

# REPRISE EN SOUS ŒUVRE DU CNIT PARIS LA DÉFENSE



prolongement du RER E vers l'ouest

**Bienvenue sur le projet  
e-déf, Eole-La Défense**

Tronçon Saint Lazare - Nanterre - La Folie  
vers La Défense et Tunnels Adjacents (DEF1) Tranchée La Folie Entonnement Ouest (DEF2)

**Présenté par : Dominique NIBEL - Nicolas ROMAGNY (BOTTE Fondations)  
Frédéric DURAND - Paul LACRAMPE (SGEO)  
Guillaume GEHU (SIXENSE)**



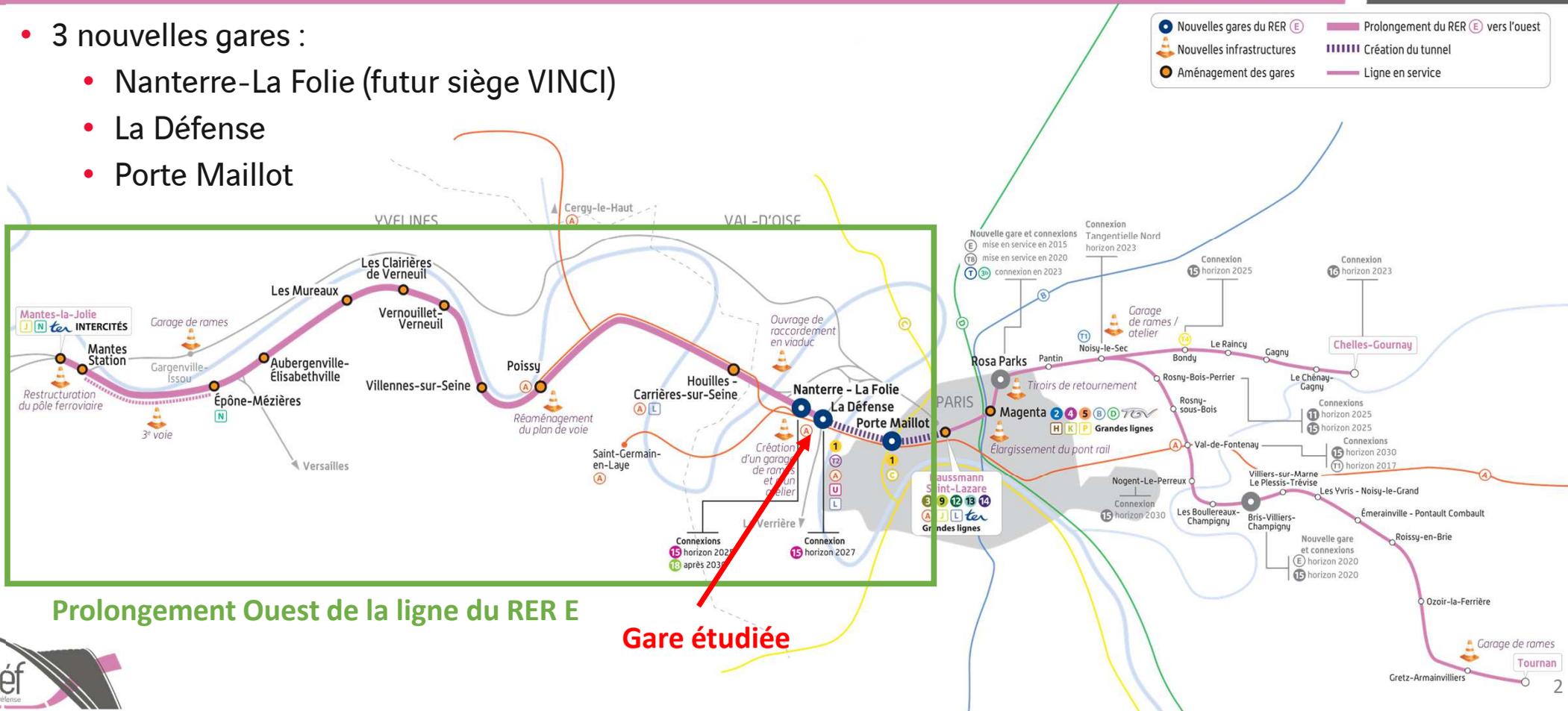
3 mars 2021

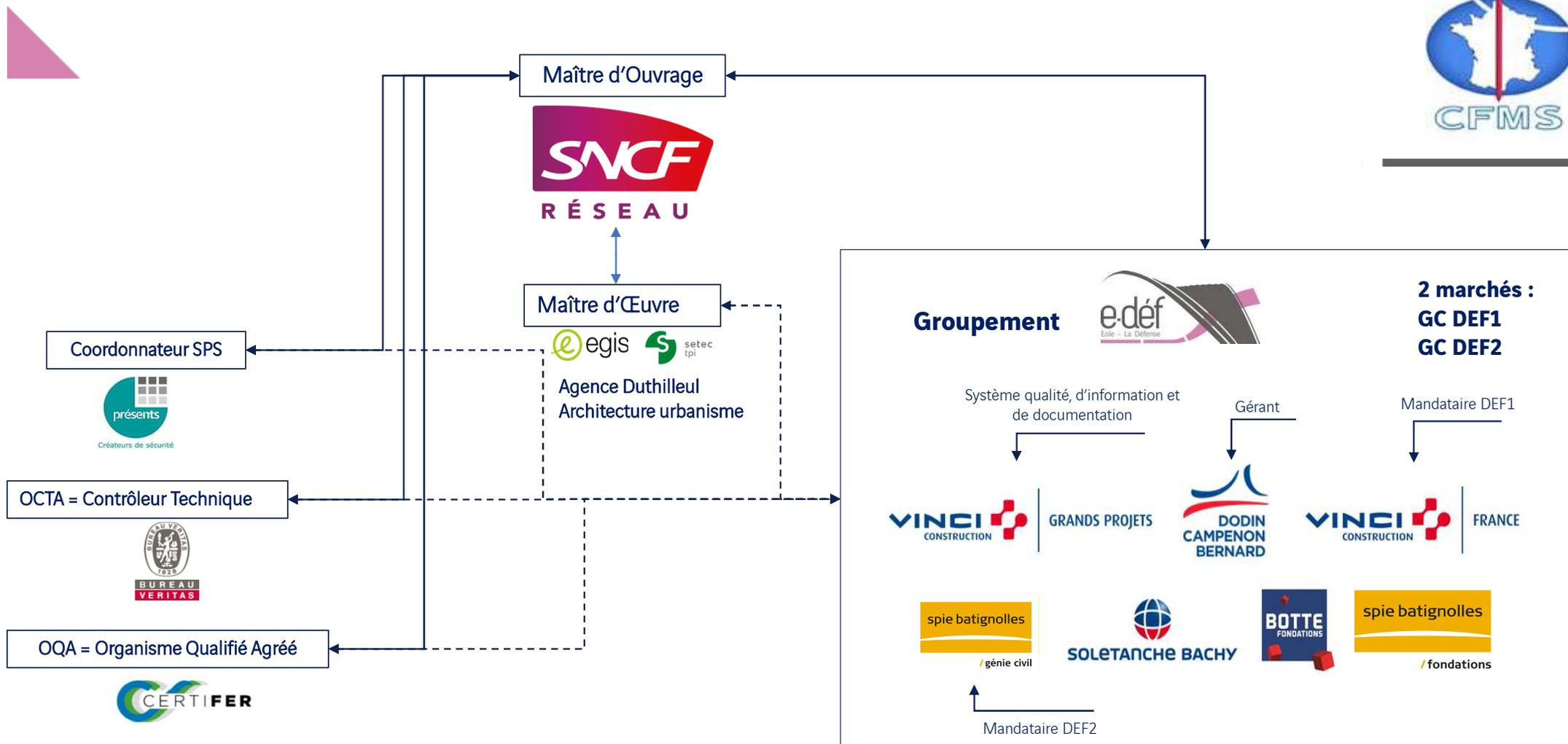
# PRESENTATION GENERALE

## Plan de la ligne du RER E



- 3 nouvelles gares :
  - Nanterre-La Folie (futur siège VINCI)
  - La Défense
  - Porte Maillot





## DÉMARRAGE DES TRAVAUX : **JUILLET 2016**

Durée des  
travaux

**61 mois**

dont une période de  
préparation de 4  
mois et une mise à  
disposition du GC à  
53mois

Montant des  
marchés (HT)

DEF1 = **496 M€**

DEF2 = **91 M€**

BÉTON

**206 000 m<sup>3</sup>**

- 56 000 m<sup>3</sup> soutènements
- 150 000 m<sup>3</sup> structures

ACIERS

**10 600 t**

Effectifs opérationnels

**460**

TERRASSEMENT

**520 000 m<sup>3</sup> de déblais**

Effectifs encadrants

**152**

HEURES PRÉVUES

**3 500 000 heures**

dont 7% en **insertion**

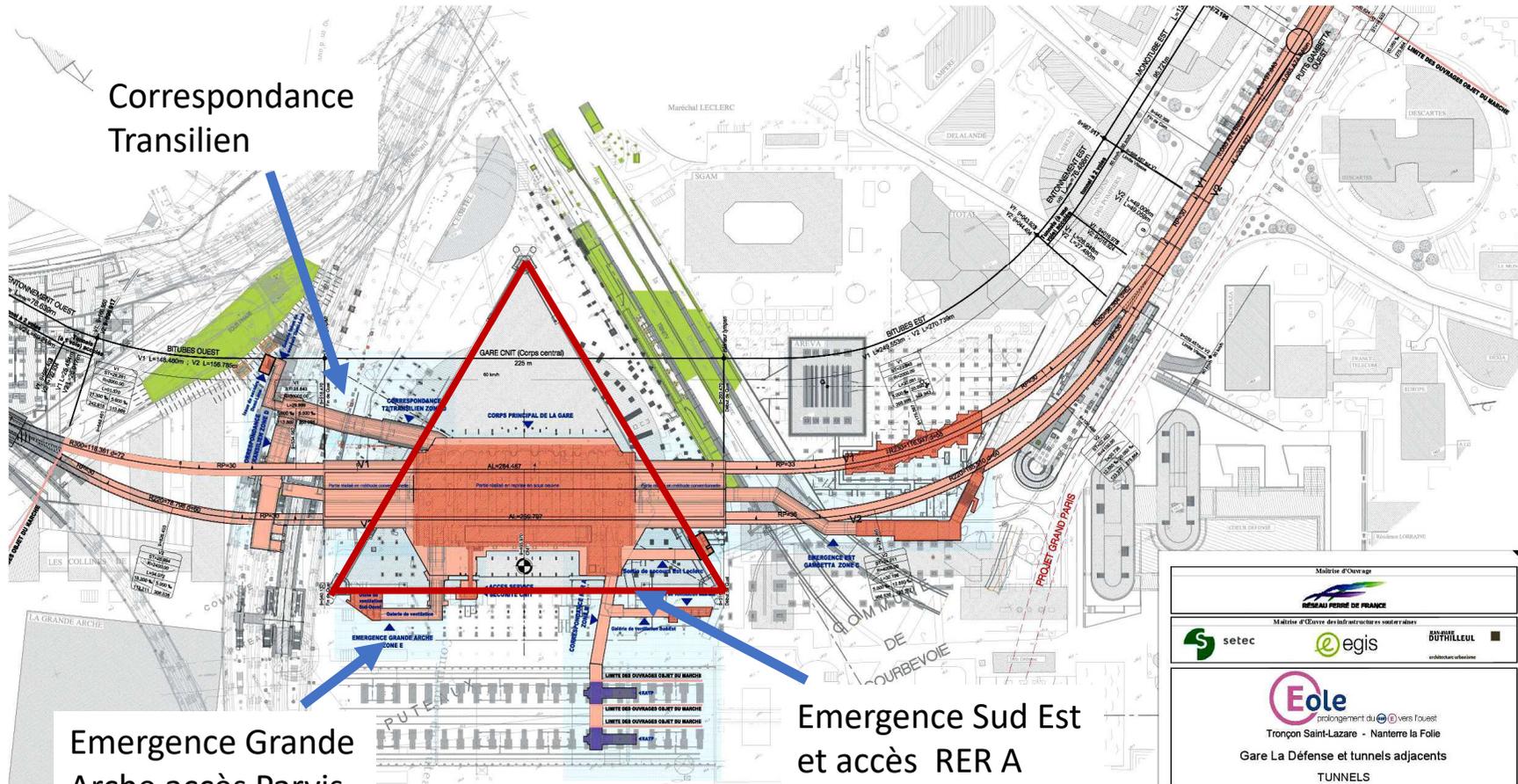
**2,8 kms**

Périmètre d'intervention

**RÉALISATION**  
**D'UNE GARE CATHÉDRALE**  
**SOUS UN SITE EN**  
**EXPLOITATION**

# PRESENTATION GENERALE

## Plan de situation de la gare

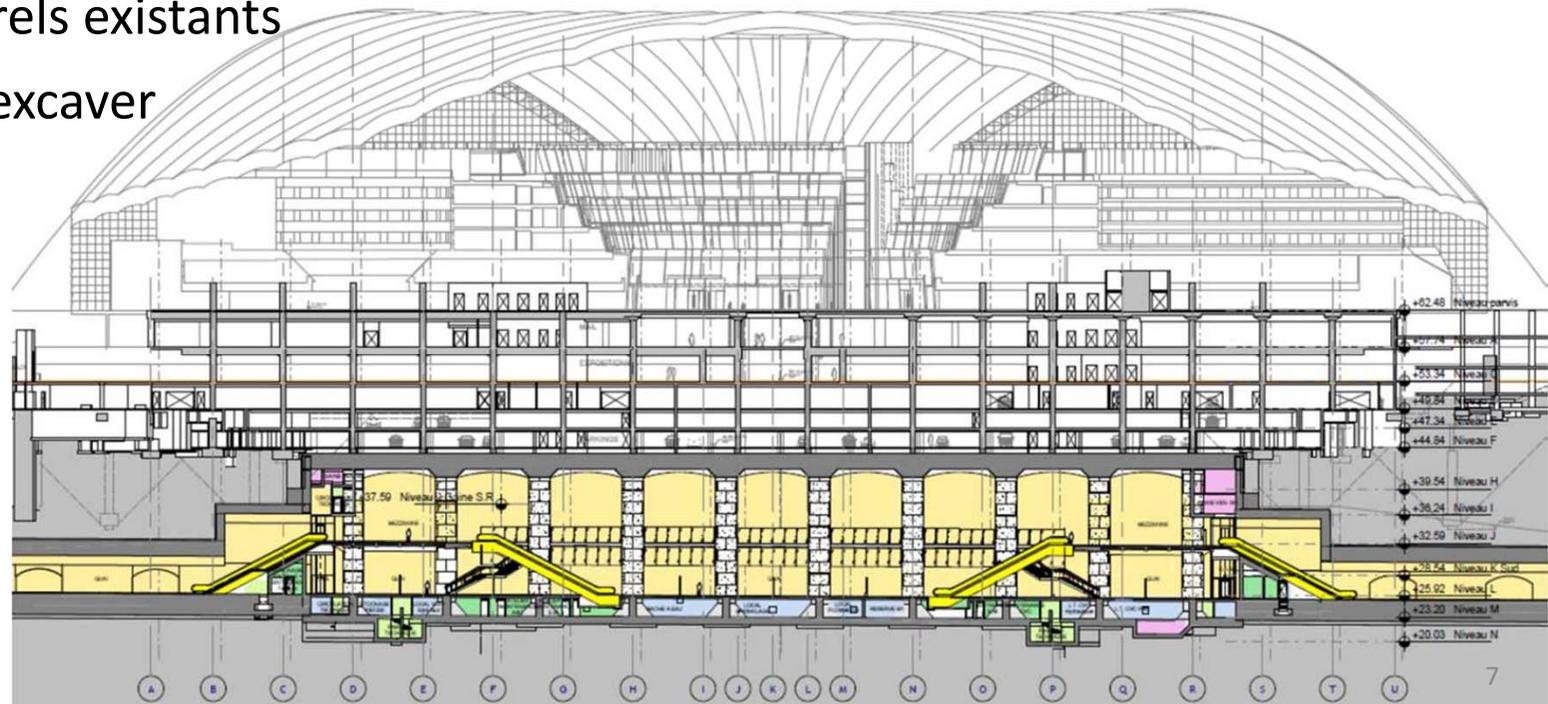


# PRESENTATION GENERALE

## Une gare "cathédrale" : Quelques chiffres-clés



- CNIT : centre commercial à 11 niveaux dont 5 niveaux de sous-sol en activité pendant les travaux
- 70 000 tonnes à reprendre en sous-œuvre
- 117 poteaux structurels existants
- 150 000 m<sup>3</sup> de sol à excaver

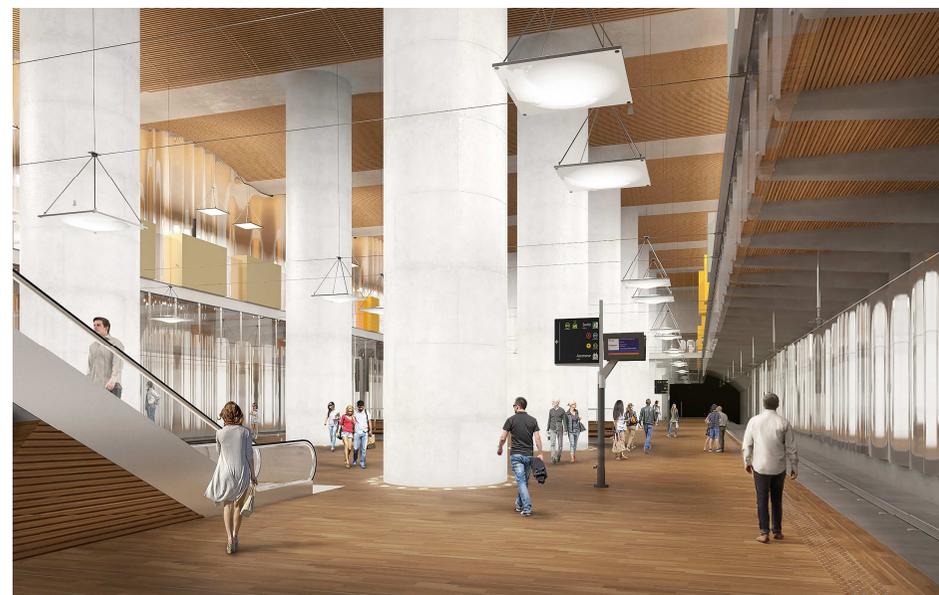
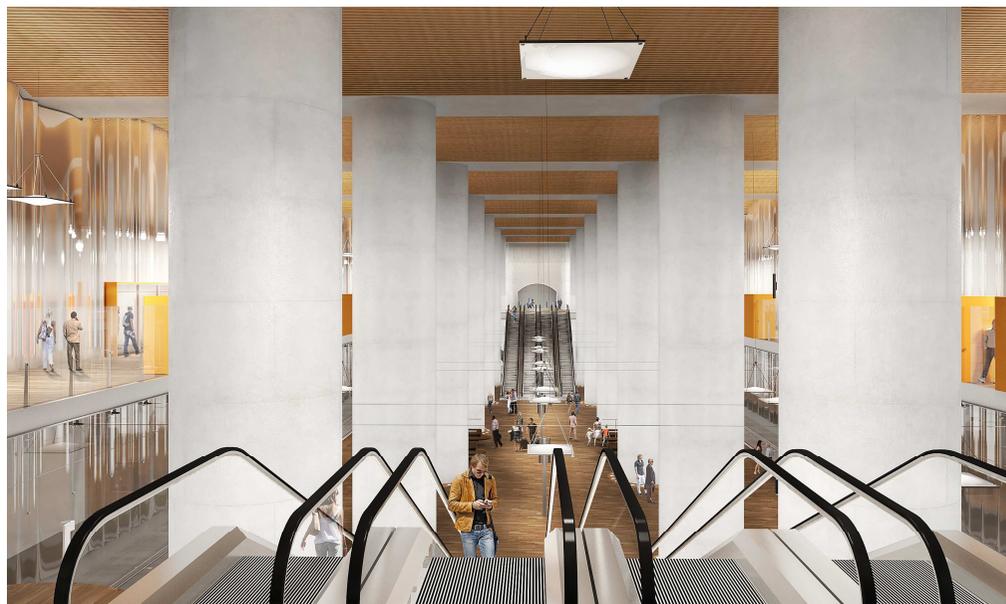


# PRESENTATION GENERALE

Une gare "cathédrale" : Quelques chiffres-clés



- Dimensions de la gare : 120 m de longueur, 50 m de largeur, 20 m de hauteur
- Mise en service de la gare : fin 2022



*Vues de l'intérieur de la future gare*

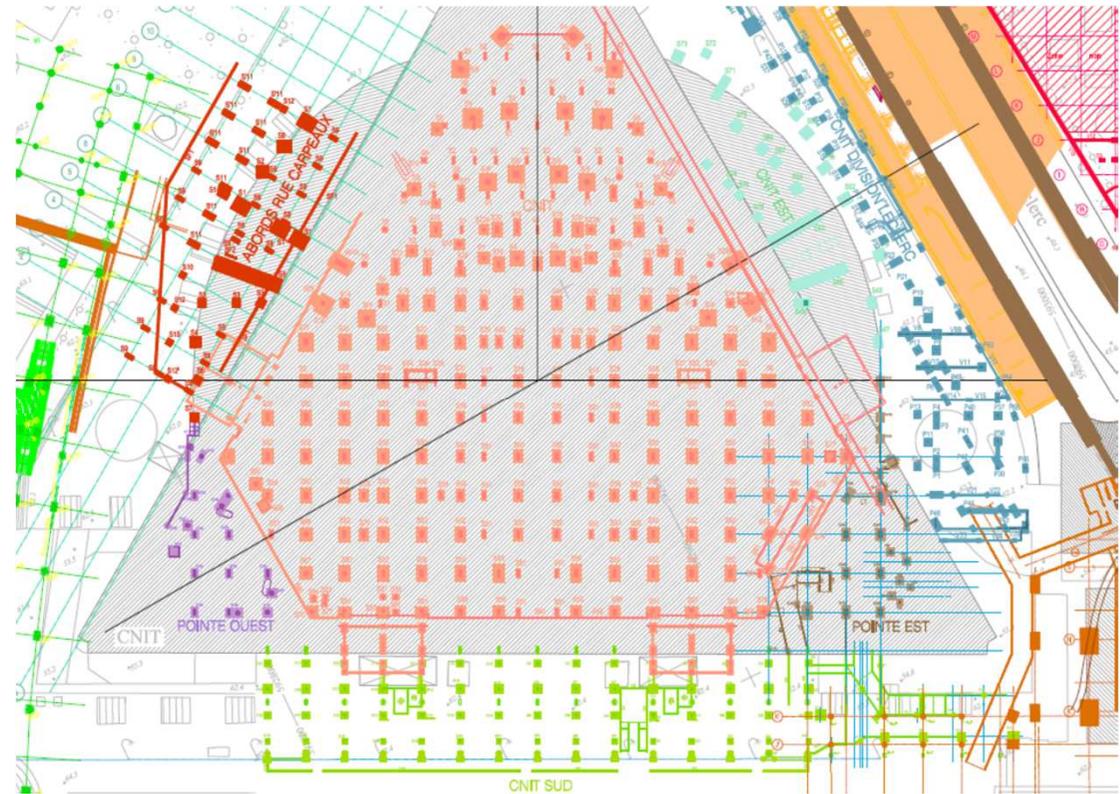
# LES ENJEUX

# PRESENTATION GENERALE

## Enjeux techniques



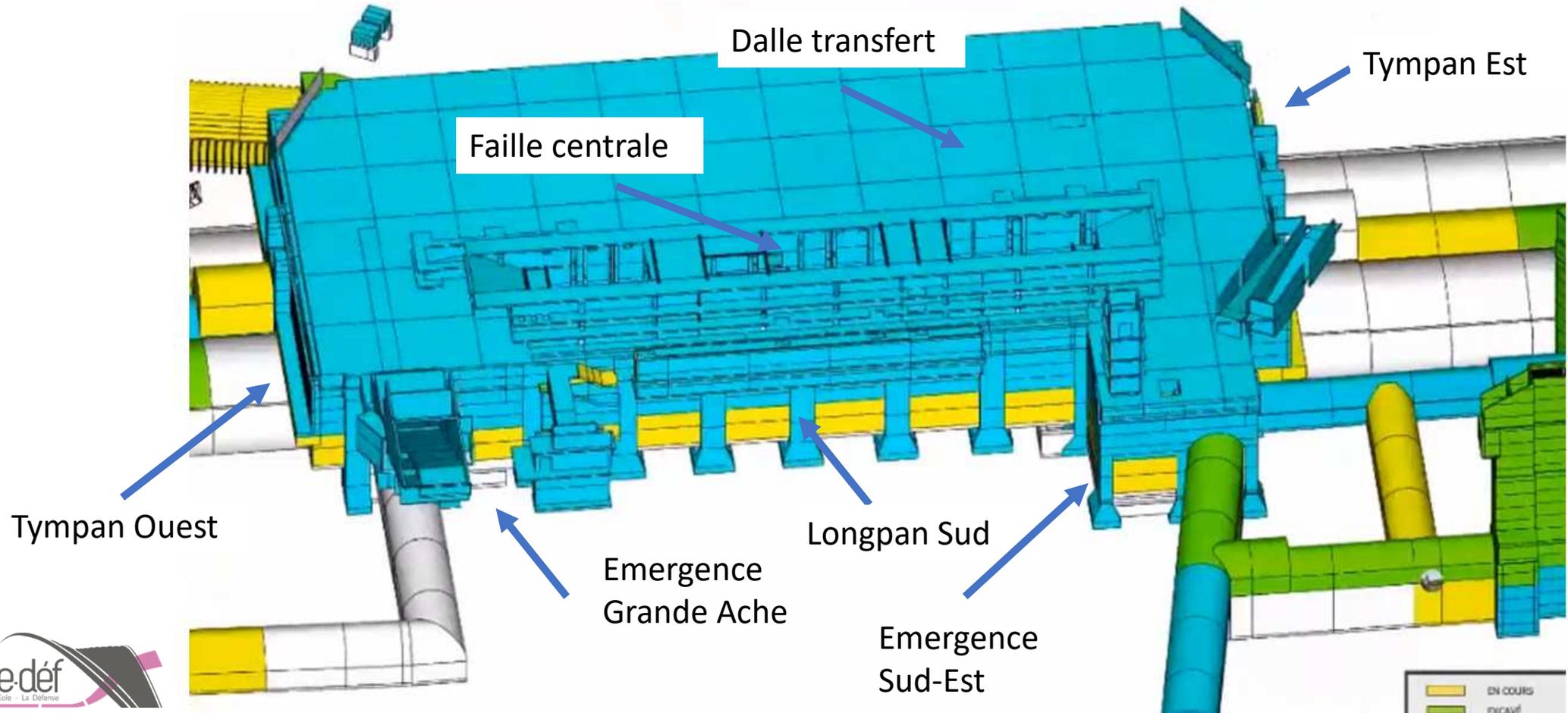
- Suivi des déplacements des semelles existantes conservées et des poteaux repris en sous-œuvre
- 3 seuils de tassements différentiels entre appuis existants d'un même bâtiment :
  - Seuil de vigilance = 0,5 mm/m
  - Seuil d'alerte = 0,9 mm/m
  - Seuil contractuel = 1,2 mm/m



Plan des semelles existantes du CNIT

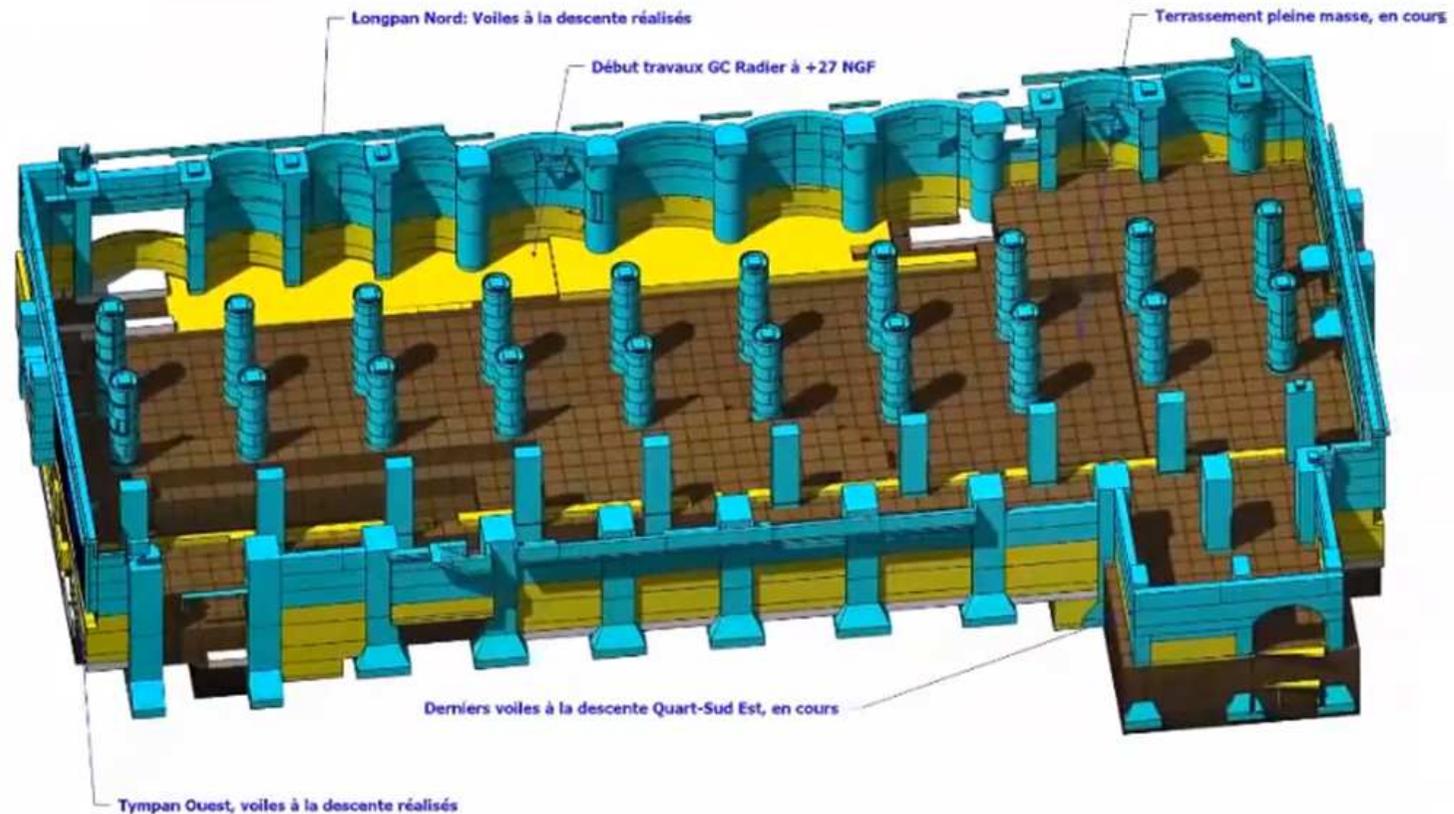
# PRESENTATION GENERALE

Enjeux techniques - Vue 3D extérieure de la gare



# PRESENTATION GENERALE

Enjeux techniques - Vue 3D de l'intérieur de la gare

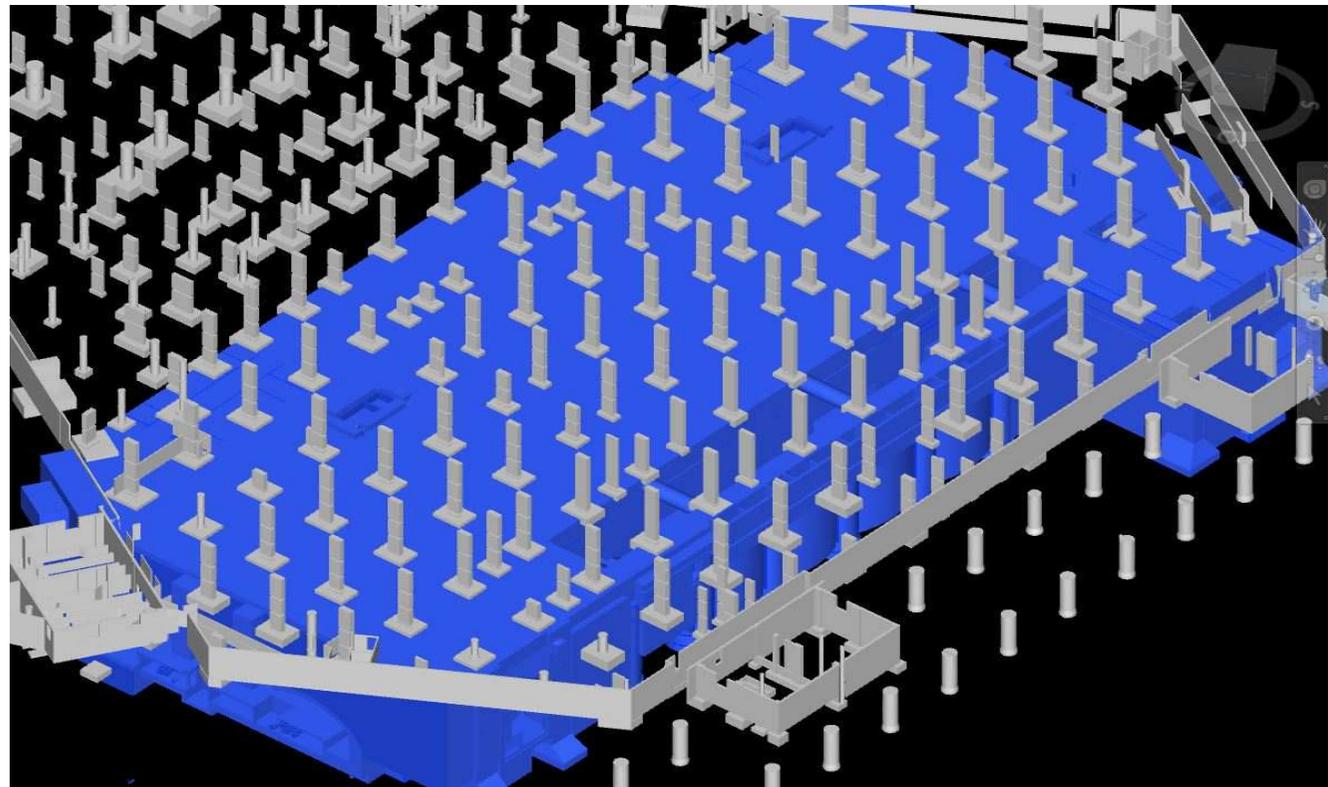


# PRESENTATION GENERALE

## Enjeux techniques



- 117 poteaux structurels existants à reprendre
- sur 60 piliers à construire
- via une dalle de transfert de 2,00 m d'épaisseur pour 15 000 m<sup>3</sup> de béton
- 70 000 tonnes à porter



*Plan des semelles existantes du CNIT*



## NIVEAU « F » DU PARKING EXISTANT



e-déf  
Eole - La Defense

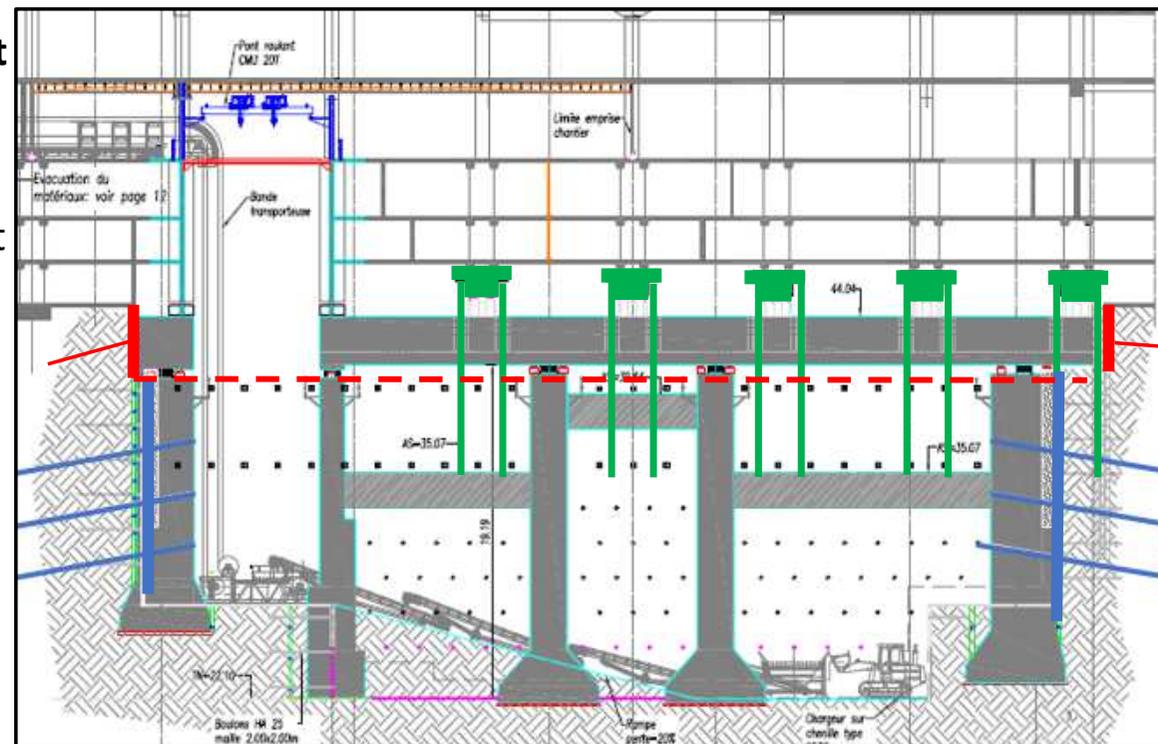
**CREATION DE LA « FAILLE »**  
**Accès toutes phases de la gar**

# PRESENTATION GENERALE

## Phasage général

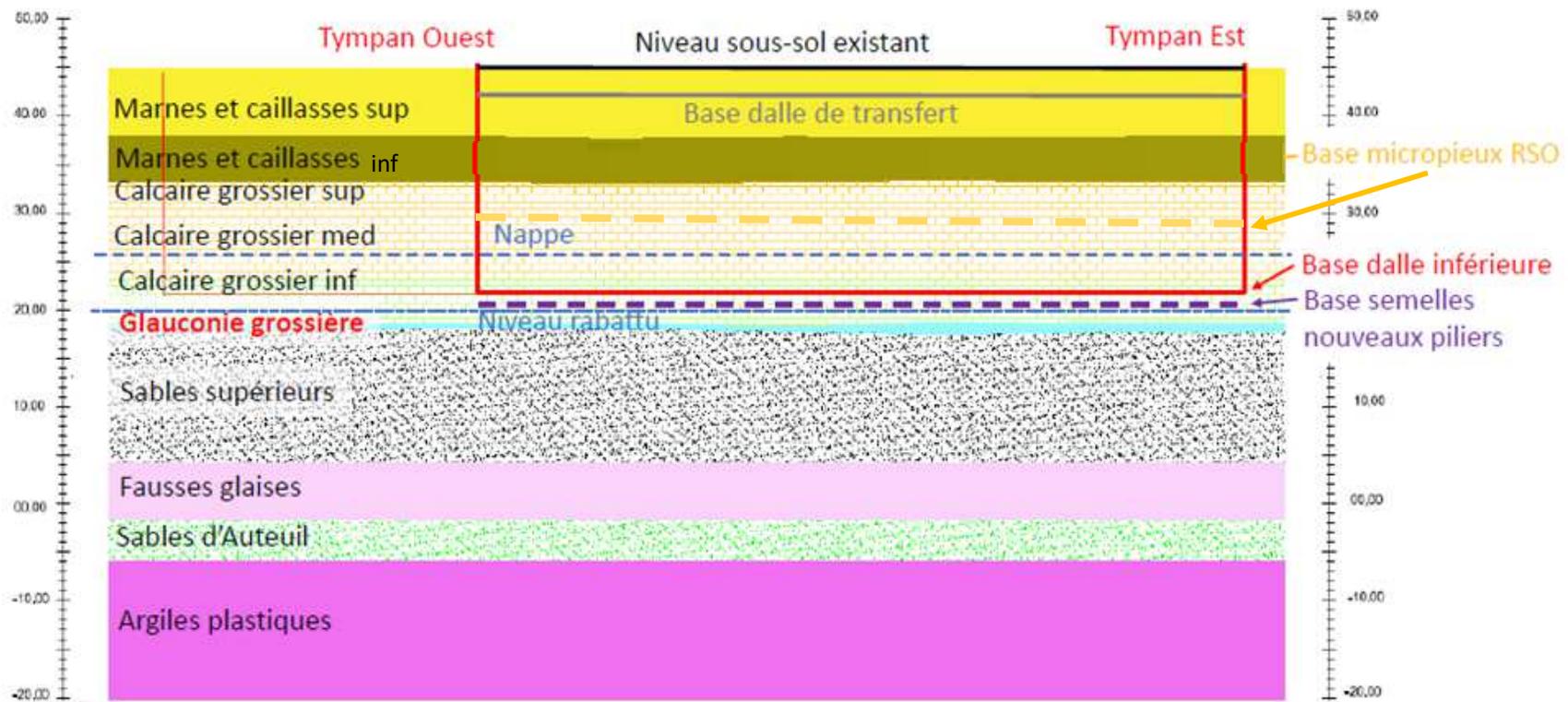


- Rabattement de nappe (eaux basses = 26,2 NGF / niveau rabattu = 20,5 NGF)
- Reprise en sous-œuvre par micropieux et **transfert initial des charges** par vérinage
- Soutènements supérieurs devant les existants
- Pré-terrassement en sous-face de la dalle transfert
- Réalisation des puits blindés au droit des poteaux
- Réalisation des semelles et piliers
- Réalisation de la dalle de transfert
- Vérinage pour **transfert final des charges** sur les piliers
- Excavation de la gare en taupe
- Soutènement des longpans et des tympans à l'avancement des terrassements.



