

# Parois moulées de grande profondeur : Exemple : Le puits MESIL

Séance animée par :

- Thibaut LE METTAILLE

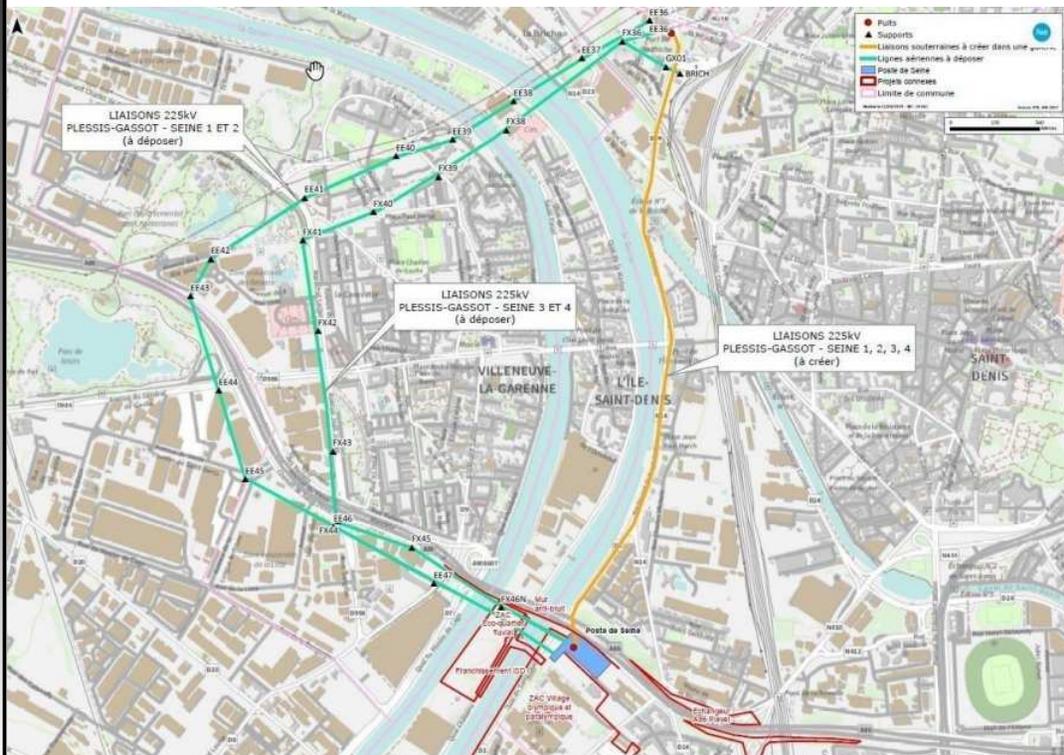
Spie batignolles fondations

## Sommaire

- Le projet et les travaux de fondations
- Géométrie de l'ouvrage et impact sur les calculs
- Quelques décisions importantes en amont des travaux
- Verticalité du forage et équipement
- Bétonnage

# Le projet MESIL

*MESIL = Mise En Souterrain d'Initiative Locale :*



## Situation actuelle :

4 liaisons électriques aériennes  
225 000 volts déterminantes pour  
l'alimentation électrique du nord-  
est de Paris, desservant  
l'équivalent de 800 000 foyers, la  
Gare du Nord et la ligne 13

