

Gare souterraine sous le CNIT à Paris-La Défense – de la reprise en sous-œuvre provisoire des bâtiments à la reprise en sous-œuvre définitive

The “CNIT La Défense” railway station in Paris: from the temporary to the permanent large-scale underpinning

Louis CANOLLE, Setec Tpi, Paris, France

Guillaume D'OUINCE, VINCI Construction France TP, Paris, France

François FERNIER, VINCI Construction Grands Projets, Paris, France

Julian MARLINGE, Setec Terrasol, Paris, France

Gildas PIGUELLER, VINCI Construction France TP, Paris, France

Julie PINTO, Setec Tpi, Paris, France

Résumé

La gare souterraine de « La Défense » est l'une des 3 gares nouvelles du projet d'extension du RER-E à l'Ouest. Elle est implantée sous les 5 à 11 étages des bâtiments abrités par la voûte du CNIT, ceux-ci étant intégralement repris en sous-œuvre pour réaliser la partie centrale de l'ouvrage (115ml x 50m).

Les transferts de charges provisoires ont mis en évidence un pesage réel de 100t à 1000t par poteaux pour un total de 62.000t. Alors que les travaux de construction de la structure définitive sont en cours au milieu de ces structures provisoires, un système d'auscultation et un pilotage détaillé permet de contrôler les évolutions des charges et les déformations.

La dalle de reprise étant très raide et les charges connues, le transfert de charge définitif des 100.000t de la dalle de reprise et du bâtiment existant a été réalisé en pilotant par paliers de charge jusqu'à 95% les couronnes de vérins sur pilier, les 5% restant étant transférés lors de la première passe de terrassement. Le système de LAO (Levage Assisté par Ordinateur) doit permettre de maîtriser les variations de charges tout en respectant des déformations millimétriques.

Abstract

The "La Défense" underground station is one of the 3 new stations in the RER-E West extension project. It is located under the 5 to 11 floors of the buildings sheltered by the vault of the CNIT, these being entirely underpinned to achieve the central part of the structure (115ml x 50m).

The provisional load transfers revealed an actual weighing of 100t to 1000t per post for a total of 62,000t. While construction work on the final structure is underway in the midst of these provisional structures, a detailed monitoring and piloting system makes it possible to control changes in loads and deformations.

The transfer slab being very stiff and the loads known, the final load transfer of the 100,000t of the transfer slab and of the existing building was carried out by controlling the sets of jacks on each pillar in load steps up to 95%. , the remaining 5% being transferred during the first earthworks step. The LAO (Computer Assisted Lifting) system must make it possible to control load variations while respecting millimeter deformations.

Gare souterraine sous le CNIT – de la reprise en sous-œuvre provisoire des bâtiments à la reprise en sous-œuvre définitive

The “CNIT La Défense” railway station in Paris: from the temporary to the permanent large-scale underpinning

Louis CANOLLE, Setec Tpi, Paris, France

Guillaume D'OUINCE, VINCI Construction France TP, Paris, France

François FERNIER, VINCI Construction Grands Projets, Paris, France

Julian MARLINGE, Setec Terrasol, Paris, France

Gildas PIGUELLER, VINCI Construction France TP, Paris, France

Julie PINTO, Setec Tpi, Paris, France

1 Introduction

La gare souterraine de « La Défense » est l'une des 3 gares nouvelles du projet d'extension du RER-E à l'Ouest. Elle est implantée sous les 5 à 11 étages des bâtiments abrités par la voûte du CNIT, ceux-ci étant intégralement repris en sous-œuvre pour réaliser la partie centrale de l'ouvrage (115ml x 50m).



Figure 1 - Vue extérieure CNIT



Figure 2 - Vue intérieure CNIT

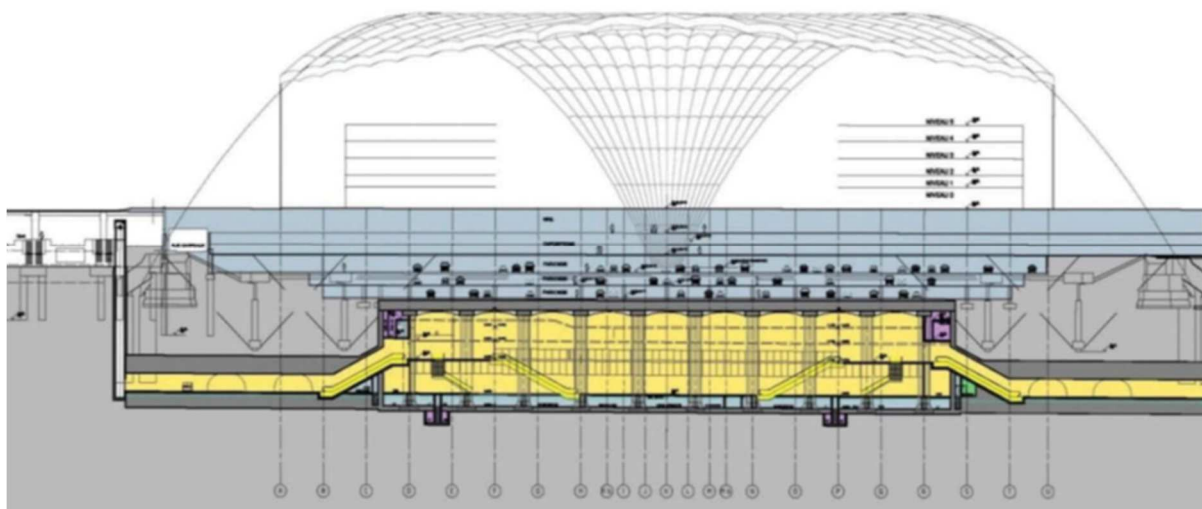


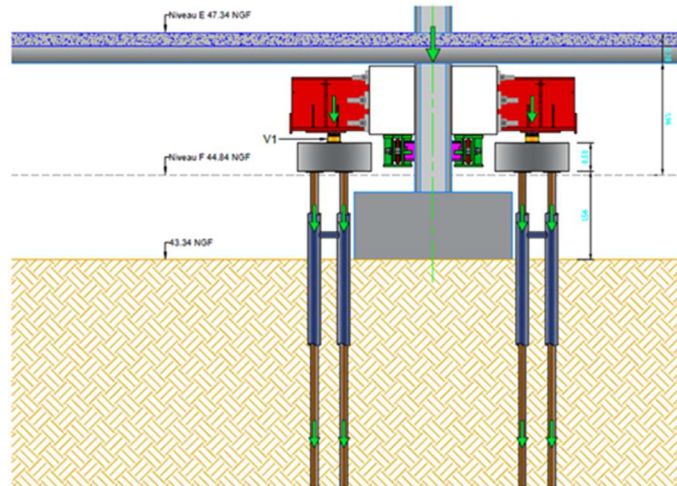
Figure 3 - Coupe de la gare à construire sous le CNIT

L'immeuble construit dans les années 1980 sous la voûte, comporte un centre commercial en élévation et cinq niveaux de sous-sol abritant parking et locaux commerciaux. L'emprise de la gare projetée se