# PRESENTATION GENERALE

## Modèle géotechnique

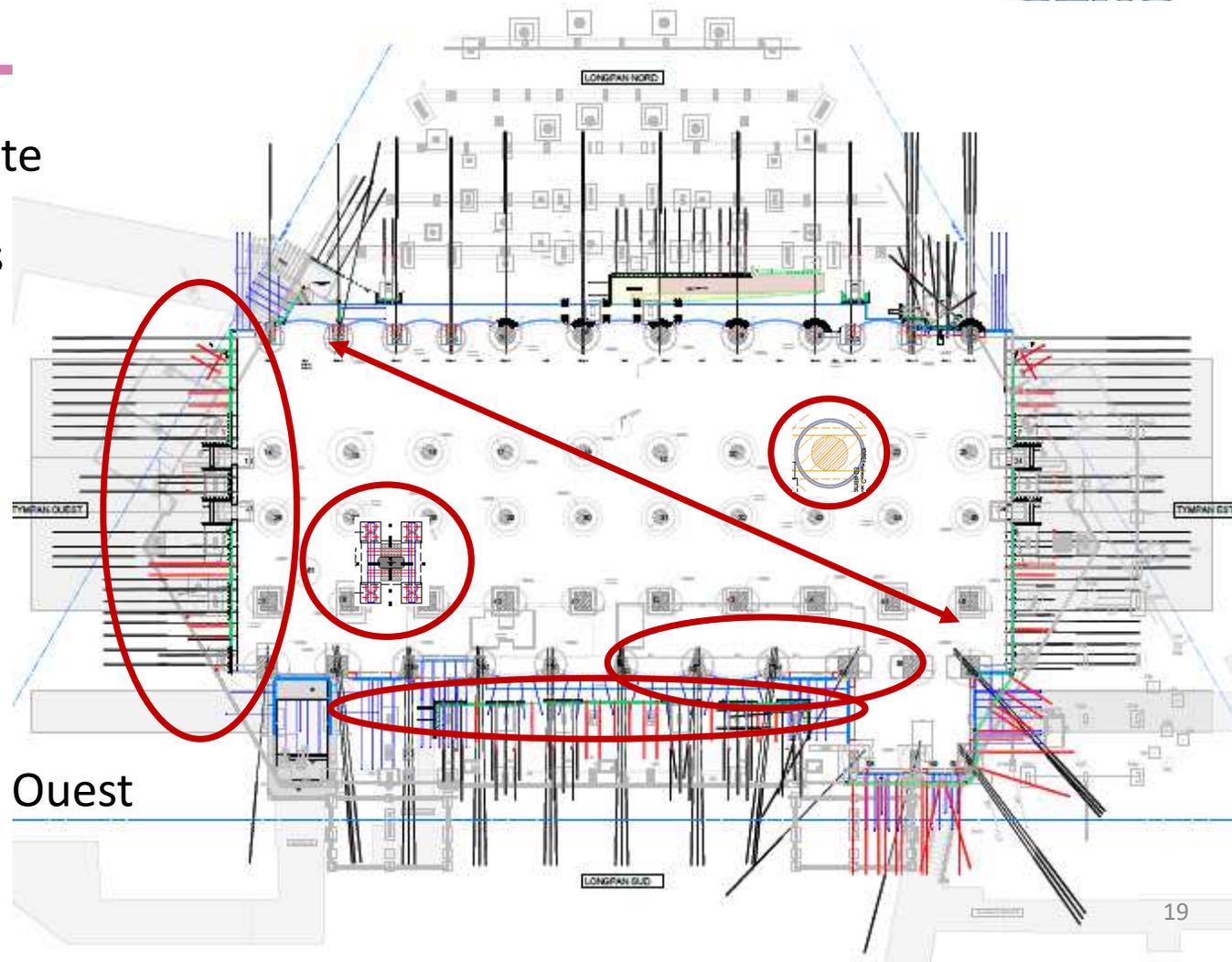


# DÉROULÉ DE L'EXPOSÉ

# SUJETS PRÉSENTÉS



- La RSO de la structure existante
- Les soutènements provisoires devant les existants
- La réalisation des piliers de la gare
- La réalisation de la dalle de transfert
- La réalisation des longpans
- Le comportement du tympan Ouest



# **1 - REPRISE EN SOUS-ŒUVRE DE LA STRUCTURE EXISTANTE**

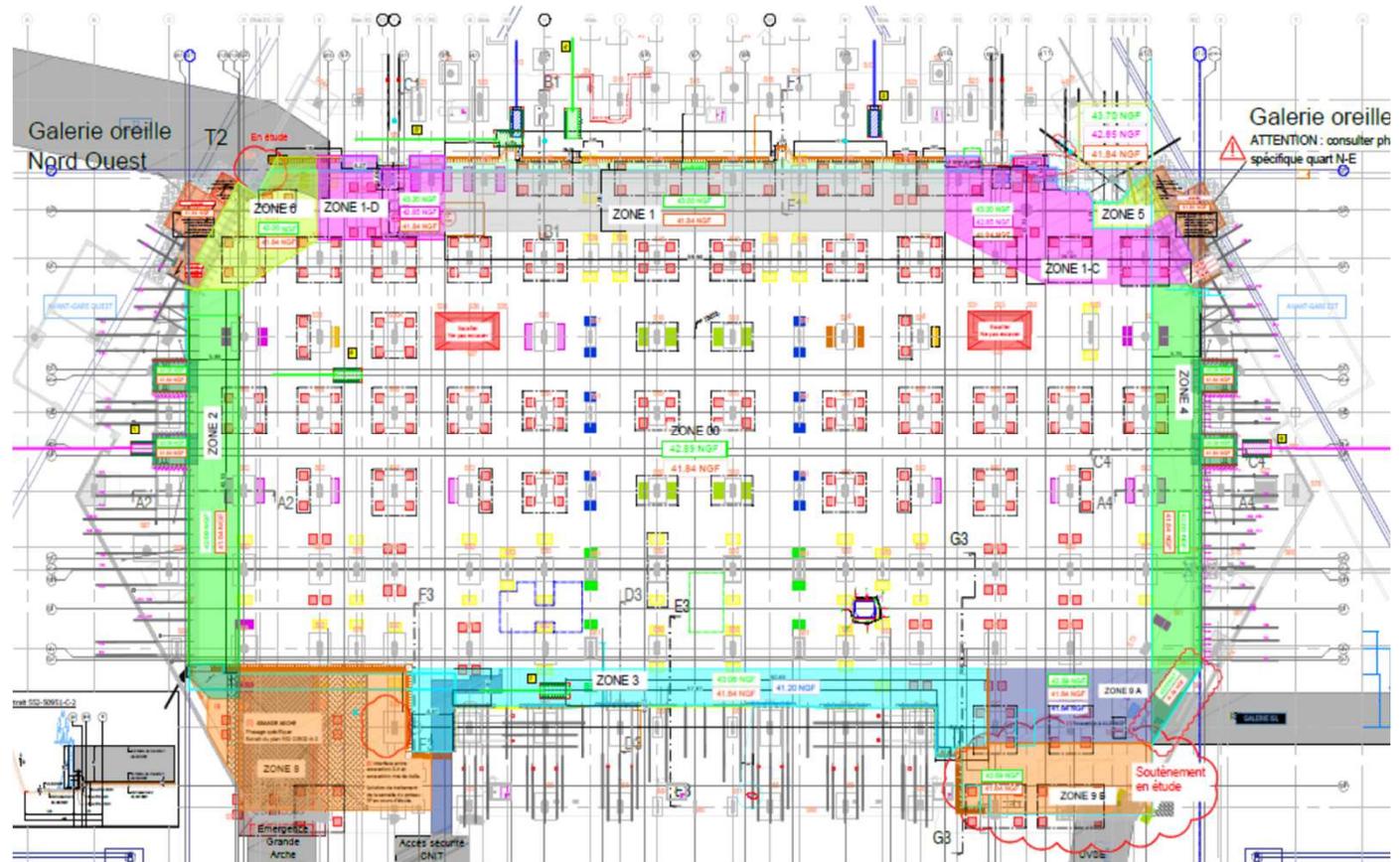
## **Transfert initial des charges sur micropieux**

# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Reprise en sous-oeuvre par micropieux



- RSO par Micropieux
  - 340 massifs tête de MP
  - 1 540 micropieux de 10 à 15 m de longueur
- Reprise des charges des poteaux par précontrainte latérale sur bossage
- Création d'une charpente métallique de reprise
- Transfert des charges par vérinage

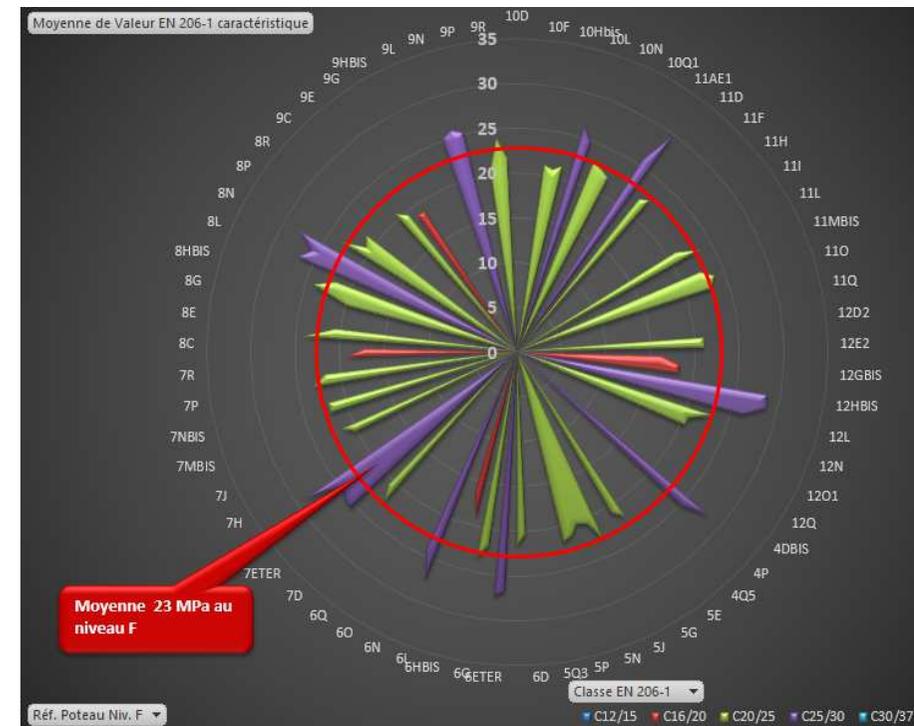


# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Justification de la stabilité des poteaux du bâtiment existant



- 600 prélèvements de béton ont été réalisés sur les poteaux au niveau F pour vérifier leur résistance à la compression
- Les conclusions donnent une résistance moyenne du béton de 23 MPa ce qui est préjudiciable pour une reprise par précontrainte latérale
- Nécessité de renforcer certains poteaux par un corset béton
- Étude de la position des carottages pour en limiter le nombre afin de ne pas couper des aciers, percements phasés pour ne pas affaiblir les poteaux et renforcement des carottages par des tubes en acier



# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

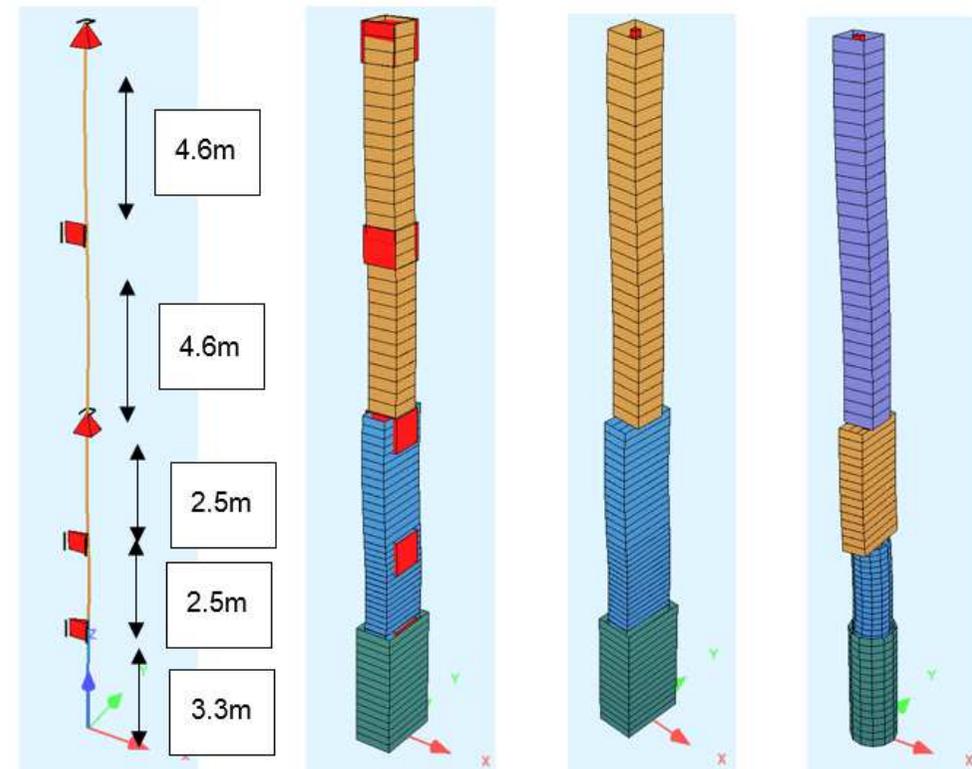
## Évaluation d'une descente de charges réaliste et sécuritaire



Modélisation sur la structure existante des différents cas de vérinage sur les colonnes pour déterminer une descente de charge réaliste



Les conclusions de cette étude conduisent à déterminer une **Charge d'Arrêt de Vérinage** au-delà de laquelle les coefficients de sécurité sont engagés



# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Etude de la charpente de reprise en sous-œuvre



- Les seuils de déformation très sévères obligent à prendre en compte la déformabilité de la charpente et les tolérances d'exécution des MP.
- Protection au feu des structures métalliques et équipements hydrauliques
- Mise au point d'une procédure de vérinage pour le transfert des charges avec suivi observationnel
- Étude détaillée d'une charpente de reprise en sous-œuvre pour obtenir un dispositif de reprise compact
- L'impératif d'un dispositif compact nécessite des poutres secondaires suspendues aux poutres primaires mises en œuvre dans la hauteur des massifs de micropieux
- Rajout d'une charpente de blocage transversal pour améliorer la stabilité des micropieux

# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

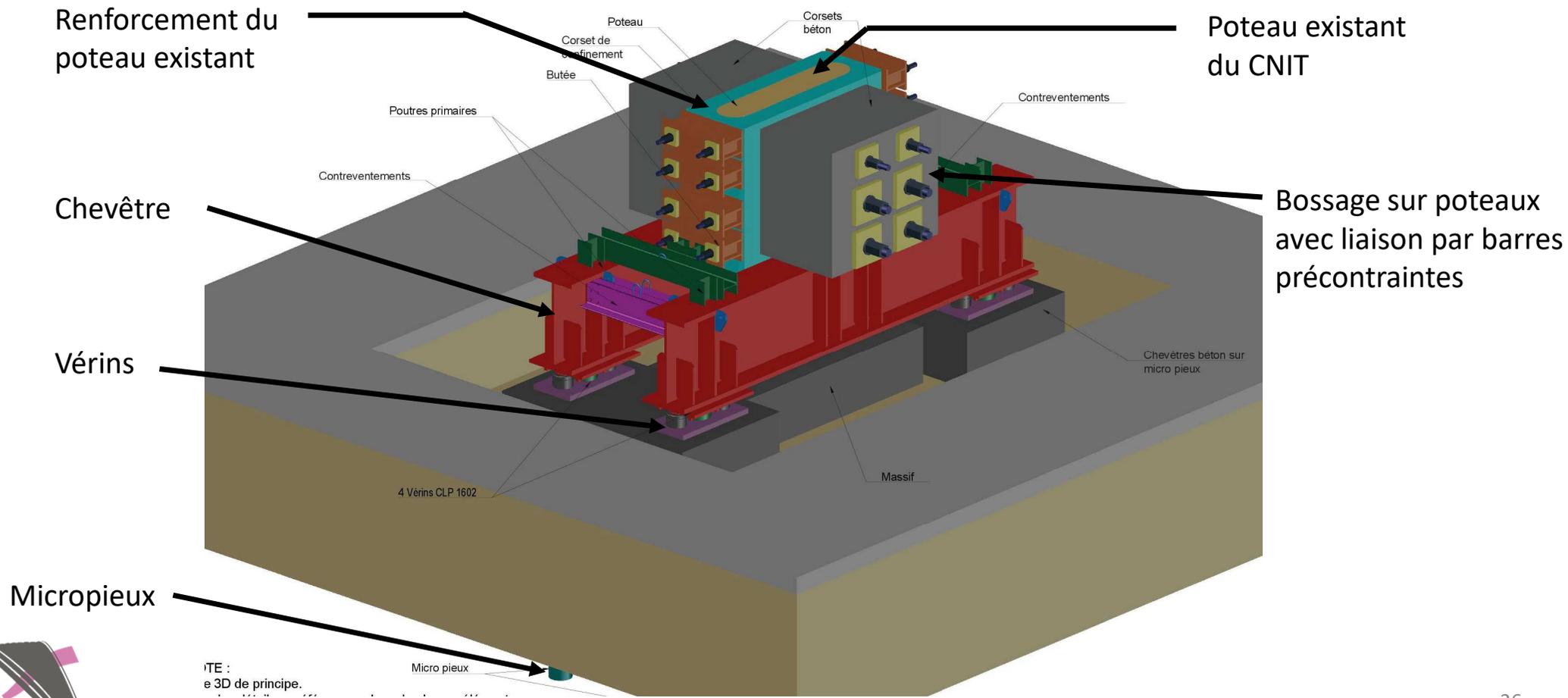
## Etude détaillée des micropieux



- **Longueur** : L'objectif est de réduire la longueur des MP pour limiter l'impact des déviations (tolérances de verticalité) afin de ne pas interférer avec la proximité des puits. Cette limitation permet de ne pas atteindre des horizons moins porteurs
- Campagne d'essais sur micropieux pour limiter leur longueur
- **Disposition géométrique** : L'affinage de l'étude du flambement avec prise en compte des effets du second ordre (tolérances verticalité / imperfections géométriques) conduit à retenir plutôt des groupes de 4 micropieux
- **Etrésillonages** : Optimisation de l'étrésillonage par rapport à la problématique de ferrailage de la dalle
- Prise en compte d'éventuels chocs d'engins

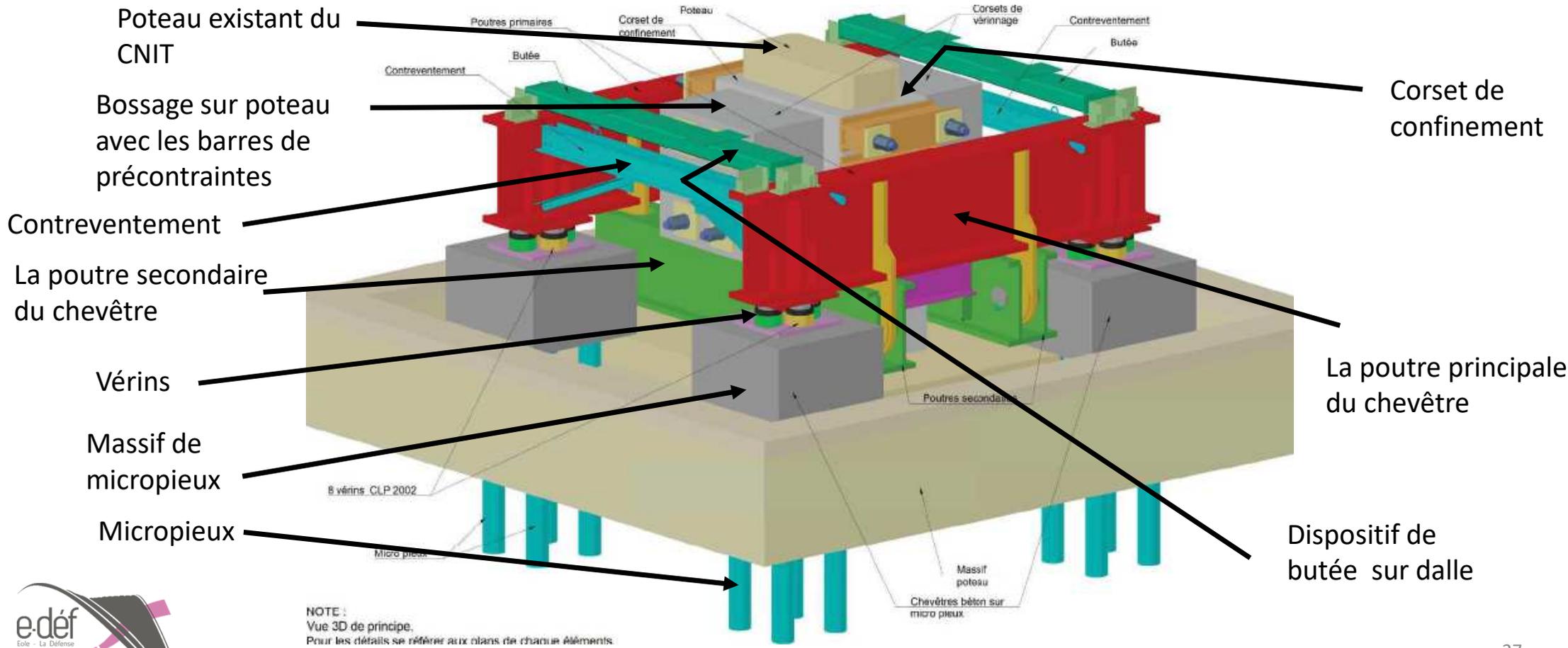
# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

Solution de mise en œuvre pour des poteaux de 400 t



# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

Solution de mise en œuvre pour des poteaux de 1600 t

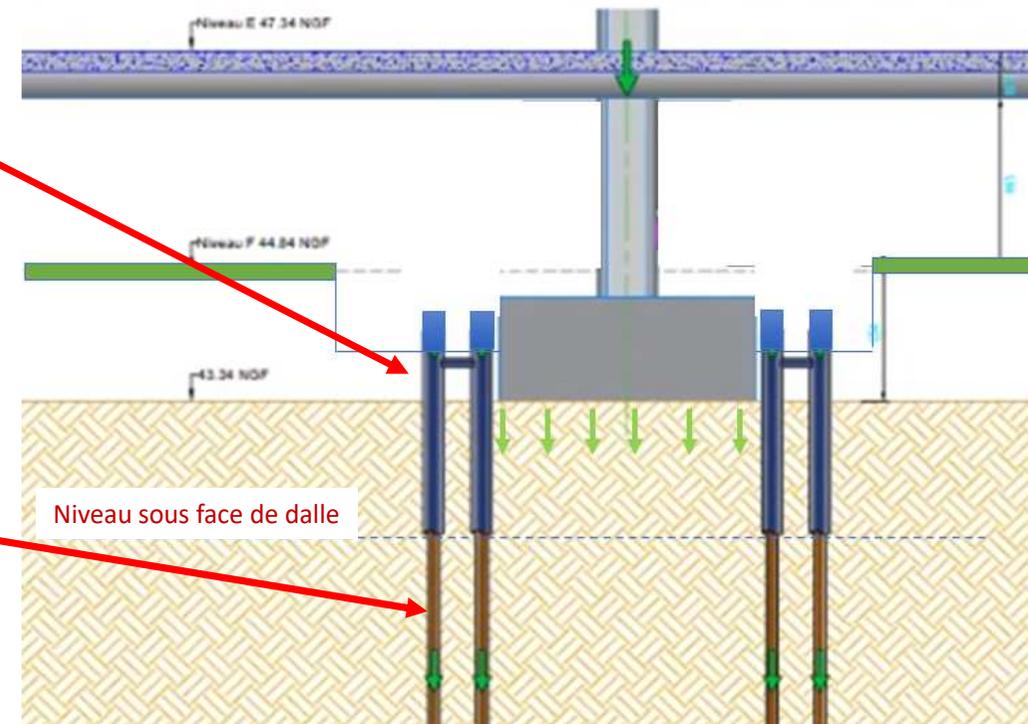


# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Mode opératoire

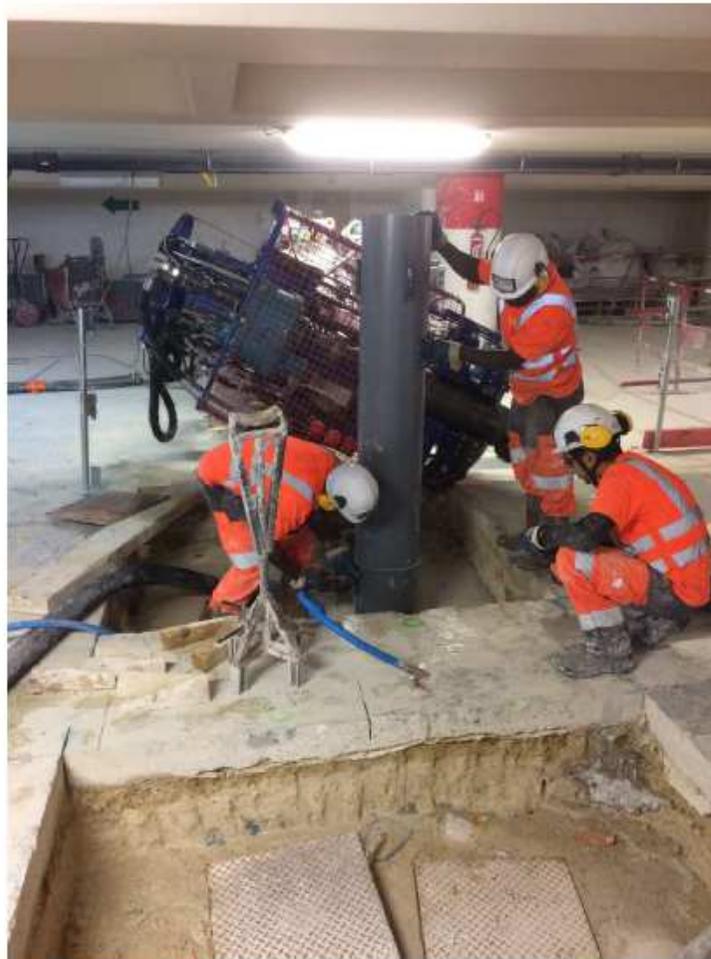


- Découpage du dallage + avant-trou
- Préforage en diamètre 300 mm pour pose d'un tube PVC provisoire anti-frottement.
- Réalisation du MP (technique auto-foré) en diamètre 200 mm avec injection IGU
- Quelques chiffres :
  - 1 540 MP réalisés par 4 ateliers de forage à 2 postes
  - hauteur d'intervention réduite :
    - 2,26 m de hauteur sous plafond
    - 1,96 m de hauteur sous poutres



# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

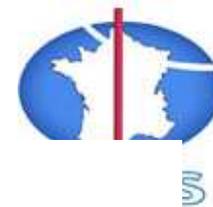
Quelques photos de chantier



# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

Quelques photos de chantier





# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

Quelques photos de chantier



Armature des MP :

Tubes (acier nuance N 80)

$\text{Ø} = 127 \text{ mm}$

ép. de 14,2 mm à 16,9 mm

Éléments de 50 cm raboutés  
par manchons extérieurs

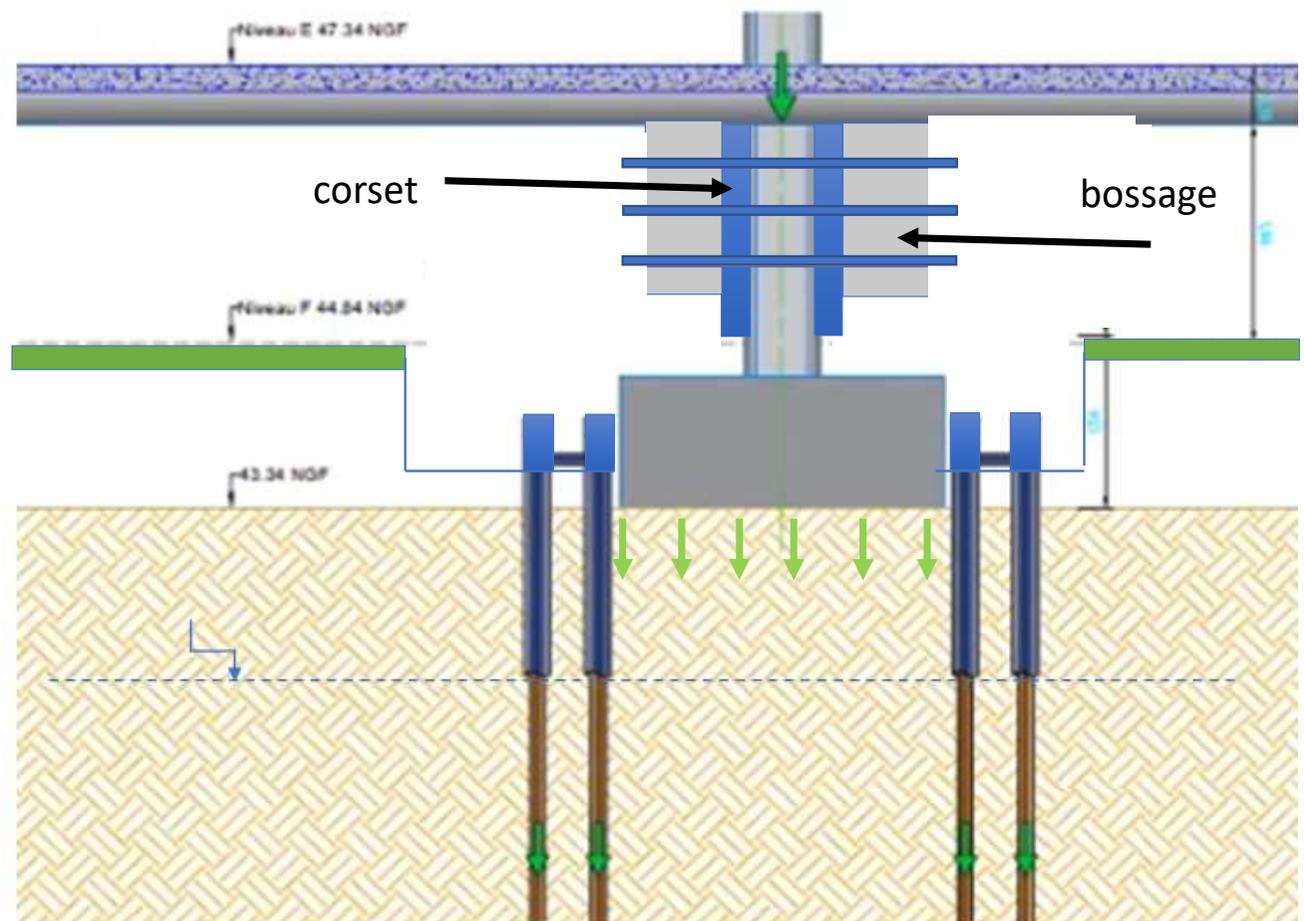
Tubes équipés de tricône  
perdu

# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Mode opératoire



- Renforcement du poteau par un corset si nécessaire
- Carottage des poteaux
- Bossage extérieur en BA
- Pose des barres Freyssibar 1200 HTSR
- Vérinage latéral pour prise en sandwich du pied de poteau



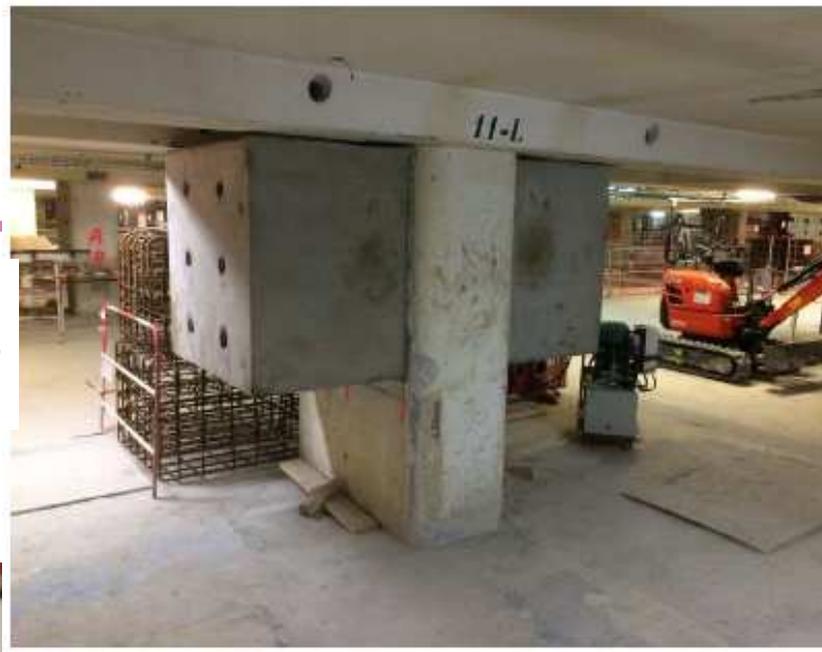
# RSO DE LA STRUCTURE

## Quelques photos de chantier



1-Poteaux perforés

3-Etat du bossage après décoffrage



4-Etat final après vérinage sur poteau avec corset

2-Ferrailage et coffrage du bossage

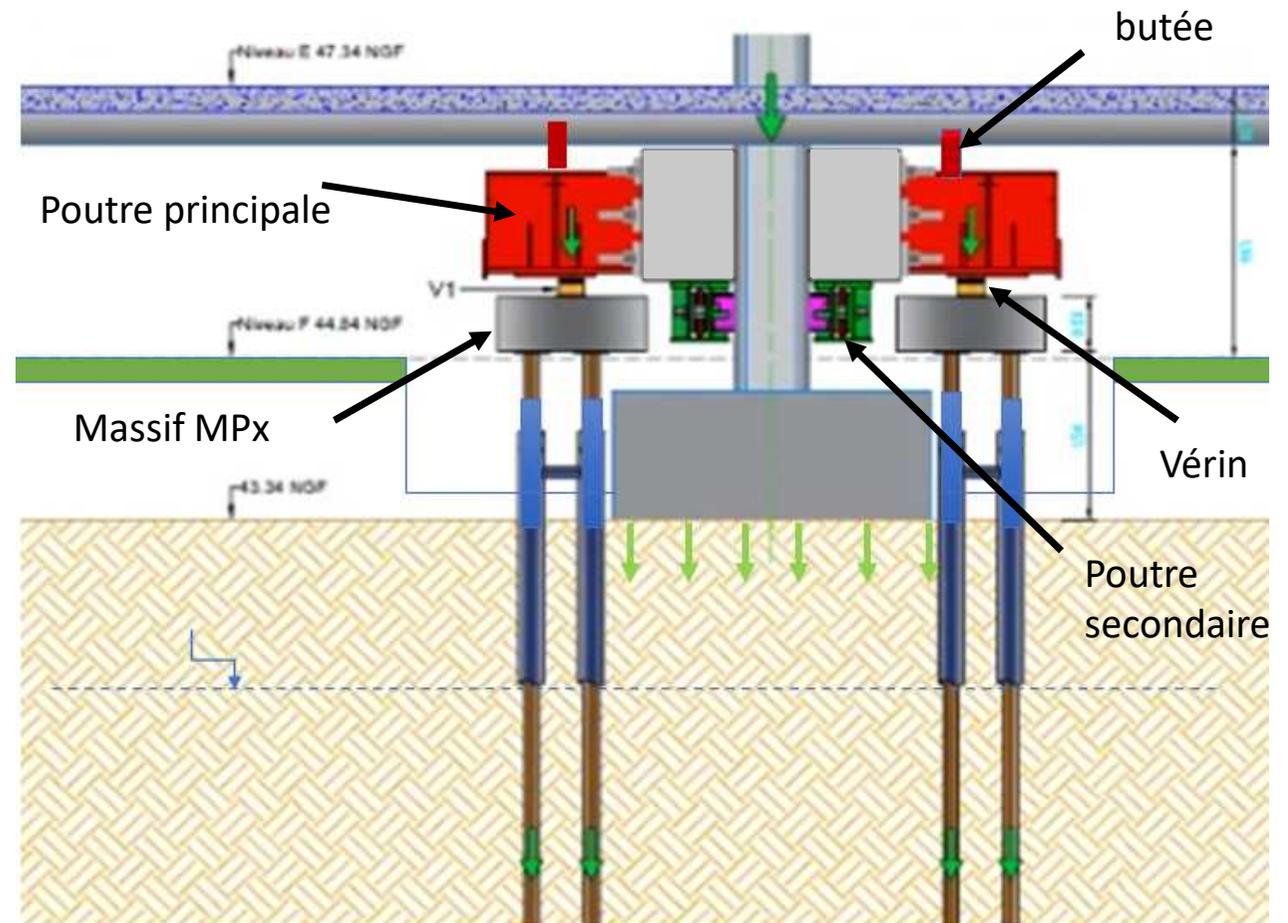


# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Mode opératoire



- Réalisation des têtes de MP
- Montage de la charpente de reprise
- Pose des vérins

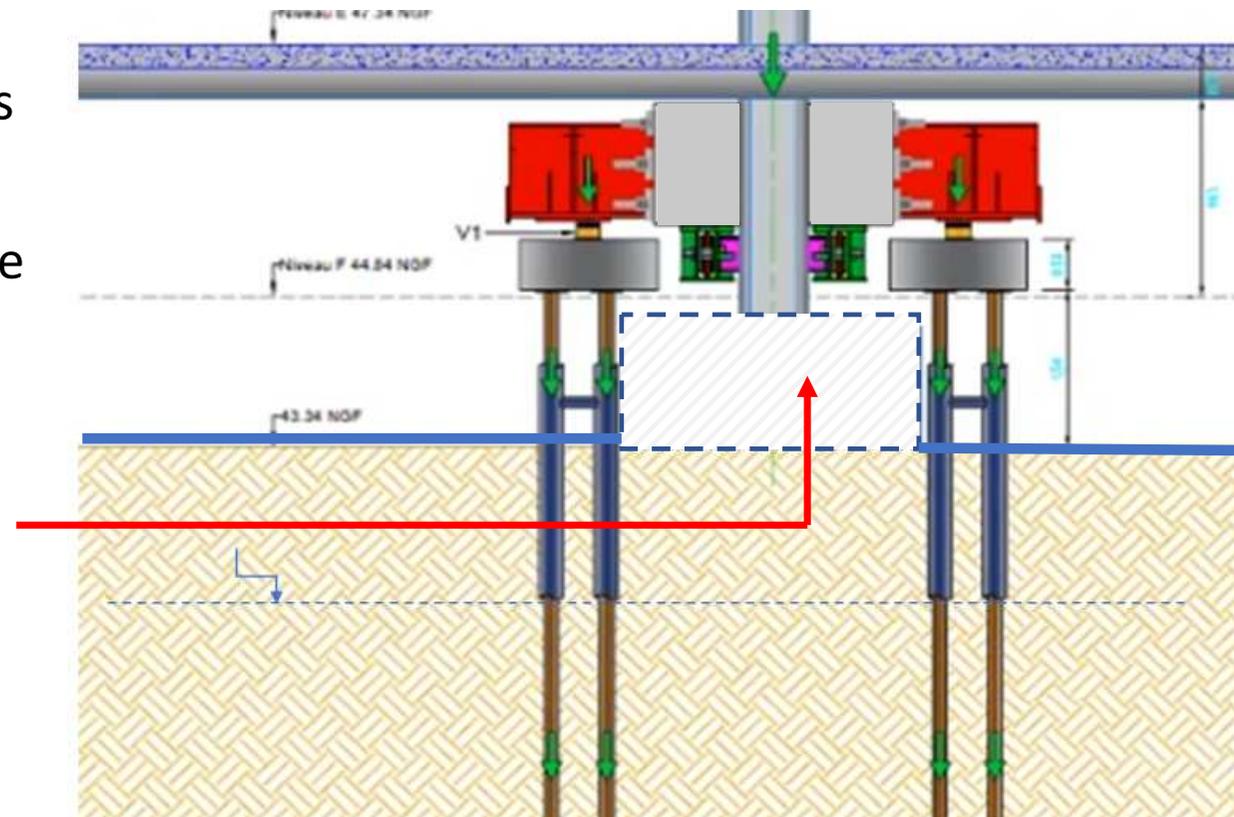


# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Mode opératoire



- Terrassement jusqu'à la base des semelles existantes
- Mise en place de la procédure de vérinage pour le transfert initial des charges sur les MP
- Démolition des semelles existantes en base de poteau



# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

Quelques photos de chantier



Dispositif de butée  
sur l'existant

Poutre principale

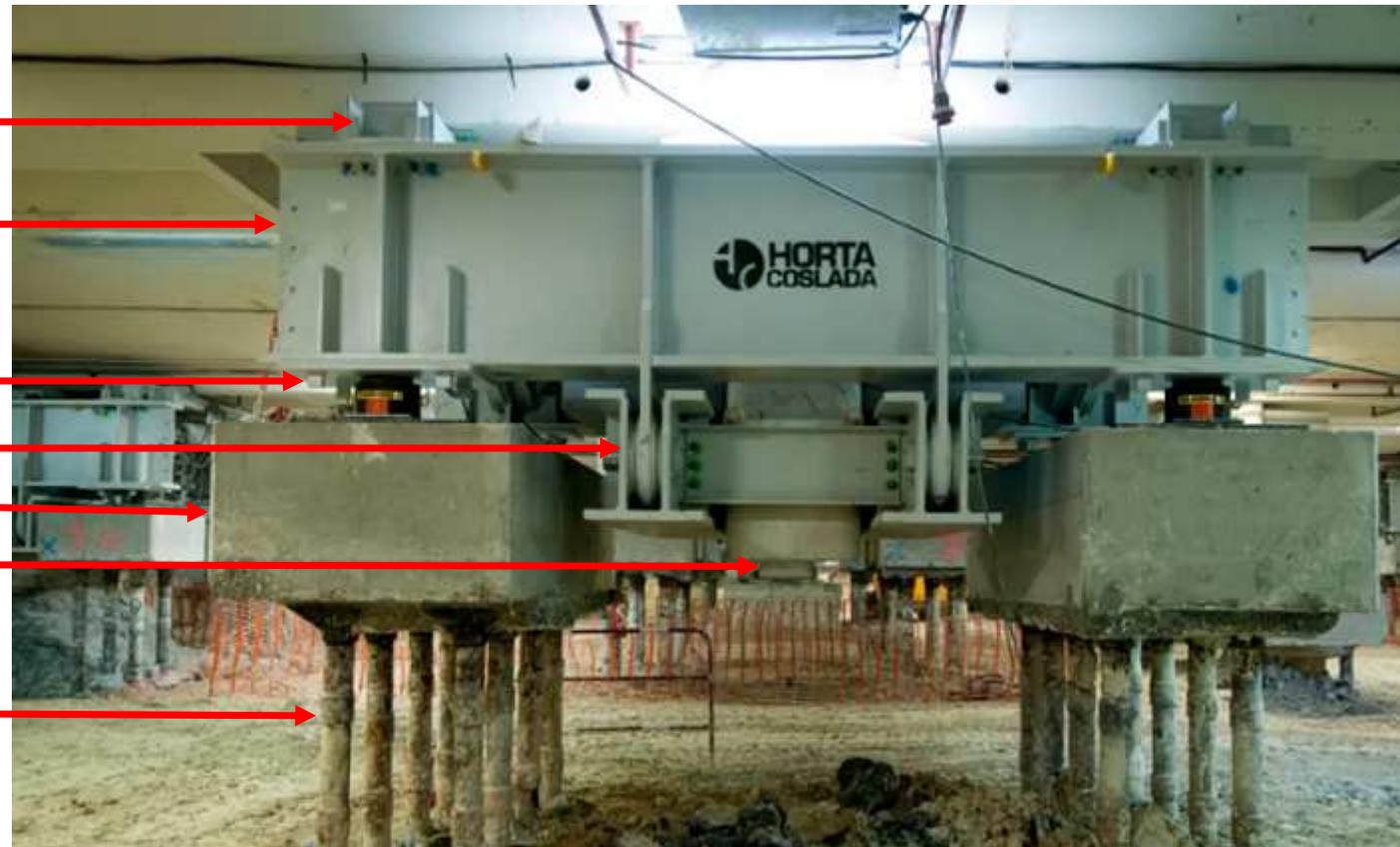
Vérin

Poutre secondaire

Tête de MP

Base du poteau scié

Micropieux

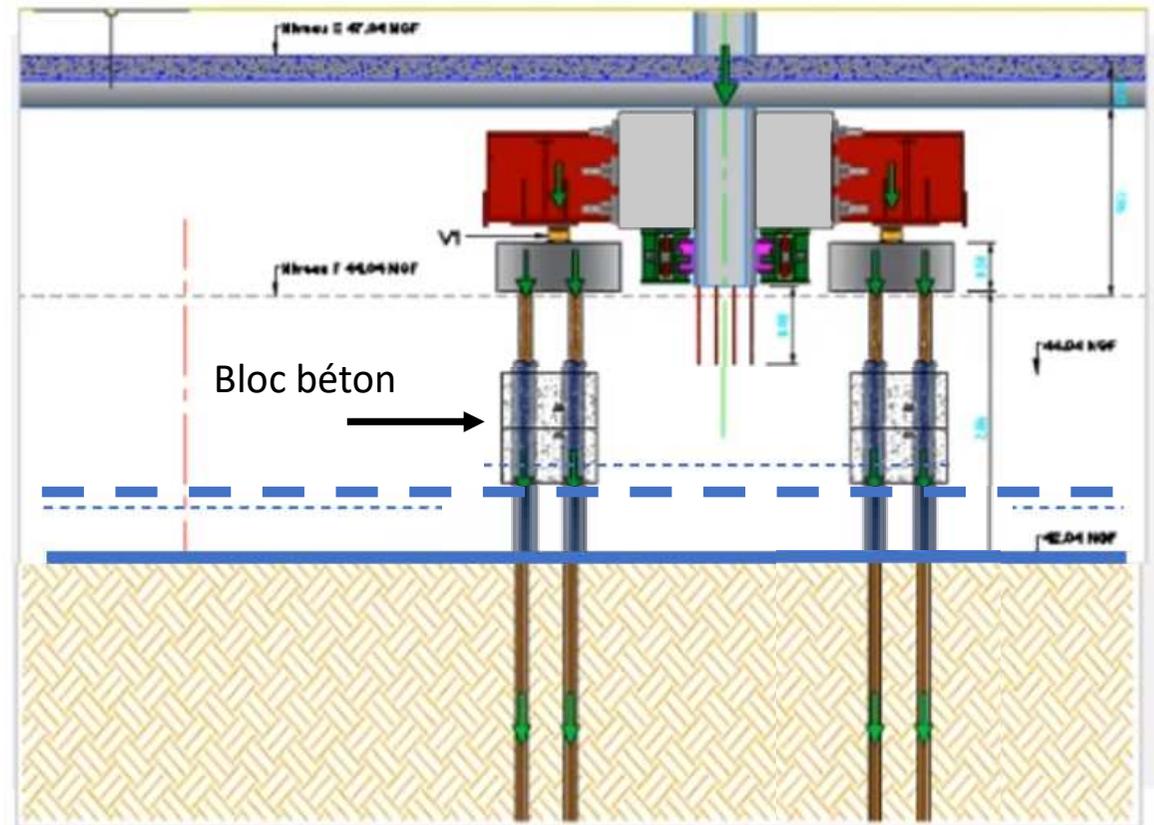


# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

## Mode opératoire



- Terrassement intermédiaire pour réalisation des blocs béton de contreventement des MP
  - bloc suspendu en têtes des massifs
  - bloc positionné entre les armatures principales de la dalle
  - bloc coulé autour d'un tube coulissant sur les manchons des MP
- Complément de terrassement en sous-face de la dalle transfert