## Besoins:

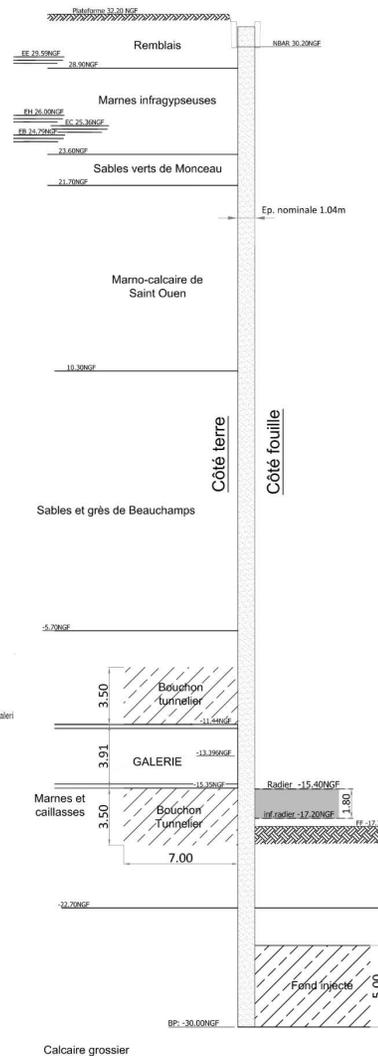
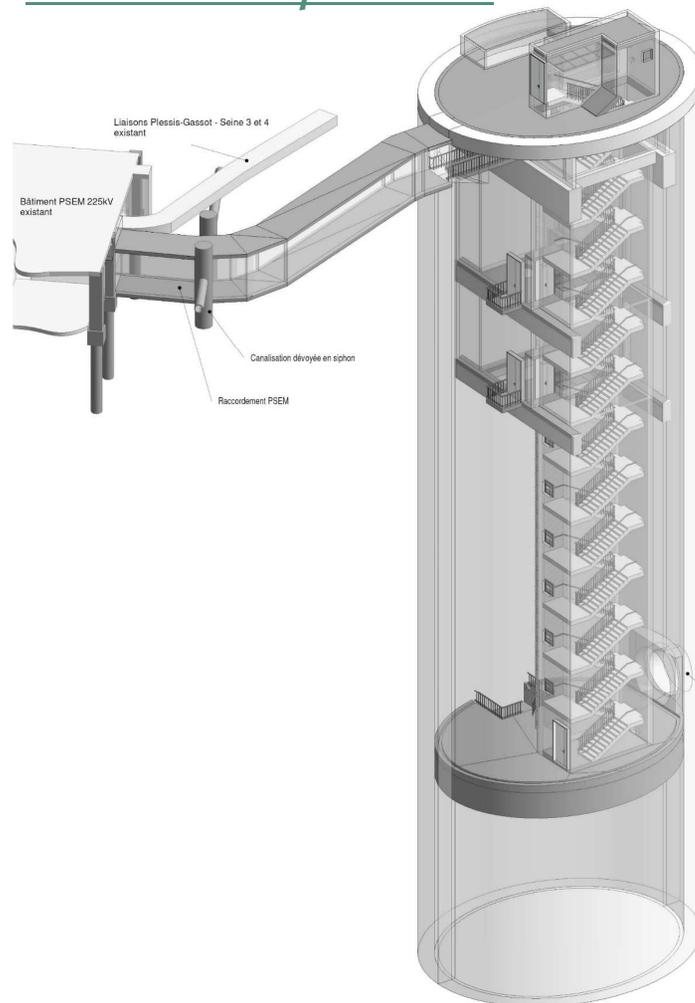
Libération de foncier (80 ha) – 27  
supports  
Libération d'emprises sur la ZAC  
Village Olympique,  
Paralympique

## Le projet :

2 puits en parois moulées et une galerie (2,5 km) avec 4 liaisons

# Le projet MESIL

## Fondations spéciales :



## 2 puits (entrée et sortie) :

Point bas de la galerie au niveau du puits d'entrée puis remontée jusqu'au puits de sortie.

## Objectif :

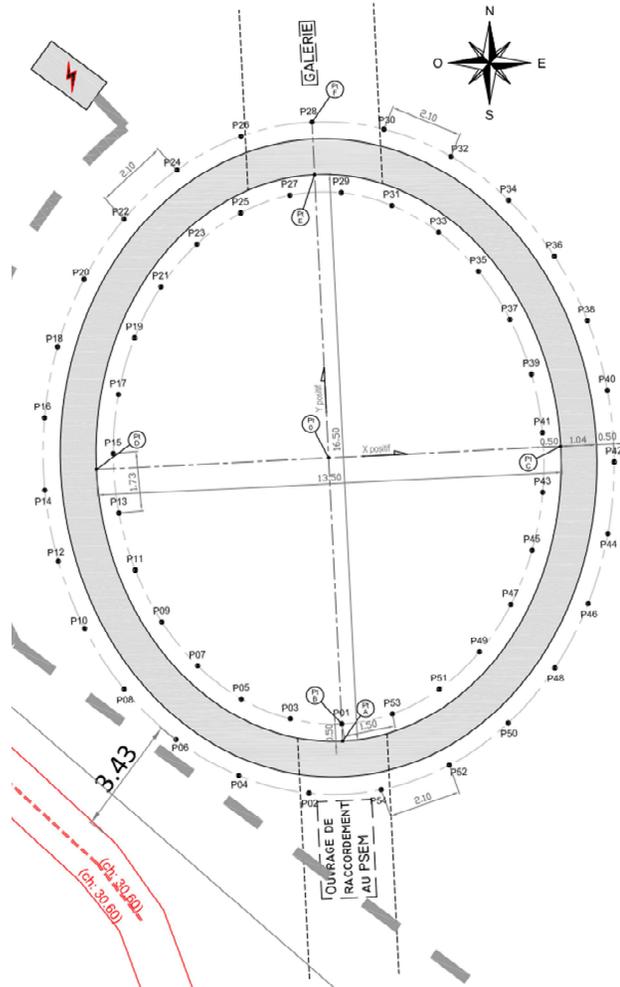
Réaliser une galerie à 47m de profondeur soit 50m de terrassement avec une charge d'eau de 43m

