

WELCOME MEETING FOR YOUNG GEOTECHNICAL ENGINEERS

*Etude de l'exécution, du dimensionnement et du
contrôle des micropieux en Belgique*

Promoteur : Malek Allani & Nicolas Denies

Par Rose-Emmanuelle Ma Mbuyi MASANGA

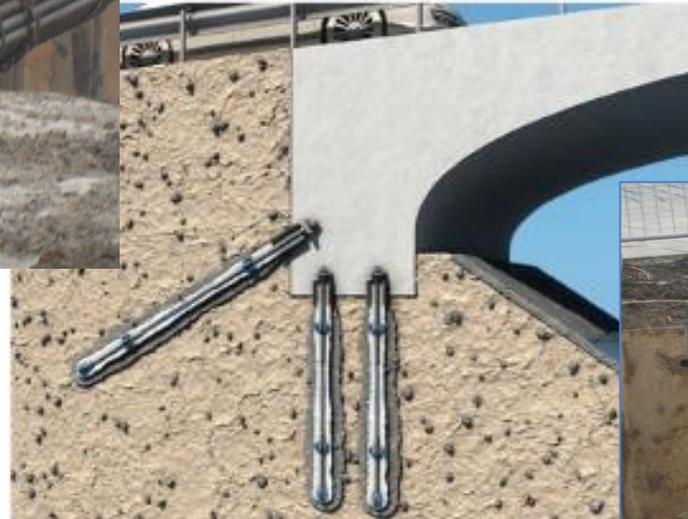
Tuteur : Alain Queeckers

5 Novembre 2014

Introduction

- Travail de fin d'études dans la continuité de « Exécution et dimensionnement des micropieux en Belgique » (N. Kaddouri, ECAM 2012)
- Objectifs :
 - Synthèse de documents complémentaires de dimensionnement
 - CUR Bouw & Infra 232
 - NF P94-262
 - Etude des méthodes de contrôle de la résistance à la traction
 - Aspect 'pratique belge'
 - Approches de dimensionnement
 - Approches de contrôle de la résistance à la traction
 - Confrontation de résultats d'essais in situ aux simulations numériques

- Qu'est-ce qu'un micropieu ?



- Avantages
- Inconvénients

PLAN

Etat de l'art

Aspect pratique belge

Simulations numériques d'essai de traction

Conclusion

Etat de l'art

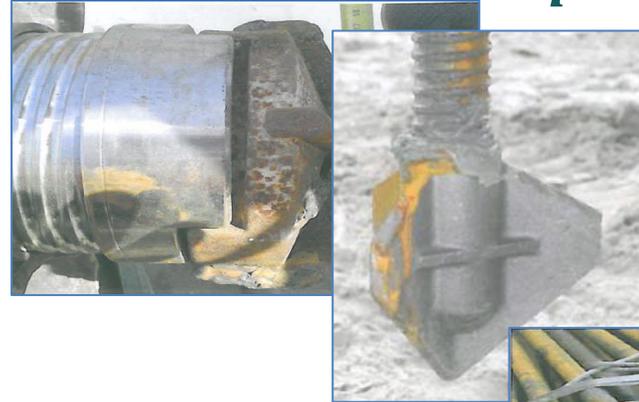
I.1. Compléments de documents de dimensionnement

I.1.1. CUR Bouw & Infra

Détermination de la résistance à la traction ou compression

Fonction de :

- Micropieu :
 - Type (A, B, C, D ou E)
 - Dimensions
- Exécution
- Type de charge appliquée (Traction ou Compression)



Résistance à la traction

→ Mobilisée par le frottement

Résistance à la compression

→ Mobilisée par le frottement et la pointe

I.1.2. NF P94-262

4 approches de dimensionnement

- Essais de chargement statique selon la norme NF EN 1997-1 ;

$$R_k = \text{Min} \left\{ \frac{(R_m)_{\text{moyen}}}{\xi_{\text{moyen}}}; \frac{(R_m)_{\text{min}}}{\xi_{\text{min}}} \right\}$$

Résistance à la traction

$$R_k = R_{t,k} = R_{s,k}$$

Résistance à la compression

$$R_k = R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k}$$

- Procédure du « pieu modèle » (selon la NF EN 1997-1 ou NF EN 1990) ;
→ cfr Fascicule 62-V & DTU 13.2
- Procédure « alternative » ou encore procédure du « modèle de terrain » (selon la NF EN 1997-1) ;
→ cfr Fascicule 62-V & DTU 13.2
- Essais dynamiques

I.2. Comparaison des termes dimensionnants

I.2.1. Facteurs considérés sur le diamètre

Selon les documents et normes :

- Soit fonction du type d'exécution, de sol et/ou d'injection
- Soit :
 - Aucun facteur sur Φ_{forage} , Φ_{pale} ou Φ_{pointe}
 - Aucune indication

I.2.2. Charges limites

Résistance à la traction mobilisée par frottement

Résistance à la compression mobilisée par :

- Frottement et pointe : pour 'BUSTAMANTE et DOIX', 'CUR Bouw & Infra 232' et 'NF P 94-262'
- Frottement : pour tous les autres documents et normes

I.2. Comparaison des termes dimensionnants

I.2.3. Comparaison des dispositions contre la corrosion

Principales dispositions :

- Enrobage minimal
- Epaisseur sacrifiée
- Couche de protection : couche époxy \neq , galvanisation, peinture ou autre
- Autres précautions : acier inoxydable \neq , gaines permanentes, tubages, ...

I.2.4. Synthèse – Posters

Tableaux comparatifs

Dispositions contre la corrosion

Documents et normes	Section d'acier réduite à considérer dans les calculs
EN 14199	Enrobage minimal, réduction d'épaisseur ou précautions particulières
DTU 13.2	Réduction d'épaisseur
Fascicule 62-V	Réduction d'épaisseur
Bustamante et Doix	Réduction d'épaisseur ou peinture bitumineuse / anti-corrosion
Projet FOREVER	Galvanisation, réduction d'épaisseur ou gaine
FHWA	Coulis de 20 à 30 mm, couche d'époxy, gaine ou réduction d'épaisseur
DIN 1054	Pas de dispositions contre la corrosion
CUR Bouw & Infra 232	Réduction d'épaisseur, coulis de minimum 30 mm ou double protection (gaine, galvanisation, bande DENSO, acier inox...)
NF P 94-262	Réduction d'épaisseur

Facteur multiplicateur du diamètre

Documents et normes		Valeur de calcul du diamètre		
EN 1997-1				
DTU 13.2	Type II	/		
	Type III	$1,2 \cdot \phi_{\text{charge}}$		
	Type IV	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$		
	Type IV	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$		
Fascicule 62-V	Types II, III et IV		ϕ_{charge}	
Bustamante et Doix	Micropieux IGU	fonction de la nature du sol et du type d'injection		
	Micropieux IRS	/		
NF P 94-262	Tout type d'injection	Sables et graviers	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
		Sables graveleux, grossiers, moyens et fins	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
	Micropieux IRS	Sables limoneux	$1,5 \text{ à } 2 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
		Sables	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
	Micropieux IGU	Limons	$2 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
	Micropieux IGU	Argiles	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
	Micropieux IRS	Argiles	$2,5 \text{ à } 3 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
	Micropieux IGU	Argiles	$1,5 \text{ à } 2 \cdot \phi_{\text{charge}}$	
	Tout type d'injection	Marnes	$1,5 \text{ à } 2 \cdot \phi_{\text{charge}}$ pour couche compacte	
		Marno-calcaires	$2 \text{ à } 6 \cdot \phi_{\text{charge}}$ pour couche fracturée	
Craie altérée ou fragmentée		$1,1 \text{ à } 1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$ pour couche finement fissurée		
Rocher altéré ou fragmenté		$2 \cdot \phi_{\text{charge}}$ (ou plus) pour couche fracturée		