# RSO DE LA STRUCTURE EXISTANTE

Quelques photos de chantier



# **ZOOM TECHNIQUE (1)**

## **Justification de la stabilité des MP**

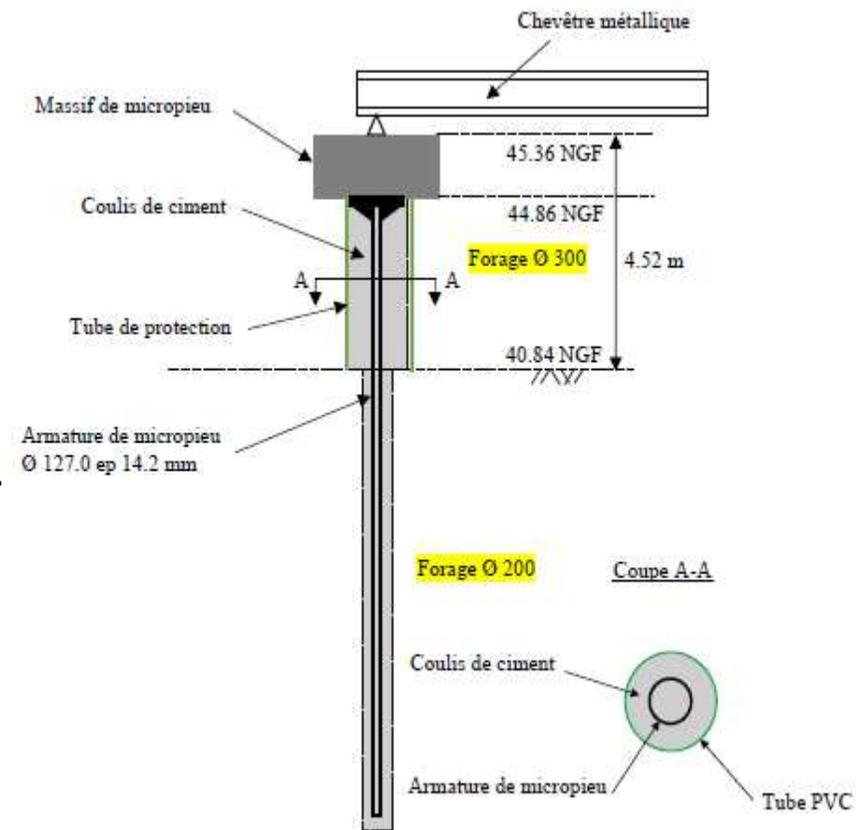
# ZOOM TECHNIQUE (1)

## Justification de la stabilité des micropieux



### Caractéristiques des micropieux:

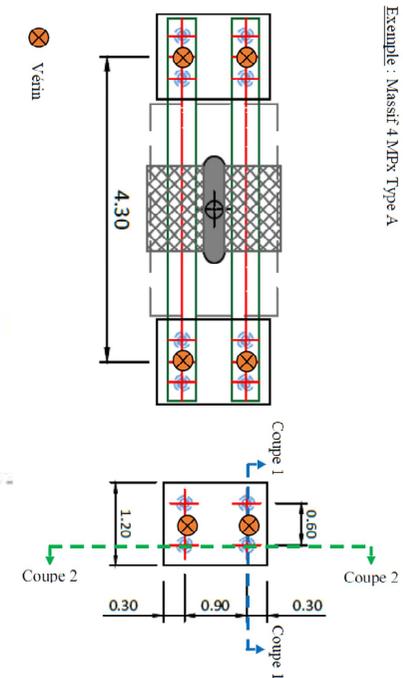
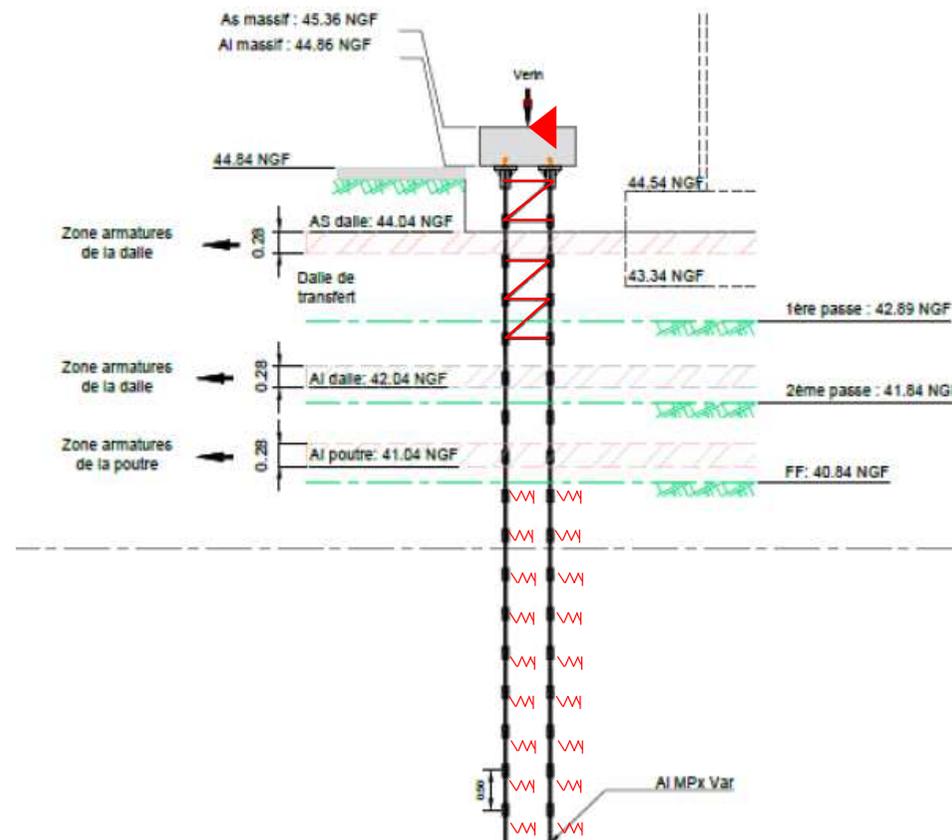
- Tube métallique de 127 mm ép. variable 14,2 mm à 16,9 mm (acier nuance N 80) avec manchons extérieurs
- Longueur totale entre 10 et 15 m
- 1<sup>er</sup> forage en diamètre 300 mm pour mise en place d'un tube PVC sur la hauteur afin d'éviter le frottement et réduire les tolérances de verticalité
- Scellement en type III dans un forage de 200 mm au tricône perdu



# ZOOM TECHNIQUE (1)

## Justification de la stabilité des micropieux

- Hauteur libre de 2,75 m à 4,52 m.
- Conditions aux limites :
  - Structure
  - Sol
- Etrésillons métalliques mis en place à l'avancement du terrassement.
- La symétrie des massifs permet de ramener le calcul à un modèle 2D



Exemple : Massif 1 / MPx Type A

# ZOOM TECHNIQUE (1)

## Justification de la stabilité des micropieux

- Etude au flambement menée selon EC2-2 § 5.7 en analyse non linéaire par chargement successifs avec prise en compte du second ordre
- Prise en compte des imperfections géométriques de 2,5 cm sur le vérin et de 1% sur la verticalité des MP
- Prise en compte de chocs d'engins
- Calculs réalisés pour 6 configurations de terrassement et de hauteur de flambement, 11 géométries de massifs de MPx et 10 descentes de charges différentes

# ZOOM TECHNIQUE (1)

## Justification de la stabilité des micropieux

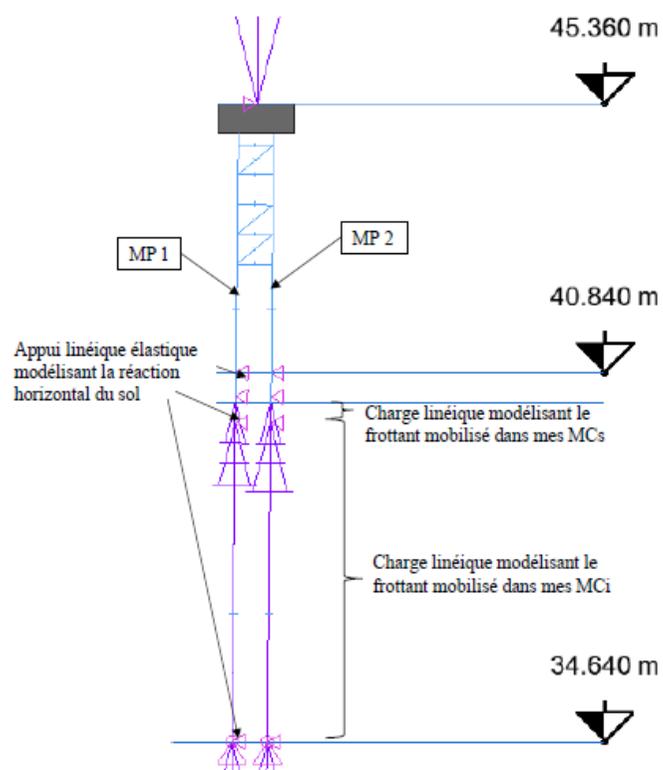


Figure 19 Modèle numérique Phase 4

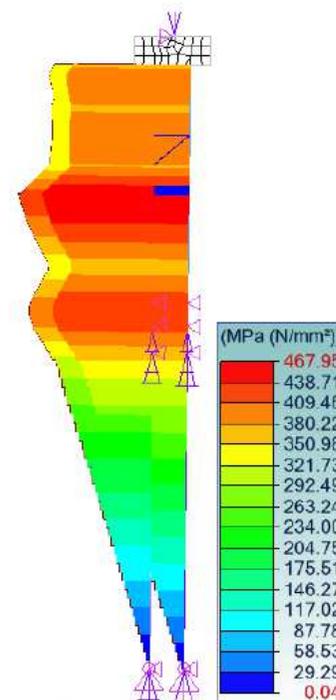


Figure 21 Contrainte dans les MPx (Phase 4 - ELU Flam)

La contrainte maximale dans les MPx est :  
468 MPa < 560 MPa OK

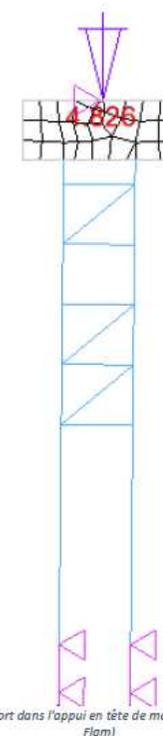


Figure 22 Effort dans l'appui en tête de massif (Phase 4 - ELU Flam)

L'effort maximal en tête de massif est :  
 $4.8 \times 2 = 9.8 \text{ t}$ .

# **ZOOM TECHNIQUE (2)**

## **Résultats des essais sur micropieux**

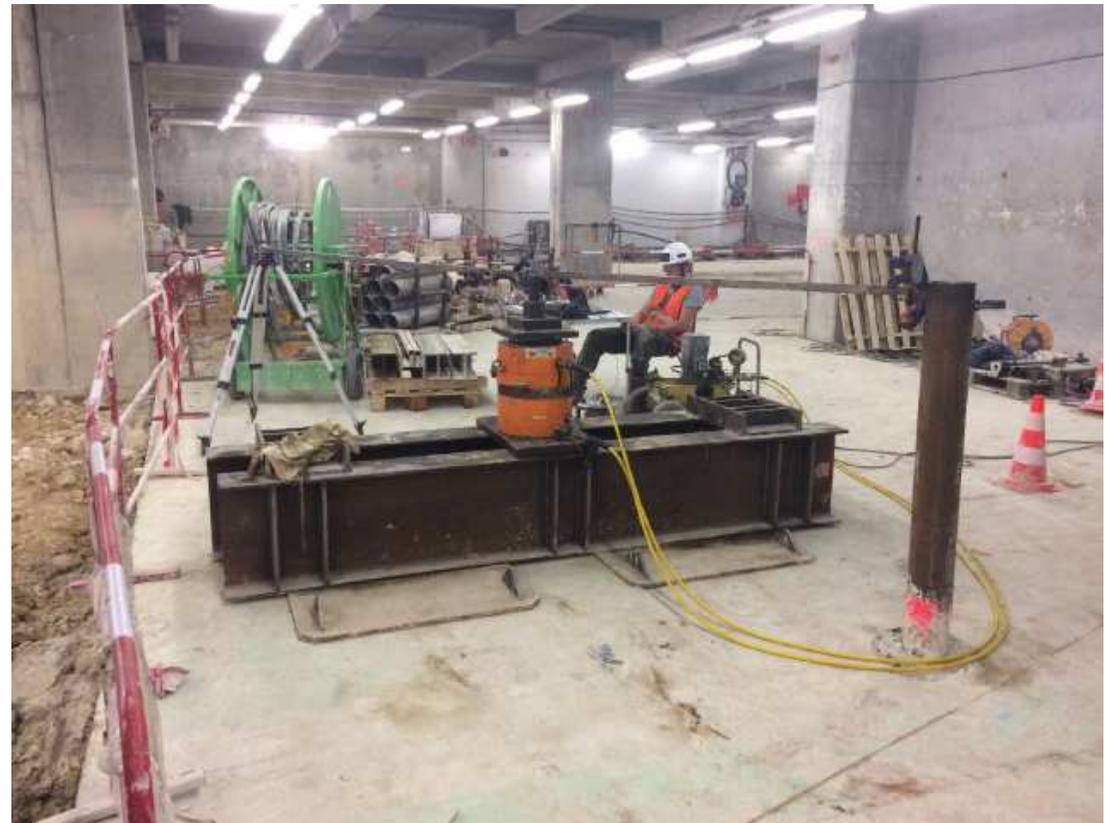
# ZOOM TECHNIQUE (2)

## Campagne d'essais sur micropieux



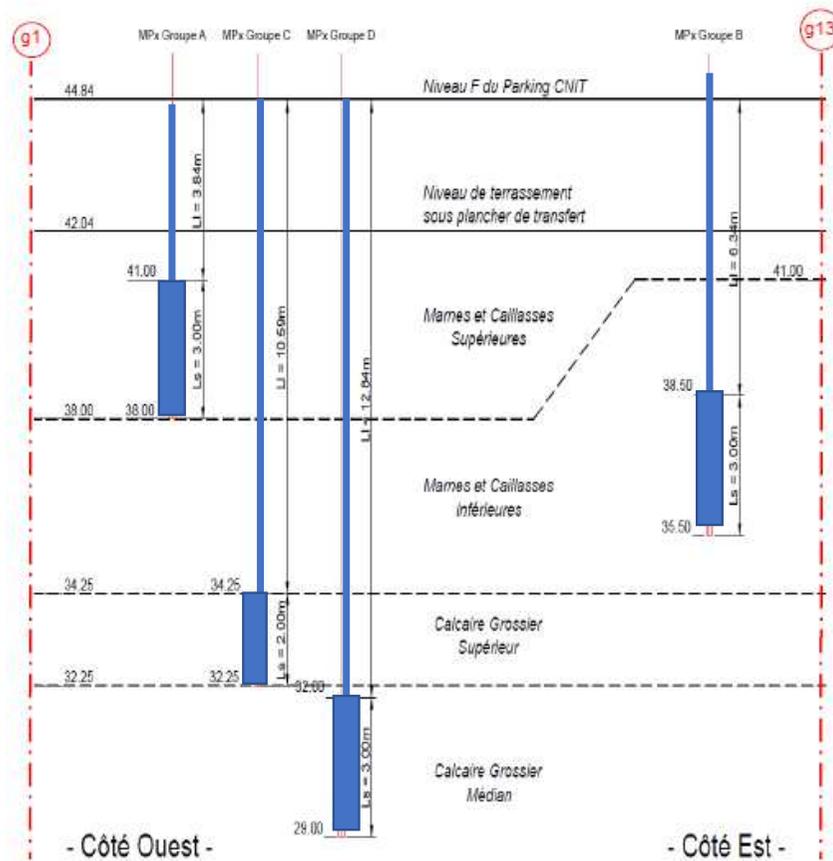
Réalisation de la campagne de micropieux d'essais

- Forage  $\varnothing$  200 mm
- Injection IGU de type III
- Longueur de scellement de 2,00 à 3,00 m



# ZOOM TECHNIQUE (2)

## Campagne d'essais de micropieux



|     | nombre d'essais | PI (Mpa) | qs cal (t/m <sup>2</sup> ) | Valeurs calculées (NF P 94-262)        |                                     | Valeurs d'essais                       |                                     |
|-----|-----------------|----------|----------------------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
|     |                 |          |                            | qs <sub>cr;k</sub> (t/m <sup>2</sup> ) | qs <sub>k</sub> (t/m <sup>2</sup> ) | qs <sub>cr;k</sub> (t/m <sup>2</sup> ) | qs <sub>k</sub> (t/m <sup>2</sup> ) |
| MCs | 5               | 5,0      | 28,8                       | 9,2                                    | 13,1                                | 15,9                                   | 23,9                                |
| MCI | 4               | 6,5      | 31,7                       | 10,1                                   | 14,4                                | 31,8                                   | 47,7                                |
| CGs | 5               | 10,0     | 38,4                       | 12,2                                   | 17,4                                | 35,0                                   | 52,5                                |
| CGm | 2               | 6,5      | 31,7                       | 10,1                                   | 14,4                                | NS                                     | NS                                  |

Pour les MP proches des puits, les valeurs de  $q_s$  ont été minorées de 30%

**ZOOM TECHNIQUE (3)**  
**Mise en charge initiale**  
**des micropieux**

# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Procédure de vérinage

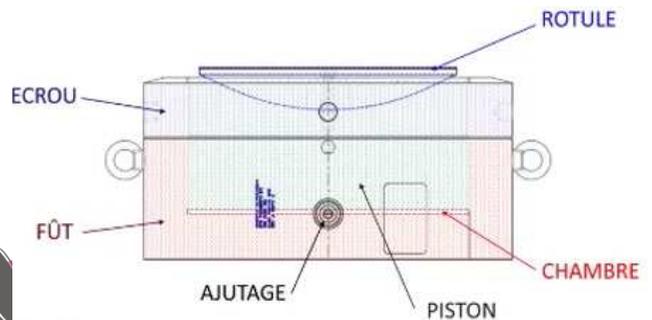


- L'incertitude des charges a conduit au choix d'une procédure de pilotage par nivellement et contrôle de la charge.
- Programme de levage pour chaque poteau par palier de 20% de la charge théorique puis en fin de processus relaxation successive des poteaux sur une même file par tranches de 10 bars pour ajustement et assurer le critère de nivellement
- Installation de 3 types de capteurs permettant d'établir des critères d'arrêt de vérinage en fonction du suivi de l'auscultation
- Quatre critères pour déterminer le moment d'arrêt de vérinage

## ZOOM TECHNIQUE (3)

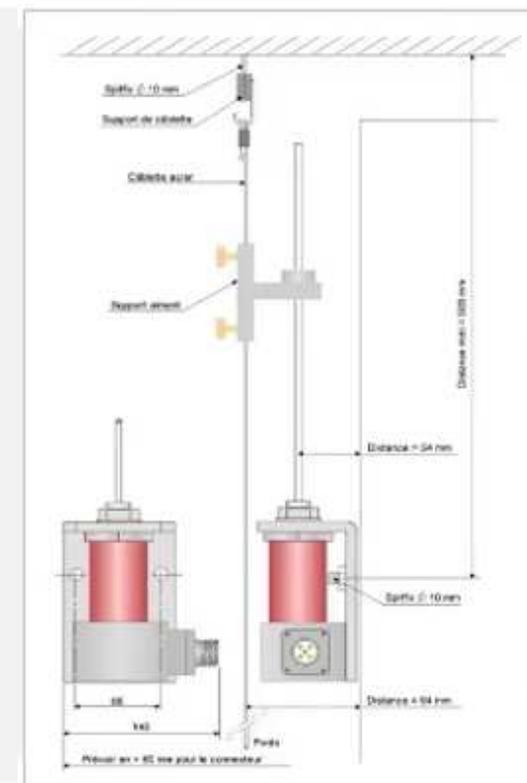
### Système de levage par vérinage

- Utilisation de 700 vérins de hauteur réduite (180 mm) de 100 à 260 T répartis sur les massifs en fonction des charges théoriques
- Vérins : course de 43 mm, simple effet et pression de service de 500 bars. Ils sont munis d'un écrou de sécurité en cas de chute de pression et d'une rotule d'appui en partie supérieure pour éviter les efforts transversaux.
- Installation hydraulique : vérins en équipression raccordés sur une barrette de distribution munie de deux manomètres (digitale et à aiguille) ainsi qu'un gicleur hydraulique qui permet de limiter la pression.



# ZOOM TECHNIQUE (3)

Installation hydraulique déployée sur les 117 poteaux



# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Étude et choix des capteurs

- Seuil de pilotage : Seuils marché très contraignants**



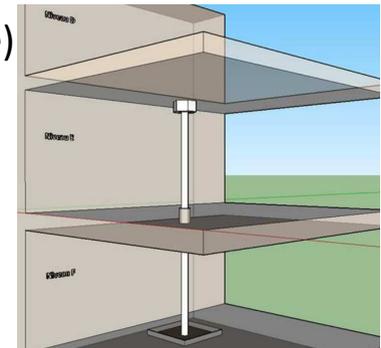
Analyse des mesures à blanc pour optimisation des seuils vers des seuils opérationnels  
 Choix des capteurs les plus précis du marché

|  | Seuil de vigilance<br><small>(valeur indicative, la valeur pratique étant à proposer par l'Entreprise à l'approbation du Maître d'Œuvre en cohérence avec ses études d'exécution)</small> | Seuil d'alerte<br><small>(valeur standard, la valeur pratique étant à proposer par l'Entreprise à l'approbation du Maître d'Œuvre en cohérence avec ses études d'exécution)</small> | Seuil contractuel |
|--|---|---|-------------------|
| Tassement différentiel entre appuis d'un même bâtiment |   |   |                   |
| Pente maximale de la cuvette de tassement              | 0.5 mm/m  | 0.9 mm/m  | 1.2 mm/m          |
| Rotation maximale d'une culée du CNIT                  |   |   |                   |
| Distorsion entre appuis d'un même bâtiment             | 0.25 mm/m   | 0.45 mm/m   | 0.6 mm/m          |
| Elongation horizontale entre appuis d'un même bâtiment | 0.1 mm/m  | 0.2 mm/m  | 0.25 mm/m         |

- Redondance de l'instrumentation : Ne pas dépendre que d'un indicateur pendant les phases de transfert de charge**



Mesures de l'évolution de contrainte sur la structure existante (jauges de contrainte)  
 Récupération des pressions dans les vérins (manomètre)



- Référencement des mesures :**



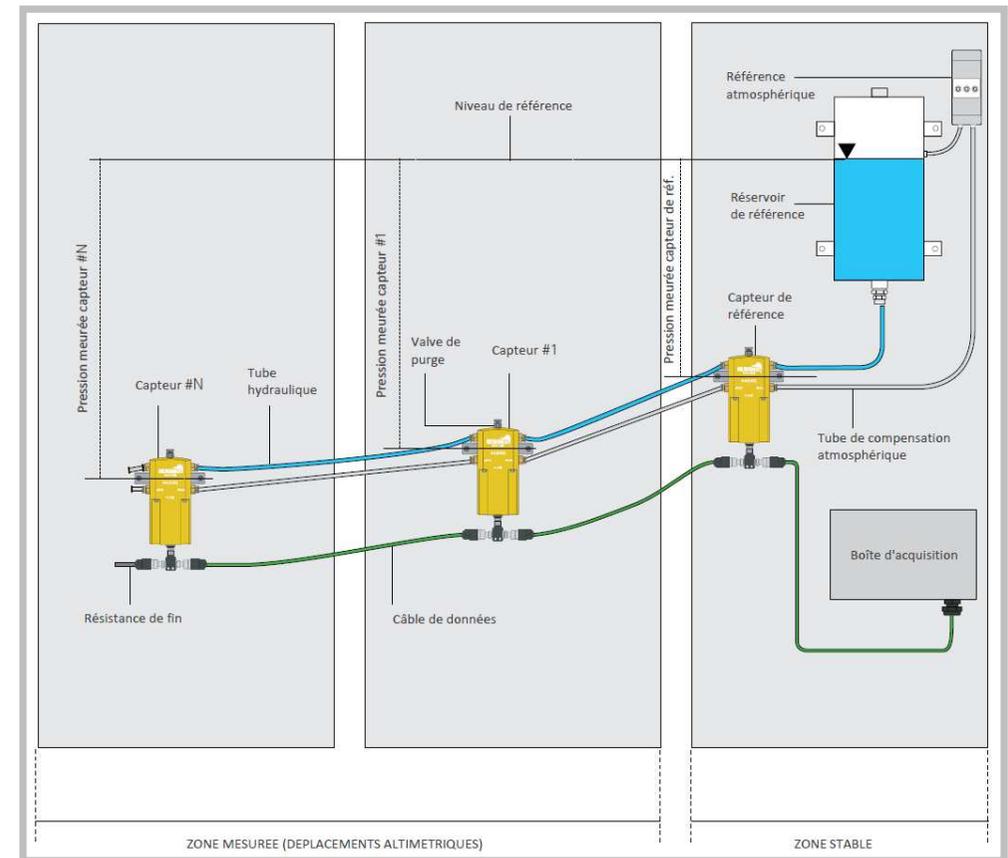
Mise en œuvre de micropieux de référence

# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Tassomètres



« Un réseau de téléniveaux hydrauliques permet de **mesurer la différence de pression en un point particulier**, équipé d'un capteur, **par rapport au réservoir de référence**, généralement situé en zone stable. On mesure alors la hauteur de la « colonne d'eau » entre le capteur et le niveau de liquide dans le réservoir. La connaissance de la masse volumique du liquide utilisé permet de transformer cette différence de pression en variation d'altimétrie. »

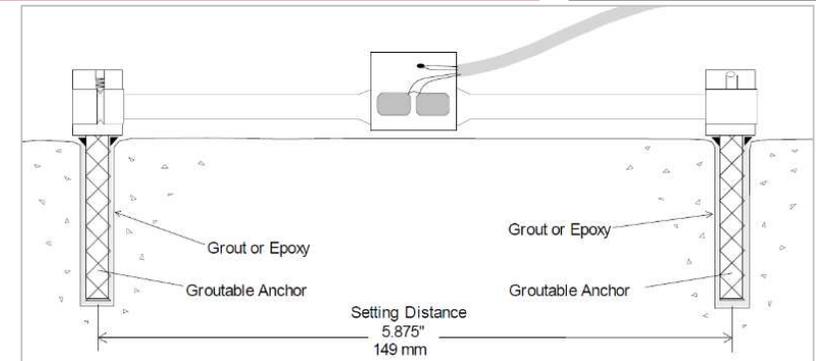


# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Jauges de contrainte



« La corde vibrante est un type de capteur utilisé pour mesurer les **variations absolues d'allongement**. Son principe est la variation de la **fréquence de vibration fondamentale** (souvent dans le spectre audible) d'une corde tendue, qui dépend de la tension selon une loi déterminée. Un allongement ou un raccourcissement se traduit par une altération de la tension de la corde, et donc de la fréquence fondamentale. Ce type de capteur comporte un électro-aimant qui permet à la fois d'exciter l'oscillateur, et de faire microphone pour la détermination de la fréquence.»



Calcul de la microdéformation à partir de la valeur brute :

$$\epsilon \text{ (MicroStrain)} = (F_0^2 - F_i^2) \times GF$$

avec GF (Gage Factor) =  $4.062 \times 0.96 = 3.899$   
 $F_0$  = mesure brute initiale en Hz et  $F_i$  = mesure brute actuelle en Hz.  
 $\epsilon$  est la variation de déformation depuis la mesure 0

Calcul de la contrainte à partir de la micro-déformation :

$$\sigma \text{ (Mpa)} = \epsilon \cdot 10^{-6} \times E;$$

avec E (module de Young) en Mpa  
 $\sigma$  est la variation de contrainte depuis la mesure 0 (on n'obtient pas la contrainte totale mais la variation de contrainte)

Estimation de l'effort repris par le buton :

$$\text{Effort (T)} = (\sigma M \times S) \times (1000/9.8);$$

avec S = section du buton en m<sup>2</sup>  
 et  $\sigma M$  = Moyenne des contraintes sur les jauges en Mpa.

Note : Convention de signe :

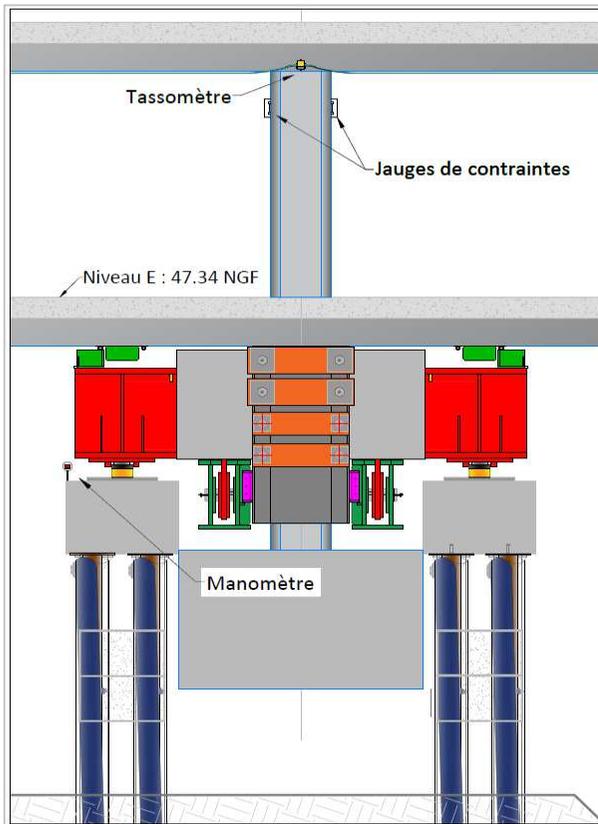
Une variation positive indique une compression  
 Une variation négative indique une tension

Note : Correction en température :

Le coefficient d'expansion des jauges est de  $11.10^{-6}$ , celui de l'acier de  $12.2.10^{-6}$ .  
 La correction à apporter aux valeurs indiquées serait donc de  $1.2.10^{-6}$ , valeur considérée négligeable.

# ZOOM TECHNIQUE (3)

Mise en œuvre pour le vérinage initial sur MP



**220 tassomètres:**

Fréquence d'acquisition 10s (lissage sur 5min)

**125 manomètres:**

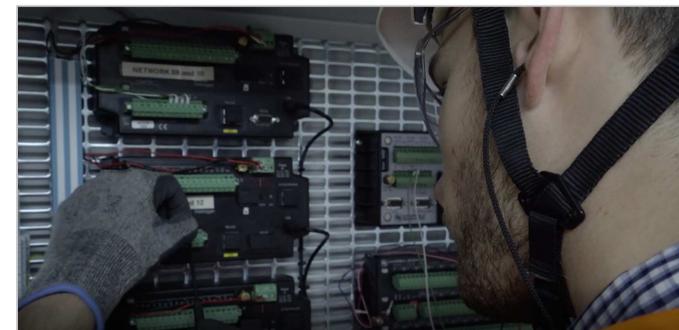
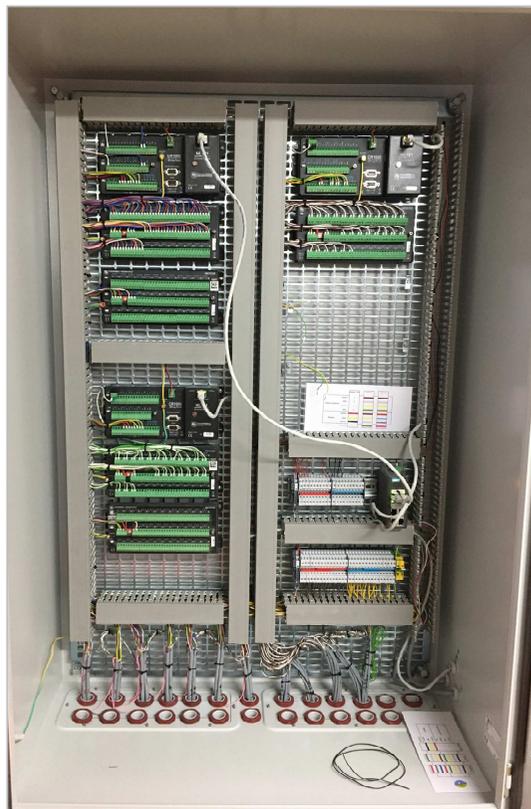
Fréquence d'acquisition 2 min

**380 jauges de contrainte :**

Fréquence d'acquisition 2 min

# ZOOM TECHNIQUE (3)

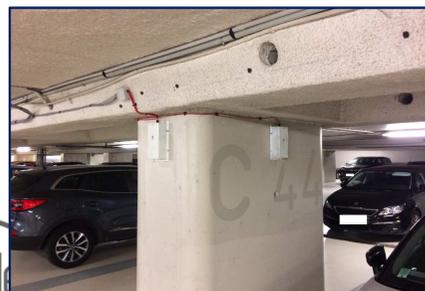
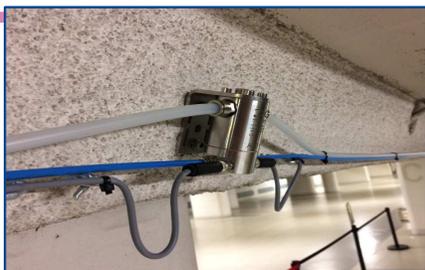
## Acquisition des données



- Tirage de 90 km de câbles (4 fils) dans les zones utilisées par le public
- 16 centrales d'acquisition synchronisées en temps réel
- 3000 « fils » un à un connectés aux centrales d'acquisition

# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Acquisition des données



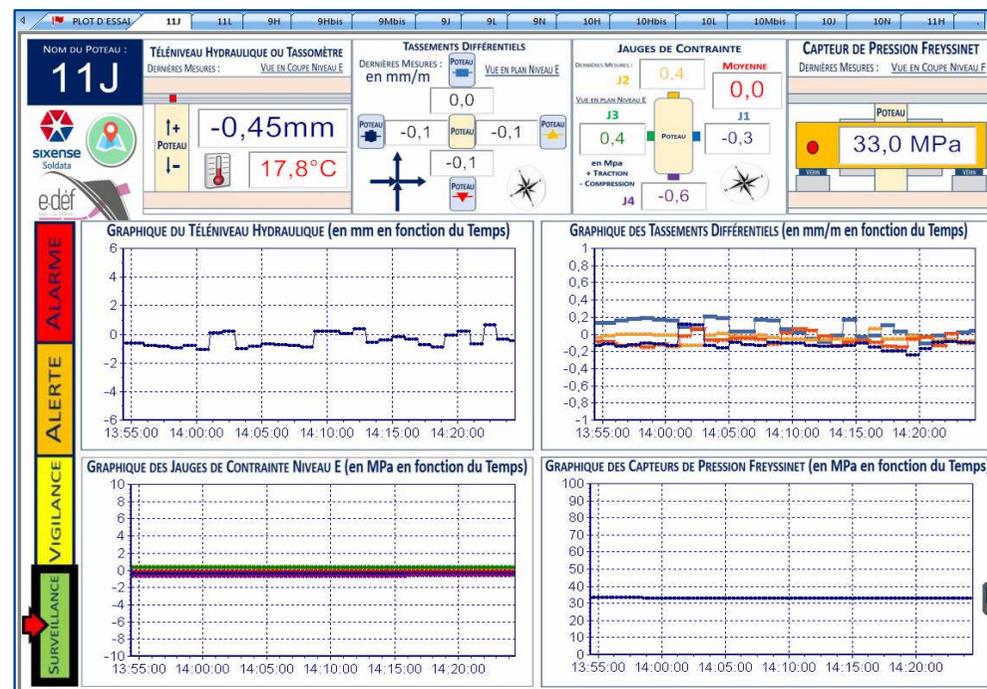
Serveur

Envoi et traitement des données  
vers la base de données principale

Fréquence: 5 min



Interface de visualisation des  
données brutes



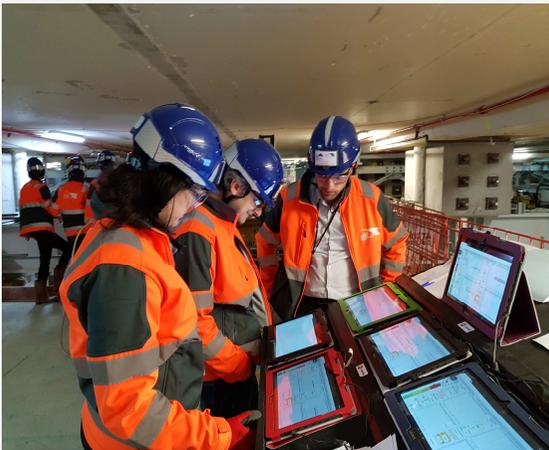
# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Acquisition des données



### OBJECTIFS

- => Accès et visualisation de la donnée en temps réel depuis le chantier
- => Mise en place d'une salle de contrôle au plus près des opérations de vérinage



**INTÉGRATION DE PLUS DE  
2 MILLIONS DE DONNÉES  
BRUTES PAR SEMAINE**

**PLUS DE 7 MILLIONS  
DE CALCULS RÉALISÉS  
PAR SEMAINE**

- => Maintenance

# ZOOM TECHNIQUE (3)

## La maintenance

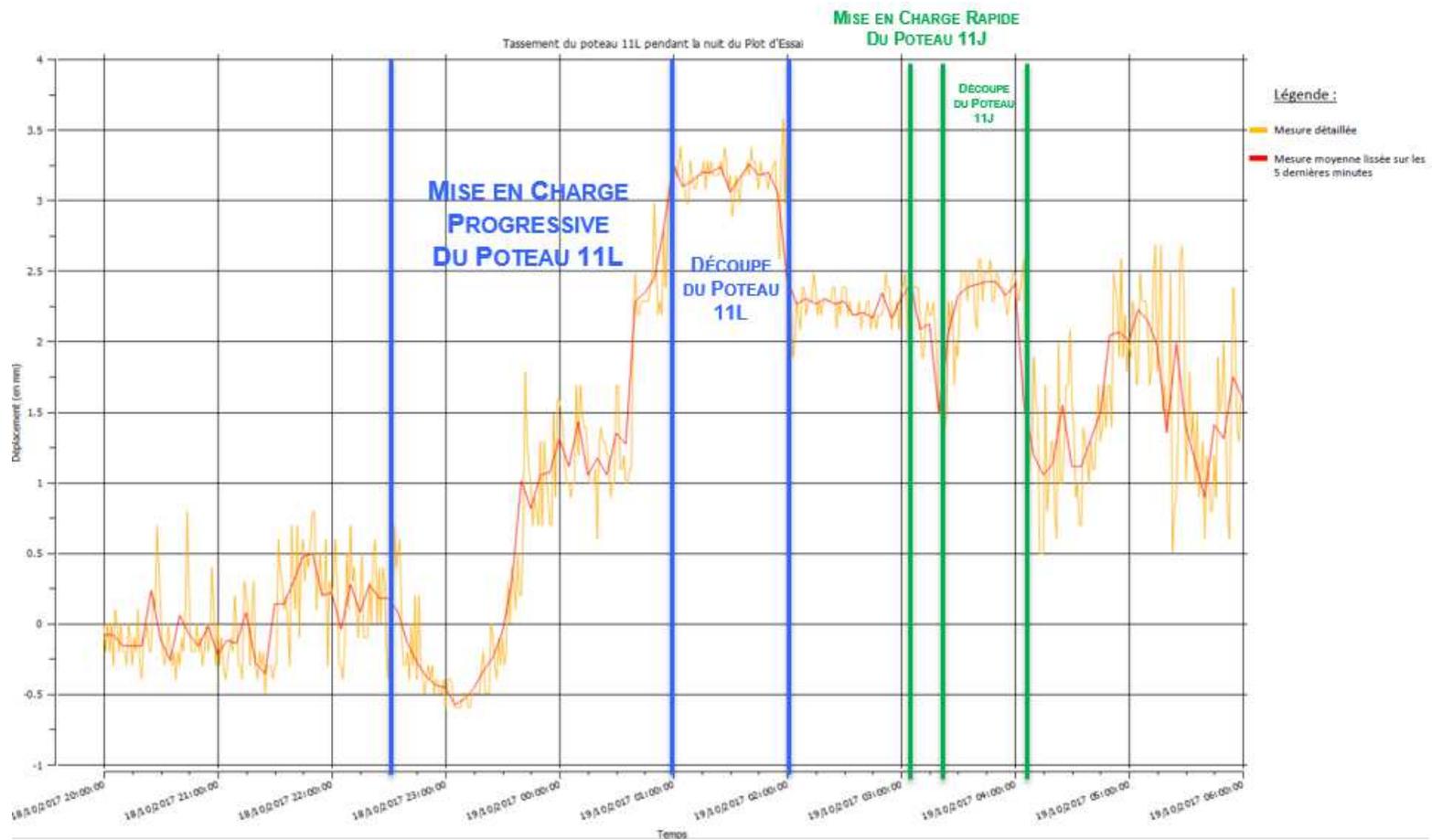


Temps de réparation max : 6 heures

- Accès en temps réel à la page de « monitoring » du système de monitoring
- Envois automatisés d'alarmes de fonctionnement
- Astreinte 24/7 pour les phases critiques du projet
- Procédures de réparation connues par toutes les équipes

