

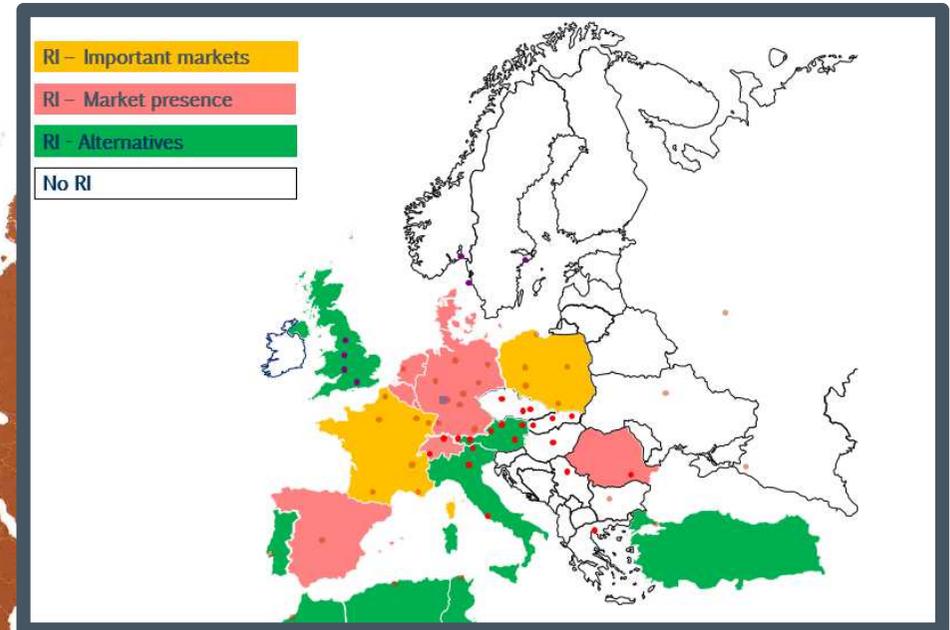
# L'amélioration des sols par inclusions rigides Retours d'expérience depuis ASIRI

Bilan et retours d'expérience des entreprises

KELLER Fondations Spéciales  
Serge Lambert



# Chantiers d'inclusions rigides dans le monde pour Keller



Les recommandations ASIRI (traduit en anglais) sont connus dans de nombreux pays dans le monde.



21 SEPT 2016

CFMS



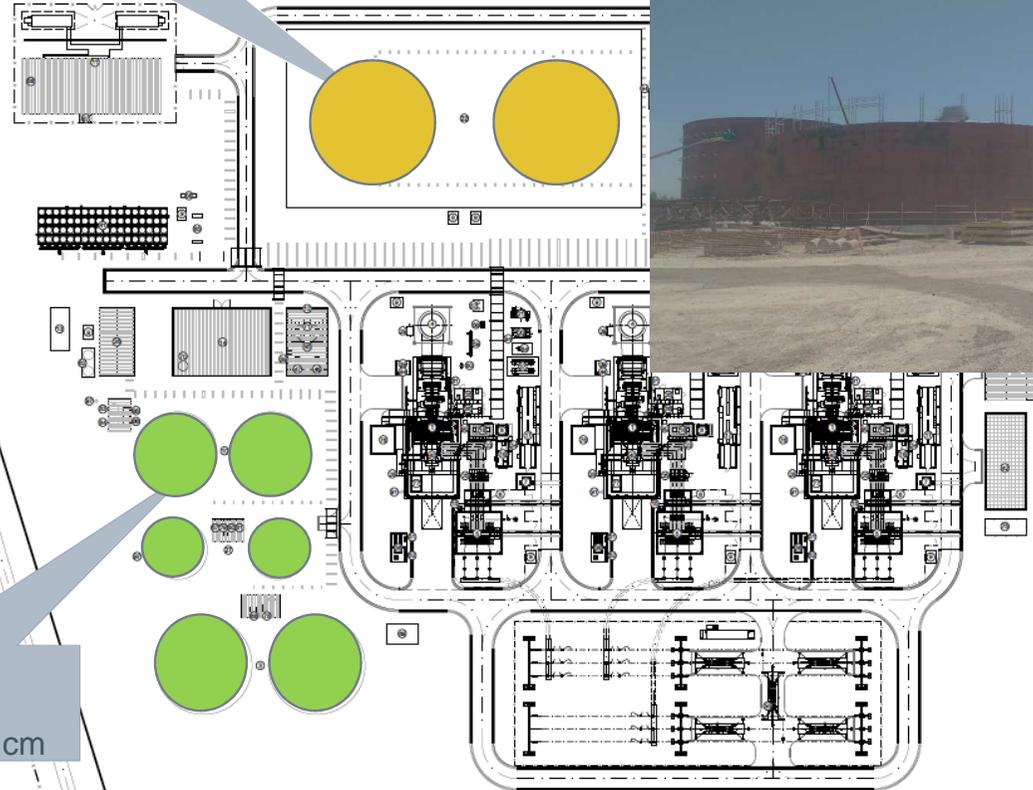
# Centrale électrique de Boufarik (Algérie)