Projet FOREVER		/ (Cfr normes françaises)
FHWA		/
DIN 1054	Sables et graviers	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$
	Argiles et (osm sableux)	$1,5 \cdot \phi_{\text{charge}}$
	Roches altérées	ϕ_{charge}
CUR Bouw & Infra 232	Type A	$\phi_{\text{charge}} + 20$
	Type B – Sans pointe perdue	$\phi_{\text{charge}} + 20$
	Type B – Avec pointe perdue	$\phi_{\text{charge}} + 20$
	Type C	$\phi_{\text{charge}} + 20$
	Type D	$\phi_{\text{charge}} + 20$
Type E	ϕ_{charge}	

Charges limites

Documents et normes	Charges limites	
	Résistance à la pointe	Résistance au frottement latéral
EN 1997-1	Se base sur les essais de chargement statique de pieux	
DTU 13.2	/	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}}$
Fascicule 62-V	/	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}}$
Bustamante et Doix	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}} + Q_{\text{pu}}$	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}}$
Projet FOREVER	Se réfère aux normes françaises	
FHWA	/	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}}$
DIN 1054	/	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}}$
CUR Bouw & Infra 232	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}} + Q_{\text{pu}}$	$Q_{\text{pu}} = Q_{\text{pu}}$
NF P 94-262	Se base sur les essais de chargement de pieux	

I.3. Méthodes de contrôle des micropieux

Normes étudiées

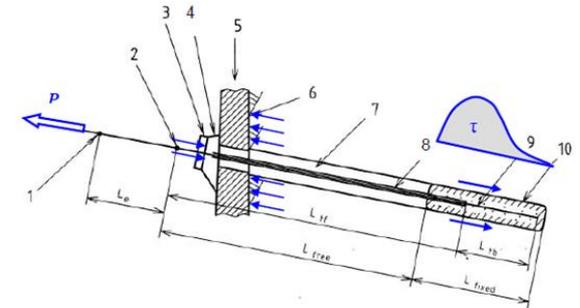
- Norme française NF P94 - 153
- Norme allemande DIN 4125
- Norme ISO/DIS 22477- 5

Domaine d'application

Définition 'Tirants – Micropieux – Clous'

- Similitude : Armatures avec coulis de scellement
- Différence :
 - Scellement continu ou ponctuel
 - Types d'efforts

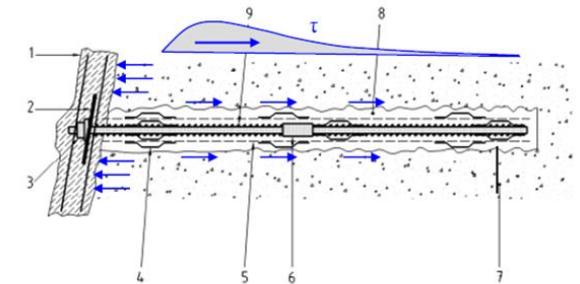
Tirants



Key

- | | |
|---|--------------------|
| 1 Anchorage point at jack during stressing | 6 Soil/rock |
| 2 Anchorage point at anchor head in service | 7 Borehole |
| 3 Bearing plate | 8 Debonding sleeve |
| 4 Lock transfer block | 9 Tendon |
| 5 Structural element | 10 Grout body |

Micropieux - Clous



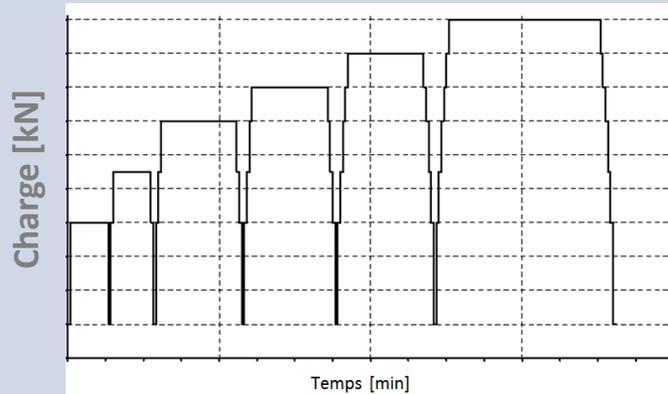
Key

- | | |
|----------------|-----------------------|
| 1 Facing | 6 Coupler |
| 2 Head plate | 7 Inner spacer |
| 3 Locking nut | 8 Grout annulus |
| 4 Outer spacer | 9 Reinforcing element |
| 5 Duct | |

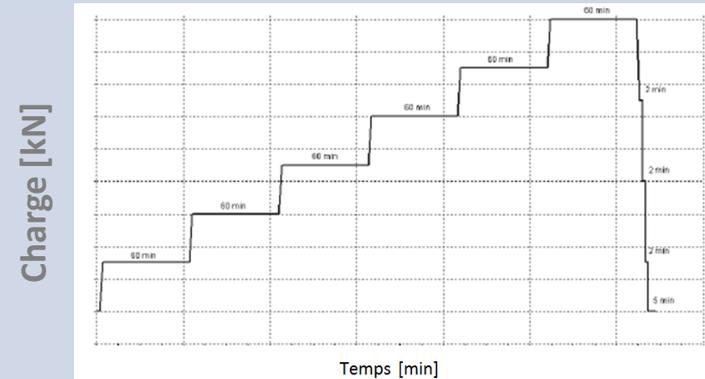
I.3. Méthodes de contrôle des micropieux

Approches de contrôle

Succession de chargement et déchargement



Suite de paliers de chargements constants - déchargements



I.3.1. NF P94 - 153

Deux types d'essais

- Essai à la rupture
- Essai de contrôle

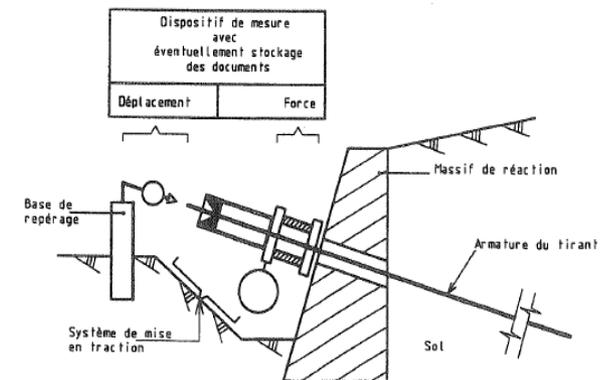


Figure 5 : Appareillage pour un essai de tirant

I.3. Méthodes de contrôle des micropieux

I.3.2. DIN 4125 : 4 types de tests

- Test d'approbation
- Test in situ de conformité
- Test d'acceptance
- Test en service

I.3.3. ISO/DIS 22477 – 5 : 3 méthodes

- Test avec application de charge par cycles (Méthode 1)
→ Déplacement sous charge maximale
- Test avec application de charge par cycles (Méthode 2)
→ Diminution de charge sous charge maximale
- Test par paliers sous charge constante (Méthode 3)

Pour chacune des
méthodes :

