

Table des matières

Préface	15
Alain PECKER	
Avant-propos	19
Chapitre 1. Le projet SOLCYP	23
1.1. Motivations	23
1.2. Le projet SOLCYP	24
1.2.1. Le programme ANR-SOLCYP	25
1.2.2. Le projet national SOLCYP	26
1.2.2.1. Essais de pieux <i>in situ</i> sous charges axiales	26
1.2.2.2. Essais de pieux modèles sous charges axiales	28
1.2.2.3. Essais de pieux modèles sous charges latérales	30
1.2.3. Organisation du PN-SOLCYP	30
1.3. Contenu et nature du document	31
1.4. Contexte réglementaire	32
1.5. Bibliographie	33
Chapitre 2. Périmètre et domaine d'application des recommandations	35
2.1. Charges variables et charges cycliques.	35
2.2. Ouvrages concernés	36
2.3. Effets des chargements cycliques sur les fondations.	38
2.4. Types de pieux	39

2.5. Types de sols	40
2.6. Bibliographie	41
Chapitre 3. Charges cycliques	43
3.1. Généralités	43
3.2. Caractérisation des chargements cycliques	44
3.2.1. Chargements réguliers : définitions	44
3.2.2. Chargement cyclique d'échantillons de sols en laboratoire	45
3.2.3. Chargement cyclique réel	46
3.3. Prise en compte d'un chargement cyclique réel dans le dimensionnement	46
3.3.1. Principe et définitions	46
3.3.2. Méthodes de comptage	49
3.3.3. Lois d'endommagement	49
3.3.3.1. Loi de Miner	49
3.3.3.2. Applications de la loi de Miner aux sols	51
3.3.3.3. Applicabilité des lois d'endommagement aux sols	56
3.3.3.4. Applicabilité des lois d'endommagement pour les interactions sol-pieu	58
3.4. Bibliographie	60
Chapitre 4. Introduction à la dégradation cyclique	63
4.1. Introduction	63
4.2. Dégradation cyclique des propriétés des sols	63
4.2.1. Rappel sur la réponse des sols aux chargements monotones	63
4.2.2. Réponse des sols aux chargements cycliques	65
4.2.3. Diagrammes contours	68
4.2.4. Diagrammes contours généralisés	70
4.2.4.1. Diagrammes de type 1	74
4.2.4.2. Diagrammes de type 2	75
4.2.5. Obtention de diagrammes contours pour un sol particulier	77
4.2.6. Dégradation cyclique du module de cisaillement	78
4.3. Dégradation cyclique des interfaces sol-pieu	82
4.3.1. Généralités sur les essais d'interface sol-pieu	82
4.3.1.1. Essais d'interface sol-pieu à la boîte de cisaillement (sols pulvérulents)	83
4.3.1.2. Essais d'interface à la sonde-pieu en chambre d'étalonnage	86

4.3.2. Banque de données SOLCYP d'essais de cisaillement direct sol-pieu	89
4.3.2.1. Interface sol-pieu	89
4.3.2.2. Interprétation des essais	89
4.3.2.3. Programme d'essais et résultats typiques.	90
4.4. Dégradation cyclique de la réponse des pieux	93
4.4.1. Pieux sous chargement cyclique axial	93
4.4.1.1. Réponse du système sol-pieu sous chargement axial.	93
4.4.1.2. Réponse de la tête du pieu	95
4.4.1.3. Concept de diagramme de stabilité cyclique.	97
4.4.1.4. Influence de la rigidité relative axiale sol-pieu	99
4.4.2. Pieux sous chargement cyclique transversal	105
4.4.2.1. Dégradation des réactions latérales du sol sous l'effet des cycles	105
4.4.2.2. Influence de la rigidité relative latérale sol-pieu	110
4.5. Annexes	112
4.5.1. Annexe 1 : programme des essais CNL et CNS et paramètres d'influence	112
4.5.2. Annexe 2 : essais CNS : corrections apportées aux mesures brutes	116
4.6. Bibliographie.	117

Chapitre 5. Stratégie de dimensionnement SOLCYP 121

5.1. Méthodologie générale	121
5.2. Connaissance des charges	123
5.3. Analyse des charges règlementaires	125
5.4. Critères de sévérité cyclique pour les charges axiales	127
5.4.1. Résistance limite axiale des pieux : définitions	127
5.4.2. Utilisation du diagramme de stabilité cyclique.	128
5.4.3. Influence de la rigidité relative sol-pieu.	134
5.5. Critères de sévérité cyclique pour les charges transversales	135
5.5.1. Cas des sables	136
5.5.2. Cas des argiles.	137
5.6. Caractérisation détaillée des chargements cycliques.	140
5.7. Méthodes de dimensionnement cyclique des pieux	141
5.8. Obtention des paramètres.	142
5.9. Bibliographie.	143

