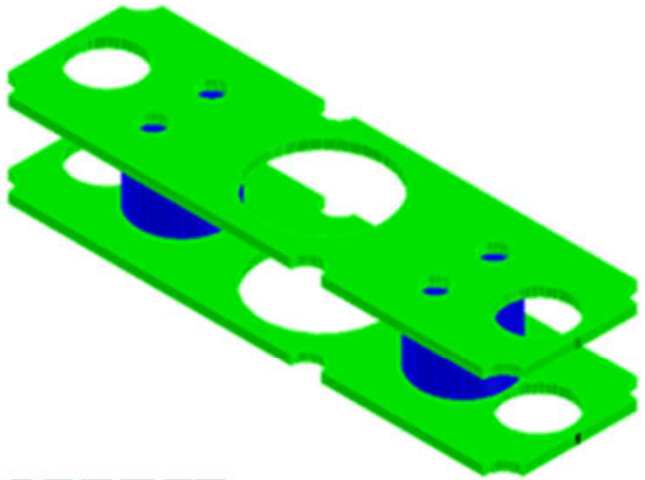
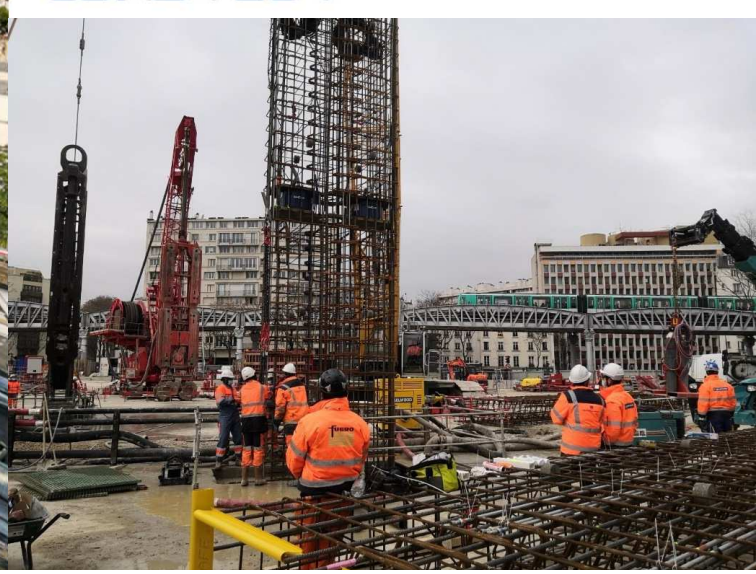
Chantier du bassin Austerlitz
Essai sur une barrette d'ancrage

CFMS – Optimisations des ouvrages géotechniques – UGE 7 avril 2022

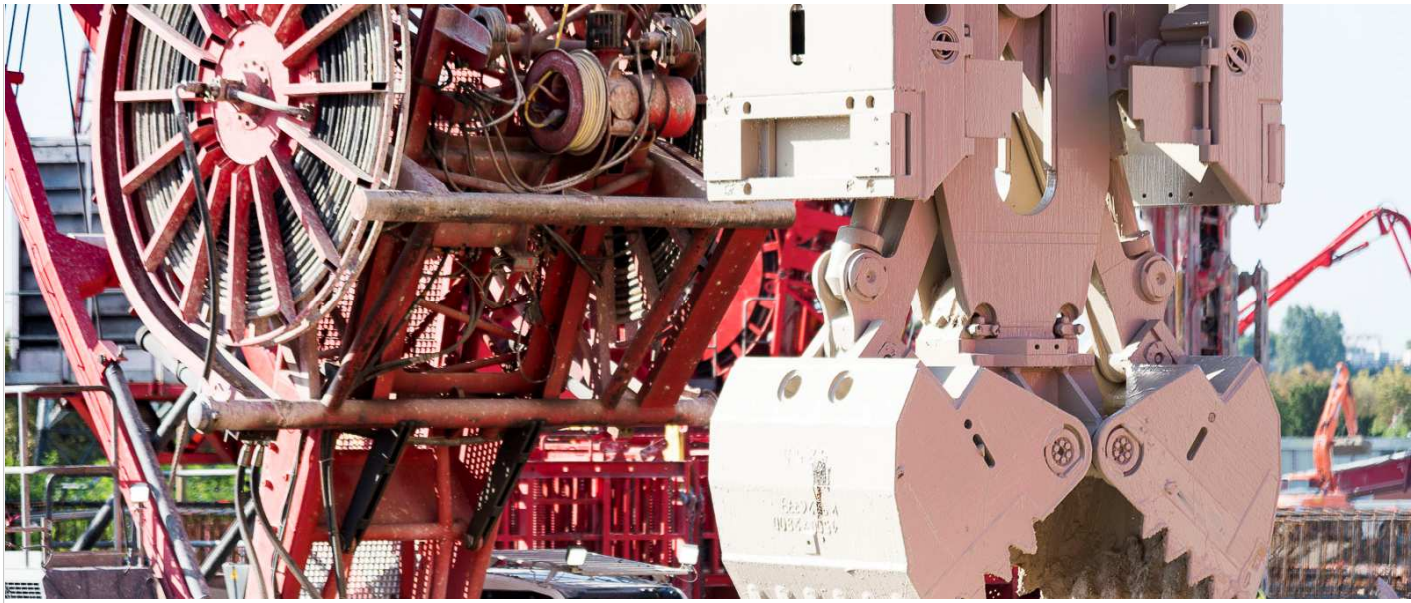
Michel Maron (FUGRO) & Maxime Fonty (Soletanche Bachy)



