

# Construire dans l'argile : Regard croisé Franco-Belge

Exécution des pieux et tirants d'ancrage dans l'argile Yprésienne.



**Franki  
Foundations**

Strong foundations. Solid future.



CO<sub>2</sub> PERFORMANCE LADDER

# Qui sommes-nous ?

## ■ Thomas WULLEMAN

- Head of Technical Innovation and Engineering – **Franki Foundations Group**
- Directeur Général Adjoint – **Atlas Fondations**
- Passionné par l'apprentissage de nouvelles techniques de fondations spéciales
  
- Premier contact avec l'argile yprésienne :
  - Projet de parois moulées avec ancrage dans l'argile pour assurer l'étanchéité à Bruxelles

## ■ Grégory LAURENT

- Engineering Manager - **Franki Foundations Group**
  
- Passionné par les calculs de soutènements et de structures complexes
  
- Premier contact l'argile yprésienne :
  - Difficulté de validation de tirants à Mons

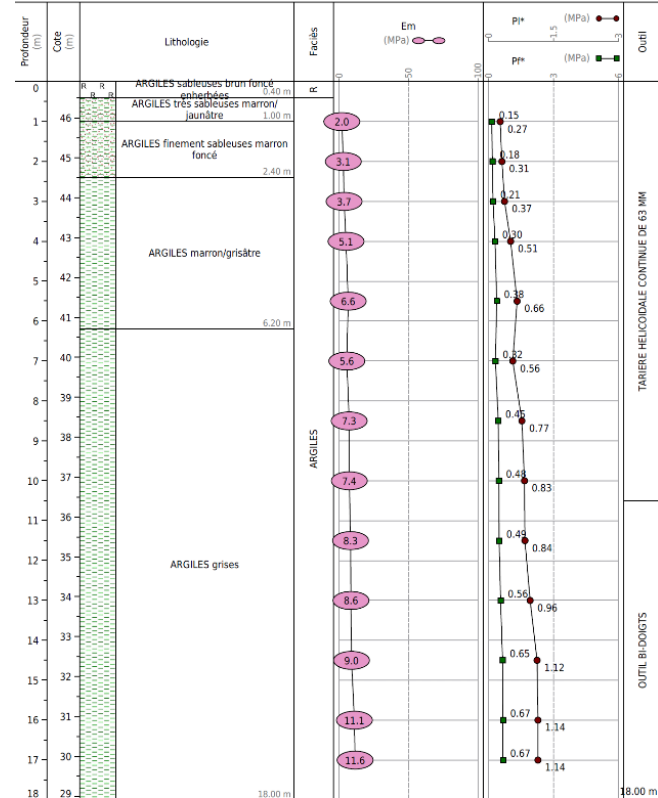
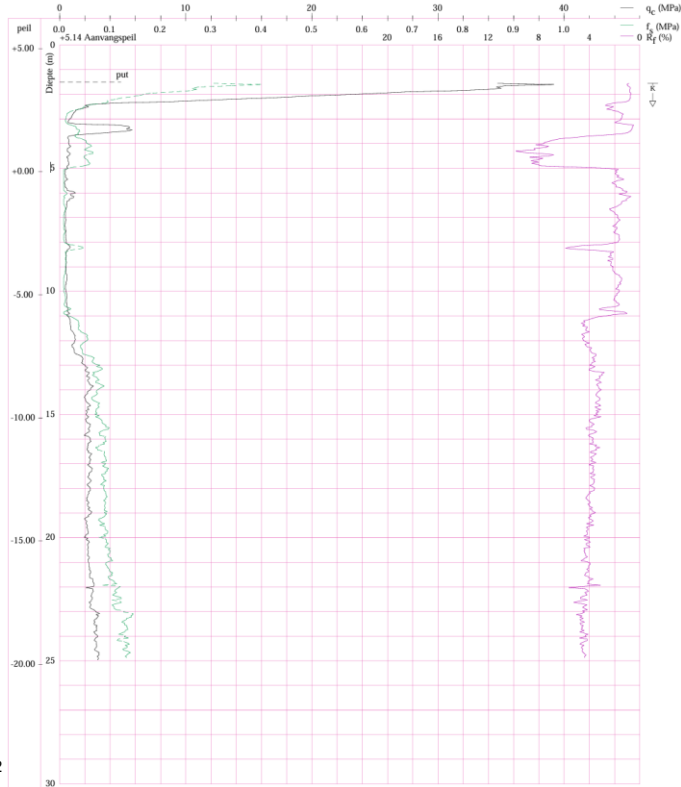


1

PRÉSENTATION  
DE LA PROBLÉMATIQUE

# Problématique

## Comment obtenir de la capacité portante ou de traction ?



# Pieux et tirants

## Comment obtenir de la capacité portante ou de traction?

Options disponibles:

- Augmenter la longueur
- Augmenter le diamètre
- Augmenter le nombre d'éléments



### Conséquences :

Capacité machine, augmentation des quantités de matériaux

Ou...

- Modifier la technique de mise en oeuvre: refouler au lieu de forer, exécuter une base élargie...
- Travailler sur la (post-)injection

