



Association régie par la loi  
du 1.07.1901

---

Comité Français de Mécanique des Sols  
et de Géotechnique

---

# Rôle du géotechnicien dans les réhabilitations d'ouvrages

3 décembre 2014

**Stéphane CURTIL**

**PARIS**

168/172 boulevard de Verdun

92408 Courbevoie Cedex

Tél. +33 1 49 04 68 10

@ geos.idf@geos.fr



## Confortement – Réhabilitation – Sous-œuvre

- Confortement : après un désordre
  - Il faut plus de sécurité **sans avoir à améliorer les capacités de l'ouvrage**
  - Mais il y a un REX important : la rupture ou la matérialisation du désordre par des déformations : ouvre la possibilité aux rétro-analyses
- Réhabilitation / reprise en sous-œuvre des ouvrages :
  - Améliorer le comportement,
  - Augmenter la capacité de l'ouvrage,
  - Accompagner un agrandissement de l'ouvrage, un changement de destination,
  - Adapter à une nouvelle réglementation.

➡ Dans les deux cas : amélioration de la capacité des ouvrages % état initial

➡ Rôle déterminant du géotechnicien qui peut :

- Anticiper les problématiques techniques et de délai,
- Etre perçu comme le responsable des surcoûts alors que sa mission n'est pas nécessairement bien intégrée dans le processus de conception.

## « CONFORTEMENT ET RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES » ?

- Nombreux projets de réhabilitation :
  - IGH : Tour CB31 à la Défense
  - Bâtiments publics
  - Surface commerciale
  - Bâtiments d'habitation / mixtes
  
- Nombreux projets d'extension de capacité
  - Autoroutes de 2 à 3 voies : A8 (Marseille), A9 (Perpignan)
  
- Concilier économie et conception environnementale
  - La déconstruction – reconstruction :
    - Produit des déchets, à transporter et éliminer
    - Coût plus important
  - Le réemploi s'inscrit dans une démarche de conception environnementale

## RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES

**Les principales étapes :**

**Recherche des études d'origine**

- **Rarement disponibles, souvent incomplètes**

## RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES

### Les principales étapes :

Recherche des études d'origine

**Recherche des plans de récolement**

➤ Rarement disponibles

➤ Les plans de PROJET sont souvent les seuls documents disponibles

## RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES

### Les principales étapes :

- Recherche des études d'origine
- Recherche des plans de récolement
- Reconstitution de la géométrie des fondations**
  - Archives
  - Sondages, géophysique

## RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES

### Les principales étapes :

- Recherche des études d'origine
- Recherche des plans de récolement
- Reconstitution de la géométrie des fondations

### Reconstitution de la géologie

- Archives
- Sondages de toutes natures

## RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES

### Les principales étapes :

- Recherche des études d'origine
- Recherche des plans de récolement
- Reconstitution de la géométrie des fondations
- Reconstitution de la géologie
- Définition des caractéristiques mécaniques**
  - **Rapports géotechniques anciens**
  - **Sondages avec essais in situ, essais en laboratoire**
  - **Vérification de la cohérence géologique et géotechnique**

## RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES

### Les principales étapes :

- Recherche des données d'origine : études, plans
- Reconstitution de la géologie
- Définition des caractéristiques mécaniques
- Vérification selon la réglementation actuelle**
  - « L'étape oubliée » des études d'esquisse / de faisabilité
  - « Il n'y a pas de désordres » ne veut pas dire « Les fondations sont réglementaires »
  - Evolution de la réglementation de calcul, en particulier pour les pieux : valeurs de  $k_p$

**Les capacités portantes attendues peuvent ne pas être au rendez-vous**

## RÉUTILISATION DE FONDATIONS EXISTANTES

### Les principales étapes :

- Recherche des données d'origine : études, plans
- Reconstitution de la géologie
- Définition des caractéristiques mécaniques
- Vérification selon la réglementation actuelle

### Redimensionnement sous de nouvelles charges

#### ➤ Optimisation des calculs de capacité portante

- Augmentation du niveau de connaissance géologique, géotechnique
- Recueil de données pour réduction des aléas et risques mais également pour l'optimisation des dimensionnements

#### ➤ Conception des renforcements de fondations

**La connaissance géologique joue un rôle déterminant**

## CETTE DÉMARCHE CLASSIQUE ET GLOBALE EST À ADAPTER AUX SITUATIONS TECHNIQUES

- Ouvrage avec sinistre :
  - Cas assez simple car il faut uniquement réparer l'ouvrage sans en changer sa destination
  - Les enjeux financiers existent... mais c'est l'ouvrage qui est la préoccupation
  
- Réhabilitation :
  - Cas souvent rendu complexe par l'ambition des projets
  - Apparaît un enjeu fort : l'exploitation économique de nouvelles capacités

## ADAPTATION DU RÔLE DU GÉOTECHNICIEN

La mission du géotechnicien est rendue complexe par :

- Les engagements économiques pris à l'amont des projets qui n'ont pas intégré les coûts géotechniques
- L'évolution future de l'ouvrage (qui n'est pas toujours totalement figée)
- La mobilisation souvent tardive du géotechnicien
- L'évolution de la réglementation depuis la construction qui n'est pas prise en compte : DDC des plans d'archive qui « n'existe plus »
- La définition d'un niveau de sécurité acceptable pour le MOA :
  - Importance des échanges avec le MOA,
  - Importance de la mobilisation anticipée du contrôleur technique et des assureurs du géotechnicien, du MOA et de l'Entreprise ensuite
- La difficulté d'accès aux données historiques sur la conception et le comportement de l'ouvrage

## ADAPTATION DU RÔLE DU GÉOTECHNICIEN

La mission du géotechnicien est rendue complexe par :

- La vie passée de l'ouvrage : a-t-il connu la descente de charges pour laquelle il a été conçu ?
  - Bassin rempli 2 fois en 10 ans sans que les tassements aient été acquis
  - Descente de charges jamais appliquée
- Les modes de dévolution des marchés :
  - MOE classique
  - MOA superposés
  - Marché de conception – construction
  - Vente de droit à construire / de capacité portante : risque avéré de vendre ce que l'on n'a pas

➔ Intervention à tous les stades de l'opération : diagnostic, conception, exécution avec transfert/partage de responsabilité avec le constructeur