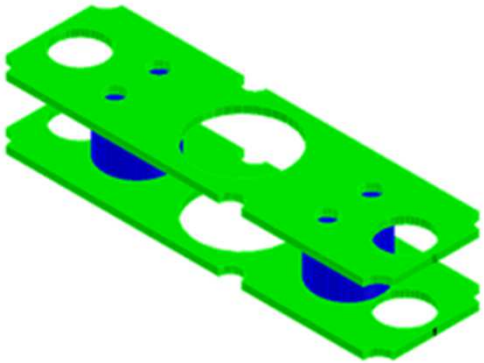


SOLETANCHE BACHY

FUGRO



Sommaire



Présentation du projet

Essai O-Cells ®

Résultats de l'essai et optimisation du projet

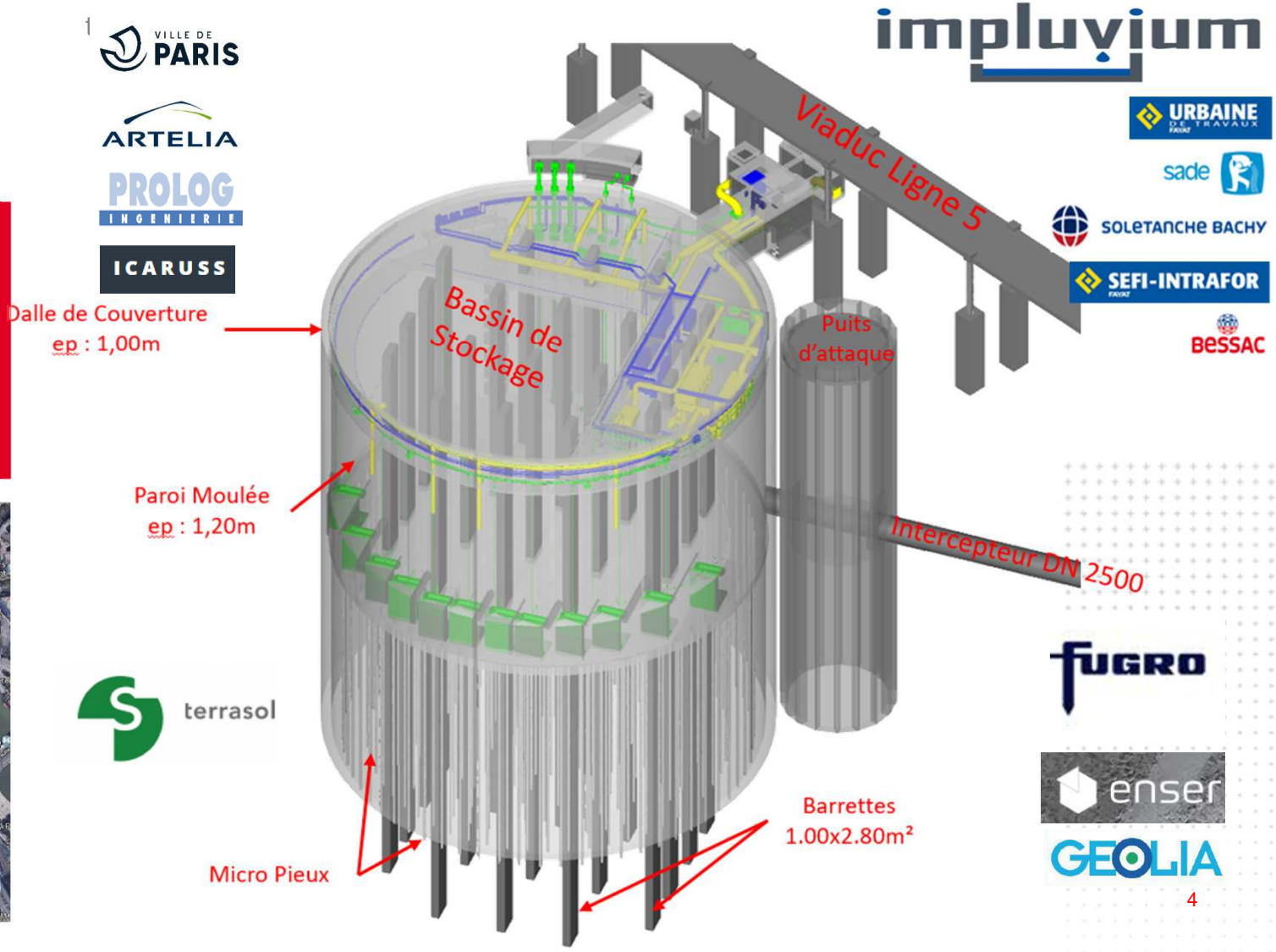
Conclusions

SOLETANCHE BACHY

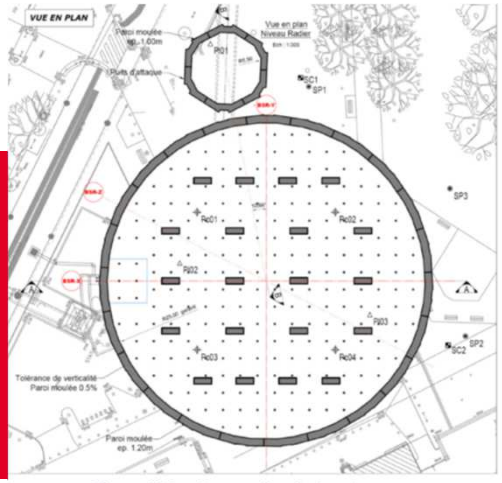
FUGRO

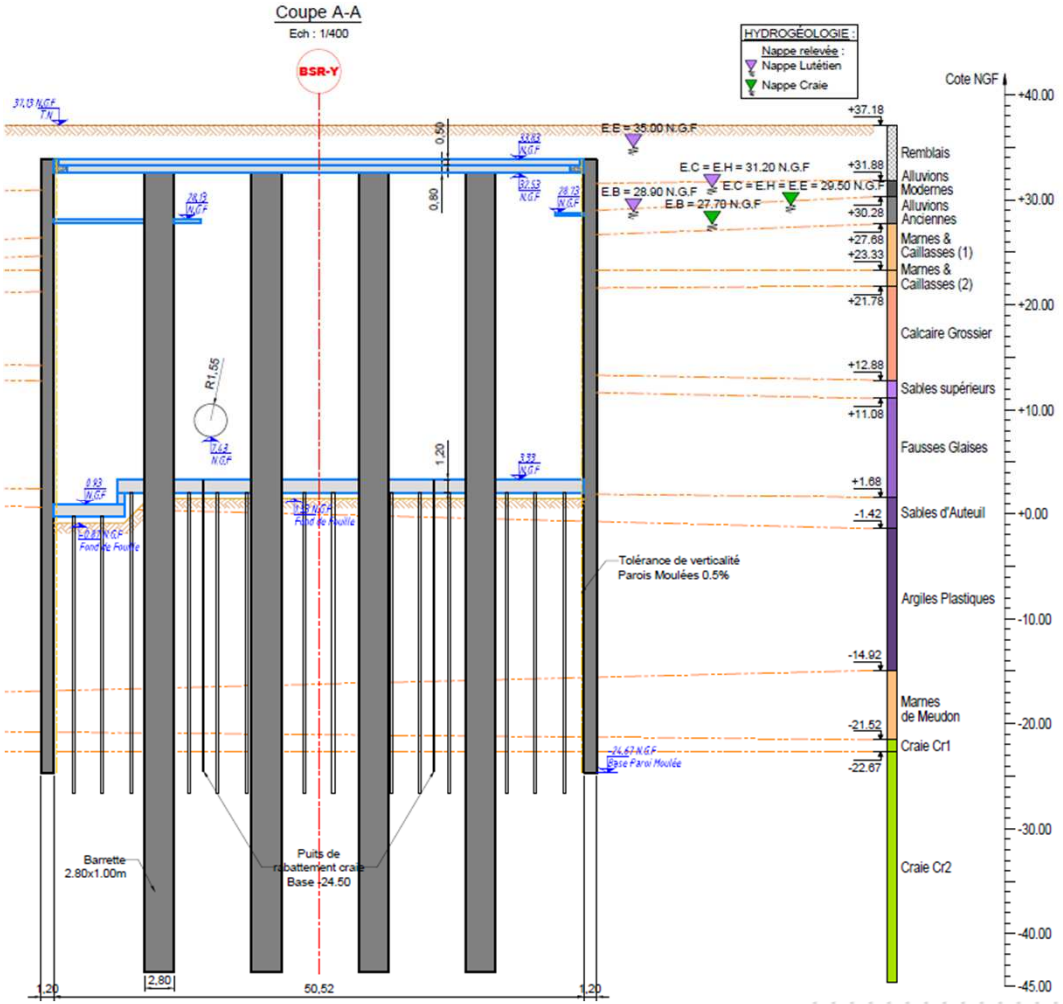
Présentation du projet

Présentation du projet



Présentation du projet
Bassin de 46 000 m³





Problématique structurale :

- Paroi moulée circulaire
- Dalle de couverture, réalisée à la descente

(barrette préfondée)

- Argile plastique susceptible de gonflement

(vide sanitaire)

- Sous pression

(ancrage du radier, conception avec un système mixte de 254 micropieux à 63 m de prof. et 20 barrettes à 80 m de prof.)

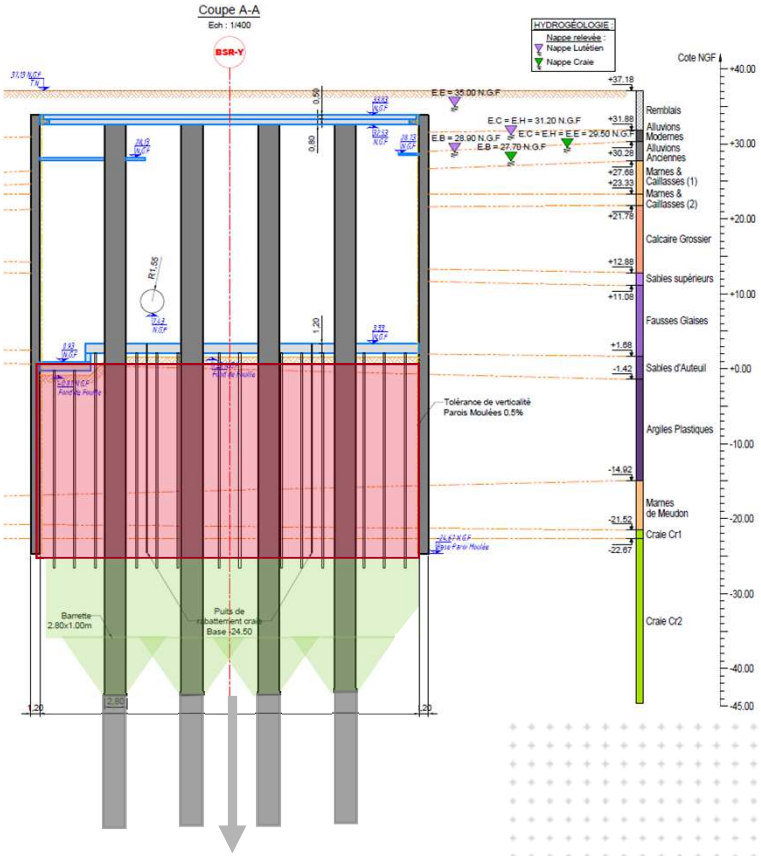
Pourquoi faire un essai sur barrette ?