# 2

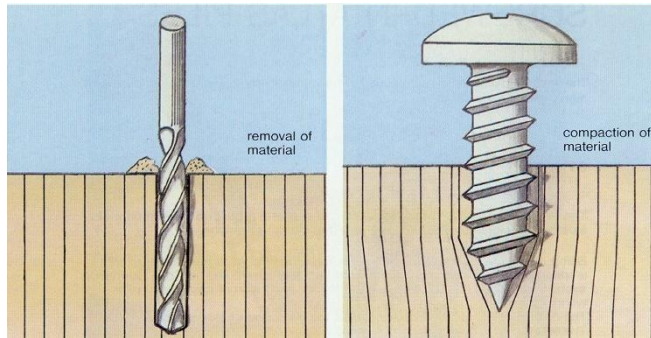
## PIEUX VISSÉS



# Augmenter le diamètre sans trop augmenter la quantité de béton – Améliorer la portance..

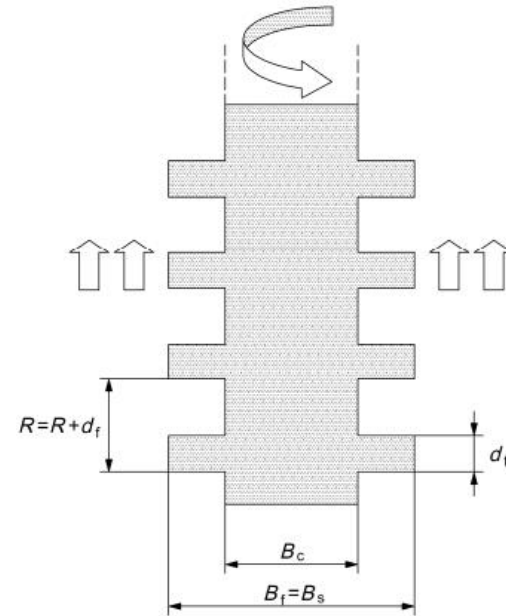
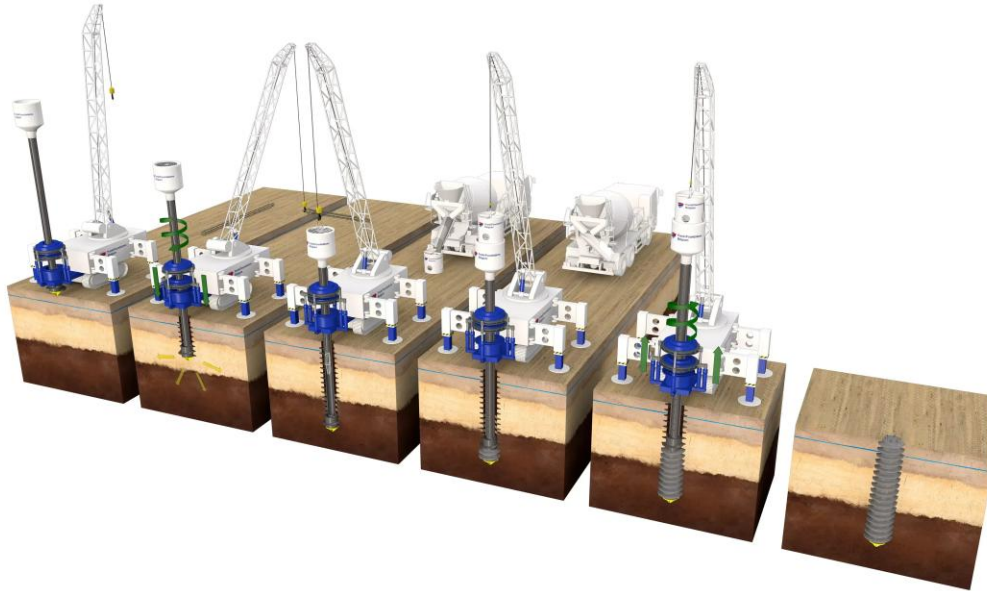
## Pieux vissés à helices

- Invention en Flandre dans les années 60
- Concept : Visser à la place de forer



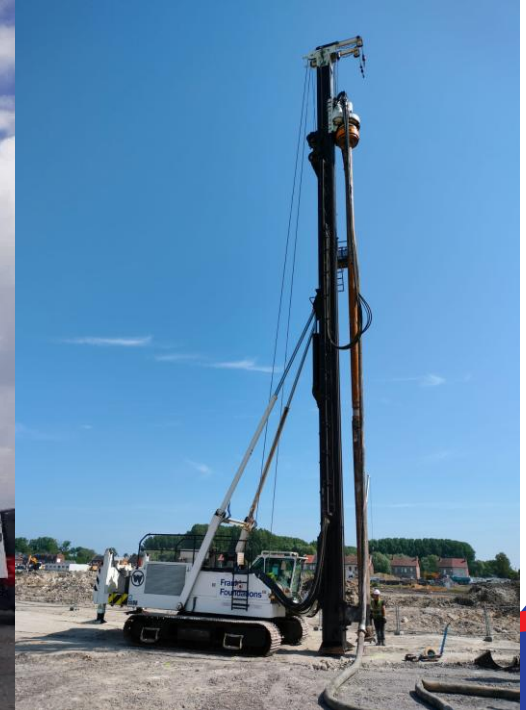
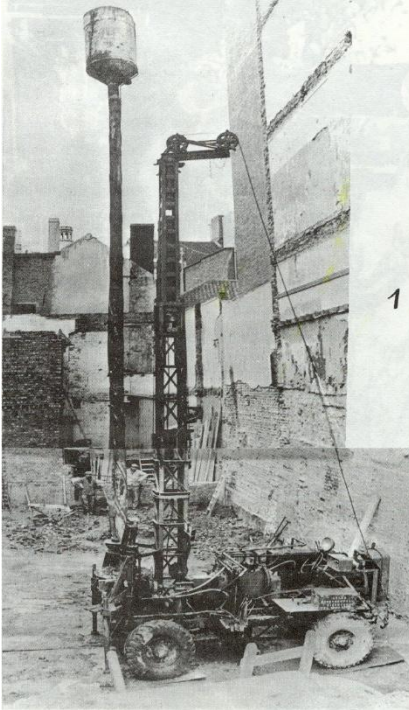
# Augmenter le diamètre sans trop augmenter la quantité de béton – Améliorer la portance..

## Pieux vissés à hélices – Atlas



# Pieux vissés à hélice

## Evolution technologique



# Pieux vissés à hélice

## Evolution

- Campagnes d'essais des pieux vissés (à hélice) dans l'argile
  - Koekelare (BE) : Franki + LCPC + UGent – UCL : Argile Yprésienne
  - Sint Katelijne Waver (BE) : Entreprises du secteur et Buildwise
  
