

Géotechnique **appliquée au BTP**

Pierre Martin

© Groupe Eyrolles, 2008,
ISBN : 978-2-212-12271-8

EYROLLES



TABLE DES MATIÈRES

Préface	1
Introduction	3
Trente cinq ans après	3
Des échantillons au site	3
Les principes	4
Les théories	4
Les méthodes	5
Les pratiques	5
L'efficacité de l'étude	6
1 La géotechnique	7
1.1 Exemples édifiants	7
1.1.1 Les barrages hydrauliques	8
1.1.1.1 Barrages en remblais	9
1.1.1.2 Barrages-poids	10
1.1.1.3 Barrages-voûtes	11
1.1.2 Tassement, poinçonnement et... ruine	20
1.1.2.1 La tour de Pise	21
1.1.2.2 Autres édifices inclinés	24
1.1.2.3 Le silo à blé de Transcona (Winnipeg) – Canada	25
1.1.2.4 Le Campanile de San Marco à Venise	27
1.1.2.5 Quelques ponts	28
1.1.3 Exemples probants	29
1.1.3.1 Décision inopportune	29
1.1.3.2 Étude contestée	30
1.1.3.3 Le géomécanicien ignorait la géologie	31
1.1.3.4 Décision opportune	33
1.2 Géotechnique	33
1.3 Aperçu historique	37
1.3.1 Dès l'Antiquité	38
1.3.2 À Venise	39

1.3.3	La guerre de places	40
1.3.4	La période scientifique	41
1.3.4.1	La mécanique des remblais	41
1.3.4.2	La mécanique des sols	42
1.3.4.3	L'hydraulique souterraine	46
1.3.4.4	La géophysique appliquée	47
1.3.4.5	Les sondages mécaniques	47
1.3.4.6	La mécanique des roches	48
1.3.4.7	La géologie de l'ingénieur	48
1.3.4.8	Les sciences de l'ingénieur	48
1.4	Évolution	49
2	Les principes	55
2.1	Cadre scientifique	55
2.1.1	Les disciplines	56
2.1.1.1	La géologie	56
2.1.1.2	La physique	57
2.1.1.3	La chimie	61
2.1.1.4	Les mathématiques	61
2.1.2	La géotechnique	62
2.1.2.1	Les objets	63
2.1.2.2	Les phénomènes	64
2.2	Les écoles géotechniques	68
2.2.1	Les sourciers	68
2.2.2	Les écoles rationnelles	70
2.2.2.1	L'école naturaliste	70
2.2.2.2	L'école physicienne	71
2.3	Langage et raisonnement	72
2.3.1	Le langage	72
2.3.1.1	Les mots	73
2.3.1.2	Les nombres	77
2.3.1.3	Les formules	78
2.3.1.4	Les logiciels	79
2.3.2	Le raisonnement	80
2.3.2.1	Les géotechniciens	80
2.3.2.2	Les autres intervenants	81
2.3.2.3	L'ordinateur	81

2.4 Le site et l'ouvrage	85
2.4.1 Étudier le site	85
2.4.2 Construire l'ouvrage	86
2.4.3 Retarder la ruine	87
2.4.4 Éviter les catastrophes	88
2.5 Le géotechnicien	89
2.5.1 Les acteurs de la construction	89
2.5.2 Le géotechnicien	90
2.5.2.1 Démarche	91
2.5.2.2 Attitude	92
2.5.2.3 Formation	93
2.5.2.4 Une équipe	94
2.5.2.5 Organisation professionnelle	95
3 Les théories	97
3.1 La prospective	98
3.1.1 L'irrationnel	100
3.1.1.1 La fatalité	101
3.1.1.2 Le hasard	101
3.1.2 La science	103
3.1.2.1 Réductionnisme ou holisme ?	107
3.1.2.2 Le déterminisme	108
3.1.2.3 La probabilité	109
3.1.2.4 La semi-probabilité	111
3.1.2.5 Les ensembles flous	111
3.1.2.6 Le chaos	112
3.1.2.7 Les systèmes critiques auto-organisés	114
3.1.3 Logique géotechnique	115
3.1.4 Les théories géotechniques	117
3.1.4.1 Représentation des formes	118
3.1.4.2 Étude des phénomènes	119
3.2 La modélisation	122
3.2.1 Modélisation analytique	126
3.2.1.1 Modélisation des formes	127
3.2.1.2 Modélisation du comportement	128
3.2.2 Le modèle géotechnique de synthèse	139
3.2.3 Représentativité des modèles	140
3.2.3.1 Matériau naturel, milieu géomécanique	141

3.2.3.2 Structures naturelles, figures géomécaniques	141
3.2.3.3 Phénomènes naturels, modèles de comportements	142
3.2.4 Validation des modèles – validité des résultats	142