Alger



Tanks :  
max 180 kPa  
W admissible : 15 cm

Surface : environ 40 000 m<sup>2</sup>



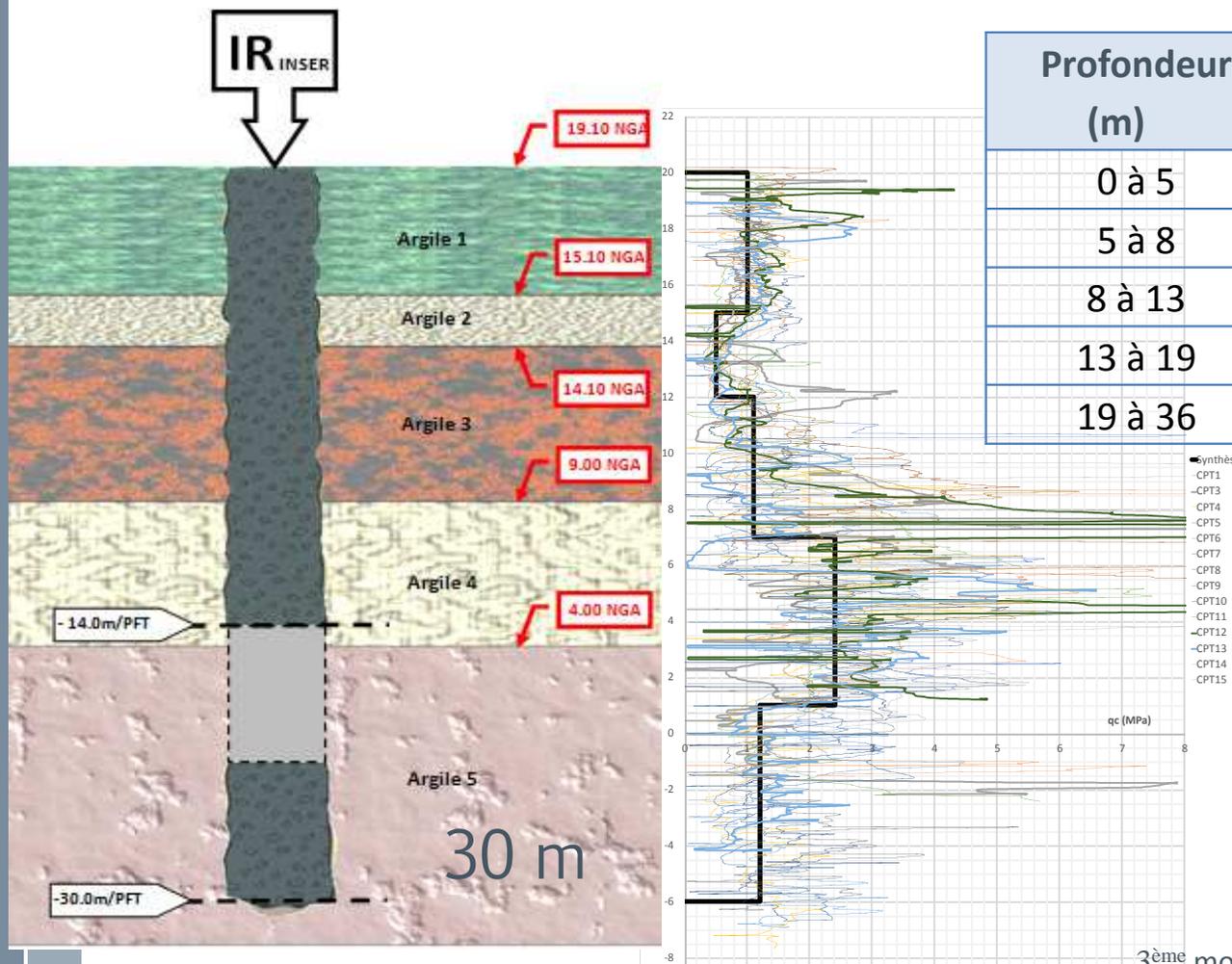
Surface : environ 40 000 m<sup>2</sup>



Tanks :  
max 180 kPa  
W admissible : 15 cm

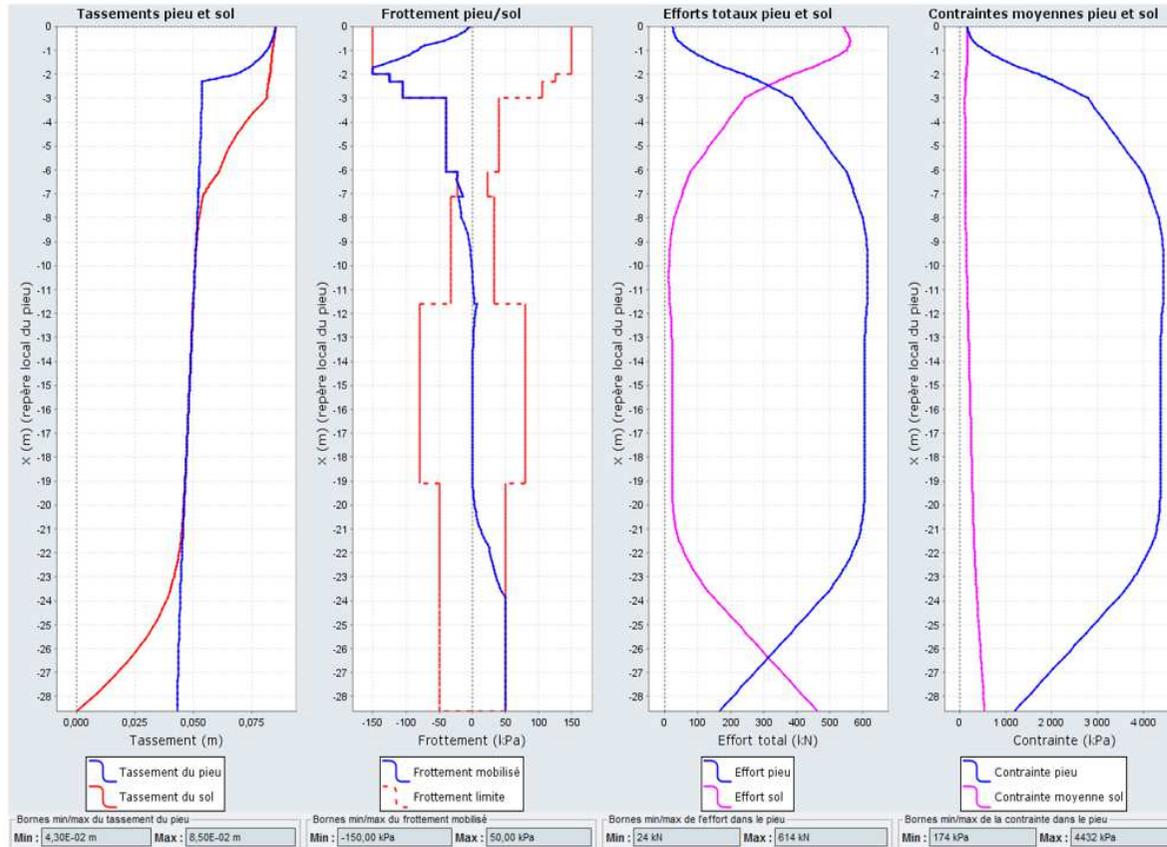


# Centrale électrique de Boufarik (Algérie)



# Centrale électrique de Boufarik (Algérie)

## Méthodes Analytiques (Chapitre 3 §3 de ASIRI)

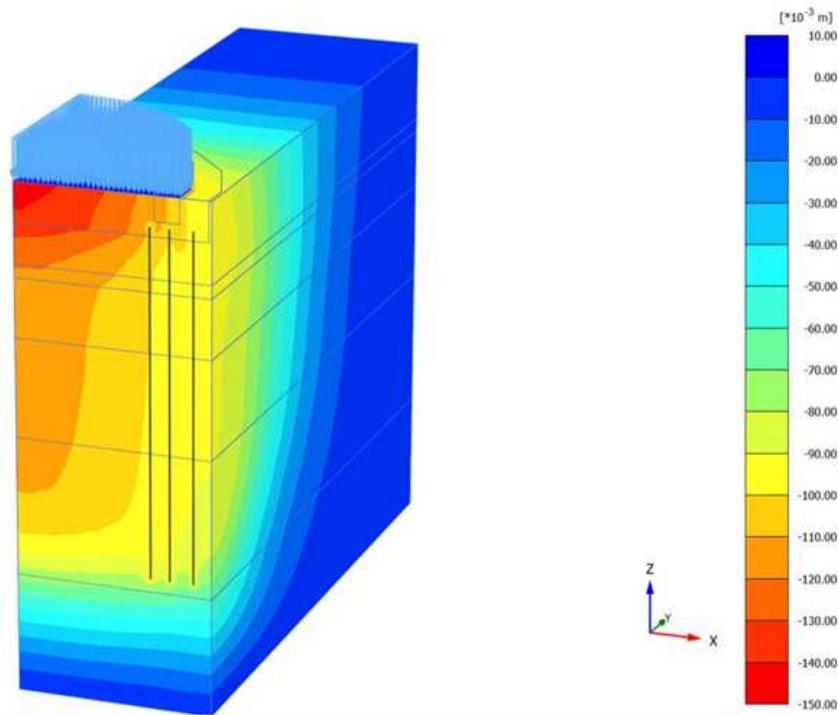


Foxta

Approche analytique: 8,5 cm au droit de l'inclusion et 5 cm dans les couches inférieures: 13,5 cm

