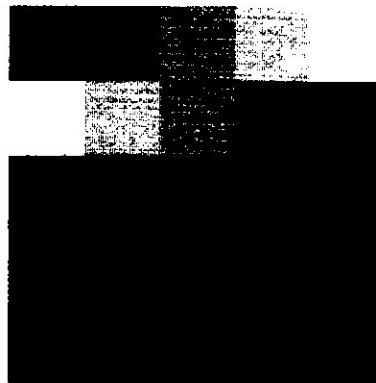


Du sol à l'ouvrage

*une vision multi-échelles
de la géomécanique*



sous la direction de
Pierre-Yves Hicher
Etienne Flavigny

Hermes

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	17
Pierre-Yves HICHER et Etienne FLAVIGNY	
Chapitre 1. Jean Biarez : quelques éléments sur sa vie et son œuvre	21
Jean-Louis BORDES, Jean-Louis FAVRE et Daniel GRIMM	
1.1. Sa jeunesse et son arrivée à Grenoble	21
1.2. De Grenoble à Paris	24
1.3. Les grands domaines de sa recherche	28
1.4. Chercheur et pédagogue	29
1.5. Conclusion	32
1.6. Bibliographie	33
Chapitre 2. De la particule au comportement des matériaux granulaires : quelques pistes tracées par Jean Biarez	35
Bernard CAMBOU et Cécile NOUGUIER-LEHON	
2.1. Introduction.	35
2.2. Les outils disponibles, les variables analysées et les limites de l'analyse	37
2.3. L'analyse de l'anisotropie géométrique	38
2.4. Analyse de la distribution des forces de contact dans un milieu granulaire	41
2.5. Analyse de l'arrangement local	44
2.6. Rupture des particules	49
2.7. Conclusion	53
2.8. Bibliographie	53

Chapitre 3. Matériaux granulaires du génie civil : avancées récentes dans la physique de leur comportement et applications pratiques aux ouvrages

Étienne FROSSARD	57
3.1. Comportement résultant de la dissipation d'énergie par friction.	59
3.1.1. Introduction	59
3.1.2. Fondements	60
3.1.3. Principales conséquences pratiques	66
3.1.4. Conclusion	75
3.2. Effets de comportement dus aux ruptures de granulats	76
3.2.1. Introduction aux ruptures de granulats	76
3.2.2. Effets d'échelle dans la résistance au cisaillement.	79
3.3. Applications pratiques aux ouvrages	87
3.3.1. Nouvelle méthode pour l'évaluation rationnelle de la courbe intrinsèque d'enrochements	87
3.3.2. Incidence des effets d'échelle sur la stabilité d'ouvrages.	89
3.3.3. Effets d'échelle sur les déformations	95
3.4. Conclusion	104
3.5. Bibliographie	105

Chapitre 4. Comportement de stériles à hautes pressions : applications au dimensionnement de dépôts de grande hauteur

Edgar BARD et Maria Eugenia ANABALON	109
4.1. Introduction.	110
4.2. Développements de nouveaux moyens d'essais en laboratoire pour matériaux grossiers	110
4.2.1. Montages triaxial et oedométrique de IDIEM	111
4.3. Stériles miniers.	112
4.3.1. Distribution granulométrique <i>in situ</i>	113
4.3.2. Stériles étudiés.	114
4.4. Caractérisation du comportement mécanique des stériles.	114
4.4.1. Essais oedométriques	115
4.4.2. Essais triaxiaux	115
4.4.3. Résultats des essais oedométriques	116
4.4.4. Résultats des essais triaxiaux	121
4.4.5. Evolution de la densité sèche	131
4.5. Analyses de stabilité et considérations de dimensionnement.	133
4.6. Considérations opérationnelles	135
4.6.1. Système de drainage basal.	135

4.6.2. Assainissement	136
4.6.3. Conditions des fondations	136
4.6.4. Effet de la neige et de la pluie.	137
4.6.5. Effet de la lixiviation <i>in situ</i> sur les stériles.	137
4.6.6. Conception pour la fermeture.	138
4.7. Conclusion	138
4.8. Remerciements	139
4.9. Bibliographie	140

Chapitre 5. Les modèles de Jean Biarez pour le comportement en grandes déformations des sables propres et argiles remaniées

