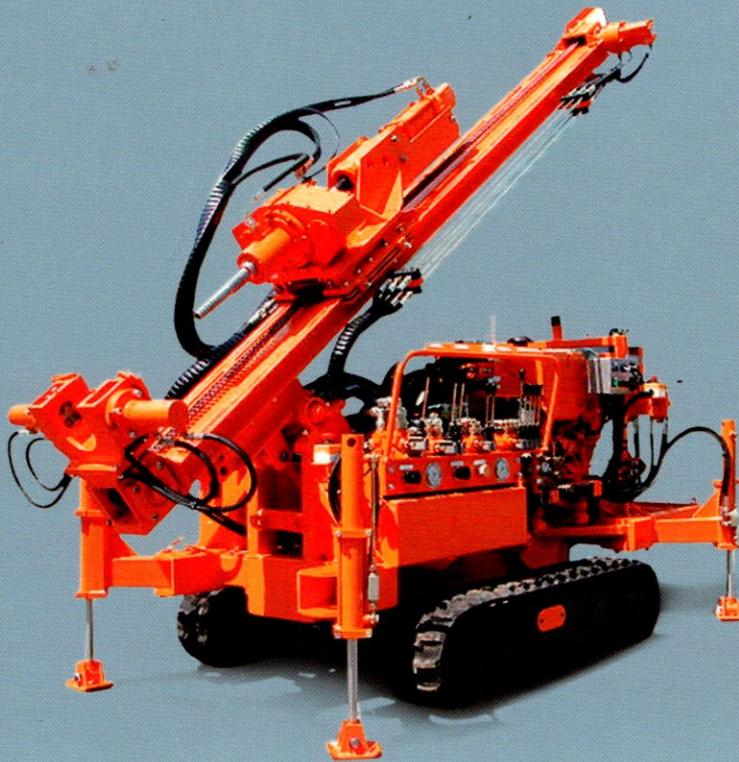


PHILIPPE REIFFSTECK, DANIEL LOSSY, JEAN BENOÎT

FORAGES, SONDAGES ET ESSAIS IN SITU GÉOTECHNIQUES

Les outils pour la reconnaissance
des sols et des roches



Presses des Ponts

Table des matières

Introduction	3
Préface	9
Sommaire	11

CHAPITRE 1

Propriétés et identification des matériaux

1. Notions fondamentales	13
1.1. Le système de mesure	13
1.2. Mesure des longueurs	14
1.3. Mesure des angles	17
1.4. Mesure des surfaces	18
1.5. Mesure des volumes	20
1.6. Mesure de débits	22
1.7. Masse, densité, pression et force	23
1.8. Moment et couple	28
1.9. Force de frottement	29
1.10. L'énergie ou le travail	29
1.11. Énergies cinétique et potentielle	30
1.12. Choc élastique	31
2. Systèmes de mesure	32
2.1. Mesure des efforts	33
2.2. Mesure des pressions	35
2.3. Mesures des déplacements	35
2.3.1. Pied à coulisse	36
2.3.2. Autres capteurs de déplacement	36
2.4. Mesure des débits	38
2.5. Systèmes d'acquisition	39
2.6. Représentation des résultats	41
2.6.1. En deux dimensions	41
2.6.2. En trois dimensions	43
2.7. Mesure et incertitudes	44
2.7.1. Pourquoi estimer l'incertitude ?	44
2.7.2. Traitement des incertitudes	44
2.8. La topographie	45
2.8.1. Le principe	45
2.8.2. Les outils	50
2.8.3. Les supports	58