- Test d'investigation
- Test de conformité
- Test d'acceptance

I.4. Comparaison des méthodes de contrôle

Tableaux comparatifs

Déroulement de l'essai				
Normes	Dénomination du test	Étapes	Type de mise en charge	Nombre de paliers/cycles
NF P 94-153	Essai à la rupture	Chargement Déchargement	Paliers	8
	Essai de contrôle	Chargement Déchargement	Paliers	5
DIN 4125	Test d'approbation		/	
	Test in situ de conformité	Chargement Déchargement	Cycles	20
	Test d'acceptance	Chargement Déchargement	Cycles	/
	Test en service	Chargement Déchargement	/	
METHODE 1	Test d'investigation	Chargement Déchargement	Cycles	6
	Test de conformité	Chargement Déchargement	Cycles	5
	Test d'acceptance	Chargement Déchargement	Plusieurs paliers successifs de chargement puis déchargement	5 En une traite
	Test d'investigation	Chargement Déchargement	Cycles	6 cycles identiques + 1 plus long
METHODE 2	Test de conformité	Chargement Déchargement	Cycles	3 cycles identiques + 1 plus long
	Test d'acceptance	Chargement Déchargement	Cycles	2 cycles identiques + 1 plus long
ISO/DIS 22477-5	Test d'investigation	Chargement Déchargement	Plusieurs paliers successifs de chargement puis déchargement	8 3
	Test de conformité	Chargement Déchargement	Plusieurs paliers successifs de chargement puis déchargement	6 4
	Test d'acceptance	Chargement Déchargement	Paliers successifs de chargement puis déchargement (ou rechargement après déchargement partiel)	5 En une traite

Valeurs déduites des essais				
Normes	Dénomination du test	Valeurs déduites	Interprétation des résultats	
NF P 94-153	Essai à la rupture	T_{E1}, T_{E2}, T_{E3} et T_{E4}	Si $\Delta t < \Delta t_{E4}$ alors T_{E1} ou T_{E2} supérieur à la valeur du dernier palier	
	Essai de contrôle	T_c et Δt_5	Il faut $\Delta t \leq 1.25$ mm (provisoire) ou 1 mm (permanents) pour dernier palier entre t+5 min et t+60 min	
DIN 4125	Test d'approbation		/	
	Test in situ de conformité	k_2	Il faut $k_2 \leq 2$ mm	
	Test d'acceptance	$s_{e1}, \Delta s$ et k_2	<ul style="list-style-type: none"> Il faut le déplacement élastique (s_e) soit dans les limites indiquées dans la norme (annexe XVII) et $k_2 \leq 2$ mm/ancrages permanents) et 1 mm (temporaires) Tests supplémentaires si s_{e1} et s_{e2} plus grands que pour test de correspondance 	
	Test en service		/	
ISO/DIS 22477-5	METHODE 1	Test d'investigation	$s_{max}, a_{1,max}$ et R_c	Il faut $a_{1,max} \leq 2$ mm; avec R_c la charge de test correspondant à $a_{1,max} = 2$ mm
		Test de conformité	s_{max} et $a_{1,max}$	Il faut $a_{1,max} \leq 2$ mm
	Test d'acceptance	s_{max} et $a_{1,max}$	Il faut $a_1 \leq a_{1,max}$ et $a_{1,max}$ doit être fixée	
	METHODE 2	Test d'investigation	Perte de charge, k_1 et R_c	Il faut k_1 (en fin de 7 ^{ème} ou 8 ^{ème} période de temps) inférieure ou égale aux valeurs indiquées dans la norme (annexe XII)
		Test de conformité	k_1	Il faut k_1 (en fin de 7 ^{ème} période de temps) inférieure ou égale aux valeurs indiquées dans la norme (annexe XII)
	Test d'acceptance	k_1	Il faut k_1 (en fin de 3 ^{ème} période de temps) $\leq 3\% P_0$ ou k_1 (en fin de 6 ^{ème} période de temps) $\leq 6\% P_0$	
METHODE 3	Test d'investigation	R_c, R_2 et $a_{2,max}$	Il faut $a_{2,max} \leq 5$ mm	
	Test de conformité	s_{max} et $a_{2,max}$	Il faut $a_{2,max} \leq 2$ mm et les paliers de chargement peuvent être interrompus si $a_{2,max} \leq 1$ mm après 30 min	
	Test d'acceptance	s_{max} et $a_{2,max}$	Il faut $a_2 \leq a_{2,max}$ et $a_{2,max}$ doit être fixée	

But des tests

- Tests communs aux normes ISO/DIS 22477-5 et DIN 4125

Essai de conformité : Vérifier qu'un type de micropieu est capable de transférer la charge de calcul dans des conditions données.

Test d'acceptance : Vérifier la capacité portante des micropieux (après leur installation)

- Tests selon l'ISO/DIS 22477-5

Test d'investigation : Atteindre la charge P_0 pour laquelle la rupture est atteinte à l'interface sol-micropieu.

- Tests selon la DIN 4125

Test d'approbation : Vérifier l'adéquation entre l'utilisation d'un type particulier de micropieu avec un type précis de sol ou de roche.

Test en service : Vérifier la performance ainsi que la capacité portante des micropieux après le test d'acceptance.

Signification de quelques termes (ISO/DIS 22477-5 & DIN 4125)

Δs : Augmentation de déplacement

s_e : Déplacement élastique

s_{max} : Déplacement maximal en tête

R_c : Résistance critique

Aspect pratique belge

II.1. Approches de dimensionnement utilisées en pratique

Entreprises	Document (s) de dimensionnement	Dispositions vis-à-vis de la corrosion
Entreprise 1	Bustamante et Doix et/ou CUR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Documents de référence : Recommandations TA 95 et EC 2 ▪ Dispositions appliquées : <ul style="list-style-type: none"> - Epaisseur sacrifiée - Couche ou pellicule autour de l'armature - Utilisation d'acier galvanisé
Entreprise 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bustamante et Doix ▪ Fascicule 62 - V ▪ DTU 13.2 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Document de référence : Recommandations TA 95 ▪ Disposition appliquée : Epaisseur sacrifiée (Principalement)
Entreprise 3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bustamante et Doix ▪ Fascicule 62 - V 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Document de référence : Recommandations TA 95 & API ▪ Dispositions appliquées : <ul style="list-style-type: none"> - Epaisseur sacrifiée - Epaisseur supplémentaire de coulis de ciment
Entreprise 4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bustamante et Doix ▪ Fascicule 62 - V 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Document de référence : Recommandations TA 95 ▪ Dispositions appliquées : <ul style="list-style-type: none"> - Epaisseur sacrifiée - Peinture bitumineuse ou anti-corrosion - Fonction des classes de protection P0, P1 ou P2
Entreprise 5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bustamante et Doix ▪ Fascicule 62 - V 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Document de référence : Recommandations TA 95 ▪ Dispositions appliquées : <ul style="list-style-type: none"> - Epaisseur sacrifiée - Enrobage minimal de coulis, mortier ou béton - Précautions particulières