4 Les objets 145

4.1 Le géomatériau	145
4.1.1 Caractères généraux	145
4.1.1.1 Morphologie	148
4.1.1.2 Paramétrie	149
4.1.1.3 Comportement	149
4.1.2 Organisation	153
4.1.2.1 Le système terrestre	154
4.1.2.2 Les cycles naturels	156
4.1.3 Le géomatériau français	161
4.2 Les phénomènes naturels	162
4.2.1 Évolution générale	163
4.2.2 Étude	165
4.2.3 Les phénomènes internes	166
4.2.3.1 Éruptions volcaniques	166
4.2.3.2 Séismes	167
4.2.4 Les phénomènes atmosphériques	171
4.2.4.1 Les phénomènes climatiques	171
4.2.4.2 Les phénomènes météorologiques	171
4.2.4.3 Phénomènes liés aux conditions atmosphériques	172
4.2.5 Les phénomènes externes	172
4.2.5.1 Les mouvements de terrain	173
4.2.5.2 Autres phénomènes externes	180
4.2.6 L'eau souterraine	180
4.2.6.1 Nappes d'eau souterraines	181
4.2.6.2 Circulations karstiques	182
4.2.6.3 Eau intersticielle	182
4.3 Les aménagements et les ouvrages	183
4.3.1 Les aménagements	183
4.3.1.1 Les zones	183
4.3.1.2 Les lotissements	184
4.3.1.3 Les tracés	184
4.3.2 Les ouvrages	184
4.3.2.1 Excavations et soutènements	185
4.3.2.2 Les remblais	191

4.3.2.3 Les chaussées	194
4.3.2.4 Les fondations	194
4.3.2.5 Captages d'eau souterraine	200
4.3.2.6 Réhabilitation des sites pollués	202
4.3.2.7 Stockage des déchets	203
4.4 L'accident géotechnique	204
4.4.1 Prospective	205
4.4.2 L'accident	206
4.4.2.1 Selon les dommages	207
4.4.2.2 Selon la cause	207
4.4.2.3 Apprécier le risque	208
4.4.2.4 Assurer la sécurité	209
4.4.3 Les causes	211
4.4.3.1 Causes naturelles	211
4.4.3.2 Accidents induits par l'ouvrage	213
4.4.3 Le risque économique	217
4.4.4 Effets pervers des aménagements	217
4.4.5 Comportements aberrants	219
4.4.6 La pollution	219
4.4.7 Paradoxe géotechnique	222
4.4.8 Les interventions	222
4.4.8.1 La prévention	222
4.4.8.2 La prévision	224
4.4.8.3 La protection	224
4.4.8.4 Les secours	225
4.5 Le site	225
4.5.1 Dimensions	226
4.5.1.1 Par rapport au temps	226
4.5.1.2 Par rapport à l'ouvrage	226
4.5.1.3 Par rapport à la structure géologique	226
4.5.1.4 Par rapport aux phénomènes	227
4.5.1.5 Par rapport à l'échelle d'observation	228
4.5.2 Modélisation	228
4.5.2.1 Modélisation géométrique	228
4.5.2.2 Modélisation du comportement	230
5 L'étude géotechnique	231
5.1 Intérêt de l'étude	231
5.1.1 Adaptation de l'ouvrage au site	233

5.1.1.1	L'adaptation d'un immeuble	234
5.1.1.2	L'eau souterraine	237
5.1.1.3	Contourner la difficulté	237
5.1.2	Justification de l'étude	238
5.2	La méthode	240
5.2.1	Nécessité d'une méthode cohérente	240
5.2.1.1	Des sites difficiles à aménager	240
5.2.1.2	Un milieu naturel mal connu	242
5.2.1.3	Mesures et calculs	243
5.2.1.4	Des techniciens multiples	243
5.2.1.5	Confondre études et sondages	244
5.2.1.6	Site et étude géotechnique	245
5.2.2	Esquisse d'une méthode	246
5.2.2.1	Justification et limites	246
5.2.2.2	Un programme spécifique	248
5.2.2.3	Par le site ou par l'ouvrage	250
5.2.3	La méthode	252
5.2.3.1	L'observation	253
5.2.3.2	L'expérimentation	255
5.2.3.3	L'analogie	257
5.2.3.4	Un problème nouveau et unique	257
5.2.3.5	Conduite d'une étude	258
5.2.3.6	Normalisation de l'étude	259
5.3	Organisation de l'étude	260
5.3.1	Stratégie de la géotechnique	260
5.3.1.1	Bâtir le modèle géotechnique du site	260
5.3.1.2	Prévoir l'évolution du site	262
5.3.2	Tactique de l'étude géotechnique	262
5.3.2.1	Du général au particulier	263
5.3.2.2	Par étapes (par rapport à l'ouvrage)	264
5.3.2.3	Par phases (par rapport au site)	265
5.3.3	Les règles générales d'une conduite	270
5.3.3.1	Ordre et continuité	270
5.3.3.2	Faire assez mais pas trop	270
5.3.3.3	Un risque calculé	271
5.3.3.4	S'arrêter à temps	271
5.4	Déroulement de l'étude	272
5.4.1	Rôle du géotechnicien	272
5.4.1.1	Spécialisation	272