# Centrale électrique de Boufarik (Algérie)

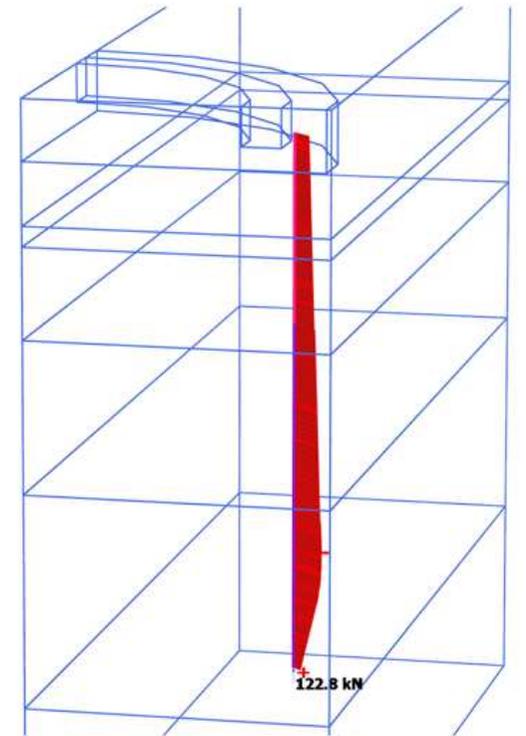
## Méthodes numériques (Chapitre 3 §4 de ASIRI)



Phase displacements  $Pu_z$

Maximum value = 0.000 m (Element 63016 at Node 93923)

Minimum value = -0.1437 m (Element 3535 at Node 22808)



Axial forces  $N$  (scaled up  $5.00 \cdot 10^{-3}$  times)

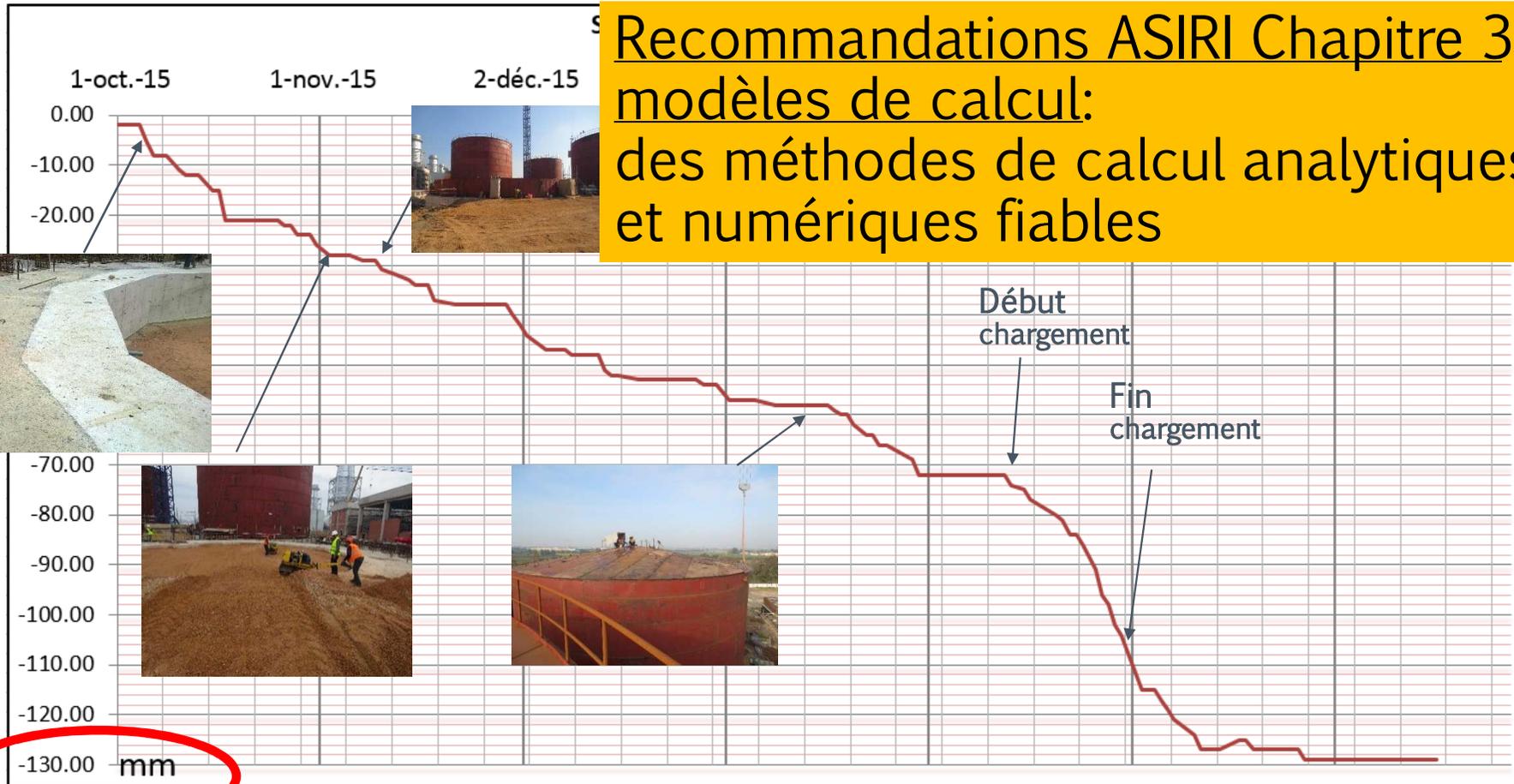
Maximum value = -120.3 kN (Element 2727 at Node 80140)

Minimum value = -489.9 kN (Element 2703 at Node 80092)

Approche numérique: 14 cm

# Centrale électrique de Boufarik (Algérie)

Recommandations ASIRI Chapitre 3  
modèles de calcul:  
des méthodes de calcul analytiques  
et numériques fiables