## LE RÔLE DU GÉOTECHNICIEN

- Réduire les aléas et fiabiliser le projet : **possible s'il intervient dès les phases de faisabilité du projet**, ensuite il a souvent un rôle curatif plus que préventif
- Jouer un rôle d'historien de la construction de l'ouvrage
  - Géométrie des ouvrages,
  - Technique de construction probable : bibliographie,
- Etablir un diagnostic précoce des aléas et des risques
  - Risques géotechniques
  - Risques économiques
  - Analyse des scénarii de fondation possibles de l'ouvrage
  - Définition des recueils de données à prévoir (Sondages géotechniques, Sondages d'identification des fondations)
- Accompagner le développement du projet

## LES ALÉAS DE LA MISSION DU GÉOTECHNICIEN

- Les aléas administratifs
  - Le stade d'avancement du projet au moment de sa mobilisation : souvent trop tardive
  - La multiplicité des maîtres d'ouvrage sur un même site / même ouvrage : exemple du projet Macdonald
  - Enjeux d'assurance : exemple de la zone du Grand Littoral à Marseille
  - L'avis du MOE / du contrôleur technique : problème de compétence car le MOA ne mobilise pas nécessairement les bons interlocuteurs pour son ouvrage
  - La responsabilité du géotechnicien qui doit être partagée :
    - Concepteur
    - Constructeur
    - Contrôleur

## LES ALÉAS DE LA MISSION DU GÉOTECHNICIEN

### ▫ Les aléas techniques

- Absence de dossier de récolement
- Ouvrages non conformes au DOE, quand il y en a un
- Rencontre de configurations non décrites, non attendues
- Mauvaise appréciation générale de l'ouvrage ancien et de son comportement
- Découverte d'un aléa non identifié jusqu'alors sous l'ouvrage : par exemple un karst sous OA en élargissement d'autoroute
- Construction de nouveaux avoisinants à l'ouvrage après son édification : efforts parasites non pris en compte dans l'ouvrage existant

## EN RÉHABILITATION LE GÉOTECHNICIEN DOIT COMPOSER AVEC :

- Un site et des sols comme sur un ouvrage neuf
- Des ouvrages anciens enterrés, peu connus et mal définis
- Des données d'archives partielles, souvent inexactes ou absentes
- Des engagements économiques des maîtres d'ouvrages
- Des problématiques d'assurance et de responsabilité transversale
- Des fondations généralement non conformes aux réglementations en vigueur
- Des conditions particulières d'exécution des travaux en site contraint

➡ Le géotechnicien doit anticiper, composer et s'adapter

## LE GÉOTECHNICIEN DOIT S'ADAPTER A DES SITUATIONS VARIÉES :

Les missions du géotechnicien sont souvent singulières :

- Phase d'intervention et périmètre donné au géotechnicien
- Type de marché, de procédure
- Nombre de maîtres d'ouvrage
- Se transformer en historien-bibliothécaire et graphologue ? → Université de Jussieu et POPB Bercy
- Assumer toute la responsabilité géotechnique → Soufflerie ONERA
- Palier tous les aléas du projet
  - **Absence d'étude de faisabilité**
  - **Vente de capacité portante**
  - **Coûts géotechniques non anticipés**
  - **Assurance du MOA non préparée**
  - **Optimisation collaborative**
- Déroger à la réglementation → Extension Vélizy II
- Détecter les erreurs de conception → Mur Montmartre

} Bâtiment Macdonald

## LE GÉOTECHNICIEN : HISTORIEN ET GRAPHOLOGUE ?

- **Jussieu Est** : Rechargement de fondations de 0 à 22% : réutiliser et minimiser les reprises
  - Ancien canal d'irrigation au Moyen-âge
  - Fondations d'ouvrages anciens
  - Zone industrielle jusque dans les années 50 avec réseaux maçonnés enterrés



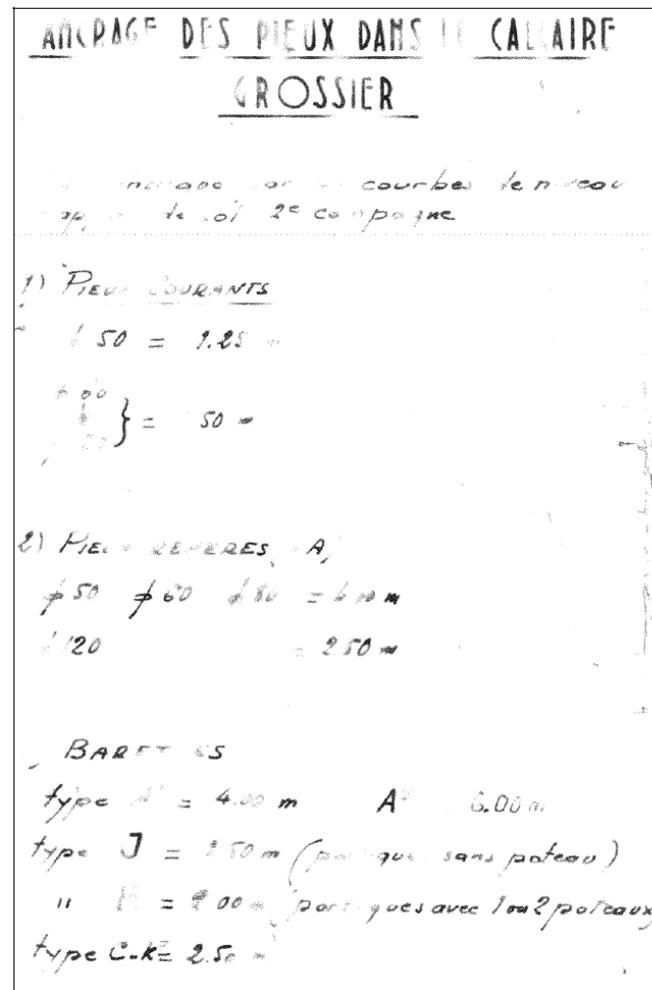
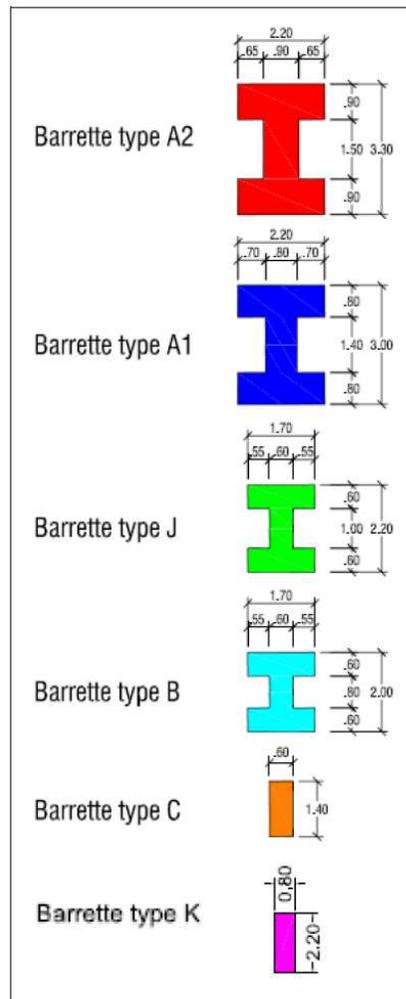
## LE GÉOTECHNICIEN : HISTORIEN ET GRAPHOLOGUE ?