Chapitre 6. Comportement des pieux sous chargements cycliques axiaux.	145
6.1. Introduction.	145
6.2. Les grands programmes internationaux	147
6.3. Essais dans les sols argileux	152
6.3.1. Argiles normalement consolidées à faiblement surconsolidées.	152
6.3.1.1. Essais du NGI	152
6.3.1.2. Essais IFP à Cran (France)	155
6.3.2. Argiles fortement surconsolidées.	157
6.3.2.1. Essais du BRE à Cowden (UK)	157
6.3.2.2. Essais SOLCYP de Merville (France)	158
6.3.2.3. Essais ICL à Canon's Park et Cowden (UK).	162
6.3.2.4. Essais NGI à Tilbrook Grange (UK)	164
6.3.3. Comparaisons des résultats	164
6.4. Essais dans les sables	166
6.4.1. Sable siliceux	166
6.4.1.1. Essais IFP à Plancoët (France).	167
6.4.1.2. Essais ICL à Labenne et Dunkerque (France)	168
6.4.1.3. Essais en grande chambre d'étalonnage (ICL – 3SR)	169
6.4.1.4. Essais HSE à Dunkerque (France).	172
6.4.1.5. Essais SOLCYP à Loon-Plage (France)	173
6.4.2. Sols carbonatés	178
6.5. A propos de la capacité portante statique	180
6.5.1. Vieillessement dans les sables.	180
6.5.2. Effet du temps et du précisaillage dans les argiles	181
6.5.3. Radoucissement	182
6.5.4. Vitesse de chargement	182
6.6. Synthèse.	183
6.7. Annexe : essais de chargements cycliques de pieux réalisés sur le site de Merville	185
6.7.1. Introduction	185
6.7.2. Résultats obtenus sur deux pieux battus (B1 et B4).	186
6.7.3. Résultats obtenus sur les pieux forés de type CFA	187
6.7.4. Résultats obtenus sur les pieux forés vissés.	189
6.8. Bibliographie.	190

Chapitre 7. Dimensionnement des pieux sous charges cycliques axiales	195
7.1. Introduction.	195
7.2. Principes généraux	196
7.3. L'approche du NGI	198
7.3.1. Principes de base	198
7.3.2. Les programmes PAXCY et PAX2	199
7.4. L'approche ICL	202
7.4.1. Principe de base	202
7.4.2. La méthode globale ABC	204
7.4.3. Applications locales de la méthode ABC	206
7.5. La suite de programmes RATZ-CYCLOPS.	207
7.6. Le programme SCARP	210
7.6.1. Description du programme SCARP	210
7.6.2. Calibration du programme SCARP	214
7.7. Approches par éléments finis	219
7.8. L'approche SOLCYP pour sols non cohérents	222
7.8.1. Principes généraux	222
7.8.2. Choix des paramètres de caractérisation du système sol-pieu.	223
7.8.2.1. Angle de frottement d'interface	223
7.8.2.2. Contrainte normale initiale	224
7.8.2.3. Rigidité normale	224
7.8.3. Modélisation des résultats de cisaillement direct sol-structure	225
7.8.3.1. Principes de la formulation analytique de la chute de contrainte normale	225
7.8.3.2. Expression des résultats	226
7.8.3.3. Enchaînement de plusieurs séries de cycles de caractéristiques différentes	227
7.8.4. Modélisation par la méthode des courbes t-z enveloppes	227
7.8.5. Modélisation par la méthode des courbes t-z cycliques (logiciel TZC).	230
7.8.5.1. Développement de la loi t-z cyclique TZC	230
7.8.5.2. Couplage entre la loi TZC et le module SOLCYP-DEG	232
7.8.5.3. Exemples d'application	233
7.8.6. Modélisation par la méthode des éléments finis	235
7.8.6.1. Méthodologie	235

7.8.6.2. Exemple du pieu foré F2 de Loon-Plage (essais SOLCYP)	237
7.8.7. Cas des pieux battus	243
7.9. Bibliographie	244

