de 4 butons répartis au-dessus du tunnel. Les deux refends sont découpés sur la hauteur du tunnel en deux phases, la première permettant la réalisation du radier venant buter également le linteau. Ainsi le linteau fonctionne en flexion verticale avec une portée maximale de 9,4 m entre le haut du radier et le buton inférieur.

Plusieurs modèles de calcul ont été utilisés au cours des études d'exécution. En premier lieu, un calcul 1D au coefficient de réaction a permis de dimensionner les parois moulées des lobes, en tenant compte d'une annulation de la rigidité cylindrique sur la hauteur des ouvertures (MISS_K_ouv). L'épaisseur des parois (1,2 m) est alors dimensionnée par la contrainte de compression dans le béton, en particulier au-dessus de l'ouverture du tunnel, et calculée à l'ELS sur la base d'un anneau inscrit et à l'ELU sur la base d'un anneau résiduel incluant les tolérances d'exécution conformément à l'Eurocode 2.

Le dimensionnement des linteaux a fait l'objet d'un calcul aux coefficients de réaction, (Miss_K_lint), complété d'un modèle structure 3D aux éléments finis non phasé (EF_stru) afin d'apprécier les possibles redistributions d'effort dans les butons transversaux. Ce dernier modèle a été comparé à un modèle Miss_K monophasé (Miss_K_lint_mono). Dans ces modèles, le linteau est un élément poutre.

Enfin, dans le cadre d'un travail de recherche, la maîtrise d'œuvre a réalisé un modèle 3D sol-structure phasé aux éléments finis à l'aide du logiciel PLAXIS (Modèle MISS_EF_vol). La loi de comportement adoptée pour le sol est une loi HSM (Hardening Soil Model), les éléments de structure sont modélisés par des éléments volumiques élastiques où une plaque « fictive » de rigidité réduite d'un facteur 10 000 est introduite au niveau de l'axe neutre pour faciliter la détermination des sollicitations.

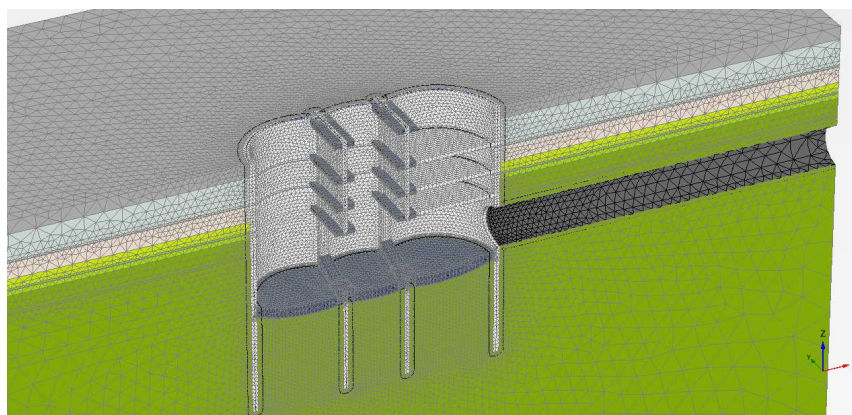


Figure 11. Vue du maillage MISS_EF_vol.

La comparaison des résultats présentés en figure 12 et 13 montre qu'au niveau de la paroi des lobes, à proximité de l'ouverture du tunnel, le modèle MISS_K_ouv présente une flexion verticale maximale en ventre (2,1 MN.m/m) plus forte que dans les autres modèles 3D, liée à un abattement de rigidité cylindrique modélisé sur une plus grande hauteur que celle observée dans les modèles 3D : redistribution de contrainte au sein des éléments de structure. On obtient 1,6 MN.m/m sur le 3D poutre EF_stru et 1,0 MN.m/m sur le 3D volumique Miss_EF_Vol, l'écart entre ces modèles 3D s'expliquant par la réduction de portée due à la prise en compte de l'épaisseur réelle du radier dans le modèle aux éléments volumiques. Le niveau de déformée (1,0 cm) est également plus important pour le modèle MISS_K_ouv mais reste du même ordre de grandeur que dans les modèles 3D (Miss_EF_vol : 0,6 cm).