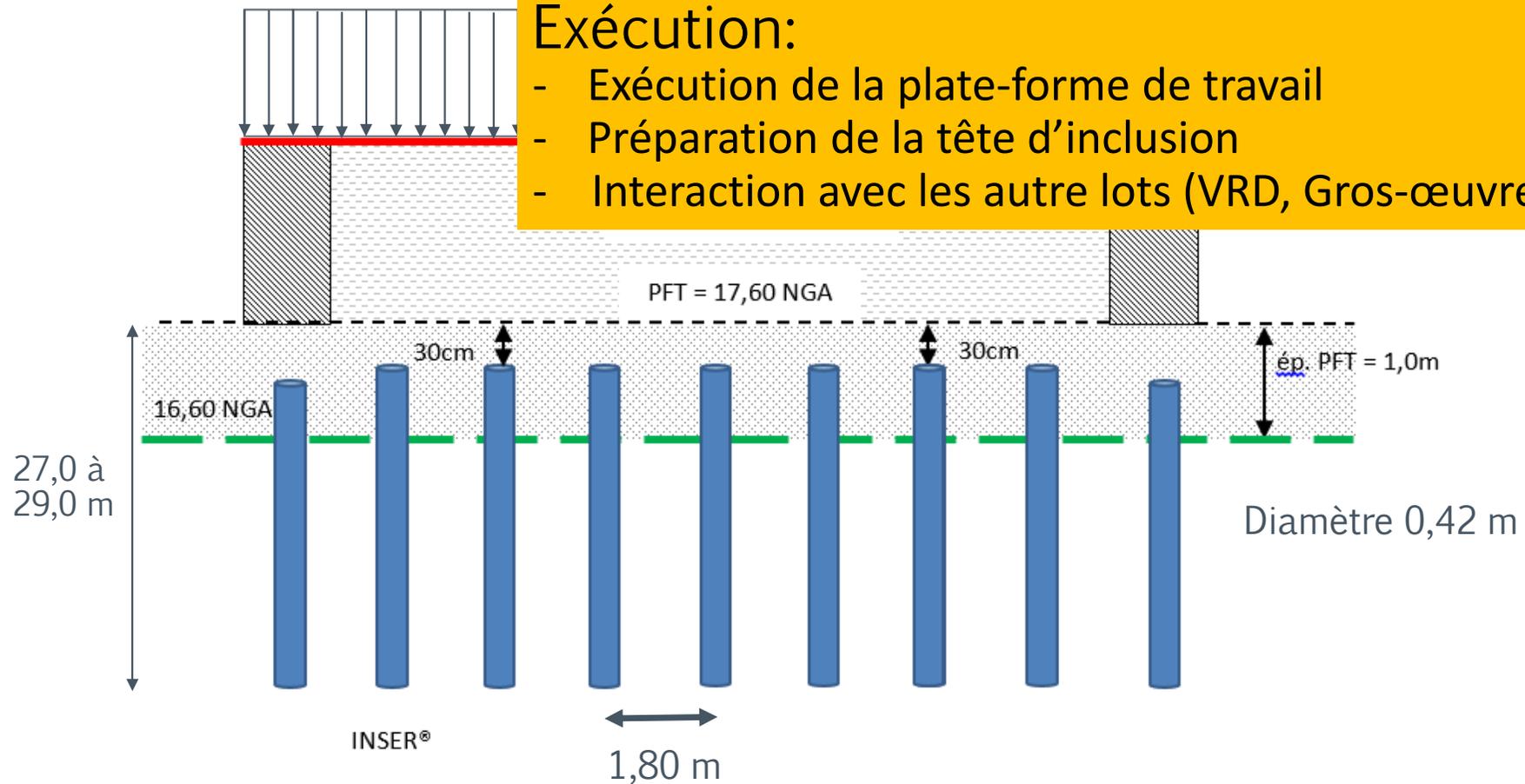


Stabilisation des tassements en 2 semaines

# Centrale électrique de Boufarik (Algérie)

## Recommandations ASIRI chapitre 7 Exécution:

- Exécution de la plate-forme de travail
- Préparation de la tête d'inclusion
- Interaction avec les autres lots (VRD, Gros-œuvre)





# Transport en Commun en Site Propre TCSP (Martinique)

## SITUATION





# TCSP (Martinique)

zone de sismicité 5 ( $a_n = 4,86 \text{ m/s}^2$ )

Classe de sol D

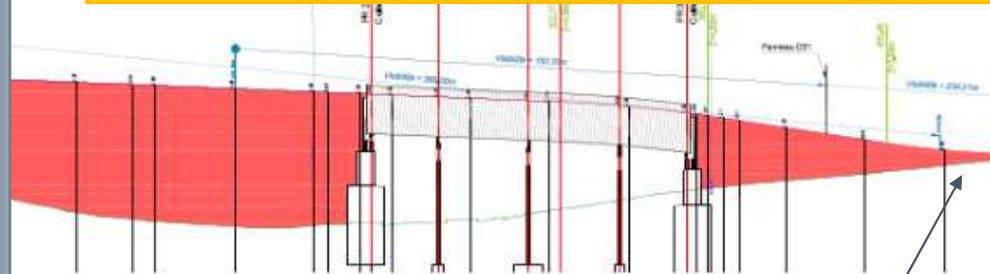
Maitre d'ouvrage : Conseil Régional de Martinique

Client : Conseil Régional de Martinique

Maitre d'œuvre : EGIS France

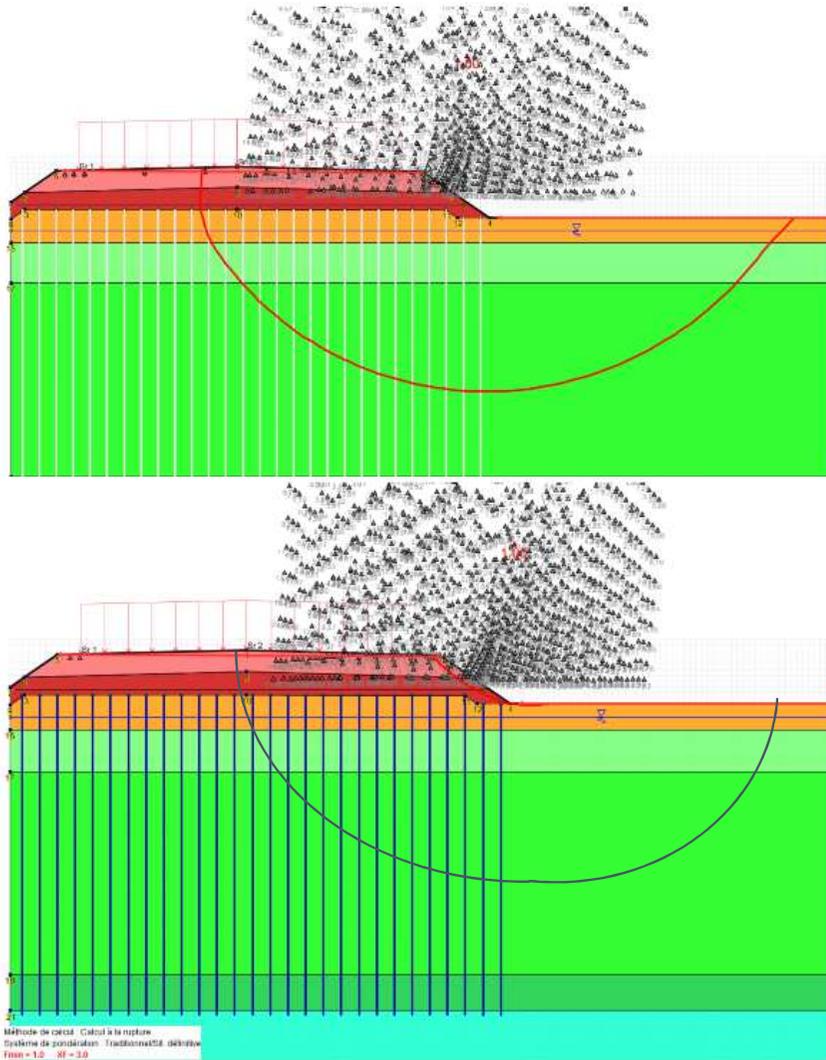
Remblai $q_c = 2 \text{ MPa}$	3,5 m
Argile $q_c = 1 \text{ MPa}$ alluvionnaire	7 m
Argile organique $q_c = 0,4 \text{ Mpa}$ $C_c = 1,7 \text{ à } 3,8$ $W_{nat} = 100 \text{ à } 150 \%$	29 m
Argile d'altération $q_c = 2 \text{ MPa}$	31 m
Conglomérat altéré $Pl = 3 \text{ MPa}$	