II.2. Approches de contrôle utilisées en pratique

Entreprises	Document (s) de contrôle	Commentaires
Entreprise 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NF P 94 -153 ▪ Recommandations TA 95 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Test considéré : Essai de contrôle ▪ Tests supplémentaires sur demande : <ul style="list-style-type: none"> - Test d'acceptance - Test de conformité - Test d'investigation
Entreprise 2	Recommandations TA 95	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tests considérés : <ul style="list-style-type: none"> - Test de contrôle - Essais préalables
Entreprise 3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NF P 94 -153 ▪ DIN 4125 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tests considérés : <ul style="list-style-type: none"> - Essai de contrôle et essai à la rupture - Essai de conformité - Test d'acceptance
Entreprise 4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recommandations TA 95 ▪ « Essai sur pieu isolé » du Laboratoire des Ponts et Chaussées (LPC) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tests considérés : <ul style="list-style-type: none"> - Essai de contrôle et essai à la rupture - Essais de conformité - Test d'acceptance - Test d'investigation (rare)
Entreprise 5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NF P 94 -153 ▪ Recommandations TA 95 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Test considéré : Essai de contrôle ▪ Tests supplémentaires sur demande : <ul style="list-style-type: none"> - Test d'acceptance - Test de conformité - Test d'investigation

Simulations numériques d'essai de traction

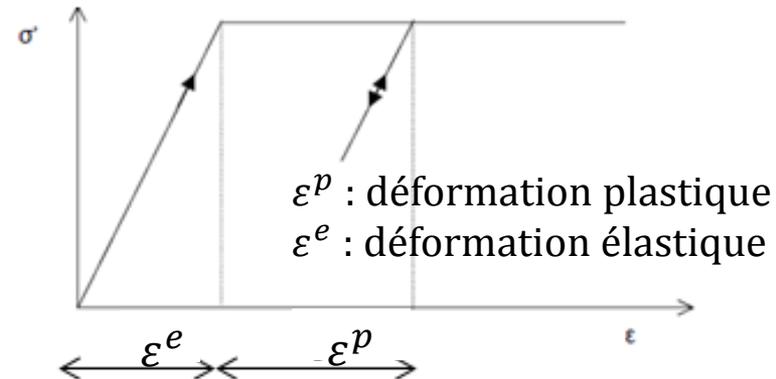
III.1. Etude paramétrique

III.1.1. Modèle et hypothèses

2D – Axisymétrie (hyp. mécanique) - Eléments triangulaires de type '15-node'

III.1.2. Données du problème

- Caractéristiques du sol
 - Loi de comportement : Elasto-plastique - Critère de rupture type Mohr-Coulomb
 - Propriétés
 - $\gamma_{\text{unsat}} : 17 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{\text{sat}} : 20 \text{ kN/m}^3$
 - $E : 15\,000 \text{ kN/m}^2$; $c : 1 \text{ kN/m}^2$; $\nu : 0.3$; $\psi : 0^\circ$
- Caractéristiques du micropieu
 - Loi de Hooke : Modèle linéaire élastique – matériau non poreux
 - Propriétés
 - Longueur : 9 m; rayon : 150 mm
 - $E : 4 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$; $\nu : 0.2$

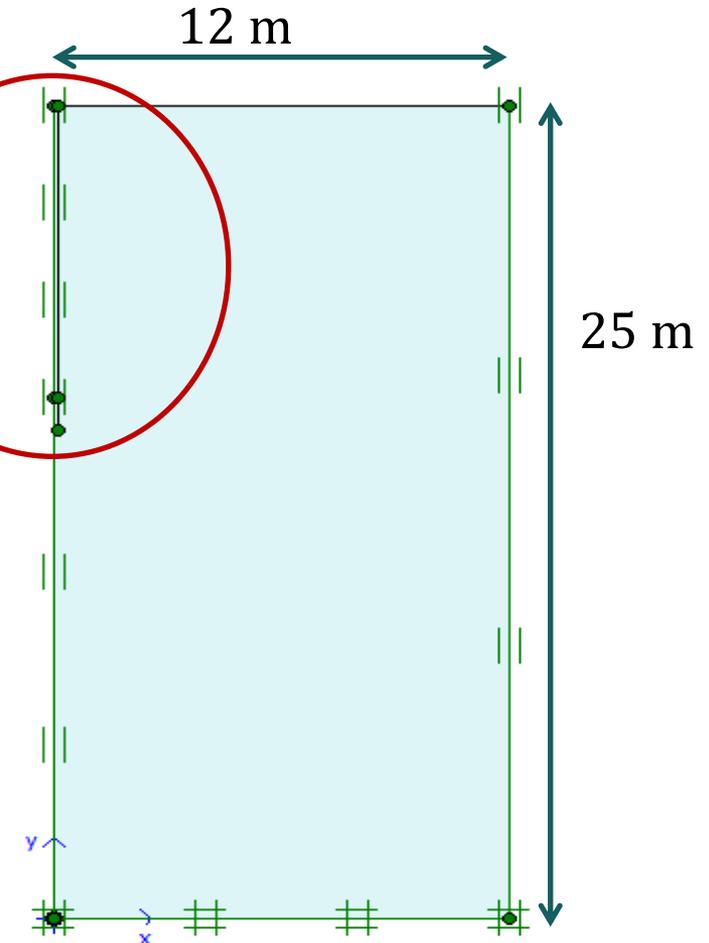


III.1.3. Modélisation et limites du domaine

Le micropieu représenté par le rectangle BCED



Zoom du micropieu



Randolph et Wroth (1978)

$$L_y = 2.5 * L = 2.5 * (9 + 1) \text{ m} = 25 \text{ m}$$

$$L_x = 50 * R = 7.5 \text{ m}$$

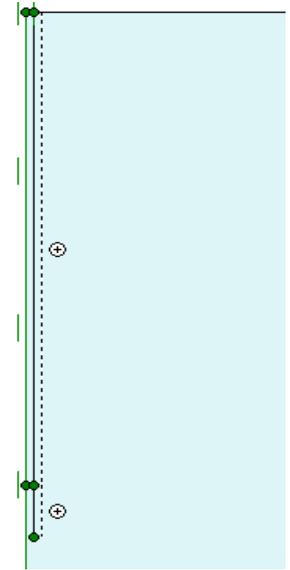
III.1.4. Interface sol - micropieu

- Définition de la notion d'interface
- Caractéristiques de l'interface :