Environnement dense

=> Parois moulées

# Le projet MESIL

## Injections :



## Injections préalables :

Cf. Webinaire du mois dernier  
 Traitement des horizons pour éviter l'instabilité des tranchées (présence de vide ou zones décomprimées / dissolution de gypse)  
 Forages espacés de 2m

# Le projet MESIL

## Injections :



## Fond injecté :

Bouchon « étanche » de 5m d'épaisseur par injection des calcaires grossiers réalisé après les parois moulées.

Fonction :

- Limiter les venues d'eau
- Assurer la stabilité du fond de fouille

# Géométrie de l'ouvrage

## Pourquoi garantir une bonne verticalité ?

Exigence géométrique : Monter un tunnelier de 16,0m utile depuis le radier

C'est le tunnelier qui donne la longueur de l'ouvrage

⇒ 0,5% déviation soit 25cm à 50m ⇒

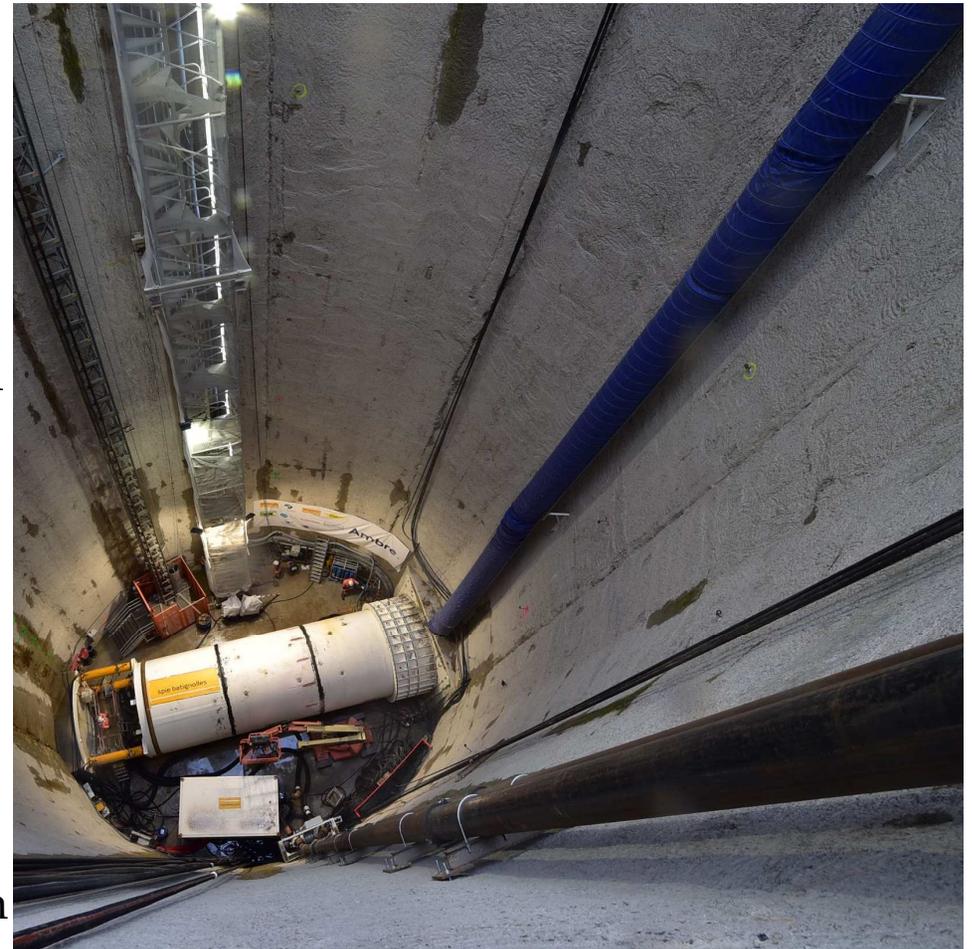
Longueur puits :  $16,0 + 2 \times 0,25 = 16,5\text{m}$

Pour limiter les quantités (matériaux et terrassement) c'est finalement un puits elliptique de dimensions 13,50m\*16,50m qui a été réalisé

Épaisseur de la paroi : 1,04 m ;

Tolérance de verticalité : 0,5% ;

Profondeur forage : 63 m dont 50m terrassé.