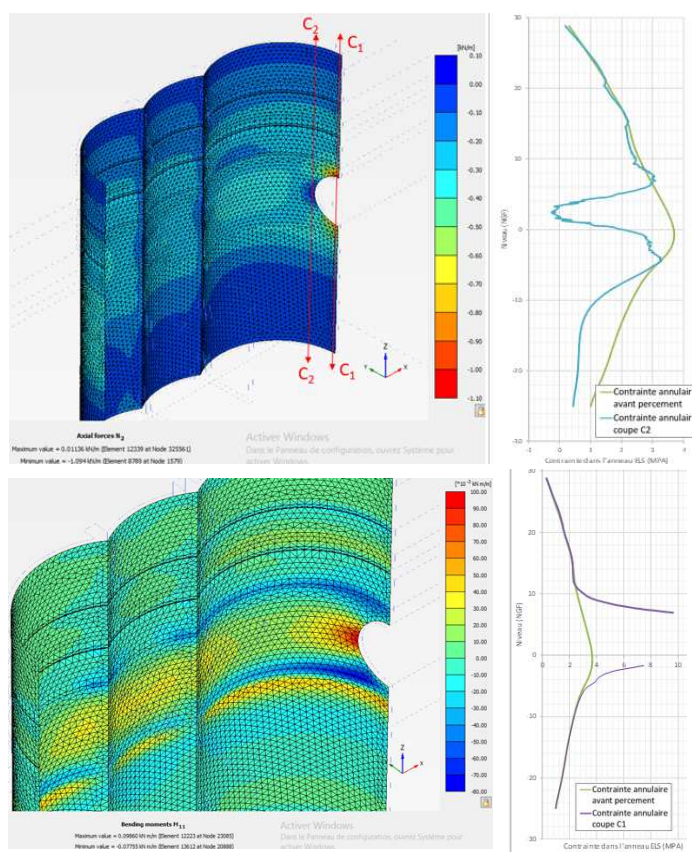


Figure 12. Modélisation de la paroi à côté du tunnel Miss_EF_Vol (Effort normaux, moments dans plaque de rigidité réduite d'un facteur 10 000 et contraintes dans l'anneau)

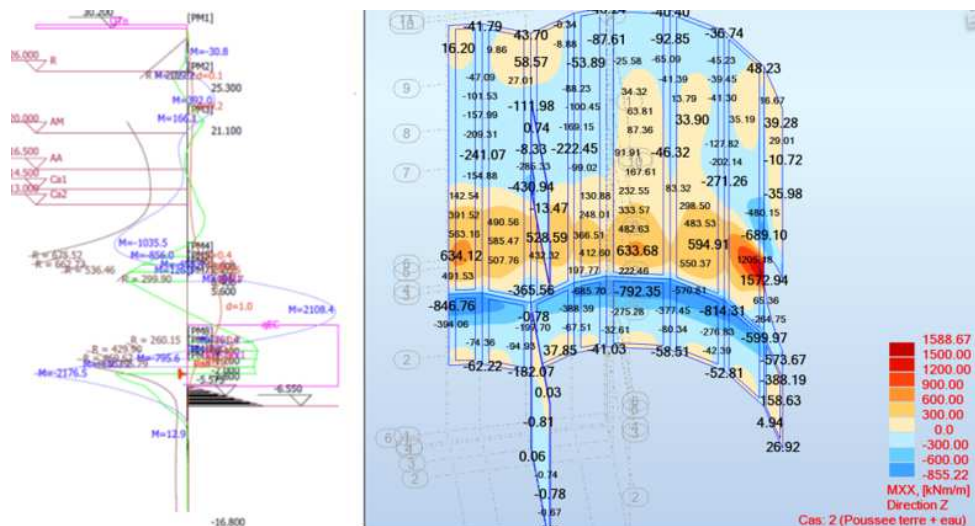


Figure 13. Modélisation de la paroi à côté du tunnel modèle Miss-k et moments modèle EF_STR

Le modèle MISS_EF_Vol met en évidence une diminution de rigidité cylindrique associée au percement du tunnel limité à environ un rayon tunnel. Ce plus faible impact qu'évalué dans le modèle EF_stru à chargement imposé s'explique par une diminution de la poussée inter-granulaire associée à la mise en flexion et une redistribution des efforts vers le radier et les dalles plus importante. Notons toutefois que la majorité de la poussée est due à la poussée d'eau insensible à cette redistribution.