3. Propriétés des matériaux	59
3.1. Déformation des matériaux	60
3.2. Déformabilité et module de déformation	62
3.3. Dureté des matériaux	63
3.4. Abrasivité	64
3.5. Résilience	65
4. Notions de géologie	65
4.1. Un globe instable et vivant	65
4.2. Naissance et disparition des roches	68
4.3. Morphogénèse	69
4.4. Pédogenèse	71
4.5. Conséquences de ces phénomènes sur les observations faites en géotechnique...73	
5. Sols et roches	74
5.1. Les roches dures	75
5.1.1. Nature des roches (lithologie)	75
5.1.2. Structure des roches	77
5.1.3. Gisement de roches	79
5.1.4. Description et classification des roches	80
5.2. Les roches tendres ou sols raides	85
5.2.1. Qu'est-ce qu'une roche tendre ou un sol raides ?	85
5.2.2. Description et classification des roches tendres et sols raides	88
5.3. Les roches meubles ou sols	90
5.3.1. Genèse d'un sol	91
5.3.2. Description et classification des sols	93
5.4. Les sols organiques et la tourbe	108
6. Base de l'hydraulique souterraine	110
6.1. Origine des eaux souterraines	111
6.2. Notion de nappes d'eau souterraines	112
6.2.1. Disposition générale d'une nappe d'eau souterraine	112
6.2.2. Différents types de nappes	112
6.2.3. Concept de l'hydraulique souterraine	114
6.2.4. Forme de la surface piézométrique	118
6.2.5. Les sources	121
6.3. Filtration naturelle des eaux souterraines	122
6.4. Qualité bactériologique des eaux	122
6.5. Difficultés liées aux eaux souterraines dans les forages et sondages	123
7. Aller plus loin	124
7.1. La fraction minérale du sol	124
7.1.1. Minéralogie des argiles	124
7.1.2. Structure moléculaire microscopique des argiles	125
7.1.3. Texture microscopique des argiles et des sols argileux	130
7.1.4. Interaction avec l'eau	130
7.2. Reconnaissance d'une roche ou d'un sol	133

7.2.1. Description des sols	133
7.2.2. Description des roches	142
7.2.3. Classification des roches	144
7.2.4. Les ères géologiques	146

CHAPITRE 2

Le chantier de sondage

1. Rôle de la reconnaissance géotechnique	149
1.1. À quoi sert un modèle géotechnique ?	149
1.2. Comment est conçu un modèle géotechnique ?	151
1.3. En quoi consiste un modèle géotechnique ?	151
1.4. Documents encadrant la reconnaissance géotechnique	153
1.4.1. Un cadre réglementaire évolutif	153
1.4.2. Norme sur les missions géotechniques	155
1.5. La méthode observationnelle	155
1.6. Pour chaque ouvrage la reconnaissance doit être adaptée	156
1.7. Déroulement du projet	158
2. Préparation de la campagne de sondage	159
2.1. Définition de l'enquête préalable.....	159
2.2. Procédures de l'enquête préalable	161
2.3. Résultats et limites de l'enquête préalable	161
3. Stratégie de reconnaissance	162
3.1. Particularités générales de certains travaux	162
3.2. Consistance de la reconnaissance	163
3.2.1. Fondations superficielles et profondes	166
3.2.2. Soutènements	166
3.2.3. Remblais, déblais, talus, canaux, berges, digues, bassins de retenue	167
3.2.4. Tranchées	169
3.2.5. Ouvrages en souterrain	169
3.2.6. Injections, congélation, usage de l'air comprimé	169
3.3. Implantation des points de reconnaissance	170
3.3.1. Ouvrages de grande surface : assises de dallage ou de voirie	173
3.3.2. Ouvrages en élévation et de grande hauteur	173
3.3.3. Ouvrages de soutènement	174
3.3.4. Ouvrages de retenue d'eau	174
3.3.5. Ouvrages linéaires en remblais-talus	174
3.3.6. Ouvrages linéaires en déblais-tranchées	175
3.3.7. Ouvrages linéaires hydrauliques : canaux, berges, digues	176
3.3.8. Ouvrages en souterrain	176
3.4. Profondeur d'investigation	176
3.4.1. Ouvrages de grande surface : assises de dallage ou de voirie.....	176
3.4.2. Ouvrages en élévation et de grande hauteur	176
3.4.3. Ouvrages de soutènement	178
3.4.4. Ouvrages de retenue d'eau	178