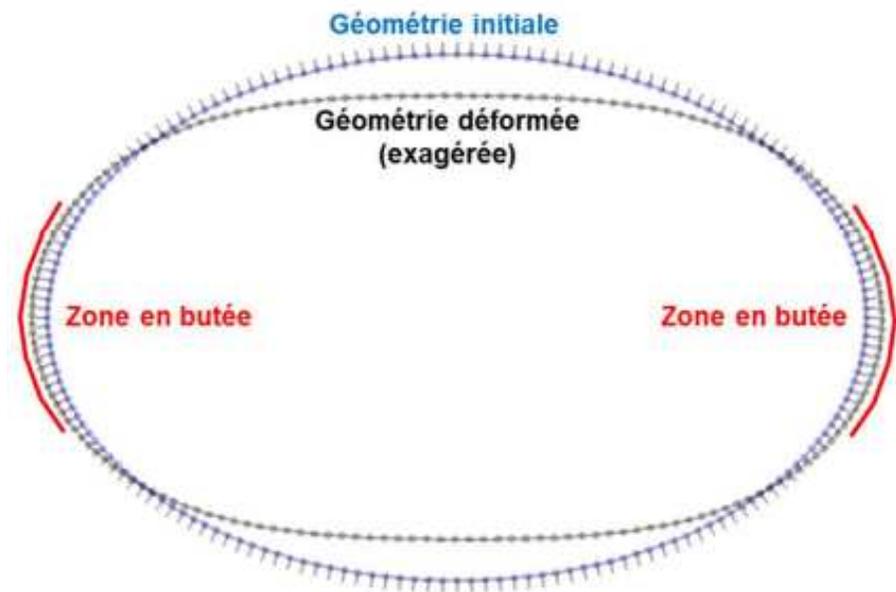
# Géométrie de l'ouvrage - Calculs

## Calcul de la paroi

Paroi butonnée par la poutre de couronnement, le radier et par sa rigidité circulaire grâce à sa forme elliptique en phase travaux et définitive.

Forme non usuelle avec fonctionnement structurel différent d'un puits circulaire/bilobe :

- Flexion horizontale dans la paroi
- Mobilisation de la butée dans le sens du grand axe



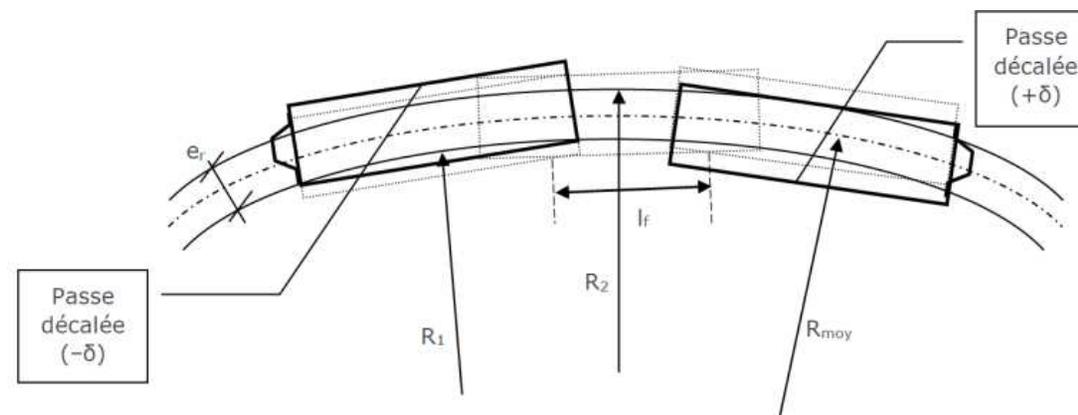
# Géométrie de l'ouvrage – Calculs

## Calcul de la paroi

En définitive, la paroi moulée est considérée comme une juxtaposition de panneaux d'une longueur élémentaire de 2,50 à 3 m pouvant transmettre des efforts horizontaux et de faibles moments de flexion.

