

Géotechnique

# Géotechnique appliquée au BTP



Pierre Martin

EYROLLES

# TABLE DES MATIÈRES

Préface .....	1
<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
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
<b>1 La géotechnique .....</b>	<b>7</b>
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 (Winipeg) – 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 géomécien 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

<b>2</b>	<b>Les principes .....</b>	<b>55</b>
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
<b>5</b>	<b>L'étude géotechnique .....</b>	<b>231</b>
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
<b>6</b>	<b>L'économie géotechnique .....</b>	<b>323</b>
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
<b>7</b>	<b>La responsabilité du géotechnicien .....</b>	<b>343</b>
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
-------------	-----