Recommandations ASIRI  
Conception Chap. 4 §5 :  
- Prise en compte du fluage



Problème de  
liquéfaction  
de 1 à 6 m

# TCSP (Martinique)



## Recommandations ASIRI:

- Domaines 1 et 2: approche dimensionnelle différente (meilleur management du risque)

Sans IR:  $F = 1,28 < 1,5$   
→ Domaine 1

Avec IR:  $F = 3 > 1,5$  ✓

# TCSP (Martinique)

Zone repérée sur le profil en long et la vue en plan	Abis	A	B	C	D	E	Ebis
Rampe	1				2		
N° de Profil en travers type	PTT	PTE	PTE	PTE	PTE	PTE	PTE
Maillage Inclusions	Aucu						
Type de renforcement de sol							
Amplitude de tassement absolu (cm)	11						
Géogrille	PET 300						

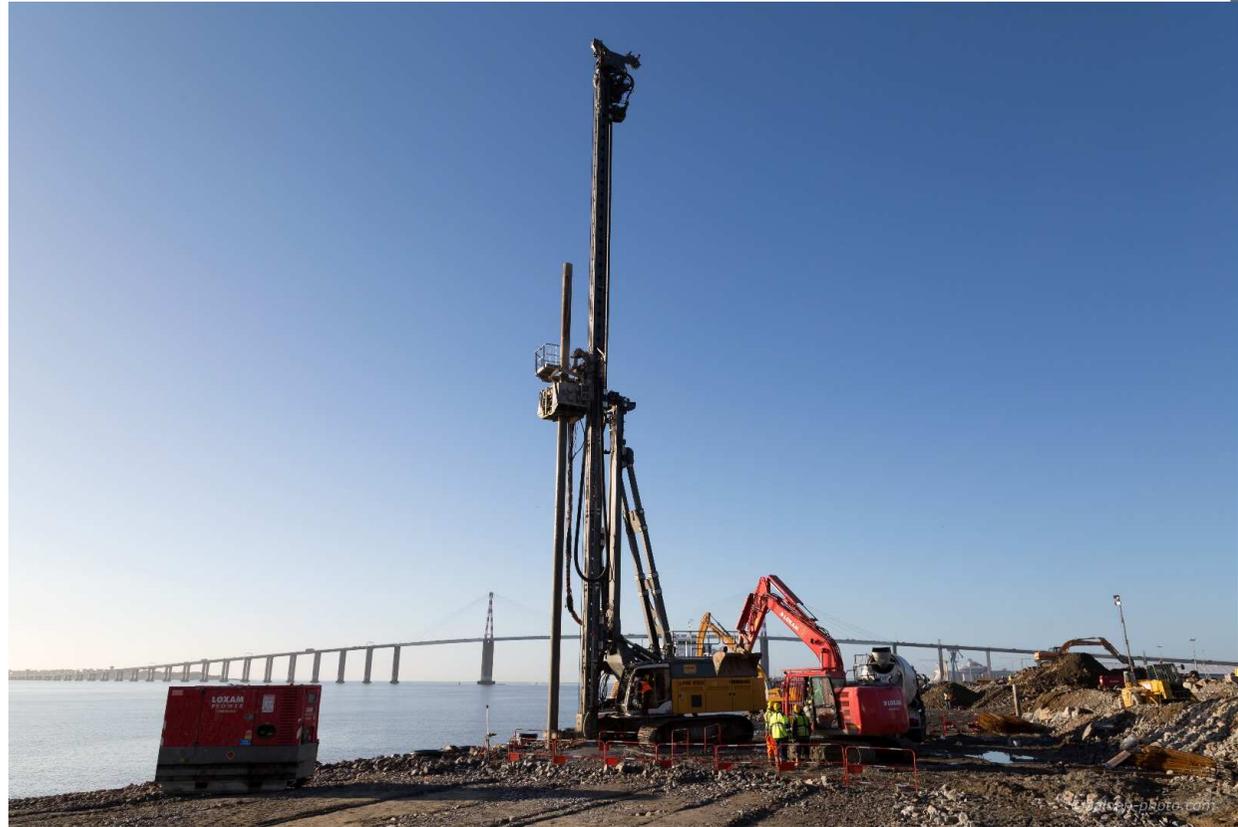
## Zone sismique:

- ASIRI fait référence aux recommandations de l'AFPS,
- Vis-à-vis des effets cinématiques et inertielles, les inclusions sont armées par des tubes 114,3 mm
- Vis-à-vis de la liquéfaction association avec des colonnes ballastées

## Recommandations ASIRI (Chap. 7 Exécution) :

- Effet boîte à œufs à vérifier. Un décaissé a du être envisagé à certain endroit pour respecter une hauteur minimale entre la tête d'Ir et la chaussée
- Préconisation pour la mise en place de nappes de géotextile