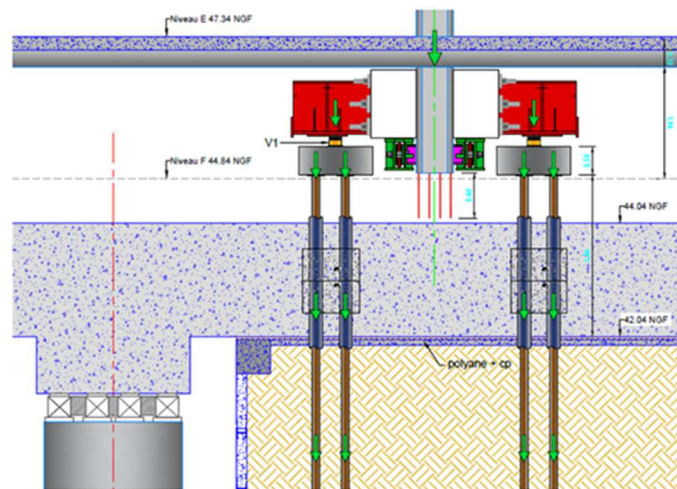
trouve au droit des fondations superficielles de ces poteaux, mais n'interfère pas avec les culées de la voute qui se trouvent à distance de la zone de travaux.

Durant toutes ces phases de reprise en sous œuvre, l'enjeu principal est le maintien de cet ERP en exploitation. L'impact des travaux vis-à-vis des commerces et du public doit donc être minime. L'immeuble est pris en charge à partir du niveau de parking le plus profond. Cette opération est réalisée en plusieurs étapes schématisées ci-dessous :

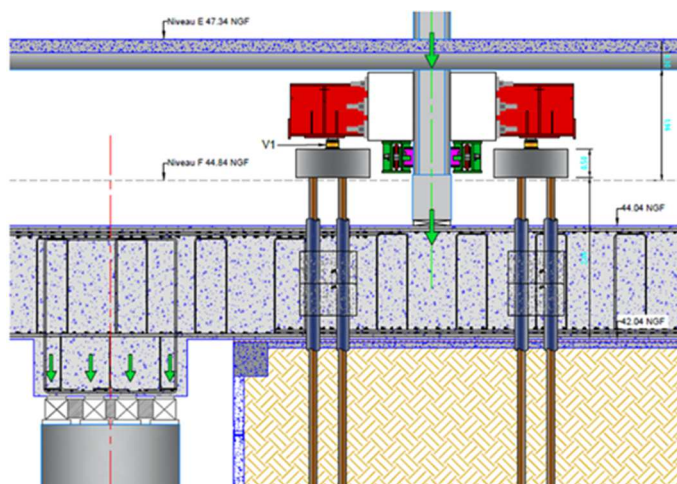
1/ Transfert provisoire des 117 poteaux existants sur une structure de reprise provisoire :



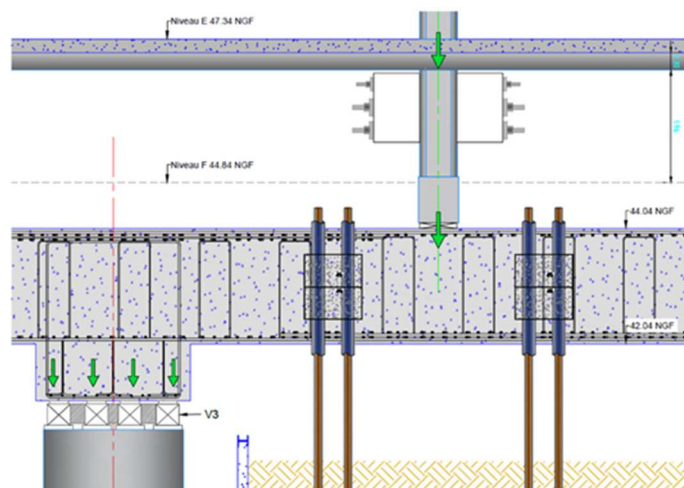
2/ Dépose des fondations existantes et construction de la structure de reprise définitive (dalle épaisse appuyée sur 60 nouveaux piliers) :



3/ Transfert des 117 poteaux existants sur cette structure de reprise définitive :



4/ Terrassement et réalisation en taupe de la gare :



2 Transfert des 117 poteaux existants sur une structure de reprise provisoire

Ce premier transfert de charges consiste à faire transiter les efforts non plus par les semelles des poteaux de l'existant mais à travers une structure provisoire constituée d'un ensemble micropieux + corset. Cela implique un vérinage via un étage de vérins situés en tête de massif des micropieux.

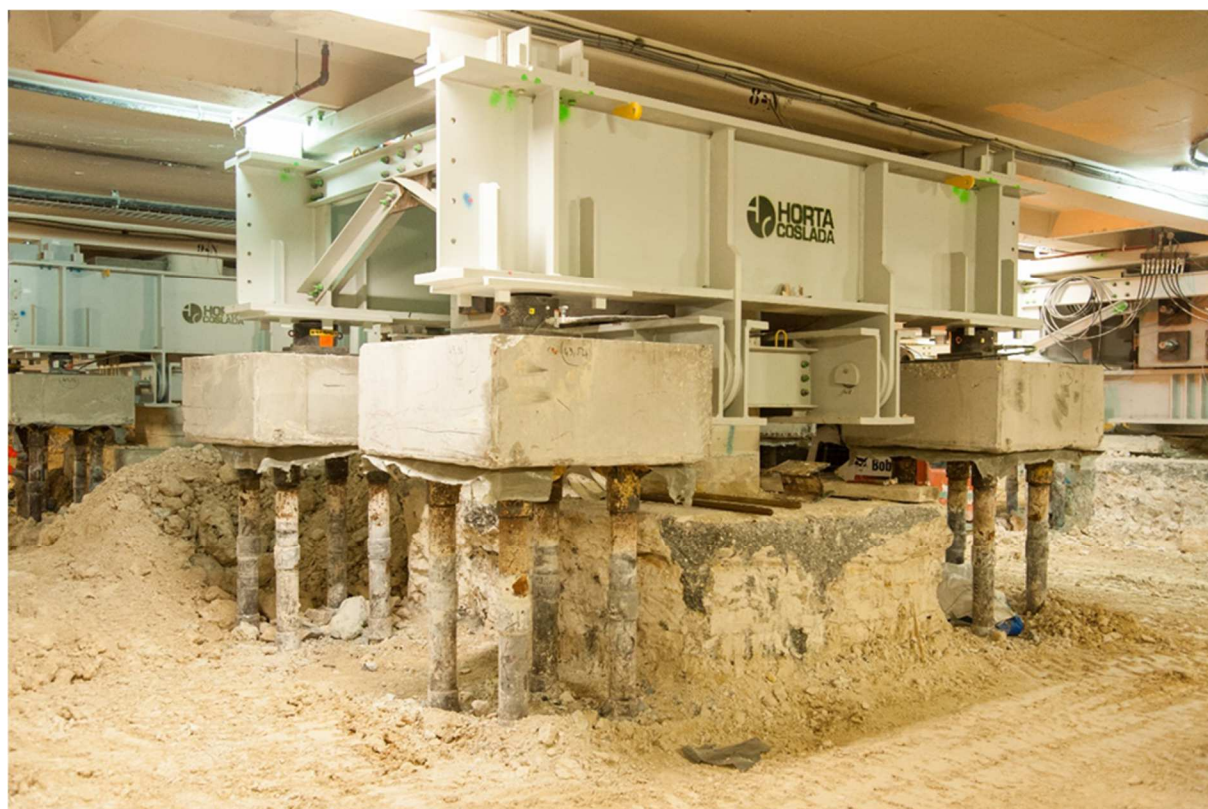


Figure 4 - Vue générale du système de reprise en sous œuvre (RSO)

2.1 Conception du système de reprise en sous œuvre provisoire

Le maintien constant de la géométrie et des charges appliquées aux poteaux était la garantie de ne pas endommager l'immeuble pendant l'opération. Des seuils de tolérance sur les déplacements relatifs entre pieds de poteaux (le déplacement différentiel ne peut excéder 1,2 mm/m, un seuil de vigilance est fixé à 0,5 mm/m et un seuil d'alerte à 0,9 mm/m) ont été définis.