Rappel Fascicule 62 Titre V : les pieux forés boue ou barrettes ne peuvent fonctionner en traction à l'ELS QP

NF P 94 262 : Il est désormais envisageable d'avoir recours à des pieux ou barrettes pour reprendre des efforts de traction à l'ELS QP :

- S'il n'y a pas d'essai de traction à la rupture, la résistance est limitée à 15% de l'effort ultime de frottement de la fondation
- Avec essai, il est possible d'aller au delà de 15%.Rs (pas de limitation)

➔ Intérêt d'un essai de barrette : pouvoir se servir des barrettes dans la reprise des efforts de sous pression



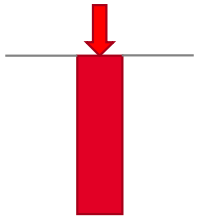
Sans essai : approfondissement tel que la solution n'est plus économique

Travaux pour la réalisation des barrettes

SOLETANCHE BACHY

FUGRO

L’essai O-Cells®



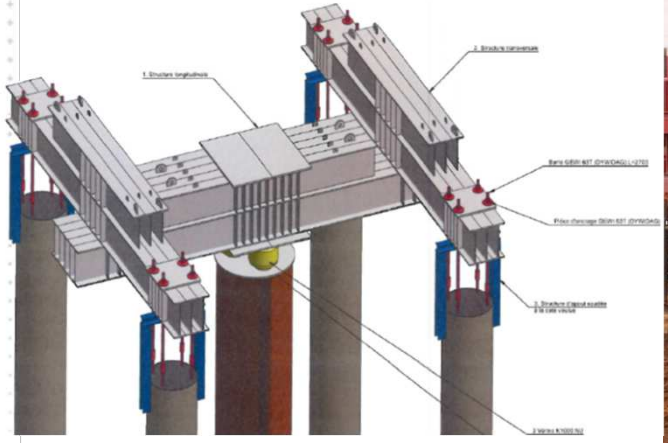
Essai statique – Pieux d'ancrage et/ou massif de réaction

International Commerce Centre – Hong Kong
5 N° Barrettes, F_{max} = 40 MN

Pieux d'ancrage + massif de réaction (poutres en béton)

Montevideo – Uruguay
Φ = 1100mm, F_{max} = 14 MN

Pieux d'ancrage + massif de réaction (poutres en métal)



Pont du Wouri – Cameroun
Φ = 1250mm, F_{max} = 27 MN

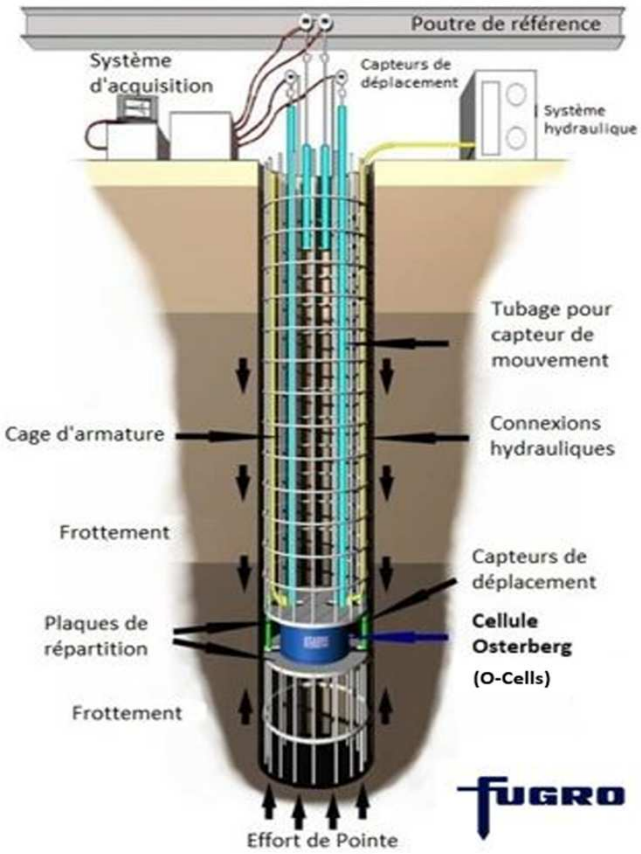
L'essai de chargement bi-directionnel O-Cells ®

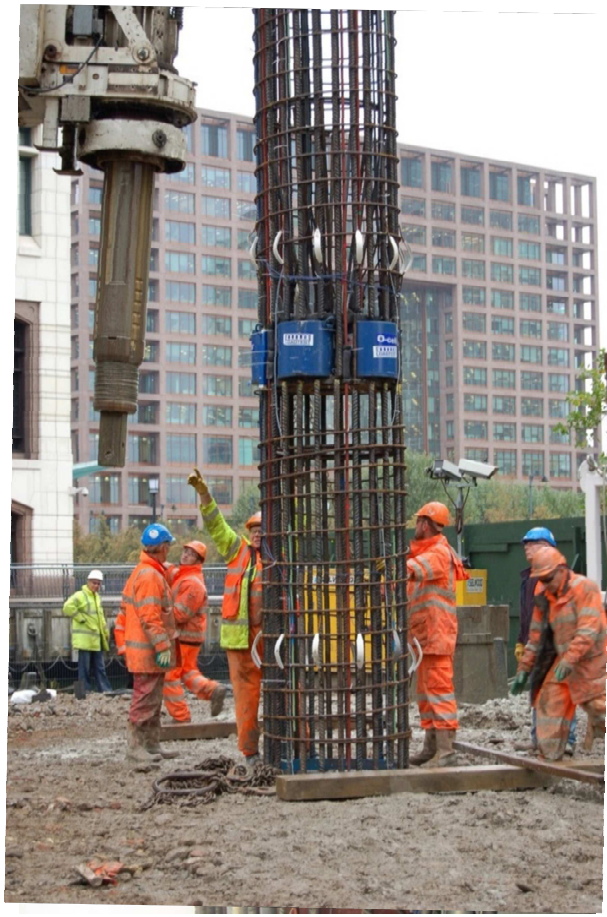
Invention et brevet de la cellule… Osterberg

Prototype en 1984, première application pratique en 1987 (Haley and Aldrich)

LOADTEST créée en 1990 pour exploiter l'utilisation, depuis, plus de 1000 essais a travers le monde.