- Essais instrumentés avec Michel Bustamante et Buildwise

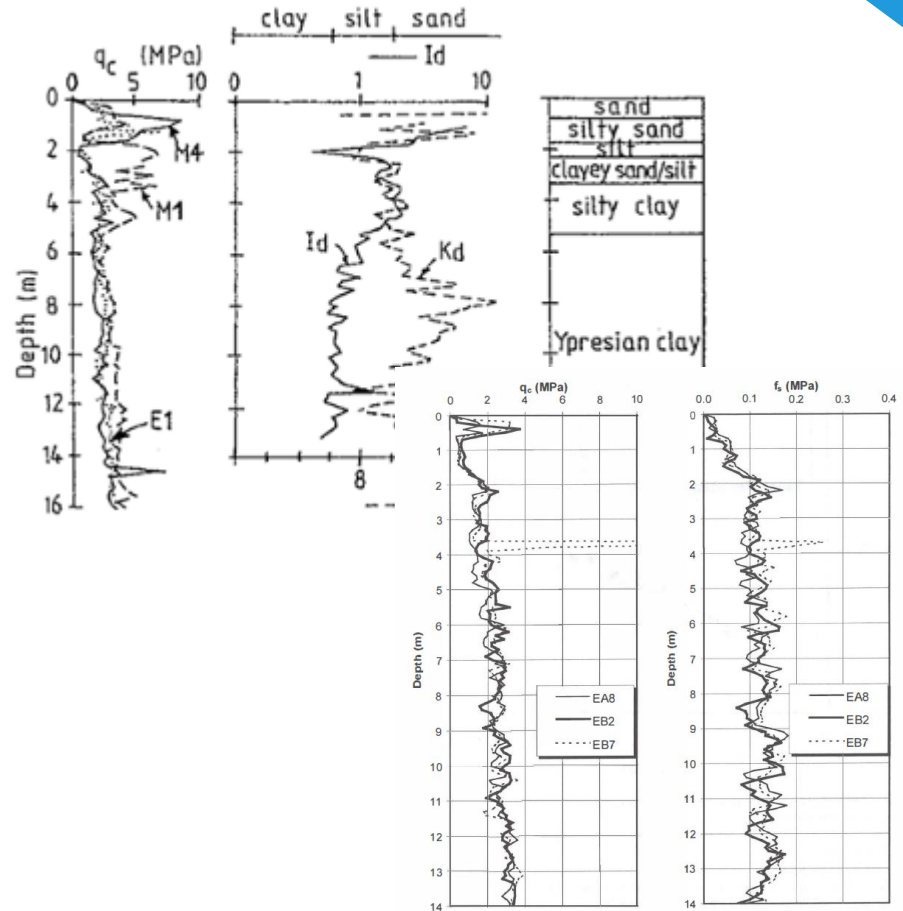
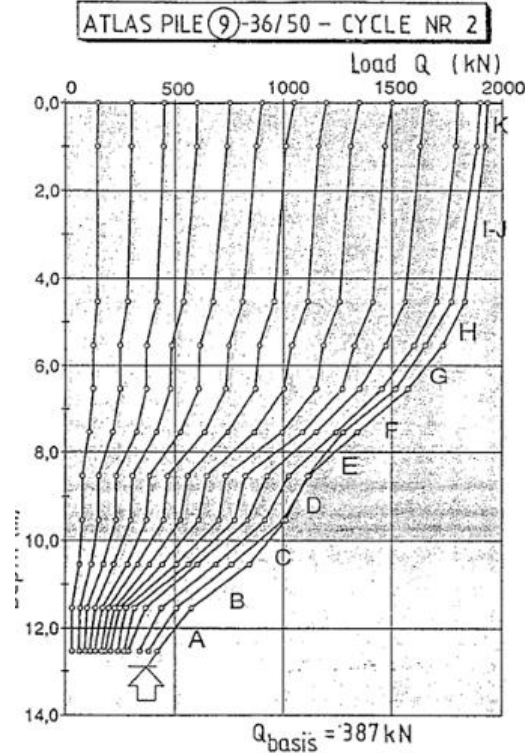


Figure 11. Typical CPT-E test diagrams for the test site at Sint-Katelijne-Waver.

# Pieux vissés à helice

## Evolution

- Les essais instrumentés découvrent l'importance du frottement
- Evolution des sécurités sur la pointe et frottement, reflexion générale pour l'EC7

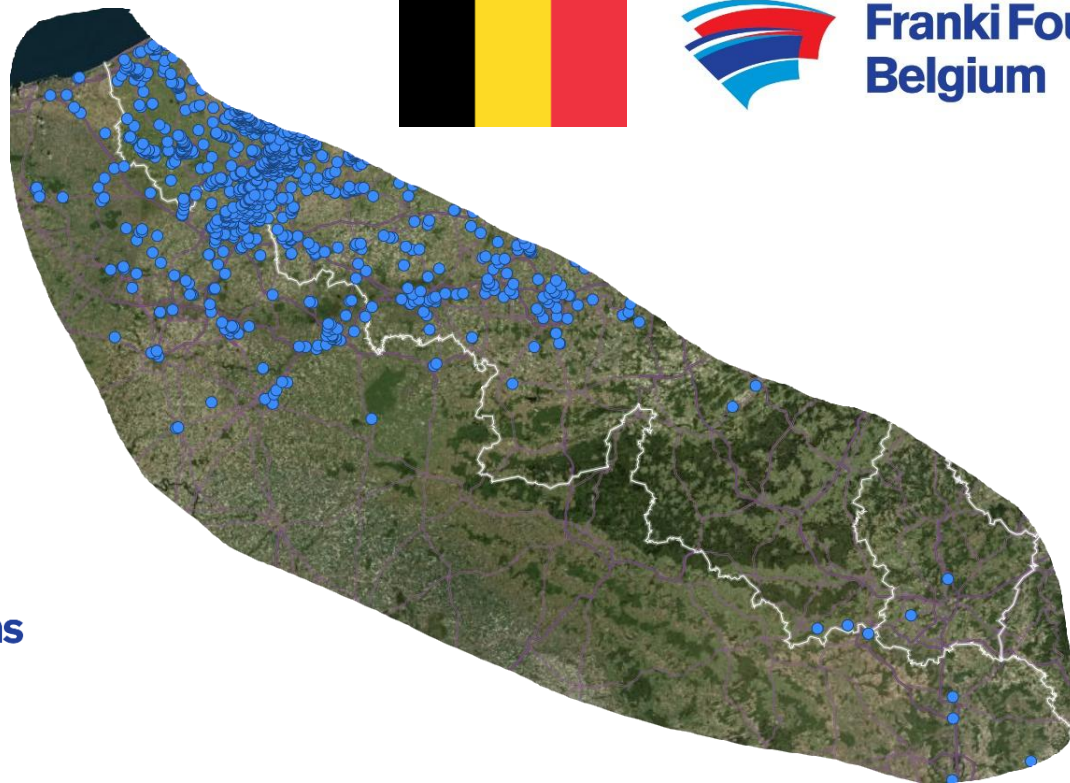


# Pieux vissés à helices

Solution Franco belge



Franki Foundations  
Belgium



Atlas  
Foundations

# Conclusions – Pieux vissés à hélice

## Spécificités d'exécution

- Importance de l'espacement entre les pieux réalisés le même jour (EN12699 – 8.7) → 6 x le diamètre de l'hélice à minima.
- Méthodologie sensible à une succession de terrains hétérogènes
- Après exécution, au niveau de la plateforme, la forme du pieu n'est pas un cercle
- Difficultés potentielles de recépage à cause de la forme
- Enregistrement de paramètres :
  - Machine avec bacs à béton
    - Enregistrement manuel et non permanent des paramètres de forages
    - Suivi des volumes de béton utilisés
  - Machine à mat avec pompe à béton
    - Enregistrement digital des paramètres de forage et de bétonnage
- Processus plutôt lent en forage et bétonnage, certainement avec les machines avec bacs à béton

# 3

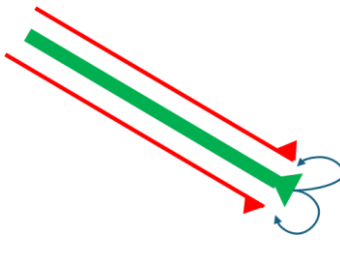
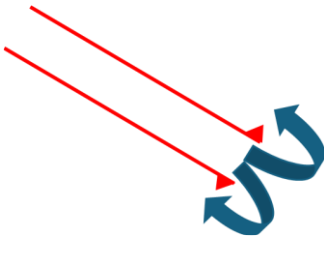
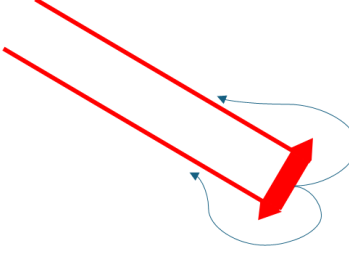
## TIRANTS D'ANCRAGE