$$c_i = R_{inter} * c_{sol}$$

$$\tan \varphi_i = R_{inter} * \tan \varphi_{sol} \leq \tan \varphi_{sol}$$

- Représentation de l'interface



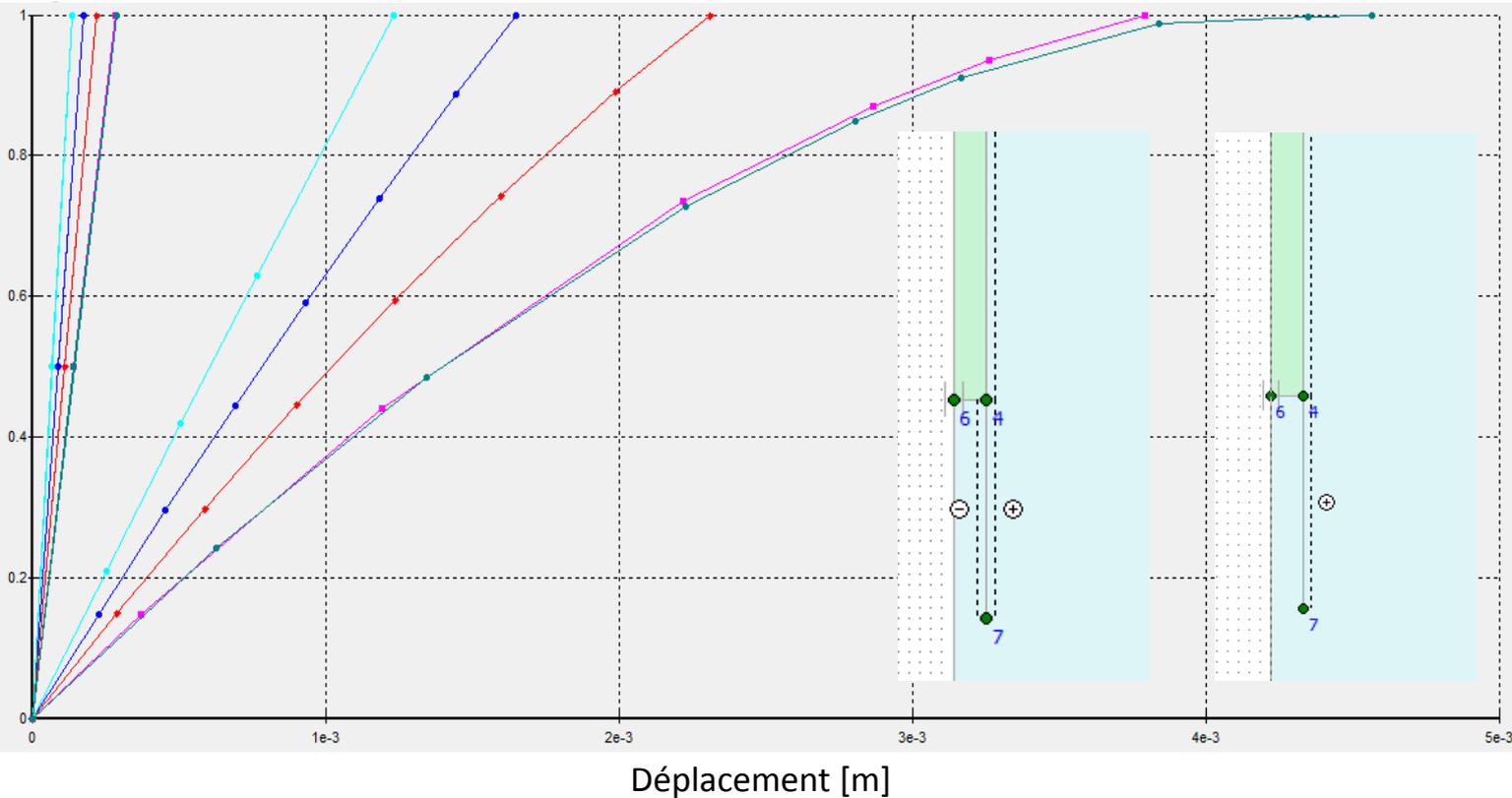
III.1.5. Phases de chargement

- Phase 'KO Procedure' : Définition du sol et initialisation des contraintes
- Phase 1 'Contraction' : Exécution du micropieu et charge de traction de 1kN/m^2
- Phase 2 'Chargement' : Charge de traction maximale définie et Option 'Reset displacement to zero'

III.1.6. Influence de l'interface

Charge imposée : $1\,250\text{ kN/m}^2$

Multiplieur [-]

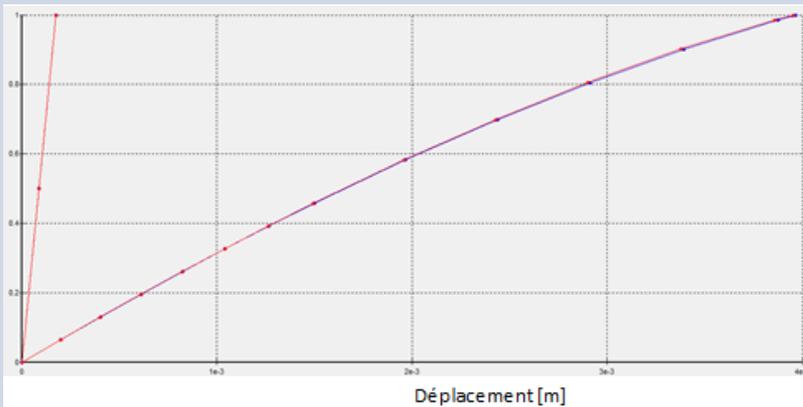


III.1.7. Influence du maillage

Option 'Updated mesh'

Charge imposée : 2 500 kN/m²

Multiplier [-]



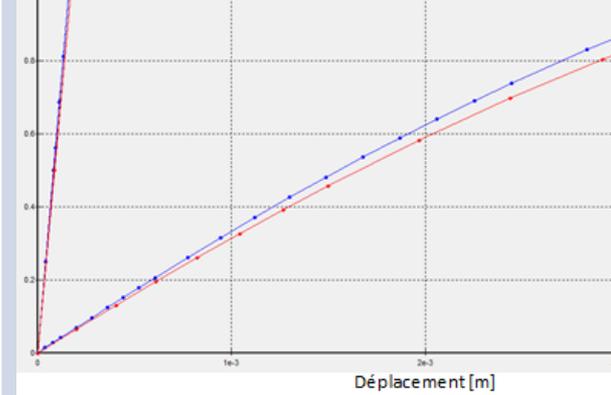
Force imposée - Sans 'Updated Mesh'
Force imposée - Avec 'Updated Mesh'

$U_{\max, \text{Sans 'Updated mesh'}} = 3.97 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $U_{\max, \text{Avec 'Updated mesh'}} = 3.96 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Option 'Refine mesh'

Charge imposée : 2 500 kN/m²

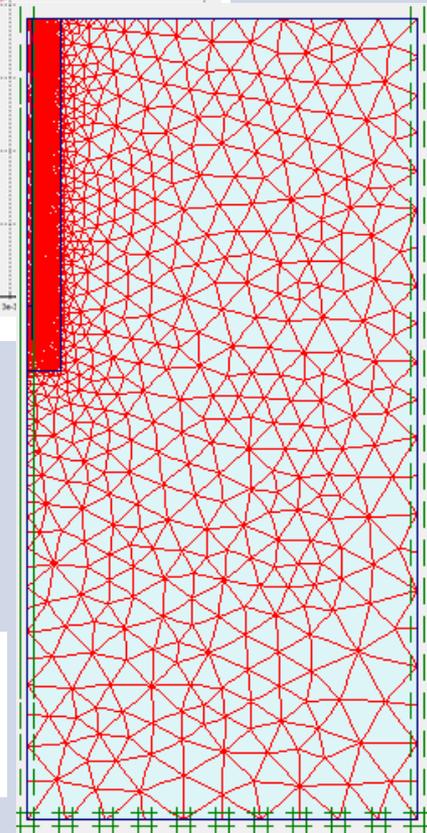
Multiplier [-]



'Refine cluster' - fine

Global mesh - Medium

$U_{\max, \text{'Global Mesh - Medium'}} = 3.97 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $U_{\max, \text{'Refine cluster'}} = 3.75 \cdot 10^{-3} \text{ m}$



III.1.8. Influence de l'angle de frottement (avec $c = 1 \text{ kPa}$)