Par ailleurs, la profondeur importante du puits génère de potentiels défauts de verticalité pouvant atteindre 0,25 m au niveau du radier. Ces défauts de verticalité peuvent apparaître comme des désaffleurements de  $2 \times 0,25 = 0,50$  m entre panneaux de paroi moulée. Ces désaffleurements réduisent localement la capacité de la paroi moulée à reprendre de la flexion.

⇒ La paroi ne faisant qu'1.04m, le respect de la verticalité était un enjeu majeur du projet.



## Décisions en phase préparatoire

### Joint waterstop ou remordu ?

Il n'y a pas de bonne ou mauvaise solution. Les deux présentait des avantages et inconvénients.

Avec le remordu on s'affranchi des problématiques de décoffrage mais on ajoute aussi du forage (1 panneau supplémentaire au minimum)

Du fait de la charge d'eau importante, les intervenants (entreprise, MOE, AMO) ont préféré la solution du joint CWS :

-> En décoffrant, on s'assure de la présence d'un joint waterstop jusqu'à la base des parois



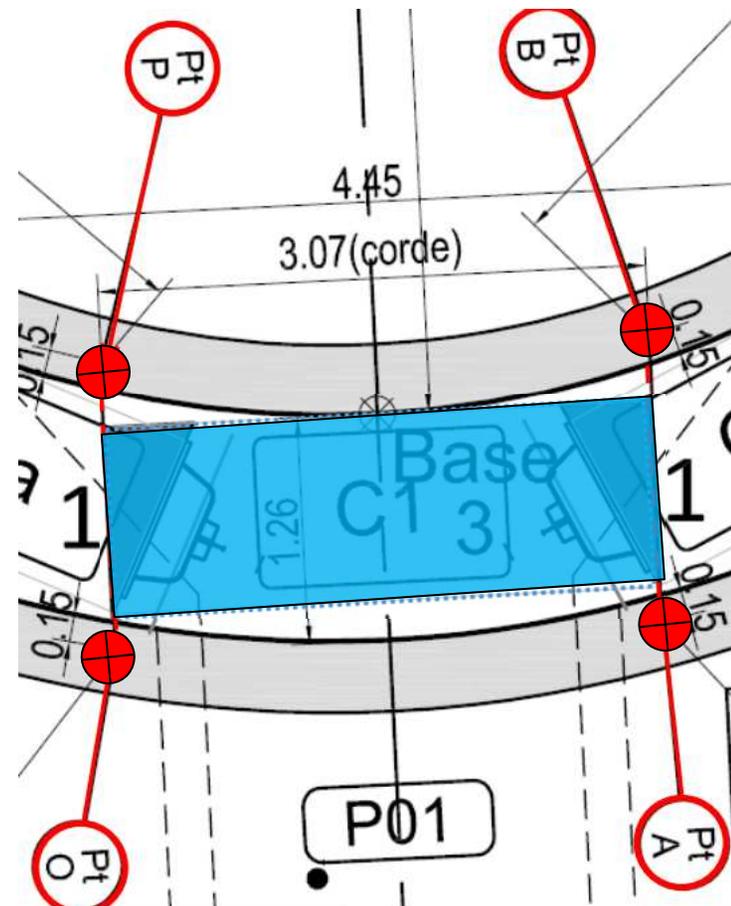
# Verticalité et équipement

## Implantation des passes de forage

Point de vigilance particulier sur le positionnement des passes de forage, en particulier sur une ellipse

Par passes :

4 points tracés en rouge par un géomètre sur les murettes pour respecter l'alignement