- **Jussieu Est** : Quelles méthodes de construction de l'existant
  - Fondations profondes de type pieux forés-tubés béton ?  
Longueur forfaitaire constante sur tout le site ?  
Ancrage constant dans le Calcaire ? Quel  $k_p$  ?  
Critère mécanique (« refus »)



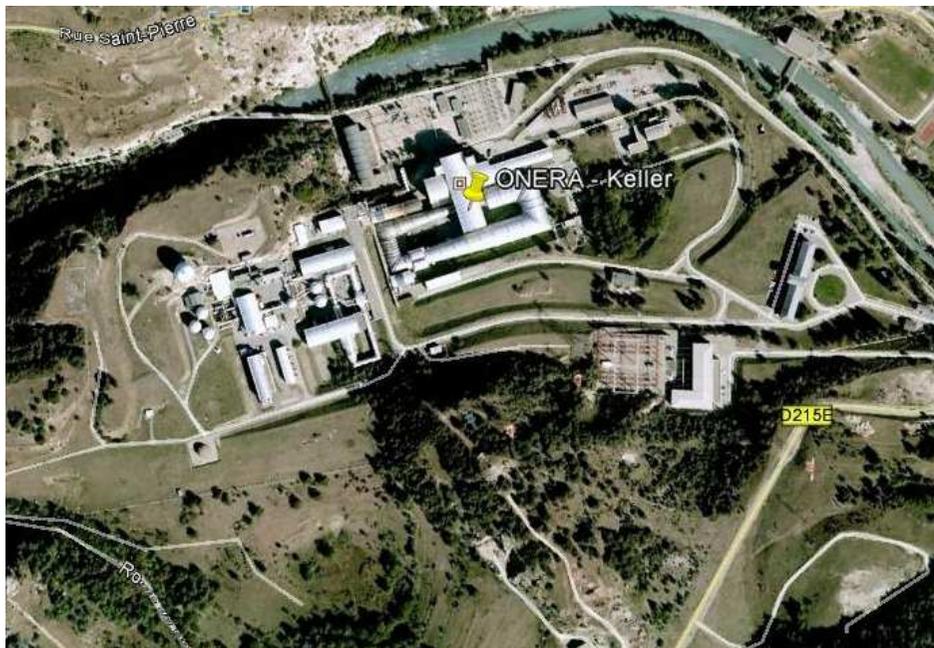
## LE GÉOTECHNICIEN : HISTORIEN ET GRAPHOLOGUE ?

- **BOPB Bercy** : quelles fondations, pieux, barrettes, où ?



## LE GÉOTECHNICIEN SEUL RESPONSABLE :

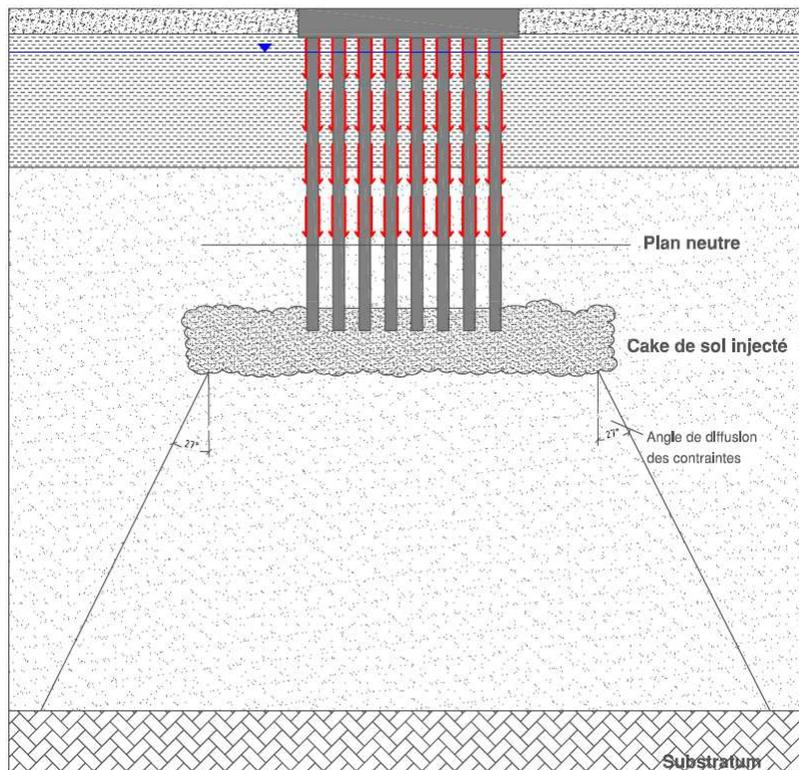
- **Soufflerie de l'ONERA (Modane) :**
  - Sinistre de tassement en cours depuis de nombreuses années
  - Fondations profondes par pieux
  - Appel d'offre de conception-construction
  - Rôle du géotechnicien : Entreprise / AMO



