

Pont de RADES – LA GOULETTE (Tunisie)

Essai de chargement de pieux de 80 m

- Alain GUILLOUX – Terrasol
- Patrick BERTHELOT – VERITAS
- Kamel ZAGHOUANI – TERRASOL Tunisie

1

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Plan de l'exposé

1. Présentation du projet
2. Reconnaissances géotechniques
3. Dimensionnement des fondations
4. Essais de pieux
 - Essai Osterberg
 - Essai selon la norme française
5. Conclusions

2

CFMS - Séance du 9 juin 2006

1. Présentation du projet

3

CFMS - Séance du 9 juin 2006

1. Présentation du projet

Maître d'ouvrage : **Ministère de l'Équipement, de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire – Direction générale des Ponts et Chaussées**

Mission de contrôle : VÉRITAS (géotechnique : P. Berthelot)

Maître d'œuvre : **NIPPON KOEI – SCET - STUDI**

Conseil géotechnique : M. Londez

Entreprise : **TAISEI Corporation**

Conseil géotechnique : TERRASOL (K. Zaghouani – A. Guilloux)

Contrôle extérieur : F. Schlosser

4

CFMS - Séance du 9 juin 2006

1. Le projet



L'ouvrage principal



Longueur : 260m

Gabarit : 20m

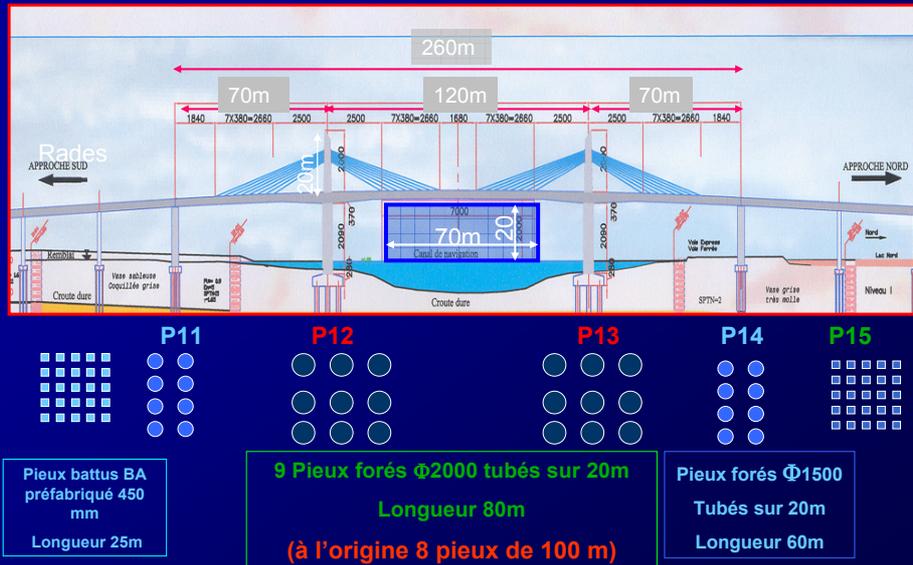
Largeur : 23,5m

Hauteur des Pylônes : 45m

6

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Le principe de fondation



CFMS - Séance du 9 juin 2006

7

Les techniques de réalisation

Pour les pieux de 100 m :

- Jusqu'à 60 m : forage traditionnel
- Jusqu'à 100 m : circulation inverse

Difficultés de foration :

- En traditionnel : déviations d'où nécessité d'utiliser la circulation inverse pour rectifier la verticalité
- En circulation inverse : colmatage ; avancement très lent ...

+ soucis d'optimisation

→ **Décision de raccourcir les pieux**



CFMS - Séance du 9 juin 2006

8

2. Reconnaissances géotechniques

9

CFMS - Séance du 9 juin 2006

2. Consistance des investigations

Études préalables :

- 2 sondages pressiométriques de 105m
- 2 sondages carottés de 105m

Études d'exécution :