Pour le linteau, le tableau ci-dessous et la figure 14 donnent une comparaison des sollicitations déterminées par les différents modèles :

	Unité	Miss_K_lint	Miss_K_lint_mono	EF_stru	Miss_EF_vol
Déformée max	cm	1,0	0,9	0,6	0,4
Moment de flexion max	MN.m/m	74	75	53	35
Tranchant max	MN	26	31	25	-

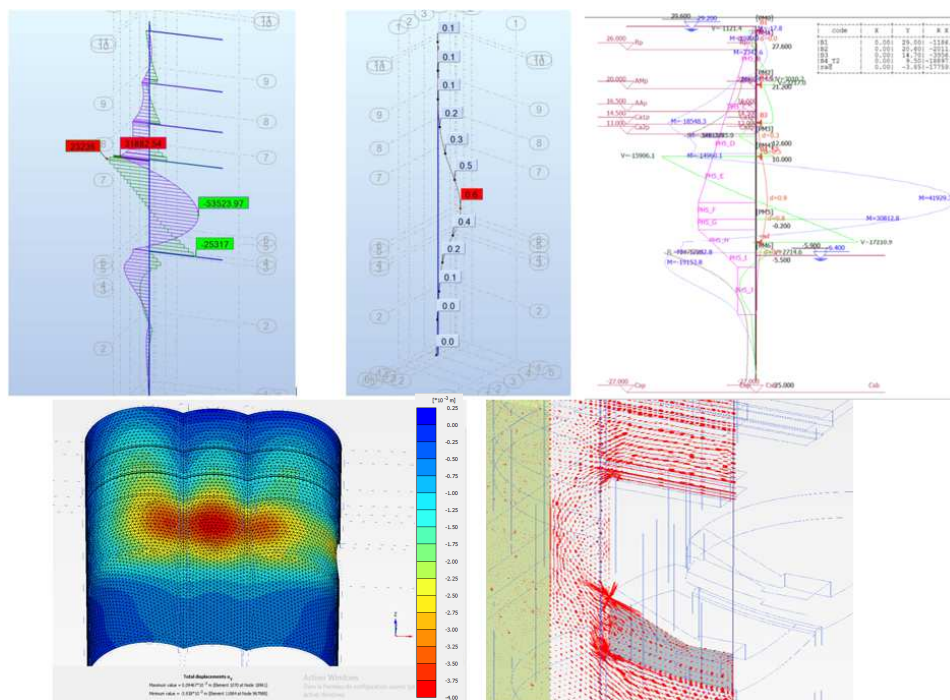


Figure 14. Modélisation du linteau à la jonction des lobes comme une poutre (EF_structure, Modèle Miss-K) ou en élément volumique (Miss_EF_vol)

Au niveau du linteau, les modélisations 3D (EF_stru et MISS EF_vol) montrent des moments de flexion plus faibles (1,5 à 2 fois moindre) s'expliquant par un chargement effectif du linteau moindre, du fait de redistributions des contraintes de compression annulaire au sein des lobes en amont du linteau vers les appuis plus rigides (buton et radier). Ces modèles 3D permettent dans ce cas de mieux apprécier la distribution des efforts dans les 4 butons transversaux (avec EF_stru, on obtient +70% d'effort dans les butons 2 et 3 et -20% dans le buton 4 le plus bas, comparativement au modèle Miss_K_lint_mono). Les butons sont dimensionnés avec l'enveloppe des efforts obtenus pour les différents modèles.