3.4.5. Ouvrages linéaires en remblais-talus	178
3.4.6. Ouvrages linéaires en déblais-tranchées	179
3.4.7. Ouvrages linéaires hydrauliques : canaux, berges, digues	179
3.4.8. Ouvrages en souterrain	179
3.5. Stratégie d'instrumentation	179
3.5.1. Ouvrages enterrés	179
3.5.2. Ouvrages en déblais et pentes	185
3.5.3. Ouvrages en remblai	187
3.5.4. Ouvrages de soutènement	189
3.5.5. Ouvrages de type digue et barrage	190
3.5.6. Synthèse	192
4. Conduite d'un chantier	193
4.1. Poste de travail	193
4.1.1. Le personnel	193
4.1.2. Le matériel de forage	197
4.1.3. Le matériel d'essai : exemple d'une unité pressiométrique	197
4.1.4. Le matériel de prélèvement : exemple d'une unité de carottage	198
4.1.5. Les véhicules	198
4.2. Installation de chantier	199
4.3. Installation du poste de travail	199
4.3.1. Hygiène et propreté du chantier	200
4.3.2. Rigueur dans l'organisation du poste de travail	200
4.3.3. Rappel sur le caractère spécifique des études géotechniques en site aquatique	201
4.4. Sécurité	202
4.4.1. Habilitations	203
4.4.2. Protection du sondeur	203
4.4.3. Manipulation des machines	205
4.4.4. En cours de forage	206
4.4.5. En cas d'urgence.....	206
4.5. Protection de l'environnement	207
4.6. Réaliser un sondage	207
4.6.1. Le relevé de sondage	209
4.6.2. Les terrains à distinguer sur une coupe	211
4.6.3. Symbolisme de représentation des sols	212
4.7. Localiser le sondage	214
4.7.1. Positionner le sondage	214
4.7.2. Matériel spécifique aux levés géotechniques	215
4.8. Conclure le chantier et repliement	216
4.8.1. Critères d'arrêt	216
4.8.2. Équipement ou rebouchage des forages	217
4.8.3. Fin du forage - Repli du matériel	217
4.8.4. Nettoyage du site.....	217

4.8.5. Documents de fin de chantier	217
5. Fiabilité de l'interprétation	218
5.1. Les incertitudes	221
5.1.1. Variabilité des grandeurs physiques	221
5.1.2. Présence d'objets géologiques	221
5.2. Un bon niveau de connaissances géologiques est nécessaire	222
5.3. Une bonne stratégie de reconnaissance est indispensable	224
5.3.1. Essais géophysiques de l'enquête préalable	224
5.3.2. Essais destructifs complémentaires	224
5.4. Une bonne technologie des sondages est importante	224
5.4.1. Qualité des sondages	225
5.4.2. Précision des données issues des sondages	225

CHAPITRE 3

Outils de forage

1. Introduction	229
1.1. Classes d'outils de forage	230
1.1.1. Forage en rotation	230
1.1.2. Forage en percussion ou battage	230
1.1.3. Forage en rotopercussion	230
1.1.4. Forage en roto-vibration	231
1.2. Action des outils	231
1.2.1. Usinage	233
1.2.2. Usure	234
1.2.3. Éclatement	234
1.2.4. Mise en suspension	234
1.2.5. Fluage	235
2. Forage en rotation	235
2.1. Les tarières (<i>auger drills</i>)	235
2.1.1. La tarière à main	235
2.1.2. Les tarières seaux, seaux rotatifs (<i>bucket</i>)	237
2.1.3. Les tarières continues	238
2.1.4. Choix de la tarière	242
2.1.5. Choix de l'outil de forage pour tarière hélicoïdale	243
2.2. Les outils de perforation	244
2.2.1. Outils à lames	244
2.2.2. Les avantages de la foration rotative avec des taillants diamantés	245
2.3. Les outils à molettes (<i>rockbit and roller bit</i>)	246
2.3.1. Caractéristiques des tricônes	246
2.4. Les couronnes de carottage	248
2.4.1. Les couronnes à prisme de carbure	249
2.4.2. Les couronnes à plaquettes de carbure de tungstène	250
2.4.3. Les couronnes à carbure broyé (ou éclats de carbure)	250
2.4.4. Les couronnes à diamants sertis	251

2.4.5. Les couronnes imprégnées	252
2.4.6. Les couronnes élargies	257
3. Forage en percussion ou battage	258
3.1. Trépans	258
3.2. Soupapes	259
3.3. Benne preneuse	260
4. Forage en rotoperçusion	260
4.1. Outils à lames et à boutons	261
4.2. Outils déployables	262
4.3. Couronnes	264
5. Forage en vibration	264
6. Outils de réalésage	265
7. Synthèse	266