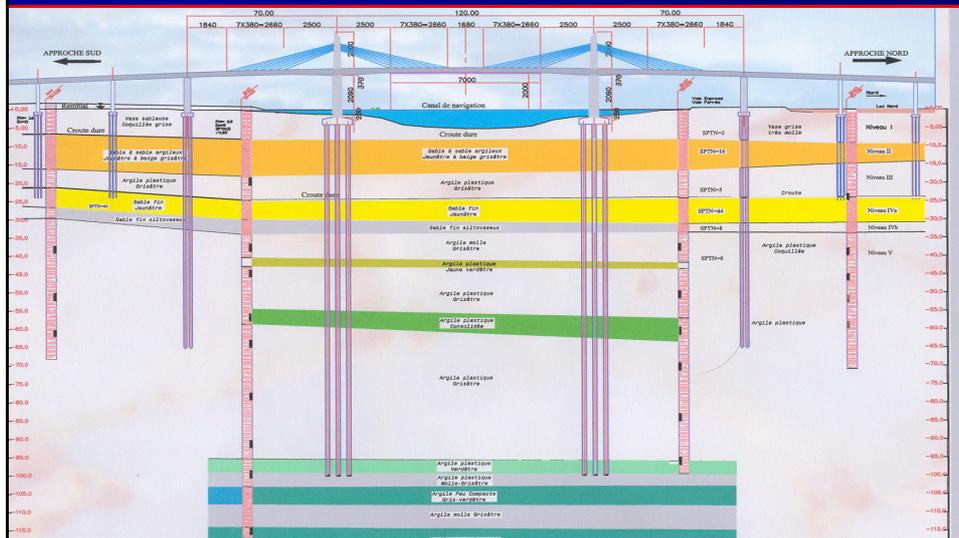
- 4 sondages pressiométriques de 115m
 - 4 sondages carottés de 115m
 - 2 pénétromètres statiques (piézocône)
jusqu'au refus : 25m
- + essais de laboratoire ...

+ lots II et III : remblais et viaduc d'accès

10

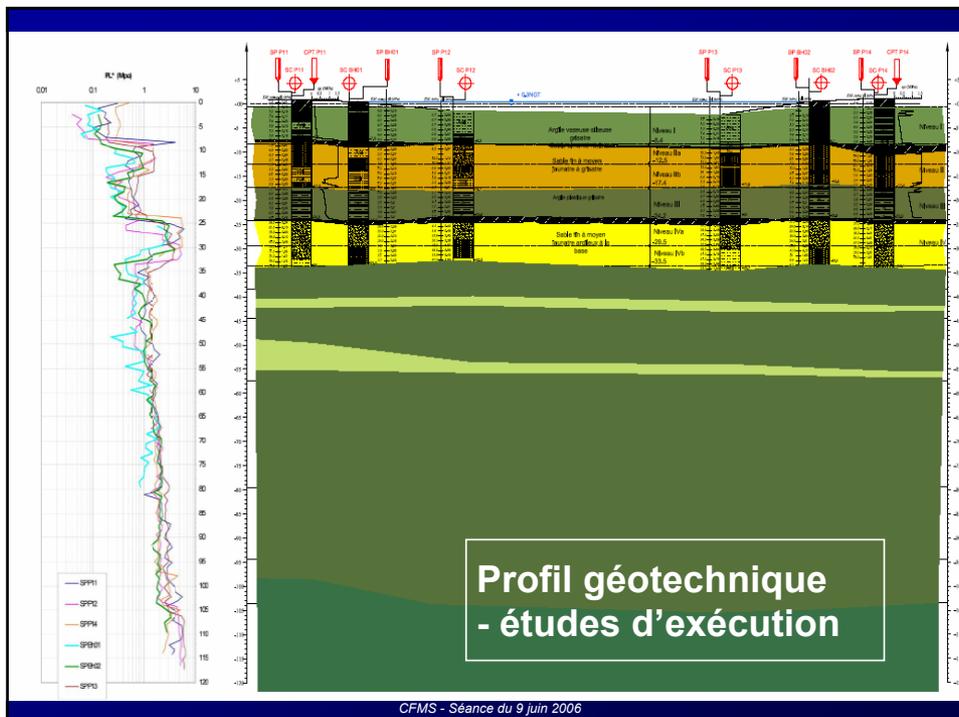
CFMS - Séance du 9 juin 2006

Profil géotechnique - études préalables



11

CFMS - Séance du 9 juin 2006



Profil géotechnique - études d'exécution

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Modèle géotechnique

Niveau	de	à	Épaisseur (m)	Classe de sol	p_i^* (MPa)	E_M (MPa)	E_M/p_i^*	α
I	-0.6	-8.4	7.9	argile A	0.14	1.07	7.45	0.50
IIa	-8.4	-12.5	4.1	sable B	1.15	9.02	7.82	0.33
IIb	-12.5	-17.4	4.9	sable A	0.67	4.02	6.01	0.33
III	-17.4	-24.2	6.8	argile A	0.59	5.06	8.51	0.50
IVa	-24.2	-29.5	5.3	sable C	4.35	44.84	10.3	0.33
IVb	-29.5	-35.6	6.1	sable B	1.49	13.89	9.34	0.33
Va	-35.6	-38.5	2.9	argile A	1.04	9.21	8.83	0.50
Vb	-38.5	-44.5	6.0	argile A	1.19	10.95	9.18	0.67
Vc	-44.5	-57.5	13.0	argile A	1.29	13.29	10.29	0.67
Vd	-57.5	-79.5	22.0	argile B	1.85	20.34	10.98	0.67
Ve	-79.5	-94.5	15.0	argile B	2.32	25.74	11.11	0.67