Chapitre 8. Comportement des pieux sous chargements cycliques latéraux 251

8.1. Interaction sol-pieu sous charge latérale	251
8.1.1. Rigidité relative	252
8.1.2. Concept de réaction latérale	254
8.1.3. Rôle déterminant des couches de surface	254
8.2. Rappel des principales données expérimentales	256
8.3. Données disponibles sur l'effet des cycles	258
8.3.1. Effet des cycles sur le déplacement latéral du pieu	258
8.3.1.1. Loi logarithmique	259
8.3.1.2. Fonction puissance	264
8.3.1.3. Synthèse des données sur l'effet des cycles sur le déplacement du pieu	269
8.3.2. Effet des cycles sur le moment fléchissant maximum dans le pieu	271
8.3.3. Effet des cycles sur les courbes de réaction P-y	274
8.4. Contribution du programme SOLCYP	276
8.4.1. Contexte et domaine des études réalisées	276
8.4.2. Rappel des conditions d'essais	277
8.5. Données obtenues sur l'effet des cycles	281
8.5.1. Cas des sables	281
8.5.1.1. Effets des cycles sur le déplacement de la tête du pieu	281
8.5.1.2. Effets des cycles sur le moment fléchissant maximum dans le pieu	284
8.5.1.3. Effets des cycles sur les courbes de réaction P-y	285
8.5.2. Cas des argiles	287
8.5.2.1. Mécanismes observés en surface	287
8.5.2.2. Effets des cycles sur le déplacement de la tête du pieu	289
8.5.2.3. Effets des cycles sur le moment fléchissant maximum dans le pieu	294
8.5.2.4. Effets des cycles sur les réactions latérales mobilisées	297
8.6. Synthèse finale des données sur l'effet des cycles	301
8.6.1. Effets sur le déplacement de la tête du pieu	301

8.6.1.1. Cas des sables	303
8.6.1.2. Cas des argiles	306
8.6.2. Effets sur le moment maximum et sur les réactions mobilisées dans le sol	307
8.6.2.1. Effet sur le moment fléchissant maximum dans le pieu . . .	307
8.6.2.2. Effet sur les réactions mobilisées dans le sol	307
8.7. Bibliographie	308

Chapitre 9. Dimensionnement des pieux sous charges cycliques latérales 315

9.1. Rappel des règles actuelles	316
9.2. Méthodologie de prise en compte des charges cycliques	319
9.3. Prise en compte des cycles par la méthode globale SOLCYP-G	321
9.3.1. Principes de la méthode globale	321
9.3.2. Charge limite et charge de rupture conventionnelles	321
9.3.2.1. Charge limite conventionnelle H_{lim}	321
9.3.2.2. Charge de rupture conventionnelle H_r	324
9.3.3. Degré de rigidité relative du pieu et limites des pieux souples et rigides	324
9.3.4. Prédimensionnement du pieu sous la charge statique maximale H_{max}	327
9.3.4.1. Hypothèses de calcul (pondération des charges, conditions aux limites)	327
9.3.4.2. Choix des courbes de réaction monotones	328
9.3.5. Critères de sévérité cyclique	330
9.3.6. Effet des cycles sur le déplacement de la tête du pieu	330
9.3.6.1. Cas des sables	330
9.3.6.2. Cas des argiles	334
9.3.7. Effet des cycles sur le moment fléchissant maximum	334
9.3.7.1. Cas des sables	335
9.3.7.2. Cas des argiles saturées peu surconsolidées	335
9.4. Prise en compte des cycles par une méthode locale SOLCYP-L	335
9.4.1. Principe de la méthode locale	335
9.4.2. Détermination des coefficients d'abattement des courbes P-y monotones	336
9.5. Domaines de validité et exemple d'application	339
9.5.1. Domaines de validité des méthodes globale SOLCYP-G et locale SOLCYP-L	339
9.5.1.1. Cas des sols sableux	340
9.5.1.2. Cas des sols argileux	342

9.5.2. Exemple d'application des méthodes globale et locale	342
9.5.2.1. Caractéristiques du pieu, du sol et des charges latérales appliquées	343
9.5.2.2. Charge limite conventionnelle Hlim et rigidité relative . . .	346
9.5.2.3. Comportement du pieu sous la charge statique Hmax	348
9.5.2.4. Application du critère de sévérité cyclique.	349
9.5.2.5. Réponse du pieu sous les charges cycliques (méthode globale SOLCYP-G)	350
9.5.2.6. Réponse du pieu sous les charges cycliques (méthode locale SOLCYP-L)	353
9.5.2.7. Comparaison avec la méthode API	355
9.6. Conclusion	359
9.7. Bibliographie.	360