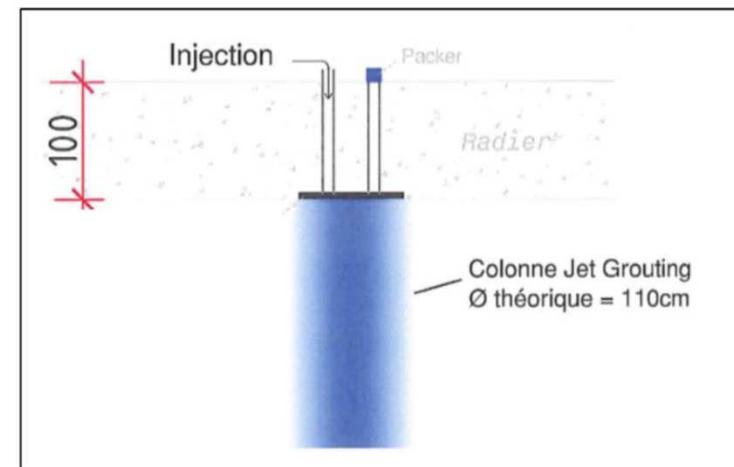
## LE GÉOTECHNICIEN SEUL RESPONSABLE :

- **Soufflerie de l'ONERA** : le géotechnicien force de proposition

### Augmentation de la capacité en pointe des pieux anciens



### Mise en charge des colonnes de JG sous le radier



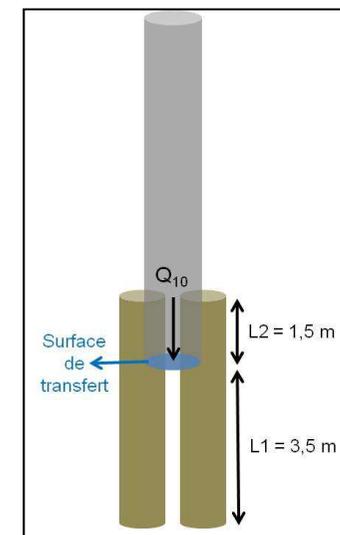
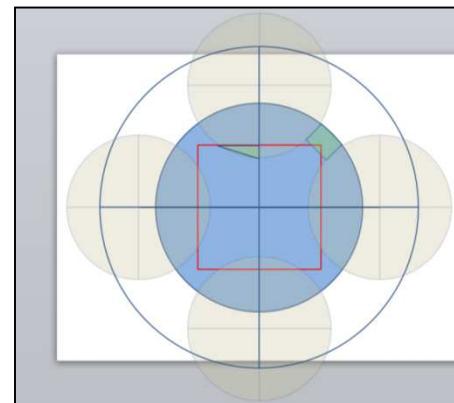
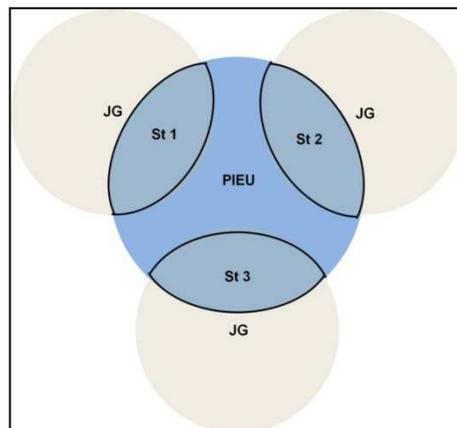
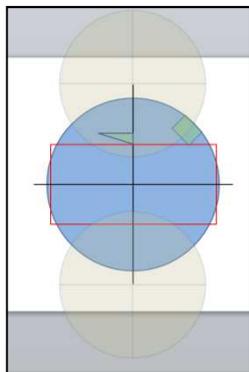
## LE CUMUL DES ALÉAS ET ERREURS → Bâtiment Bd Macdonald

- L'histoire commence avec plusieurs MOA et plusieurs MOE
- Mais sans pilotage technique global : il y a un trou dans la raquette
- Le MOA du bas a vendu de la capacité portante à celui du haut
- Mais sans étude de faisabilité : juste en regardant les plans



## LE CUMUL DES ALÉAS ET ERREURS → Bâtiment Bd Macdonald

- Les marchés de GC sont en cours d'être passés quand la mission géotechnique « fondations » débute
  - Etude des capacités portantes actuelles : 1300 / 1400 / 1600
  - Reconnaissance des sols et des fondations :  $p_{l_{\text{Beauchamp}}} : 2,6 \text{ MPa}$
  - Ébauche de solution technique : renforcement par jet-grouting
- Estimation préliminaire du surcoût à 10 M€
- Validation de la solution technique et consultation

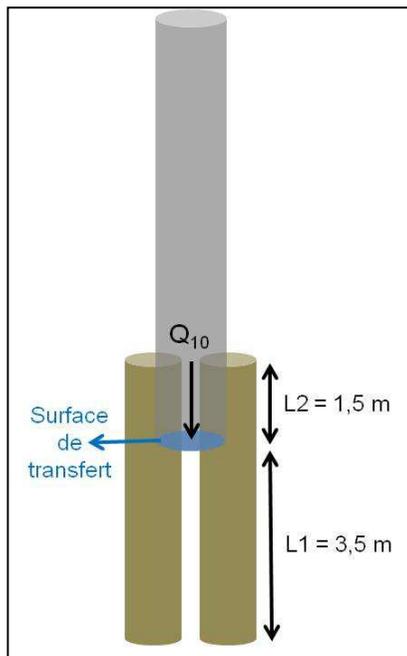


## LE CUMUL DES ALÉAS ET ERREURS → Bâtiment Bd Macdonald

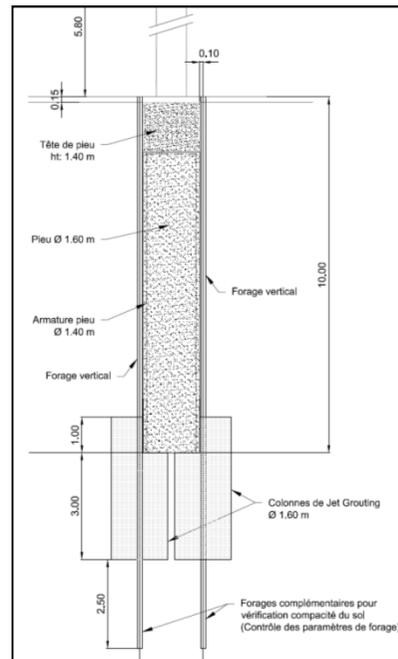
- Recherche d'optimisations dans un délai très réduit : la résistance des sols
  - Négociation pour une nouvelle campagne de reconnaissances de sols pendant la consultation des Entreprises de travaux spéciaux
  - Attribution au mieux disant (+20 k€ % 150 k€) : essais optimisés :  
 $p_{l_{\text{Beauchamp}}} : 3,5 \text{ MPa}$
  