13

CFMS - Séance du 9 juin 2006

3. Dimensionnement des fondations

14

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Paramètres de calcul selon fascicule 62

Niveau	de	à	épaisseur (m)	p_i^* (MPa)	classe du sol	courbe	q_s (kPa)	k_p
I	-0.6	-8.4	7.9	0.14	argile A	Q1	0	
IIa	-8.4	-12.5	4.1	1.15	sable B	Q1	38	
IIb	-12.5	-17.4	4.9	0.67	sable A	Q1	28	
III	-17.4	-24.2	6.8	0.59	argile A	Q1	25	
IVa	-24.2	-29.5	5.3	4.35	sable C	Q3	120	
IVb	-29.5	-35.6	6.1	1.49	sable B	Q2	75	
Va	-35.6	-38.5	2.9	1.04	argile A	Q1	36	1.1
Vb	-38.5	-44.5	6.0	1.19	argile B	Q1	38	1.2
Vc	-44.5	-57.5	13.0	1.29	argile B	Q1	39	1.2
Vd	-57.5	-79.5	22.0	1.85	argile B	Q1	40	1.2
Ve	-79.5	-94.5	15.0	2.32	argile B	Q1	40	1.2

15

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Justifications de la portance

Pieu isolé		Charges		Capacité portante	« Surdimensionnement »	
		Charge Q (MN)	Q+W (MN)	Q_{adm} (MN)	$Q_{adm}/Q+W$	Résultat
ELS Quasi-permanent	P11 (L=60m)	5.7	6.5	7.5	1.16	vérifié
	P12 (L=75m)	10.7	12.4	13.0	1.05	vérifié
	P13 (L=75m)	10.7	12.4	13.0	1.05	vérifié
	P14 (L=60m)	4.7	5.4	7.5	1.39	vérifié

16

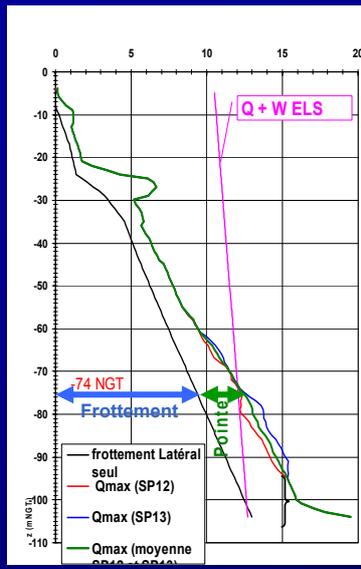
CFMS - Séance du 9 juin 2006

Justification de la portance

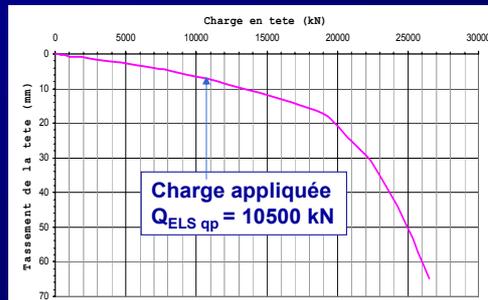
Groupe de pieux (Méthode du pieu équivalent)		Charges		Capacité portante	« Surdimensionnement »	
		Charge Q (MN)	Q+W (MN)	Q_{adm} (MN)	$Q_{adm}/Q+W$	Résultat
ELS Quasi-permanent	P11 (L=60m)	35.7	41.7	118.8	2.85	vérifié
	P12 (L=75m)	77.7	92.5	219.5	2.37	vérifié
	P13 (L=75m)	77.7	92.5	219.5	2.37	vérifié
	P14 (L=60m)	33.1	39.0	104.3	2.67	vérifié

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Variation de la portance d'un pieu aux ELS q.p.