# Pratique belge

## Forage

- Forage des terrains argileux :
  - Tige et tube
  - Tube ouvert avec flushing
    - peu efficace
  - Tube avec pointe perdue

Tige tube	Tube ouvert avec flushing	Tube avec pointe perdue
		



# Pratique belge

## Forage

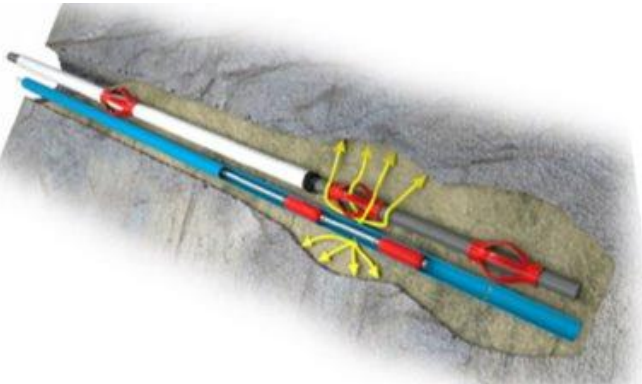
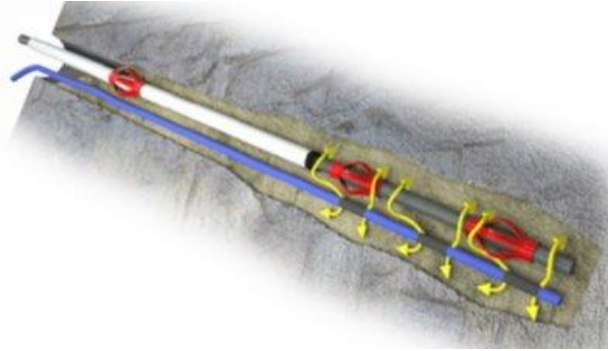
- En Belgique, les barres autoforantes (faible charge <45t ELS) sont également populaires comme solution tirant
  - Longueur libre limitée
    - Point faible : les manchons
  - Pointe adaptée aux argiles



# Pratique belge

## Injection des tirants (excl. autoforants)

- Injection IGU
  - Injection globale avec possibilité de réinjection
  - IGU-B : Utilisation du casing de forage pour mettre en pression global, pas de tubes à manchettes
- Hybride
  - Utilisation de pipettes d'injection
- Injection IRS
  - Utilisation Tube A Manchettes de petit diamètre
  - Utilisation de Tube A Manchettes de gros diamètre



# Système d'injections



# Pratique belge

## Injection des tirants (excl. autoforants)

- Obturateur mécanique
- Obturateur simple
- Double obturateur

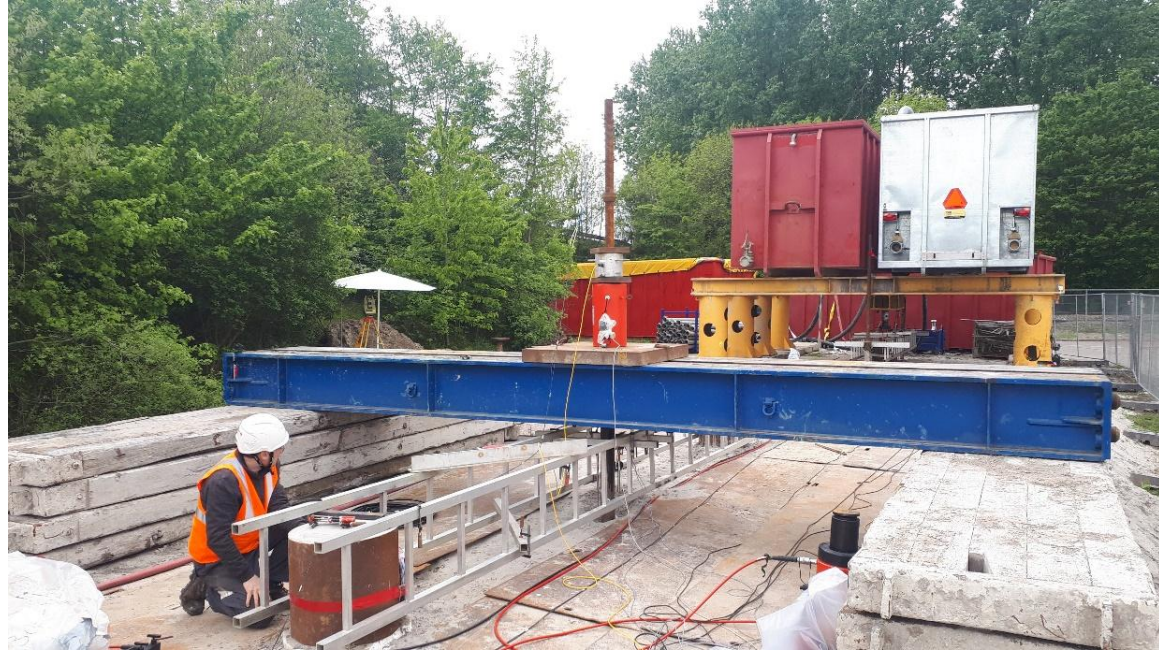
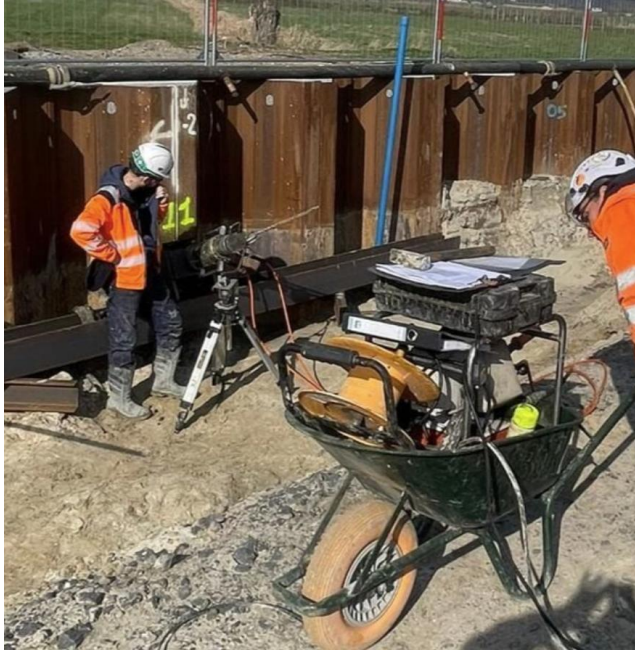