- Adaptation du CCTP en cours de consultation et négociation
  - Nouvelle synthèse du géotechnicien du MOE
  - Estimation affinée des quantités par le géotechnicien et le MOE
  - Introduction d'une clause de partage des gains MOA / Entreprise à hauteur de 30% des gains par rapport au DQE

## LE CUMUL DES ALÉAS ET ERREURS → Bâtiment Bd Macdonald

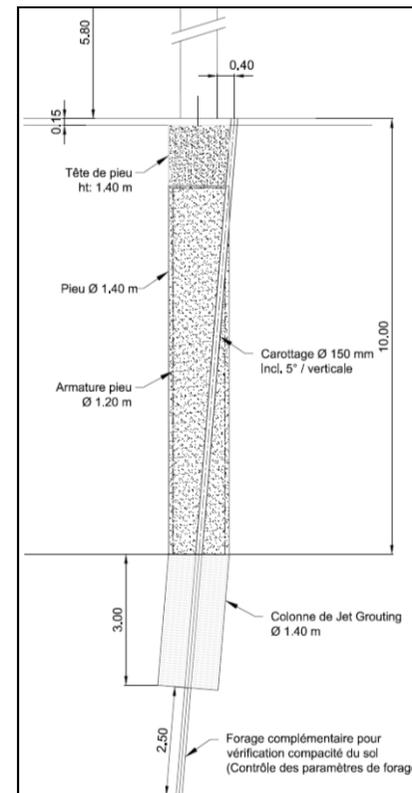
- Offre financière à hauteur de 8 M€ avec variante des Entreprises, validée par le géotechnicien du MOE



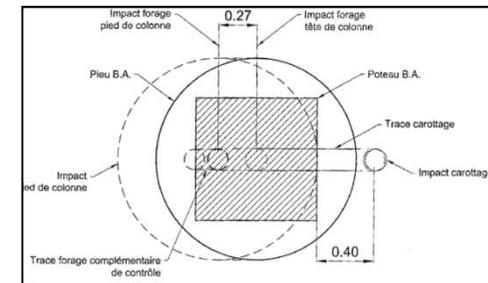
Solution du MOE



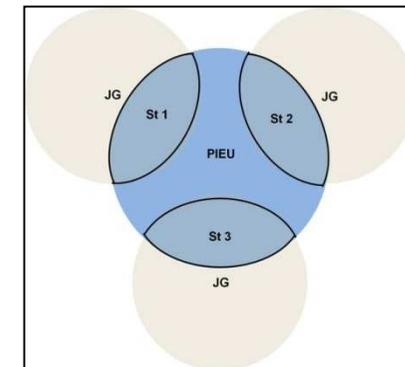
Exécution



Exécution



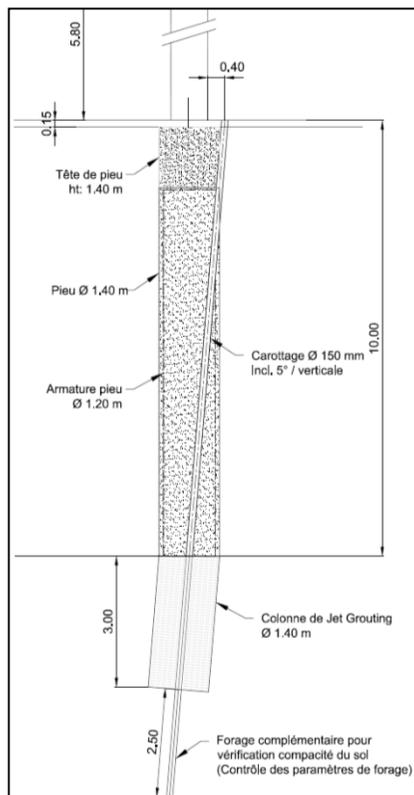
Exécution



Solution du MOE

## LE CUMUL DES ALÉAS ET ERREURS → Bâtiment Bd Macdonald

- Offre financière à hauteur de 8 M€ avec variante des Entreprises, validée par le géotechnicien du MOE



## LE CUMUL DES ALÉAS ET ERREURS → Bâtiment Bd Macdonald

- Assurance du MOA non prévue : participation du géotechnicien avant et pendant les travaux pour convaincre de la fiabilité de la technique
- Suivi et accompagnement des travaux + instrumentation
- Atterrissage des travaux à environ 1,8 M€ sous le budget de l'offre.

➔ **UN COÛT GÉOTECHNIQUE NON ANTICIPÉ**

➔ **UNE OPTIMISATION GÉOTECHNIQUE COLLABORATIVE**

➔ **UN CONTRAT « GAGNANT-GAGNANT » QUI A PERMIS DE LIMITER L'IMPACT FINANCIER**

**DÉROGER À LA RÉGLEMENTATION**

→ Extension Vélizy II



- Renforcement de pieux 400 à 800 par micropieux
  - Analyse du comportement des fondations renforcées
    - Approche théorique : fondations de raideurs différentes
    - Phasage de rechargement :
      - Fondations déjà chargées : ouvrage ancien
      - Fondations de renforcement : non chargées avant construction
- ➔ **Modèle géotechnique lié à la géologie et à la stratigraphie, adapté à chaque zone du projet**

- Dimensionnement initial des fondations existantes
    - Les charges de service existantes dépassaient la capacité portante des pieux en place ( $k_p$  et  $q_s$  surestimés)
    - Quelles limites acceptables de dépassement de l'ELS pour un projet déjà construit ? Limites en tassement ?
- Qui doit porter la décision de dérogation ?**
- Échange avec le bureau de contrôle / le MOA**