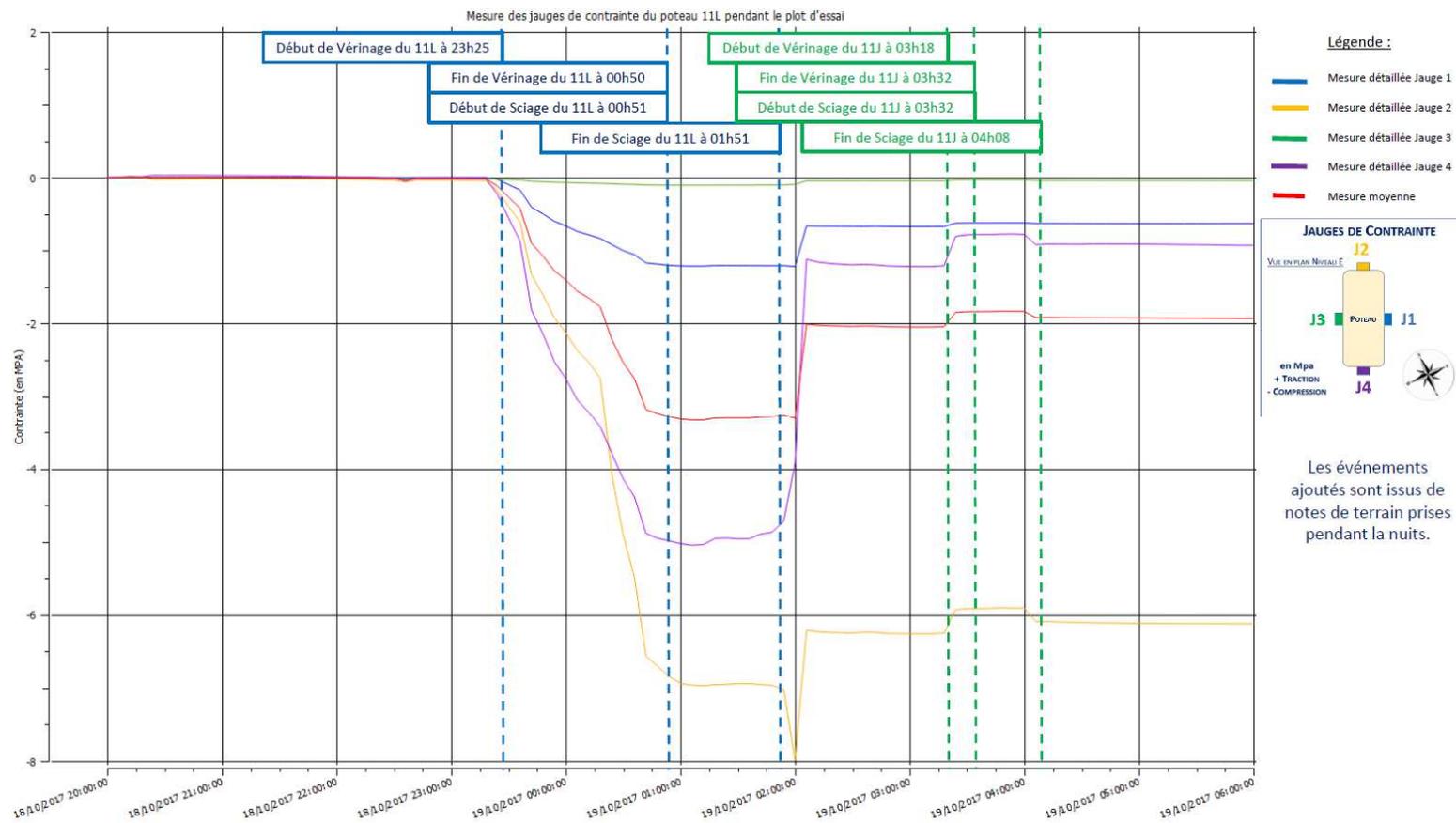
# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Principaux résultats (prise en charge)



# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Principaux résultats (prise en charge)



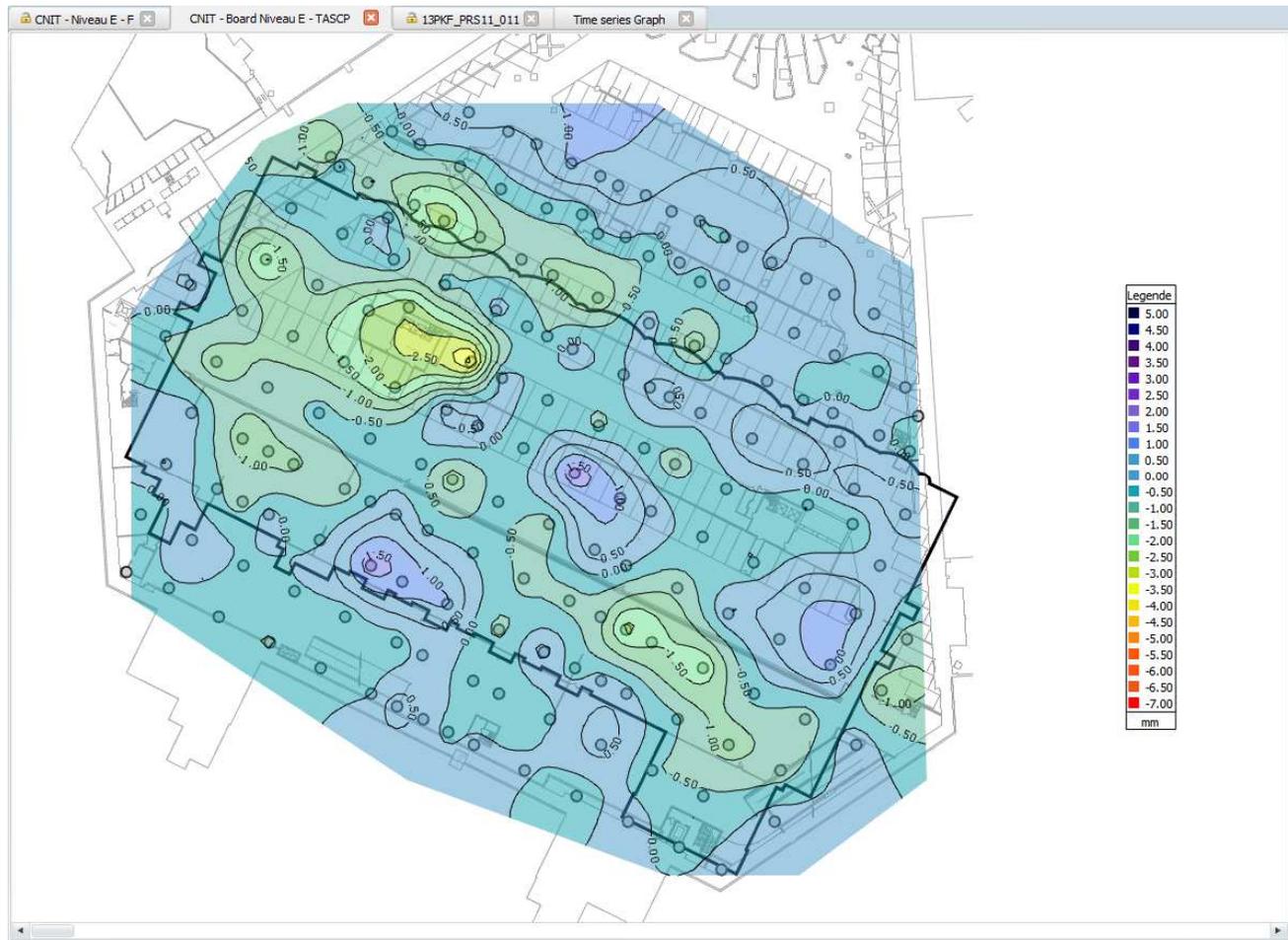
# ZOOM TECHNIQUE (3)

Principaux résultats : avant la prise en charge



# ZOOM TECHNIQUE (3)

Principaux résultats : pendant la prise en charge



# ZOOM TECHNIQUE (3)

Principaux résultats : après la prise en charge



# ZOOM TECHNIQUE (3)

## Principaux résultats (relaxation)



**SEANCE DE QUESTIONS / REponses**

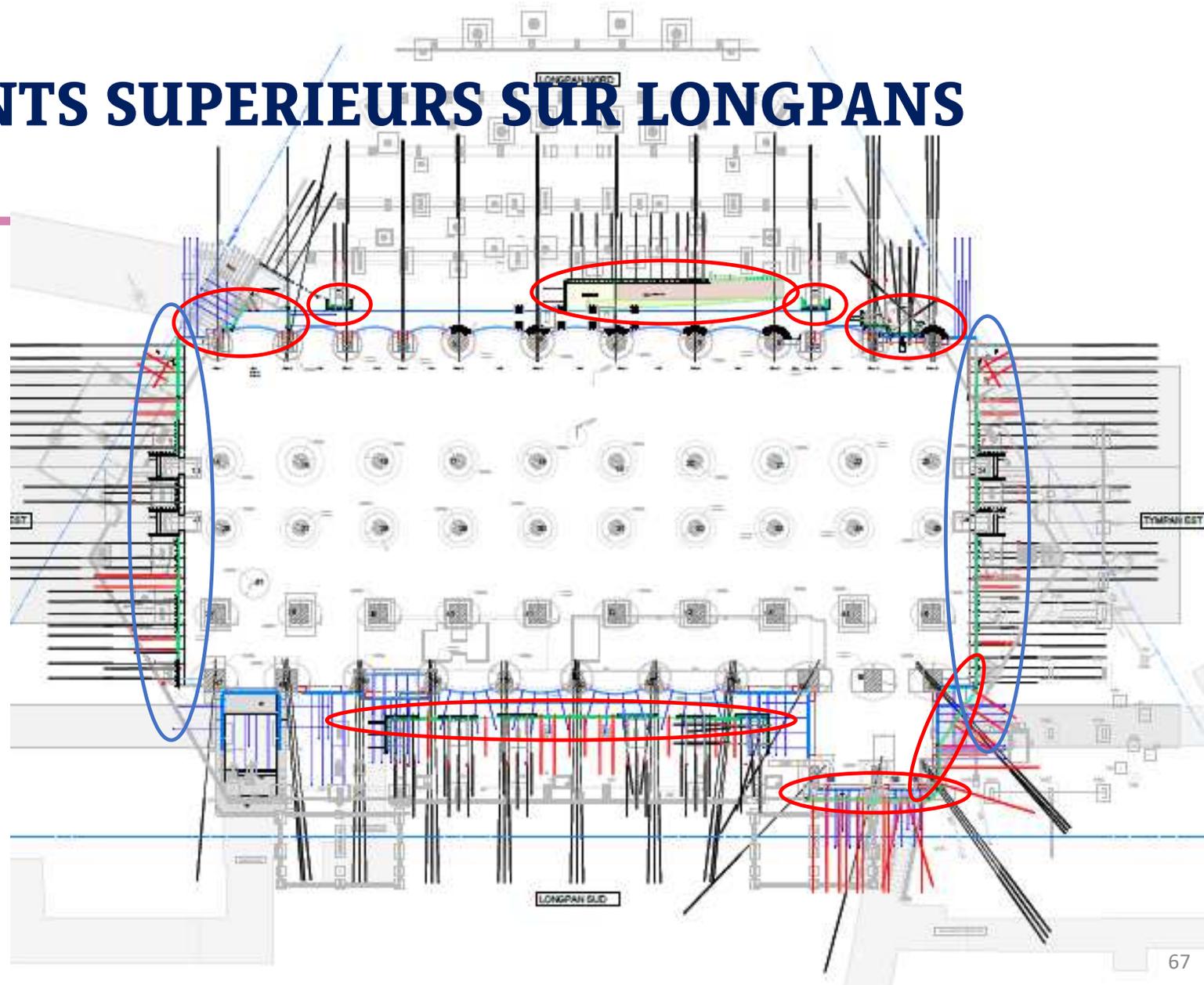
# **2 - SOUTENEMENTS SUPERIEURS SUR TYMPANS et LONGPANS**

# SOUTÈNEMENTS SUPÉRIEURS SUR LONGPANS

## Les enjeux

Plan de localisation des soutènements provisoires

- Sur longpans en **rouge** (dissociés des soutènements sous la dalle transfert)
- Sur tympans en **bleu** (en aplomb avec les soutènements sous la dalle de transfert)



# SOUTÈNEMENTS SUPÉRIEURS SUR LONGPANS



## Les enjeux

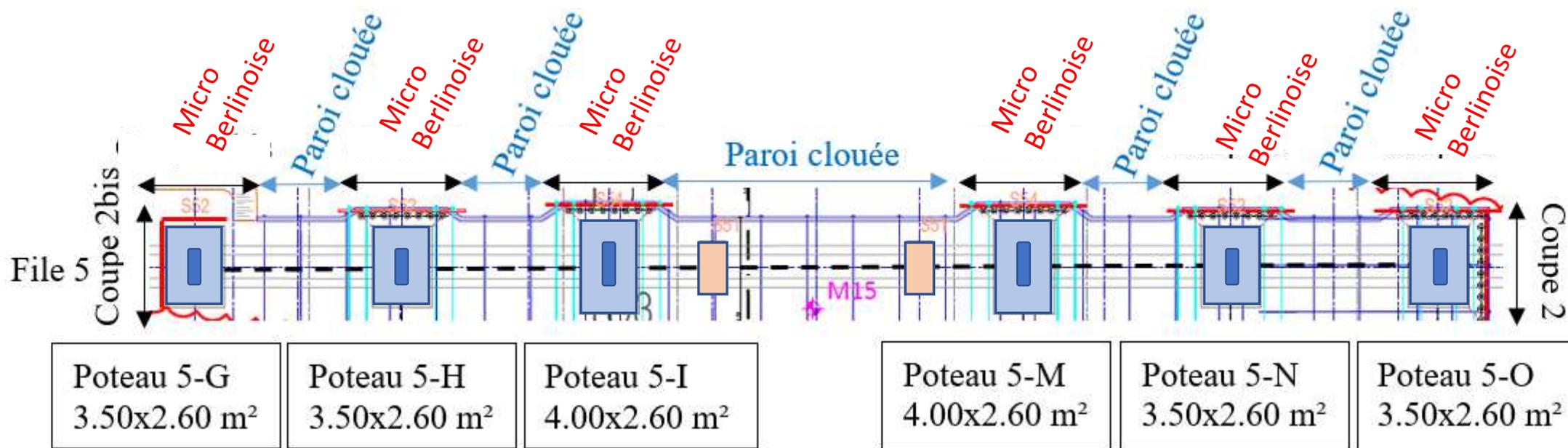
Le terrassement en 1<sup>ère</sup> phase pour réaliser la dalle de couverture ou les locaux techniques directement situés sous cette dalle nécessite des soutènements provisoires.

- Paroi en micro-berlinoise devant les semelles lourdes (semelles files 5G à 50)  
Tube  $\varnothing = 177,8$  mm ép. 16 mm (nuance N80) forage  $\varnothing = 250$  mm esp. = 0,70 m  
Stabilisés par 2 nappes de tirants précontraints de 70 t (6 torons T15S)  
Liernes BA et blindage ép. 7 cm en forme de voûte
- Paroi clouée devant semelles courantes ou si besoin entre les semelles hors possibilité de talus  
Barre Dywidrill R51660 injection IGU en  $\varnothing = 120$  mm  
Béton projeté entre 6 et 22 cm d'épaisseur

# SOUTÈNEMENTS SUPÉRIEURS SUR LONGPANS

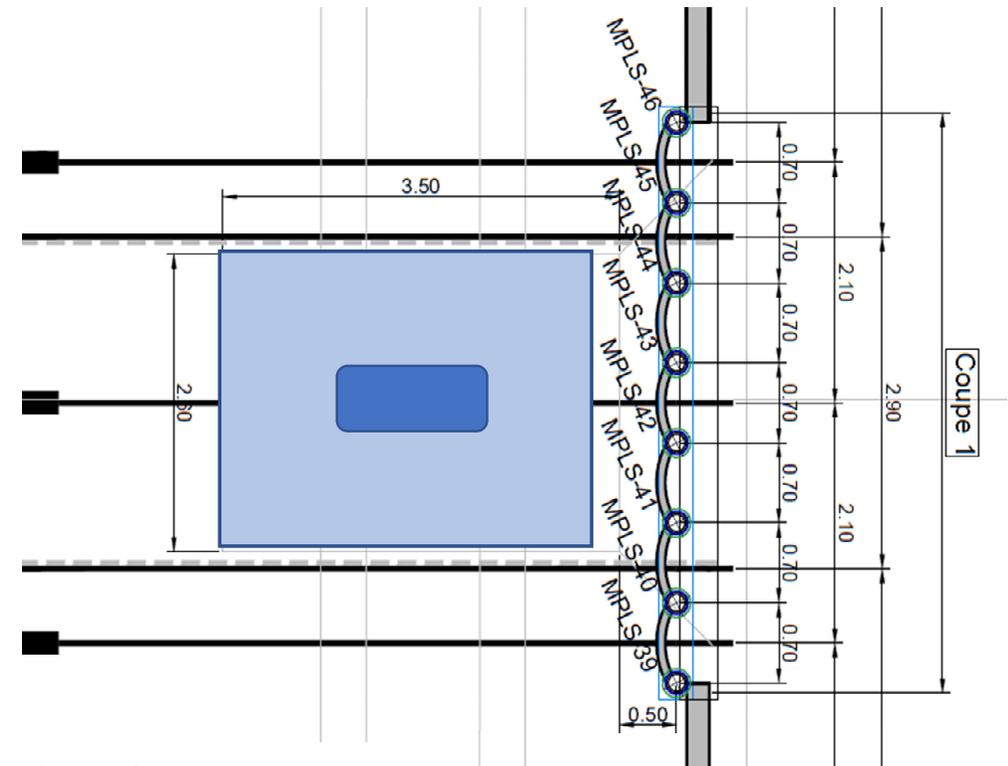
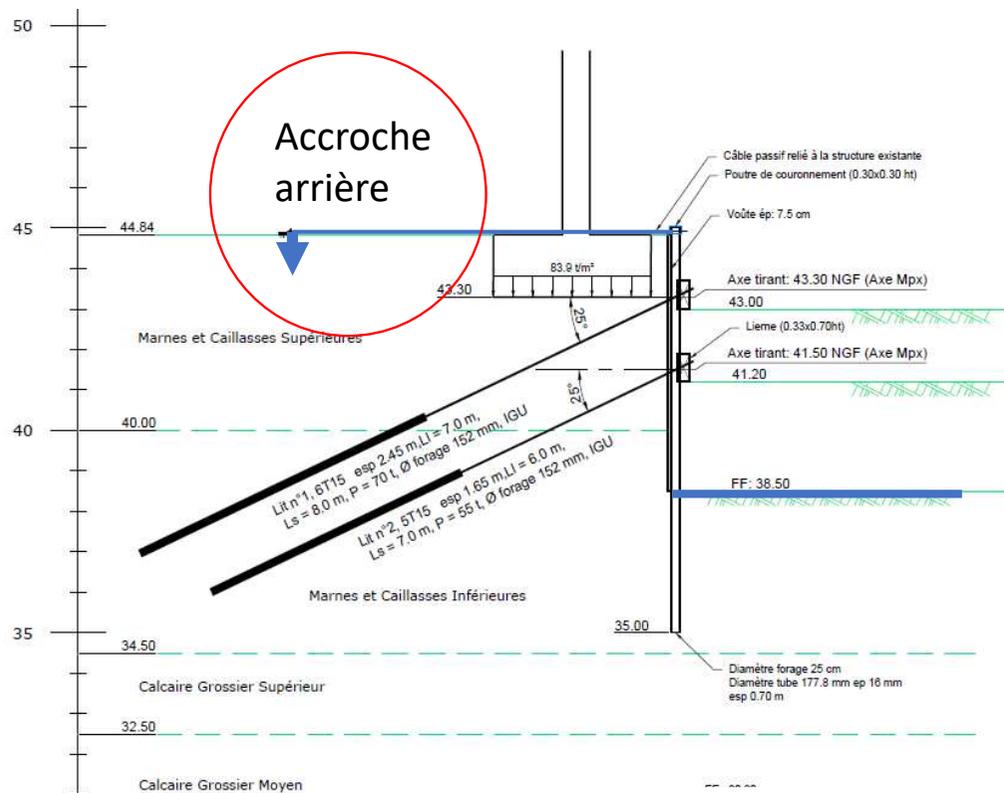


## Les enjeux



# SOUTÈNEMENTS SUPÈRIEURS SUR LONGPANS

Solution micro berlinoise



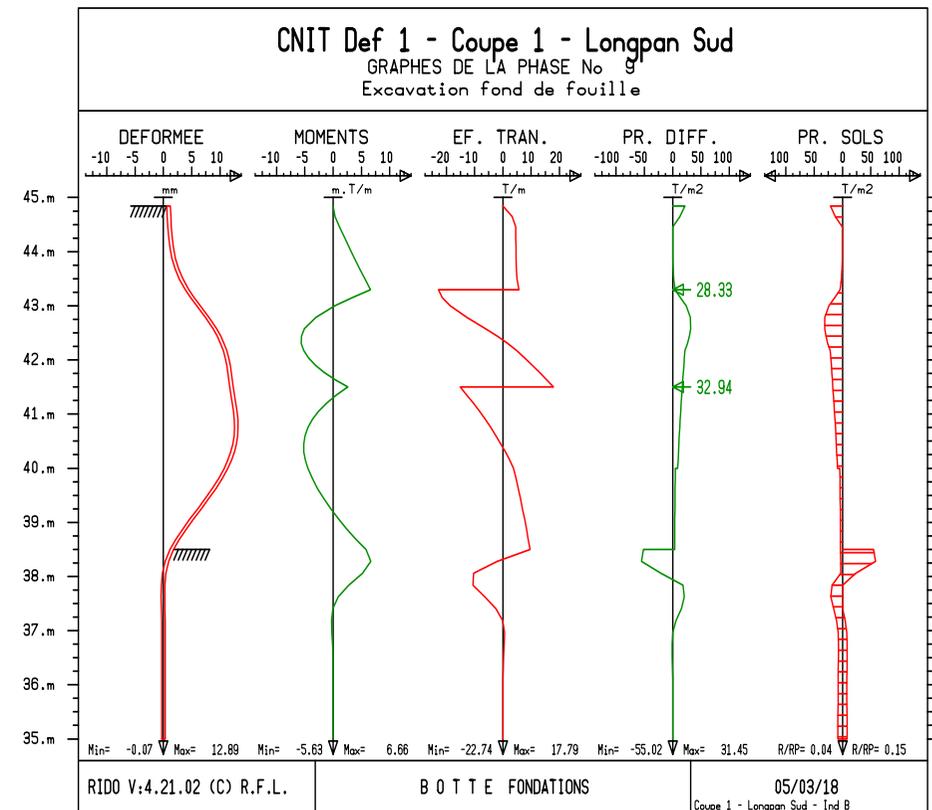
Cas d'un poteau très chargé

# SOUTÈNEMENTS SUPÈRIEURS SUR LONGPANS



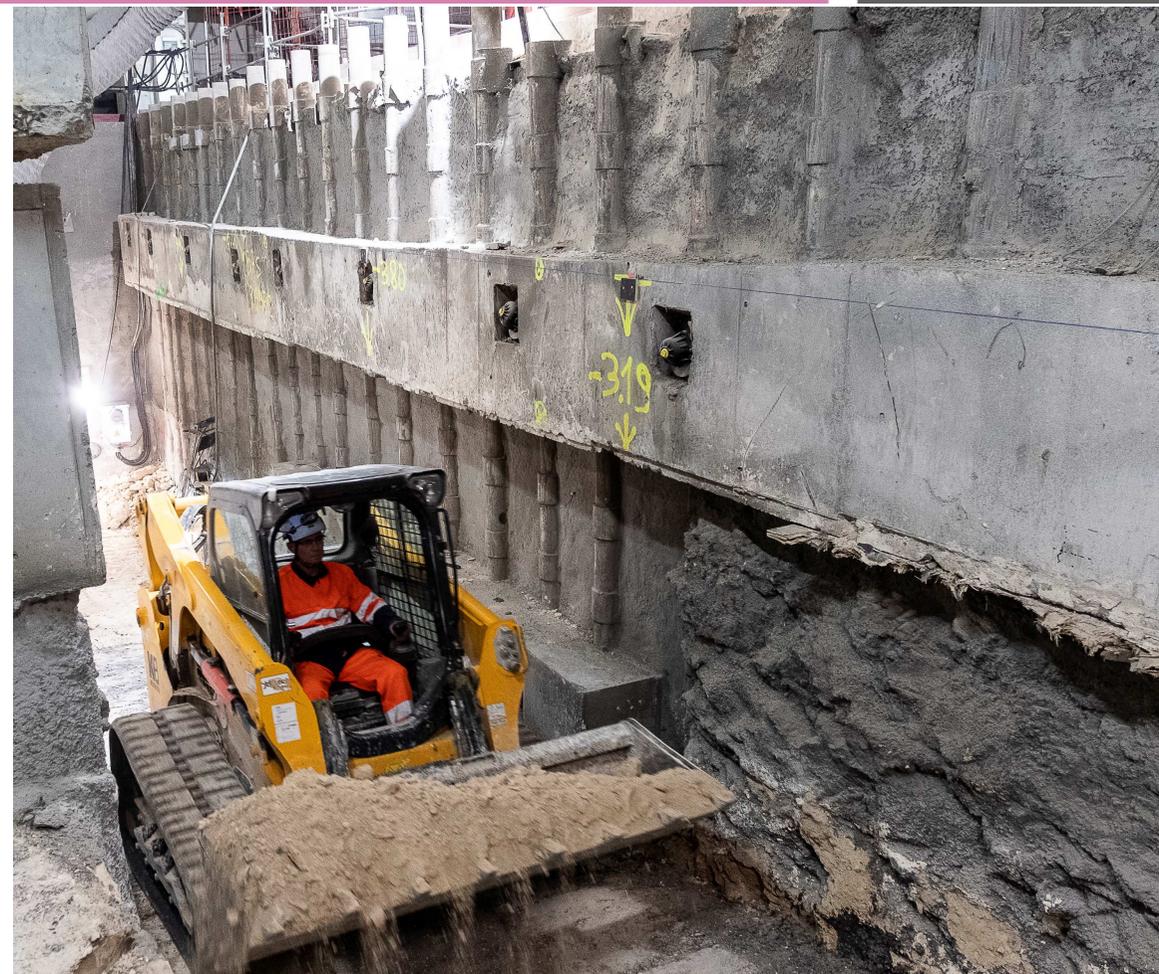
## Solution micro berlinoise

- Calcul élastoplastique avec logiciel RIDO
- Charge sur semelle 825 t (90 t/m<sup>2</sup>)
- Critère de déplacement limite de 10 mm en tête devant semelle



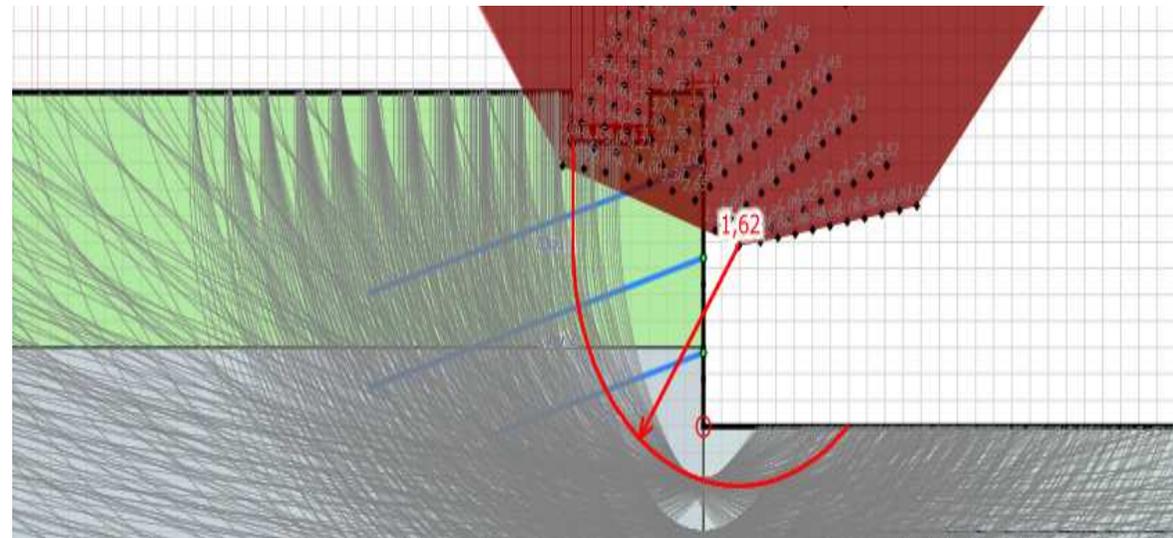
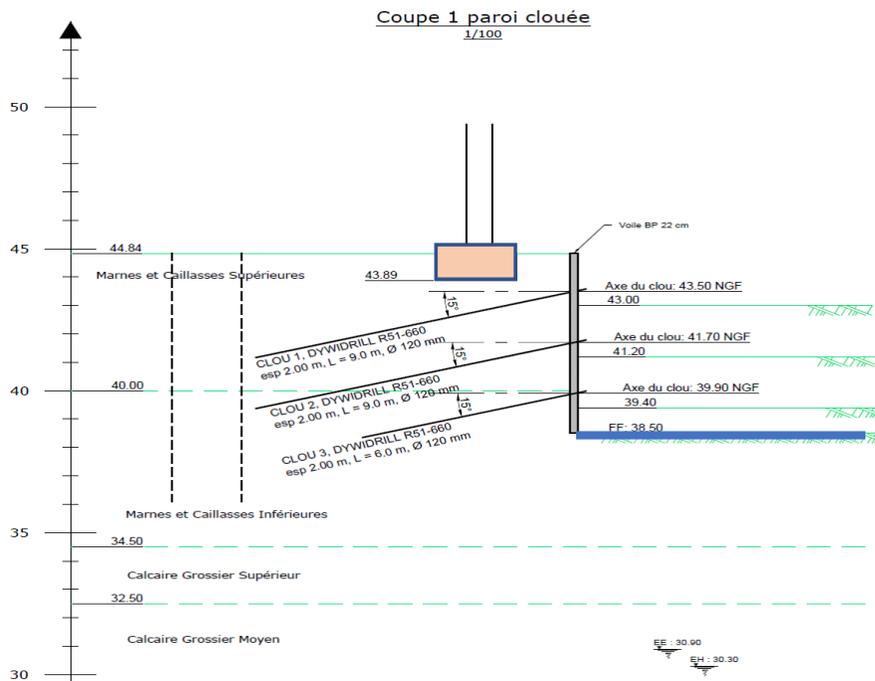
# SOUTENEMENTS SUPERIEURS SUR LONGPANS

Quelques photos



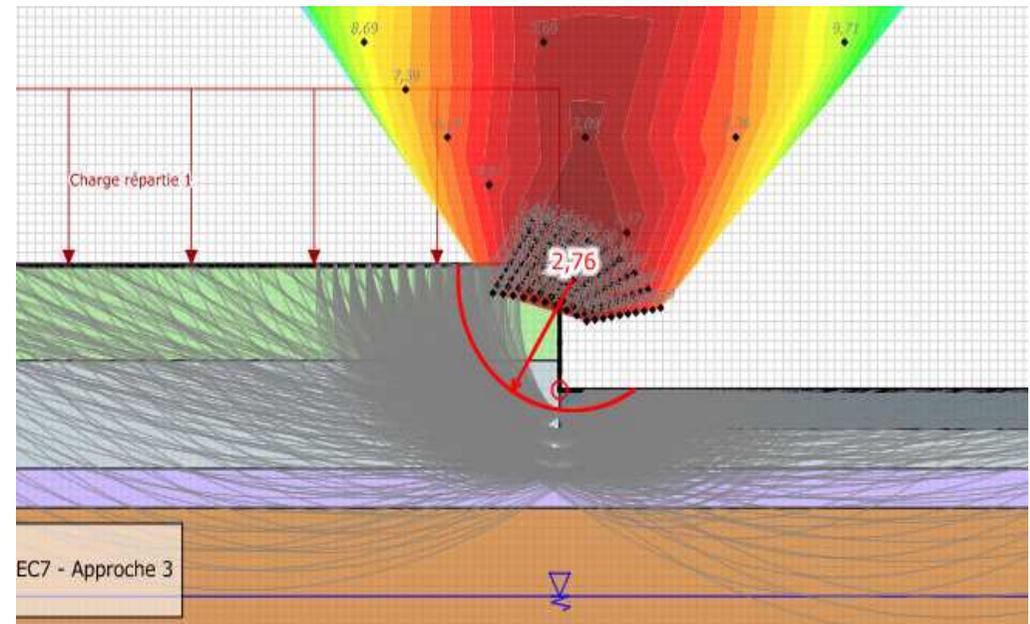
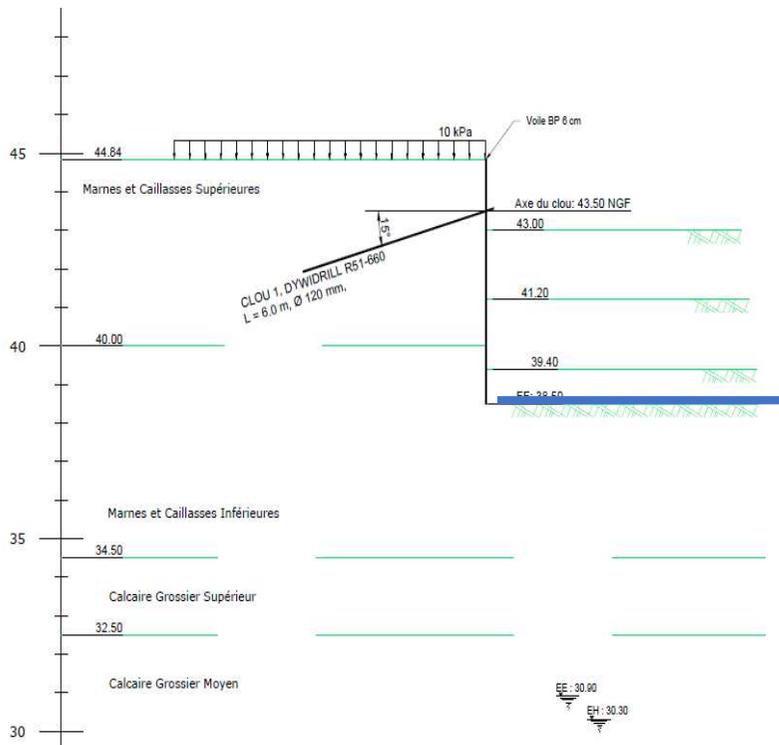
# SOUTÈNEMENTS SUPÈRIEURS SUR LONGPANS

## Solution paroi clouée 1



# SOUTÈNEMENTS SUPÈRIEURS SUR LONGPANS

## Solution paroi clouée 2



Cas sans surcharges et hors talus

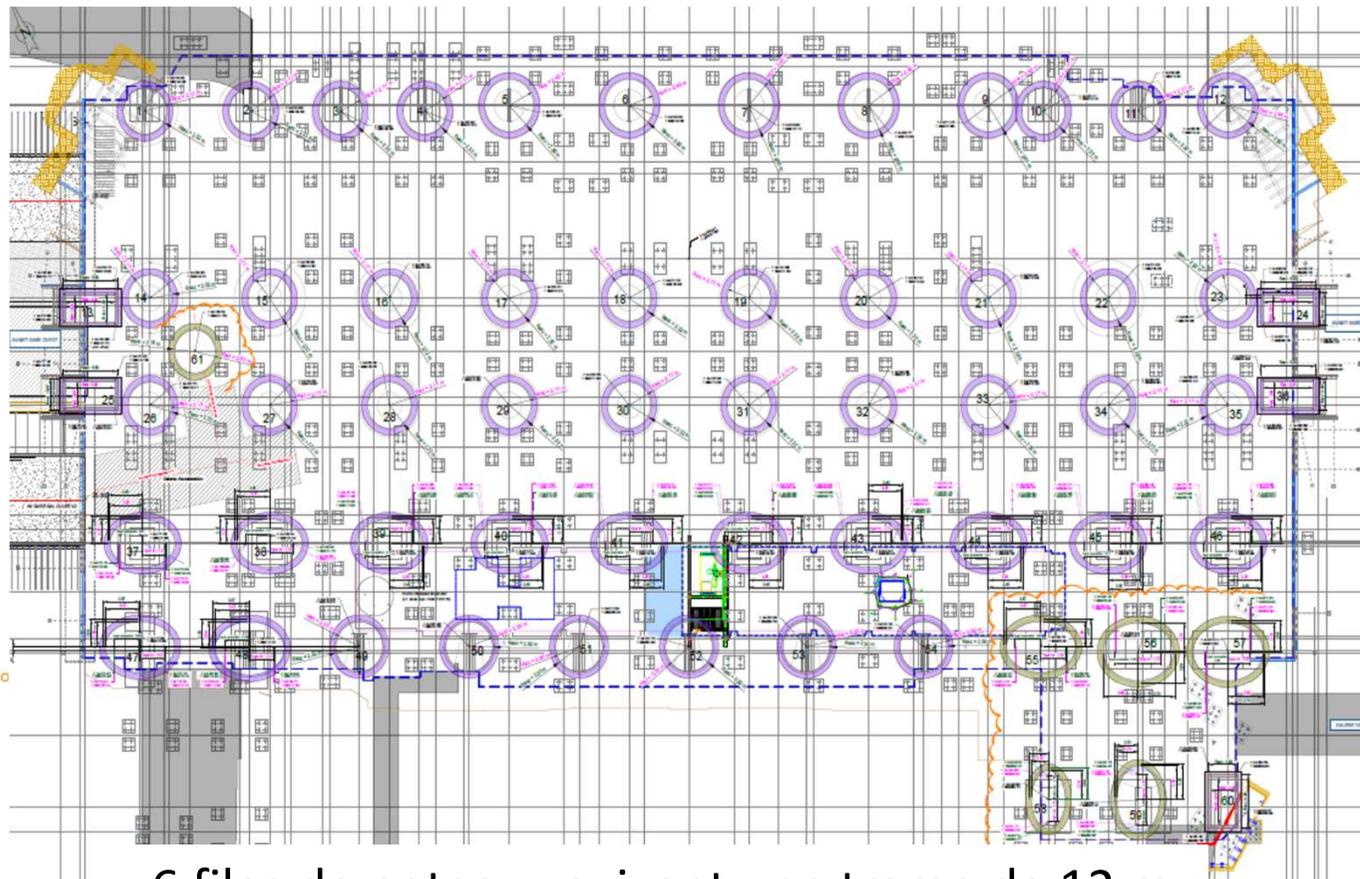
# **3 - REALISATION DES PUIITS ET PILIERIS DE LA GARE**

# PRINCIPE CONSTRUCTIF DES PILIERS

## Présentation



- Reprise de la dalle transfert par 60 piliers de formes différentes de 2,40 m à 3,50 m de diamètre
- Réalisation des piliers dans des puits blindés de 3,40 m à 8,00 m de diamètre de formes complexes



6 files de poteaux suivant une trame de 12 m

# PRINCIPE CONSTRUCTIF DES PILIERS

## Les enjeux



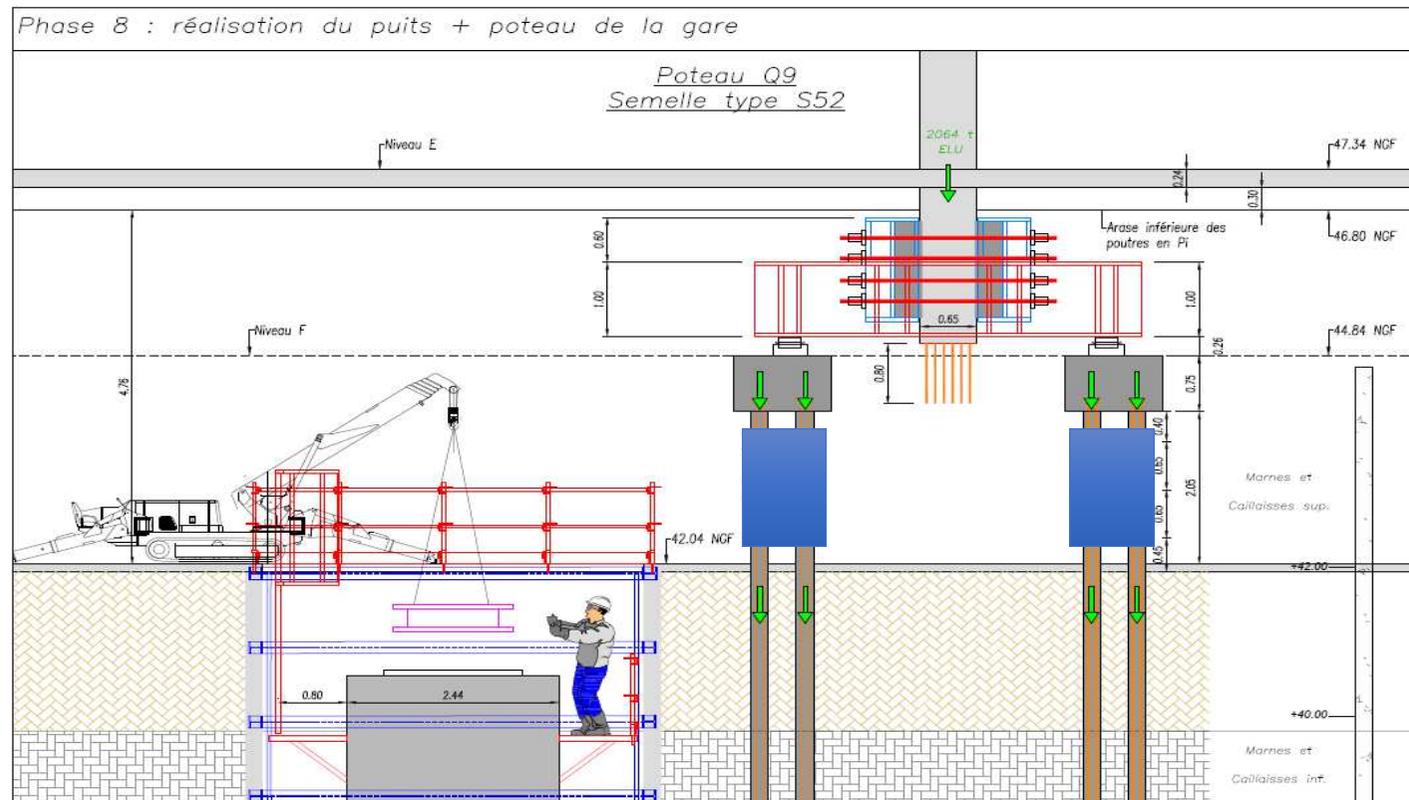
- Transmettre les charges de la dalle transfert au bon sol, par l'intermédiaire d'une semelle en maîtrisant les tassements
- Permettre la mise en charge de la dalle
- Trouver un équilibre de déformation de forme compte tenu des hauteurs et du modèle statique: appui libre en tête en phase de terrassement et encastré en phase de service avec une embase sur appuis élastiques.
- Servir de soutènement aux terres pour les piliers de rives lors des terrassements (stabilisés par des tirants d'ancrages – 3 niveaux de tirants en 9 T15 – P1 – 160 tonnes )
- Mise place d'un appui glissant en tête de poteau pour absorber les déformations induites par le phasage de terrassement et la mise en tension des tirants.