# Tirants d'ancrages

## Enregistrements de paramètres

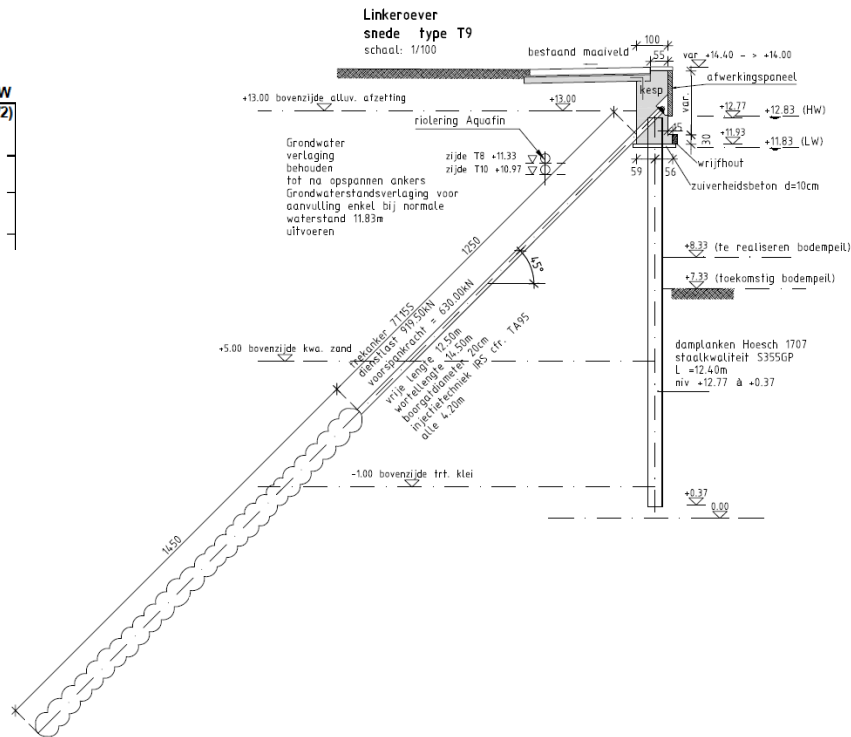
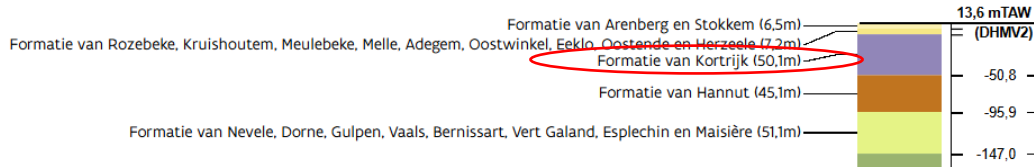


# Essais de chargement



# Retour d'expérience

## Wervik (BE)



# Retour d'expérience

## Wervik

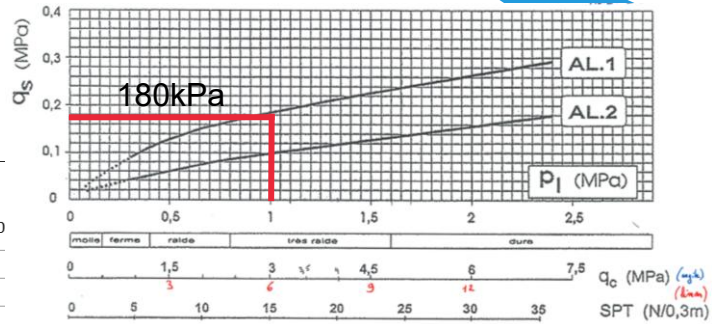
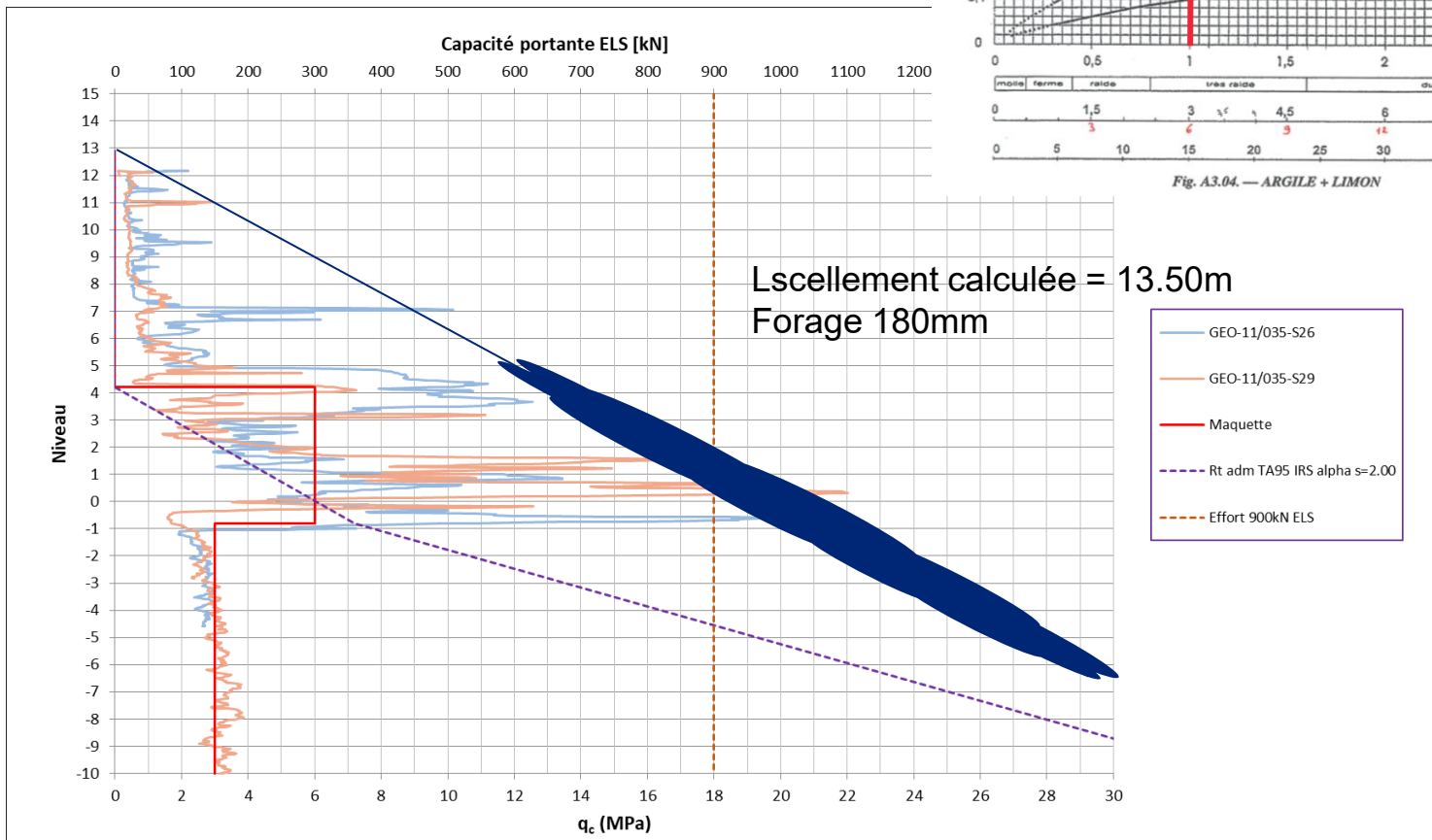