CHAPITRE 4

Le fluide de forage

1. Introduction	269
2. Fonctions	271
2.1. Refroidissement de l'outil	271
2.1.1. Circulation par le centre	272
2.1.2. Circulation par buses extérieures	272
2.2. Évacuation des déblais	273
2.2.1. Les types de circulation	273
2.2.2. La mise en suspension des déblais	274
2.2.3. Le débit de fluide	276
2.3. Amélioration des performances	277
3. Fluides de forage	278
3.1. Boue à l'air	278
3.1.1. Air comprimé seul	279
3.1.2. Air lift	284
3.1.3. Mousse	285
3.2. Boue à l'eau	286
3.2.1. Naturelle	286
3.2.2. Bentonite	286
3.2.3. Polymères	288
3.2.4. Chaux et gypse	288
3.2.5. Lignosulfonate et lignine	288
3.2.6. Tanins	288
3.3. Boue à l'huile	291
4. Préparation et maintenance des boues	291
4.1. Caractérisation des fluides de forage	293
4.1.1. La densité	293
4.1.2. La rhéologie	294
4.1.3. La filtration	297

4.1.4. La chimie	296
4.1.5. Caractéristiques moyennes	296
4.2. Préparation des boues	297
4.2.1. Mélange	297
4.2.2. Agitation	297
4.2.3. Maturation	299
4.3. Maintenance des boues	299
4.3.1. Contamination physique	299
4.3.2. Contamination chimique	299
4.3.3. Recyclage par sédimentation	300
4.3.4. Recyclage par cyclonage	300
5. Problèmes rencontrés et solutions	301
5.1. Présence d'eau dans le sol	301
5.2. Cavage et resserrements des parois	301
5.3. Éruptions	301
5.4. Perte de boue	301
5.5. Gonflement des horizons	302
5.6. Colmatage	302
5.7. Protection de l'environnement	303
5.7.1. Déversement de fluide dans l'environnement	303
5.7.2. Mise en communication d'aquifères	304

CHAPITRE 5

Fonctionnement des machines de forage

1. Historique	305
2. Différents types de machines	308
2.1. Conception générale des machines	308
2.2. Aperçu sur les fonctions mécanique, hydraulique et électrique	312
2.3. Rendement puissance restituée/puissance installée	314
3. Systèmes d'entraînement ou d'avance	315
3.1. La translation par motoréducteur	316
3.2. La translation par vérin	318
4. Systèmes de foration	318
4.1. Les systèmes de mise en rotation	318
4.1.1. Sondeuses à table de rotation	319
4.1.2. Sondeuses à broches	319
4.1.3. Sondeuses à tête de rotation mobile	319
4.2. Les têtes de rotation	320
4.2.1. Les têtes à couple constant (donc à puissance variable)	322
4.2.2. Les têtes à puissance constante (donc à couple variable)	322
4.2.1. Les têtes dérivées des têtes « série/parallèle »	323
4.2.2. Les têtes à moteur à cylindrée fixe et boîte à vitesses mécanique	323
4.2.3. Les têtes à moteur à cylindrée variable	324

4.3. La percussion	324
4.3.1. Les marteaux pneumatiques	325
4.3.2. Les marteaux hydrauliques	329
4.4. Les têtes de rotation/rotopercussion	330
4.5. Les têtes de vibration	330
5. Systèmes de déplacement	332
5.1. Chevalement	332
5.2. Machines de forage automotrices	332
5.3. Machines sur porteurs mobile	333
5.4. Machines sur remorques, châssis ou traîneau	333
5.5. Les machines suspendues	334
6. Maintenance des machines et risques associés	334
6.1. Maintenance	334
6.2. Analyse des risques associés	335
6.3. Systèmes d'arrêt d'urgence, avertisseurs de manœuvre	338
7. Choix d'une machine de forage	339
7.1. Estimation des performances des machines	340
7.1.1. Pour la tarière	340
7.1.2. Pour le carottage	341
7.1.3. En rotopercussion	341
7.1.4. Calcul d'une poussée en carottage	342
7.1.5. Calcul d'une poussée en marteau fond de trou	343
7.2. Quelques performances	343
8. Accessoires des machines	345
8.1. Tiges et tubages	345
8.1.1. Filetages	347
8.1.2. Dimensions des tubages et tiges	349
8.1.3. Manchon et manchon aléteur	353
8.1.4. Mamelon	353
8.1.5. Flexibilité et flambement	353
8.1.6. Masse tige	355
8.1.7. Amortisseur de chocs	355
8.2. Équipements	355
8.2.1. Tête d'injection	355
8.2.2. Les tables de serrage	356
8.2.3. Barillet	357
8.2.4. Les treuils	358
8.2.5. Les pompes	358
8.2.6. Graisseur de ligne	364
8.2.7. Dépoussiéreur	365
8.3. Outillages	365
8.3.1. Clés	365
8.3.2. Outils de sauvetage	365