# PRINCIPE CONSTRUCTIF DES PILIERS

## Le phasage



- Terrassement traditionnel des puits avec blindage en béton projeté de 15 à 30 cm d'épaisseur
- Réalisation de la semelle puis remontée des poteaux BA en C45/55 par levées de 3,00m
- Réalisation de la tête de poteau (noyaux BA en C90/105)
- Pose des vérins en couronne (pour vérinage deuxième phase) avec constitution d'un appui glissant



# PRINCIPE CONSTRUCTIF DES PILIERS

Quelques photos de chantier



*Implantation d'un puits circulaire  
Les micropieux et la reprise en sous-œuvre sont visibles*

# PRINCIPE CONSTRUCTIF DES PILIERS

Quelques photos de chantier

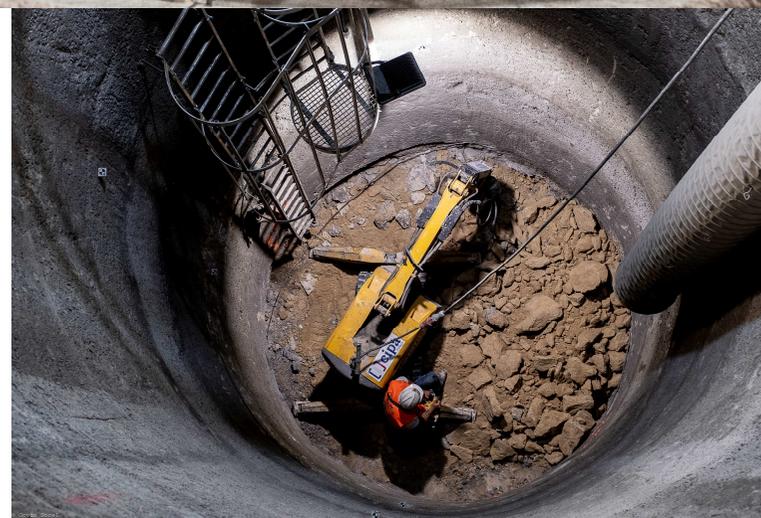
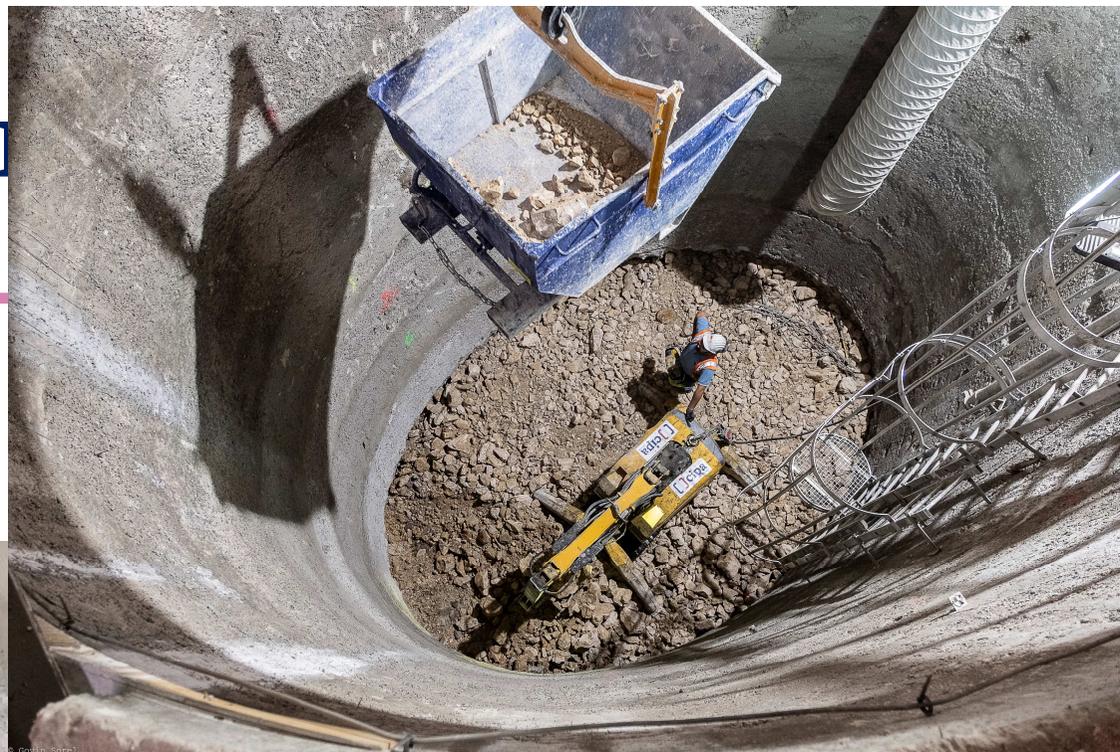
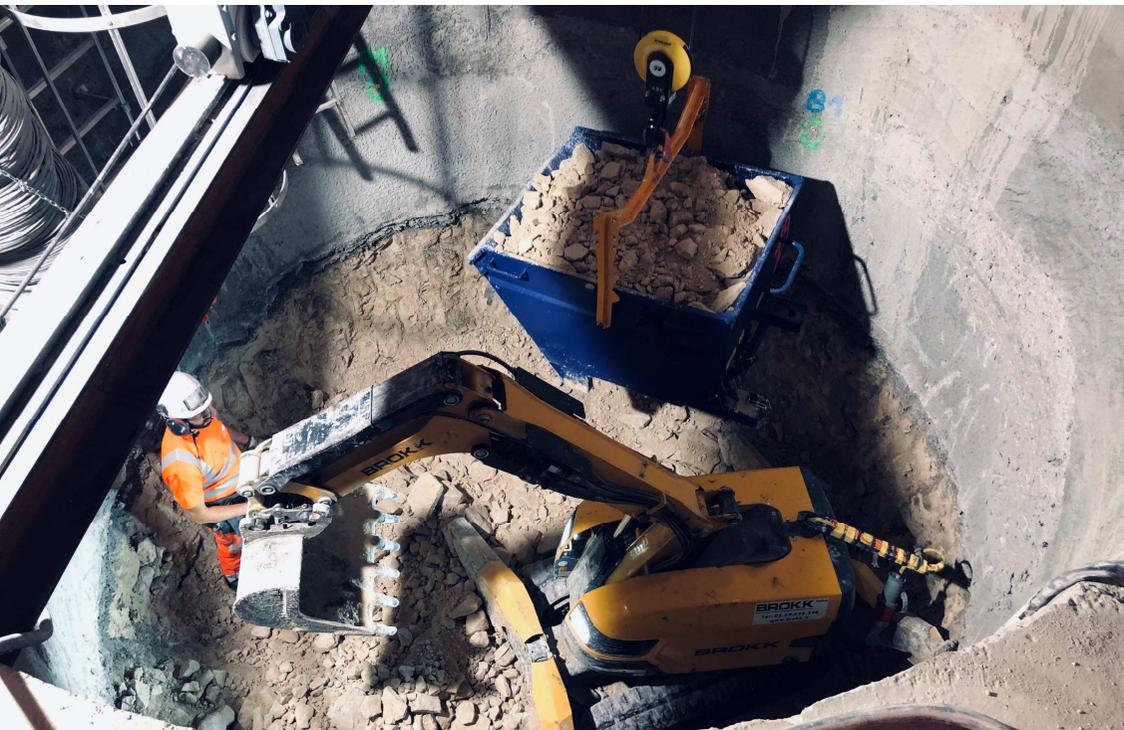


Terrassement et réalisation du blindage en béton projeté

# PRINCIPE CONSTRUCTIF

Quelques photos de chantier

Terrassement et évacuation des terres

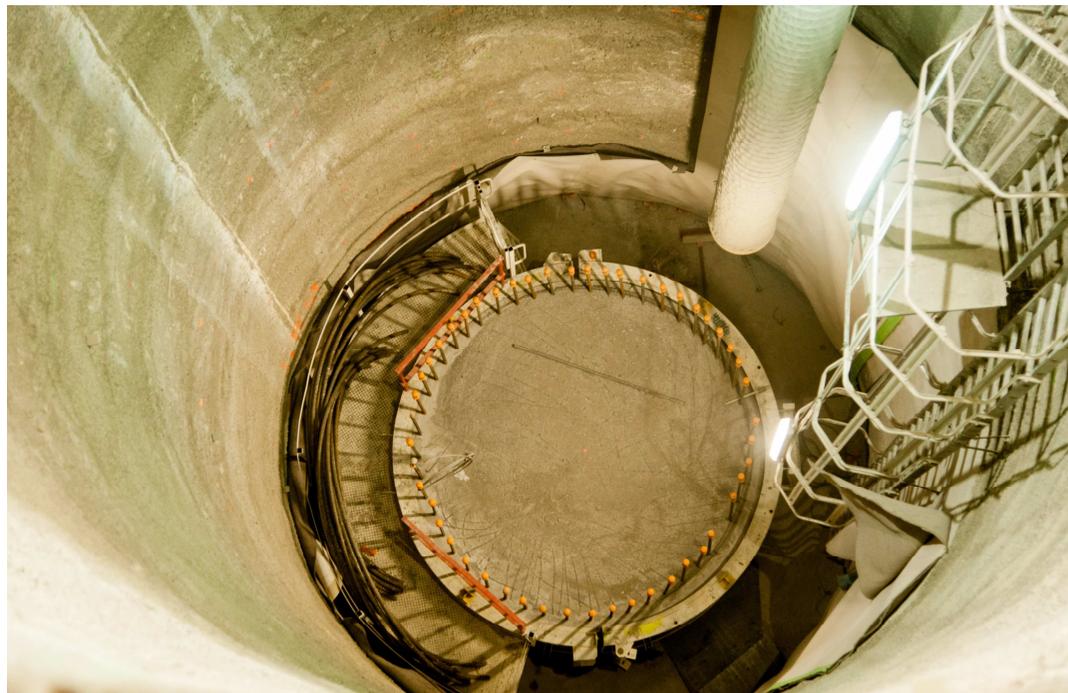


# PRINCIPE CONSTRUCTIF DE PILIERS

Quelques photos de chantier

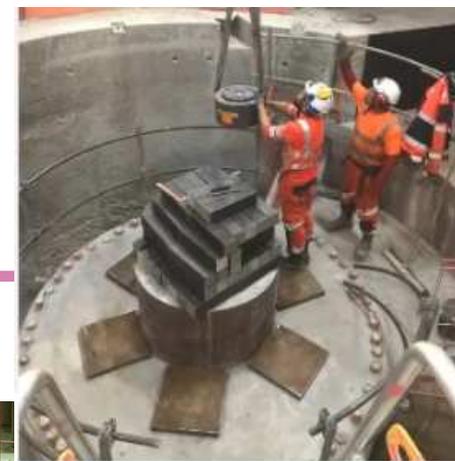
Exemple de puits de 6,00 m de diamètre

Phase remontée des piliers



# PRINCIPE CONSTRUCTIF DE PILIERS

Quelques photos de chantier

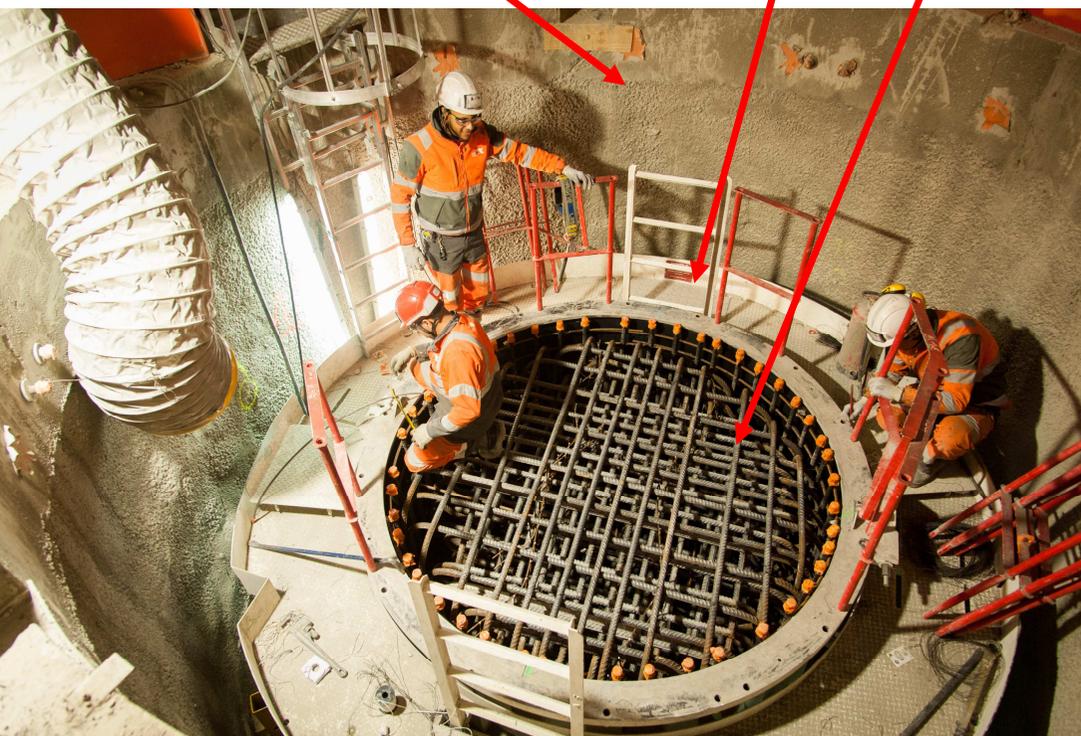


Paroi du puits blindé

Pilier circulaire

Tête de poteau

Vérin



Ferrailage des têtes de poteau et pose des vérins

**ZOOM TECHNIQUE (4)**  
**Justification de la stabilité**  
**des puits blindés**

## ZOOM TECHNIQUE (4)

### Justification de la stabilité des puits blindés

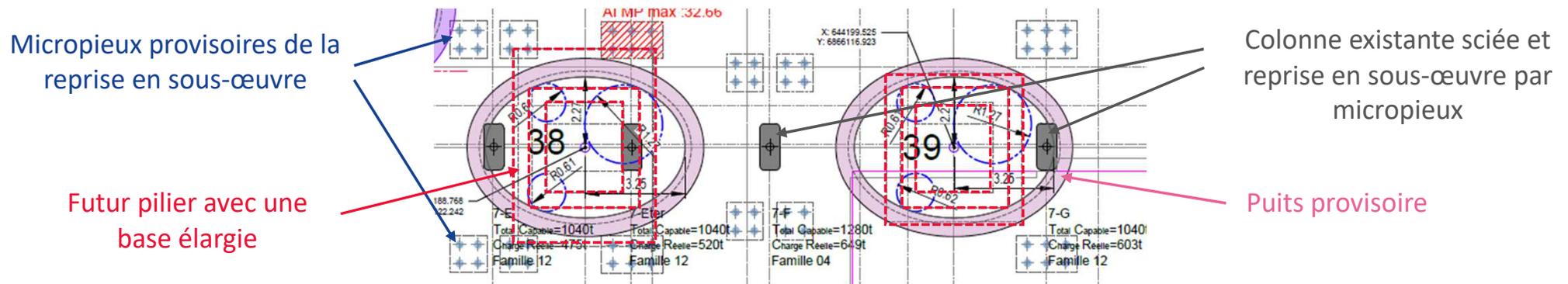
- Le but : atteindre le fond de fouille des terrassements de la gare pour construire les piliers définitifs.



# ZOOM TECHNIQUE (4)

## Justification de la stabilité des puits blindés : Les contraintes

- **Géométrie** : largeur de puits suffisante pour réaliser à l'intérieur les piliers définitifs mais sans rencontrer les micropieux
- **Aciers de renforcement** : section minimale pour faciliter la démolition des puits après la construction des piliers
- **Méthode d'excavation** : vérification de la stabilité à court terme des sols

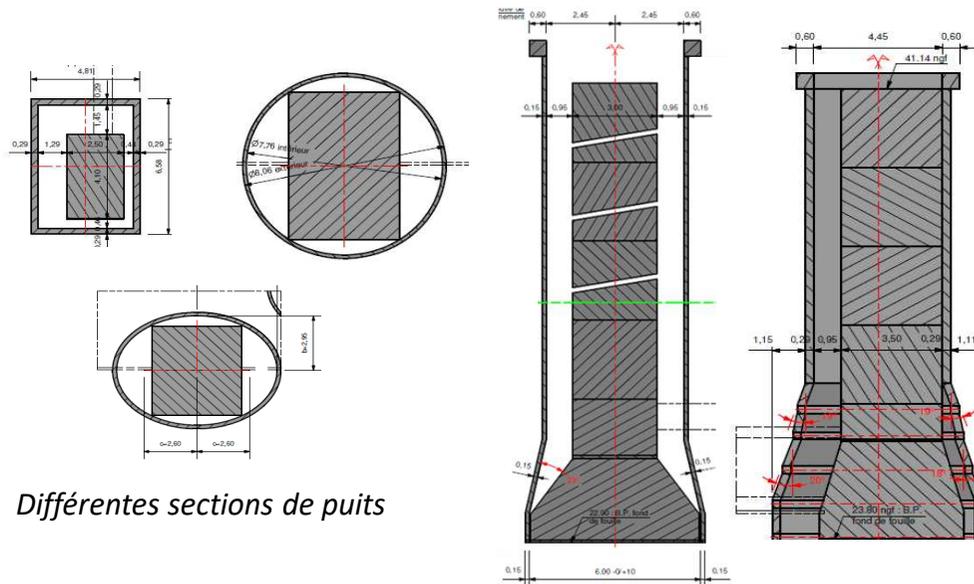


# ZOOM TECHNIQUE (4)

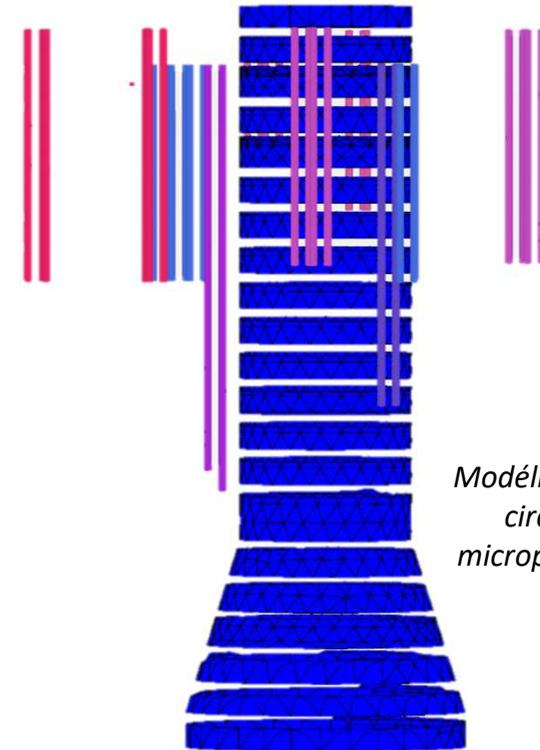
## Justification de la stabilité des puits blindés : Solution technique

- **La forme** : adaptée pour chaque puits aux contraintes locales : forme circulaire, elliptique, rectangulaire, élargissement de la base pour la fonction du pilier définitif

-> 61 géométries spécifiques



Différentes sections de puits

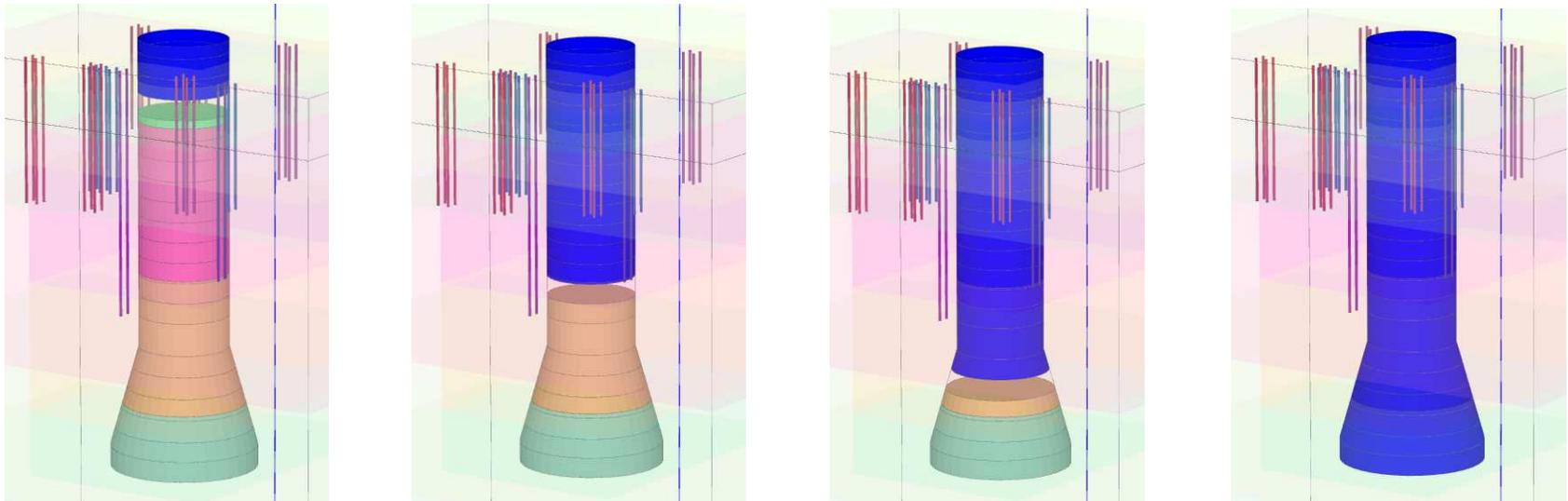


Modélisation d'un puits circulaire et des micropieux avoisinants

## ZOOM TECHNIQUE (4)

### Justification de la stabilité des puits blindés : Solution technique

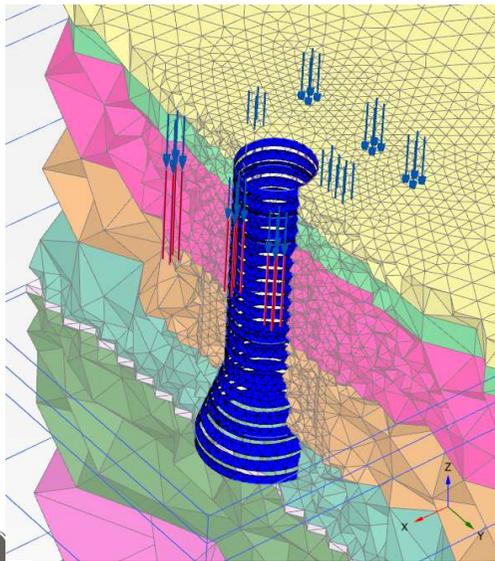
- Les formes circulaires et elliptiques bénéficient de l'effet de voûte pour garder le béton en compression : renforcement en acier non nécessaire
- Les puits sont excavés par passes de 1 m de hauteur. Blindage en béton projeté de 0,15 à 0,30 m d'épaisseur
- Aciers verticaux et poutre de couronnement pour supporter le poids du puits, vérification pour chaque phase provisoire d'excavation



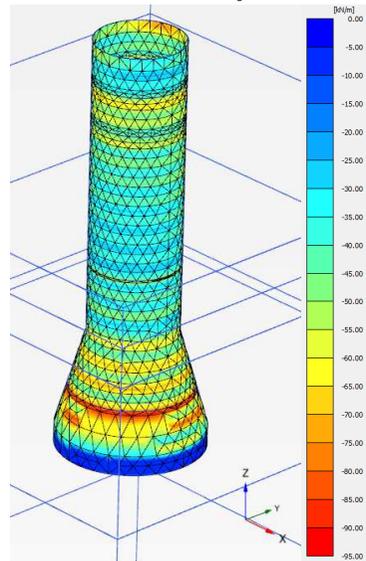
# ZOOM TECHNIQUE (4)

## Justification de la stabilité des puits blindés : Modèle de calcul

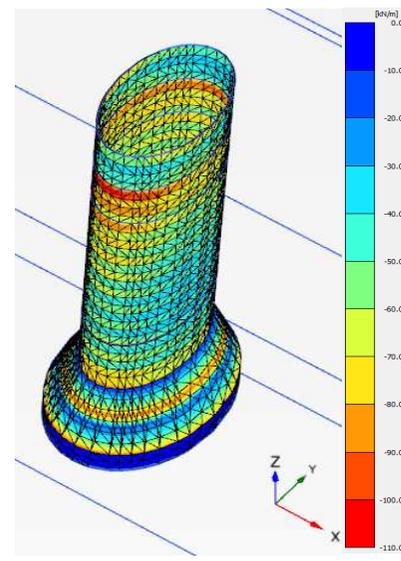
- Sélection de puits représentatifs avec des contraintes locales défavorables (micropieux proches, élargissement de la base important)
- Construction d'un modèle 3D local (logiciel PLAXIS 3D) : 12 modèles avec différentes géométries
- Vérification du béton non armé à partir des recommandations de l'AFTES



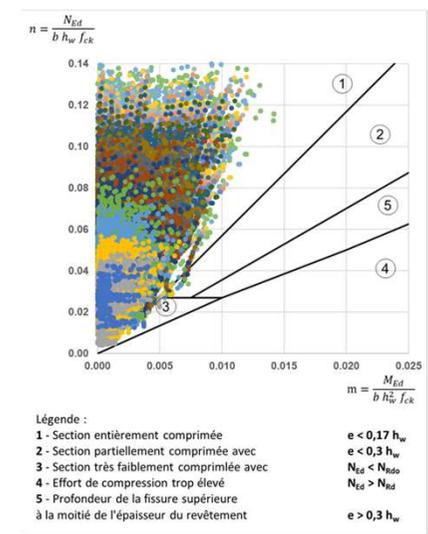
Section du modèle de calcul: sol, puits et micropieux



Contraintes horizontales d'un puits circulaire



Contraintes horizontales d'un puits elliptique

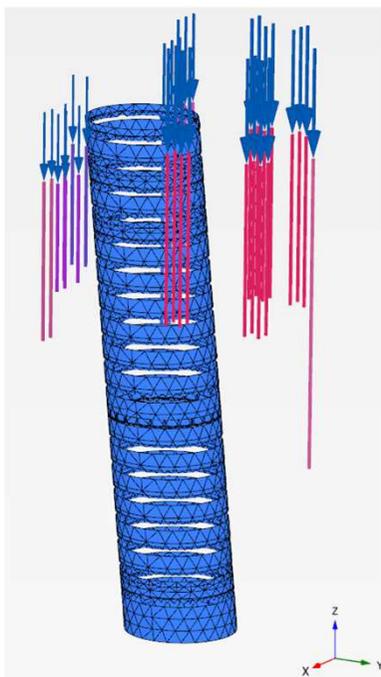


Vérification à partir des recommandations de l'AFTES

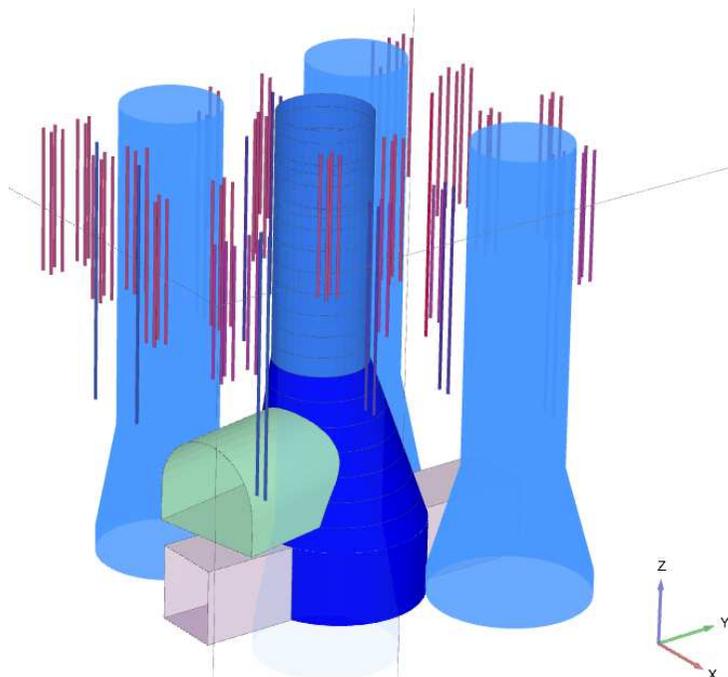
# ZOOM TECHNIQUE (4)

## Justification de la stabilité des puits blindés

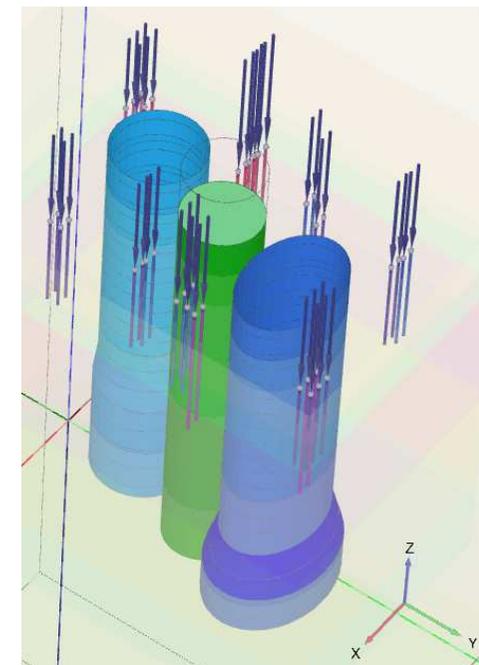
- Géométrie des cas particuliers



*Puits inclinés (5° sur 50 m de hauteur)  
Géométrie étudiée puis modifiée  
pendant les travaux*



*Intersection d'un puits asymétrique  
avec 2 galeries (prise en compte des  
puits adjacents)*



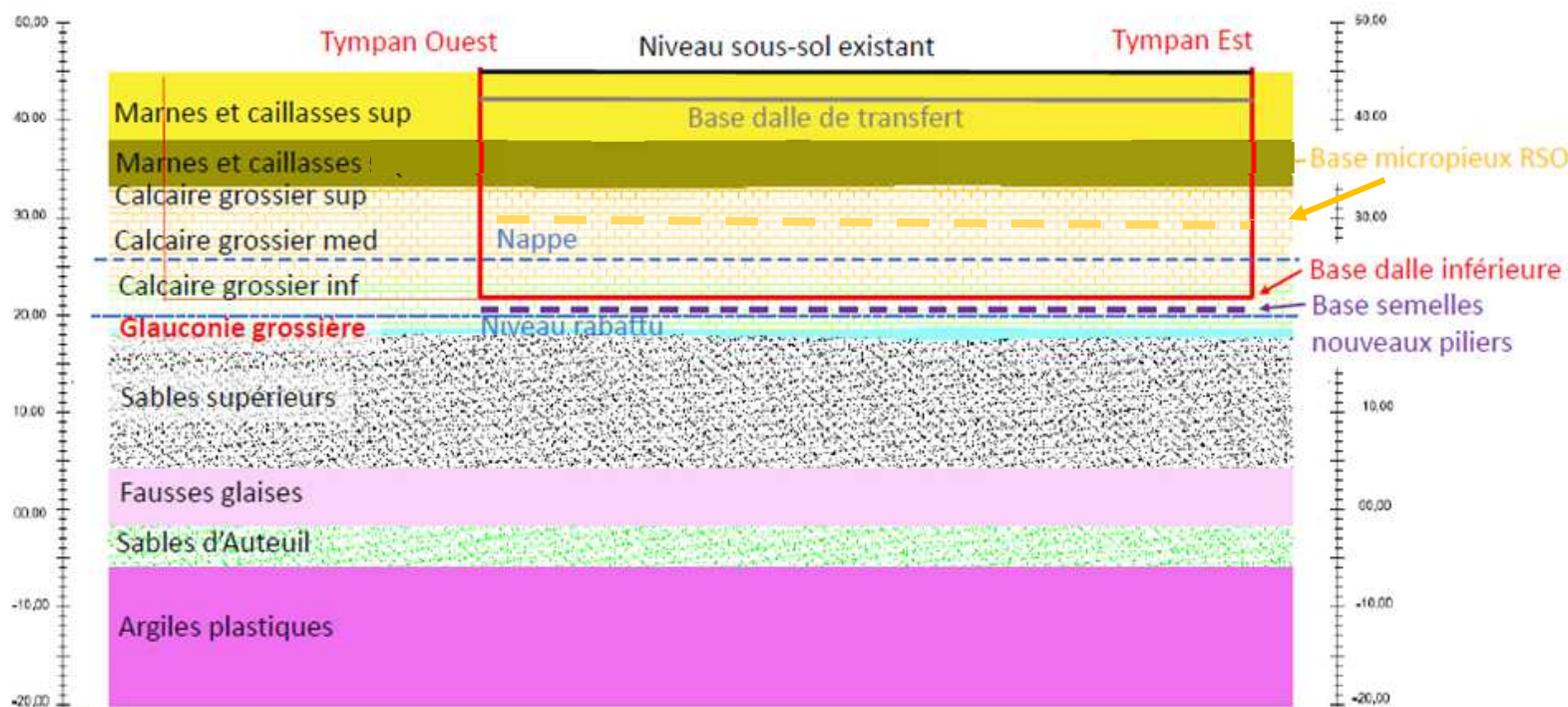
*Impact d'un puits d'investigation  
existant sur les puits provisoires  
adjacents*

**ZOOM TECHNIQUE (5)**  
**Tassement des fondations**  
**de la future gare**

# ZOOM TECHNIQUE (5)

## Tassement des fondations de la gare

### FONDACTIONS - MODÈLE GÉOTECHNIQUE



Les semelles de fondations sont ancrées dans le Calcaire grossier

Point particulier : Présence de Glaucolie grossière à quelques mètres sous la base des semelles

# ZOOM TECHNIQUE (5)

## Tassement des fondations de la gare



- Forme :
  - Circulaire
  - Rectangulaire
- Dimensions max :
  - Diamètre 7,1 m
  - Côté 6,5 m
- Ancrage dans le Calcaire grossier au-dessus de la Glauconie grossière
- Charge à reprendre : de 16 MN à 54 MN

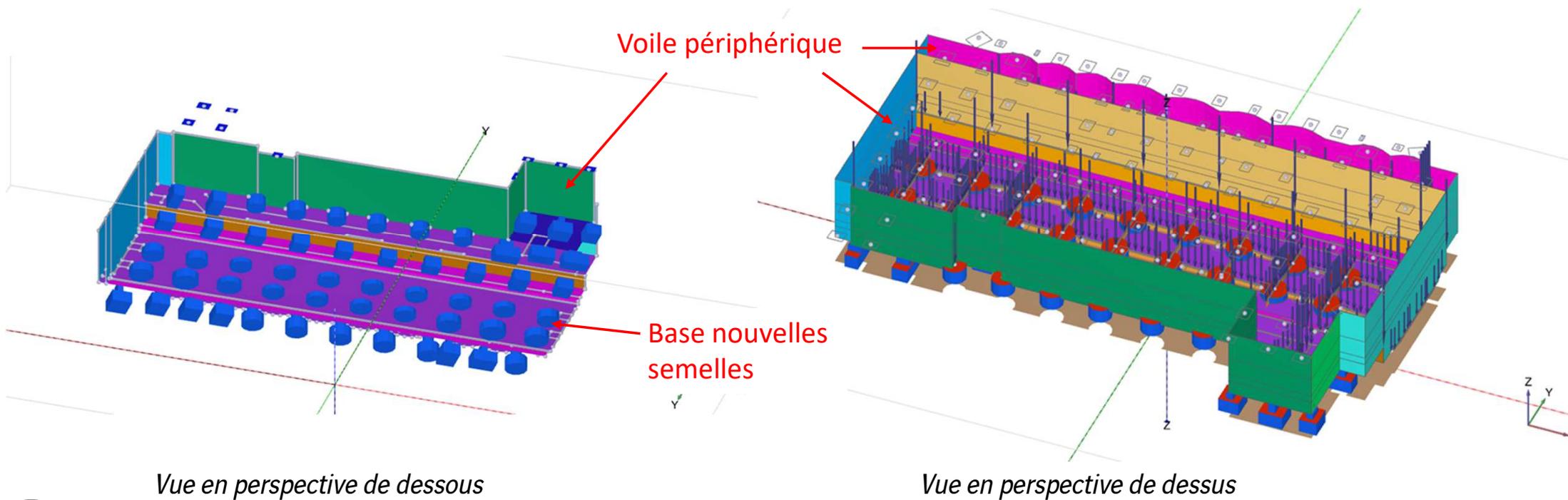
| Repérage PILIER |       | Semelle |               | Géométrie des Fondations revues EXE |                   |         |         |       |
|-----------------|-------|---------|---------------|-------------------------------------|-------------------|---------|---------|-------|
|                 |       | Groupe  | Géométrie     | B<br>(largeur)                      | Largeur<br>// axe | B (//x) | L (//y) | AI    |
|                 |       |         |               | m                                   |                   | m       | m       | NGF   |
| gB              | g1.3  | 1       | rectangulaire | 5.40                                | x                 | 5.40    | 6.00    | 21.80 |
| gB              | g2.2  | 2       | rectangulaire | 5.00                                | x                 | 5.00    | 6.00    | 23.00 |
| gB              | g3.1  | 2       | rectangulaire | 5.00                                | x                 | 5.00    | 6.00    | 23.00 |
| gB              | g4.1  | 2       | rectangulaire | 5.00                                | x                 | 5.00    | 6.00    | 23.00 |
| gB              | g5    | 3       | circulaire    | 6.00                                |                   | 6.00    |         | 23.00 |
| gB              | g6    | 3       | circulaire    | 6.00                                |                   | 6.00    |         | 23.00 |
| gB              | g8    | 3       | circulaire    | 6.00                                |                   | 6.00    |         | 23.00 |
| gB              | g9    | 3       | circulaire    | 6.00                                |                   | 6.00    |         | 23.00 |
| gB              | g10   | 3       | circulaire    | 6.00                                |                   | 6.00    |         | 22.48 |
| gB              | g10.2 | 4       | rectangulaire | 4.70                                | x                 | 4.70    | 6.50    | 22.48 |
| gB              | g11.1 | 5       | rectangulaire | 4.70                                | y                 | 6.50    | 4.70    | 22.48 |

# ZOOM TECHNIQUE (5)

## Tassement des fondations de la gare



### FONDATIONS - APERÇUS DU MODELE 3D



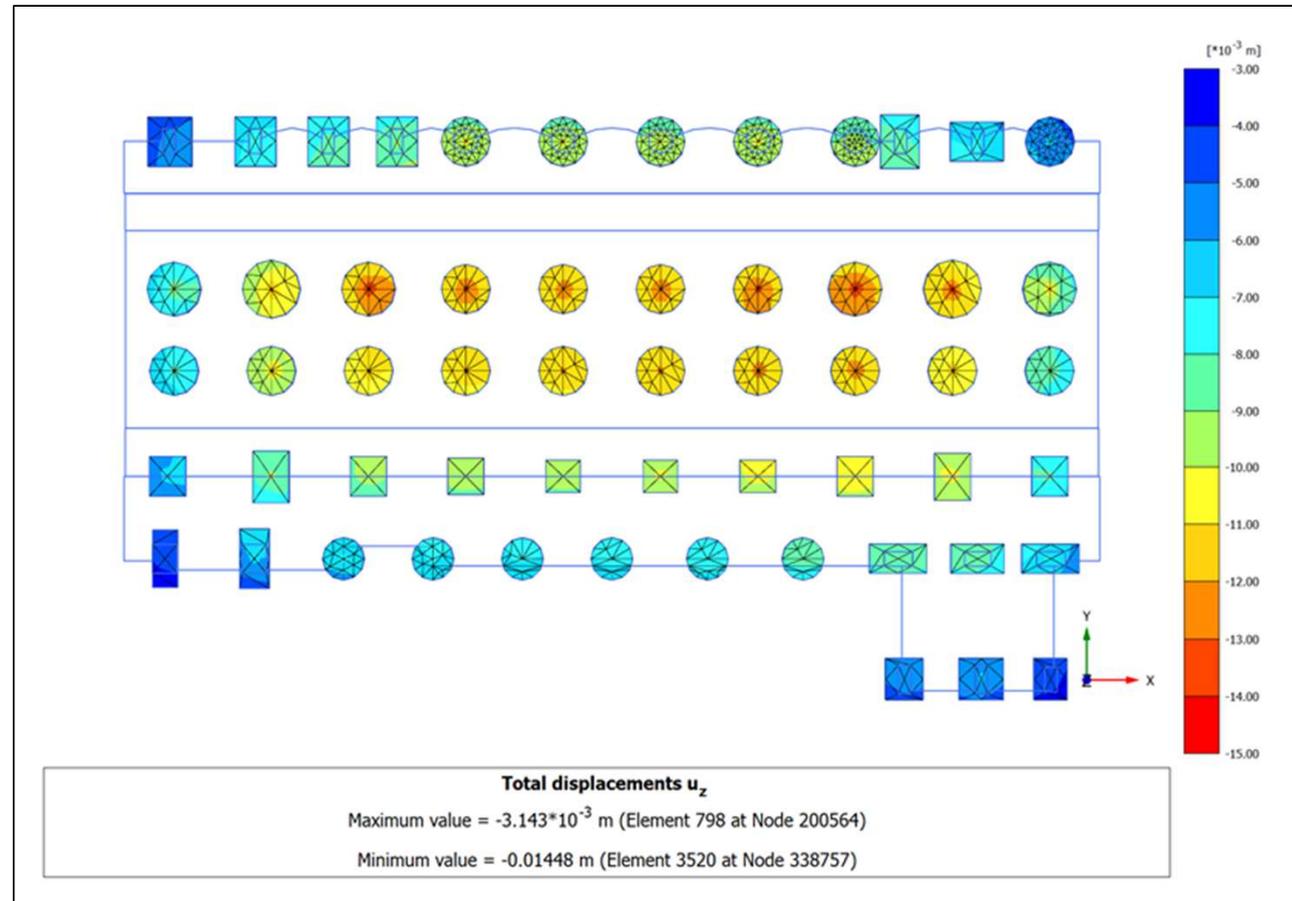
# ZOOM TECHNIQUE (5)

## Tassement des fondations de la gare



### TASSEMENTS DES SEMELLES

Résultats :  
Tassement max des  
semelles = 14 mm



**4 - REALISATION DE LA DALLE  
TRANSFERT DE LA GARE  
Transfert final des  
charges sur piliers**

# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT



## Eléments structuraux de la dalle transfert

- Dalle de couverture de la gare réalisée en BA
- Dalle épaisse de 2,00 m
- 8 poutres primaires prenant appui sur les têtes de poteaux (nervures de 2,70 m x 1,00 m)
- 2 poutres longitudinales de part et d'autre de la faille avec poutres butons