La modélisation en élément volumique (MISS_EF_vol) montre un fonctionnement en plaque avec une voûte de décharge au sein de la structure même du linteau expliquant l'écart de déplacement et de moment de flexion avec le modèle 3D poutre (EF_stru) dans lequel le linteau est modélisé comme une poutre. La compression au niveau des appuis est significative et justifie les dimensions du linteau retenues (4,5 x 1,8 m) avec les modèles plus simples pour maintenir un niveau de contrainte compatible avec le béton de paroi moulée. Au stade des études d'exécution, la hauteur du linteau (4,5 m) avait été choisie pour permettre la justification de l'effort tranchant obtenu avec des modèles de linteau poutre (Miss_K_lint et EF_stru) Par ailleurs ces dimensions permettent également de justifier l'équilibre vertical de l'ouvrage en amenant du poids propre et des surfaces de frottement sol / paroi importantes.

Pour l'équilibre vertical, le radier en coupole inversée, renvoie les efforts de sous pressions aux parois moulées des lobes ainsi qu'au deux refends transversaux. La justification de la portance en traction de ces refends s'est avérée fortement dimensionnante pour leur ferrailage. En effet, à l'ELS quasi permanent, la capacité résistante en traction est abattue conformément à la NF P EN 94-262 dans la mesure où aucun essai de portance n'est réalisé sur la paroi moulée ($F_{t,d} < 0,15 R_s$). Cet abattement conduit à suspendre l'effort de traction résultant jusqu'à la base de ces refends pour transmettre ensuite les efforts aux poutres linteaux par un schéma en bielle-tirant. Au niveau des linteaux, l'effort vertical ainsi apporté par le radier via les refends transversaux est repris par leur poids propres et leur frottement sol / paroi sous le niveau du fond de fouille. Ce point de justification doit attirer la vigilance sur l'exploitation des modèles numériques à des fins de dimensionnement du ferrailage, puisque dans ce cas cette remontée d'effort dans le refend, imposée par l'application réglementairement, est ignorée dans le modèle numérique en l'absence d'un comportement à l'interface dédiée.

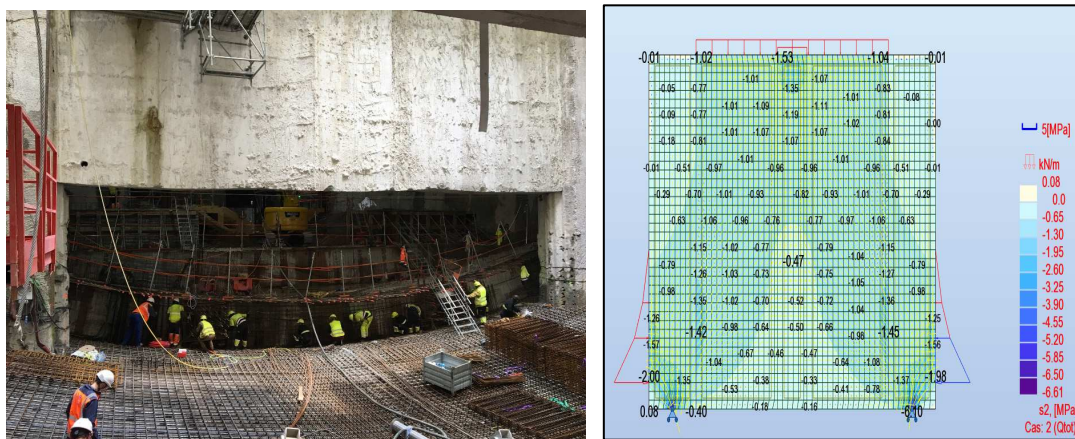


Figure 15. Découpe partielle du refend pour réalisation du radier et Figure 13 – Modélisation du refend pour la justification de l'équilibre vertical (schéma bielle-tirant)

La justification de la stabilité du fond de fouille a nécessité de disposer 46 drains passifs permettant d'écarter la pression d'eau au fur et à mesure des terrassements (cf. Figure 16). Le puits central a servi de puits de pompage pour essorer les terrains perméables au-dessus de la craie saine et a ensuite servi de puisard lors des terrassements dans la Craie Saine trop peu perméable pour être drainée au préalable des terrassements.