Il a donc été conçu un système qui permette de lever et de supporter un tel poids sans provoquer de variation de nivellement, puis un système de surveillance qui garantisse que les efforts appliqués sur les poteaux et les niveaux restent pratiquement constants, jusqu'au moment où les charges pourront être rétablies sur la dalle de transfert (structure de reprise définitive).

Des réflexions poussées sur les coefficients de sécurité ont été menées afin de définir pour cette phase des instructions précises de poursuite ou d'arrêt des opérations, d'autant que la résistance des bétons de l'immeuble s'est avérée plus faible que celle spécifiée dans les documents de récolement de la structure existante.

117 poteaux ont été repris en sous œuvre via 750 vérins, pour un total de 62 000 Tonnes de descente de charge.

Le schéma ci-après montre le principe retenu pour la reprise en sous œuvre des poteaux courants :

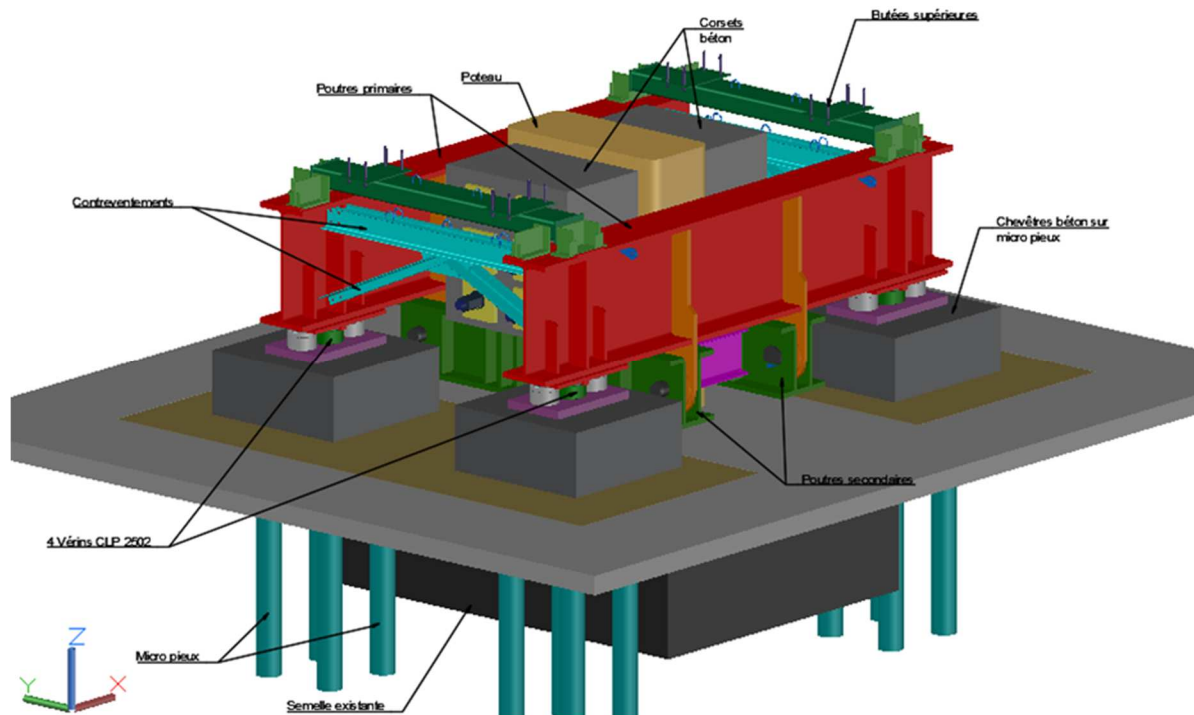


Figure 5 - Détail du système de reprise en sous œuvre

La charge des poteaux existants est reprise par les corsets béton précontraint.

Le corset béton est appuyé sur une charpente métallique constituée de poutres primaires et secondaires.

La poutre secondaire reprend la charge qui transite vers les primaires via des bretelles articulées au moyen d'un axe. Ce système articulé permet de répartir uniformément la charge sur le profil secondaire lors du vérinage des poutres primaires.

Les poutres primaires sont vérinées via 4 ou 8 vérins appuyés sur les chevêtres béton des micropieux.

Les efforts horizontaux, liés aux efforts parasites rapportés par les micropieux ou au choc de chantier, sont repris par un système de butées supérieures.

Afin de garantir la fiabilité du système, celui-ci a été conçu et étudié avec les hypothèses fortes ci-après :

- Un système de levage simple : prévu en 4 points en isopression, afin de ne pas avoir à gérer un levage via une LAO (Levage Assisté par Ordinateur), ceci pour faciliter et maîtriser l'action du levage et ainsi ne pas générer d'effort parasite dans les poteaux.
- Un système compact, conçu articulé, permettant d'absorber les imperfections de planéité, les charges étant transmises au corset via des néoprènes pour également corriger les défauts de surfaces.

- Le choix des vérins est effectué en visant le coefficient de 1.4 du guide STRRES 5 « appareils d'appuis » permettant d'avoir un coefficient suffisant sur les charges théoriques calculées, mais aussi d'anticiper le rechargement d'un poteau sur l'autre lors de vérinages successifs.
- Choc d'engin de chantier sur les micropieux. Cette charge s'est vite avérée dimensionnante pour les micropieux. L'effort de choc a été défini comme une réaction du micropieu lié à la vitesse de l'engin et non sa charge, soit le choc mou défini dans les l'EC 1-1-7 annexe C
- Choix des barres de précontraintes. En concertation avec Freyssinet, il a été retenu des barres Freyssibar HTSR de nuance 1200MPa. Ces barres étant bien plus résilientes que les barres classiques, elles sont plus adaptées pour résister aux chocs éventuels d'engins.
- Rupture d'une barre de précontrainte. Le corset béton a été justifié en phase accidentelle en considérant que n'importe laquelle des 6 barres précontrainte peut être rompue.
- Tenue au Feu. Envisager de traiter chaque organe de la RSO spécifiquement au feu, s'est vite avéré impossible (Vérins / flexibles hydraulique / néoprènes / précontrainte...). Ainsi la protection incendie retenue des ouvrages est assurée par un système actif externe à ceux-ci, à savoir un système Sprinkler.