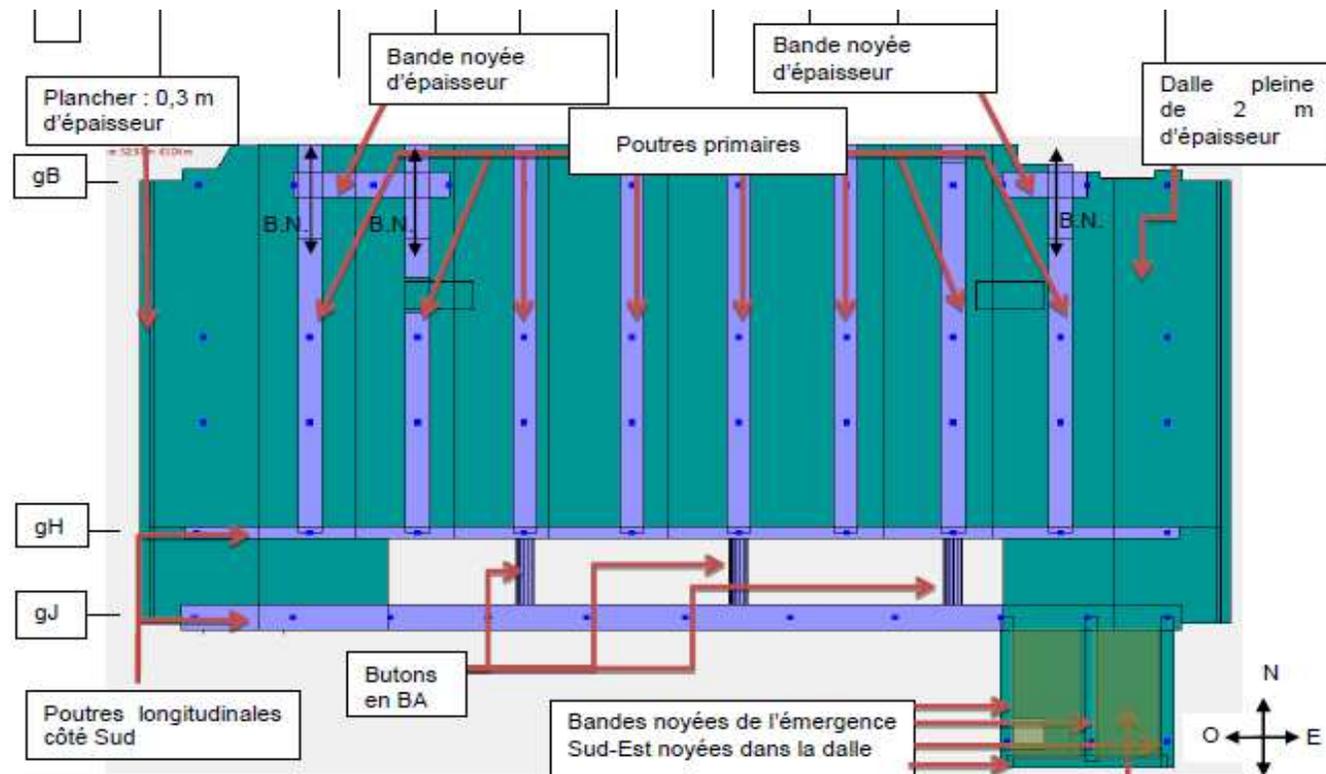


Figure 2: Vue en plan des éléments structuraux de la dalle de transfert

Plan de la dalle transfert

Dalle pleine de 2.20 mètres d'épaisseur pour l'émergence Sud-Est

# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT



## Les enjeux

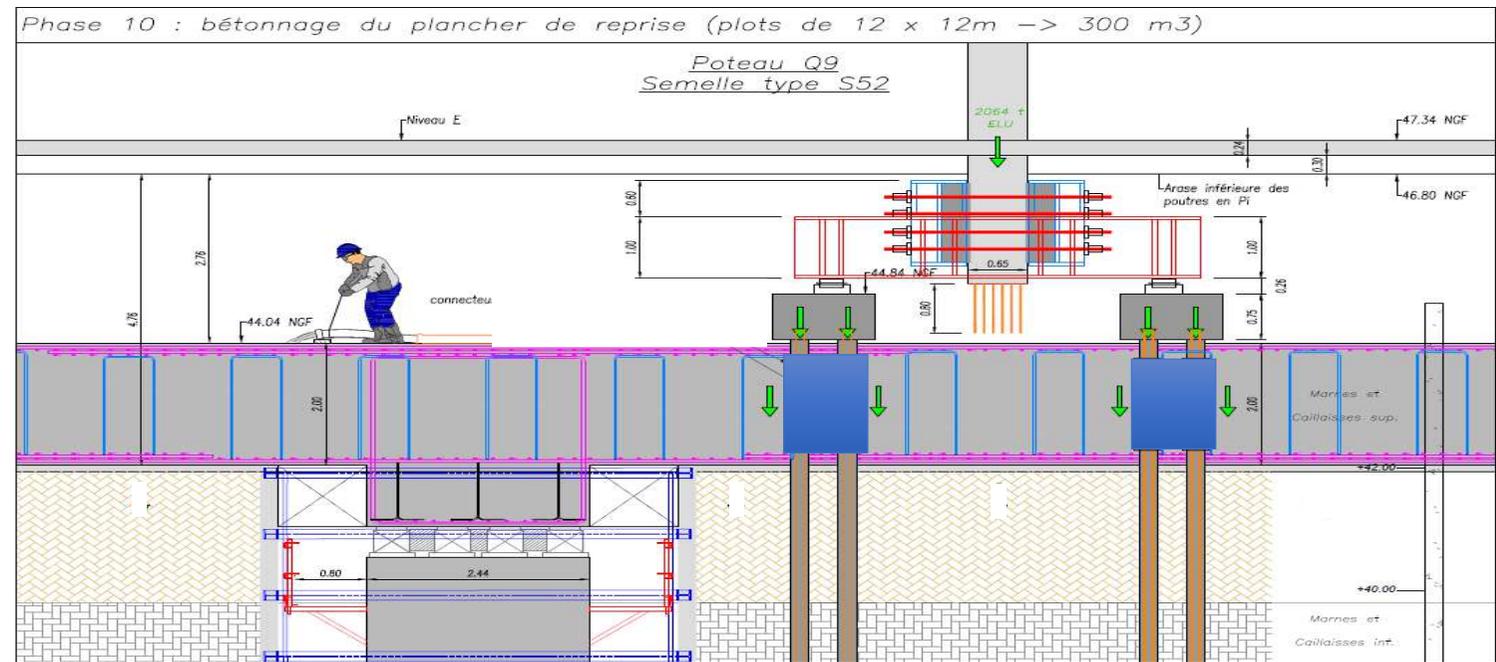
- Dalle réalisée par plots de 12 m x 12 m (volume total de 15 000 m<sup>3</sup> et 2 800 t d'aciers)
- Le but est de transférer les charges des 117 poteaux du parking existants et des blocs ascenseurs sur les 60 piliers de la gare avec comme impératif la maîtrise des déformations de la structure existante
- Deux modes de comportement :
  - Phase sur vérins : dalle simplement appuyée sur les piliers
  - Phase de service : dalle encastrée dans les piliers

# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT



## Mode opératoire

- Réalisation de la dalle transfert par plots de 12 x 12 m

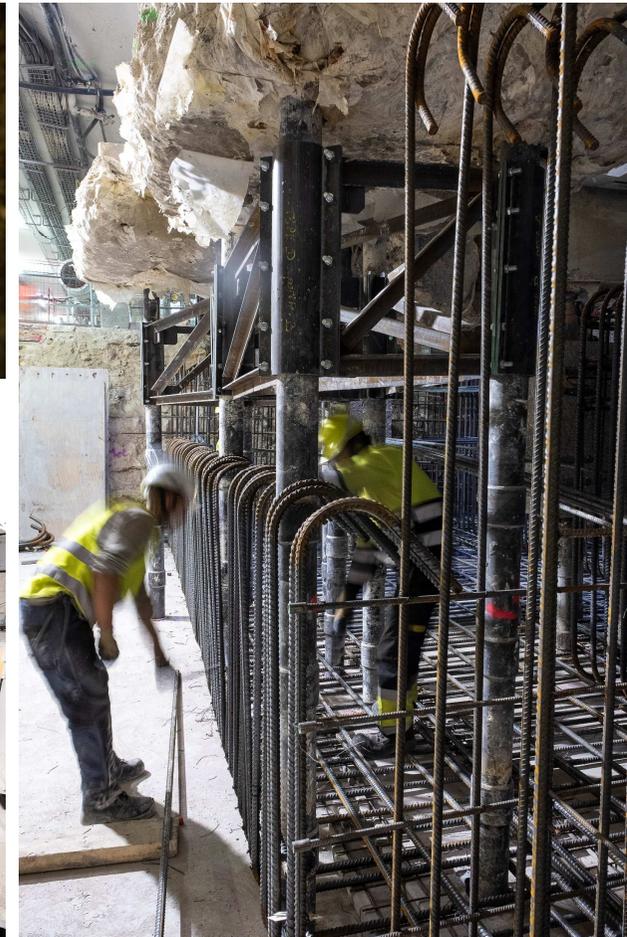
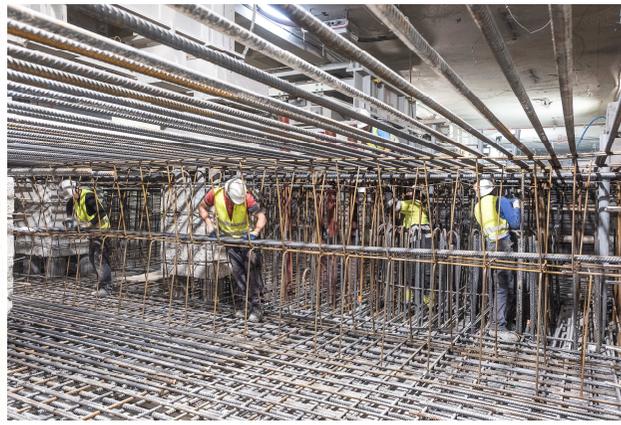
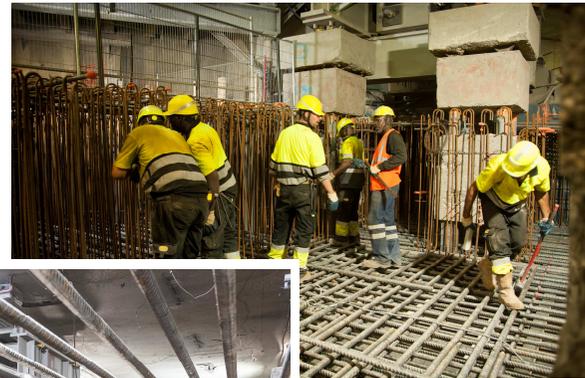


# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT

Quelques photos de chantier



*Intérieur du ferrailage de la dalle*



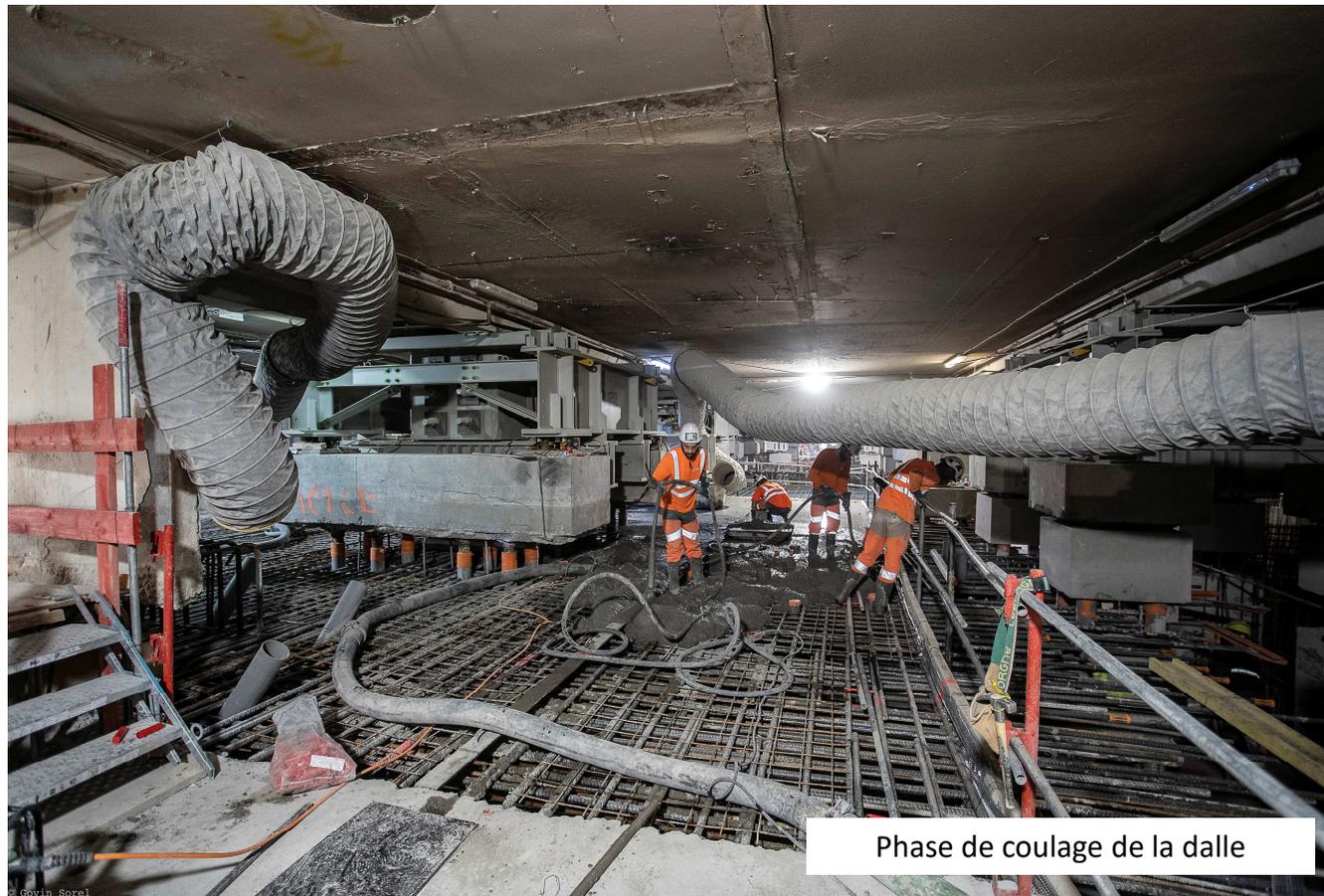
# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT

Quelques photos de chantier



# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT

Quelques photos de chantier



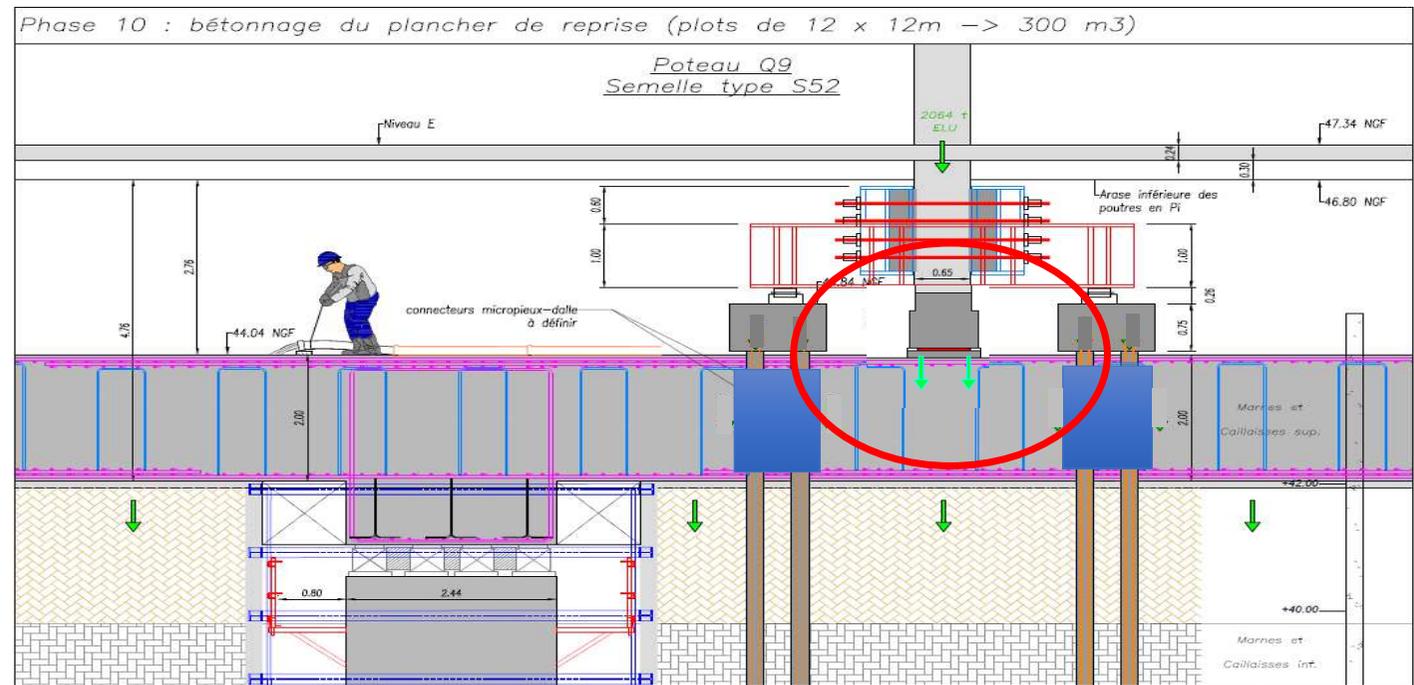
Phase de coulage de la dalle

# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT



## Mode opératoire

- Reconstitution des pieds de poteaux posés sur appareil d'appui en élastomère fretté
- Désactivation du vérinage avec transfert des charges au sol
- Suivi du tassement des poteaux avec éventuel reprise de vérinage pour pose de cales entre poteau et appareil d'appui

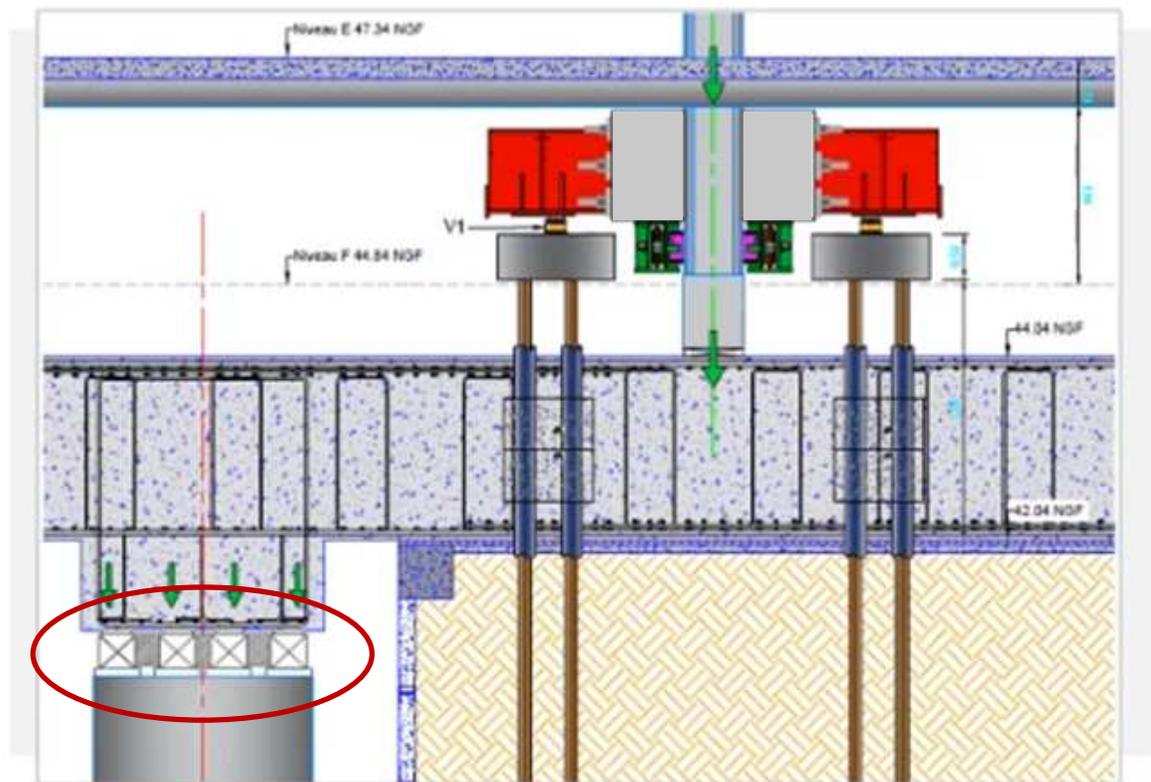


# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT



## Mode opératoire

- Vérinage deuxième phase:  
Transfert final des charges sur les piliers.

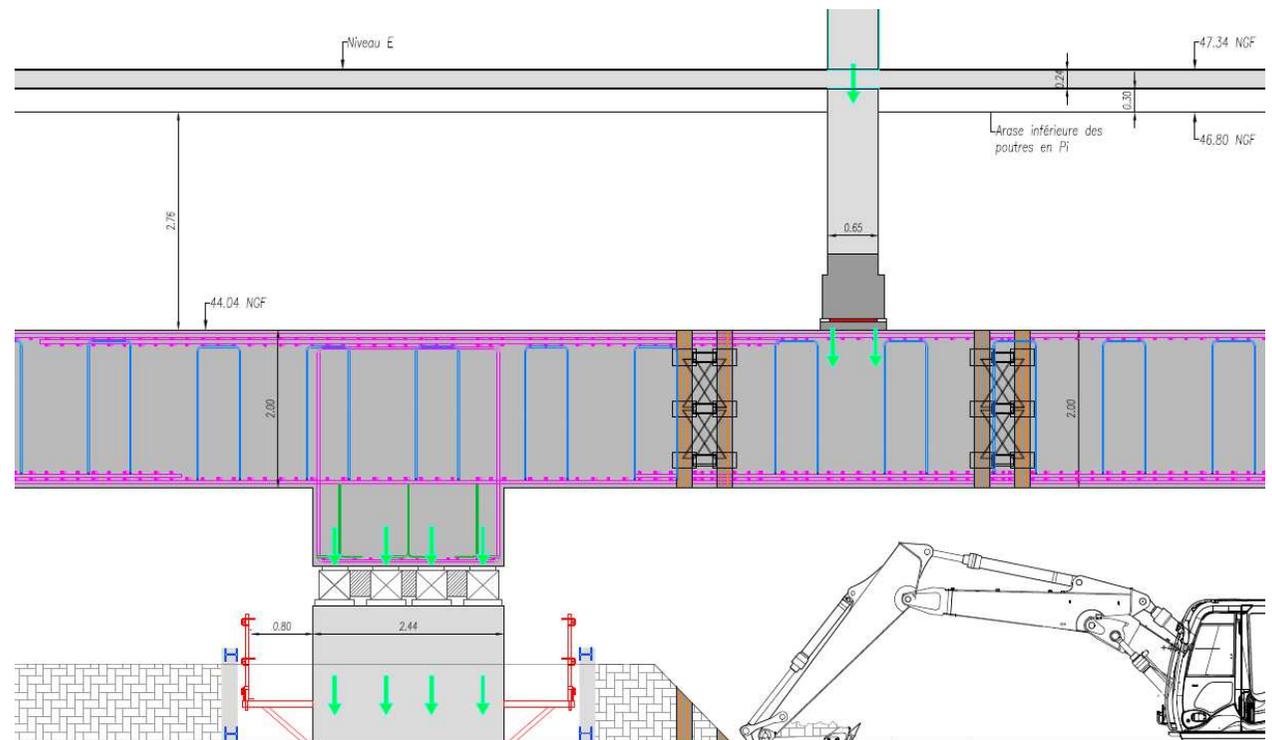


# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT



## Mode opératoire

- Terrassement en sous-œuvre de la gare
- Suivi des déformations de la structure avec rechargement périodique



# MODE OPERATOIRE DE LA DALLE DE TRANSFERT

Quelques photos de chantier



**ZOOM TECHNIQUE (6)**  
**Procédure de vérinage**  
**Transfert final sur piliers**

## ZOOM TECHNIQUE (6)

### Procédure de vérinage – Transfert final sur piliers

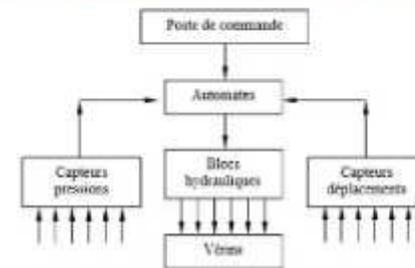
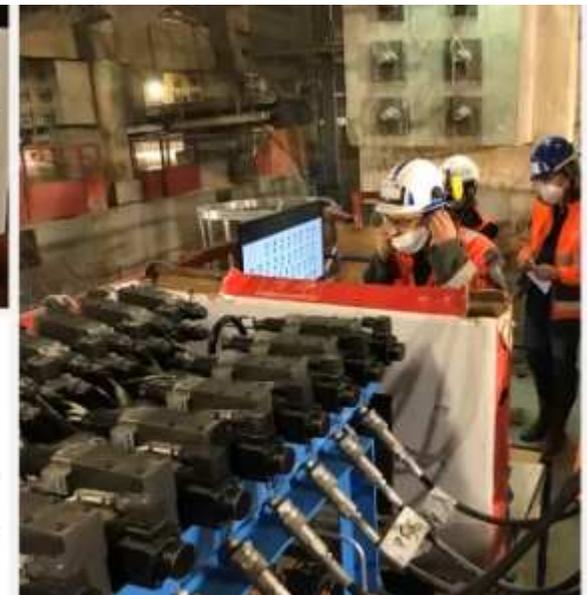
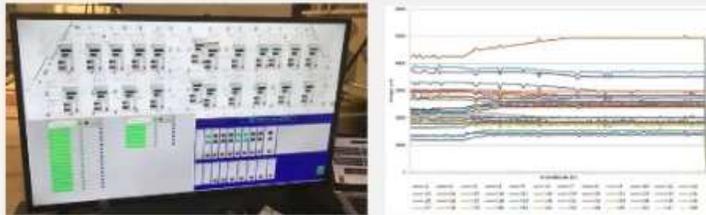
- Contrairement au premier **transfert** celui-ci est **piloté en charge et contrôlé en nivellement** car toutes les charges sont connues (100 000 t)
- Utilisation de 360 vérins de 400 à 600 t répartis de 6 à 8 unités par couronne. Vérins de rive équipés d'un dispositif de glissement
- Le vérinage s'effectue par paliers de 20% par files de 12 poteaux, en décroissance sur les files adjacentes jusqu'à 80% de la charge théorique. L'opération de vérinage jusqu'à 95% de la charge théorique s'effectue en une opération unique. Les 5% restants étant transférés lors de la première phase de terrassement
- Enjeux : maîtrise des risque hydrauliques



# ZOOM TECHNIQUE (6)

## Procédure de vérinage – Transfert final sur piliers

- Système de levage LAO (levage assisté par ordinateur)
  - 3 centrales à 16 voies soit 48 voies pour 56 poteaux, fonctionnant indépendamment ou couplées, montées sur barrettes de distribution
  - Mode de pilotage possible en charge ou en déplacement



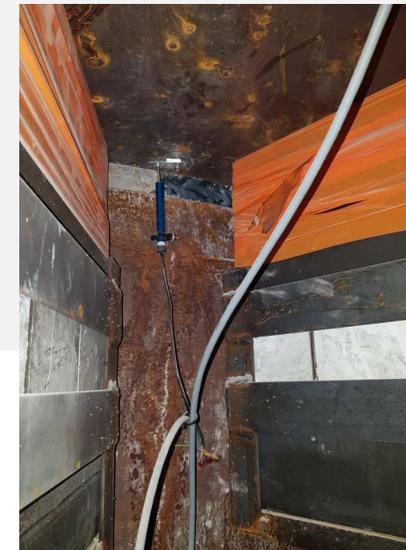
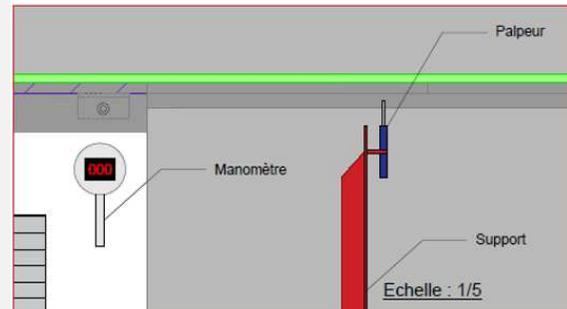
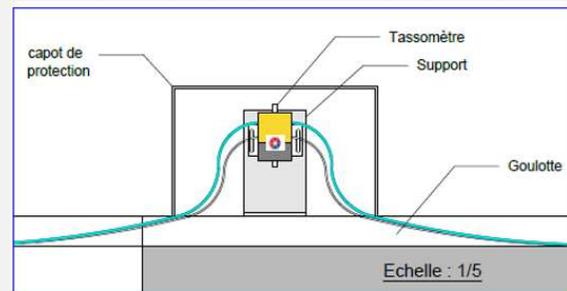
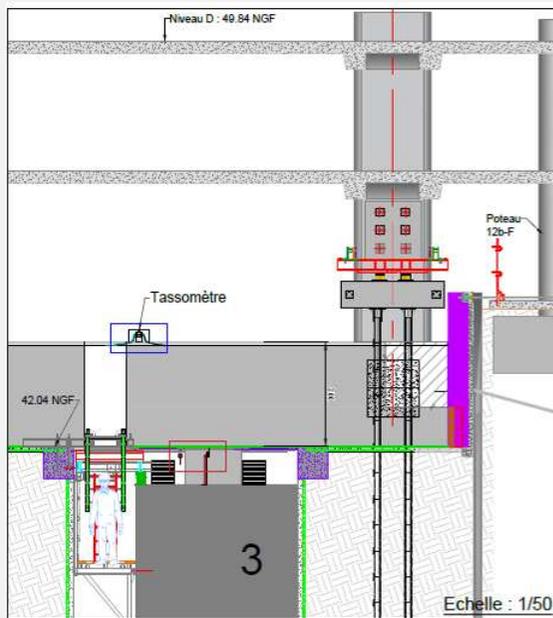
## ZOOM TECHNIQUE (6)

### Procédure de vérinage – Transfert final sur piliers

- Système de levage LAO (levage assisté par ordinateur)
- Procédure automatique de mise en charge en fonction des DDC par poteau
- Le contrôle s'effectue par des capteurs de pression hydrauliques et des capteurs magnétostrictifs pour mesurer les déformations sans contact.
- Contrôle précis et instantané, précision au 10<sup>ème</sup> de mm et au bar près
- Vérinage sans à-coups pour préserver la structure
- Permet le réglage de l'assiette de la dalle.

# ZOOM TECHNIQUE (6)

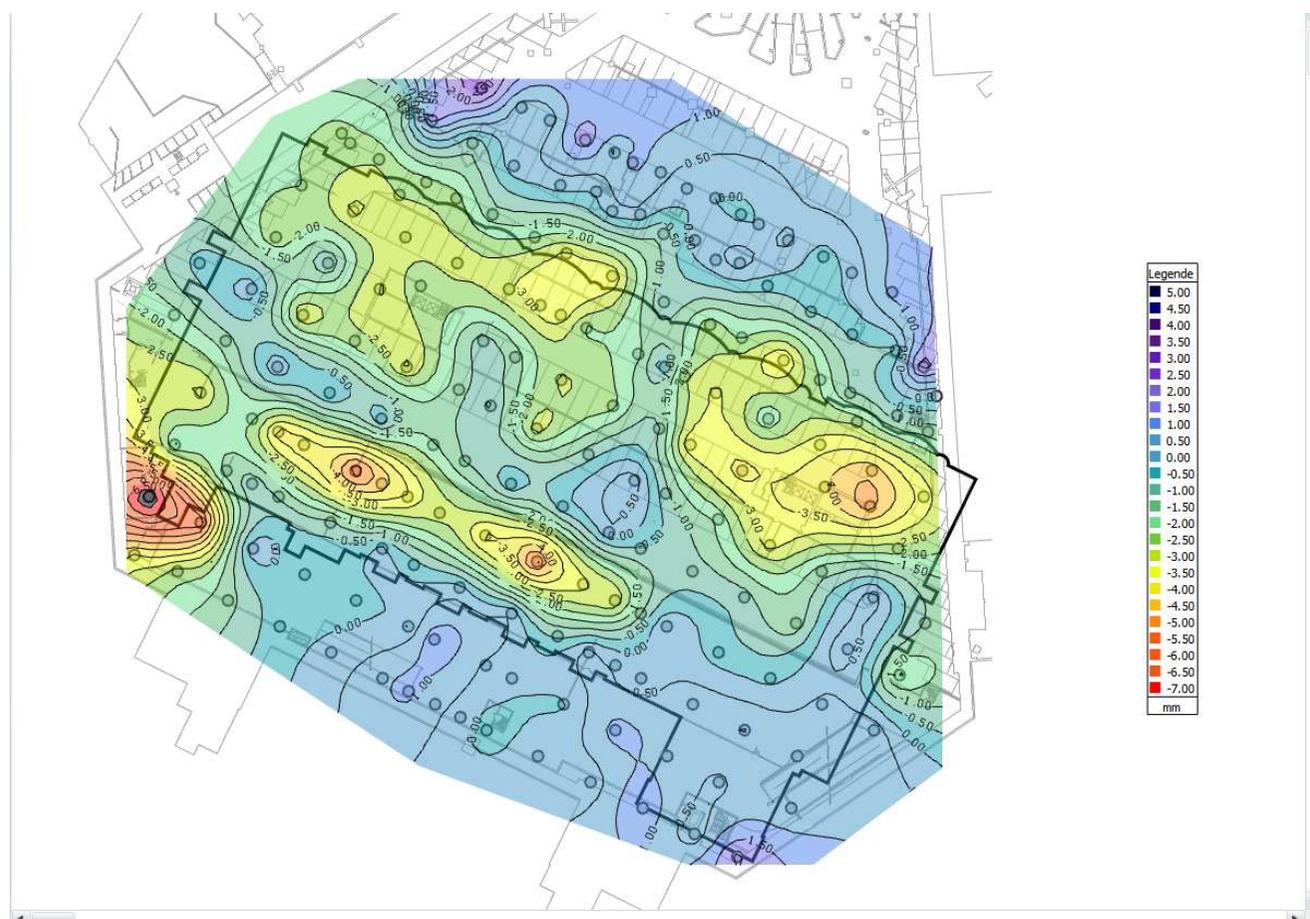
## Procédure de vérinage – Transfert final sur piliers



- 60 palpeurs** : Fréquence d'acquisition 2 min
- 80 tassomètres** : Fréquence d'acquisition 2 min
- 60 manomètres** : Fréquence d'acquisition 2 min

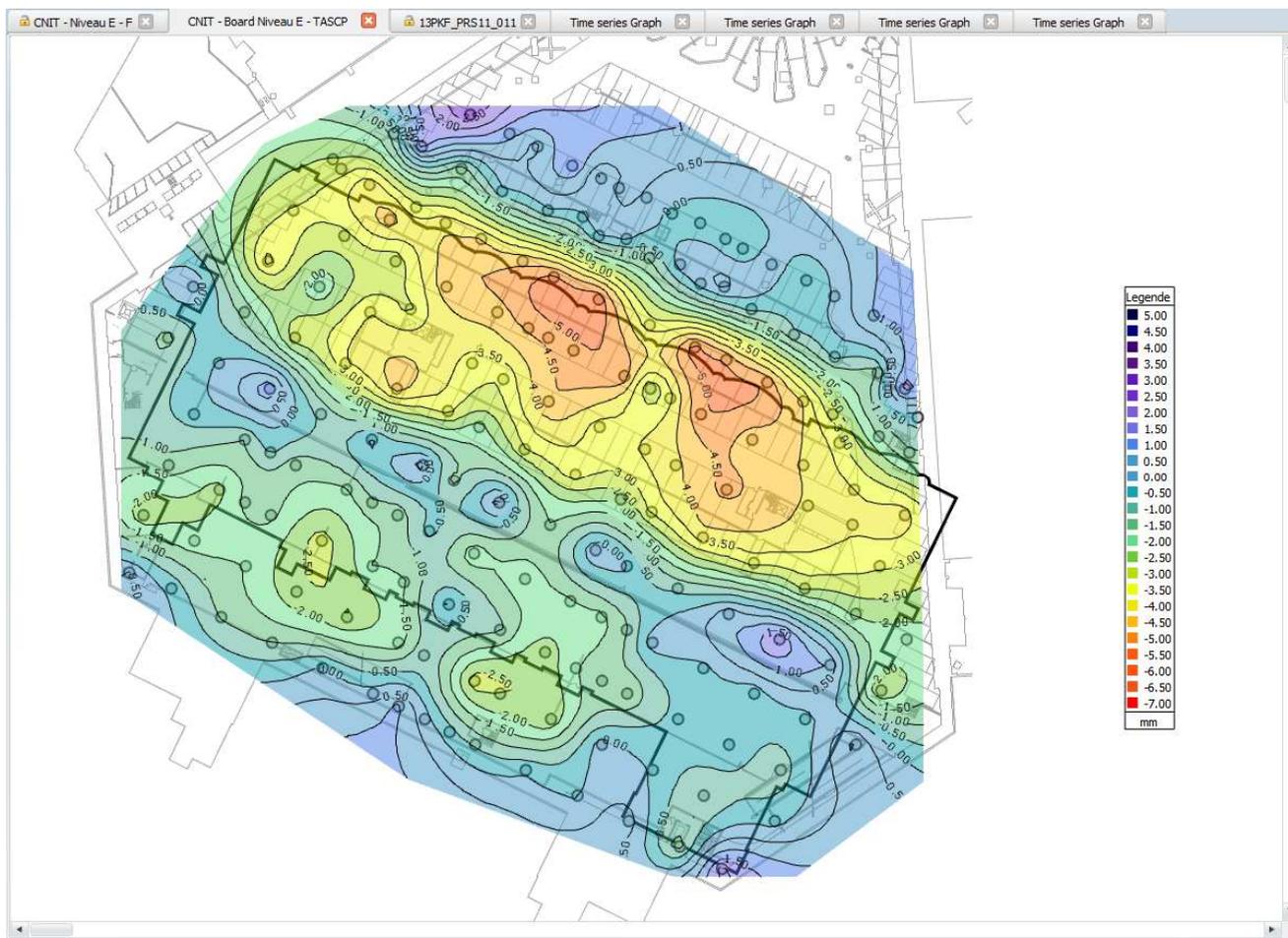
# ZOOM TECHNIQUE (6)

Principaux résultats (V3 nord) : avant la relaxation



# ZOOM TECHNIQUE (6)

Principaux résultats (V3 nord) : pendant la relaxation



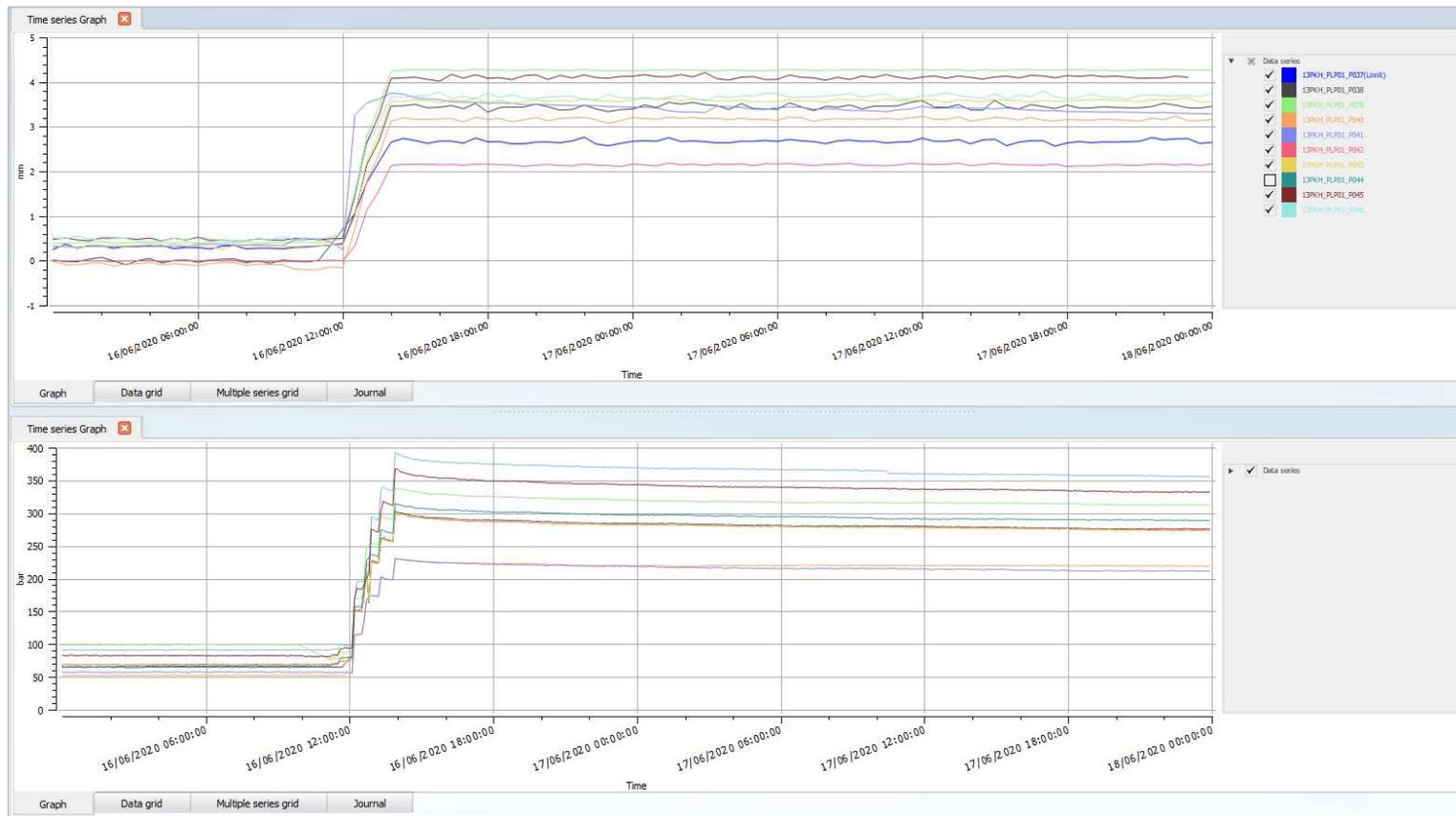
# ZOOM TECHNIQUE (6)

Principaux résultats (V3 nord) : après la relaxation



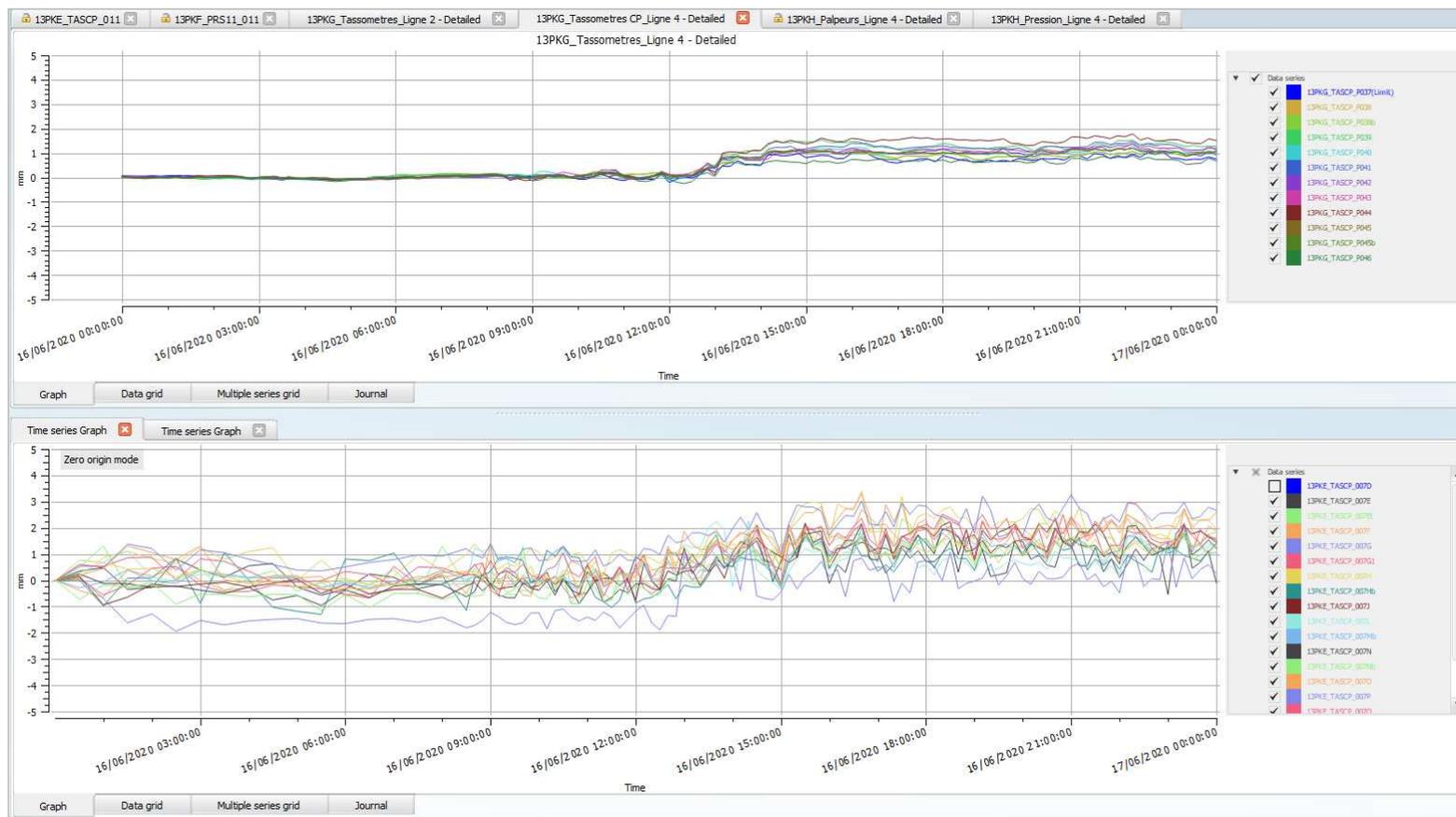
# ZOOM TECHNIQUE (6)