8.3.3. Tête de relevage	366
8.3.4. Les extracteurs	366
8.3.5. Les freins de tiges	367

CHAPITRE 6

Le sondage destructif

1. Utilisations à court terme : la reconnaissance	369
1.1. Sondage de reconnaissance à la pelle mécanique	369
1.2. Sondage de reconnaissance par havage	370
1.3. Sondage de reconnaissance à la tarière à main	370
1.4. Sondage de reconnaissance à la tarière courte	372
1.5. Sondage de reconnaissance à la tarière continue	372
1.6. Sondage destructif de reconnaissance	373
1.6.1. Forage destructif en rotation avec injection de boue	373
1.6.2. Forage destructif en rotopercussion	373
1.6.3. Synthèse	374
1.7. Diagraphies instantanées	376
1.7.1. Technologies	377
1.7.2. Mesure et enregistrement des paramètres de forage	378
1.7.3. Conditions à respecter	384
1.7.4. Facteurs d'erreurs, corrections	385
1.7.5. Interprétation du signal diagraphique	388
1.7.6. Atouts et limites des diagraphies instantanées	393
1.7.7. Combinaison de paramètres de forage (paramètres composés)	396
1.7.8. Application pratique des diagraphies instantanées	402
1.7.9. Synthèse	405
2. Utilisations à moyen terme : les essais en forage	406
2.1. Forage pour essai d'expansion de cavité	406
2.1.1. Réalisation du forage	406
2.1.2. Introduction de la sonde pressiométrique sans refoulement du terrain	407
2.1.3. Introduction de la sonde pressiométrique par refoulement du terrain (TF BAT/VBF, SGSS)	413
2.1.4. Synthèse	413
2.2. Forage pour essais d'eau	419
2.3. Forages pour essais géothermiques.....	419
2.4. Diagraphies différées et les méthodes géophysiques en forage	419
2.5. Forage dirigé	420
3. Applications à long terme : la pose d'instrumentations scellées	423
3.1. Forage pour tassomètres	423
3.2. Forage pour piézomètre ouvert ou puits de pompage	423
3.3. Forage pour sonde de pression interstitielle	425
3.4. Forage pour capteur de pression totale	425
3.5. Forage pour la pose de tube inclinométrique.....	426
4. Synthèse	430

CHAPITRE 7

Le prélèvement d'échantillons et le carottage

1. Introduction	433
1.1. Pourquoi prélever des sols ?	433
1.2. Historique	434
1.3. Objectif d'une campagne de prélèvement	435
1.4. Déroulement d'une campagne de prélèvement	436
2. Classes de prélèvement	437
2.1. Principes de fonctionnement des carottiers	437
2.1.1. Les dimensions des carottiers	441
2.1.2. Calcul d'un indice de surface	443
2.2.1. Principe de classement	443
2.2.2. Détermination de la classe d'échantillon nécessaire en fonction des essais prévus	444
2.2.3. Choix de la technique de prélèvement en fonction de la classe désirée	445
2.1.1.1. Les dimensions des carottiers	447
3. Techniques de prélèvement	447
3.1. Prélèvement par blocs à la main et à la boîte	448
3.2. Prélèvement par forage	449
3.3. Prélèvement par poinçonnement	449
3.3.1. Les carottiers battus	449
3.3.2. Les carottiers foncés	451
3.3.3. Autres types de carottiers	455
3.4. Prélèvement par rotation	455
3.4.1. Carottier simple industriel	456
3.4.2. Carottier simple minier	456
3.4.3. Carottier double	456
3.4.4. Carottier triple	456
3.5.1. Préparation du trou avant carottage	457
3.5.2. Choix de la couronne	458
3.5.3. Tube à sédiments	458
3.5.4. Extracteur	459
3.6. Méthode du tube suiveur	460
3.6.1. Principe de base de la série métrique	460
3.6.2. Principe de base de la méthode du tube suiveur	461
3.7. Carottage au câble	464
4. Choix des moyens	467
4.1. Choix de la technique de prélèvement	468
4.2. Définition de la commande	472
4.2.1. Programme prévisionnel	473
4.2.2. Offre de l'organisme de sondage	473
4.2.3. Jugement de l'offre	473
4.2.4. Exécution de sondages	473
4.2.5. Contrôles et vérifications	473