Les transferts de charges provisoires ont mis en évidence un pesage réel de 100 t à 1000 t par poteaux pour un total de 62.000 t.

Alors que les travaux de construction de la structure définitive sont en cours au milieu de ces structures provisoires, un système d'auscultation et un pilotage détaillé permet de contrôler les évolutions des charges et les déformations et de procéder à des corrections à l'aide des vérins le cas échéant.

2.2 Système d'auscultation

2.2.1 Les instruments mis en œuvre

La criticité et la difficulté de ces opérations de reprise en sous œuvre a nécessité la mise en place d'instruments de mesures de haute précision. La première étape fut la définition des paramètres pouvant permettre l'interprétation des phénomènes observés pendant les phases de levage, cette phase est la phase dite de « pilotage ». Les paramètres retenus furent les suivants :

- L'évolution du nivellement des poteaux au moyen de réseaux de téléniveaux hydrauliques (134 capteurs au total). Ce système consiste en une série de capteurs connectés entre eux au moyen d'une conduite remplie de liquide, reliée à un réservoir de référence. La mesure de la pression du fluide à l'intérieur de chaque point d'installation des capteurs indique la différence de hauteur entre les capteurs et le réservoir de référence. La limite de ce type de capteur étant la longueur des réseaux ainsi que le besoin d'utiliser une référence pour l'ensemble des capteurs d'un réseau, un algorithme de calcul en bloc a été développé pour l'occasion. Ce procédé a permis d'obtenir des variations d'altitudes absolue (en fait relative par rapport aux références sélectionnées) et non des mouvements relatifs par rapport à une référence potentiellement dans la zone d'influence,
- L'évolution des contraintes dans les poteaux au moyen de 334 jauges de contraintes,
- La pression dans les vérins au moyen de 117 manomètres digitaux

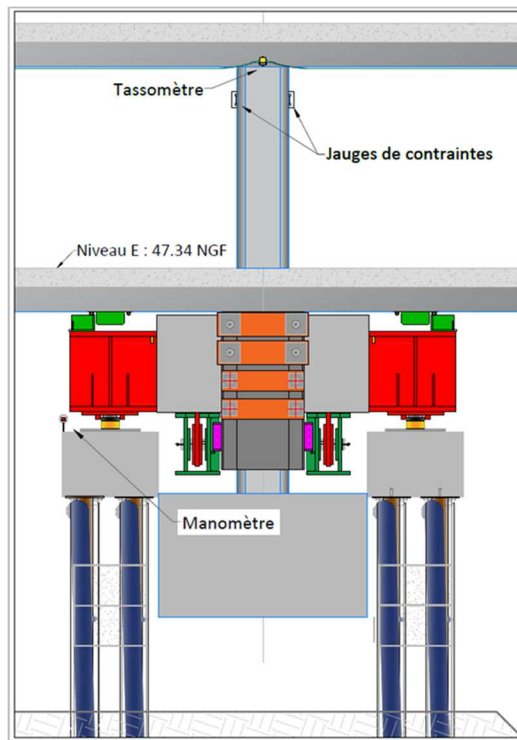


Figure 6 – Schéma de principe de l'instrumentation pour la phase de levage

L'ensemble de ces instruments de mesures sont connectés à des centrales d'acquisition dans une salle dédiée installée sur le chantier afin d'être au plus près des actions de vérinage et de pouvoir interroger les capteurs à haute fréquence (fréquence d'acquisition pendant la phase de pilotage : 2min). Le déploiement d'un réseau de plus de 20 km de câble a été nécessaire à la mise en place d'un tel dispositif.

2.2.2 La phase de pilotage

Dans le souci de mettre à disposition les données le plus rapidement possible, une base de données locale a été mise en place spécifiquement pour les poteaux repris en sous œuvre avec une répliquon automatisée sur la base de données principale du projet EOLE.

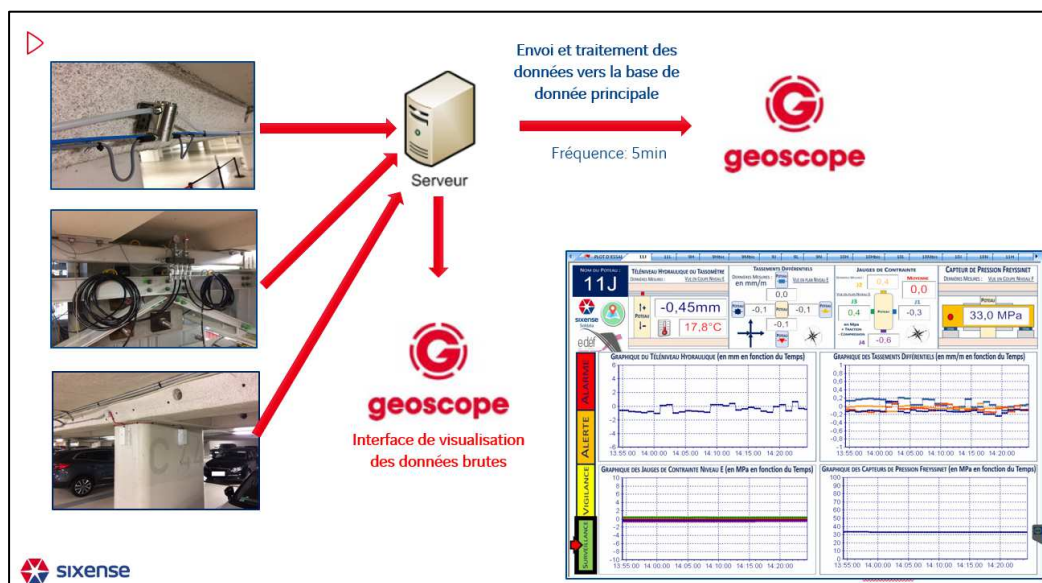


Figure 7 – Organisation de la visualisation et du flux de données

A la vue des enjeux, une astreinte présentielle 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 fut mise en place afin de palier toutes pannes ou besoin de recalage dans les 6 heures.

Durant les phases de levage, le cercle décisionnel étant basé sur les données d'auscultation, une interface graphique est mise à disposition des différents acteurs du projet afin de pouvoir agir au plus vite et au plus précis.