Charge imposée : $2\,500 \text{ kN/m}^2$

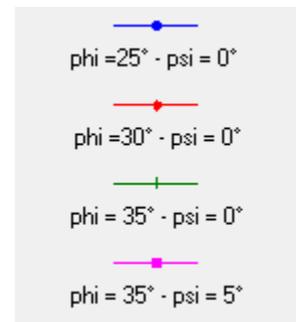
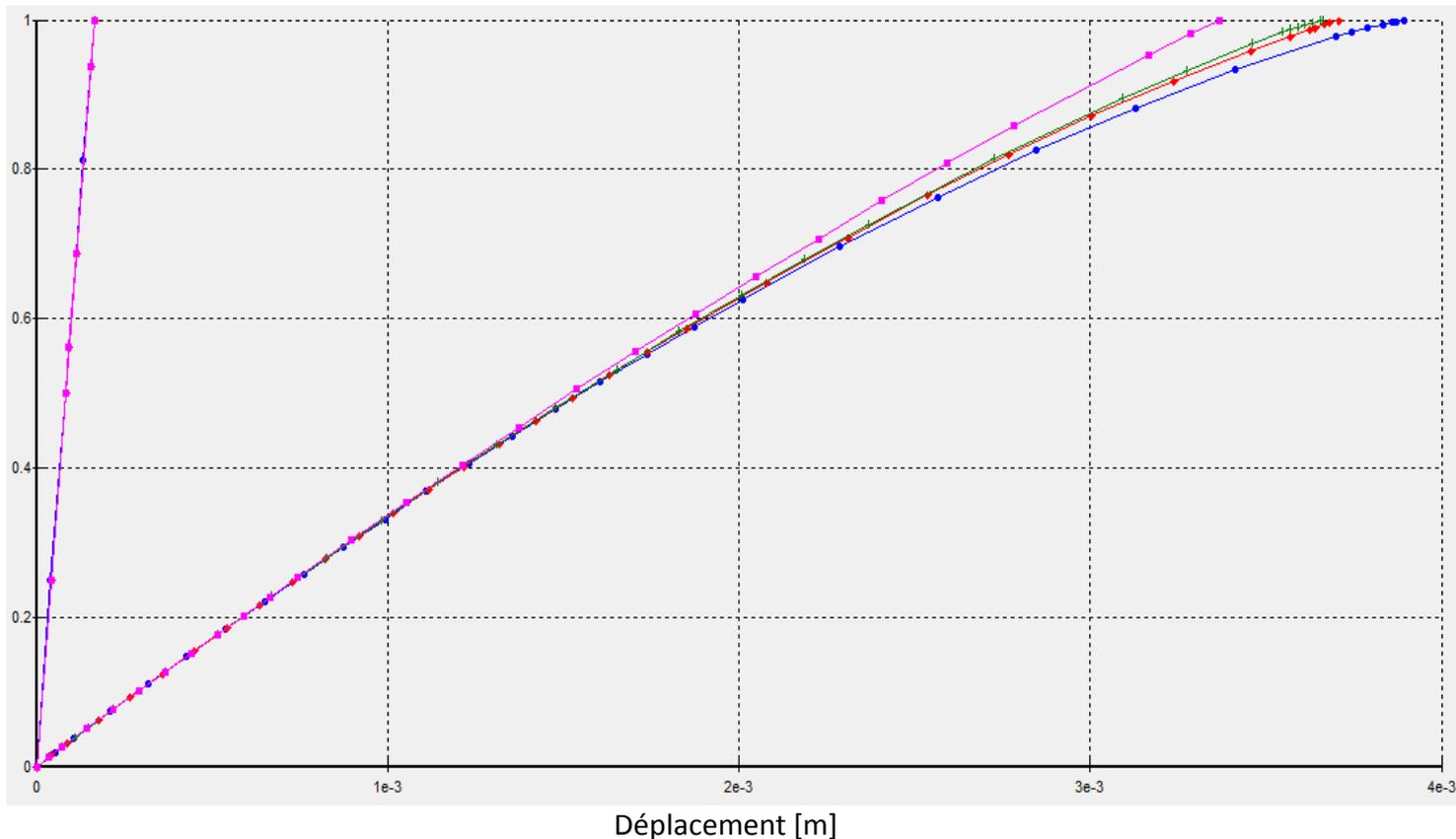
Cas 4.1.1. : $u_{\max} (\varphi = 25^\circ, \psi = 0^\circ) = 3.99 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Cas 4.1.2. : $u_{\max} (\varphi = 30^\circ, \psi = 0^\circ) = 3.82 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Cas 4.1.3. : $u_{\max} (\varphi = 35^\circ, \psi = 0^\circ) = 3.78 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Cas 4.1.4. : $u_{\max} (\varphi = 35^\circ, \psi = 5^\circ) = 3.48 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Multiplieur [-]



III.1.9. Influence de la cohésion (avec $\varphi = 1^\circ$)

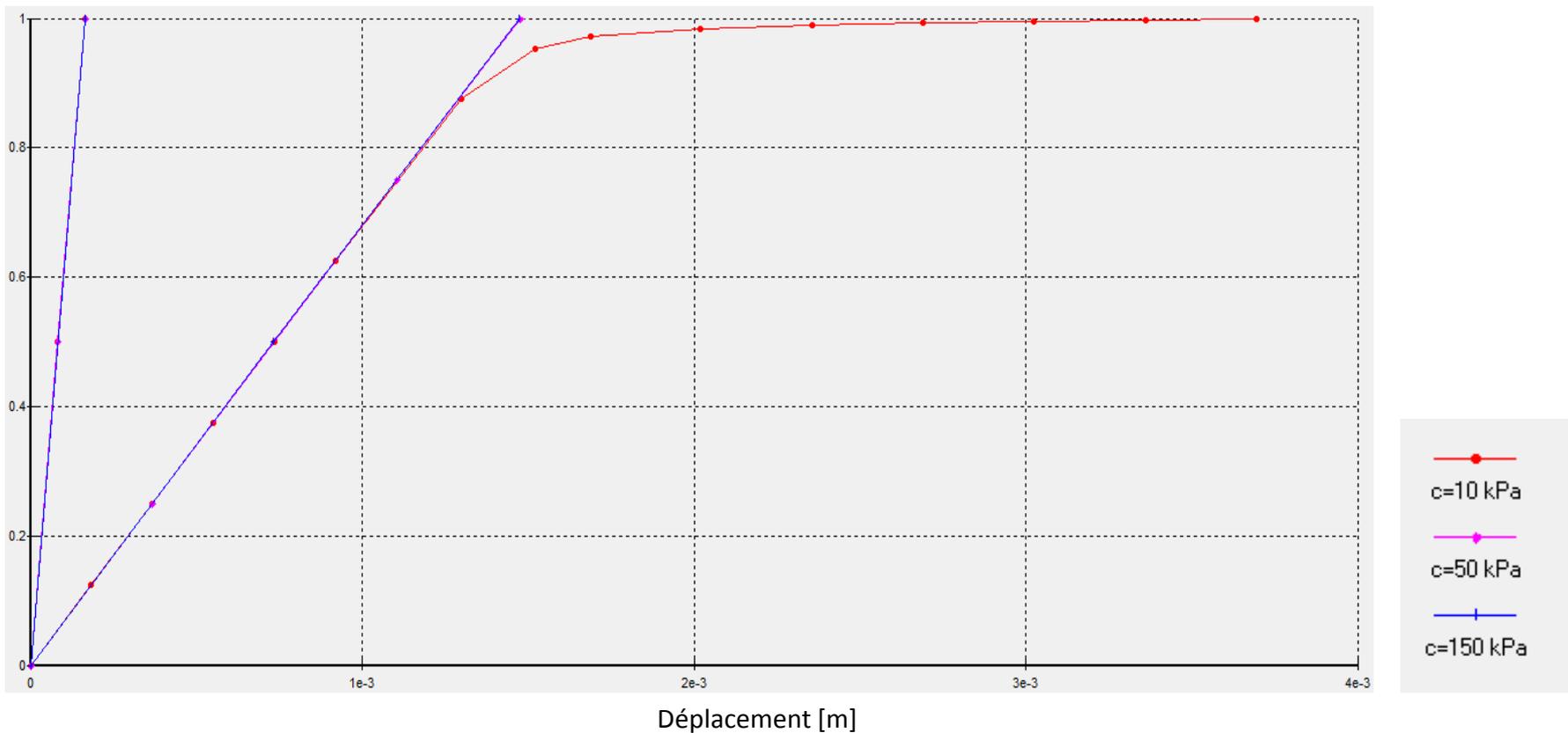
Charge imposée : 1 275 kN/m²

Cas 4.2.1. : u_{\max} (c = 10 kPa) = $3.76 \cdot 10^{-3}$ m

Cas 4.2.2. : u_{\max} (c = 50 kPa) = $1.52 \cdot 10^{-3}$ m

Cas 4.2.3. : u_{\max} (c = 150 kPa) = $1.51 \cdot 10^{-3}$ m

Multiplier [-]