5. Phases intermédiaires entre le prélèvement et l'essai en laboratoire	474
5.1. Conditions d'emballage	475
5.2. Étiquetage	476
5.3. Conditions de transport	476
5.4. Stockage des échantillons	476
5.5. Ouverture des échantillons	476
6. Synthèse	478
7. Aller plus loin	479
7.1. Aspect théorique du risque de remaniement	479
7.1.1. Chemins de déformation suivi par le sol	479
7.1.2. Implications de ce concept	484
7.1.3. Sélection des échantillons dans les carottes	487
7.2. Carottiers spéciaux	488
7.2.1. Carottier à chaussette	488
7.2.2. Carottier à cloche ou Bishop	489
7.2.3. Carottier à boisseau sphérique	490
7.2.4. Carottier de l'université Laval	491
7.2.5. Carottier de l'université Sherbrooke	494
7.2.6. Carottage par congélation	495

CHAPITRE 8

Les essais dans les forages

1. Introduction	497
2. Essais mécaniques	497
2.1. Essais de pénétration	497
2.1.1. Essai de pénétration au cône statique (CPT et CPTu)	501
2.1.2. Essai de pénétration au cône dynamique (DPT)	509
2.1.3. Essai de pénétration au carottier (SPT)	511
2.2. Essais de cisaillement	516
2.2.1. Essai scissométrique (FVT)	516
2.2.2. Essai de cisaillement en forage (BST)	519
2.3. Essais de plaque	523
2.3.1. Essai de plaque hors trou : terrassement et dallage	524
2.3.2. Essai de plaque hors trou : fondations superficielles	525
2.3.3. Essai de plaque en fond de trou : fondations profondes	527
2.4. Essais d'expansion	530
2.4.1. Essai au pressiomètre Ménard (PMT)	533
2.4.2. Essai au dilatomètre flexible (FDT)	546
2.4.3. Essai pressiométrique-autoforé (SBP)	548
2.4.4. Essai au pressio-pénétrromètre (CPM)	557
2.4.5. Essai de mesure de la pression latérale au dilatomètre plat (DMT)	558
2.5. Essai de relâchement	560
2.5.1. Compensation par vérin plat (<i>jacking method</i>)	561
2.5.2. Doorstopper et surcarottage	562

2.5.3. Découpe en forage (<i>borehole slotter</i>)	562
3. Essais d'eau	563
3.1. Les mesures de la perméabilité des sols au-dessus de la nappe	566
3.1.1. Principes généraux	566
3.1.2. Essai en surface avec forage ouvert à charge variable (essai Porchet)	567
3.1.3. Essai en surface avec forage ouvert à charge constante	569
3.1.4. Essai en surface sur couche de faible épaisseur surmontant une couche perméable	570
3.1.5. Essais d'infiltration en surface (essai Müntz)	572
3.1.6. Essai en forage (essai Nasberg)	573
3.1.7. Correction de température	573
3.2. Les mesures de la perméabilité des sols dans la nappe	574
3.2.1. Les essais ponctuels Lefranc	575
3.2.2. L'essai ponctuel type Lugeon	577
3.2.3. L'essai de pompage	578
3.2.4. Essai d'injection ou de production à débit constant	579
3.2.5. Choc hydraulique dans une chambre de mesure ouverte (<i>slug test</i>)	579
3.2.6. Choc hydraulique dans une chambre de mesure fermée (<i>pulse test</i>)	580
3.2.7. DST (<i>Drill Stem Test</i>) ou <i>shut-in slug test</i>	580
3.2.8. Essai au micromoulinet	580
3.3. Recommandations concernant les filtres et crépines pour les essais d'eau	581
3.3.1. Généralités	581
3.3.2. Dimensionnement des filtres et crépines	583
4. Diagraphies différées et techniques géophysiques	590
4.1. Diagraphies nucléaires	590
4.1.1. Radioactivité naturelle	592
4.1.2. Diagraphies gamma-gamma	593
4.1.3. Diagraphies neutron-neutron	594
4.2. Diagraphies électriques	594
4.2.1. Diagraphie électrique	595
4.2.2. Télédiagraphie électrique	596
4.2.3. Diagraphies PI/R/PS	596
4.2.4. Diagraphie par induction	597
4.3. Diagraphies acoustiques	597
4.4. Diagraphies de vitesse d'ondes	597
4.4.1. Essai <i>down-hole</i>	599
4.4.2. Essai <i>up-hole</i>	599
4.4.3. Essai <i>cross-hole</i>	599
4.4.4. Synthèse	604
4.5. Diagraphie technique	605
4.5.1. Relevé de diamètre et d'inclinaison	605
4.5.2. Imagerie optique	605
4.5.3. Imagerie acoustique	606