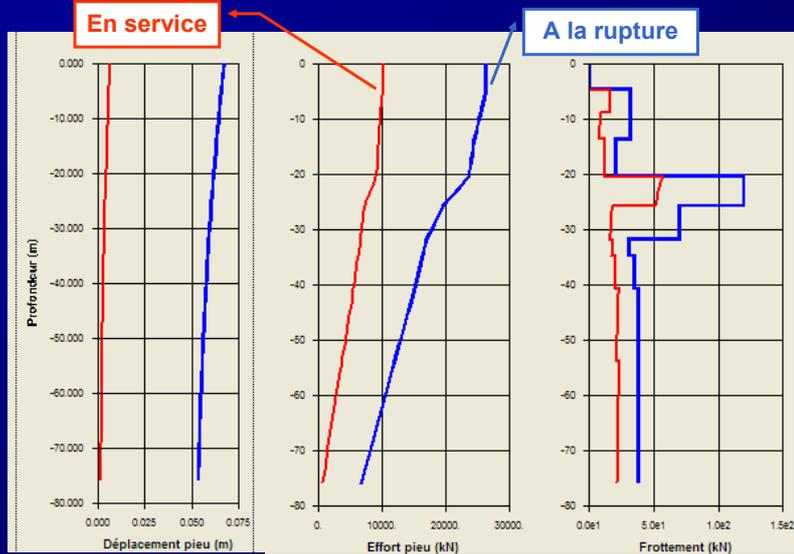
Prévision du comportement du pieu isolé Calcul TASPIE à court terme



18

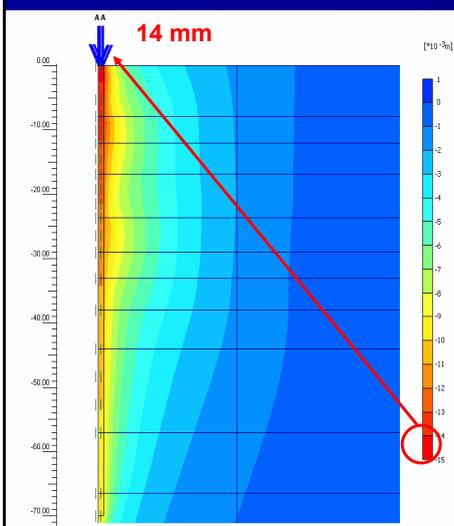
CFMS - Séance du 9 juin 2006

Calculs FOXTA de la mobilisation du frottement et de l'effort en pointe



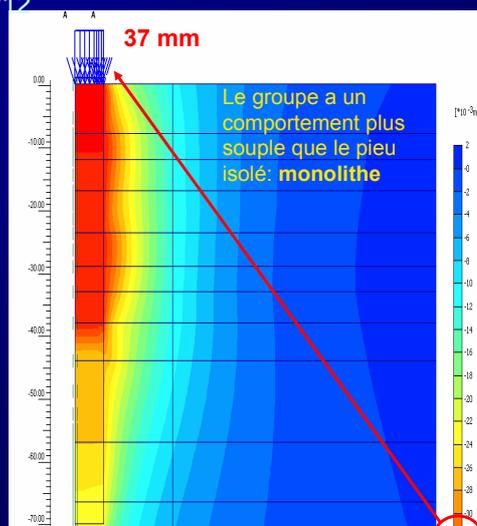
CFMS - Séance du 9 juin 2006

Analyse numérique d'un pieu isolé



Analyse numérique d'un groupe de 9 pieux

P12

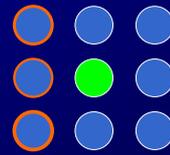


CFMS - Séance du 9 juin 2006

EVALUATION DES TASSEMENTS DES PIEUX

Pieu isolé P12	s_{CT} : Tassement à court terme en tête (mm)	s_{LT} : Tassement à long terme en tête (mm)
Calcul TASPIE	5.3	8.9
Calcul PLAXIS	14	26

Coté canal



Pieu le plus chargé

Groupe de pieux P12	s_{CT} : Tassement à court terme en tête (mm)	s_{LT} : Tassement à long terme en tête (mm)
Calcul TASPIE	13.6	21.3
Calcul PLAXIS	37	52