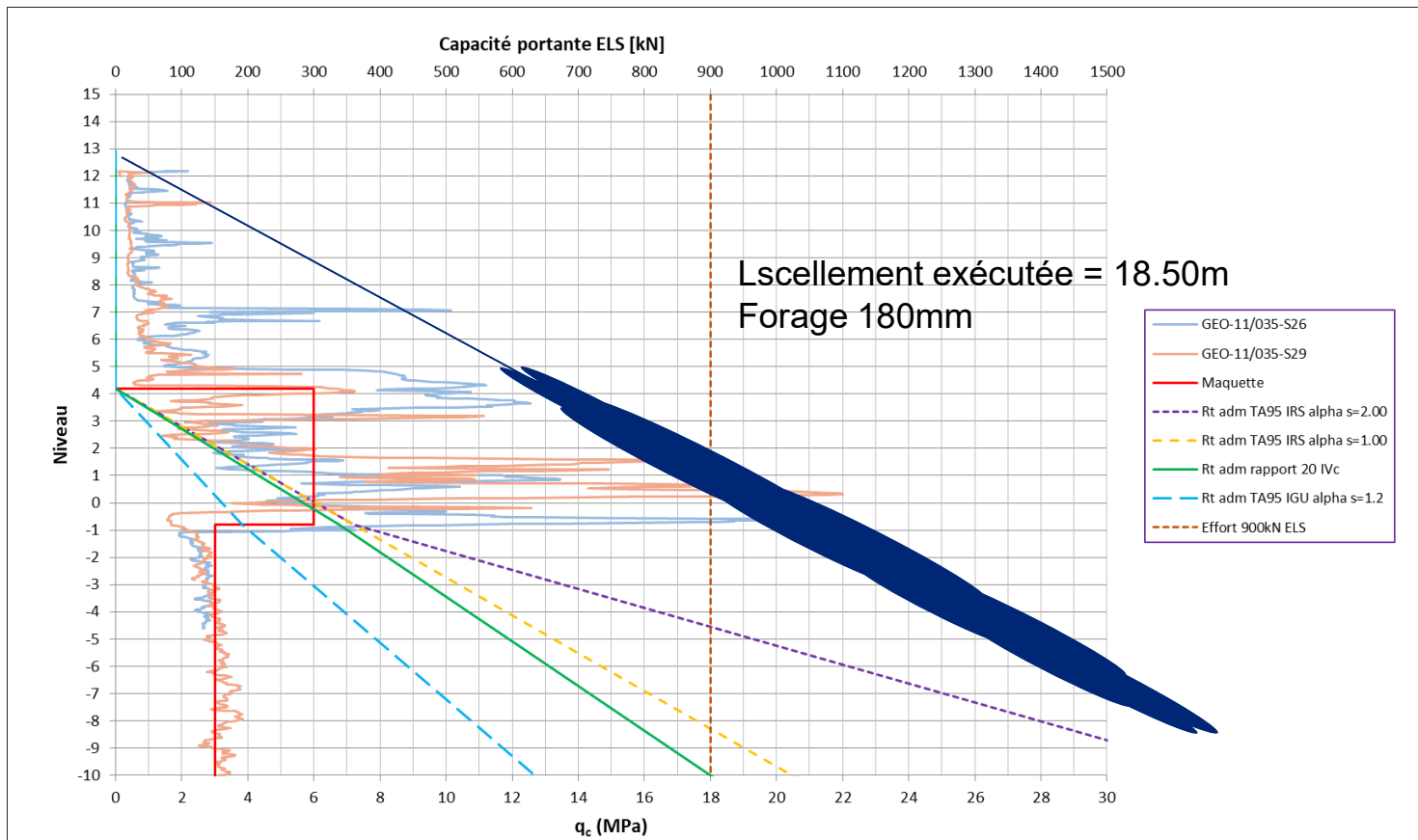
Fig. A3.04. — ARGILE + LIMON



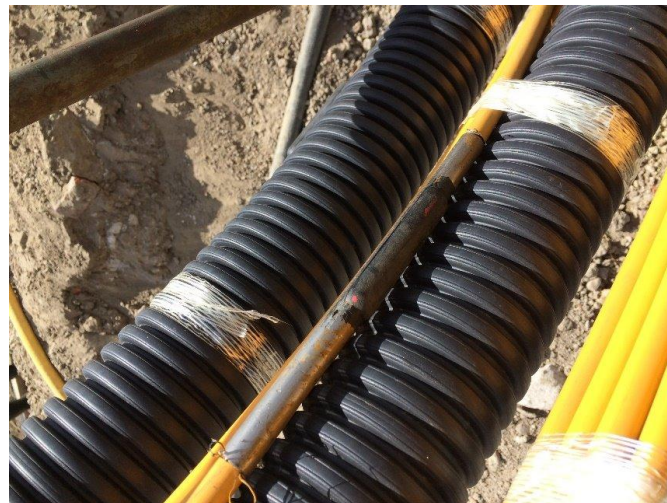
# Retour d'expérience

Wervik

Conclusions essais préalables :  $\alpha \times q_s = 180\text{kPa}$



# Retour d'expérience



# Retour d'expérience

## Wervik – (post) injection

Dans ces argiles,

- Les essais préalables sont encore plus indispensables
- Le facteur d'agrandissement IRS, avec l'hybride, proposé par Bustamante n'est pas atteint
- L'amélioration du frottement est confirmée

Une injection IRS avec un TAM donnerait-elle de meilleurs résultats dans cette argile ?

# Tirants d'ancrages

## Paramètres d'exécutions

- Risque de bouchon important :
  - Pratique belge : forage tige tube ou pointe perdue (forage refoulé)
  - Pratique française : tricône sous fluide ?
- Importance du choix du système d'injection : il faut de la pression pour injecter l'argile
- Le lissage du trou de forage et la difficulté d'imprégnation sont responsables des difficultés à obtenir du frottement

# 4

## PIEUX FORÉS



# Augmenter la capacité portante en pointe

## Pieux forés dans l'argile

- A la recherche :
  - Pieux forés dans l'argile tertiaire yprésienne
  
- Quelques exemples:
  - Bâtiment LEX 2000 à Bruxelles
  - Centre commercial K à Courtrai
  - Chantier RER à Anderlecht (Bruxelles)