4.5.4. Pouvoir réfléchissant	607
4.6. Méthodes hors forage	607
4.6.1. Magnéto tellurique artificielle	607
4.6.2. Gravimétrie	607
4.6.3. Résistivité par sondage, trainé et panneau électriques	608
4.6.4. Électromagnétisme	610
4.6.5. Radar géologique	610
4.6.6. Sismique réfraction et ondes de surface	611
5. Instrumentations scellées pour suivi d'ouvrages	612
5.1. Mesure de contraintes totales	612
5.2. Les mesures de pression et de niveaux d'eau	614
5.2.1. Les piézomètres ouverts	614
5.2.2. Les mesures de la pression interstitielle	616
5.2.3. Mesure de teneur en eau (TDR)	616
5.3. Déformation	617
5.3.1. Tassomètres	617
5.3.2. L'extensomètre	619
5.3.3. Distancemètre	619
5.3.4. Fissuromètres	619
5.3.5. Pendule direct et pendule inverse	620
5.3.6. Clinomètre et nivelle	621
5.6.7. Inclinomètres	622
6. Différents types d'incertitudes, d'erreurs et de performances	624
6.1. Les diagraphies instantanées	626
6.2. Les essais <i>in situ</i> : pénétromètres, scissomètres, pressiomètres	626
7. Aller plus loin	628
7.1. Essais mécaniques	628
7.1.1. Essais de pénétration	628
7.1.2. Essais de cisaillement	632
7.1.3. Essais de plaque	633
7.1.4. Essais d'expansion	635
7.1.5. Essai de mesure de la pression latérale passif	639
7.1.6. Essais triaxiaux <i>in situ</i>	640
7.1.7. Essai de fracturation hydraulique	641
7.2. Essais d'eau	642
7.2.1. Pressio-perméamètre	642
7.2.2. Essai Perméafor	644
7.2.3. Essais spéciaux, principalement orientés vers la caractérisation des milieux discontinus	648
7.3. Essais de mesure de pollution	648