III.2. Comparaison SCIA Engineer et Plaxis

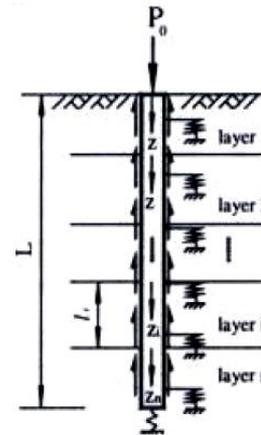
III.2.1. Données du problème

- Micropieu
- Géométrie : Profilé de section circulaire (Diamètre = 300 mm)
- Matériau : Béton armé; $E = 4 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$ et $\nu = 0.2$
- Charge de traction = $1\,275 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * \pi * R^2 = 190.124 \text{ kN}$

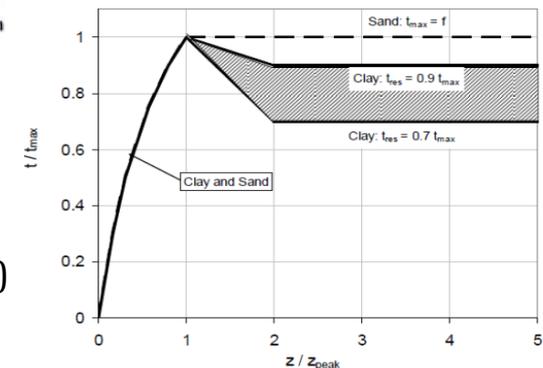
III.2.2. Modélisation SCIA Engineer

Approche de Winkler

Loi de comportement



Courbe ' $t/t_{\max} - z/z_c$ '
(Courbe T-Z API RP 2GEO, 2011)



III.2. Comparaison SCIA Engineer et Plaxis

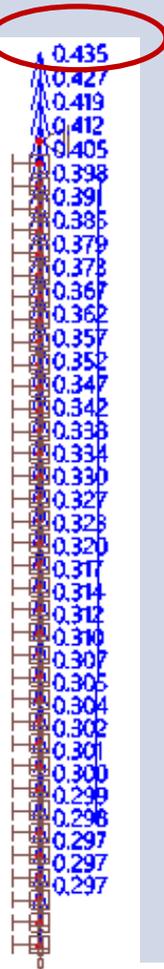
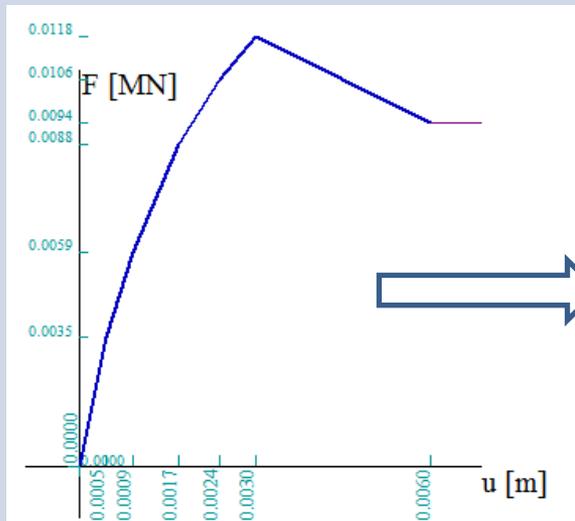
III.2.3. Résultats Simulations

Simulation SCIA Engineer

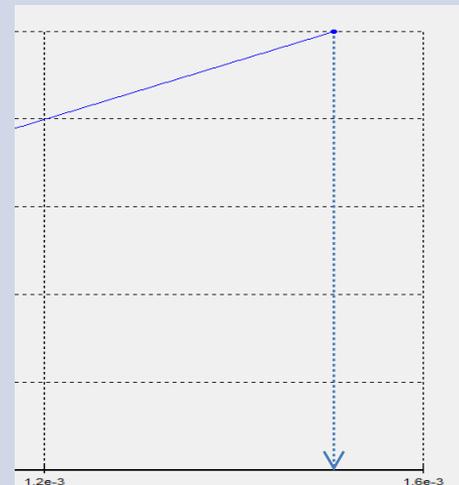
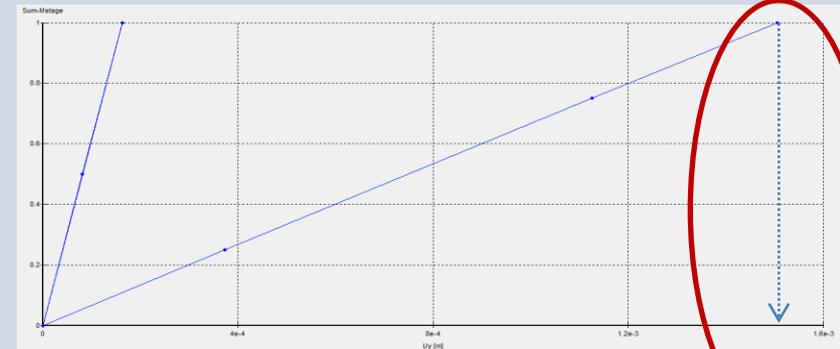
Déplacement en tête
du micropieu (en mm)