# Solution – Pieux forés à base élargie

## Théorie

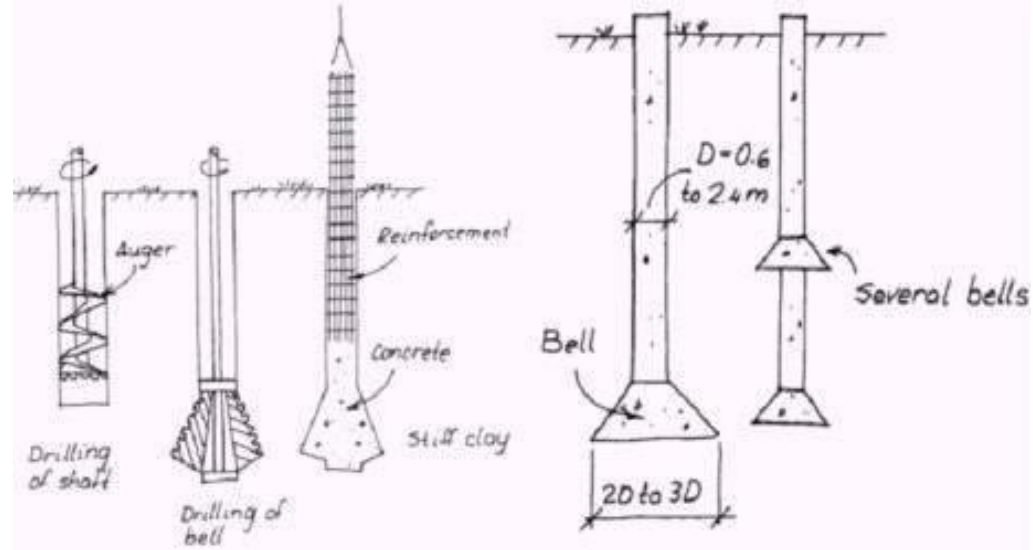
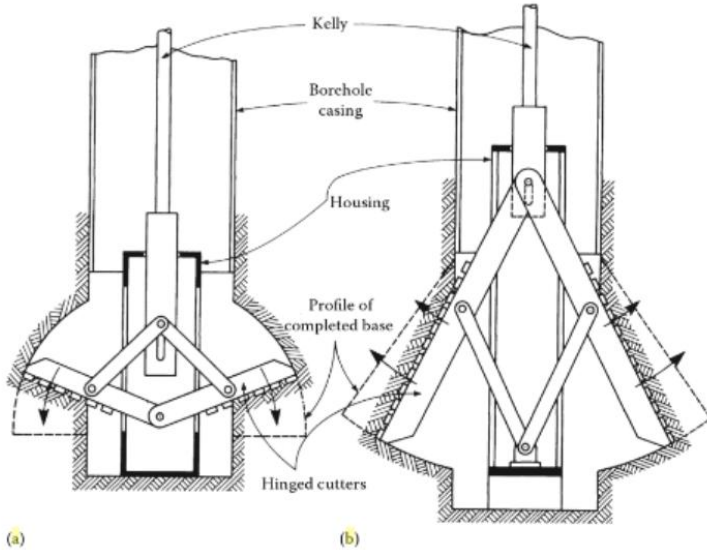


Figure 3.29 Under-reaming tools. (a) Bottom hinge. (b) Top hinge.

# Solution – Pieux forés à base élargie

## Théorie

- Les argiles tertiaires peuvent être fissurées (cf Rapport 20 – Dimensionnement en Belgique) : Paramètre de fissuration de l'argile très contraignant pour la capacité portante surtout pour les gros diamètres.
- Forme de la base
- Effet sur le frottement
- **Importance des essais préalables**

$\varepsilon_b$  = un paramètre qui tient compte de l'effet d'échelle sur la résistance au cisaillement dû à la fissuration du sol :

$$- \varepsilon_b = \max \left[ 1 - 0,01 \cdot \left( \frac{D_{b,eq}}{D_c} - 1 \right); 0,476 \right] \text{ pour l'argile tertiaire}$$

-  $\varepsilon_b = 1$  pour tout autre type de sol.

( $D_{b,eq}$ ) représente le diamètre équivalent de la base du pieu, tandis que ( $D_c$ ) est le diamètre du cône de l'essai de pénétration statique ( $D_c = 0,0357$  m pour un cône standard)

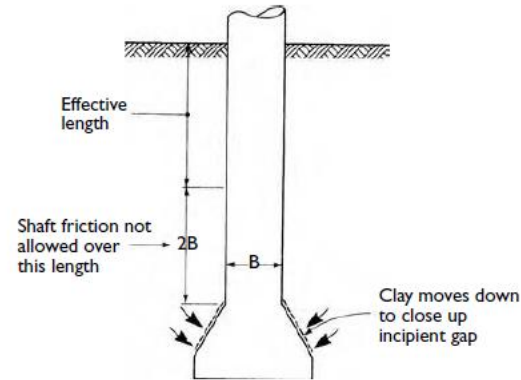


Figure 4.9 Effective shaft length for calculating friction on shaft of under-reamed pile.

# Solution – Pieux forés à base élargie

## Grappins rotatifs pour base élargie



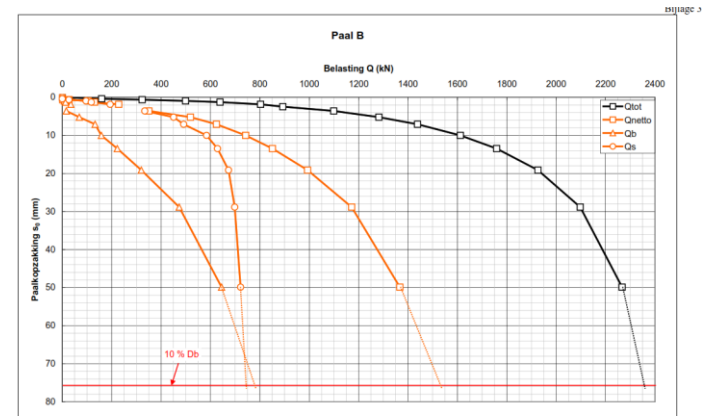
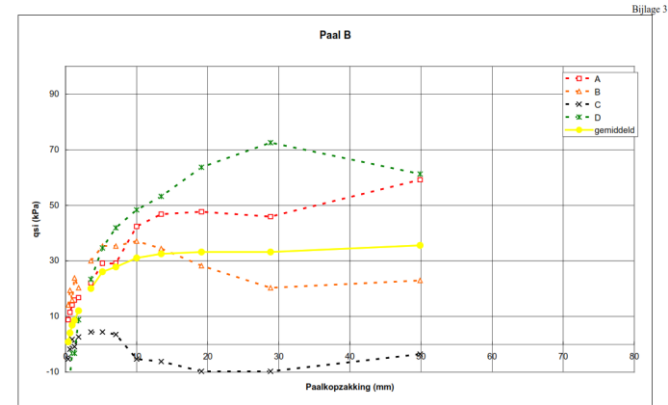


# Retour d'expérience – Pieux forés (à base élargie)

## Courtrai (BE)

### Conclusion

- Coefficient d'installation : 0,5
  - Frottement unitaire :  $q_c/30$
  
- Le dimensionnement a conservé le paramètre de fissuration de l'argile tertiaire
  
- Ce coefficient n'existe pas dans la norme française.