Jean-Louis FAVRE et Mahdia HATTAB	143
5.1. Introduction.	143
5.2. Le modèle de Biarez à l'oedomètre.	145
5.3. L'état de plasticité parfaite et l'indice des vides critique	148
5.4. Les chargements isotropes normalement consolidés et surconsolidés	152
5.4.1. Analogie sables-argiles.	152
5.4.2. Etat normalement consolidé (ISL)	153
5.4.3. Etat surconsolidé (C_s)	154
5.5. Le chemin triaxial drainé pour les sables et argiles	156
5.5.1. Le comportement repère.	156
5.5.2. Le modèle mathématique	158
5.6. Le chemin triaxial non drainé pour les sables.	159
5.6.1. Formule de Roscoe simplifiée pour les sols normalement consolidés non drainés	159
5.6.2. Modélisation des maxima sous la droite M dans le plan q-p'	160
5.7. Comportement de référence pour les sables non drainés	162
5.7.1. Normalisation en contrainte de consolidation théorique p'_{ic}	162
5.7.2. Normalisation en plasticité parfaite des courbes en (q- ϵ_1) et variation de la pression interstitielle	163
5.7.3. Normalisation du plan (q-p') en contrainte initiale p'_0	164
5.8. Le comportement au triaxial des sables avec grumeaux.	164
5.8.1. Les sables avec grumeaux.	164
5.8.2. Le modèle de Roscoe appliqué pour les sables à grumeaux	165
5.8.3. Synthèse du comportement de quelques sables à grumeaux	166
5.9. Nouvelle analyse des modèles à l'oedomètre.	168
5.9.1. Modèle de Burland	168
5.9.2. Comparaison des deux modèles et modèle mixte	172
5.9.3. Modèle de Burland porté dans l'espace (L-log σ'_v) de Biarez	176
5.10. Destruction des sédiments argileux.	176

5.11. Conclusion	177
5.12. Notes	179
5.13. Bibliographie	182
5.14. Notations	184

Chapitre 6. Le concept de contrainte effective dans les sols partiellement saturés

Said TAIBI, Jean-Marie FLEUREAU, Sigit HADIWARDYO, Hanène SOULI et António GOMES CORREIA

6.1. Introduction	187
6.2. Modèle microstructural pour milieux granulaires non saturés	193
6.3. Matériaux et méthodes	198
6.3.1. Matériaux et préparation des échantillons	198
6.3.2. Dispositifs expérimentaux et méthodes d'essai	199
6.3.3. Normalisation des données	204
6.4. Résultats expérimentaux	204
6.4.1. Chemins de compression isotrope	204
6.4.2. Chemins de compression déviatoire	205
6.4.3. Comportement en très petites déformations	206
6.5. Interprétation des résultats en utilisant la contrainte effective	208
6.5.1. Interprétation des essais triaxiaux en grandes déformations	209
6.5.2. Interprétation des mesures de module en petites déformations	210
6.6. Conclusion	211
6.7. Remerciements	212
6.8. Bibliographie	212

Chapitre 7. Un modèle microstructural pour les sols et matériaux granulaires

Pierre-Yves HICHER

7.1. Introduction	217
7.2. Le modèle microstructural	219
7.2.1. Comportement interparticulaire	219
7.2.2. Relation de comportement à l'échelle du milieu continu équivalent	222
7.2.3. Les paramètres du modèle	223
7.3. Résultats de simulations numériques sur le sable d'Hostun	224
7.3.1. Essais triaxiaux drainés	224
7.3.2. Essais triaxiaux non drainés	228

7.4. Extension de l'approche aux sols argileux	229
7.4.1. Argile remaniée	232
7.4.2. Argiles naturelles	234
7.5. Matériaux granulaires non saturés	238
7.6. Conclusion	246
7.7. Bibliographie	247

Chapitre 8. Modélisation de glissements de terrains par un critère d'instabilité matérielle

Florent PRUNIER, Sylvain LIGNON, Farid LAOUAFA et Félix DARVE

8.1. Introduction	251
8.2. Etude de la condition du travail du second ordre	253
8.2.1. Etude analytique	253
8.2.2. Interprétation physique	258
8.3. Modélisation du glissement de Petacciato	260
8.3.1. Présentation du site	260
8.3.2. Présentation du modèle utilisé	263
8.3.3. Calcul du glissement	266
8.4. Conclusion	271
8.5. Bibliographie	273