$$\tau = c + \sigma * tg\varphi \quad \text{avec } \varphi = 1^\circ$$

$$\tau = 50 \text{ kPa} \quad \Rightarrow \quad t_{\max} = 50 \text{ kPa}$$



Simulation Plaxis



1.52 * 10⁻³ m

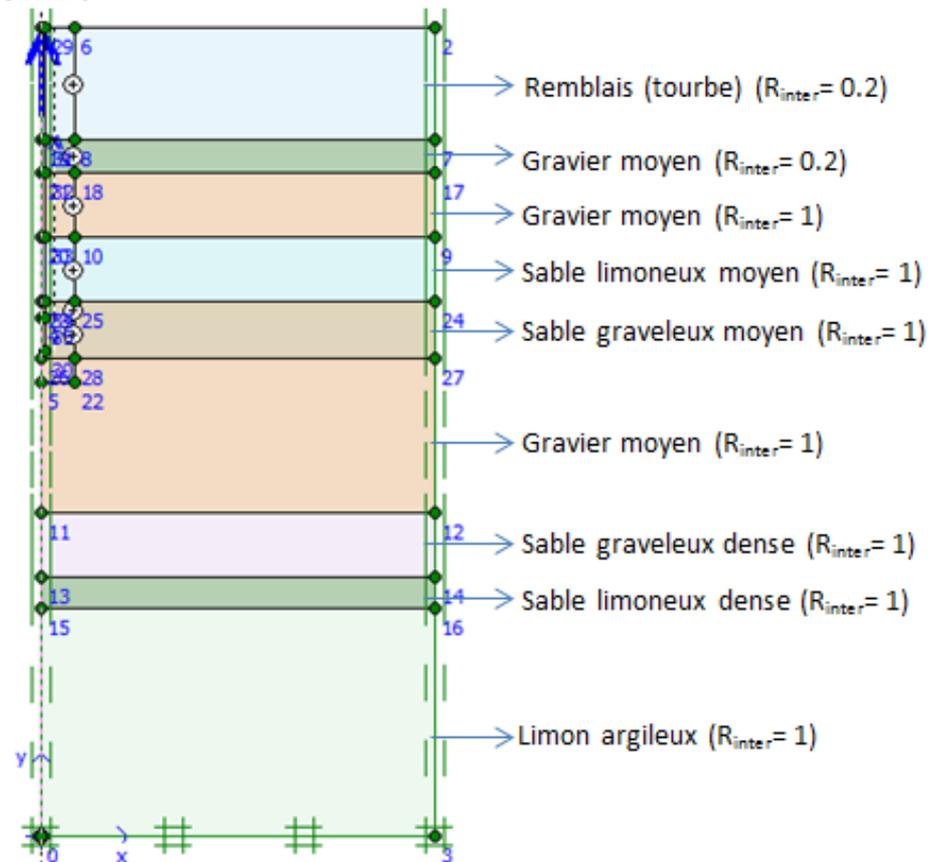
III.3. Essai in situ

III.3.1. Hypothèses et modélisation

III.3.2. Caractéristiques du tirant

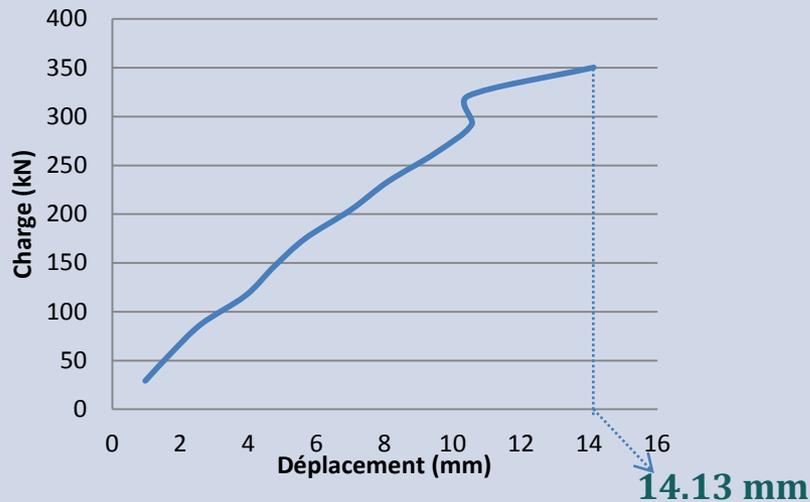
- Dimensions géométriques
 - $L = 9 \text{ m}$
 - $\Phi = 150 \text{ mm}$
- Caractéristiques (béton armé)
 - $E = 4 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$
 - $\nu = 0.2$

III.3.3. Stratigraphie

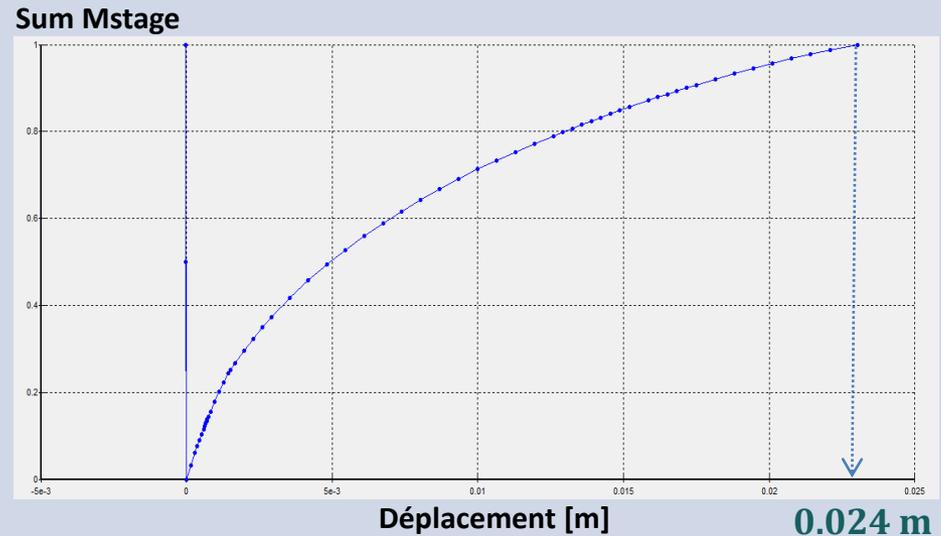


III.3.5. Résultats – Simulation Plaxis

Essai de conformité (in situ)



Simulation Plaxis



Comparaison des résultats

- Légère différence des valeurs obtenues
- Quid interprétation CPT
- Modélisation de la partie libre du tirant
- Mise en charge du micropieu
- Choix du critère de rupture (Mohr-Coulomb et pas Hardening Soil)

Conclusion

Apports de ce travail (1)

- **Synthèse des documents de dimensionnement et de contrôle de la résistance à la traction des micropieux : Vue globale**
- Nouvelle approche hollandaise 'CUR Bouw & Infra 232' et Norme française 'NF P94-262' ;
- Comparaison de différents documents : Facteur considéré sur le diamètre de calcul, charges limites et dispositions contre la corrosion ;
- Confrontation des normes NF P 94 153 (France), DIN 4125 (Allemagne) et ISO/ DIS 22477-5 (Standardisée) : déroulements des tests et valeurs déduites.

Apports de ce travail (2)

- **Aspect 'pratique belge' :**
 - Dimensionnement :
 - Nécessité de directives
 - Considération d'essais
 - Contrôle de la résistance à la traction :
 - Documents utilisés
 - Interprétation des résultats
 - Choix de l'une ou l'autre approche

Apports de ce travail (3)

- **Simulations de l'essai in situ avec Plaxis : limitations du modèle**
 - Hypothèse de la reprise de $\pm 15 \%$ de l'effort appliqué par la partie libre du tirant ($R_{\text{inter}} = 0.2$) ;
 - Effets d'installations non simulés (élargissement du diamètre ou autre) ;
 - Pour le sol, choix d'un modèle considérant le critère de rupture de type Mohr-Coulomb et non le type 'Hardening Soil Model' ou autre ;
 - Application de la charge en une traite ;
 - Autres phénomènes non encore maîtrisés capables d'influencer le déplacement en tête.

Perspectives futures

Quelques suggestions :

- Meilleure estimation des paramètres pour avoir une étude plus représentative de la réalité ;
- Simulations à l'image du déroulement réel de l'essai (par paliers ou cycles selon norme choisie) ;
- Mise en évidence des effets d'installation ;
- Utilisation de modèles de loi de comportement plus élaborés ;
- Confrontation des résultats de Plaxis à ceux obtenus par une approche avec ressorts (en considérant la même loi de comportement pour les deux).

Merci pour votre attention