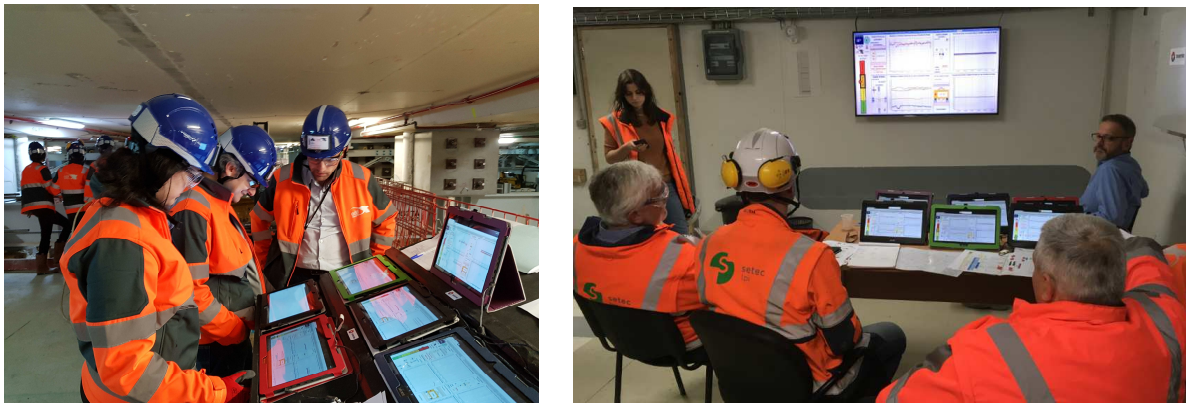


Figure 8 – L'équipe du projet pendant une opération de levage

2.2.3 La phase de suivi

La phase dite de suivi est la phase permettant de gérer l'évolution dans le temps des comportements des poteaux jusqu'à leur repose sur la dalle de transfert. Au moyen de tableaux de bord, les équipes du projet ont donc analysé hebdomadairement les variations de charges, de nivellement et de contraintes dans les poteaux. Cette analyse fine du flux de plus de 17000 valeurs par heures fut cruciale dans la maîtrise du risque lié à ce genre d'opération.

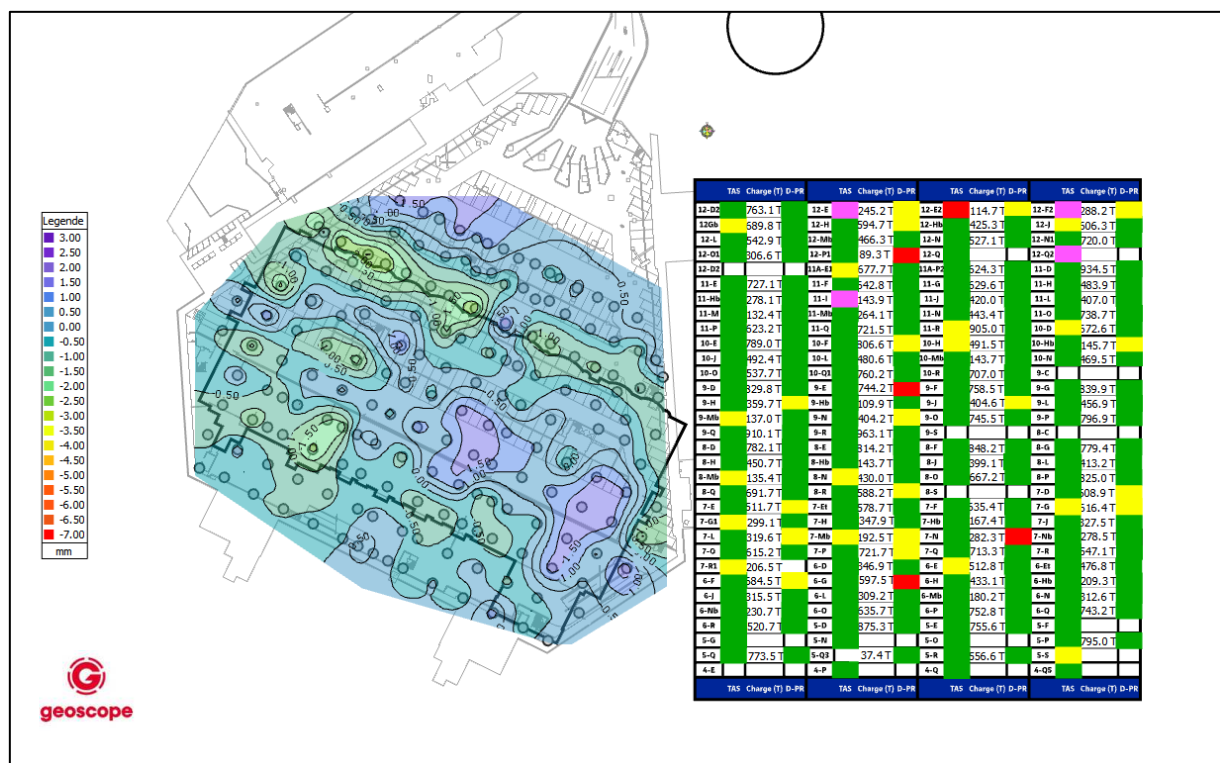


Figure 9 – Tableaux de bord utilisé pour le suivi en temps réel et l'analyse des résultats

2.3 Retour d'expérience

Les prises en charges des 117 poteaux se sont échelonnées sur une période de 16 mois, du premier levage effectué de nuit pour valider les critères décisionnels de coupe et vérifier le comportement et reports de charge, jusqu'aux derniers poteaux coupés, jusqu'à 4 par jour.

Durant cette période, le pilotage a nécessité une attention constante, et a généré presque 500 interventions de recalage afin de rester dans une enveloppe de déformée minimale (effet du terrassement / fuites aux vérins / rechargement d'un poteau sur l'autre).

Le suivi des charges a montré une très faible évolution de celles-ci, la variation globale notée fut inférieure à 2%

L'analyse critique et croisée des descentes de charge théoriques, faite au démarrage des études, et le coefficient 1.4 retenu dans les dimensionnements, ont permis de couvrir l'ensemble des descentes de charges réelles pesées lors des transferts de charge provisoires.

Les reports de charges constatés d'un poteau sur l'autre ont été plus faibles que ceux estimés, mais il a été mesuré des valeurs allant jusqu'à 50 t/mm.

Les pertes de précontraintes du corset, pesées durant cette période, n'ont jamais atteint les pertes instantanées calculées.

3 Dépose des fondations et construction de la structure de reprise définitive (dalle épaisse appuyée sur 60 nouveaux piliers)

Les 60 piliers définitifs, de 15 à 22m de profondeur, sont réalisés dans des puits traditionnels, et se fondent sur des semelles ancrées et dimensionnées dans une couche calcaire surplombant des sables et argiles. L'excavation des puits, le génie civil des piliers et la réalisation de la dalle de transfert ont été réalisés avec toutes les contraintes logistiques que représentent un chantier de cette envergure depuis le 4ème niveau de sous-sol.