Groupe de 9 pieux

Pieu équivalent

21

CFMS - Séance du 9 juin 2006



22

CFMS - Séance du 9 juin 2006

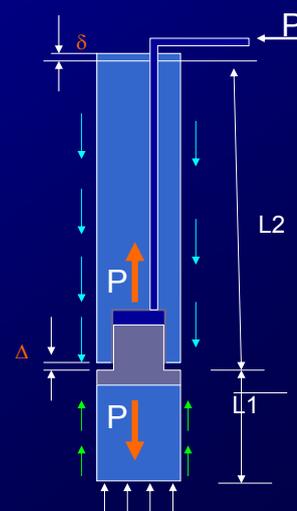
4. Essais de chargement de pieux

23

CFMS - Séance du 9 juin 2006

4. Essais de pieux : essai Osterberg : O-Cell

Principe de l'essai



24

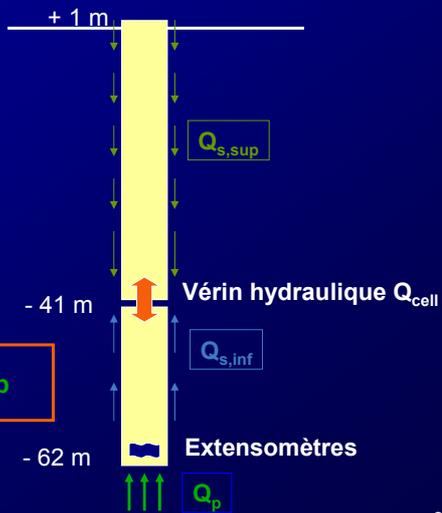
CFMS - Séance du 9 juin 2006

4. Essai de pieux Osterberg

Pieu de :

- diamètre 1500 mm
- profondeur 63 m
- chargement jusqu'à 8 MN
(charge limite estimée à 15 MN)