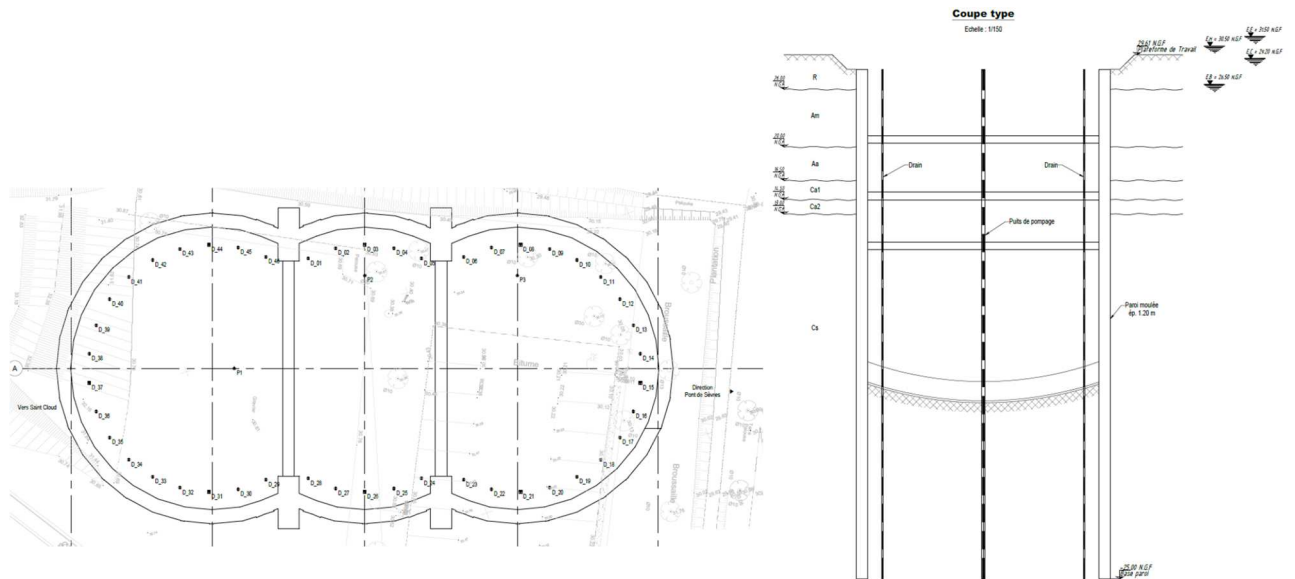


Figure 16. Vue en plan et coupe du dispositif de mise hors d'eau

Les débits pompés en fond de fouille ont été mesurés au niveau de centrale de traitement des eaux lors des terrassements, ils ont atteint au maximum $5 \text{ m}^3/\text{h}$. A partir de cette valeur de débit, une rétro-analyse sur la base d'un modèle d'écoulement par contournement (méthode Cardinal & De Cazenove) permet de retenir une perméabilité horizontale en grand de la craie saine de l'ordre de $K_h = 5.10^{-7} \text{ m/s}$ associée à une anisotropie de 1, ou de $K_h = 2.10^{-6} \text{ m/s}$ associée à une anisotropie de 10.

Lors de la réalisation du radier, il a fallu veiller à préserver un système de drainage (saignée drainante reliant les drains et le puisard central) efficace, sous le béton de propreté, et ceci jusqu'à la montée en résistance du béton de radier, permettant l'arrêt du pompage.

4 Réalisation des travaux et auscultation



Figure 17. Atelier de paroi moulée et levage cage linteau

en diamètre 350 mm, équipés de pompes immergées. L'eau d'exhaure ainsi pompée est traitée dans une station dédiée (séparée des eaux de pluies et des eaux de process) avant rejet à la Seine.