# Réhabilitation et confortement d'ouvrages : Rôle du géotechnicien

## □ Etape 1 : Calculs théoriques

### ZONE E - J

Pieux existants			Diamètre	EI	Longueur	Tête de pieux		Descente de charges 1986 (ELS)	Descente de charges actuelles après démolition (ELS)	Descente de charges futures (ELS)	Charge verticale due au vent F (ELS)	Supplément de charge entre état actuel et état futur	Epaisseur dans les argiles à Meulière qs = 60 kPa	Epaisseur dans les sables fins argileux qs = 120 kPa	Epaisseur dans les sables fins qs = 120 kPa	Omax béton (5 MPa)	Capacité portante DTU 13.2		Dépassement actuel à l'ELS
File	s	N°				ELS	ELU										[%]		
			[m]	[kNm²]	[m]	[NGF]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[%]
E	12	3	0.50	31907	7.1	166.5	90	90	144	2.1	56	3.43	3.60	0.07	982	958	1445	-6	
F	12	10	0.60	66162	7.0	166.3	156	156	271	1.1	116	3.23	3.60	0.17	1414	1258	1897	24	
G	11	14	0.60	66162	6.8	165.1	107	57	215	0.7	159	2.00	3.60	1.20	1414	1305	1968	-56	
G	12	15	0.70	122573	7.0	166.3	194	194	203	1.0	10	3.23	3.60	0.17	1924	1594	2405	22	
H	11	21	0.70	122573	7.1	166.5	0	0	193	0.7	194	3.40	3.60	0.10	1924	1596	2408	-100	
H	12	22	0.70	122573	7.0	166.3	0	0	193	1.4	194	3.20	3.60	0.20	1924	1596	2408	-100	
H	13	23	0.70	122573	7.1	166.5	0	0	193	2.1	195	3.40	3.60	0.10	1924	1596	2408	-100	
H	14	24	0.70	122573	7.0	166.5	0	0	193	1.4	194	3.40	3.60	0.00	1924	1583	2388	-100	