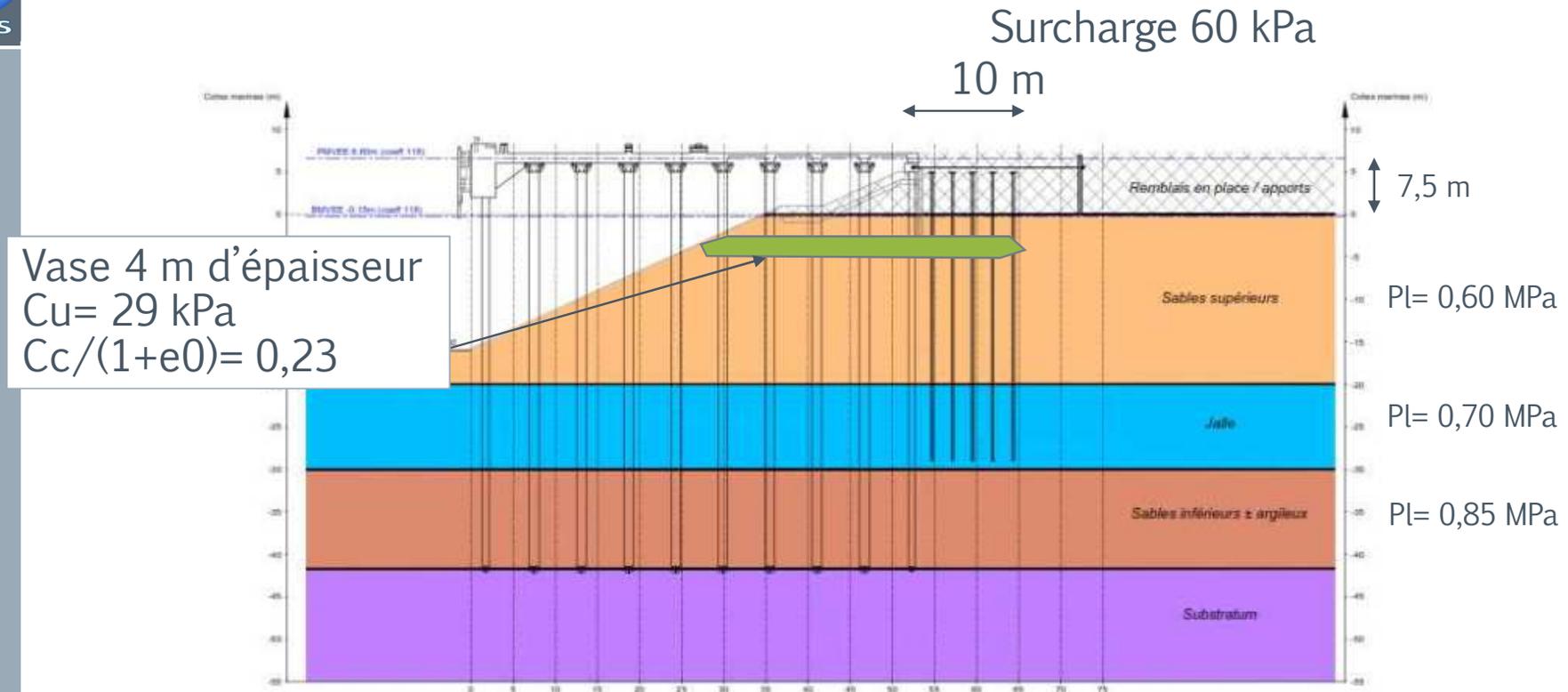
# Extension du quai à Montoir en Bretagne (2015-2017)



21 SEPT 2016

CFMS

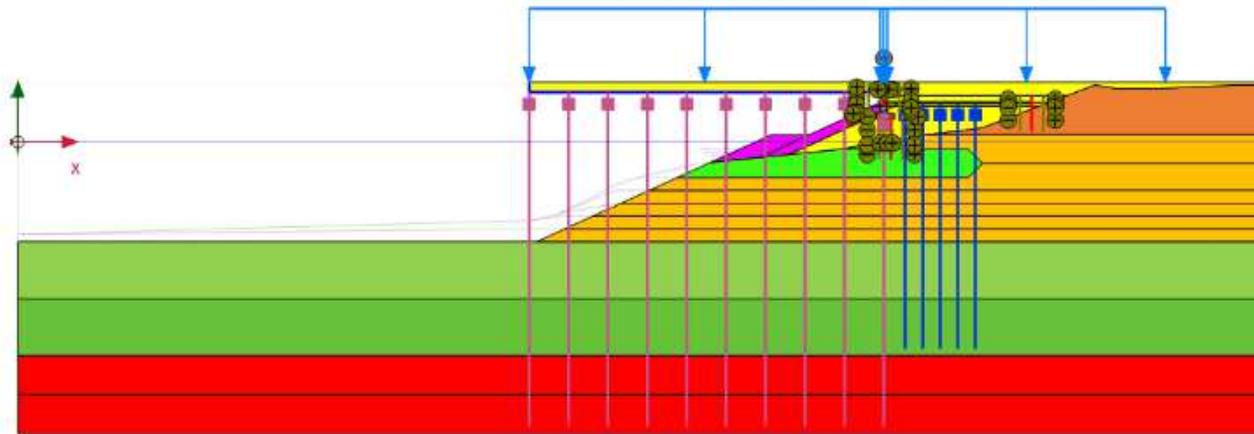
# Extension du quai à Montoir



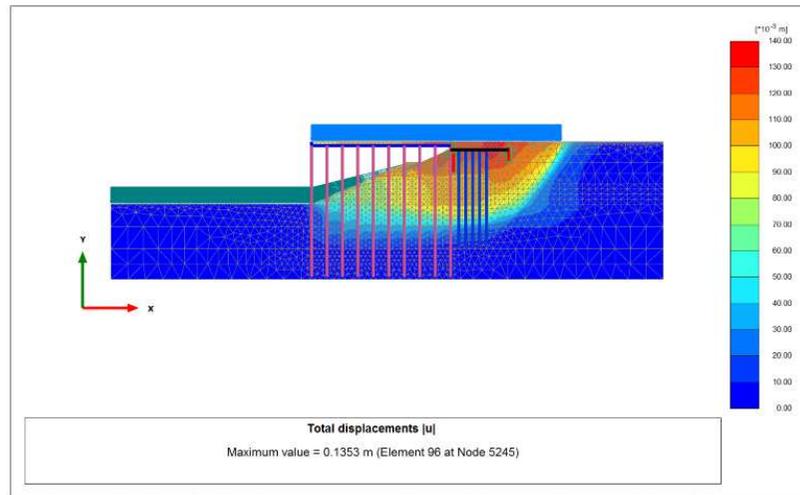
Quai sur pieux

Inclusions INSER sur terre-plein  
Maille 6,25 m<sup>2</sup> Ø 42 cm

# Extension du quai à Montoir



Long terme (consolidation totale et changement de comportement de la vase CT -> LT)