Le terrassement a ensuite été entrepris en limitant la dissymétrie entre les lobes (2 m au maximum afin d'assurer un fonctionnement en voûte à l'ouvrage). Les terrains pour partie pollués ont fait l'objet d'un maillage et d'une pré-caractérisation par carottage afin de flécher l'évacuation des terres vers les exutoires adaptés. Une partie du génie civil de l'ouvrage est réalisée à la descente. Il s'agit de poutres-butons renforçant les parois refends et de certains niveaux de planchers. Les travaux comprennent également la découpe d'une partie des refends pour permettre l'assemblage du tunnelier et la réalisation du radier en coupelles



Figure 19. Vue du lobe ouest à la fin du terrassement et avant mise en place du radier

L'ouvrage supporte également le pont roulant qui permettra l'acheminement des voussoirs en fond de puits. Les déblais du tunnelier à pression de terre seront quant à eux évacués à l'aide d'un convoyeur vertical, puis d'un convoyeur secondaire qui enjambe le tramway T2 pour permettre le chargement des barges qui seront amarrées en bord de Seine.

Le suivi de la déformée des parois moulées a été mené à l'aide de tubes inclinométriques et de profils de convergences. Il a permis de confirmer le comportement attendu de l'ouvrage avec très peu de flexion et des déformées en dessous des seuils fixés. Des fibres optiques avaient également été installées dans les parois moulées, fixées aux cages d'armatures de quatre panneaux. Seule une partie d'entre elles a pu être exploitée pour mesurer la compression orthoradiale.

Les différences de comportement entre les différents modèles étaient trop faibles pour que l'analyse des inclinomètres permette de se rapprocher d'un modèle plutôt que de l'autre.

5 Conclusions

En conclusion, cet ouvrage hors norme a nécessité des moyens exceptionnels avec notamment la réalisation de 4 panneaux de jonction de près de 1000 m³. Les observations réalisées en cours de terrassement sur les différents faciès de Craie campanienne ont permis de compléter les reconnaissances réalisées sur cette formation en phase amont. Une rétro-analyse des débits d'exhaure a confirmé la très faible perméabilité de la craie saine au droit du site à la cote de -25NGF (K_h inférieur à 2.10^{-6} m/s voir 5.10^{-7} m/s selon que l'on considère une anisotropie de 10 ou 1)

La réalisation de divers modèles de calcul a montré que le dimensionnement à l'aide des modèles sans prise en compte de l'effet 3D est une approche robuste et satisfaisante pour la justification des parois moulées. Ces modèles doivent toutefois dans ce cas être complétés avec un modèle structure 3D pour mieux apprécier les redistributions de contraintes au sein des parois en amont des linteaux et en conséquence les efforts dans les butons transversaux. Un modèle 3D en élément volumique a montré que le ferrailage de la paroi moulée pourrait être optimisé par rapport au modèle 3D-poutre, la structure adoptant par exemple pour le linteau un comportement de voile avec mise en voûte du linteau entre le radier et le buton. Toutefois en pied de voûte, les vérifications portant sur les contraintes de compression dans le béton de paroi moulée conduisent à retenir des dimensions de linteau semblables à celles retenues pour justifier l'effort tranchant dans les modèles de poutre. Les mêmes conclusions peuvent être faites sur la paroi moulée périmétrale à proximité de l'ouverture du tunnel.



Figure 20. Vue aérienne de l'ouvrage – assemblage de la roue de coupe et montage du bouclier du tunnelier

6 Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des intervenants du chantier du Puits de l'OA13, la Société du Grand Paris et notamment Vincente Fluteaux ainsi que Khadija Ben Ammar qui a monté le modèle PLAXIS 3D dans le cadre de son stage de fin d'études.

7 Références

- Baguelin, F., Bustamente, M., Jardin, J., Essais de chargement de pieux forés dans la craie altérée, Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, n°73, 1974, pp. 113-128
- Cardinal J. & De Cazenove E., Ouvrages profonds à radiers perméables, stations de pompes automatiques, écran d'étanchéité, reconnaissances et calculs des débits, Travaux n°439, Oct. 1971, pp. 28-37
- Lord, J.A, Clayton, C.R.I, Mortimore, R.N, Engineering in chalk, Ciria C574, 2002, 350pp.
- Pasturel, D., Essais de chargement de pieux dans la craie altérée, Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, n°29, 1968, pp. 1-24
- Sigismond, J., Dupas J.M., Lefebvre, A., La craie à Nogent sur Seine, Revue Française de Géotechnique, n°23, 1983, pp. 5-17