# Réhabilitation et confortement d'ouvrages : Rôle du géotechnicien

## Etape 2 : Calculs numériques itératifs

### Pieu existant

### Micropieu

### Fondation mixte

FOXTA - Taspie	Número d'affaire : 23111	FOXTA - Taspie	Número d'affaire : 23111	FOXTA - Groupie	Número d'affaire : 23111																																																																																																																																													
<p>Programme YACPIE</p> <p>FS12 Micropieu 13, 250 mm Tôle</p> <p>Caractéristiques du pieu :                      module E = 0.190E+08                      diamètre équivalent (section) = 0.300                      (centimètre) = 0.300                      angle par rapport à la verticale = 0.000                      mise en place sans renfortement</p> <p>Caractéristiques des sols</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Couche</th> <th>Cote</th> <th>Longueur</th> <th>éléments</th> <th>Frottement</th> <th>tassement</th> <th>module du pieu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>186.33</td> <td>3.23</td> <td>3</td> <td>80.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.190E+08</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>139.30</td> <td>3.80</td> <td>4</td> <td>150.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.190E+08</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>137.33</td> <td>2.37</td> <td>2</td> <td>150.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.190E+08</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lois de mobilisation</p> <p>Couche 1 :                      cotes : 186.330 à 183.300                      E = 15000.000 q<sub>1</sub> = 80.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0004 80.00                      0.0024 80.00</p> <p>Couche 2 :                      cotes : 183.300 à 159.500                      E = 32300.800 q<sub>1</sub> = 150.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0003 75.00                      0.0021 150.00</p> <p>Couche 3 :                      cotes : 159.500 à 137.330                      E = 67600.800 q<sub>1</sub> = 150.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0002 75.00                      0.0010 150.00</p> <p>Capacité PORTANTE</p> <p>Capacité ultime du pieu Q<sub>1</sub> = 3059.25</p> <p>Frottement q<sub>1</sub> = 3059.25                      pointe q<sub>2</sub> = 0.00</p> <p>Charge de fléage du pieu Q<sub>c</sub> = 741.48</p> <p>--- fasciote 62 titre v ---                      --- Etat limite de service : combinaison quasi permanente 539.63                      : combinaison rare 874.07                      --- Etat limite ultime : combinaison fondamentale 750.61                      : combinaison accidentelle 882.73</p>	Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu	1	186.33	3.23	3	80.00	0.0000	0.190E+08	2	139.30	3.80	4	150.00	0.0000	0.190E+08	3	137.33	2.37	2	150.00	0.0000	0.190E+08		<p>Programme YACPIE</p> <p>FS12 Micropieu 13, 250 mm Tôle</p> <p>Caractéristiques du pieu :                      module E = 0.194E+08                      diamètre équivalent (section) = 0.600                      (centimètre) = 0.600                      angle par rapport à la verticale = 0.000                      mise en place sans renfortement</p> <p>Caractéristiques des sols</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Couche</th> <th>Cote</th> <th>Longueur</th> <th>éléments</th> <th>Frottement</th> <th>tassement</th> <th>module du pieu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>186.33</td> <td>3.23</td> <td>4</td> <td>80.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>139.33</td> <td>3.77</td> <td>4</td> <td>120.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>7.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8960.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lois de mobilisation</p> <p>Couche 1 :                      cotes : 186.330 à 183.300                      E = 15000.000 q<sub>1</sub> = 80.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0036 80.00</p> <p>Couche 2 :                      cotes : 183.300 à 159.500                      E = 32300.800 q<sub>1</sub> = 120.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0033 120.00</p> <p>Capacité PORTANTE</p> <p>Capacité ultime du pieu Q<sub>1</sub> = 3185.95</p> <p>Frottement q<sub>1</sub> = 3218.06                      pointe q<sub>2</sub> = 1907.89</p> <p>Charge de fléage du pieu Q<sub>c</sub> = 1836.19</p> <p>--- fasciote 62 titre v ---                      --- Etat limite de service : combinaison quasi permanente 1311.85                      : combinaison rare 1869.63                      --- Etat limite ultime : combinaison fondamentale 2275.68                      : combinaison accidentelle 2654.06</p> <p>--- Charge admissible DTU ---                      1204.99</p> <p>INFORMATION</p> <p>SUIT de convergence : 1E-03                      Valeur initiale du déplacement en pied : 1E-07</p>	Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu	1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08	2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08			7.00				8960.00		<p>Programme OBOBITE</p> <p>FS12 Groupie</p> <p>Caractéristiques des pieux :                      module E = 0.194E+08                      diamètre équivalent (section) = 0.600                      (centimètre) = 0.600                      angle par rapport à la verticale = 0.000                      mise en place sans renfortement</p> <p>Caractéristiques des sols</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Couche</th> <th>Cote</th> <th>Longueur</th> <th>éléments</th> <th>Frottement</th> <th>tassement</th> <th>module du pieu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>186.33</td> <td>3.23</td> <td>4</td> <td>80.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>139.33</td> <td>3.77</td> <td>4</td> <td>120.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>7.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8960.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lois de mobilisation</p> <p>Couche 1 :                      cotes : 186.330 à 183.300                      E = 15000.000 q<sub>1</sub> = 80.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0036 80.00</p> <p>Couche 2 :                      cotes : 183.300 à 159.500                      E = 32300.800 q<sub>1</sub> = 120.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0033 120.00</p> <p>Capacité PORTANTE</p> <p>Capacité ultime du pieu Q<sub>1</sub> = 3185.95</p> <p>Frottement q<sub>1</sub> = 3218.06                      pointe q<sub>2</sub> = 1907.89</p> <p>Charge de fléage du pieu Q<sub>c</sub> = 1836.19</p> <p>--- fasciote 62 titre v ---                      --- Etat limite de service : combinaison quasi permanente 1311.85                      : combinaison rare 1869.63                      --- Etat limite ultime : combinaison fondamentale 2275.68                      : combinaison accidentelle 2654.06</p> <p>--- Charge admissible DTU ---                      1204.99</p> <p>INFORMATION</p> <p>SUIT de convergence : 1E-03                      Valeur initiale du déplacement en pied : 1E-07</p>	Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu	1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08	2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08			7.00				8960.00	<p>Programme OBOBITE</p> <p>FS12 Groupie</p> <p>Caractéristiques des pieux :                      module E = 0.194E+08                      diamètre équivalent (section) = 0.600                      (centimètre) = 0.600                      angle par rapport à la verticale = 0.000                      mise en place sans renfortement</p> <p>Caractéristiques des sols</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Couche</th> <th>Cote</th> <th>Longueur</th> <th>éléments</th> <th>Frottement</th> <th>tassement</th> <th>module du pieu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>186.33</td> <td>3.23</td> <td>4</td> <td>80.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>139.33</td> <td>3.77</td> <td>4</td> <td>120.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>7.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8960.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lois de mobilisation</p> <p>Couche 1 :                      cotes : 186.330 à 183.300                      E = 15000.000 q<sub>1</sub> = 80.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0036 80.00</p> <p>Couche 2 :                      cotes : 183.300 à 159.500                      E = 32300.800 q<sub>1</sub> = 120.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0033 120.00</p> <p>Capacité PORTANTE</p> <p>Capacité ultime du pieu Q<sub>1</sub> = 3185.95</p> <p>Frottement q<sub>1</sub> = 3218.06                      pointe q<sub>2</sub> = 1907.89</p> <p>Charge de fléage du pieu Q<sub>c</sub> = 1836.19</p> <p>--- fasciote 62 titre v ---                      --- Etat limite de service : combinaison quasi permanente 1311.85                      : combinaison rare 1869.63                      --- Etat limite ultime : combinaison fondamentale 2275.68                      : combinaison accidentelle 2654.06</p> <p>--- Charge admissible DTU ---                      1204.99</p> <p>INFORMATION</p> <p>SUIT de convergence : 1E-03                      Valeur initiale du déplacement en pied : 1E-07</p>	Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu	1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08	2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08			7.00				8960.00	<p>Programme OBOBITE</p> <p>FS12 Groupie</p> <p>Caractéristiques des pieux :                      module E = 0.194E+08                      diamètre équivalent (section) = 0.600                      (centimètre) = 0.600                      angle par rapport à la verticale = 0.000                      mise en place sans renfortement</p> <p>Caractéristiques des sols</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Couche</th> <th>Cote</th> <th>Longueur</th> <th>éléments</th> <th>Frottement</th> <th>tassement</th> <th>module du pieu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>186.33</td> <td>3.23</td> <td>4</td> <td>80.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>139.33</td> <td>3.77</td> <td>4</td> <td>120.00</td> <td>0.0000</td> <td>0.194E+08</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>7.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8960.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lois de mobilisation</p> <p>Couche 1 :                      cotes : 186.330 à 183.300                      E = 15000.000 q<sub>1</sub> = 80.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0036 80.00</p> <p>Couche 2 :                      cotes : 183.300 à 159.500                      E = 32300.800 q<sub>1</sub> = 120.00                      mobilisation Frottement y q<sub>2</sub> *** Frank et Zhao (so? Fin fork)                      0.0006 80.00                      0.0033 120.00</p> <p>Capacité PORTANTE</p> <p>Capacité ultime du pieu Q<sub>1</sub> = 3185.95</p> <p>Frottement q<sub>1</sub> = 3218.06                      pointe q<sub>2</sub> = 1907.89</p> <p>Charge de fléage du pieu Q<sub>c</sub> = 1836.19</p> <p>--- fasciote 62 titre v ---                      --- Etat limite de service : combinaison quasi permanente 1311.85                      : combinaison rare 1869.63                      --- Etat limite ultime : combinaison fondamentale 2275.68                      : combinaison accidentelle 2654.06</p> <p>--- Charge admissible DTU ---                      1204.99</p> <p>INFORMATION</p> <p>SUIT de convergence : 1E-03                      Valeur initiale du déplacement en pied : 1E-07</p>	Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu	1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08	2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08			7.00				8960.00
Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu																																																																																																																																												
1	186.33	3.23	3	80.00	0.0000	0.190E+08																																																																																																																																												
2	139.30	3.80	4	150.00	0.0000	0.190E+08																																																																																																																																												
3	137.33	2.37	2	150.00	0.0000	0.190E+08																																																																																																																																												
Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu																																																																																																																																												
1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
		7.00				8960.00																																																																																																																																												
Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu																																																																																																																																												
1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
		7.00				8960.00																																																																																																																																												
Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu																																																																																																																																												
1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
		7.00				8960.00																																																																																																																																												
Couche	Cote	Longueur	éléments	Frottement	tassement	module du pieu																																																																																																																																												
1	186.33	3.23	4	80.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
2	139.33	3.77	4	120.00	0.0000	0.194E+08																																																																																																																																												
		7.00				8960.00																																																																																																																																												