$$Q_{\text{cell}} = Q_{s,\text{sup}} = Q_{s,\text{inf}} + Q_p$$

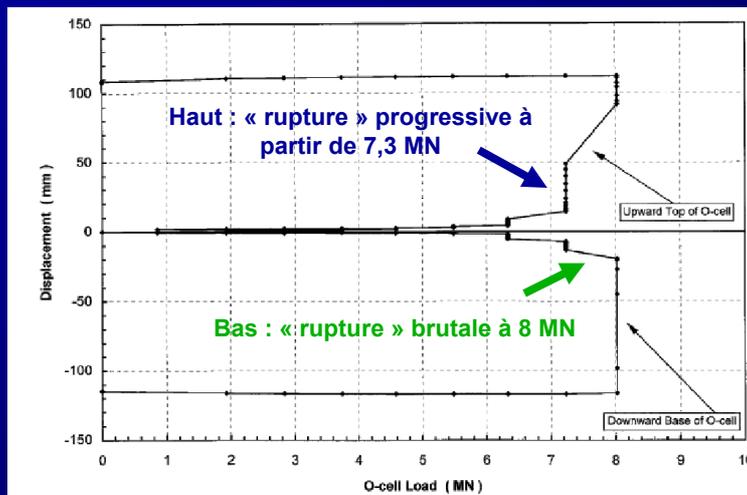


25

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Essai de pieux Osterberg

Courbes brutes essai : chargement à 8 MN

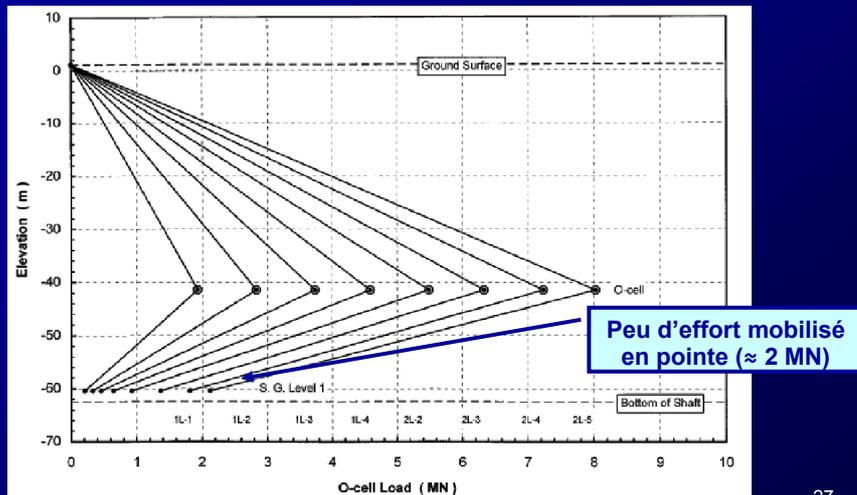


26

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Essai de pieux Osterberg

Courbes d'essai : distribution des efforts

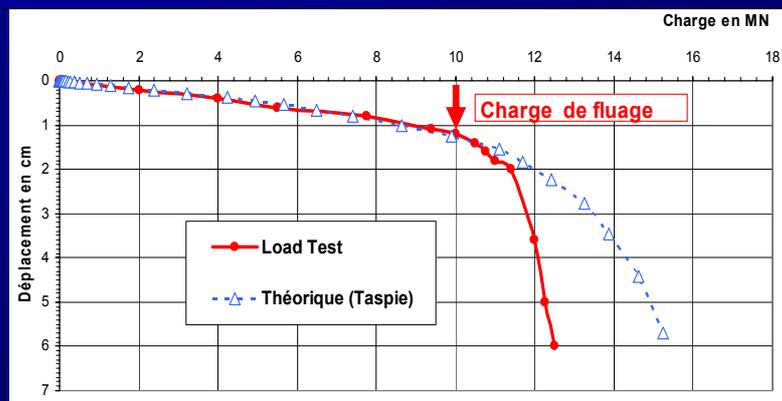


CFMS - Séance du 9 juin 2006

27

Essai de pieux Osterberg

Courbe de chargement « reconstituée » à partir de l'essai comparée au modèle théorique Taspie de FOXTA « type fascicule 62 »



CFMS - Séance du 9 juin 2006

28

Essai de pieux Osterberg

Paramètre	<i>Théorique</i>	Déduit de l'essai
Charge limite	14,7 MN	15,3 MN
Charge de fluage	10 MN	10 MN
Frottement latéral q_s (argiles)	40 kPa	66 kPa
Terme de pointe	3,6 MN	2,1 MN

Conclusions :

- comportement globalement validé (hypothèses et modèles de calcul valables),
- meilleur comportement global en frottement
- défaut de portance en pointe,

Décision de procéder à des injections systématiques en pointe

29

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Injections en pointe



30

CFMS - Séance du 9 juin 2006

4. Essais de pieux **selon la norme NFP 94-150**

Pieu testé : Diamètre 1 m ; profondeur 80 m

Dispositif d'essai : 2 pieux de réaction Φ 1500
longueur 65 m + poutre de chargement (charge
maximale 15 MN)



CFMS - Séance du 9 juin 2006

31

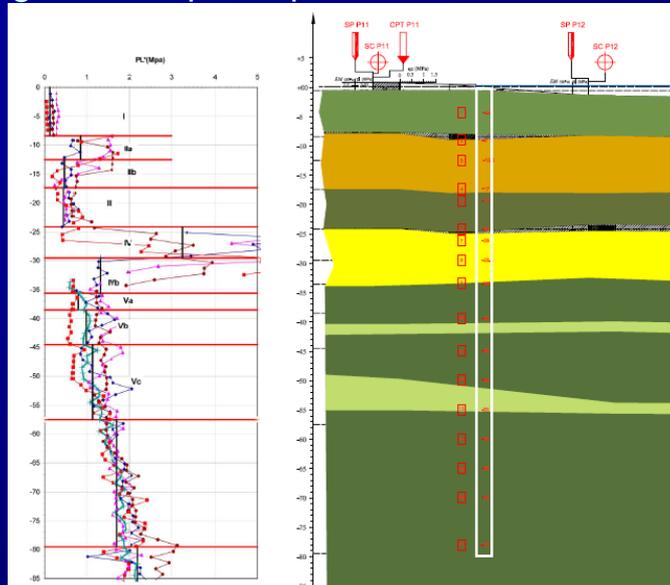
Essai de pieux selon la norme



CFMS - Séance du 9 juin 2006

32

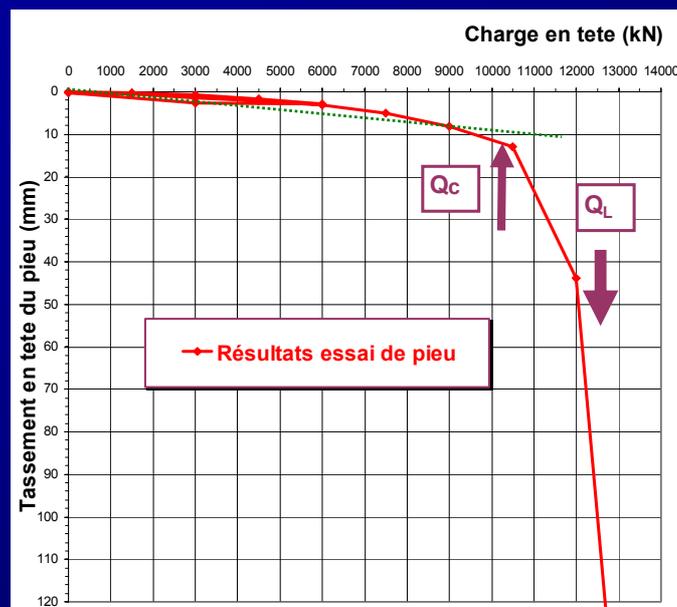
Profil géotechnique et position des extensomètres