## Principaux résultats



# ZOOM TECHNIQUE (6)

## Principaux résultats



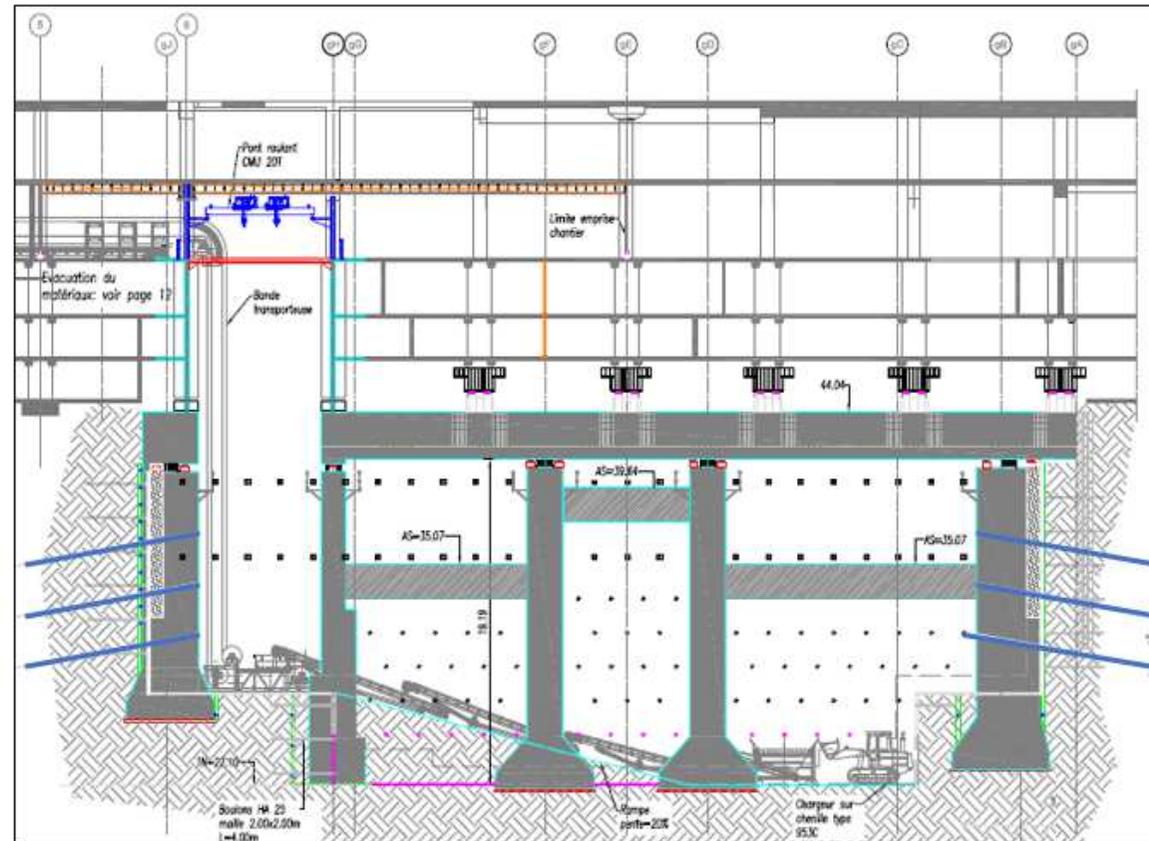
**5 – TERRASSEMENT et REALISATION  
DES LONGPANS DE LA GARE  
Blindage entre piliers de rive**

# TERRASSEMENT

## Mode opératoire – Terrassement sous la dalle



- Réalisation des tirants dans les piliers de rive
- Réalisation des clous sur les tympans et longs pans si nécessaire
- Réalisation du radier (ép. = 1,00 m)
- Matage des têtes de poteaux
- Désactivation des vérins
- Encastrement des piliers dans la dalle
- Désactivation des tirants
- Réalisation de la structure interne de la gare



# TERRASSEMENT

Quelques photos de chantier



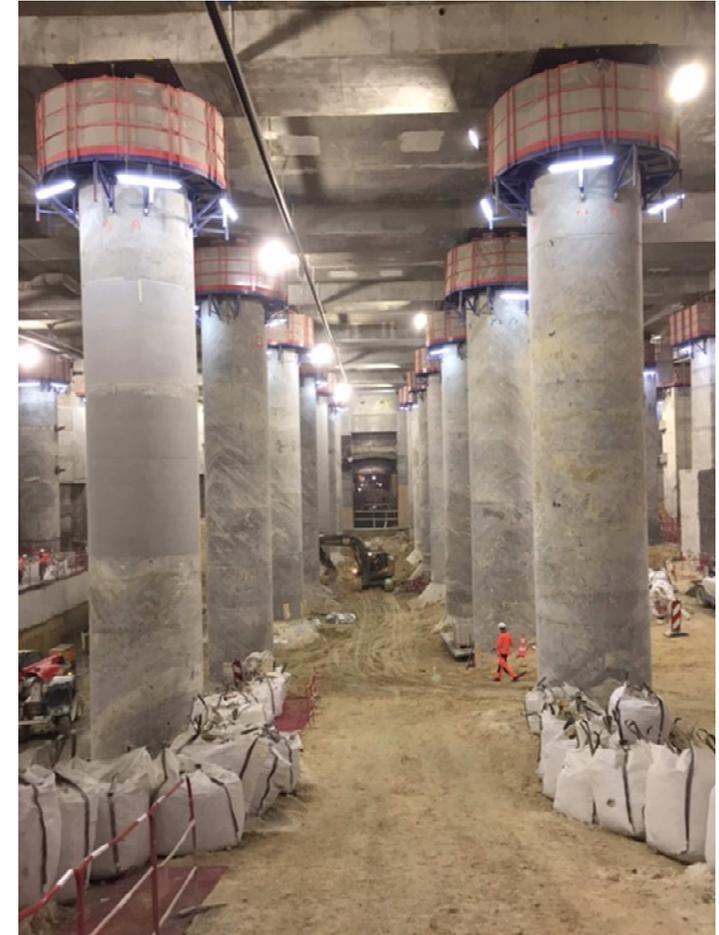
# TERRASSEMENT

Quelques photos de chantier



# TERRASSEMENT

Quelques photos de chantier



# TERRASSEMENT

Quelques photos de chantier



## RÉALISATION D'UNE GARE CATHÉDRALE SOUS UN SITE EN EXPLOITATION

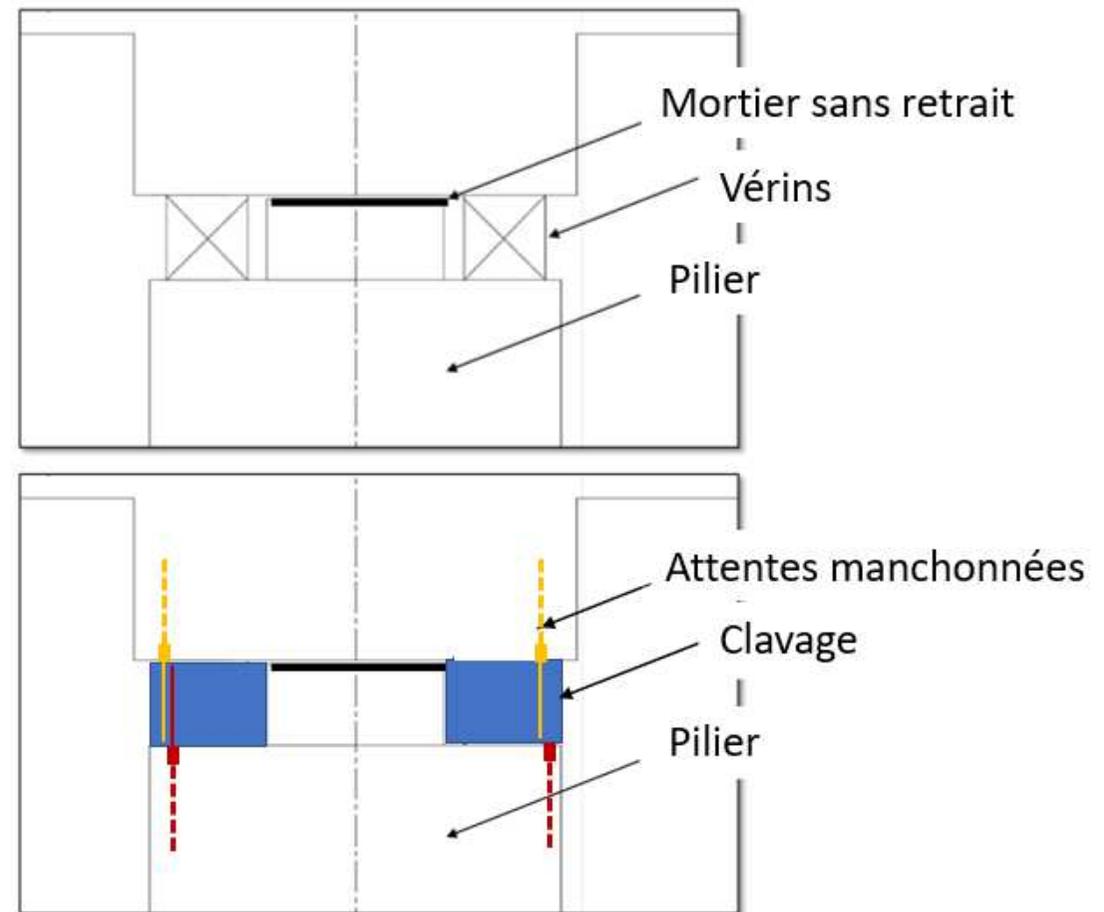


# TERRASSEMENT

## Mode opératoire : encastrement des têtes de poteaux



- Mise en place du mortier de calage entre noyau et dalle
- Désactivation et démontage des vérins
- Liaisonnement par armatures
- Réalisation d'un clavage complet sur le pourtour du pilier

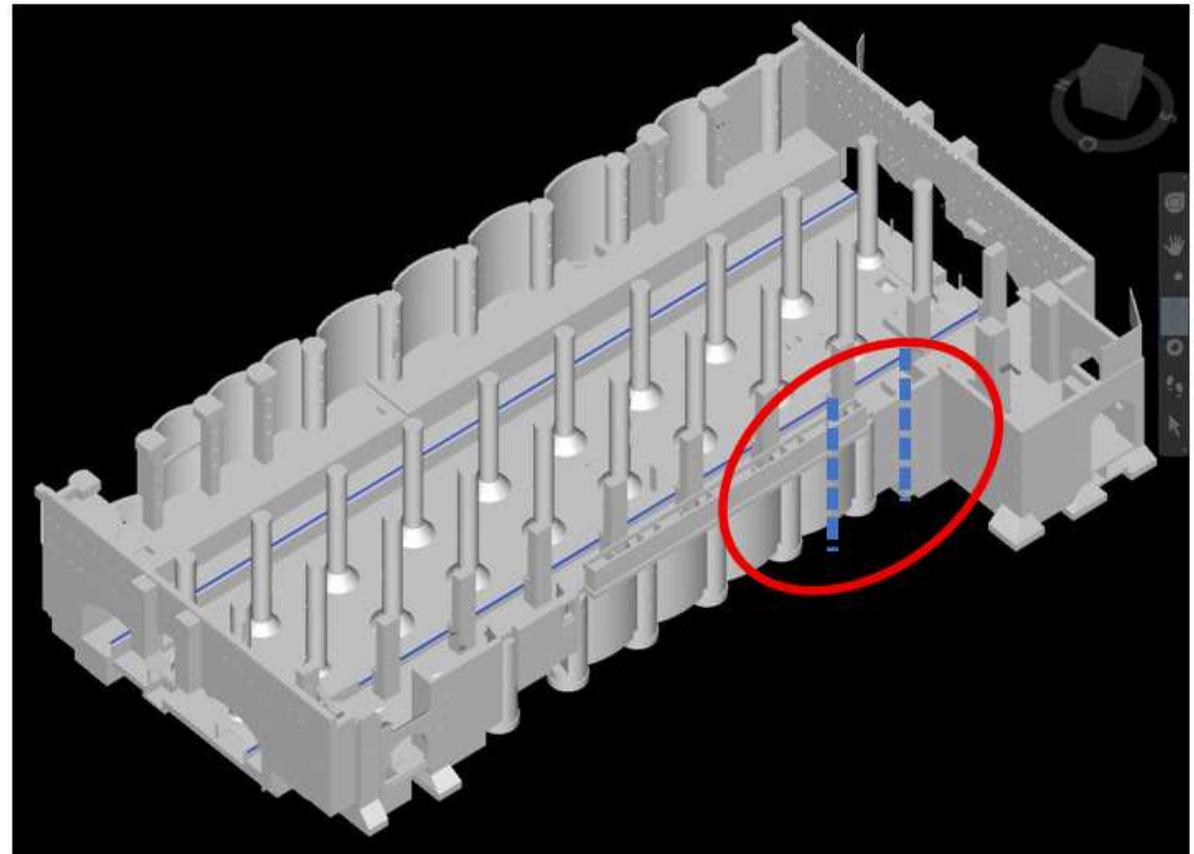


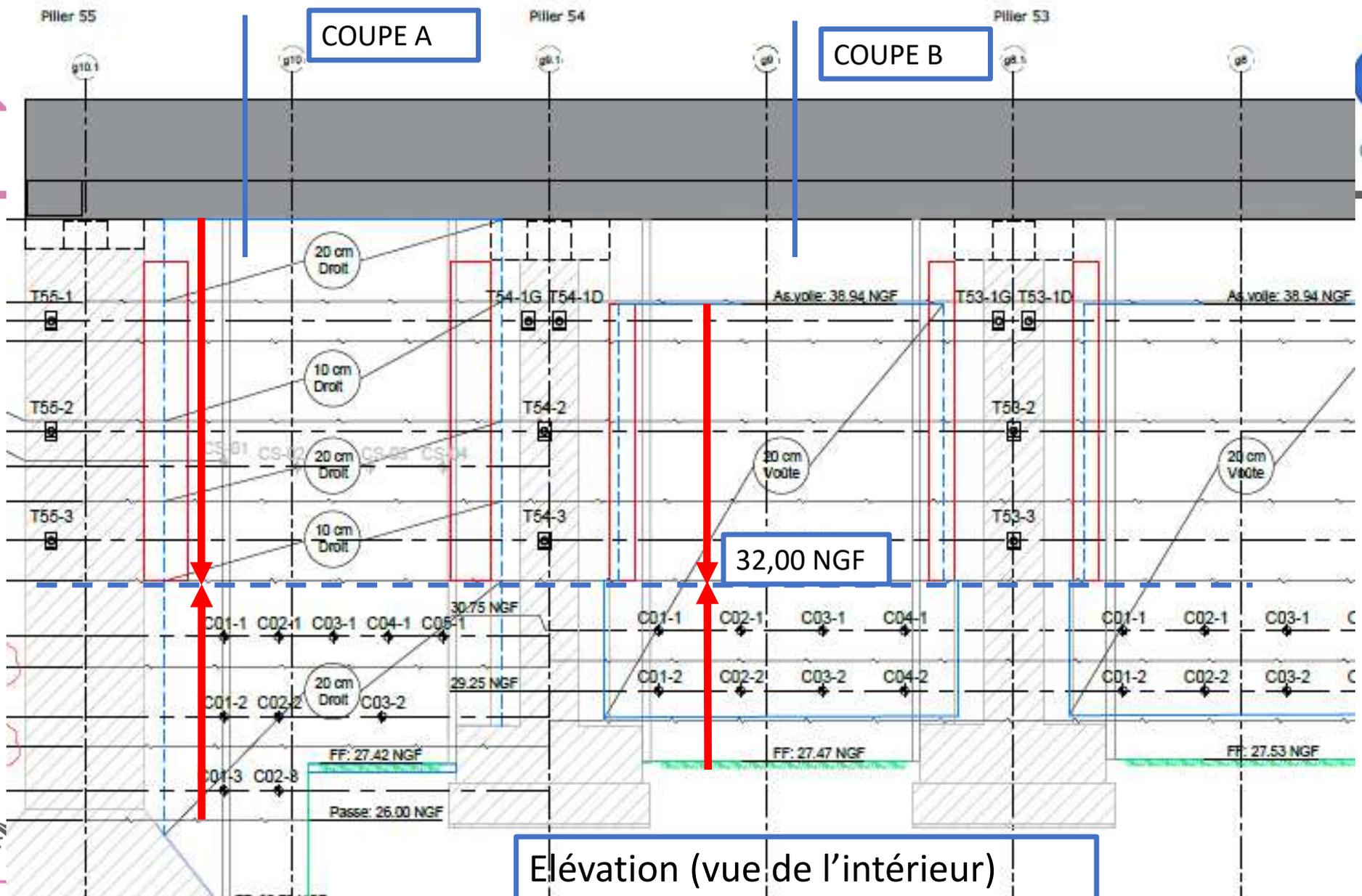
# REALISATION DES LONGPANS DE LA GARE

## Les enjeux des soutènement des longpans



- Permettre le terrassement entre les piliers de rive sous la dalle transfert distants de 12 m entre axes
- Solutions retenues:
  - voiles voûtés autoportants
  - voiles plans stabilisés par des clous





# REALISATION DES LONGPANS DE LA GARE

## Le phasage



A l'avancement du terrassement :

- **Au-dessus du niveau** des EE = 32,00 NGF
  1. Réalisation d'un blindage provisoire par passes en BP suivi de la réalisation du voile GC à la descente
  2. Accrochage du blindage sur les reins des piliers
- **En-dessous du niveau** des EE = 32,00 NGF
  1. Réalisation d'un blindage provisoire jusqu'au fond de fouille stabilisé par des clous puis réalisation du voile GC définitif en remontant
  2. Accrochage du blindage sur les piliers impossible pour des raisons d'étanchéité donc stabilisation par des clous réalisés à l'avancement

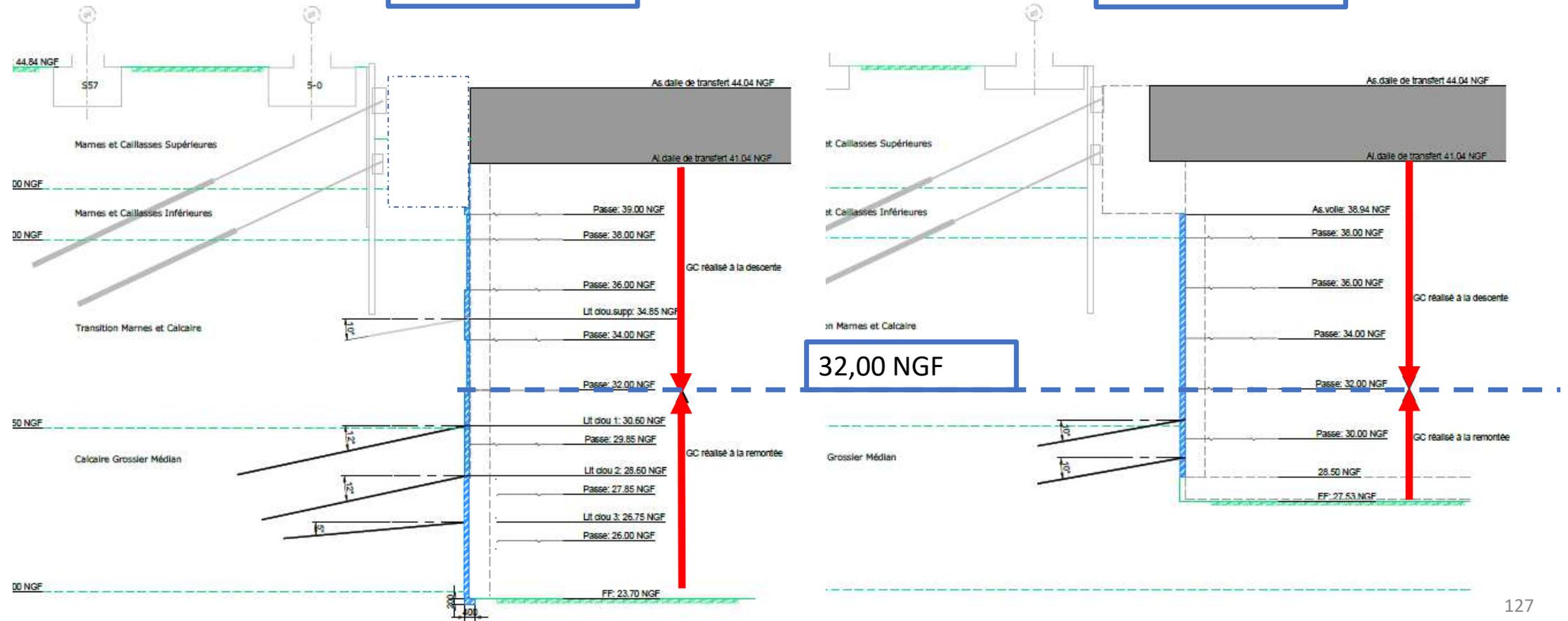
# REALISATION DES LONGPANS DE LA GARE

## Le phasage



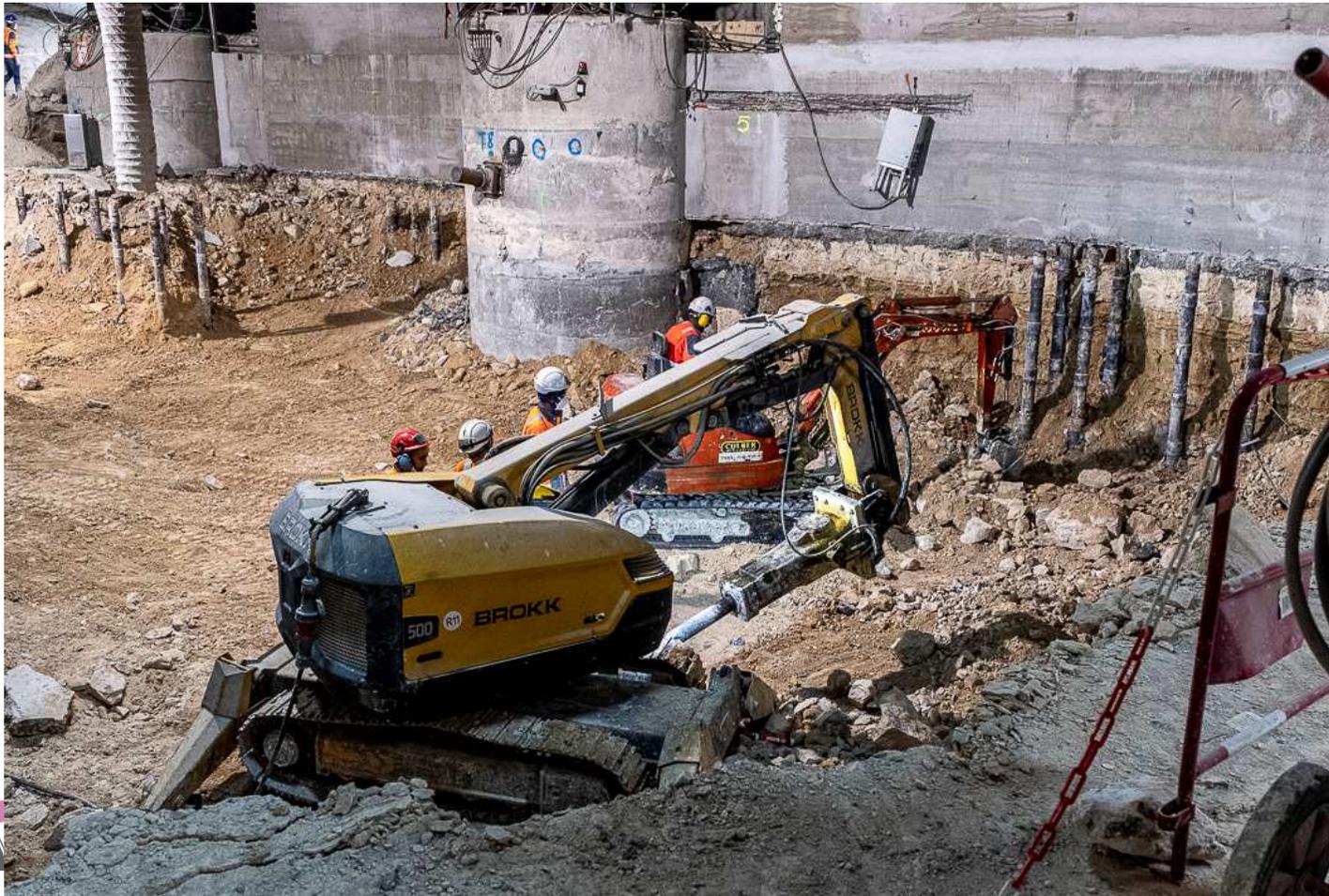
COUPE A

COUPE B



# REALISATION DES LONGPANS DE LA GARE

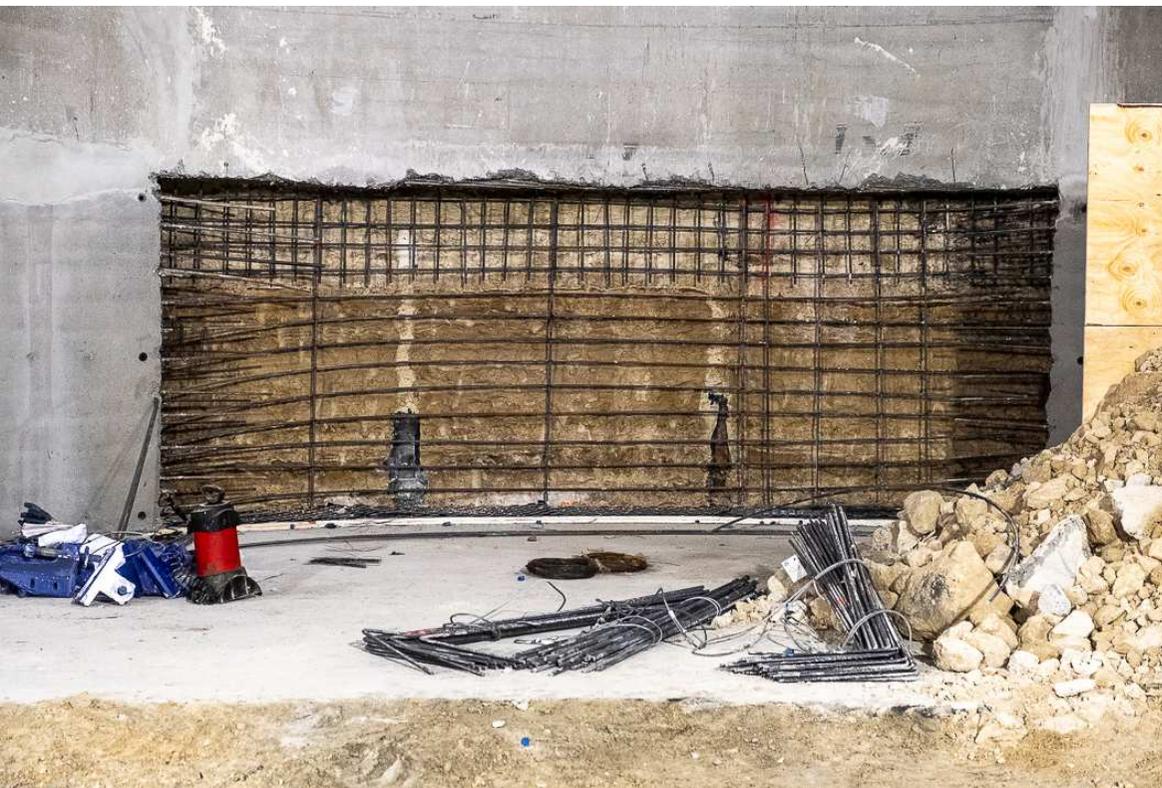
Photos de chantier



Terrassement  
devant les longpans

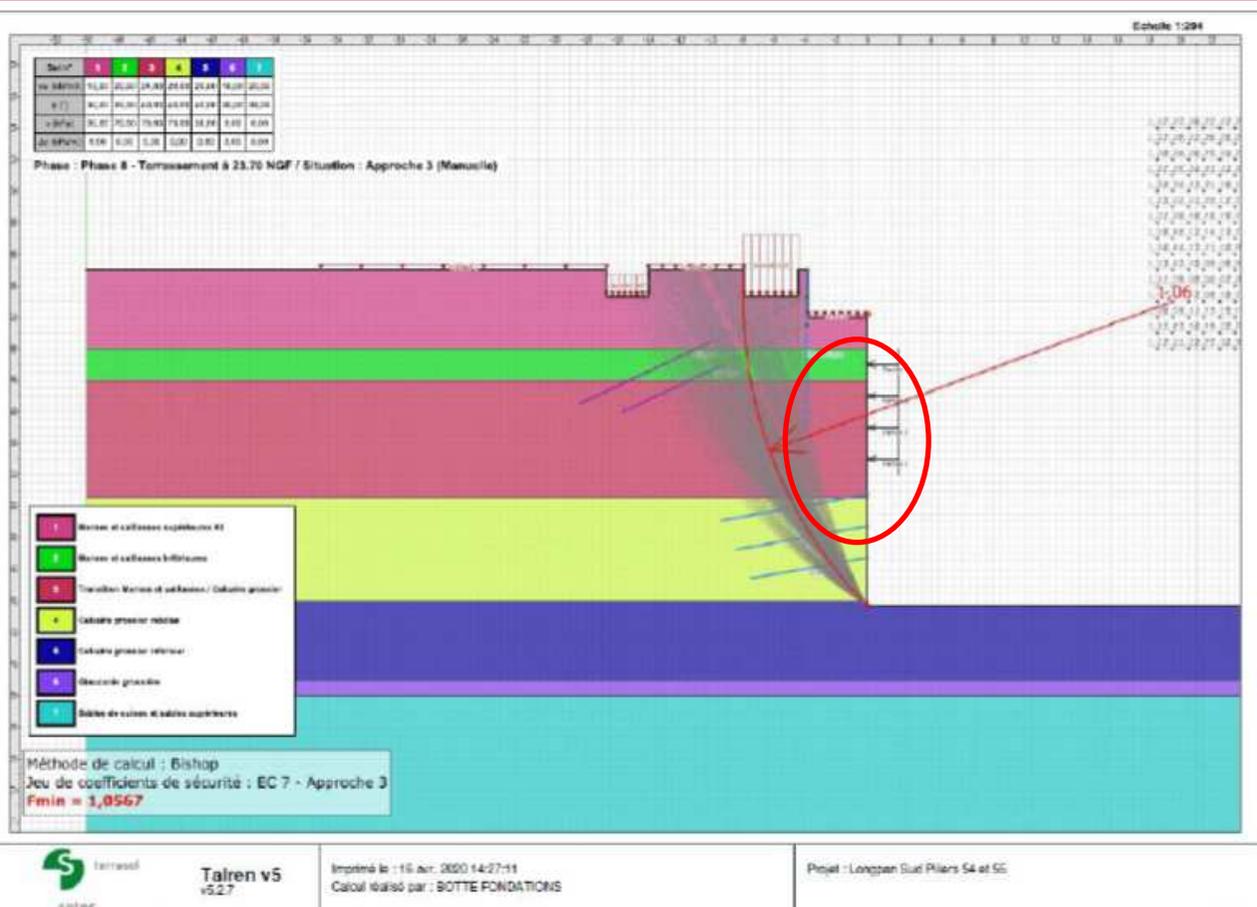
# REALISATION DES LONGPANS DE LA GARE

Photos de chantier



# REALISATION DES LONGPANS DE LA GARE

## Modèle de calcul



- Clous :  
forage en 120 mm  
injection IGU  
barres de 9,50/8,50/7,50 m  
Gewi+35
- Voile en BP ép. 10 à 20 cm

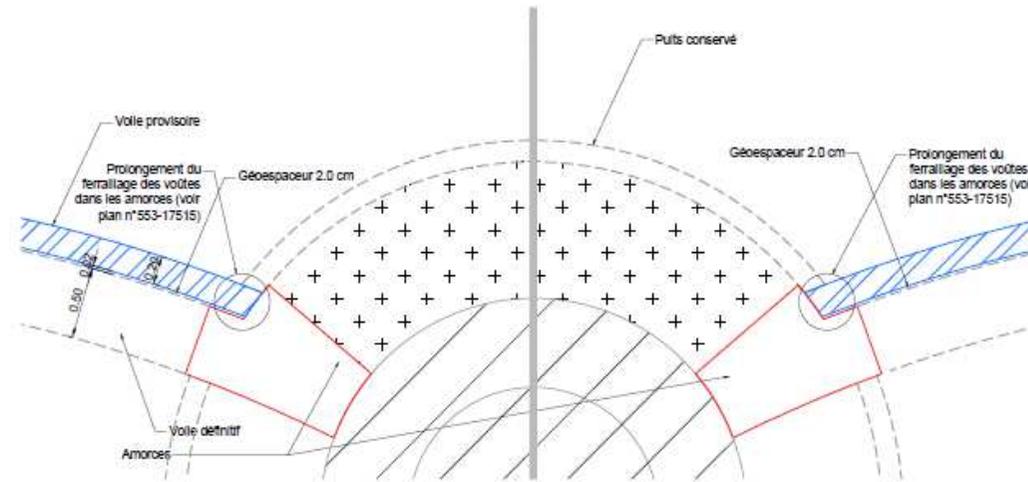
# REALISATION DES LONGPANS DE LA GARE

## Détail de conception

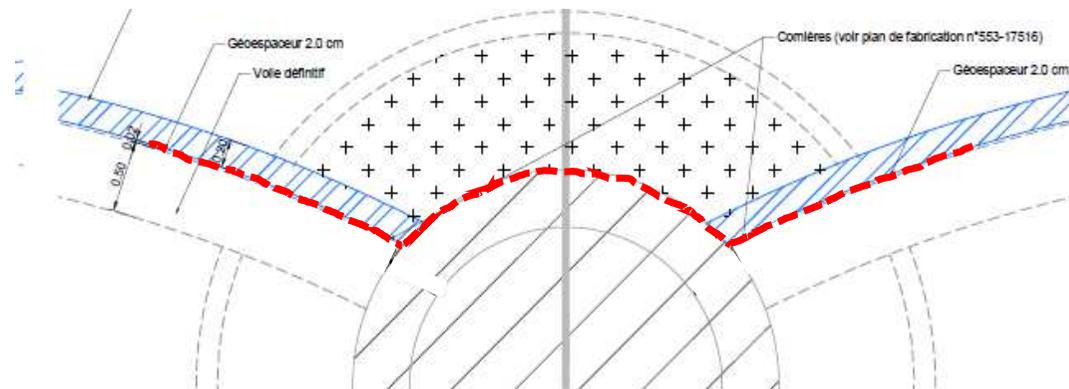


Détail de liaison du blindage provisoire avec les piliers

Détail de positionnement de l'étanchéité sous 32,00 NGF



Au-dessus de 32 NGF

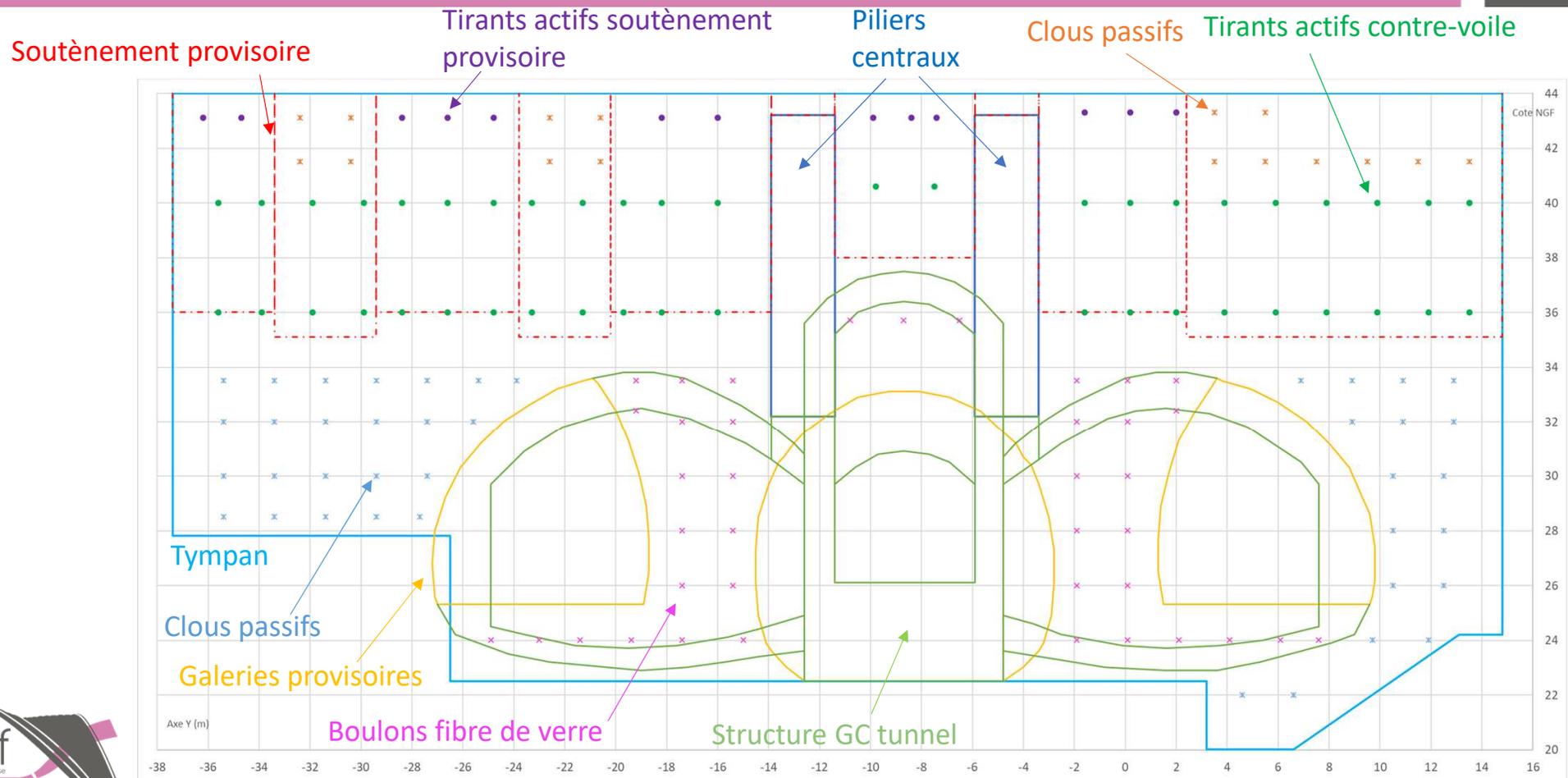


En-dessous de 32 NGF

# **7 - RÉALISATION ET COMPORTEMENT DU TYMPAN DE LA GARE**

# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Vue de face schématique du tympan ouest



# ZOOM TECHNIQUE (7)

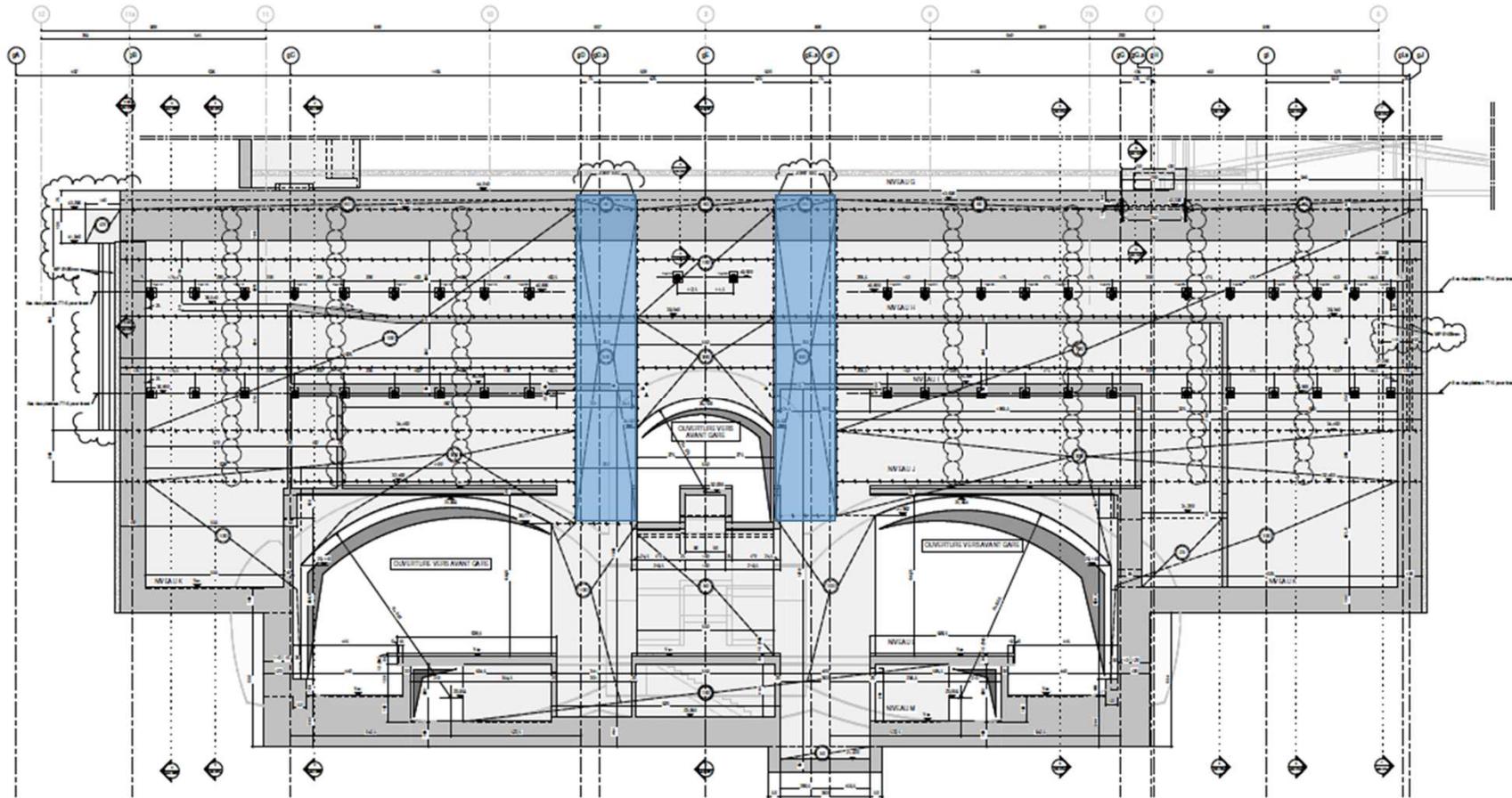
## Phasage du tympan ouest



- **Réalisation des parois de micropieux (soutènement provisoire)**
- **Excavation à 41,8 NGF + Réalisation des tirants de la paroi de micropieux**
- **Réalisation des piliers centraux du tympan**
- Réalisation de la dalle de transfert
- Excavation à 35,1 NGF + Réalisation du contre-voile et des 2 lits de tirants du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des galeries latérales puis centrale -> RSO des piliers centraux
- Excavation à 22,5 NGF (fond de fouille) + réalisation du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des élargissements des avant-gares
- Réalisation du contre-voile jusqu'au fond de fouille
- Désactivation des tirants
- Arrêt du rabattement de nappe

# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Phasage du tympan ouest



# ZOOM TECHNIQUE (7)

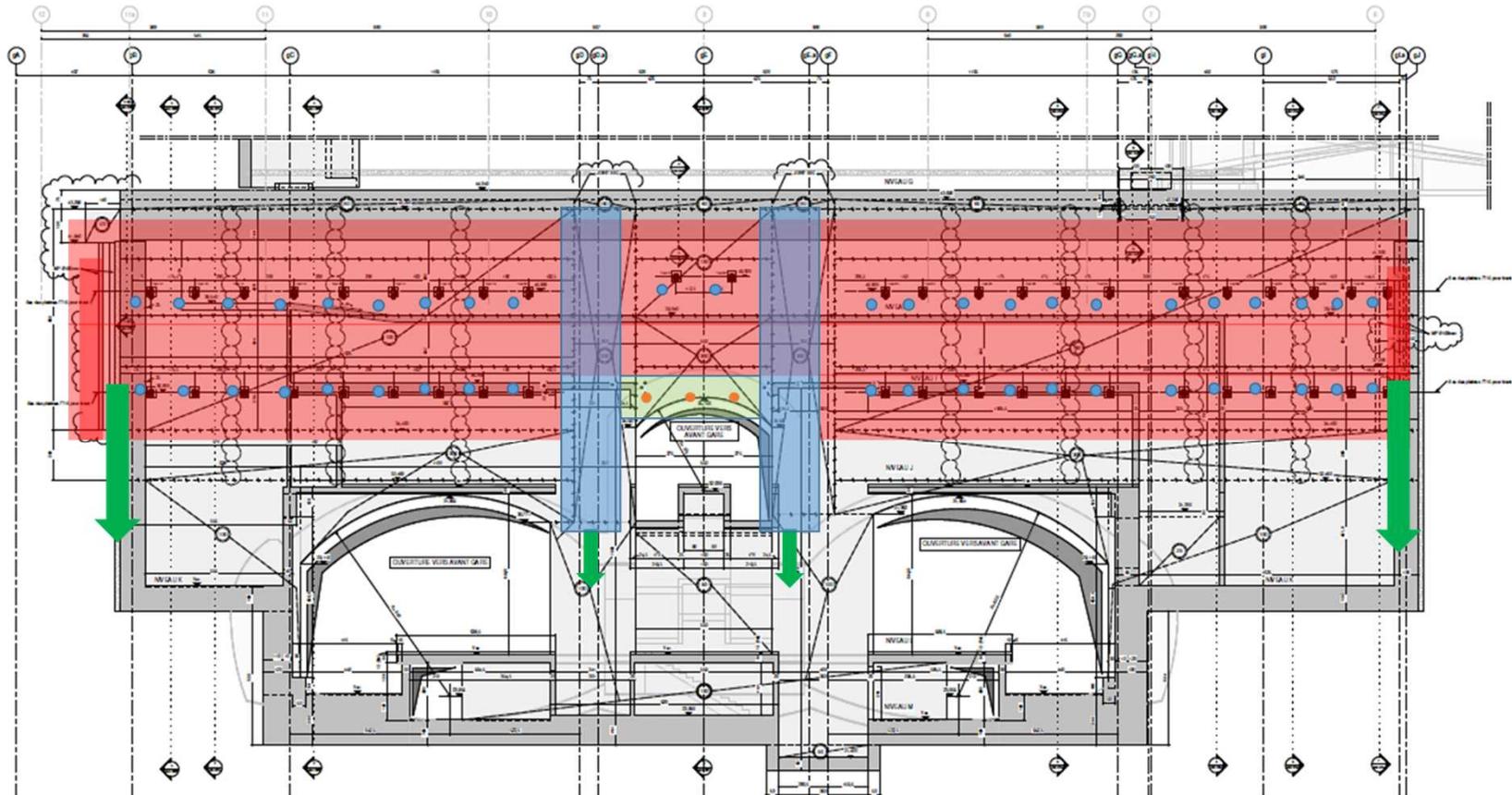
## Phasage du tympan ouest



- Réalisation des parois de micropieux (soutènement provisoire)
- Excavation à 41,8 NGF + Réalisation des tirants de la paroi de micropieux
- Réalisation des piliers centraux du tympan
- **Réalisation de la dalle de transfert**
- **Excavation à 35,1 NGF + Réalisation du contre-voile et des 2 lits de tirants du contre-voile**
- Excavation, clouage et bétonnage des galeries latérales puis centrale -> RSO des piliers centraux
- Excavation à 22,5 NGF (fond de fouille) + réalisation du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des élargissements des avant-gares
- Réalisation du contre-voile jusqu'au fond de fouille
- Désactivation des tirants
- Arrêt du rabattement de nappe

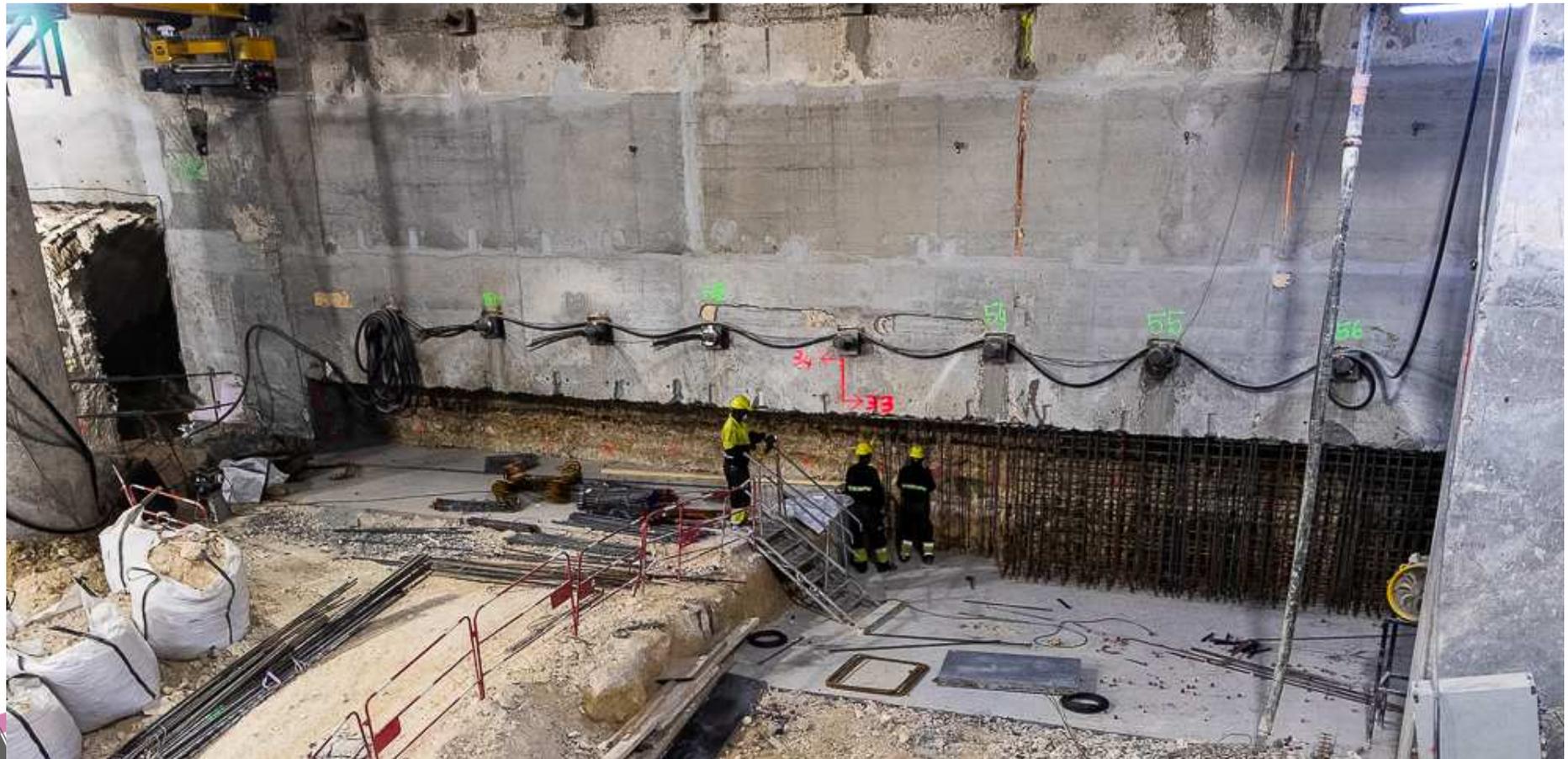
# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Phasage du tympan ouest



# ZOOM TECHNIQUE (7)

Réalisation du tympan ouest - Photos de chantier



# ZOOM TECHNIQUE (7)

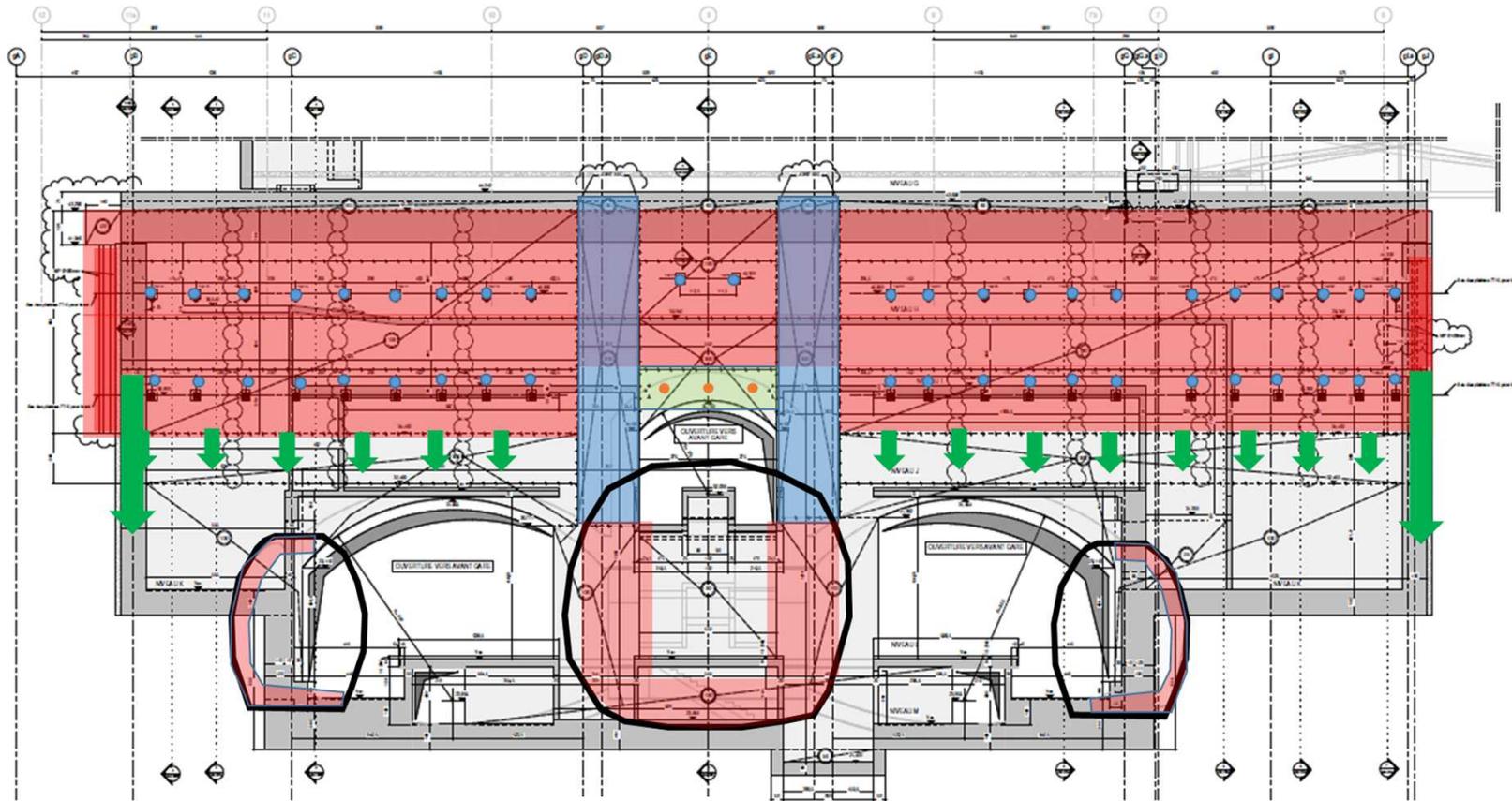
## Phasage du tympan ouest



- Réalisation des parois de micropieux (soutènement provisoire)
- Excavation à 41,8 NGF + Réalisation des tirants de la paroi de micropieux
- Réalisation des piliers centraux du tympan
- Réalisation de la dalle de transfert
- Excavation à 35,1 NGF + Réalisation du contre-voile et des 2 lits de tirants du contre-voile
- **Excavation, clouage et bétonnage des galeries latérales puis centrale -> RSO des piliers centraux**
- Excavation à 22,5 NGF (fond de fouille) + réalisation du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des élargissements des avant-gares
- Réalisation du contre-voile jusqu'au fond de fouille
- Désactivation des tirants
- Arrêt du rabattement de nappe

# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Phasage du tympan ouest



# ZOOM TECHNIQUE (7)

Réalisation du tympan ouest - Photos de chantier



# ZOOM TECHNIQUE (7)

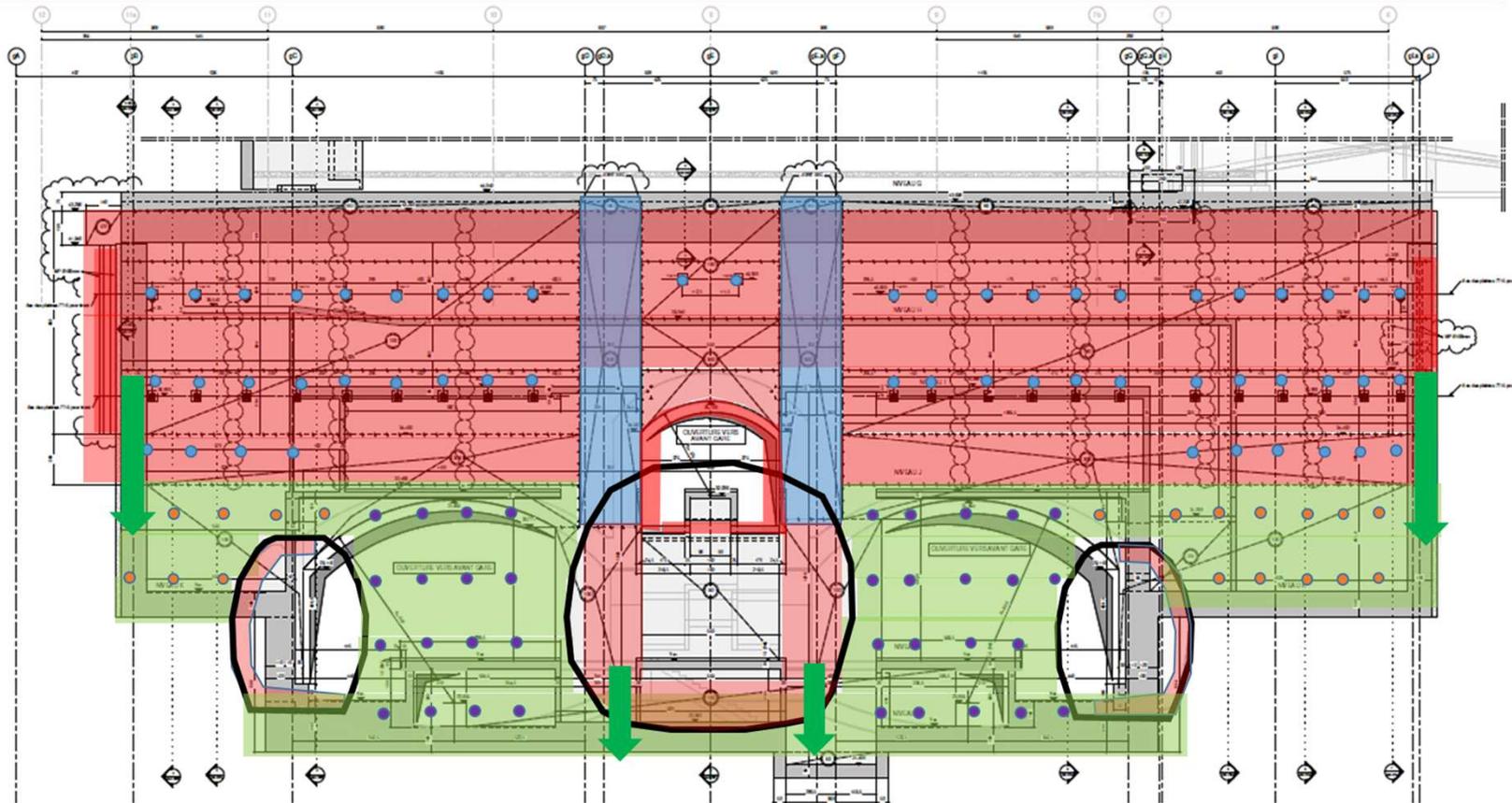
## Phasage du tympan ouest



- Réalisation des parois de micropieux (soutènement provisoire)
- Excavation à 41,8 NGF + Réalisation des tirants de la paroi de micropieux
- Réalisation des piliers centraux du tympan
- Réalisation de la dalle de transfert
- Excavation à 35,1 NGF + Réalisation du contre-voile et des 2 lits de tirants du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des galeries latérales puis centrale -> RSO des piliers centraux
- **Excavation à 22,5 NGF (fond de fouille) + réalisation du contre-voile**
- Excavation, clouage et bétonnage des élargissements des avant-gares
- Réalisation du contre-voile jusqu'au fond de fouille
- Désactivation des tirants
- Arrêt du rabattement de nappe

# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Phasage du tympan ouest



# ZOOM TECHNIQUE (7)

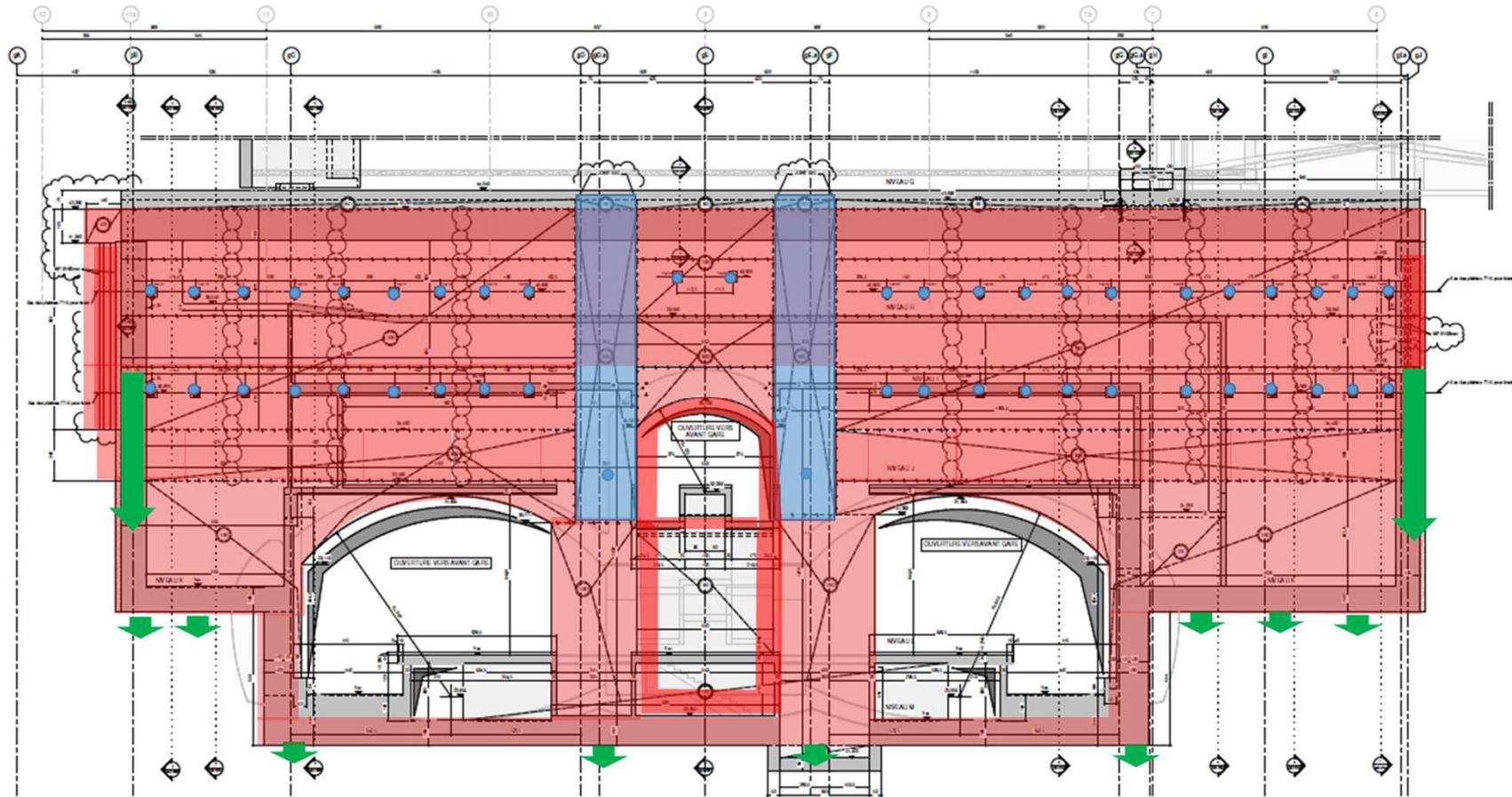
## Phasage du tympan ouest



- Réalisation des parois de micropieux (soutènement provisoire)
- Excavation à 41,8 NGF + Réalisation des tirants de la paroi de micropieux
- Réalisation des piliers centraux du tympan
- Réalisation de la dalle de transfert
- Excavation à 35,1 NGF + Réalisation du contre-voile et des 2 lits de tirants du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des galeries latérales puis centrale -> RSO des piliers centraux
- Excavation à 22,5 NGF (fond de fouille) + réalisation du contre-voile
- **Excavation, clouage et bétonnage des élargissements des avant-gares**
- Réalisation du contre-voile jusqu'au fond de fouille
- Désactivation des tirants
- Arrêt du rabattement de nappe

# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Phasage du tympan ouest



# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Phasage du tympan ouest

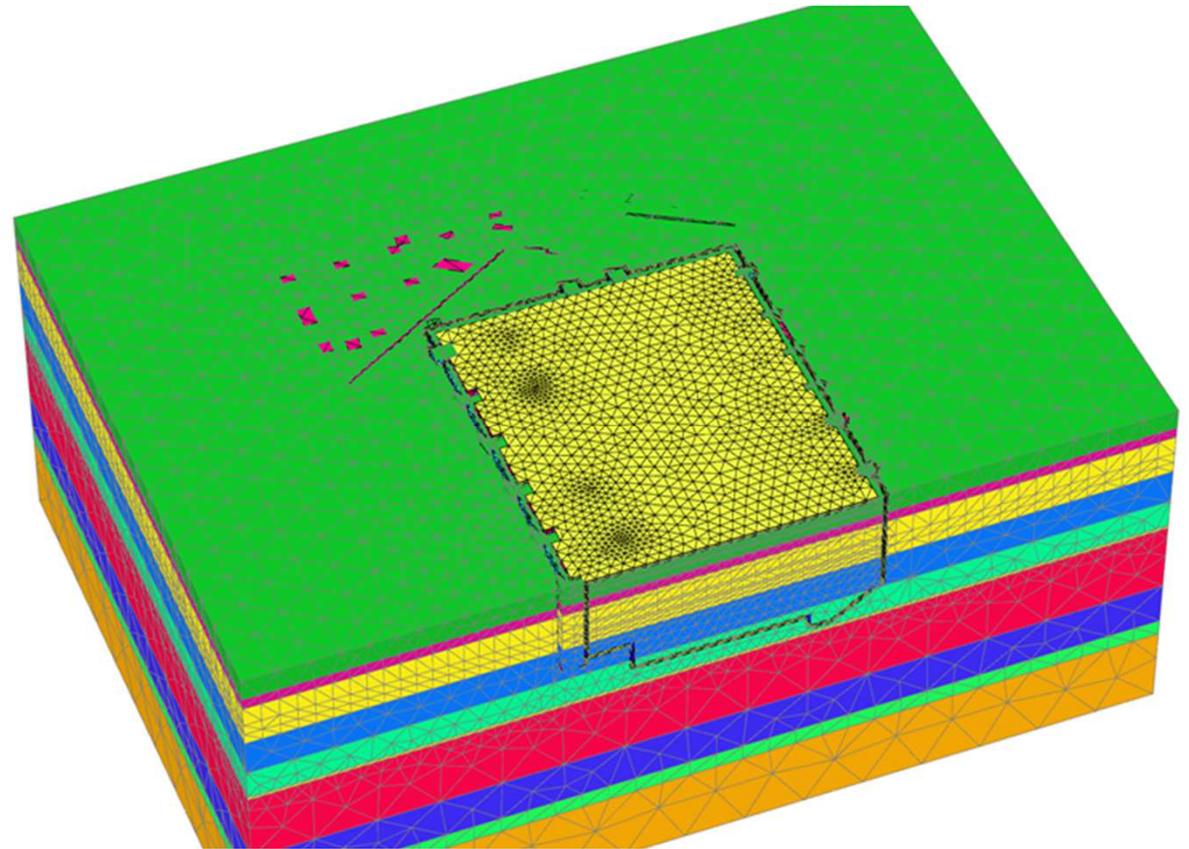


- Réalisation des parois de micropieux (soutènement provisoire)
- Excavation à 41,8 NGF + Réalisation des tirants de la paroi de micropieux
- Réalisation des piliers centraux du tympan
- Réalisation de la dalle de transfert
- Excavation à 35,1 NGF + Réalisation du contre-voile et des 2 lits de tirants du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des galeries latérales puis centrale -> RSO des piliers centraux
- Excavation à 22,5 NGF (fond de fouille) + réalisation du contre-voile
- Excavation, clouage et bétonnage des élargissements des avant-gares
- **Réalisation du contre-voile jusqu'au fond de fouille**
- **Désactivation des tirants**
- **Arrêt du rabattement de nappe**

# ZOOM TECHNIQUE (7)

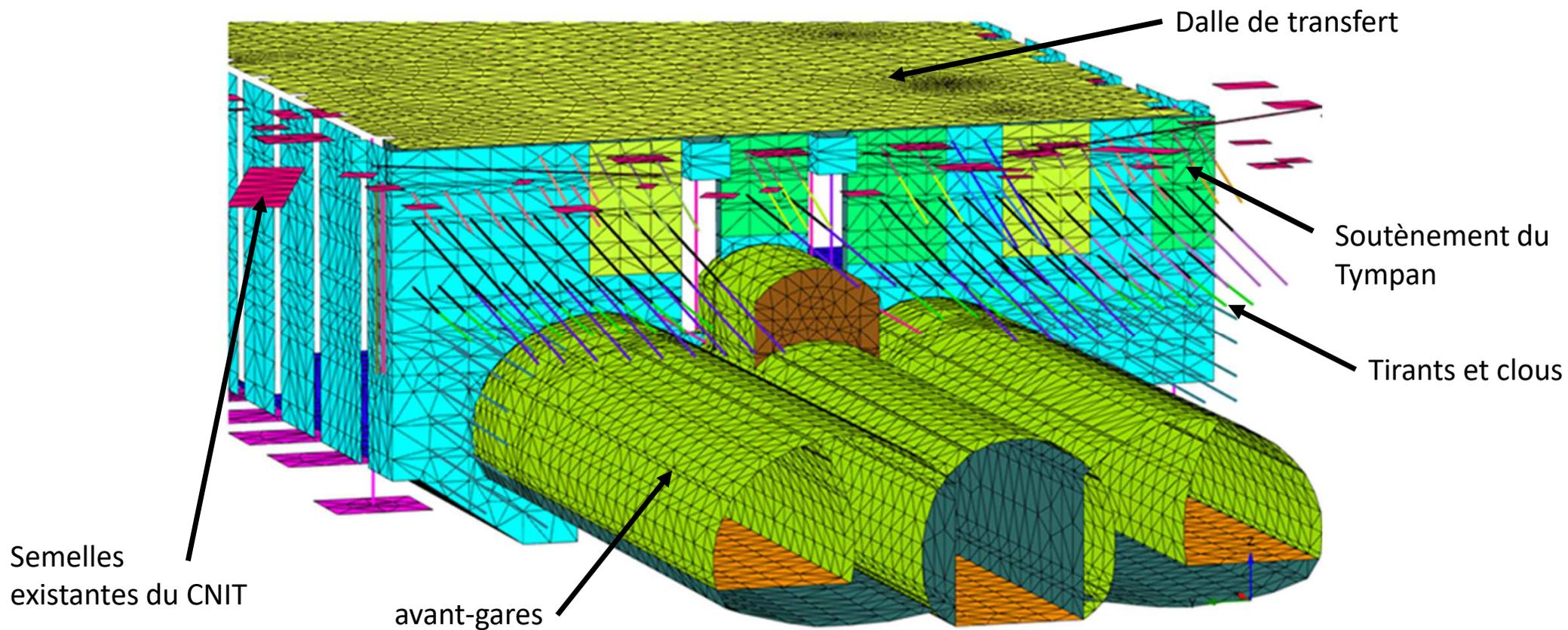
## Vues du modèle 3D

- Caractéristiques du modèle numérique :
  - Éléments finis 3D (Plaxis 3D)
  - Nombre de nœuds : 580 000
  - 54 phases de calcul
  - Temps de calcul : environ 70 heures



# ZOOM TECHNIQUE (7)

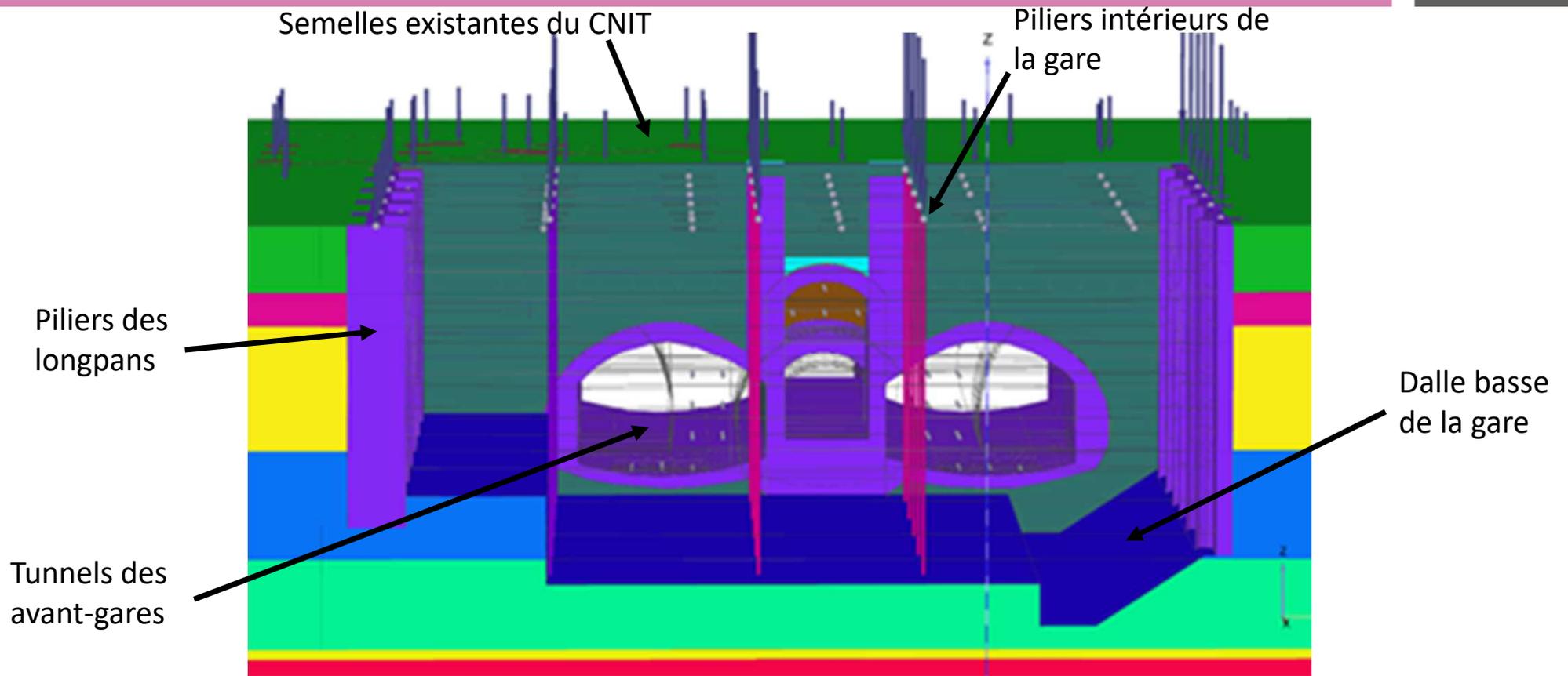
Vues du modèle 3D



*Vue des avant-gares à l'arrière du tympan (sols masqués)*

# ZOOM TECHNIQUE (7)

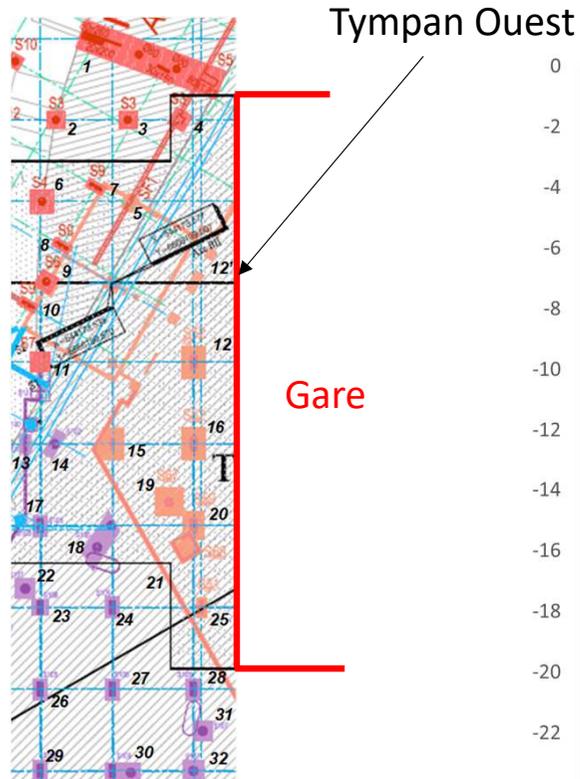
## Vues du modèle 3D



*Vue de face du tympan depuis l'intérieur de la gare*

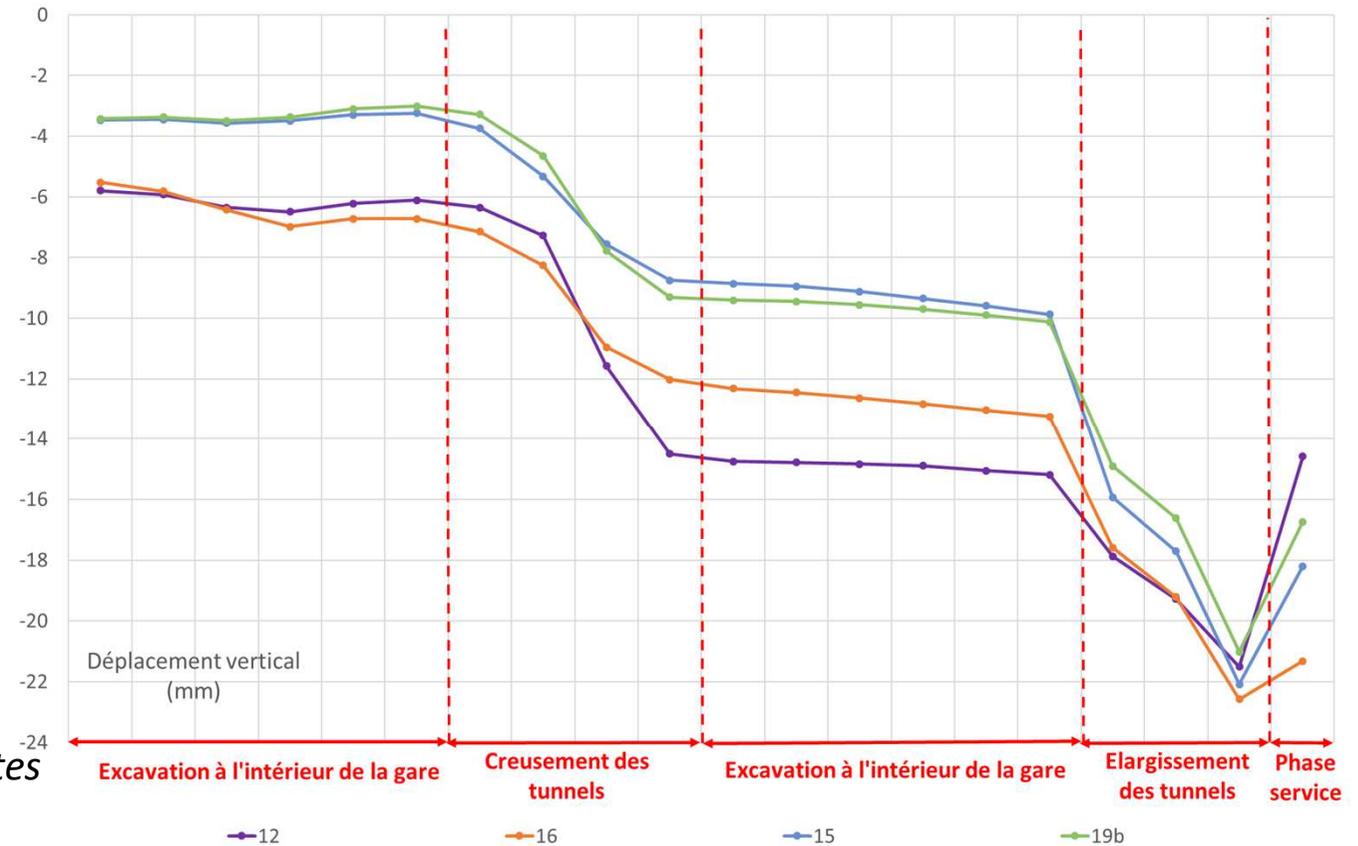
# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Tassement des semelles existantes du CNIT au droit des avant-gares



Gare

Vue en plan des semelles existantes

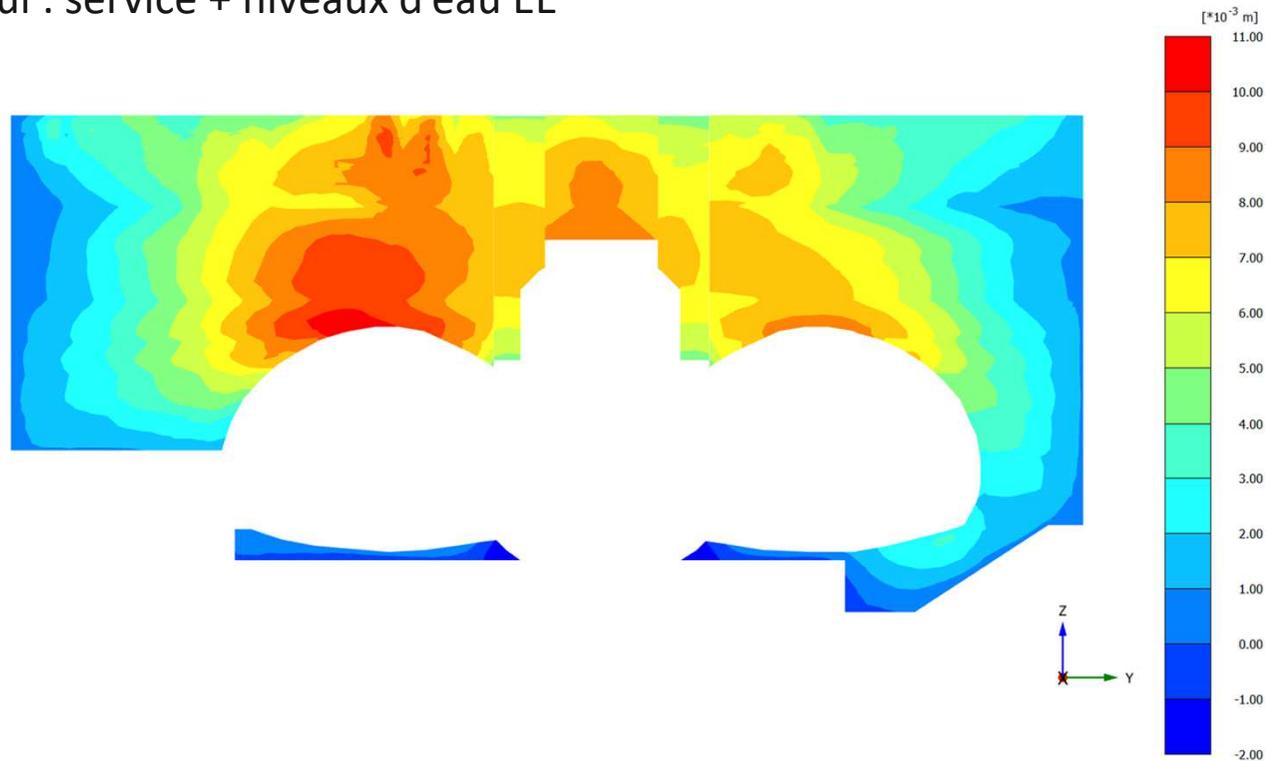


# ZOOM TECHNIQUE (7)

## Résultats : déformations horizontales du tympan



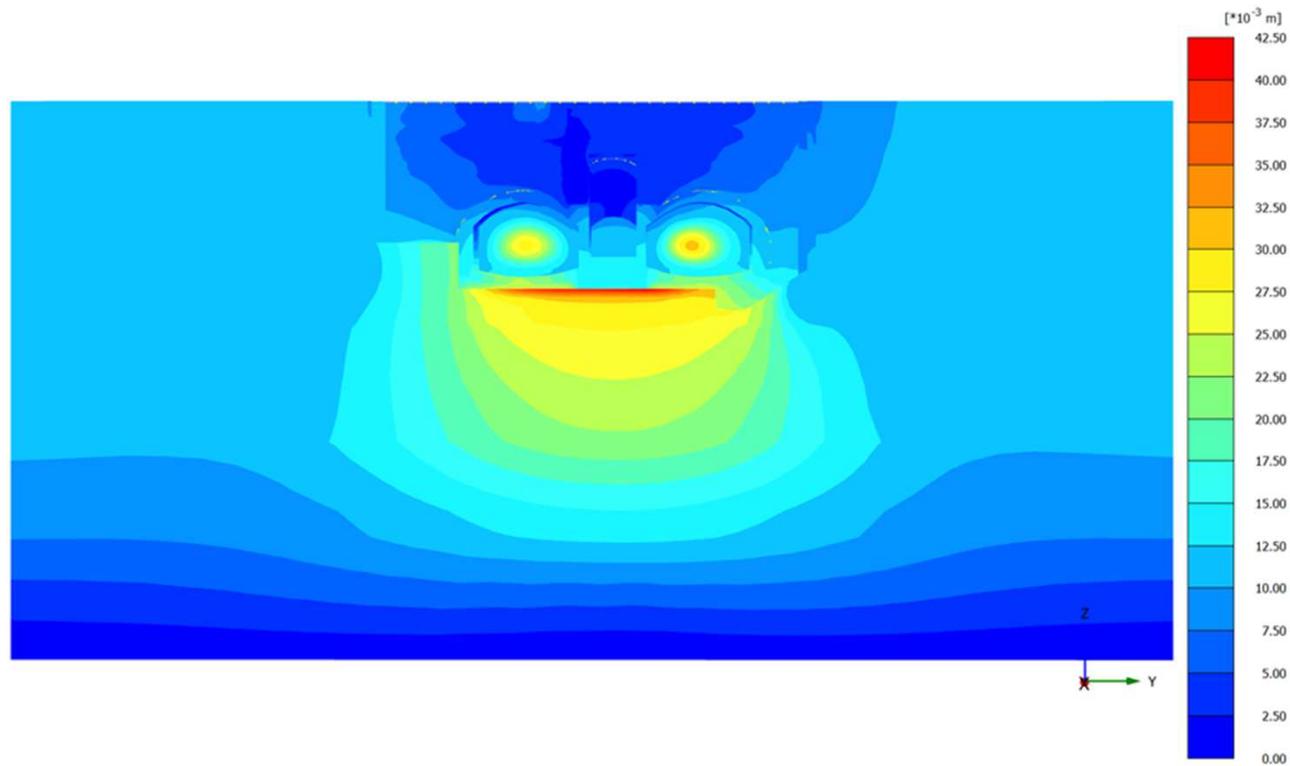
- Phase finale de calcul : service + niveaux d'eau EE



**Total displacements  $u_x$**   
Maximum value = 0.01073 m (Element 5926 at Node 161874)  
Minimum value =  $-1.832 \cdot 10^{-3}$  m (Element 18968 at Node 462418)

# ZOOM TECHNIQUE (7)

Résultats : déformations horizontales du tympan



**Total displacements |u|**  
Maximum value = 0.04154 m (Element 354737 at Node 568400)

**SEANCE DE QUESTIONS / REPONSES**

# **AUTRES PRESENTATIONS CFMS**

# AUTRES PRESENTATIONS CFMS SUR LE SUJET



- Journée scientifique et technique du CFMS du 21 mars 2019

**« Grands projets d'infrastructures en Région Parisienne »**

**EOLE - Reprise en sous-œuvre du CNIT**

**Olivier MADEC**

**EOLE – Injection de compensation**

**Paul VIDIL**



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