CHAPITRE 9

Détermination des paramètres

1. Obtention des paramètres	649
1.1. Paramètres d'état initial et histoire de contrainte	651
1.1.1. Contrainte horizontale en place	651
1.1.2. Coefficient de pression des terres au repos	652
1.1.3. Contrainte de préconsolidation	653
1.2. Paramètres de résistance	654
1.2.1. Résistance au cisaillement non drainé	654
1.2.2. Angle de frottement interne	655
1.2.3. Paramètres de résistance effective	655
1.2.4. Valeurs résiduelles	656
1.3. Paramètres de déformation	656
1.3.1. Module d'Young	656
1.3.2. Module de cisaillement maximal	658
1.4. Caractérisation de la liquéfaction	659
1.4.1. Approches d'évaluation du risque	659
1.4.2. Approche par sondages SPT	662
1.4.3. Approche par sondages CPT, piézocône	663
1.4.4. Approche par sondages PMT	664
1.4.5. Approche par mesure de $V_{s,30}$ (m/s)	665
1.4.6. Approche par essais de laboratoire	666
1.4.7. Facteurs influençant l'apparition de la liquéfaction	667
1.5. Valeurs mesurées, valeurs caractéristiques et valeurs de calcul	668
2. Corrélations valables pour les sols	671
2.1. Corrélations entre essais en place	671
2.1.1. Corrélations entre pénétromètre statique (CPT) et pénétromètre dynamique (DPT)	672
2.1.2. Corrélations entre essai au carottier SPT et pénétromètre statique (CPT)	677
2.1.3. Corrélations entre essai au carottier SPT et pressiomètre (PMT)	678
2.1.4. Corrélations entre pénétromètre statique (CPT) et pressiomètre (PMT)	679
2.1.5. Corrélations entre pénétromètre dynamique (DPT) et pressiomètre (PMT)	680
2.1.6. Corrélations entre essai à la plaque (ou à la table) et pressiomètre (PMT)	681
2.1.7. Corrélations entre dilatomètre Marchetti (DMT) et pressiomètre (PMT)	681
2.1.8. Corrélations entre paramètres de forage (DPR) et pénétromètre (CPT)	687
2.1.9. Corrélations entre paramètres de forage (DPR) et essai au carottier SPT	687

2.1.10 Corrélations entre paramètres de forage (DPR) et pressiomètre (PMT)	698
2.2. Corrélations entre essais en place et essais de laboratoire	700
2.2.1. Corrélations entre la classification et les résultats de l'essai au pénétromètre (CPT)	701
2.2.2. Corrélations entre la classification et les résultats de l'essai au dilatomètre (DMT)	707
2.2.3. Corrélations entre la classification et les résultats de l'essai au pressiomètre (PMT)	708
2.2.4. Corrélations entre la classification et les paramètres de forage (MWD) ..	710
2.2.5. Corrélations entre la classification et la radioactivité naturelle (RAN)	710
2.2.6. Corrélations entre l'indice de densité et les résultats de l'essai au pénétromètre (CPT)	711
2.2.7. Corrélations entre la densité relative et les résultats de l'essai au carottier (SPT)	712
2.2.8. Corrélations entre la résistance non drainée et les résultats de l'essai de plaque	713
2.2.9. Corrélations entre la résistance non drainée et les résultats de l'essai au pénétromètre (CPT)	713
2.2.10. Corrélations entre la résistance non drainée et résultats de l'essai au carottier (SPT)	715
2.2.11. Corrélations entre la résistance non drainée et les résultats de l'essai au pressiomètre (PMT)	715
2.2.12. Corrélations entre l'angle de frottement et les résultats de l'essai au pénétromètre (CPT)	716
2.2.13. Corrélations entre l'angle de frottement et les résultats de l'essai au carottier (SPT)	717
2.2.14. Corrélations entre la rigidité du sol et les résultats de l'essai au pénétromètre (CPT)	718
2.2.15. Corrélations entre la rigidité du sol et résultat de l'essai au carottier (SPT)	720
2.2.16. Corrélations entre la rigidité du sol et résultat de l'essai au pressiomètre (PMT)	720
2.2.17. Détermination de la vitesse de propagation des ondes avec les essais <i>in situ</i>	721
2.3. Corrélations entre essais de laboratoire	721
2.3.1. Corrélations entre l'identification et la classification	721
2.3.2. Corrélations entre l'identification et les propriétés œdométriques	723
2.3.3. Corrélations entre l'identification et la résistance au cisaillement	725
2.3.4. Corrélations entre l'identification et l'angle de frottement	725
2.3.5. Corrélations entre les paramètres d'état initial et les paramètres d'état résiduel	727
2.4. Corrélations entre essais sur ouvrages et essais en place	728

2.4.1. Corrélations entre les résultats d'essais de fondation et d'essais au pressiomètre (PMT)	729
2.4.2. Corrélations entre les résultats d'essais de pieux et d'essais de cisaillement en forage	736
2.4.3. Corrélations entre les résultats d'essais de pieux et d'essais au pénétromètre (CPT)	737
3. Corrélations valables pour les roches	738
4. Synthèse	744
Conclusion (quelques mots pour finir)	745
Quelques définitions	749
Bibliographie	761



INV N° ..16.136.....
 Facture N° 14.12.10227
 Date .08.12.2014...
 Origine ..D. Ech. heb