1915-2008





L’essai de chargement bi-directionnel O-Cells ®

Comparaison des deux dispositifs d’essai

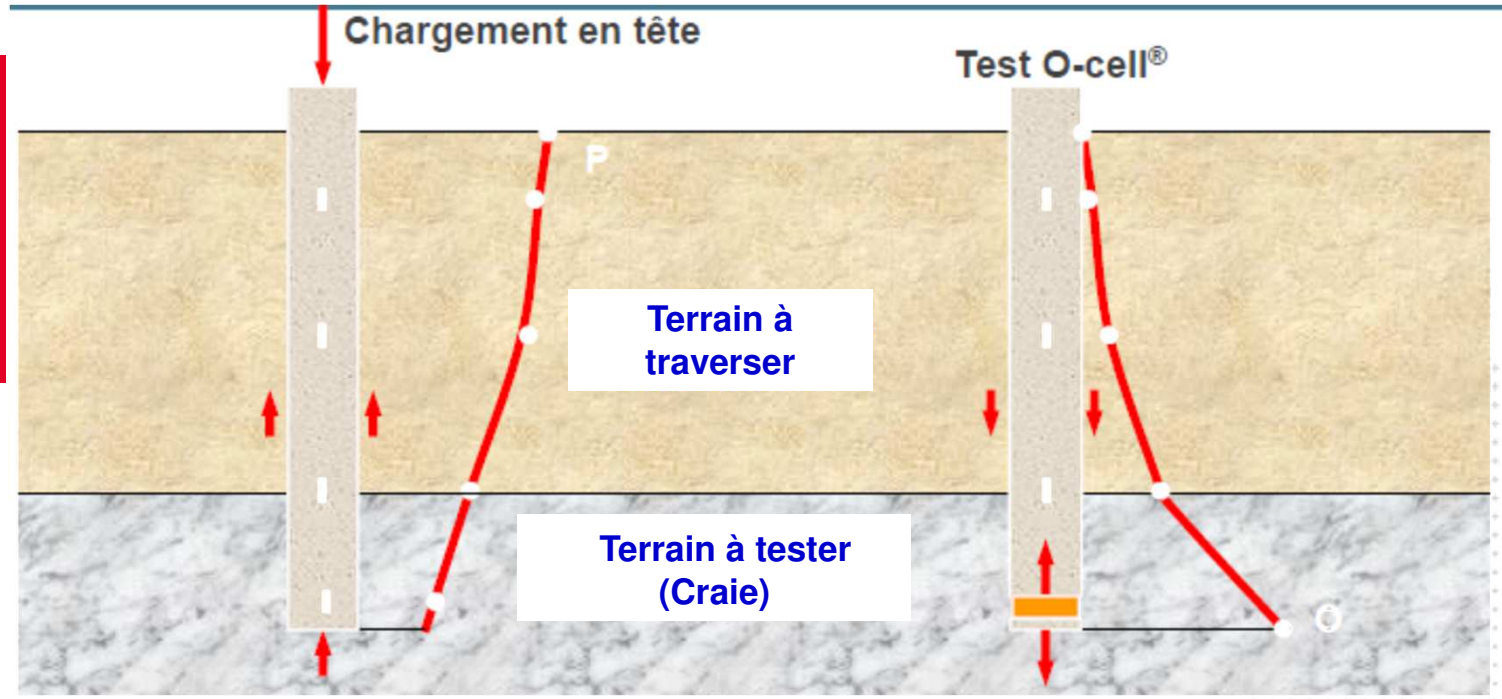
L’essai de chargement bi-directionnel O-Cells ®

La méthode d’essai est reconnue par la norme NE EN ISO 22477-1

L'essai de chargement bi-directionnel O-Cells ®

A cause du massif de réaction en tête , charge d'essai limitée

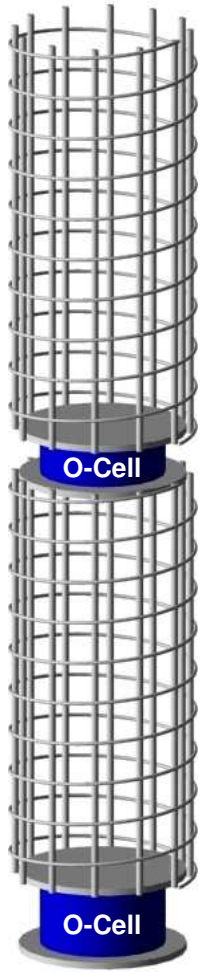
Les vérins embarqués peuvent fournir des efforts plus importants (fonction de la taille de la cage, par exemple 120 MN/face à Dubai).



L'effort en tête sollicite le pieu sur toute sa hauteur. Pour pouvoir solliciter la partie basse, il faut saturer les frottements le long du fût au dessus

Les efforts sont en partie basse du pieu : Meilleures sollicitations de la pointe et des bons sols frottants à tester.

L’essai de chargement bi-directionnel O-Cells ® avec Soletanche Bachy



L’essai Multi-Niveaux permet de caractériser indépendamment des tranches de sol

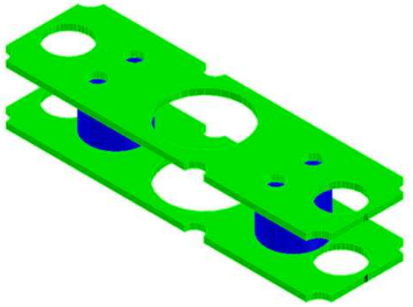
Rex Soletanche Bachy : Dubaï (Creek Tower 3*120MN=360 MN, Entisar,…) ; Maroc (O Tower)

Conception de l'essai de la barrette d'Austerlitz

Choix et position du système de poussée

Principe :

- Estimer l'effort à fournir pour soulever la partie à tester au dessus du vérin (hypoth. Qs optimiste, fort)
- Déterminer la profondeur de la partie sous le vérin servant de réaction à cet effort (hypoth. Qs & pointe faible)
- Choix du système de vérin en fonction de l'effort estimé