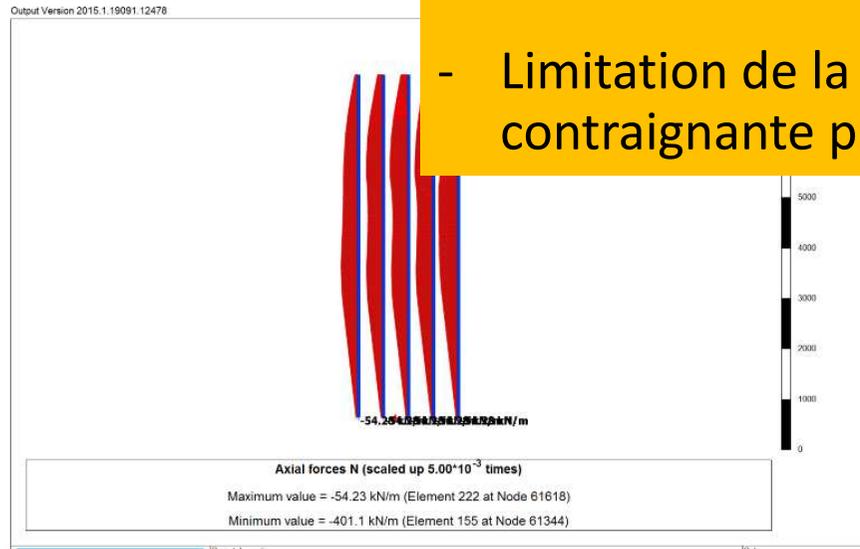


Phases explorer		
<input checked="" type="checkbox"/>	Initial phase [InitialPhase]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Dragage par GPM - < 01/09/15 [Phase_1]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Enrochement - 15/09/15 [Phase_2]	
<input checked="" type="checkbox"/>	IR - 15/10/15 [Phase_3]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Remblais - 15/11/15 [Phase_4]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Dépose enrochement - 22/11/15 [Phase_5]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Pieux - 30/11/15 [Phase_6]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Bêche - 07/12/15 [Phase_7]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Palplanche - 15/12/15 [Phase_8]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Contre rideau - 01/01/16 [Phase_9]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Tirant et poutre de couronnement - 01/02/16 [Phase_10]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Remblai +6,5 CM - 01/03/16 [Phase_11]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Remblai +8,4 CM - 15/05/16 [Phase_12]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Pieux - 01/06/16 [Phase_13]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Fin du quai - 15/07/16 [Phase_14]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Mise en service - 15/03/17 [Phase_15]	
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>LT [Phase_16]</b>	

# Extension du quai à Montoir

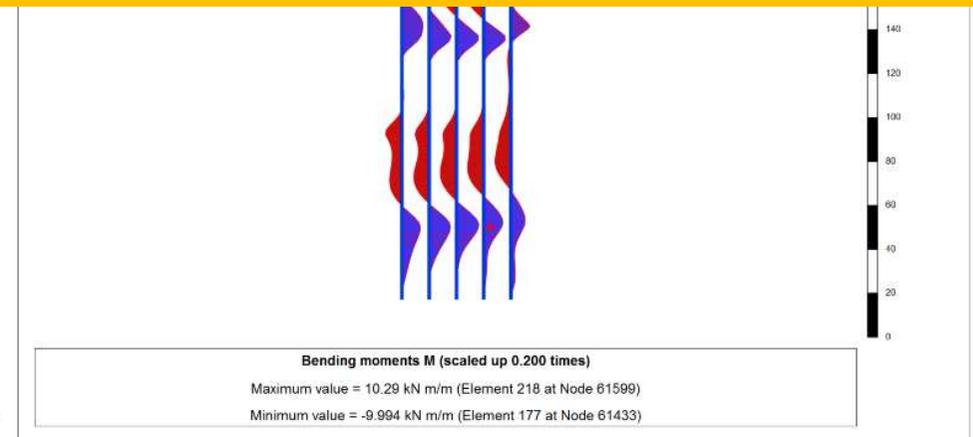
## Vérification Recommandations ASIRI Chapitre 5 Conception:

- Limitation de la contrainte à 7 Mpa aux ELU très contraignante pour des remblais



La charge maximale dans les INSER est de  $401,1 \text{ kN/m} \times 2,5 \text{ m} = 1002,7 \text{ kN} \ll \min(R_{adm}; R_{intrinsèque ELU}) = 2462,0 \text{ kN}$ .

La charge maximale en tête est de 390,5 kN soit une contrainte dans le matelas de 2,8 MPa environ.