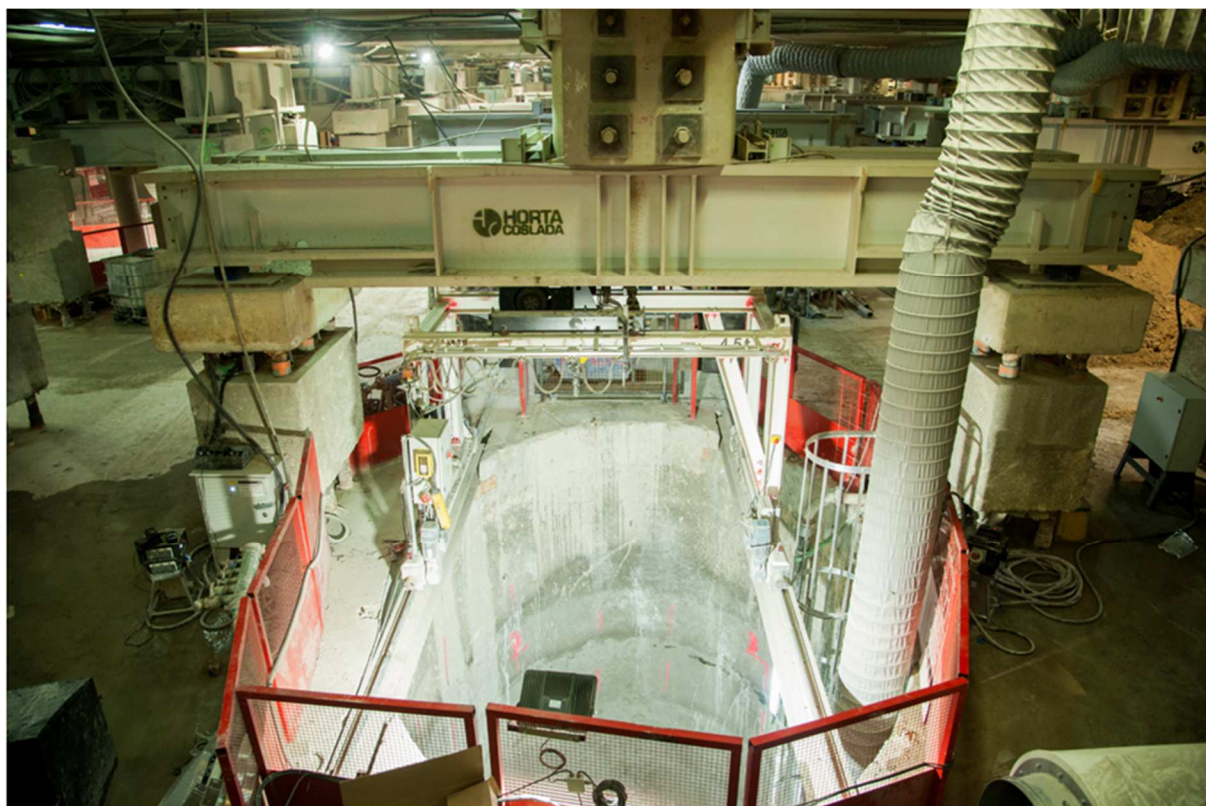


Figure 10 - Puit elliptique surplombé du système de RSO provisoire

Les puits ont été étudiés pour fonctionner en anneau, soit une géométrie circulaire ou elliptique suivant l'encombrement disponibles, ceci a permis de les réaliser en coque projeté fibré d'épaisseur 15cm. Cette solution apporte l'avantage de s'adapter aux différentes géométries des piliers et des semelles (circulaires, rectangulaires, trapézoïdaux...). Si les piliers cylindriques permettaient une coque

parfaitement circulaire, les contraintes d'encombrement pour les piliers rectangulaires ne permettaient pas de conserver des anneaux circulaires et une adaptation en ellipse a donc été réalisée.

Des mesures de convergence ont parfaitement validé les modélisations et aucun tassement des massifs de micropieux des structures de reprises en sous-œuvre provisoires n'a été observé.

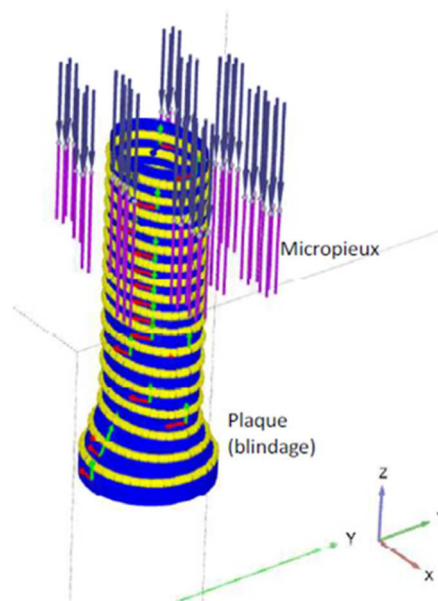


Figure 11 - Extrait de modélisation d'un puit et ses micropieux adjacents

La réalisation des puits en coque mince a permis de travailler jusqu'à 12 puits en simultanée avec un cycle complet d'une passe par jour. L'ensemble des puits a été réalisé en 8 mois. Un dernier avantage se retrouve lors du terrassement de la boîte avec des moyens de démolition des puits beaucoup plus léger à mettre en œuvre.

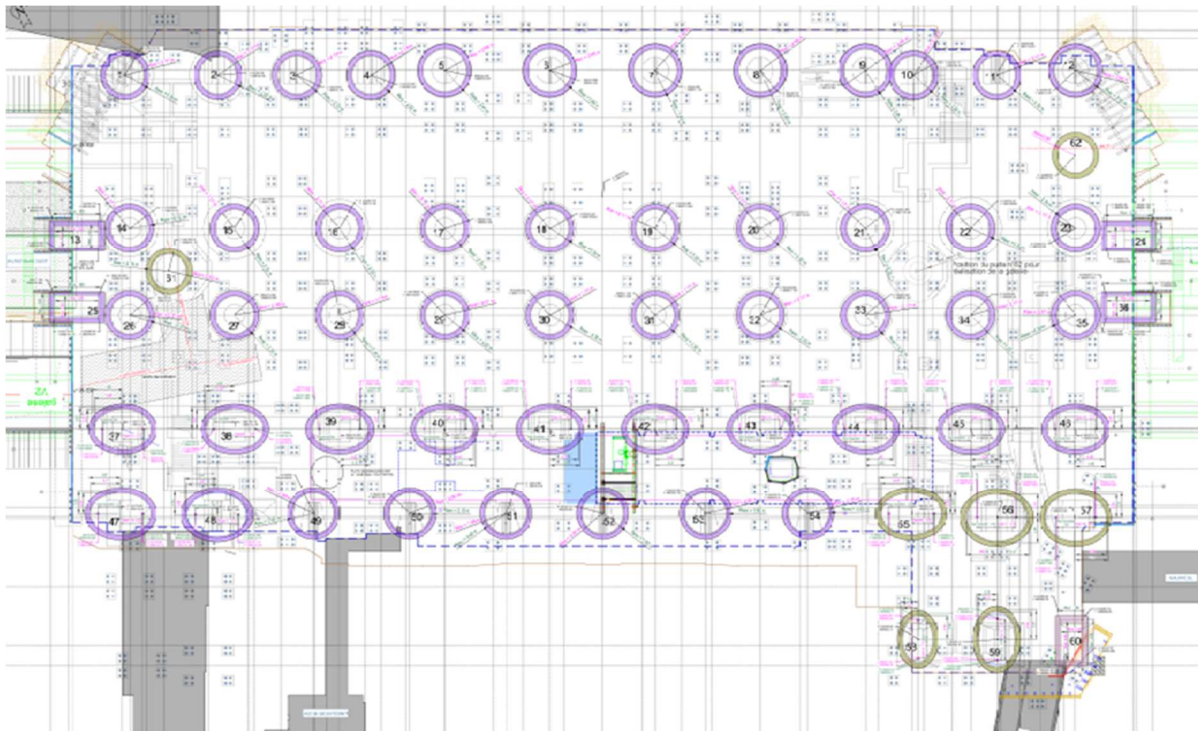


Figure 12 - Vue générale des puits

La réalisation des piliers dans un second temps à l'intérieur même de ces puits a été faite à l'aide de coffrages grimpants sur rail extérieurs afin de ne pas dégrader le parement définitif de la gare.