# Réhabilitation et confortement d'ouvrages : Rôle du géotechnicien

## □ Etape 3 : Synthèse

### ZONE E - J

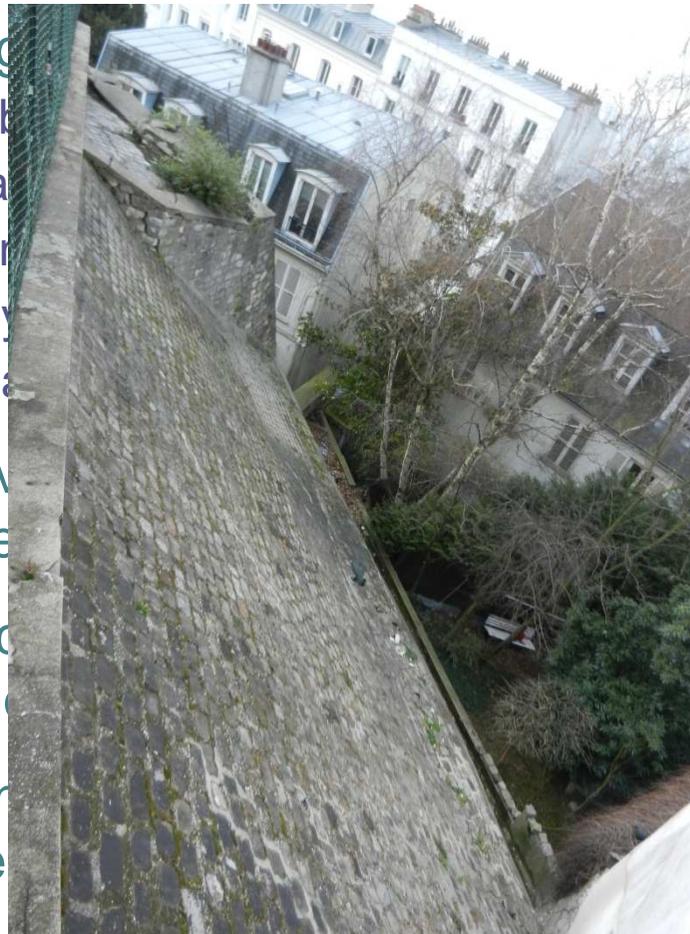
Pieux existants			Diamètre	E	Longueur	Tête de pieux		Descente de charges 1986 (ELS)	Descente de charges actuelles après démolition (ELS)	Descente de charges futures (ELS)	Charge verticale due au vent F (ELS)	Supplément de charge entre état actuel et état futur	Epaisseur dans les argiles à Meulière qs = 60 kPa	Epaisseur dans les sables fins argileux qs = 120 kPa	Epaisseur dans les sables fins qs = 120 kPa	Qmax béton (5 MPa)	Capacité portante DTU 13.2		Dépassement actuel à ELS	Tassement		Dépassement futur à ELS	Repartition des charges supplémentaires			Repartition des charges supplémentaires sur le micropieu					
File	S	N°				[m]	[kNm]										[m]	[NGF]		[t]	[t]		[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]	[kN]	ELS	ELU
			[m]	[kNm]	[m]	[NGF]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[m]	[m]	[%]	[kN]	[kN]	[kN/m]	[ ]	[kN]	[kN/m]		[m]	[m]
E	12	3	0.50	31907	7.1	166.5	90	90	144	2.1	56	3.43	3.60	0.07	982	958	1445	-6	0.0030	0.0003	5	109	1009	283000	2	121	334000	73/10	0.18	10	
F	12	10	0.60	66162	7.0	166.3	156	156	271	1.1	116	3.23	3.60	0.17	1414	1258	1897	24	0.0051	0.0006	24	10	1560	308000	2	291	500000	73/10	0.30	11	
G	11	14	0.60	66162	6.8	165.1	107	57	215	0.7	159	2.00	3.60	1.20	1414	1305	1968	-56	0.0023	0.0015	-5	671	1241	445000	2	459	304000	73/10	0.18	12	
G	12	15	0.70	122573	7.0	166.3	194	194	203	1.0	10	3.23	3.60	0.17	1924	1594	2405	22	0.0055	0.0001	24	34	1974	347000	2	33	341000	73/10	0.18	10	
H	11	21	0.70	122573	7.1	166.5	0	0	193	0.7	194	3.40	3.60	0.10	1924	1596	2408	-100	0.0051	0.0014	-62	604	604	434000	2	403	289000	73/10	0.18	12	
H	12	22	0.70	122573	7.0	166.3	0	0	193	1.4	194	3.20	3.60	0.20	1924	1596	2408	-100	0.0031	0.0015	-60	638	638	436000	2	631	431000	73/10	0.30	11	
H	13	23	0.70	122573	7.1	166.5	0	0	193	2.1	195	3.40	3.60	0.10	1924	1596	2408	-100	0.0013	0.0014	-64	573	573	421000	4	599	440000	73/10	0.30	10	
H	14	24	0.70	122573	7.0	166.5	0	0	193	1.4	194	3.40	3.60	0.00	1924	1583	2388	-100	0.0013	0.0013	-65	548	548	420000	4	581	444000	73/10	0.30	10	

➔ La solution vient des échanges avec le bureau de contrôle / le MOA

## **PALIER LES ERREURS DE CONCEPTION** → Mur Montmartre

Le géotechnicien contrôle (G4) pour éviter les erreurs de conception

- L'ouvrage : un mur ancien (1930) avec fissures
  - Le diagnostic du géotechnicien :
    - Des essais de laboratoire
    - Un choix de paramètres
    - Des calculs en ar
    - Et des rétro-analy
    - Une recommanda
  - Le marché de travail :
    - remise aux normes
  - Les études d'exécution :
    - doublément du m
  - La mobilisation en chantier :
    - diagnostic, nouve
    - respecté
- générale de l'ouvrage  
frottement  $>35^\circ$   
texte du rapport  
0,60 !  
de 30% du FS  
agnostic et d'une  
(terre)  
conduisent au  
**CHANTIER**  
inique : nouveau  
et du marché



## CONCLUSIONS

- Chaque ouvrage / situation est unique
  - Le géotechnicien doit s'adapter, accompagner le projet et composer
- La réglementation doit s'appliquer avec discernement
  - L'expérience permet de porter un niveau de risque plus important que pour un ouvrage neuf
- L'intervention du géotechnicien doit être collaborative et intégrée
- Ces conditions particulières conduisent le géotechnicien à :
  - Déroger aux réglementations : par exemple des pieux à 120 à 130 % de  $Q_{ELS}$  F62 V,
  - Proposer d'augmenter fortement la qualité du recueil de données et le niveau et la quantité d'études pour limiter les surcoûts de travaux
  - Proposer des solutions innovantes en collaboration avec les Entreprises : jet-grouting avec mise en charge, injection solide par forage sub-horizontal, remblais allégés, etc.

## MERCI DE VOTRE ATTENTION



Expertise géotechnique



Maîtrise des risques géotechniques

Modélisations et calculs complexes

Développement de codes de calculs (GEOSTAB, GEOMUR...)