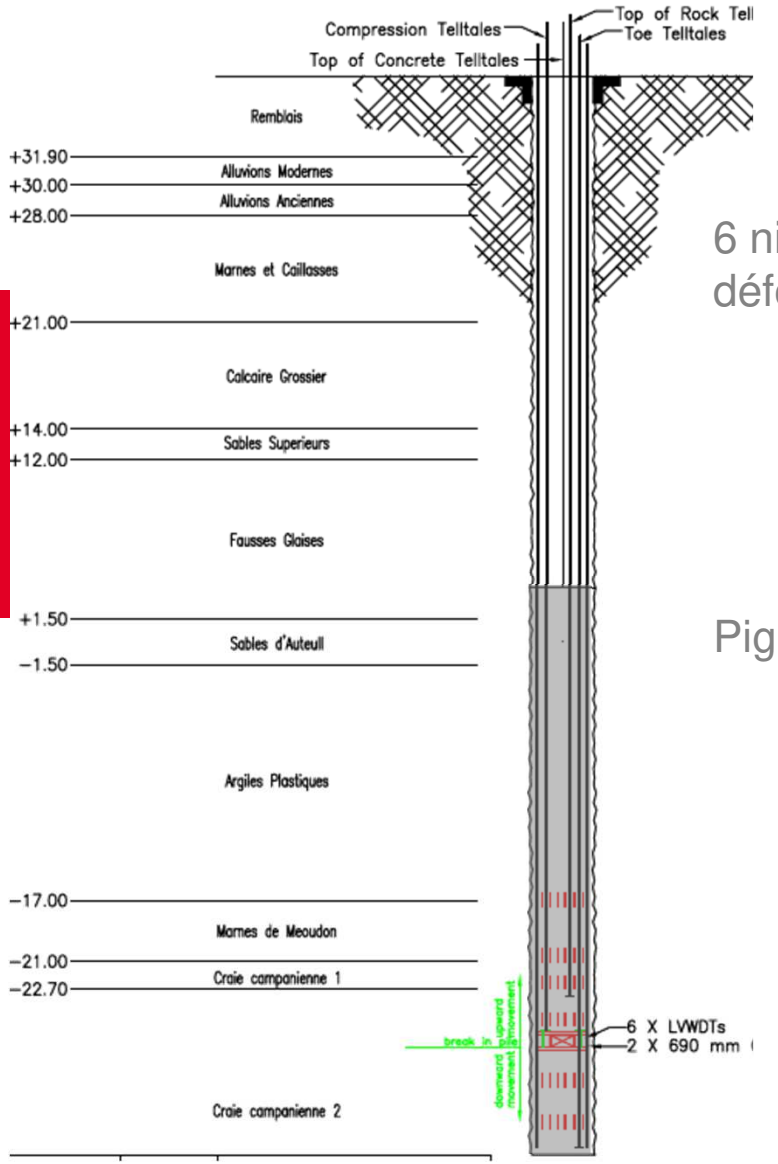


Couche	Elévation de	Elévation à	épaisseur [m]	Poids Pieu [MN]	qs [kPa]	Surface frottante [m²]	frottement total	pointe unitaire [MN]	pointe totale [MN]	configuration
Remblais	37.18	31.90	5.3	0.3	Arase Basse	40.13	0.00			backfill (clean sand)
Alluvions Modernes	31.90	30.00	1.9	0.1		14.44	0.00			
Alluvions Anciennes	30.00	28.00	2.0	0.1		15.20	0.00			
Marnes et Caillasses	28.00	21.00	7.0	0.5		53.20	0.00			
Calcaire Grossier	21.00	14.00	7.0	0.3		53.20	0.00			
Sables Supérieurs	14.00	12.00	2.0	0.1		15.20	0.00			
Fausses Glaises	12.00	3.50	8.5	0.3		64.60	0.00			
Fausses Glaises	3.50	1.50	2.0	0.1	55.0	15.20	0.84			34.19
Sables d'Auteuil	1.50	-1.50	3.0	0.1	90.0	22.80	2.05			
Argiles Plastiques	-1.50	-17.00	15.5	0.6	55.0	117.80	6.48			
Marnes de Meudon	-17.00	-21.00	4.0	0.1	155.0	30.40	4.71			
Craie Campanienne 1	-21.00	-22.70	1.7	0.1	400.0	12.92	5.17			
Craie Campanienne 2	-22.70	-26.70	4.0	0.1	400.0	30.40	12.16			
O-Cell 2*690 mm (>35 MN par face)										↓↑↓↑
Craie Campanienne 2	-26.70	-33.70	7.0	0.3	200.0	53.20	10.64	10.15	28.42	39.06

Diamètre	Charge (par face)
(mm)	(MN)
180	0.92
240	1.85
330	3.85
430	6.37
540	10.10
620	13.98
690	17.69
860	27.39

Conception de l'essai de la barrette d'Austerlitz

Instrumentation



6 niveaux de 6 jauges de déformation en partie basse

- 4 niveaux dans les craies et marnes au dessus des cellules
- 2 niveaux dans les craies sous les cellules

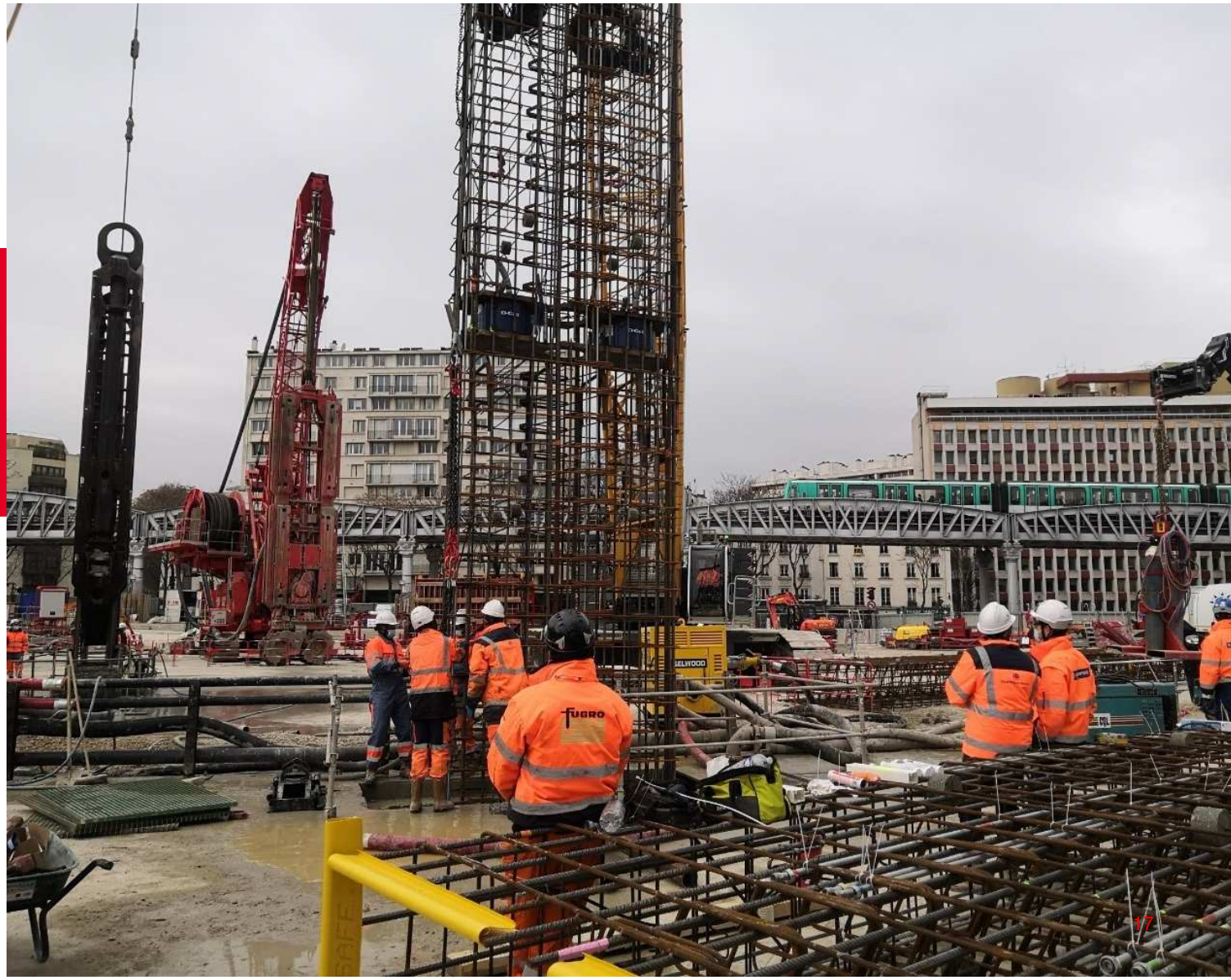
Piges de déplacement vertical

- 4 mesurant l'ouverture des cellules
- 2 mesurant la plaque haute
- 2 mesurant la pointe du pieu
- 2 mesurant la limite haute de la Craie