Chapitre 9. Modélisation numérique : un outil efficace pour analyser le comportement des ouvrages

Atrezou MODARESSI-FARAHMAND-RAZAVI

9.1. Notations	277
9.2. Introduction	280
9.3. Modélisation du comportement des sols	282
9.3.1. Caractéristiques principales du comportement mécanique des sols	282
9.3.2. Modèles de comportement utilisés pour le calcul d'ouvrages	288
9.3.3. Modèle simplifié	289
9.3.4. Généralisation du modèle simplifié	298
9.3.5. Comportement mécanique des sols non saturés	300
9.3.6. Critères définissant le chargement et le déchargement en plasticité	307
9.3.7. Modèle multimécanisme	310

9.4. Stratégie d'identification des paramètres du modèle de l'ECP	312
9.4.1. Classification et identification des paramètres du modèle de l'ECP	313
9.4.2. Paramètres directement mesurables	315
9.4.3. Paramètres non directement mesurables	325
9.4.4. Paramètres définissant l'état initial	328
9.4.5. Application d'une démarche d'identification des paramètres	331
9.5. Rôle de la loi de comportement du sol sur la réponse des ouvrages	337
9.5.1. Murs de soutènement	337
9.5.2. Pieux chargés verticalement	341
9.5.3. Barrages en terre	351
9.6. Conclusion	357
9.7. Remerciements	358
9.8. Annexes	358
9.9. Bibliographie	361

Chapitre 10. Evaluation de la stabilité sismique des barrages en remblai

Jean-Jacques FRY

10.1. Introduction	371
10.1.1. En hommage à Jean Biarez	371
10.1.2. Définitions	372
10.2. Comportement sismique observé	373
10.2.1. La pathologie des barrages-poids	373
10.2.2. Les barrages à contreforts	374
10.2.3. Les barrages voûtés	375
10.2.4. Pathologie sismique des remblais hydrauliques	376
10.2.5. Pathologie sismique des remblais miniers	377
10.2.6. Pathologie des remblais routiers et des levées de protection contre les crues provoquées par les séismes	377
10.2.7. Les digues hydroélectriques fluviales	378
10.2.8. Les petits barrages en terre	378
10.2.9. Pathologie sismique des grands barrages en terre	380
10.2.10. Pathologie des grands barrages zonés en terre et enrochement	382
10.2.11. Pathologie sismique des barrages en enrochement à masque nuant	382
10.2.12. Analyses de la pathologie sur modèles réduits	383
10.2.13. Bilan des dégradations sismiques observées sur barrages	383
10.2.14. Dégâts sismiques majeurs sur les barrages en béton	384
10.2.15. Dégâts sismiques majeurs sur les barrages en remblai	385

10.2.16. Effets différés ou indirects	385
10.3. Méthodologie d'analyse du risque sismique	386
10.3.1. Classification sismique des barrages en France	386
10.4. Evaluation de l'aléa sismique	388
10.4.1. Choix du scénario de situations de dimensionnement	388
10.4.2. Choix des niveaux sismiques	389
10.4.3. Choix des caractéristiques du niveau sismique	389
10.4.4. Choix des accélérogrammes	391
10.5. Réévaluation de la stabilité sismique	393
10.5.1. Exposition maximale au séisme : la liquéfaction	393
10.5.2. Une méthodologie progressive conseillée	395
10.5.3. L'identification	396
10.5.4. Analyse pseudo-statique de la stabilité	396
10.5.5. Analyse pseudo-dynamique du déplacement	397
10.5.6. Analyse du risque de liquéfaction	401
10.5.7. Analyse couplée non linéaire	403
10.5.8. Analyse de la stabilité post-sismique	404
10.5.9. Bilan	405
10.6. Modélisation semi-couplée de la liquéfaction	406
10.6.1. Objectif	406
10.6.2. Présentation de la loi de comportement	406
10.6.3. Critères de rupture	406
10.6.4. Loi de déformabilité déviatoire	407
10.6.5. Loi de déformabilité isotrope : liquéfaction	409
10.6.6. Intégration de la loi	410
10.6.7. Qualification de la loi sur la rupture de San Fernando	411
10.6.8. Application de la loi aux digues fluviales	418
10.7. Bibliographie	424

Index 431