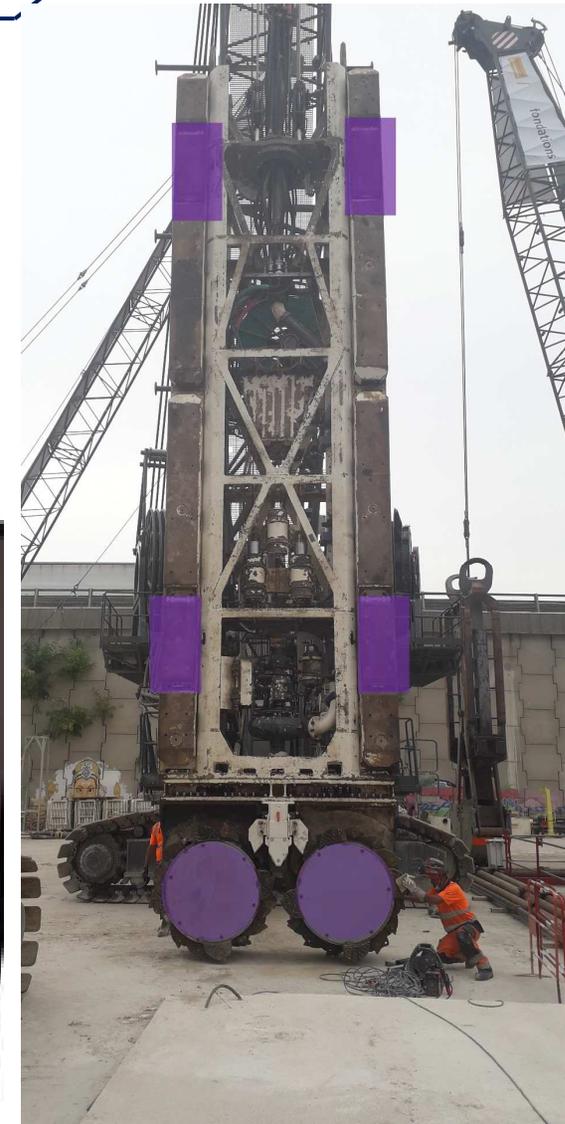
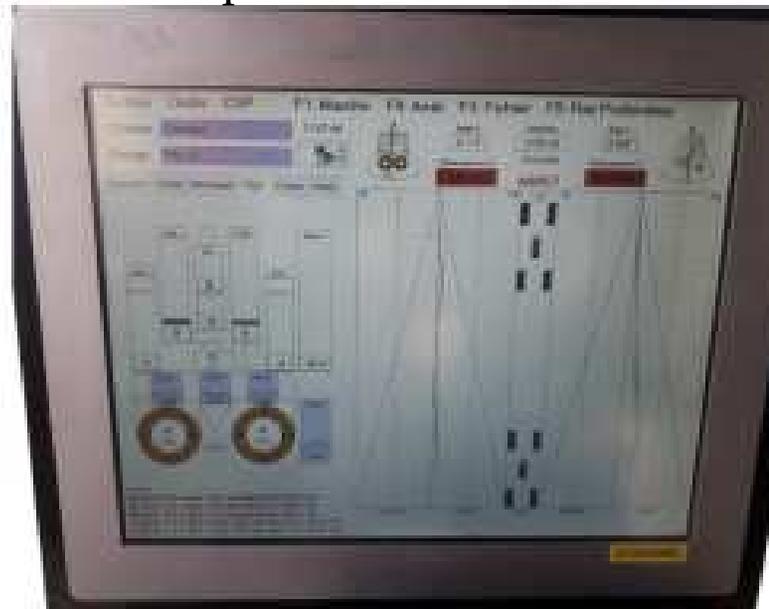
## Verticalité et équipement

### Contrôle et rectification de la verticalité au forage

Affichage et enregistrement des paramètres (pression / vitesse roue / débit pompe / Force appui / etc...)

Déviations par rapport aux 2 axes mesurées en direct.

Le foreur corrige en direct la verticalité en agissant sur les différents paramètres et en s'aidant des 8 volets de correction ainsi que les roues représentés en violet.



# Mise en place du porte joint

## Contrôle et rectification de la verticalité au forage

Longueur du porte joint = Profondeur forée – 2 mètres

Pourquoi sa mise en place est importante ?

- Coffrage et mise en place d'un joint waterstop
- Il doit être décoffré lors du forage du panneau suivant

Une palplanche mal mise en place peut entraîner de grosses difficultés de décoffrage.

Mise en place de la benne à câbles tous les 12m pour décoffrer la palplanche à l'avancement.