5.4.1.2	Connaissance du projet et analyse du site	273
5.4.1.3	Proposition et réalisation d'un programme d'étude	273
5.4.1.4	En tirer des renseignements pratiques	273
5.4.2	Les étapes	273
5.4.2.1	Avant projet sommaire (APS)	274
5.4.2.2	Avant projet détaillé (APD)	275
5.4.2.3	Spécifications techniques détaillées (STD)	276
5.4.2.4	Dossier de consultation des entreprises (DCE)	277
5.4.2.5	Contrôle général des travaux (CGT)	277
5.4.2.6	Réception des travaux (RDT)	278
5.4.2.7	Éviter l'accident	278
5.4.3	Les limites de l'étude	279
5.5	Les techniques	279
5.5.1	La géologie appliquée	281
5.5.1.1	La documentation	281
5.5.1.2	La télédétection	282
5.5.1.3	Les observations de terrain	282
5.5.2	La géophysique	282
5.5.2.1	La résistivité électrique	283
5.5.2.2	La gravimétrie	285
5.5.2.3	La sismique	285
5.5.3	L'instrumentation de terrain	287
5.5.3.1	Les sondages mécaniques	288
5.5.3.2	L'instrumentation permanente	299
5.5.4	Les essais de laboratoire	300
5.5.4.1	Les essais d'identification	301
5.5.4.2	Les essais mécaniques	301
5.5.6	L'informatique	303
5.6	Le résultat	303
5.6.1	Qualité du résultat	304
5.6.2	Critère de qualité	305
5.6.2.1	Les théories et les lois	306
5.6.2.2	Représentativité des modèles	307
5.6.2.3	Représentativité des paramètres	307
5.6.2.4	Représentativité des mesures	309
5.6.2.5	Validité des mesures	310
5.6.2.6	Précision des mesures	311
5.6.2.7	Précision des résultats	311
5.6.3	Gérer l'incertitude	312

5.6.3.1	Le coefficient de sécurité « déterministe »	312
5.6.3.2	Les coefficients « semi-probabilistes »	313
5.7	Le rapport	314
5.7.1	Les fonctions du rapport	314
5.7.2	L'interprétation	315
5.7.3	La forme	316

6 L'économie géotechnique323

6.1	Économie de l'ouvrage	323
6.1.1	Lors de l'étude du projet	324
6.1.2	Lors de la construction de l'ouvrage	324
6.1.3	Après la mise en service	326
6.2	Le commerce géotechnique	326
6.2.1	Le marché de la géotechnique	327
6.2.2	Fournisseurs et clients	329
6.2.3	Les risques du maître d'ouvrage	330
6.2.4	Structure du prix d'une étude	331
6.2.5	Le coût d'une étude	332
6.2.6	L'étude frelatée	333
6.2.7	Les prix vus par les géotechniciens	334
6.3	Attribution de l'étude	334
6.3.1	Attribution directe	335
6.3.1.1	Sur références	335
6.3.1.2	Par copinage ou concussion	335
6.3.2	Appel à la concurrence	335
6.3.2.1	Appels d'offres	336
6.3.2.2	Le maître d'ouvrage géotechnicien	339
6.3.2.3	Sévère sélection, concours limité et marché à commandes	340

7 La responsabilité du géotechnicien343

7.1	La garantie du risque géotechnique	343
7.1.1	Les limites de la géotechnique	345
7.1.2	Le risque calculé	346
7.2	Le contentieux géotechnique	348
7.2.1	Le contentieux amiable	350
7.2.2	Le contentieux judiciaire	351
7.2.2.1	L'expert judiciaire	352
7.2.2.2	Le tribunal	353

7.2.3 La garantie du géotechnicien	354
7.2.3.1 Nature de l'activité	355
7.2.3.2 Limites de la mission	355
7.2.3.3 Pièces contractuelles	356
7.3 Pour un droit géotechnique	357
7.3.1 La responsabilité des constructeurs	358
7.3.2 La responsabilité du géotechnicien	359
7.3.2.1 Position du géotechnicien dans l'acte de construire	360
7.3.2.2 Fondements de la responsabilité du géotechnicien	361
7.3.2.3 Obligation de moyens	363
7.3.2.4 Des règles qui évoluent	364
7.3.2.5 Des contraintes matérielles	365
7.3.2.6 Pas de pouvoir de décision	365
7.3.2.7 Responsabilité discutable	366
7.3.3 Les droits européens	366
7.4 La géotechnique et l'intérêt général	367
 Bibliographie	 373
 Index	 379