Contraintes dans béton vérifiées

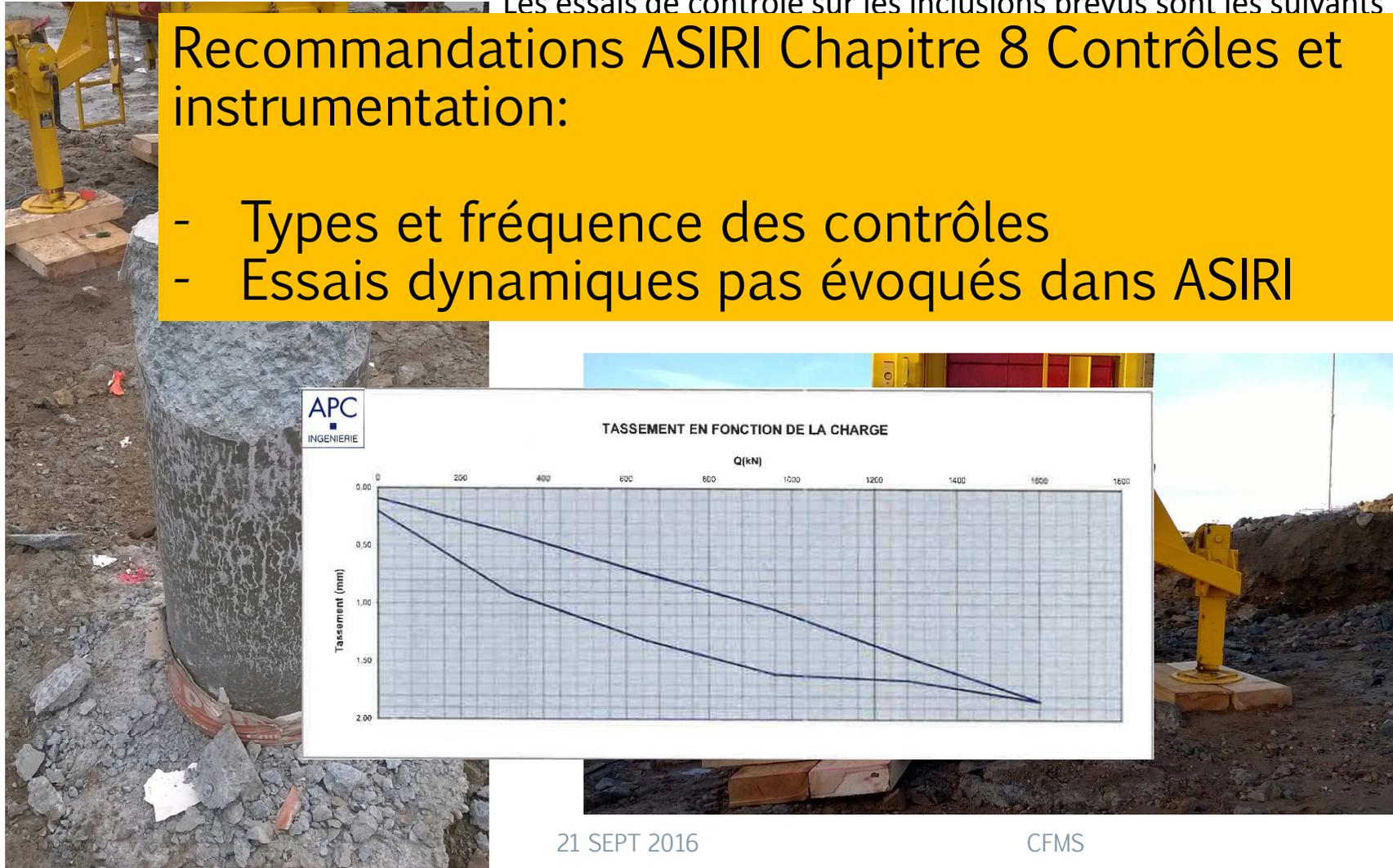
Section restent entièrement comprimée

# Extension du quai à Montoir

Les essais de contrôle sur les inclusions prévus sont les suivants :

Recommandations ASIRI Chapitre 8 Contrôles et instrumentation:

- Types et fréquence des contrôles
- Essais dynamiques pas évoqués dans ASIRI



21 SEPT 2016

CFMS

## Parc de 10 éoliennes Ouainville (76)

Combinaison des inclusions rigides avec d'autres procédés:  
Compactage Statique Horizontal  
(CHS) injection solide.



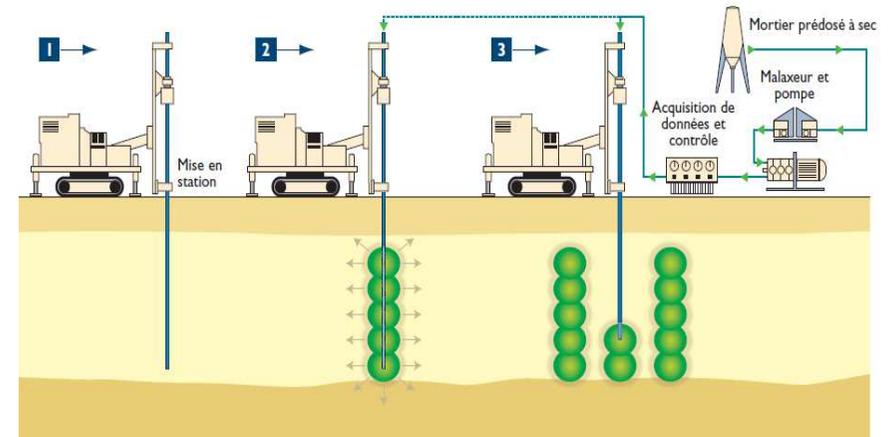
21 SEPT 2016

CFMS

# Parc de 10 éoliennes Ouainville (76)

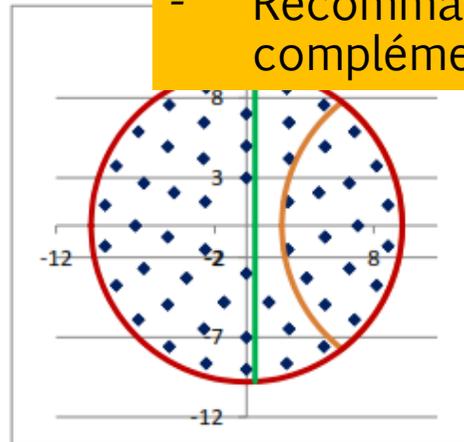
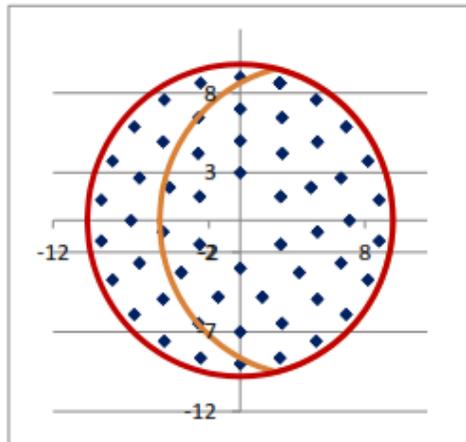
Phasage travaux:

- Réalisation de l'injection solide dans les zones altérées
- Réalisation des inclusions rigides INSER®

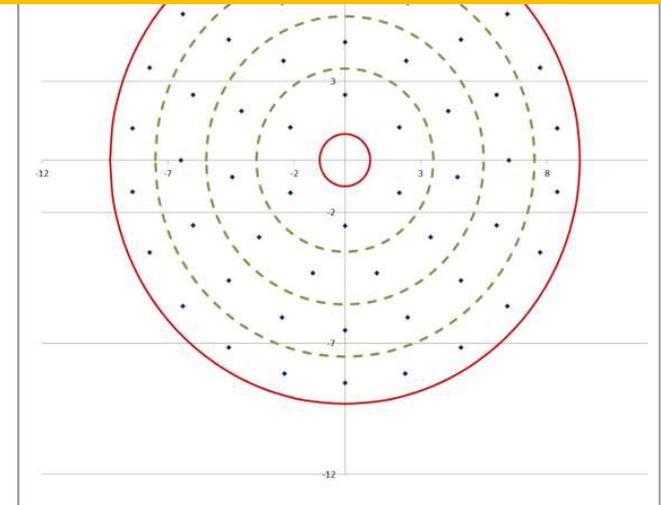


# Parc de 10 éoliennes Ouainville (76)

⊕ ELS QP avec eau ;



⊕ **Recommandations ASIRI:**  
 - Recommandations du CFMS viennent en complément.



55 IR phi 340 mm à la tarière à refoulement en quatre anneaux.  
 La maille globale est de 5,5 m<sup>2</sup>.  
 Profondeur: 3-4 m / PFT (ancrage dans la craie compacte)

# Parc de 10 éoliennes Ouainville (76)

Injection solide de type CHS



Inclusions rigides



# Conclusions

L'apport d'ASIRI ?

- Des règles de calculs:
  - Approche analytique pour la prise en compte des efforts verticaux et horizontaux
  - Approche numérique: lois de comportement et calage des modèles
  - Interaction sol-structure: interaction sur le dallage notamment,
  
- Des règles sur la gestion des interfaces avec les autres entreprises.

## Conclusions

Les principales difficultés restent essentiellement au niveau de l'exécution:

- Phasage parfois difficile entre lots pour garantir l'intégrité de nos inclusions,
- ASIRI propose un matelas sous des semelles isolées ou filantes avec débord: matelas souvent difficile à compacter et souvent impossible à contrôler. La démarche habituelle consiste d'abord à vérifier sans matelas ou à proposer des colonnes mixtes (inclusions coiffées d'une tête en gravier)



Merci pour votre attention !

21 SEPT 2016

CFMS