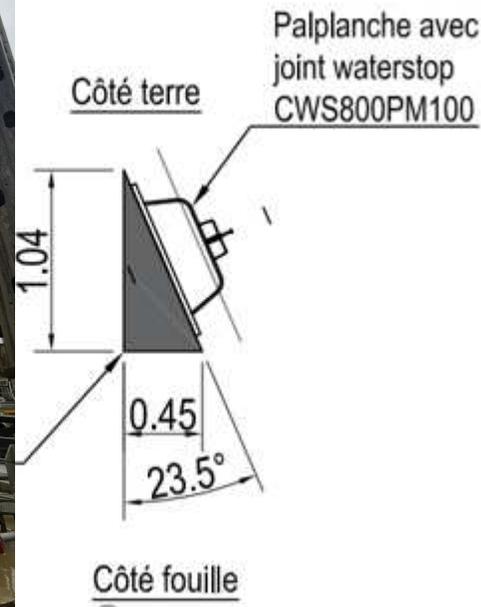




# Mise en place du porte joint

## Le nidaplast

Coffrage alvéolaire type nid d'abeilles qui épouse la forme de la passe



# Équipement des cages

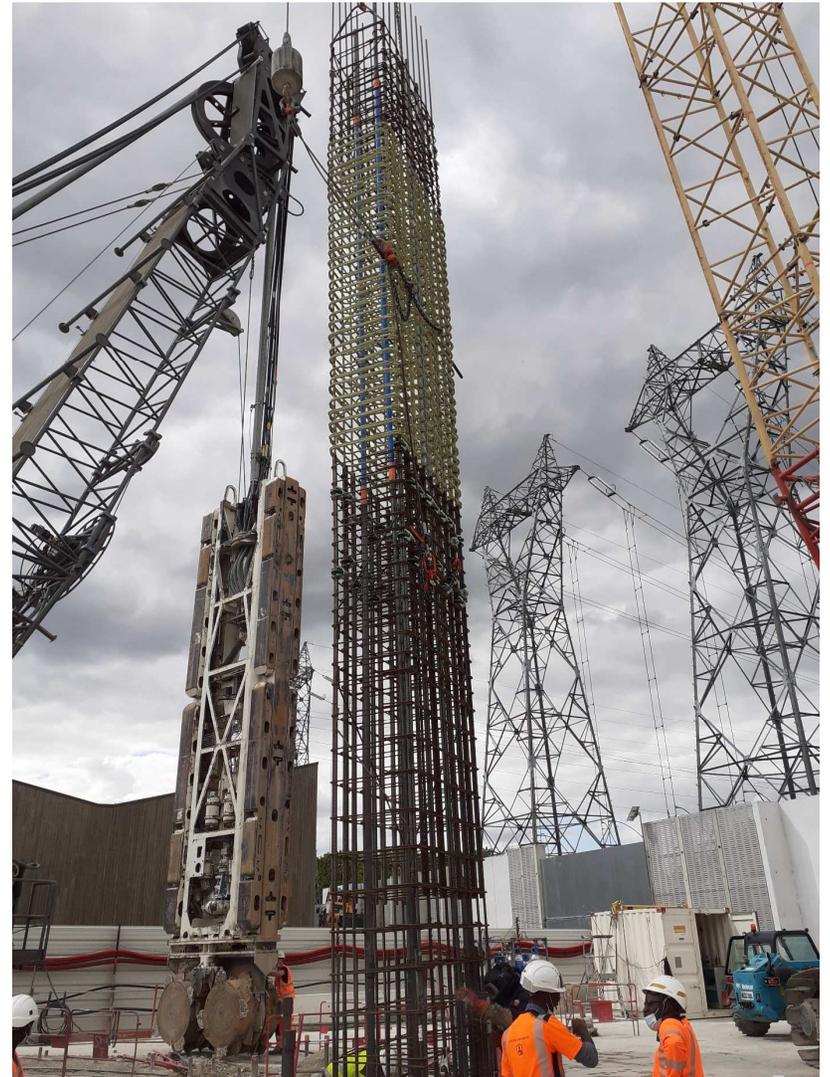
Cycle d'équipement : 1 journée de travail

Substitution : 3 heures

Équipement porte joint et cages : 10 heures environ

En particulier sur ce puits, 3 cages par panneau \* 5 levées = 15 cages à assembler

Durée rallongée par la mise en place systématique de tubes d'auscultation et carottages



# Mesure des déviations en fond de fouille

## Tolérances respectées

Très peu de désaffleurement

Tous les points mesurés dans les tolérances de déviation



# Bétonnage

## Quelques chiffres

Bétonner une paroi à une telle profondeur n'est jamais anodin.