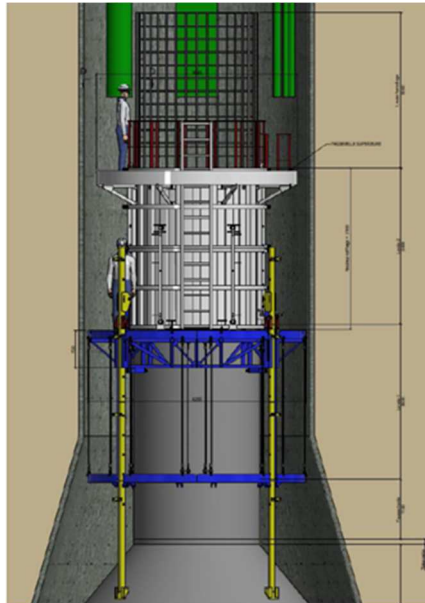


Figure 13 - Principe de réalisation d'un pilier à l'intérieur des puits

4 Second transfert de charges sur la structure de reprise définitive

4.1 Conception du système

Le second transfert de charges des 117 poteaux sur les structures provisoires se sont échelonnés sur une période de 16 mois.

Le second transfert de charges consiste à faire transiter les efforts depuis le dispositif provisoire sur la structure définitive constituées de la dalle de transfert appuyée sur les nouveaux piliers de la gare. Cela implique tout d'abord la repose des pieds de poteaux sur la dalle coulée au sol, puis un vérinage généralisé, via des couronnes de vérins situés tête de chacun des 60 piliers.



Figure 14 - Couronne de vérins et camarteau en tête de piliers

- Phase préalable de repose des pieds de poteaux du parking :

Les pieds de poteaux du parking sont reconstitués et reposés à l'avancement du coulage de la dalle.

Ceux-ci sont coulés sur prédalle posée sur néoprènes.

Les tassements constatés à la pose restent faibles et généralisés de l'ordre de 1.5 à 2.5mm. Cet état anticipe une cuvette basse de tassement, permettant d'éviter une distorsion trop importante entre les

files de poteaux reprises en sous œuvre et celles à l'extérieur de la Gare, dont est attendue un tassement pluri millimétrique lors du terrassement en taupe.

- Phase de transfert de charges :

La charge des piliers est reprise par une couronne de 6 ou 8 vérins de capacité 400t / 520t / 600t pour reprendre au final un total attendu de 100 000 t.

Contrairement au premier transfert de charge provisoire qui est piloté en nivellement et contrôlé en charge, ce second transfert est piloté en charge et contrôlé en nivellement, en effet :

- Les 117 poteaux ont été pesés, la charge est donc parfaitement maîtrisée,
- La dalle de forte épaisseur (2m + retombées de poutres de 1m) a une raideur très importante et les déformées attendues sont donc très faible (millimétrique).

Le système de levage est piloté à l'aide d'une LAO (Levage Assisté par Ordinateur) 48 voies.

Le vérinage s'effectue par paliers, jusqu'à 95 % de la charge théorique afin de maîtriser au maximum la répartition des charges lors du levage.

Les 5% restant étant transférés lors de de la première passe de terrassement en taupe.

Au vu de l'encombrement et de l'accessibilité des têtes de piliers (notamment au niveau des longpans) et afin de fiabiliser le système de vérinage, deux paramètres supplémentaires ont dicté le choix des vérins :

- Faire fonctionner la LAO en mode courant entre 400 et 500 bars (risque de fuites si pression trop faible)
- Anticiper la défaillance d'un vérin sur la couronne de vérinage afin de pouvoir isoler ce dernier et maintenir la pression rapidement avant remplacement du vérin.

L'anticipation du démarrage des terrassements avant la fin de réalisation complète de la dalle de transfert a conduit à vériner la dalle par lignes successives.

4.2 Système d'auscultation

Outre l'ensemble de vérins et calage, le système de vérinage V3 comprend l'instrumentation ci-dessous, pour chaque pilier :

- Téléniveaux hydrauliques en tête de piliers pour la vérification du nivellement de la dalle de transfert
- Manomètre de mesure de pression sur les sous-groupes de vérinage situés sur chaque tête de pilier pour assurer les mesures de pilotage.
- Comparateur entre sous face de dalle et tête de pilier donnant la course des vérins et son raccourcissement élastique.

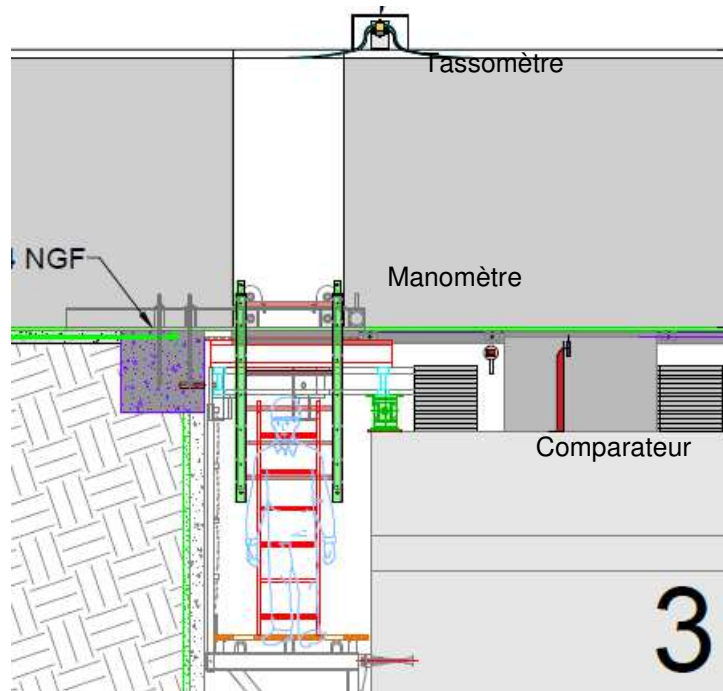


Figure 15 – Instrumentation mise en œuvre pour le suivi du vérinage V3

La méthodologie de traitement et d'analyse de données décrite au paragraphe 2.2 sera mise en œuvre pour ce second transfert de charge.

4.3 Principaux résultats

A date, le second transfert de charges sur la structure de reprise définitive est terminé sur l'ensemble des piliers de la gare. La tâche d'encastrement de la dalle de transfert sur les piliers a démarré par la repose de cette dernière au niveau des piliers des longpans.

Phase de prise en charge :

Les variations de nivellement ont été très faibles conformément à ce qui était attendu.

Les courses des vérins mesurant le tassement des piliers et son raccourcissement élastique ont été plus faibles que celles attendues dans une fourchette de 20 à 80% confirmant le caractère sécuritaire des estimations des notes de calcul.

Les 100 000 Tonnes ont été transférées sur les piliers avec une bonne stabilisation dans le temps : variation de l'ordre de 1000 T (1%) liée aux phénomènes saisonniers, mais aussi hebdomadaires : stabilisation des Week End en l'absence d'activité travaux.