33

CFMS - Séance du 9 juin 2006

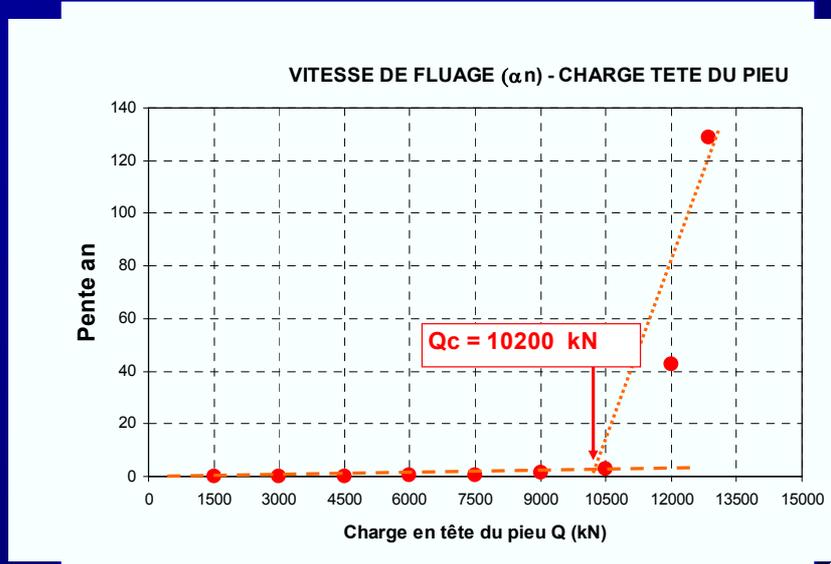
Courbe charge – enfoncement



34

CFMS - Séance du 9 juin 2006

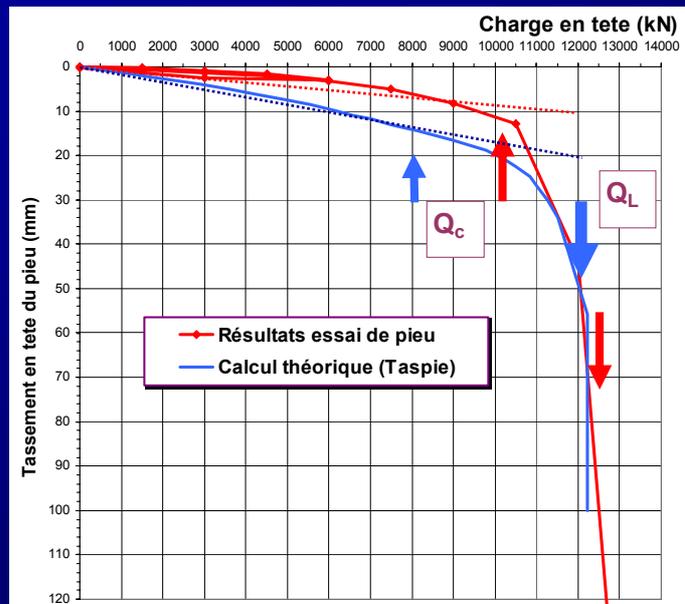
Courbes de fluage



CFMS - Séance du 9 juin 2006

35

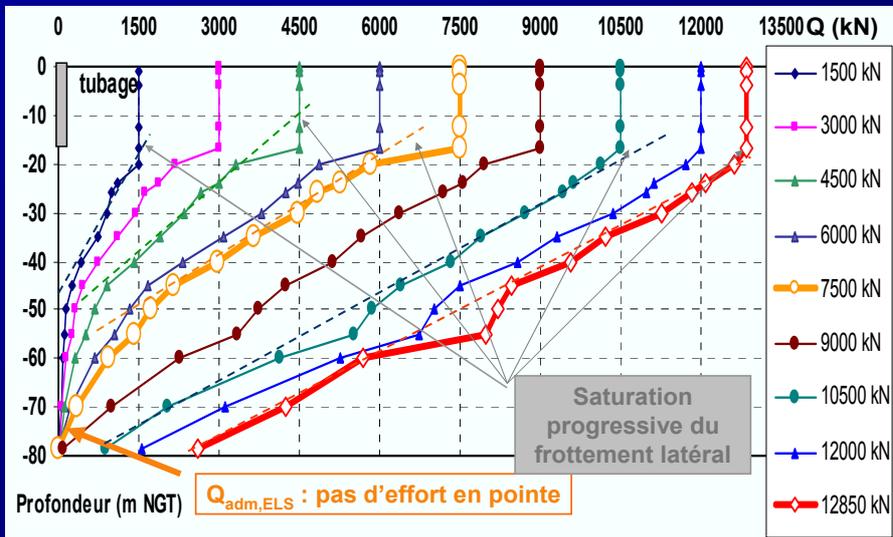
Courbe charge – enfoncement
 Comparaison avec théorie (Taspie)



CFMS - Séance du 9 juin 2006

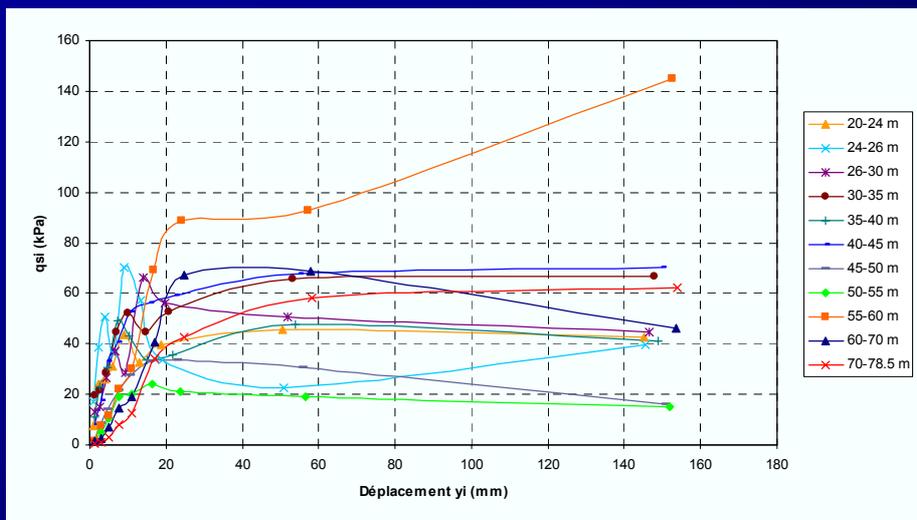
36

Résultats des extensomètres



CFMS - Séance du 9 juin 2006

Mobilisation du frottement latéral q_s aux différents niveaux



CFMS - Séance du 9 juin 2006

Mobilisation du frottement latéral q_s aux différents niveaux

Couche	Profondeur	q_s modèle (kPa)	q_s essai (kPa)
Argile III	- 20 / - 24	25	44
Sable IVa	- 24 / - 30	120	68
Sable IVb	- 30 / - 35	75	51
Argile Va	- 35 / - 40	36	49
Argile Vb	- 40 / - 45	38	59
Argile Vc	- 45 / - 55	39	29
Argile Vd	- 55 / - 78	40	66
<i>Moyenne sur la hauteur</i>		50	55

Rappel : essai Osterberg $q_{s,moyen} = 66$ kPa

39

CFMS - Séance du 9 juin 2006

Comparaison modèle - essai

Paramètre	<i>Théorique</i>	<i>Déduit de l'essai</i>
Charge limite totale	12,2 MN	12,8 MN
Charge limite en pointe	1,9 MN	2,5 MN
Charge limite en frottement	10,2 MN	10,1 MN
Charge de fluage	8,1 MN	10 MN
Frottement latéral q_s (sables)	75 - 120 kPa	60 kPa
Frottement latéral q_s (argiles)	40 kPa	55 kPa

Conclusions :

- Comportement définitivement validé (hypothèses et modèles de calcul),
- Localement quelques « défauts » de frottement (sables)
- Mais marge de sécurité supplémentaire

40

CFMS - Séance du 9 juin 2006

5. Conclusions

- Importance d'une **bonne reconnaissance** pour disposer de paramètres de dimensionnement fiables
- Identification du **comportement majeur de la fondation** : mobilisation de la pointe et du frottement
- Apport des **essais de pieux pour validation** du dimensionnement : paramètres de base, comportement global