1 panneau = 500m<sup>3</sup> soit environ 70 toupies et 10 heures de bétonnage

Défi technique

Défi logistique pour le chantier



# Bétonnage

## Défi technique

Rhéologie du béton : 10 heures

⇒ Formule particulière

Chance d'intervenir dans un contexte du Grand Paris avec des chantiers importants à proximité

Nous avons utilisé une formule dérivée d'une formule existante en rhéologie 6h en modifiant l'adjuvantation

⇒ Gain de 3 mois de béton d'études

## Cahier des charges

- Résistance à la compression  $R_c$  à 24 heures :  $> 3$  Mpa pour permettre le décoffrage
- Essai d'étalement au cône d'Abrams : 210 mm +/- 30mm
- Mesure de l'étalement à la table à choc, selon NF EN 12350-5, sur site de 600 mm +/- 50 mm
- Cône inversé dynamique  $< 8$  secondes
- Ressuage forcé (filtre presse)  $< 15$  mL
- Ressuage libre (pot)  $< 0,1$  mL/min
- Maintien de rhéologie : 10 heures (parois moulées)

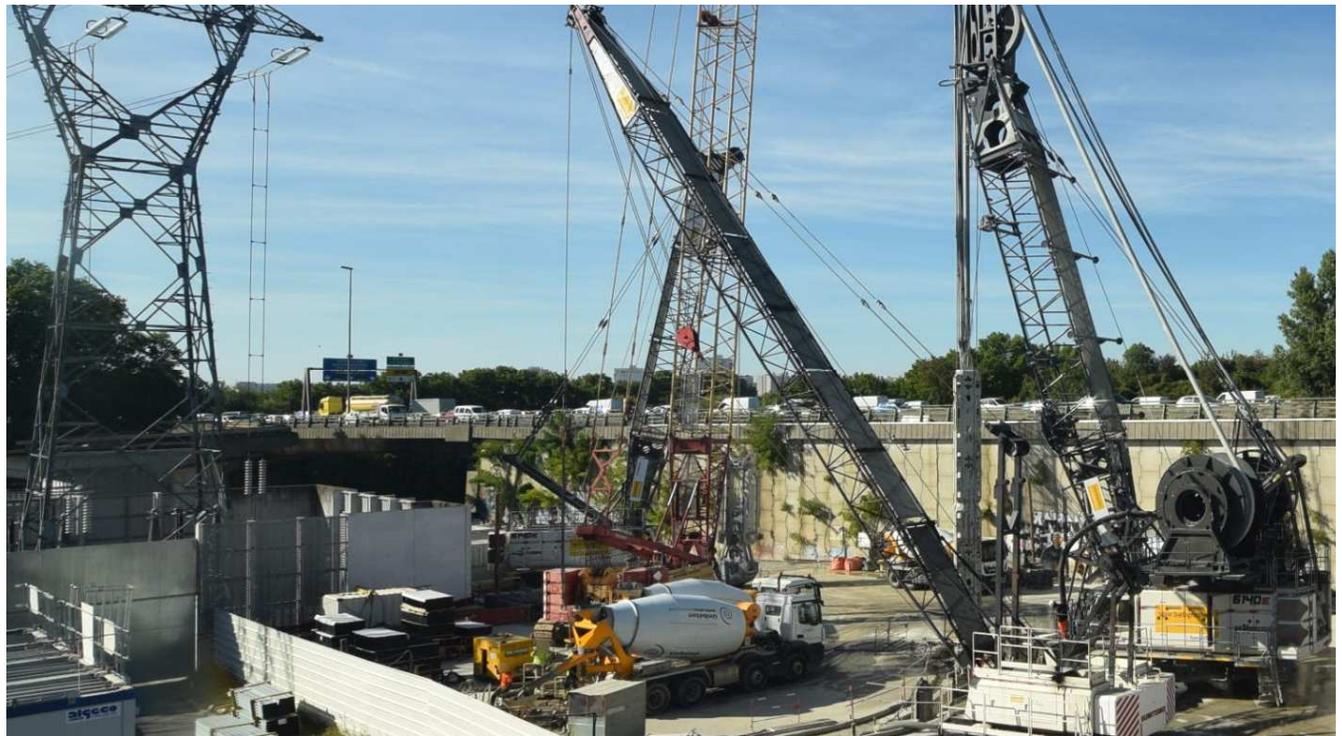
# Bétonnage

## Logistique

Gérer l'arrivée des toupies dans un chantier étroit

Réaliser les essais sur site (table à choc / température / éprouvettes) => 1 toupie /4

Tenir compte des aléas (circulation, panne centrale, etc...)





Webinaire du 14 décembre 2021

***Merci de votre attention***

*A votre disposition pour répondre à vos questions*