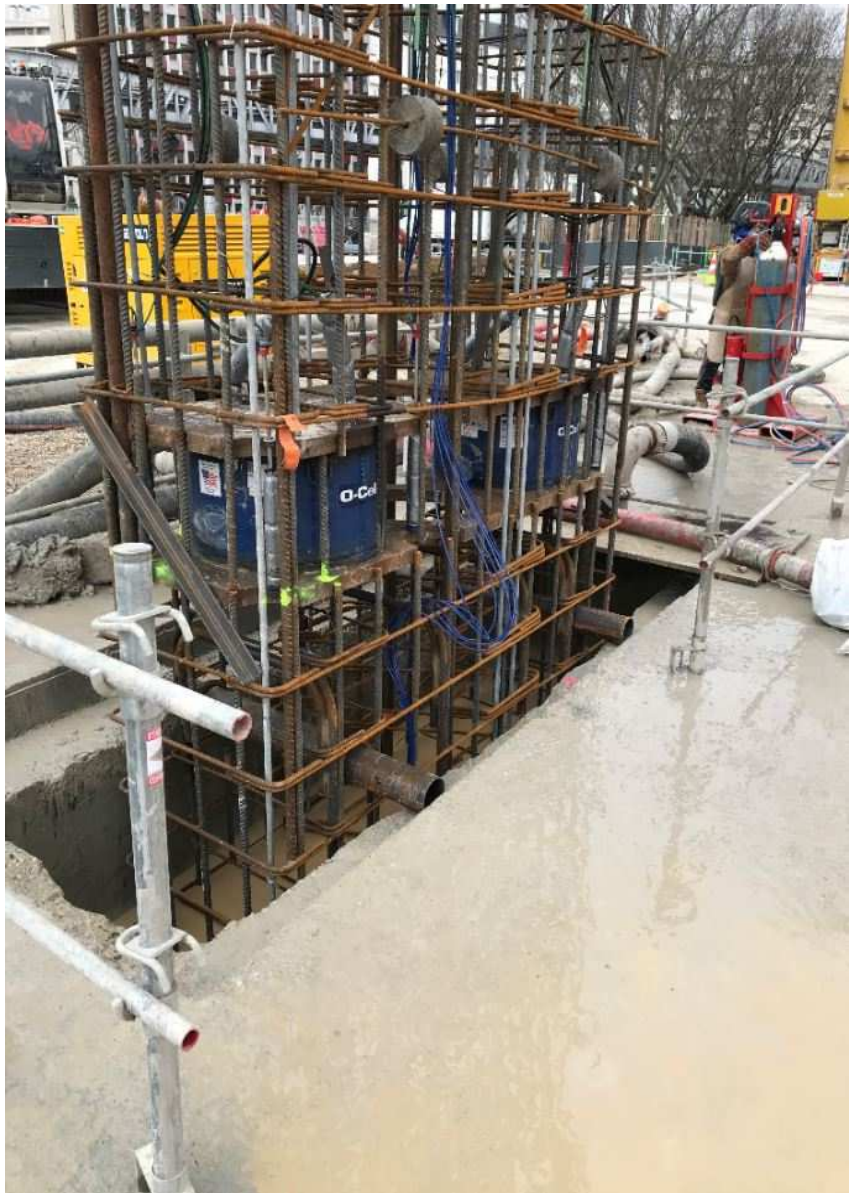
Mise en œuvre de l'essai

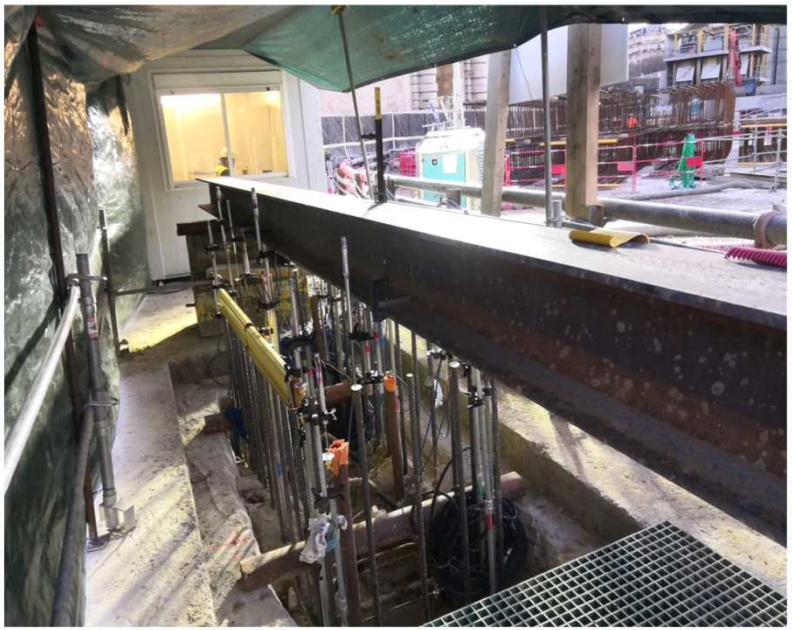
Précaution au niveau Boue / Bétonnage

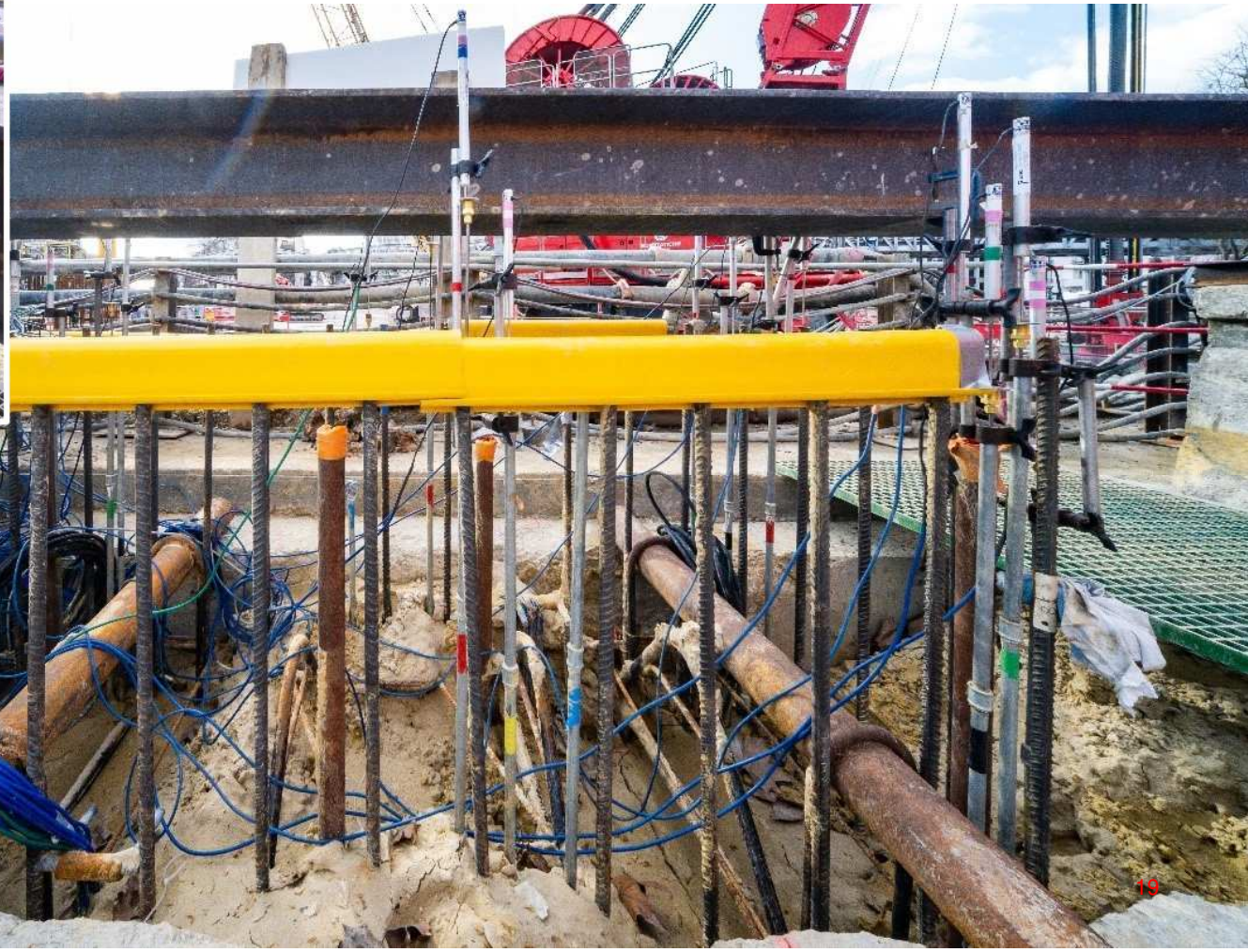
- Plaques ajourées au maximum
- Maitrise de la rhéologie, et formulation du béton
- Cadence de coupure des colonnes de bétonnage
- Précaution sur la partie non bétonnée