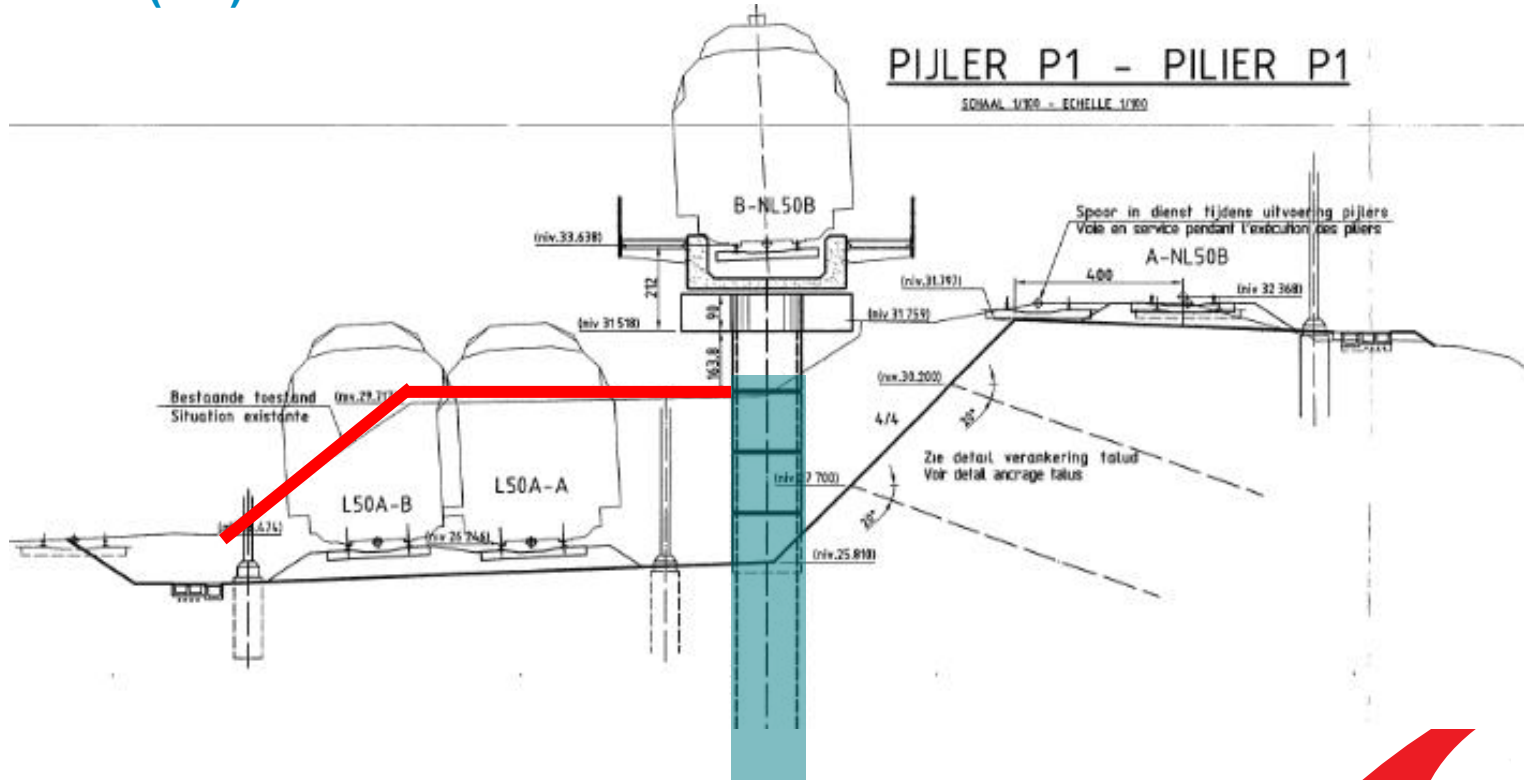
# Retour d'expérience – Pieux forés (à base élargie)

## Courtrai (BE)



# Retour d'expérience – Pieux forés à base élargie

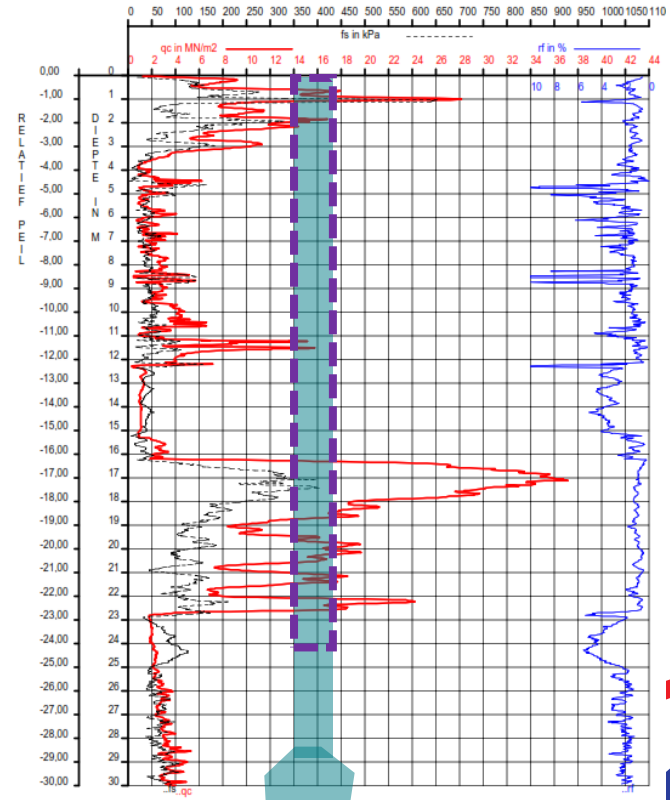
## Anderlecht (BE) RER



# Retour d'expérience – Pieux forés à base élargie

## Anderlecht (BE) RER

- Forage tubé en diam. 1,50
- Forage sous boue sous les tubes en diam. 1,35m
- Base élargie jusqu'à 2,70m dans l'argile
- Post-injection de la base pour limiter les tassements et améliorer la capacité portante.



# Retour d'expérience – Pieux forés à base élargie

## Anderlecht (BE) RER



# Conclusions

## Paramètres importants de l'exécution

- La forme exacte de la base reste incertaine
- La stabilité de la cavité créée lors de l'élargissement doit être assurée par la stabilité du sol mais également par le fluide de support
- La durée de réalisation de l'élargissement reste importante (volume intérieur de l'outil restreint)
- La post-injection doit être vue comme une mesure de contrôle du risque dans l'argile !



# 5

## CONCLUSIONS

# Conclusions

- L'argile yprésienne n'est pas un sol imprévisible et difficile dans lequel exécuter des fondations profondes.
- Sa connaissance générale reste bonne.
- Cependant, augmenter la performance (capacité portante) en modifiant des paramètres d'exécution nécessite une approche précise avec des essais préalables.

**Merci!**



**Franki  
Foundations**

Strong foundations. Solid future.