Chapitre 10. Détermination des paramètres cycliques pour le dimensionnement des pieux. 363

10.1. Introduction	363
10.2. Paramètres pour le dimensionnement des pieux sous charges cycliques	364
10.2.1. Minéralogie.	366
10.2.2. Paramètres pour le calcul monotone	367
10.2.3. Paramètres cycliques	368
10.2.4. Paramètres de consolidation	369
10.2.5. Paramètres de remaniement	369
10.3. Obtention des paramètres pour le dimensionnement des pieux sous charges cycliques	369
10.3.1. Essais en laboratoire	370
10.3.1.1. Préparation des essais de laboratoire.	372
10.3.1.2. Essais non cycliques	373
10.3.1.3. Essais cycliques.	377
10.3.2. Essais <i>in situ</i>	382
10.3.2.1. Essais monotones au pressiomètre	382
10.3.2.2. Essais cycliques au pressiomètre.	382
10.3.2.3. Essais monotones au pénétromètre.	384
10.3.2.4. Essais cycliques au pénétromètre	384
10.3.2.5. Mesures géophysiques	386
10.4. Bibliographie	387

Chapitre 11. Recommandations pour la réalisation d'essais de pieux sous chargement cyclique.	393
11.1. Introduction	393
11.2. Justification des essais.	394
11.3. Les différentes méthodes d'essais	395
11.4. Apport des essais en chambre d'étalonnage, chargement axial	397
11.5. Apport des essais en centrifugeuse, chargement axial ou transversal	399
11.6. Essais de chargement <i>in situ</i> axial.	401
11.6.1. Objectifs de l'essai	401
11.6.2. Essai d'aide au dimensionnement.	402
11.6.2.1. Principes généraux	402
11.6.2.2. Programme de chargement	403
11.6.2.3. Instrumentation et mesures	406
11.6.2.4. Interprétation	406
11.6.3. Essai de validation.	407
11.6.3.1. Principes généraux	407
11.6.3.2. Programme de chargement	408
11.6.3.3. Instrumentation et mesures	409
11.6.3.4. Interprétation	409
11.6.4. Essai de contrôle.	409
11.6.4.1. Principes généraux	409
11.6.4.2. Programme de chargement	410
11.6.4.3. Instrumentation et mesures	410
11.6.4.4. Interprétation	410
11.7. Essais de chargement <i>in situ</i> transversal	410
11.7.1. Objectifs et représentativité des essais.	410
11.7.2. Essai d'aide au dimensionnement.	412
11.7.2.1. Principes généraux	412
11.7.2.2. Programme de chargement	413
11.7.2.3. Instrumentation et mesures	414
11.7.2.4. Interprétation	415
11.7.3. Essai de validation.	415
11.7.3.1. Principes généraux	415
11.7.3.2. Programme de chargement	416
11.7.3.3. Instrumentation et mesures	416
11.7.3.4. Interprétation	417
11.7.4. Essai de contrôle.	417
11.7.4.1. Principes généraux	417
11.7.4.2. Programme de chargement	417

11.7.4.3. Instrumentation et mesures	418
11.7.4.4. Interprétation	418
11.8. Annexe 1 : rappel sur les effets d'échelle	418
11.8.1. Essais sur modèles réduits en laboratoire	418
11.8.1.1. Effet du niveau des contraintes	419
11.8.1.2. Effet du drainage	419
11.8.1.3. Effet de la taille des modèles	419
11.8.2. Essais de pieux <i>in situ</i>	421
11.9. Annexe 2 : chargement <i>in situ</i> axial.	421
11.9.1. Montage de l'essai.	421
11.9.2. Instrumentation et acquisition des données	423
11.9.2.1. Effort en tête.	423
11.9.2.2. Déplacements en tête.	423
11.9.2.3. Déformations locales dans le pieu	423
11.9.2.4. Système d'acquisition	424
11.10. Annexe 3 : chargement <i>in situ</i> transversal	426
11.10.1. Montage de l'essai.	426
11.10.2. Instrumentation et acquisition de données	428
11.10.2.1. Effort en tête	429
11.10.2.2. Déplacements	429
11.10.2.3. Déformations locales dans le pieu	429
11.10.2.4. Système d'acquisition	430
11.11. Bibliographie	430
Liste des abréviations	433
Liste des symboles	435
Index	449