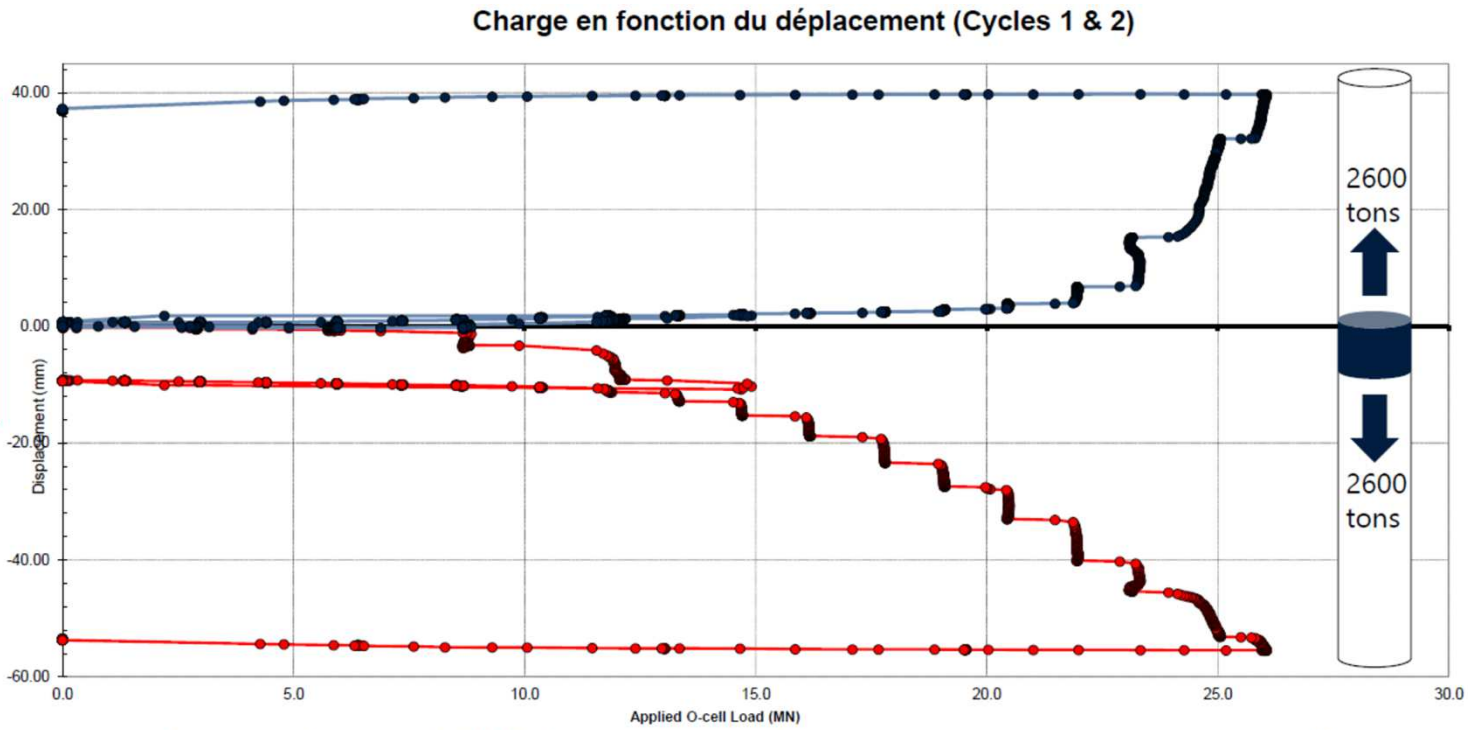
Mise en œuvre de l’essai







Exécution de l'essai

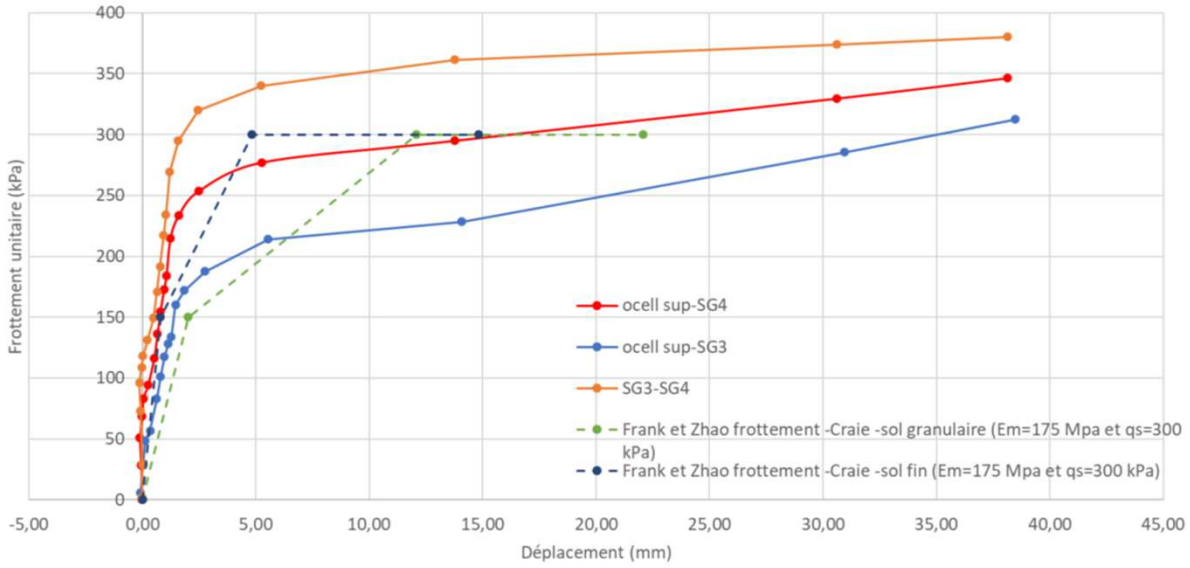


Résultats de l’essai et optimisation du projet

Interprétation de l'essai

Résultats obtenus à partir de l'analyse des jauges de déformation :

- Les jauges de déformation sont analysées de manière traditionnelle (Norme NF-P94-150 & NF EN ISO 22477)
- Etablissement de la courbe de mobilisation du frottement latéral en fonction du déplacement relatif du pieu.



Travail à partir des piges de déplacements :

- Reboucler et consolider l'analyse faite à partir des jauges

Frottement moyen mobilisé par l'essai sur la hauteur de la barrette au-dessus des cellules O-Cells

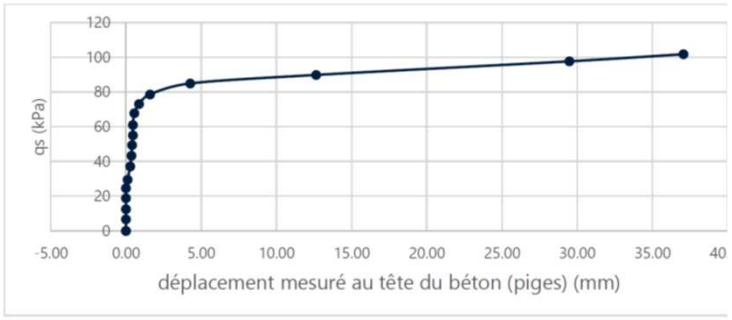


Figure 7 : frottement moyen mobilisé sur les 31,9 m de barrette au-dessus des Cellules O-Cell

Valeur de qs retenue

Stratigraphie	Elévation [m NGF]		Epaisseur (m)	Frottement qs considéré [kPa] et déduit des jauges en retenant les valeurs basses dans la craie	Frottement qs considéré [kPa] et déduit des jauges en retenant les valeurs moyennes dans la craie
	De	À			
Marnes de Meudon	-17.00	-21.00	4	208	190
Craie Campanienne 1	-21.00	-22.70	1.7	265	300
Craie Campanienne 2	-22.70	-33.70	11	265	300

8.5 **BORED PILES: SHAFT RESISTANCE**

8.5.1 **Previous design procedures**

The relationship between SPT *N* value and ultimate shaft resistance put forward by Hobbs and Healy (1979) is shown in Figure 8.2. They had few case histories to rely upon, with only one of low ($N \approx 10$) blowcount; and considerable weight was given to the "plug" tests carried out by Palmer (1966 and 1976) at Purfleet and Grays in a variety of chalk types. The results from more case histories are now available. These have been added to the Hobbs and Healy ones in Figure 8.2, a plot that updates Lord's (1990) when he concluded that the shaft resistance of bored piles in chalk ought not to be related solely to SPT *N* values. Thus a different design approach was considered necessary.