- Phase de terrassement en taupe :

Les variations de nivellement et de pression sont restées très faibles jusqu'au terrassement d'environ 2/3 de la gare soit 30NGF.

A partir de ce niveau, il a été constaté le soulèvement des piliers centraux prévu dans les notes de calcul, se traduisant par une augmentation des pressions des piliers concernés et un soulèvement millimétrique de la zone centrale :

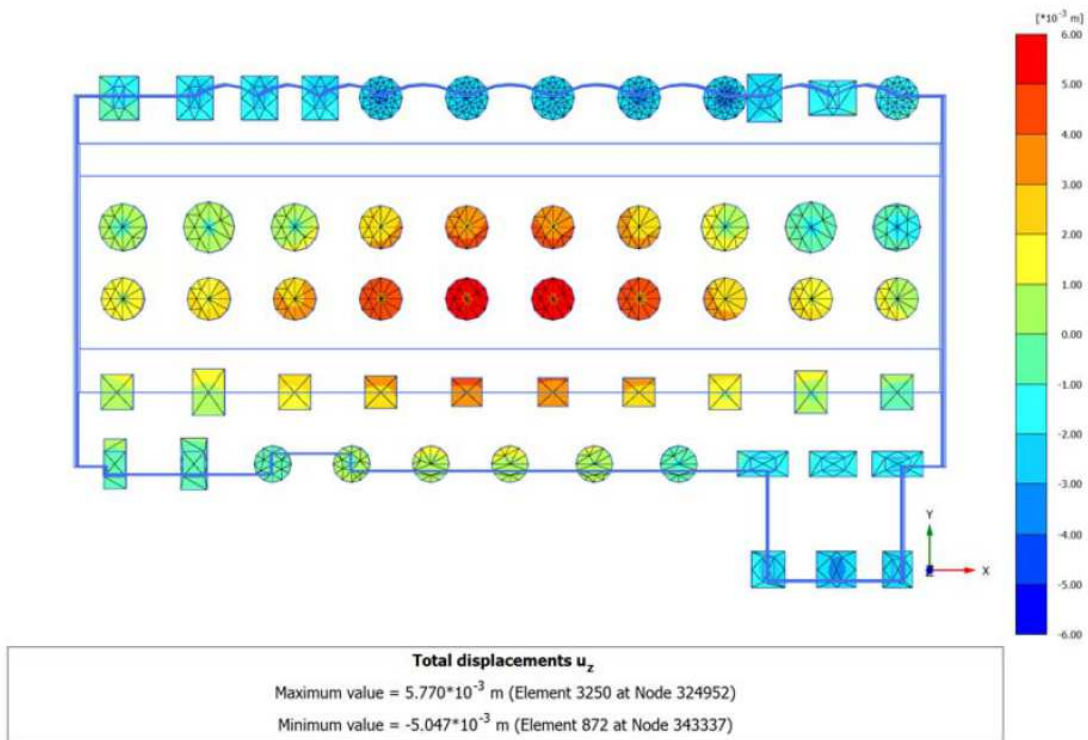


Figure 16 – soulèvement attendu dans les notes de calcul à la fin des terrassements

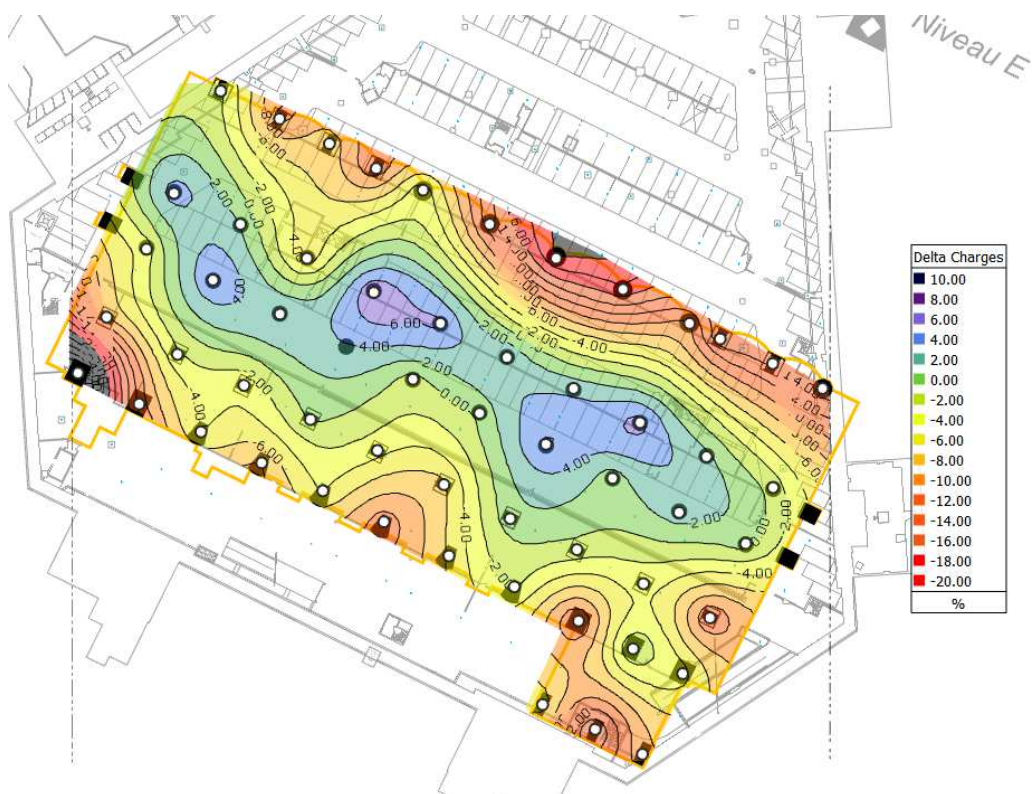


Figure 17 – Constat d'évolution des pressions en zone centrale à l'avancée des terrassements

Des recalages successifs par LAO (Levage Assisté par Ordinateur) ont donc dû être effectués régulièrement pour maintenir les pressions dans une fourchette acceptable et assurer une cuvette de nivellement conforme aux seuils de vigilance du marché.

5 Conclusion

A date, tous les poteaux de la gare ont été repris provisoirement en sous œuvre et reposés sur la dalle de transfert. Cette prouesse technique réalisée par un groupement d'entreprises des groupes VINCI et Spie et une maîtrise d'œuvre du groupe SETEC, associée au suivi et pilotage continu a été une vraie réussite car elle a permis de contrôler la planimétrie dans une plage de 2mm et a montré la stabilité de la charge pesée : aucun désordre n'a été constaté, et ce malgré la faiblesse des résistance béton de certains poteaux initialement constatée.

A date, La structure définitive de transfert de la gare (piliers et dalle de transfert) est terminée, le terrassement est achevé et les radiers sont en cours de réalisation.

Le second transfert de charges sur la structure de reprise définitive est quasiment achevé : les 100 000T ont été transférés sur cette structure définitive, cette charge maintenue durant toute la durée de terrassement a permis de limiter la cuvette de nivellement dans des valeurs très faibles.

Enfin, l'encastrement des piliers sur la dalle de transfert a démarré par la repose de cette dernière sur les piliers des longpans via le noyau de reprise. L'encastrement complet de la dalle de transfert dans les piliers est en cours.