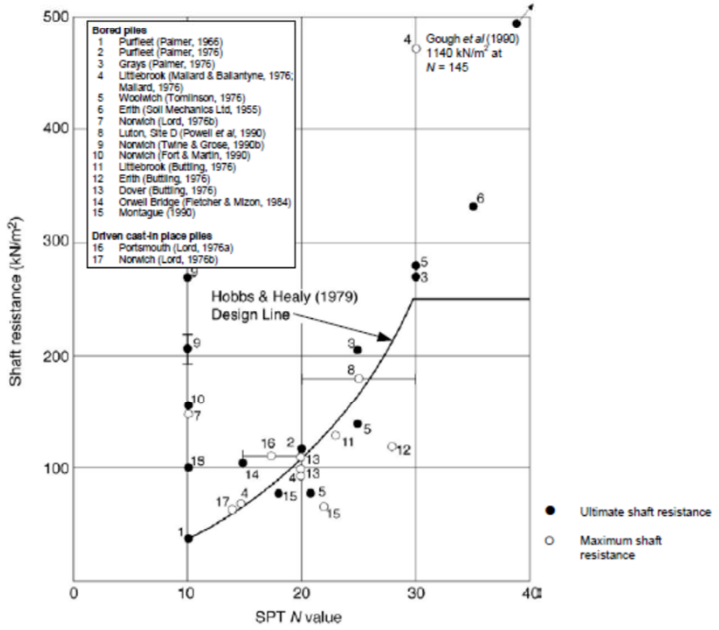


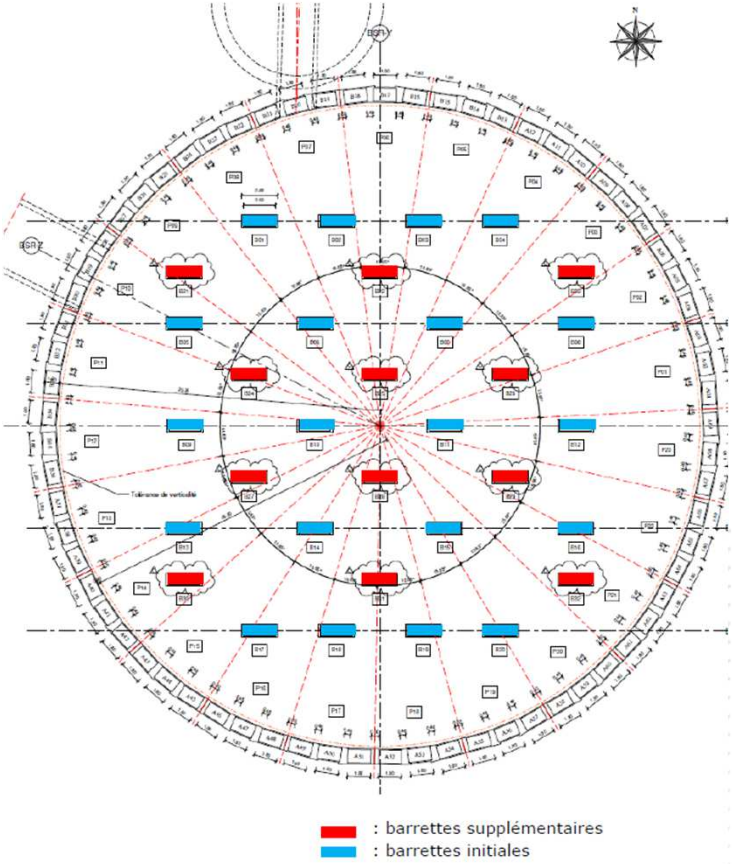
Figure 8.2 *Ultimate and maximum shaft resistances for some bored and driven cast-in-place piles*

Evolution du projet

Compte tenu des bons résultats, il a été envisagé initialement de ne maintenir qu'uniquement les 20 barrettes (suppression des 254 micropieux) :

- Mise à jour des raideurs de barrette et nouvelle descente de charge étudiée
- 17MN à l'ELS QP (yc gonflement des argiles), conduisant à un taux de ferraillage bien trop fort (contrainte limitée à 600.wk=120 Mpa_maitrise de la fissuration) supérieur à 4%
- Conséquence aussi sur le radier (épaississement de plusieurs dm)

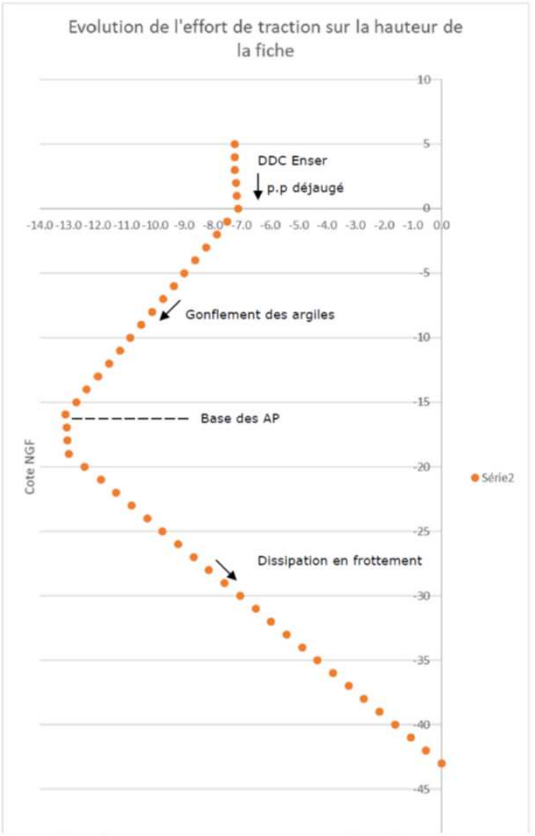
➔ Proposition de suppression de micropieux mais ajout de 12 barrettes en arase basse, positionnées afin de réduire aussi la flexion dans le radier

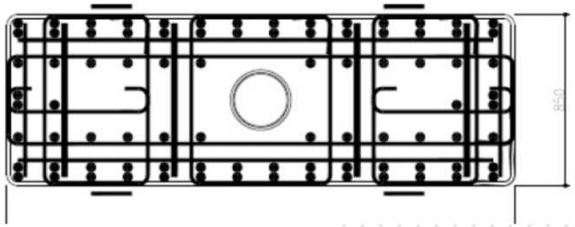


Projet final

: barrettes du noyau central : fiche à -43 NGF

: barrettes périphériques : fiche à -40 NGF





Conclusions

Les apports de l'essai

Une **solution technique d'ancrage du radier plus robuste**, en passant d'une solution mixte micropieux / barrettes à un mode de fondation uniquement en barrette : le dimensionnement du radier n'est plus soumis à l'évaluation délicate des raideurs relatives des appuis

(+ Un complément de connaissance sur la craie campanienne)

Un gain en terme de quantité (gain économique et environnemental)

- **Sur les barrettes :** raccourcissement possible
- Sur les micropieux puisque les 254 micropieux sont supprimés

Un **gain sur le planning de l'opération**

Un contexte favorable à une démarche d'optimisation

- **TECHNIQUE** :
  - Nécessité de réaliser la dalle de couverture à la descente : volonté d'utiliser les préfondés en phase définitive
  - Une technique d'essai (vérin embarqué O-Cells ®) maitrisée permettant de tester à grande profondeur (pas de problématique de longueur libre) des fondations sous forte charge d'essai
- Contexte **REGLEMENTAIRE** favorisant la réalisation d'essai
- **PLANNING** de l'opération favorable avec une optimisation des A/R nécessaire : barrette d'essai, puis paroi moulée du bassin laissant le temps au processus étude, puis réalisation des barrettes de fondation sans interruption de travaux)
- L'essai est **PREVU AU MARCHE**, la démarche d'ajustement / optimisation du dimensionnement est attendue et partagée par les différents acteurs

SOLETANCHE BACHY

FUGRO

Questions